

การชะละลายของโลหะหนักจากถัง/ภาชนะบรรจุน้ำดื่ม
ซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จากกระบวนการเผาไหม้



นายธีรพล พิรุฬห์ทรัพย์

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

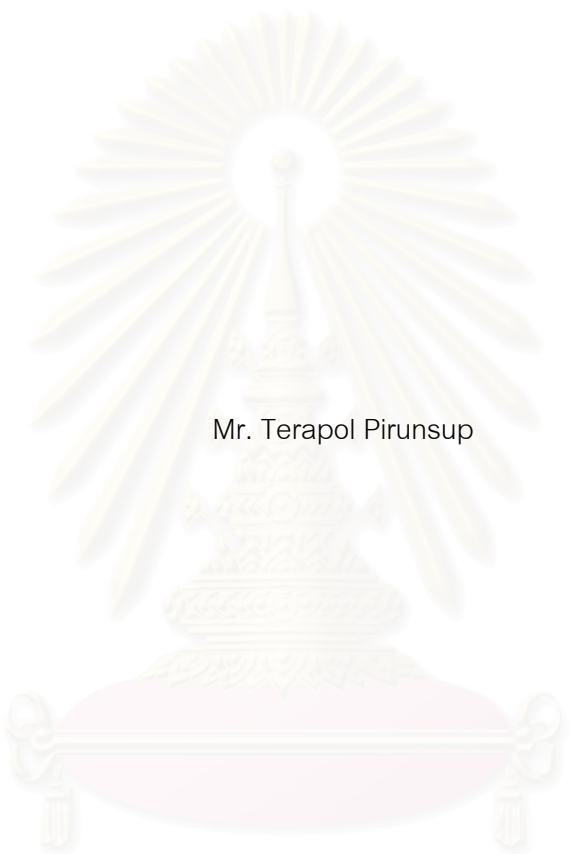
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEACHING OF HEAVY METALS FROM DRINKING WATER CONTAINERS
MADE OF PORTLAND CEMENT FROM CO-INCINERATION PROCESS



Mr. Terapol Pirunsup

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การชะละลายของโลหะหนักจากถัง/ภาชนะบรรจุน้ำดื่ม

ซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จากกระบวนการเผาไหม้

โดย

นายธีรพล พิรุฬห์ทรัพย์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ)

ธีรพล พิรุฬห์ทรัพย์ : การชะละลายของโลหะหนักจากถัง/ภาชนะบรรจุน้ำดื่มซึ่งทำจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จากกระบวนการเผาไหม้ (LEACHING OF HEAVY METALS FROM DRINKING WATER CONTAINERS MADE OF PORTLAND CEMENT FROM CO-INCINERATION PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.มนัสกร ราชกรกิจ, 355 หน้า

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการชะละลายของโลหะหนักจากถัง/ภาชนะบรรจุน้ำดื่มซึ่งทำจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จากกระบวนการเผาไหม้ และประยุกต์การทดสอบการชะละลายมาตรฐานของ EA NEN 7375 รวมถึงศึกษาปัจจัยหลายชนิดที่มีผลต่อการชะละลายของโลหะหนักที่ฝังตัวอยู่ในซีเมนต์เพสต์ นอกจากนี้ยังนำผลการทดสอบการชะละลายไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่มเพื่อประเมินระดับความปนเปื้อนของโลหะหนักในสารละลายภายหลังการทดสอบ ก่อนนำซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการทดสอบการชะละลายที่เวลาต่างๆไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการจับตัวและสารประกอบด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction Spectrometer) และ เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infra-Red Spectrophotometer) ตามลำดับ

ผลการศึกษาการชะละลายแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดพร้อมกัน อาทิ ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นในปูนเม็ด ชนิดและปริมาตรของสารละลาย ซึ่งจากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนสารละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 8 จะมีความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายสูงมากเนื่องจากเกิดการสะสมความเข้มข้นในบริเวณผิวหน้าที่เกิดการชะละลาย นอกจากนี้การทดสอบด้วยสารละลายต่างชนิดกันแสดงให้เห็นว่า แอมโมเนียไม่เกิดการชะละลายในน้ำประปา และ โบรอนชะละลายออกมามากในน้ำฝนกรดสังเคราะห์ชนิดปิดฝาทดสอบ โดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะแสดงพฤติกรรมการชะละลายที่แตกต่างกันออกไปที่เห็นได้ชัดเจนได้แก่ อะลูมิเนียมจะเกิดการชะล้างที่ผิวหน้าในช่วงต้นการทดสอบและเกิดการละลายในช่วงท้าย ส่วนโครเมียมเกิดการชะล้างที่ผิวหน้าในช่วงต้นของการทดสอบเพียงอย่างเดียว สำหรับการศึกษาการชะละลายในระบบเปิดพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลทำให้พีเอชและความนำไฟฟ้าของระบบมีค่าลดลงและมีตะกอนเกิดขึ้น โลหะหนักส่วนใหญ่มีความสามารถในการชะละลายลดลง ยกเว้นวานาเดียมซึ่งแสดงความสามารถที่เพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการทดสอบ สำหรับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ชะละลายออกมาเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่มพบว่าโลหะหนักบางชนิดมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน เช่น แคดเมียมและ ตะกั่วสำหรับทุกสภาวะและสารละลาย ในการศึกษาซีเมนต์เพสต์และตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง XRD และ FTIR พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นคือตะกอนหินปูน (CaCO_3) แต่ไม่สามารถตรวจพบโลหะหนักซึ่งอาจมีผลมาจากปริมาณที่น้อยและมีความกระจายตัวสูงในซีเมนต์

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ธีรพล พิรุฬห์ทรัพย์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อ.ดร.มนัสกร ราชกรกิจ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4670335421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : CEMENT / LEACHING / HEAVY METAL / DRINKING WATER / NEN 7375

TERAPOL PIRUNSUP : LEACHING OF HEAVY METALS FROM DRINKING WATER
CONTAINERS MADE OF PORTLAND CEMENT FROM CO-INCINERATION PROCESS.

THESIS ADVISOR: MANASKORN RACHAKORNKIJ, Ph.D., 355 pp.

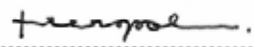
This research studied leaching behaviors of heavy metals from drinking water containers made of Portland cement from co-incineration process. The modified version of EA NEN 7375, a standard leaching test, was applied to examine various factors affecting heavy metals leachability. The leaching results were compared to drinking water standards to assess the contamination level of heavy metals in leachants. Moreover, the cement paste samples with the same properties as the drinking water containers were analyzed using X-ray Diffraction Spectrometer (XRD) and Fourier Transform Infra-Red Spectrophotometer (FT-IR) to consider the change of bond and compound in cement matrix after leaching tests.

The experimental results indicated that initial concentration of heavy metals in cement paste, type, and amount of the leachants play crucial roles on metal leachability. The studies showed that at Liquid/Surface ratio of 8, cumulative concentration of metals at the water-solid interface was substantially high. Besides, the leachates from various leachants showed that Manganese did not mobilize in tap water while Boron leached substantially in a closed system with synthetic acid rain as a leachant. Various Leaching phenomena of heavy metals were observed. After surface wash off phenomenon Aluminum showed the obvious dissolution at the final state of the study, while Chromium showed solely surface wash off at the beginning state. For the leaching in open system, CO_2 affected in decreasing pH and conductivity and the precipitate has formed. Under this condition, most of heavy metals, except Vanadium, became less mobilized. Cadmium and Lead were found the concentration higher than the standards of drinking water under all conditions for all leachants. Analyzing cement paste and precipitate with XRD and FTIR, the precipitate was found to be CaCO_3 . Heavy metals were not detected by XRD and FTIR because of their relatively small amounts in cement.

Department ..Environmental Engineering.....

Field of Study ..Environmental Engineering..

Academic Year 2006.....

Student's Signature 

Advisor's Signature 

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชกรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา กับผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่มอบทุนอุดหนุนสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) จังหวัดสระบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและตัวอย่างของวัตถุดิบในการวิจัย รวมทั้งการอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานกับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ศูนย์เครือข่ายคณะวิศวกรรมศาสตร์ โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (CUFE, NRC-EHWM) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือที่ห้องวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า และพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องและเป็นการกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน (บิว นก จูน กิฟท์ บัด แป้ง พี่ปอม แอน เพื่อนร่วมรุ่นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจอย่างดีเยี่ยมแก่ผู้วิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ปูนซีเมนต์	6
2.1.1 ความหมายของปูนซีเมนต์.....	6
2.1.2 วัตถุดิบ	6
2.1.3 กรรมวิธีผลิตปูนซีเมนต์ (Manufacture of Portland cement)	7
2.1.3.1 กรรมวิธีผลิตของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)	9
2.1.4 สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	9
2.1.4.1 อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์	10
2.1.5 ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Hydration of cement)	12
2.1.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์	12
2.1.5.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์	15
2.2 การนำกากอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิง	
ในการผลิตปูนซีเมนต์.....	16
2.2.1 ความหมายของกากของเสียอุตสาหกรรม	16
2.2.2 การนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบ	
หรือเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์	17

2.3 การรั่ว / ชะละลายของโลหะหนักเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	
ระยะแรกในระบบซีเมนต์.....	20
2.4 การชะละลายในระยะยาว	20
2.5 การชะละลายและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชะละลาย.....	25
2.5.1 ปัจจัยทางฟิสิกส์ที่มีอิทธิพลต่อการชะละลาย.....	25
2.5.2 ปัจจัยทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อการชะละลาย	27
2.6 การปลดปล่อยของอนุภาคจำแนกตามคุณสมบัติ	
ทางเคมีฟิสิกส์ของสาร	28
2.7 การเกิดคาร์บอนเนชั่น	32
2.8 การทดสอบการชะละลาย.....	32
2.8.1 ภาพรวมการทดสอบการชะละลาย	33
2.8.2 การทดสอบการชะละลายตามมาตรฐานของ NEN 7375.....	36
2.9 มาตรฐานสำหรับน้ำดื่ม	37
2.10 ความเป็นพิษของโลหะหนัก	39
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	56
3.1 แผนการวิจัย.....	56
3.1.1 การวางแผนการทดลอง	56
3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง	56
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	56
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	57
3.2.3 การเตรียมสารเคมี	57
3.3 การเตรียมตัวอย่างปูนเม็ด	57
3.4 การดำเนินการทดลอง	58
3.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างปูนเม็ด.....	58
3.4.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	58
3.4.1.2 รายละเอียดขั้นตอนในการทดลองที่ 1	59
3.4.2 การทดสอบการชะละลายของโครงสร้างบรรจุน้ำ ที่เวลาต่าง ๆ.....	60
3.4.2.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	60
3.4.2.2 รายละเอียดขั้นตอนในการทดลองที่ 2	62

3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบการเปลี่ยนแปลงระดับอนุภาคของโครงสร้าง	
ภายหลังผ่านการชะละลาย	65
บทที่ 4 ผลการวิจัย	69
4.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างปูนเม็ด.....	69
4.1.1 การเลือกตัวอย่างซีเมนต์ไปทดสอบชะละลาย.....	73
4.2 การชะละลายของซีเมนต์เฟสค์.....	74
4.2.1 ภาพรวมผลการทดสอบการชะละลาย.....	75
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นในปูนเม็ด	
กับผลการชะละลาย	86
4.2.3 การชะละลายกับมาตรฐานน้ำดื่ม.....	98
4.2.4 การชะละลายกับอัตราส่วนสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัส.....	108
4.2.5 ผลของพีเอชกับการชะละลาย.....	112
4.2.6 สารชะละลายกับการชะละลาย.....	113
4.2.7 การเกิดคาร์บอนเนชันกับการชะละลาย.....	123
4.2.8 กลไกการชะละลาย.....	125
4.2.8.1 ความแตกต่างระหว่างการทดสอบตามมาตรฐานการชะละลาย	
ของ EA NEN 7375 และการทดสอบในงานวิจัย.....	125
4.2.8.2 การวิเคราะห์กลไกการชะละลาย.....	125
4.3 ผลการศึกษาซีเมนต์เฟสค์ภายหลังการทดสอบการชะละลาย	134
4.3.1 ผลตรวจวัดสารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึก.....	134
4.3.2 ผลการตรวจวัดพันธะของสารประกอบโลหะหนัก	140
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	145
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	145
5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาอุปสรรคที่พบในงานวิจัย	147
รายการอ้างอิง	149
ภาคผนวก	154
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก.....	155
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบการชะละลาย.....	158
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณการวิเคราะห์กลไกการชะละลาย.....	287

ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์สารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึกด้วย เครื่อง X-Ray Diffraction Spectrometer (XRD)	297
ภาคผนวก จ. ผลการวิเคราะห์พันธะพันธะของสารประกอบโลหะหนักด้วย เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	310
ภาคผนวก ฉ. มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย EA NEN 7375158	322
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	355



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัดส่วนออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	8
2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	10
2.3 คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	11
2.4 ตัวอย่างของเสียที่มักใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์.....	17
2.5 เชื้อเพลิงส่วนต่างๆ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบสำหรับการผลิตปูนเม็ด ในประเทศเยอรมนี ปีพ.ศ.2542.....	18
2.6 สัดส่วนของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปในเตาเผาซีเมนต์ในประเทศเยอรมนีปีพ.ศ.2542	18
2.7 องค์ประกอบของของเสียอันตรายที่ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน	19
2.8 มาตรฐานสำหรับน้ำดื่ม	38
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1.....	58
3.1 (ต่อ) ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1.....	59
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2.....	60
3.2 (ต่อ) ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2.....	61
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 3.....	65
4.1 วันที่เก็บตัวอย่างปูนเม็ดที่ใช้ในการทดลอง	69
4.2 ความเข้มข้นสูงสุด-ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของโลหะหนักชนิดต่างๆในปูนเม็ด	70
4.3 ภาพรวมความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิด ในตัวอย่างซีเมนต์ที่เลือกไปทดสอบชะละลาย	74
4.4 ความเข้มข้นเริ่มต้นเรียงจากน้อยไปมากของธาตุต่างๆ.....	87
4.5 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบการทดสอบการชะละลายกับมาตรฐานน้ำต่างๆ	99
4.6 ปริมาตรของสารชะละลายที่ L/S ต่างๆ เทียบกับข้อกำหนดของ EA NEN 7375	125
4.7 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Al.....	127
4.8 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Ba.....	128
4.9 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Ca.....	129
4.10 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Cr	130
4.11 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Mn	131

4.12	ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Sr.....	132
4.13	ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Zn.....	133
5.1	ปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักหนักในปูนเม็ดและปริมาณที่ชะละลายออกมาคิดเป็นร้อยละ ...	145
5.2	กลไกการชะละลายของโลหะทั้ง 5 ชนิด.....	146



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผนภาพของแบบจำลอง Shrink front (ชนิดที่มีอนุภาคที่สนใจ 1 ชนิด) 23
2.2	แผนภาพของแบบจำลอง Shrink front (ชนิดที่มีอนุภาคที่สนใจ 2 ชนิด) 24
2.3	ปัจจัยทางฟิสิกส์-เคมี ที่มีผลต่อการชะละลายของสารมลพิษออกจากวัตถุอ่อนแข็ง 26
2.4	ทิศทางการไหลผ่านของสารชะละลายผ่านตัวกลางชนิดต่างๆ 27
2.5	รูปแบบการชะละลายของเกล็ดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับพีเอช..... 31
2.6	รูปแบบการชะละลายของไอออนประจุบวกซึ่งเป็นฟังก์ชันกับพีเอช 31
2.7	รูปแบบการชะละลายของไอออนประจุลบซึ่งเป็นฟังก์ชันกับพีเอช 31
2.8	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการชะละลาย 32
3.1	การทดสอบการชะละลายที่อัตราส่วนสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัสต่างๆกัน..... 64
3.2	แผนผังแสดงภาพรวมของการทดสอบการชะละลาย..... 66
3.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ตามวิธีมาตรฐานของ US EPA SW-846 Method 3052 67
3.4	แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบการชะละลาย 68
4.1-4.5	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP
4.1	แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Fe ในปูนเม็ด..... 71
4.2	แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Mn ในปูนเม็ด..... 71
4.3	แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Ba Sr และ Zn ในปูนเม็ด..... 72
4.4	แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Cr และ V ในปูนเม็ด..... 72
4.5	แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Cd Co Ni Pb และ Sr ในปูนเม็ด 73
4.6-4.16	ภาพรวมการชะละลาย
4.6	ของ (ซ้าย) Al (ขวา) Ba ด้วยน้ำปราศจากไอออน..... 75
4.7	ของ (ซ้าย) Ca(ขวา) Cr ด้วยน้ำปราศจากไอออน 76
4.8	ของ Sr ด้วยน้ำปราศจากไอออน..... 77
4.9	ของ B จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน 78
4.10	ของ Be จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน 79
4.11	ของ Cd จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน..... 80

4.12	ของ Mn จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน.....	81
4.13	ของ Ni จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน	82
4.14	ของ Pb จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน	83
4.15	ของ V จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน.....	84
4.16	ของ Zn จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน.....	85
4.17-4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้น	
4.17	กับการชะละลายของ Ba ที่ L/S ต่างๆ.....	88
4.18	กับการชะละลายของ Cr ที่ L/S ต่างๆ	89
4.19	กับการชะละลายของ Cu ที่ L/S ต่างๆ.....	90
4.20	กับการชะละลายของ Fe ที่ L/S ต่างๆ	91
4.21	กับการชะละลายของ Mn ที่ L/S ต่างๆ	92
4.22	กับการชะละลายของ Ni ที่ L/S ต่างๆ.....	93
4.23	กับการชะละลายของ Pb ที่ L/S ต่างๆ.....	94
4.24	กับการชะละลายของ Sr ที่ L/S ต่างๆ.....	95
4.25	กับการชะละลายของ V ที่ L/S ต่างๆ.....	96
4.26	กับการชะละลายของ Zn ที่ L/S ต่างๆ.....	97
4.27	ภาพรวมการชะละลายของ Al เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม.....	100
4.28	ภาพรวมการชะละลายของ B เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม	101
4.29	ภาพรวมการชะละลายของ Ba เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม	102
4.30	ภาพรวมการชะละลายของ Ca เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม	103
4.31	ภาพรวมการชะละลายของ Cd เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม	104
4.32	ภาพรวมการชะละลายของ Cr เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม	105
4.33	ภาพรวมการชะละลายของ Mn เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม.....	106
4.34	ภาพรวมการชะละลายของ Pb เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม.....	107
4.35	พีเอชและความนำไฟฟ้าที่ L/S Ratioต่างกัน	
	ของซีเมนต์เฟสค์วันที่ 22 มกราคม 2548.....	109
4.36	L/S Ratio กับการชะละลายของโลหะชนิดต่างๆ	
	จากซีเมนต์เฟสค์วันที่ 22 มกราคม 2548.....	110

4.37 การสะสมความเข้มข้นของ Mn ที่บริเวณการทดสอบการชะละลาย ของตัวอย่างวันที่ (ซ้าย) 22 ตุลาคม 2547 และ (ขวา) 7 กุมภาพันธ์ 2548	111
4.38 ความนำไฟฟ้าที่ L/S ต่างๆของ (ซ้าย) 22 ตุลาคม 2547 และ (ขวา) 7 กุมภาพันธ์ 2548	111
4.39 การชะละลายของ V ในระบบเปิดซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง (ซ้าย) 22 ตุลาคม 2547 (ขวา) 6 มกราคม 2548	112
4.40 ภาพรวมพีเอชจากการทดสอบการชะละลายของธาตุต่างๆ	113
4.41 การชะละลายของ Al ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	114
4.42 การชะละลายของ B ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	115
4.43 การชะละลายของ Ba ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	116
4.44 การชะละลายของ Be ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	117
4.45 การชะละลายของ Ca ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	118
4.46 การชะละลายของ Cr ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	119
4.47 การชะละลายของ Mn ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	120
4.48 การชะละลายของ Sr ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	121
4.49 การชะละลายของ Zn ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์	122
4.50 ความแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบเปิดฝาและปิดฝาของตัวอย่าง วันที่ 22 ตุลาคม 2547 (บน) และตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 (ล่าง)	124
4.51 ผลการวิเคราะห์ซีเมนต์เฟสส์ที่ผ่านการชะละลายด้วยฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา	124
4.52 ตัวอย่างภาพที่มีการแพร่เป็นตัวควบคุมการชะละลายอย่างสมบูรณ์ตลอดการทดสอบ	126
4.53 การชะละลายสะสมของ Al ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	127
4.54 การชะละลายสะสมของ Ba ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	128
4.55 การชะละลายสะสมของ Ca ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	129
4.56 การชะละลายสะสมของ Cr ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	130
4.57 การชะละลายสะสมของ Mn ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	131
4.58 การชะละลายสะสมของ Sr ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	132
4.59 การชะละลายสะสมของ Zn ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$	133
4.60 ผล XRD แสดงสารประกอบหลักของซีเมนต์เฟสส์วันต่างๆ ก่อนการชะละลาย	135
4.61 ผล XRD เปรียบเทียบปริมาณ $Ca(OH)_2$ ก่อน และ หลังการทดสอบการชะละลาย	136
4.62 ผล XRD แสดง $CaCO_3$ ที่เกิดขึ้นในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการทดสอบ	137

4.63 ผล XRD เปรียบเทียบปริมาณ CaCO_3 ของการทดสอบชนิดปิดฝาและเปิดฝา.....	138
4.64 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายภายหลังการทดสอบ	139
4.65 รูปแบบสารประกอบของ C_3S C_2S C_3A และ C_4AF จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-IR.....	140
4.66 ภาพรวมผลที่ได้จากการวิเคราะห์ซีเมนต์เฟสซึ่งผ่านการชะละลายด้วยเครื่อง FT-IR.....	141
4.67 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เฟสด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการ ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน	142
4.68 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เฟสด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการ ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำประปา.....	142
4.69 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เฟสด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการ ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา	143
4.70 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เฟสด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการ ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา.....	143
4.71 ผลการวิเคราะห์รูปแบบพันธะของสารประกอบจากตะกอนที่เกิดจากการทดสอบ การชะละลายเทียบกับมาตรฐานพันธะของสาร CaCO_3 ด้วยเครื่อง FT-IR.....	144
4.72 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบของตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายต่างๆ ภายหลังการทดสอบการชะละลาย	144

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นมักก่อให้เกิดของเสียที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ เช่น อาร์เซนิก (As) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb)ปรอท (Hg) ซีลีเนียม (Se) และเงิน (Ag) เป็นต้น ซึ่งยากต่อการจัดการของเสียหลายชนิดจากอุตสาหกรรมที่มีปริมาณโลหะหนักปนอยู่สูงได้รับการจัดประเภทให้เป็นของเสียอันตราย โดยปกติเมื่อมีของเสียอันตรายเหล่านี้เกิดขึ้นทางผู้ผลิตของเสียจะต้องทำการส่งไปฝังยังหลุมฝังกลบเฉพาะสำหรับฝังของเสียอันตราย (Secure landfill) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดเกี่ยวกับเนื้อที่ของหลุมฝังกลบที่ลดลงในแต่ละวัน รวมถึงกากอุตสาหกรรมเหล่านั้นยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวซึ่งรอเวลาที่จะออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการจัดการทางด้านของเสียอันตรายจึงเป็นงานที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการที่จะลดปริมาณของเสียอันตรายที่จะนำมาฝังกลบและการนำพลังงานจากของเสียเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ โดยการนำของเสียอันตรายที่มีโลหะหนักผสมอยู่มาเผาเพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการปัญหาด้านของเสีย อย่างไรก็ตามการเผายังไม่ใช่กระบวนการบำบัดของเสียในขั้นตอนสุดท้าย โดยของเสียชนิดใหม่ที่มีโลหะหนักความเข้มข้นสูงจะเกิดขึ้นแทนที่จากกระบวนการนี้ และยังต้องการกระบวนการกำจัดขั้นสุดท้าย เช่น การทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) และการทำให้เสถียร (Stabilization) ร่วมกันก่อนส่งไปยังหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐานหรือหลุมฝังกลบของเสียอันตราย ซึ่งทำให้การจัดการของเสียมีความยุ่งยากมากขึ้นกว่าเดิม

เมื่อไม่นานที่ผ่านมาได้มีแนวความคิดเกี่ยวกับการนำกากอุตสาหกรรมมาร่วมแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการนำกากจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นวัสดุร่วมในการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งดูเหมือนจะเป็นไปได้ ทั้งทางด้านการพิทักษ์สิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และเป็นเครื่องกระตุ้นทางด้านผลกำไร โดยวิธีการเผาแบบมีวัสดุเผาร่วมนั้นจะเป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียอันตรายในรูปของวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ทั้งนี้กากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีปริมาณของ ซิลิกา แคลเซียม และอลูมินาอยู่มาก ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของซีเมนต์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางถึงศักยภาพในการนำของเสียเหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบร่วมในการผลิตปูนซีเมนต์ (Singh, Upadhyay, และ Prasad, 1996;

Arjunan, Silsbee, และRoy, 1999; Monshi และAsgarani, 1999; Singh และGarg, 2000; Chang และChiang, 2003) ดังวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้เกิดการแก้ปัญหา ทั้งการบำบัดของเสียและปัญหาการหมดไปของทรัพยากรธรรมชาติในเวลาเดียวกัน อันที่จริงแล้วการใช้กากจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์นั้น มีใช้อยู่ในหลายประเทศ เพราะว่ามันนอกจากจะเป็นการจัดการที่ดีเกี่ยวกับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้วยังเป็นผลกำไรซึ่งได้จากการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ใหม่ไม่ได้ โดยที่อุณหภูมิสูงและเวลาสัมผัสนานพอสมควรนั้นคาดว่าจะทำลายองค์ประกอบของสารอินทรีย์อย่างสิ้นเชิง โดยทั่วไปที่ประมาณ 1,450 องศาเซลเซียส และเวลาสัมผัสประมาณ 20-30 นาที ในขณะที่ส่วนประกอบที่เป็นโลหะหนักซึ่งไม่สามารถเผาไหม้ได้นั้น คาดว่าจะผสมอยู่ในบางส่วนของทั้งผงฝุ่นซีเมนต์ (Cement Kiln Dust: CKD) หรือรวมอยู่ในเม็ดปูน (Cement clinker) หรือแม้กระทั่งอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายของซีเมนต์ (Trezza และScian, 2000) ดังนั้นการนำกากจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเผาพร้อมกับเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์นั้นจึงสามารถพิจารณาว่าเป็นการกำจัดขั้นสุดท้าย เนื่องจากไม่มีความต้องการที่จะทำการปรับเสถียร และการหล่อแข็งต่ออีก

ถึงแม้ว่าจะมีประโยชน์อยู่หลายประการดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้น แต่การใช้กากจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นวัสดุร่วมในกระบวนการผลิตนั้น ทำให้เกิดประเด็นข้อสงสัยเกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ของความเสถียรเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของสาธารณชน เนื่องจากยังขาดข้อมูลที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับการทำความเข้าใจในเรื่องของการกระจายตัวและความเสถียรของโลหะหนักในปูนซีเมนต์ พฤติกรรมของอนุภาคเล็ก ๆ จากการสร้างผลึกในเม็ดปูนซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในการประเมินเกี่ยวกับผลประโยชน์และความเสี่ยงจากการเผากากอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการยากที่จะศึกษาเกี่ยวกับการแพร่กระจายของโลหะหนักในกากอุตสาหกรรมในรูปทั่วไป เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดมีพฤติกรรมที่ต่างกันภายใต้อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าอนุภาคของเสียอันตรายที่ใช้เป็นวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตนั้นมีผลต่อค่าทางจลน์ (Kinetic) ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเตาเผา ความหนืดในระยะที่เป็นของเหลว การตกผลึกในช่วงที่แตกต่างกัน และสมดุลของระบบ รวมไปถึงการสร้างโครงสร้างระดับจุลภาค (Butt และTimashev, 1976 อ้างถึงใน Andrade, Maringolo และKihara, 2003) ผลเหล่านี้ อาจทำให้คุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ได้เสื่อมลงไปในด้านของวัสดุศาสตร์และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเข้าใจที่ผิดของประชาชนเกี่ยวกับความเสี่ยงทางด้านสุขภาพอนามัยจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับโลหะหนักและในที่สุดจะทำให้เกิดผลกระทบในแง่ลบทางด้านเศรษฐกิจของบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ที่นำเอาของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นเชื้อเพลิงร่วมหรือนำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต จากเหตุผลที่กล่าวมานั้นจึงต้องมีการแสดงความรับผิดชอบต่อผู้ผลิตปูนซีเมนต์ที่จะให้คำตอบที่ถูกต้อง โดยขึ้นกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์แก่สาธารณชน

การวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นการรวมของการทดลองระดับมหภาค (Macroscopic) และจุลภาค (Microscopic) เพื่อที่จะตอบคำถามดังต่อไปนี้ เช่น โลหะหนักกระจายตัวอยู่ในเม็ดปูนและผงฝุ่นปูนอย่างไร โลหะหนักที่อยู่ในปูนซีเมนต์นั้นมีความเสถียรหรือไม่อย่างไร โลหะหนักนั้นส่งผลทางด้านลบและรบกวนคุณสมบัติของสิ่งปลูกสร้างที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักผสมอยู่ สิ่งปลูกสร้างนั้นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่อย่างไรหลังจากที่ทาสลายไปแล้ว มีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่อย่างไรจากการใช้ประโยชน์จากสิ่งปลูกสร้างที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักผสมอยู่ เพื่อที่จะตอบคำถามสุดท้ายการใช้ประโยชน์จากปูนซีเมนต์ที่ใช้กากอุตสาหกรรมเป็นส่วนในกระบวนการผลิตมาทำเป็นภาชนะบรรจุน้ำดื่มจึงได้รับการพิจารณาเพื่อเป็นกรณีศึกษา

จุดมุ่งหมายในการทำการวิจัยในครั้งนี้ก็เพื่อที่จะทำให้เกิดความรู้และความเข้าใจทั้งต่อการวิจัย การพัฒนาจุดยืน และมุมมองความเสี่ยงในการจัดการ จากการวิจัยและพัฒนาจุดยืนถึงแม้ว่าบางงานวิจัยจะได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของโลหะหนักในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ แต่การวิจัยเหล่านั้นส่วนใหญ่จะเป็นการสังเคราะห์โดยการเติมสารประกอบของโลหะบริสุทธิ์ในปริมาณที่มากเกินไปกว่าที่สารประกอบนั้นมีอยู่จริงในของเสียอุตสาหกรรมซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงร่วมในสถานการณ์จริงและเป็นการมุ่งประเด็นไปที่ปริมาณร้อยละของโลหะหนักที่รวมอยู่ในซีเมนต์ซึ่งไม่ได้อธิบายเกี่ยวกับกลไกการเก็บกักของโลหะหนักในซีเมนต์รวมถึงความเสถียรของโลหะแต่ละชนิดในซีเมนต์และผงฝุ่นปูน ดังเหตุผลที่กล่าวมานั้นการวิจัยนี้จึงไม่ได้เป็นเพียงแต่การศึกษาเกี่ยวกับของเสียอันตรายจริงเท่านั้น แต่ยังเป็นความพยายามที่จะแสดงพฤติกรรมของโลหะหนักที่รวมอยู่ในซีเมนต์ตลอดทั้งวัฏจักร นอกจากนั้นในแง่ของความเสี่ยงต่อการจัดการการวิจัยคาดหวังว่าจะได้ให้ข้อมูลที่เป็ประโยชน์ต่อความเชื่อมั่น และไว้วางใจของสาธารณชนซึ่งเป็นพลังหลักที่มีผลต่อความยั่งยืน และความสำเร็จของการทำธุรกิจ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษากลไกการชะละลายของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในถัง/ภาชนะสำหรับกักเก็บน้ำดื่มที่ผลิตโดยใช้ปูนซีเมนต์ที่ได้จากกระบวนการการเผาไหม้ของกากอุตสาหกรรม
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการยึดติดและความเสถียรของโลหะหนักในโครงสร้างก่อน และหลังการชะละลายที่เวลาสัมผัสต่างๆ
3. เปรียบเทียบปริมาณค่าโลหะหนักที่ชะละลายออกมากับมาตรฐานน้ำดื่มเพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้กากอุตสาหกรรมในการผลิตปูนซีเมนต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นกลุ่มงานวิจัยซึ่งได้รับความร่วมมือจากบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด (มหาชน) ประกอบด้วยงานวิจัย 3 งาน ได้แก่

1. ลักษณะเชิงปริมาณและคุณภาพของโลหะหนักในปูนซีเมนต์ ดำเนินงานวิจัยโดย นางสาวรุจยา บุญญานวัตร

2. ลักษณะทางกายภาพและชนิดของโลหะหนักในมอร์ตาร์ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ ที่ใช้กากอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบและเชื้อเพลิงทดแทนในการผลิต ดำเนินงานวิจัยโดย นางสาวฤทัยรัตน์ แพรอด

และการศึกษากลไกการชะละลายของโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในถัง/ภาชนะสำหรับกักเก็บ น้ำดื่มซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ของกากอุตสาหกรรม จากบริษัทปูนซีเมนต์ นครหลวง จำกัด(มหาชน) โรงงานสระบุรี ซึ่งมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1. ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นปูนเม็ดที่ได้จากกระบวนการผลิตปกติของโรงงานก่อน นำไปบดและผสมยิปซัมในภายหลัง การเก็บตัวอย่างดำเนินการในช่วง เดือนกันยายน 2547 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2548 จำนวน 30 กะ (Batch) ตัวอย่างดังกล่าวจะนำมาทำการทดลองเพื่อ เปรียบเทียบหาความแตกต่างของกลไกการชะละลาย รวมทั้งหาปริมาณของโลหะหนักที่ชะละลาย ออกมาที่เวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาค

2. การทดสอบการชะละลายนั้นกระทำโดยการจำลองสภาพอัตราส่วนระหว่างสารชะละลาย ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจริง (Liquid to surface ratio) มาสร้างเป็นสภาพการชะละลายจำลอง โดยมีค่า อัตราส่วนระหว่างสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัสที่ 8 20 30 และ 40 เซนติเมตร³ ต่อ เซนติเมตร²

3. สารชะละลายที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) น้ำประปา (Tap water) และน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rainwater)

4. ระยะเวลาในการทดสอบนั้นกระทำตามวิธีการทดสอบของ EA NEN 7375:2004 (Determination of the leaching of the inorganic components with the diffusion test) (EA NEN 7375, 2004)

5. เพื่อประโยชน์ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างของระบบ (Microstructure) ในช่วงเวลาการทดสอบจึงเลือกใช้ซีเมนต์เพสต์มาใช้ทดสอบการชะละลายเพื่อ เป็นการจำกัดความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกลไกการชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดซึ่งทำให้เข้าใจถึงธรรมชาติของโลหะหนักชนิดนั้นๆเมื่ออยู่ในสถานะที่นำไปสู่การชะละลาย
2. ทราบการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างของปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาการชะละลายต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาสาเหตุที่ทำให้เกิดการชะละลายของโลหะหนักชนิดต่างๆ
3. เป็นแนวทางในการทำนายผลการชะละลายในระยะยาวที่จะเกิดขึ้นได้
4. ทราบปริมาณและชนิดของโลหะหนักที่ชะละลายออกมา และระดับความปนเปื้อนเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปูนซีเมนต์

2.1.1 ความหมายของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดเม็ดปูนซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนต่างๆ (หินปูนหรือดินปูนขาว กับดินเหนียวหรือดินดาน) จนรวมตัวผสมกันสุกพอดีซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอันได้แก่ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ โดยการทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ไฮเดรชัน (Hydration) อัตราการก่อและแข็งตัวตลอดจนความร้อนที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรงและความทนทานเมื่อแข็งตัวขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสม และการให้ความชื้นในขณะที่ยังแข็งตัว

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรม เมื่อนำไปผสมรวมกับทรายและน้ำจะได้เป็นมอร์ตาร์ (Mortar) ซึ่งนำไปใช้เป็นปูนก่อสำหรับงานก่ออิฐหรือปูนฉาบสำหรับงานฉาบ เป็นต้น หากนำไปผสมรวมกับหิน กรวด ทราย และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีความแข็งแรงและทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ได้แก่ ฐานราก ตอม่อ เขื่อน พื้น และถนน ซึ่งเมื่อเสริมด้วยเหล็กเส้นจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับใช้งานพื้น หลังคา สะพาน อุโมงค์ และอื่นๆ (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

2.1.2 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์อาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทที่ให้ธาตุแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ (Calcareous materials) ซึ่งอยู่ในรูปของ CaCO_3 ได้แก่ หินปูน (Limestone) ดินสอพองหรือชอล์ค (Chalk) ดินปูนขาว (Marl)
2. ประเภทที่ให้ออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (SiO_2) และอลูมิเนียม (Al_2O_3) เป็นส่วนใหญ่ (Argillaceous materials) ได้แก่ ดินดานหรือหินเชล (Shale) ดินดำหรือดินเหนียว (Clay) หินชนวน (Slate)

แต่ในบางครั้ง วัตถุดิบทั้งสองประเภทข้างต้นอาจมีปริมาณของธาตุที่ต้องการน้อยไป หรือมีปริมาณของธาตุอื่นเพิ่มเติมมากเกินไปจนเกินไป จึงจำเป็นต้องปรับส่วนผสมให้พอเหมาะเพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น การเพิ่มปริมาณแร่เหล็ก (Iron ore) ซึ่งมีอยู่มากใน

ศิลาแลง (Laterite) เมื่อหินเซลหรือดินเหนียวที่จะใช้มีปริมาณของเหล็กต่ำ หรือเลือกใช้วัตถุดิบที่มีธาตุเหล็กน้อยลงเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ขาว นอกจากนี้ยังมีการเติมยิบซัม (Gypsum) เพื่อใช้เป็นสารหน่วงการก่อตัวโดยผสมรวมกับปูนเม็ดจากเตาเผา เป็นต้น (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

2.1.3 กรรมวิธีผลิตปูนซีเมนต์ (Manufacture of Portland cement)

กรรมวิธีในการผลิตนั้นอาจเป็นการผลิตแบบแห้ง (Dry process) หรือการผลิตแบบเปียก (Wet process) กล่าวคือวัตถุดิบก่อนการเผาอาจจะให้ผ่านกระบวนการแห้งหรือกระบวนการเปียก ใน *กระบวนการแห้ง* วัตถุดิบซึ่งได้แก่ หินปูน ดินดาน แร่เหล็กได้รับการทำให้แห้งก่อนการบดและการผสม ปัจจุบันวิธีการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้งเป็นระบบที่ทันสมัยที่สุดใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตน้อยกว่าการผลิตปูนซีเมนต์แบบอื่น และไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเลยยกเว้นน้ำหล่อเย็นเครื่องจักร ส่วนใน *กระบวนการเปียก* วัตถุดิบซึ่งได้แก่ดินสองพอง ดินเหนียวได้รับการบดและการผสมเปียก การเลือกกระบวนการผลิตจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ น้ำที่จะจ่ายให้โรงงาน ราคาของเชื้อเพลิง แหล่งกำลังไฟฟ้า วิธีเก็บฝุ่น ตลอดจนความสม่ำเสมอของวัตถุดิบก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เตาเผา ถ้าวัตถุดิบที่มีอยู่เป็นหินซีเมนต์ และหินปูนซึ่งแห้งตามธรรมชาติหรือมีความชื้นอยู่น้อยก็อาจทำให้แห้งก่อนโดยใช้ความร้อนที่ออกจากเตาเผา แล้วจึงนำไปบดและผสมกันในภาวะแห้งได้โดยมีราคาการผลิตต่ำ ซึ่งในลักษณะนี้กระบวนการผลิตแบบแห้งเสียค่าใช้จ่ายน้อย อย่างไรก็ตามถ้าส่วนผสมหนึ่งของสารผสมอยู่ในภาวะเปียกการผลิตแบบเปียกจะซับซ้อนน้อยและเหมาะสมกว่า แต่ในการปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จากวัตถุดิบที่มีอยู่ กระบวนการผลิตแบบแห้งสามารถควบคุมให้มีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยไม่มีการใช้วิธีผลิตแบบเปียกในการผลิตแล้วเนื่องจากค่อนข้างล้าสมัย

เมื่อนำวัตถุดิบมาบดละเอียดและผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้ว จะทำการป้อนส่วนผสมนี้เข้าทางด้านบนของเตาเผา (Kiln) ซึ่งเตาเผาเปรียบเสมือนหัวใจของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ เป็นเครื่องจักรที่ใหญ่และแพงที่สุดทำงานตลอด 24 ชม. โดยไม่มีการหยุดพัก เตาเผาส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ใช้เตาเผาแบบชนิดหมุน (Rotary kiln) ซึ่งเป็นเหล็กกล้ามีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาวประมาณ 50 – 150 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 – 4 เมตร โดยภายในบุด้วยอิฐทนไฟเพื่อเก็บกักความร้อนไว้ภายใน หมุนรอบตัวในแนวเอียงอย่างช้าๆ ประมาณนาที่ละ 1.3 รอบ อุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 1,400 – 1,600 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่ผสมรวมกันและได้รับการเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำปฏิกิริยาทางเคมี เกิดการรวมตัวของออกไซด์ของธาตุต่างๆ และ จับกันเป็นเม็ดเล็กๆ เรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker) ส่งออกมาข้างนอกทางด้านล่างของเตา ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณออกไซด์หลักของธาตุต่างๆที่มีอยู่ในปูนเม็ด ซึ่งจะเห็นว่ามีปริมาณรวมกันประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณทั้งหมด (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนออกไซด์ของธาตุต่างๆ ในปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ข้าवाल เศรษฐบุตร, 2540)

ออกไซด์		ร้อยละโดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	CaO	60 - 67
	SiO ₂	17 - 25
	Al ₂ O ₃	3 - 8
	Fe ₂ O ₃	0.5 - 6.0
ออกไซด์รอง	MgO	0.1 - 5.5
	Na ₂ O + K ₂ O	0.5 - 1.3
	TiO ₂	0.1 - 0.4
	P ₂ O ₅	0.1 - 0.2
	SO ₃	1 - 3

สีและรูปร่างของปูนเม็ดจะบ่งถึงการเผาว่าเป็นไปอย่างถูกต้องหรือไม่ ถ้าเผาได้ที่ปูนเม็ดจะมีสีดำปนเขียวเหมือนแก้วใส เมื่อเย็นตัวจะแวววาวเป็นจุดๆ ก้อนใหญ่ ส่วนมากจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มม. (1 นิ้ว) โดยปูนเม็ดที่เผาไม่ได้ที่จะมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนหย่อมๆ การเผาที่เกินพอไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแต่อย่างใดเพียงแต่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบดปูนเม็ดทั้งนี้เพราะปูนเม็ดที่เผาเกินพอมีความแข็งแรงมาก

ปูนเม็ดที่ได้จากเตาเผาจะร้อนมากจึงต้องได้รับการลดอุณหภูมิให้เหมาะสมก่อนนำไปบด การลดอุณหภูมิกระทำโดยพ่นลมหรือน้ำเข้าไปในยั้งลดความเย็น (Clinker cooler) ซึ่งอาจจะเป็นแบบหมุน (Rotary cooler) หรือแบบตะแกรง การทำให้ปูนเม็ดเย็นลงต้องมีการควบคุมอย่างดี เพราะมีผลต่อคุณภาพของปูนซีเมนต์ ถ้าทำให้ปูนเม็ดเย็นตัวเร็วจะทำให้บดง่ายและความแข็งแรงภายใน 7 วันดีขึ้น แต่ถ้าทำให้ปูนเม็ดเย็นตัวช้าๆ ความแข็งแรงในระยะหลังจะสูงขึ้น โดยปูนเม็ดที่เย็นตัวแล้วจะนำไปบดละเอียดในหม้อบดปูน (Grinding mill) หากปูนเม็ดมีปริมาณของยิบซัมผสมอยู่น้อยต้องใส่ยิบซัมเพิ่มเข้าไปด้วย โดยให้มีปริมาณของยิบซัมผสมรวมอยู่ประมาณร้อยละ 5 ปูนเม็ดที่บดละเอียดแล้วส่วนมากจะผ่านตะแกรงร้อนมาตรฐานเบอร์ 200 ได้เกือบหมด การผสมยิบซัมลงไปด้วยก็เพื่อทำให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติก่อตัวช้าลงเมื่อผสมน้ำ เพราะถ้าไม่มียิบซัมเมื่อปูนซีเมนต์ได้ผสมกับน้ำจะก่อตัวเร็วเกินไปจนไม่มีเวลานานพอที่จะเอาไปเทลงแบบได้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากกว่าจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อตัวเป็นก้อนและแข็งตัวให้กำลังรับแรงได้เร็วกว่า ส่วนปูนซีเมนต์ที่หยาบกว่าอาจทำให้เกิดการยุ่ย หรือการคายน้ำได้มากกว่าปูนซีเมนต์ที่ละเอียด

บ่มจะบ่มผงปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้โดยใช้ลมไปเก็บไว้ในยังเก็บปูนซีเมนต์ (Bulk storage) ซึ่งเป็นถังทรงกระบอกใหญ่แนวตั้ง มีผนังปกคลุมมิดชิดกันความชื้น เพื่อนำไปบรรจุใส่ถุงและจำหน่ายต่อไป ในประเทศไทยจะบรรจุในถุงกระดาษมีเนื้อปูนจริง 50 กก. (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

2.1.3.1 กรรมวิธีผลิตของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่อำเภอ แก่งคอย จังหวัดสระบุรี เตาเผามี 6 เตาในโรงงานมีกำลังการผลิตปูนเม็ดรวม 38,500 ตันต่อวันกระบวนการผลิตนั้นเริ่มต้นจากการระเบิดหินปูน (Limestone) และหินเชล (Shale) จากเหมืองหินในเขตพื้นที่สัมปทาน ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้จะถูกนำมาเข้าเครื่องย่อยขนาดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดต่ำกว่า 80 มิลลิเมตร ในการผลิตปูนเม็ด 1 ตัน ต้องใช้หินปูนประมาณ 1.6 ตัน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 80 ของวัตถุดิบ หลังจากผ่านขั้นตอนของการย่อยขนาด หินที่ได้จะถูกนำมาผสมรวมกับวัตถุดิบพื้นฐานอื่นๆ เช่น แร่เหล็ก (Iron Ore) โดยจะถูกนำมาบดผสมรวมกันจนละเอียดเป็นผงฝุ่นในหม้อบดขนาดใหญ่ (Grinding Mill) จากนั้นทั้งหมดก็จะถูกผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันในไซโลผสมฝุ่นวัตถุดิบ (Homogenizing Silo) ก่อนส่งเข้าไปยังหอบความร้อน (Preheater Tower) และไหลเข้าสู่เตาเผา หลังจากผ่านขั้นตอนของเตาเผาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าปูนเม็ด ซึ่งจะถูกส่งผ่านไปยังห้องลดความร้อนและลำเลียงไปเก็บไว้ในไซโล สำหรับในกระบวนการขั้นสุดท้ายนั้น ปูนเม็ดจะถูกนำไปบดรวมกับยิปซัมและหินปูนในหม้อบดปูนซีเมนต์เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ผงตามที่ต้องการ จากนั้นจะถูกส่งไปเก็บยังไซโลเพื่อรอการบรรจุและส่งไปจำหน่ายต่อไป (Siam City Cement Public Company Limited, 2005)

2.1.4 สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ดในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่างที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังจากการเผาแล้ว อาทิเช่น ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate) และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์ทั่วไป ดังตารางที่ 2.2 ที่ให้ชื่อย่อของสารประกอบเหล่านี้ตามอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้ชื่อย่อของออกไซด์ของธาตุได้ด้วยอักษรของธาตุนั้นเพียงตัวเดียวกล่าวคือ CaO ย่อเหลือ C; SiO_2 ย่อเหลือตัว S; Al_2O_3 ย่อเหลือตัว A และ Fe_2O_3 ย่อเหลือตัว F นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆที่ได้หลังจากการเผา เช่น MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O และ Na_2O ซึ่งปะปนอยู่เป็นจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาลย์ เศรษฐบุต, 2540)

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	33 - 55
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15 - 35
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	7 - 15
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5 - 10

2.1.4.1 อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

สารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์นั้นมีผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของปูนซีเมนต์เมื่อนำไปผสมกับน้ำเพื่อทำให้เป็นมอร์ตาร์หรือคอนกรีต ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆของสารประกอบที่สำคัญ

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) เป็นสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วในระยะแรก (ประมาณ 14 วันหลังการผสม) มีอัตราการทำปฏิกิริยากับน้ำปานกลาง ก่อตัวภายในไม่กี่ชั่วโมง ให้ความร้อนปานกลาง (ประมาณ 120 คาลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นในระยะหลัง (ตั้งแต่ 14 – 28 วัน และเรื่อยไปเมื่อได้รับการบ่มชื้น) ทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำค่อนข้างช้าและให้ความร้อนที่น้อย (ประมาณ 60 คาลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีความทนทานสูงต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตและมีการหดตัวน้อย (Drying shrinkage) (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้รวดเร็วมากในช่วงระยะเวลารวดเร็ว (ประมาณ 1 วันหลังการผสม) เพราะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีที่ก่อตัวและแข็งตัวเร็ว ให้ความร้อนมาก (ประมาณ 210 คาลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ไม่ช่วยให้มีกำลังรับแรงอัดในระยะหลังทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness) และไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ไม่ค่อยมีส่วนในการพัฒนากำลังรับแรงอัดทั้งในระยะแรก และหลังเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ ให้ความร้อนน้อย (ประมาณ 100 คาลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน สารประกอบนี้ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา-ดำ

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาลย์ เศรษฐบุต, 2540)

คุณสมบัติด้านต่าง ๆ	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชม.)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาทีก)
2. การพัฒนากำลังรับแรงอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (อาทิตย์)	เร็วมาก (วันเดียว)	เร็วมาก (วันเดียว)
3. กำลังรับแรงอัดประลัย	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
4. ความร้อนจากไฮเดรชัน (จุดต่อกรัม)	ปานกลาง (500)	น้อย (250)	สูงมาก (850)	ปานกลาง(420)
5. คุณสมบัติอื่นๆ	คุณสมบัติเหมือนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	-	ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) หากมีอยู่ในปูนซีเมนต์เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนักทำให้เกิดความไม่คงตัว โดยมีการขยายตัวในมอร์ตาร์และคอนกรีต เกิดการแตกร้าวเสียหาย

ปูนขาวอิสระหรือ Free Lime (CaO) จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากที่ปูนซีเมนต์แข็งตัวแล้ว หากมีอยู่เกินกว่าร้อยละ 3 จะทำให้เกิดความไม่คงตัว และก่อตัวขึ้น

ยิบซัม (CaSO₄·2H₂O) ทำให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติก่อตัวและแข็งตัวช้าลง หากมีอยู่มากจะทำให้เกิดความไม่คงตัวและทำให้กำลังรับแรงน้อยลง

โปตัสเซียมออกไซด์ (K₂O) และโซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ซึ่งเป็นด่าง (Alkalies) ทำให้เพิ่มกำลังรับแรงอัดในระยะแรกแต่ทำให้กำลังรับแรงอัดในระยะหลังลดลง ถ้าผสมใช้กับวัสดุผสมที่ทำปฏิกิริยากับด่างอาจทำให้เกิดการขยายตัวในมอร์ตาร์หรือคอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหายได้นอกจากนี้ยังทำให้ปูนซีเมนต์ที่บรรจุอยู่ในถุง จับตัวเป็นก้อนเร็ว

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต (C₃S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C₂S) รวมกันเป็นปริมาณถึงร้อยละ 70-80 ของปริมาณทั้งหมด สารประกอบทั้งสองจะเป็นตัวควบคุมทำให้มอร์ตาร์หรือคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดทั้งในระยะแรกและระยะหลัง หากต้องการให้เกิดกำลังรับแรงอัดเร็วในระยะแรกจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่สารประกอบ C₃S ผสมอยู่มาก ซึ่งปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันก็จะมากด้วย ทำนองเดียวกันเมื่อต้องการให้มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดในเวลาต่อมา ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่มีสารประกอบ C₂S ผสมอยู่มากเช่นกัน ส่วนผสมกรณีนี้ที่

ต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตที่มีอยู่ในดินหรือน้ำ ก็จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่มีสารประกอบไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ผสมอยู่น้อย (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

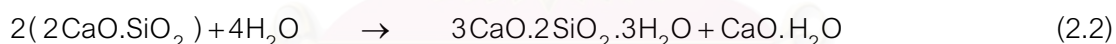
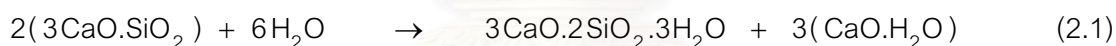
2.1.5 ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Hydration of cement) (หวั่งแก้ว บุญสวน, 2542; วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

2.1.5.1 ปฏิกริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์

ปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลัก คือ C_3S C_2S C_3A และ C_4AF ซึ่งรวมกันแล้วมีปริมาณมากถึง ร้อยละ 90 ของปริมาตรรวม จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ ดังนั้น ปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันหลายปฏิกริยาและมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน ดังนั้นในการที่จะเข้าใจปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์สามารถทำได้ โดยเริ่มด้วยการศึกษาปฏิกริยาไฮเดรชันของสารประกอบแต่ละตัว

1. แคลเซียมซิลิเกต (C_3S และ C_2S)

สารประกอบ C_3S และ C_2S ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกริยากับน้ำ ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$: $C_3S_2H_3$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$ หรือ $CaO \cdot H_2O$: CH) ซึ่ง C_3S จะให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่า ดังสมการทางเคมีต่อไปนี้



เมื่อผสม C_3S กับน้ำ ไอออนของแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สารละลายจะมีความเป็นด่างสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีค่าพีเอชสูงกว่า 12 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งจะมีมากในระยะแรกและจะลดลงอย่างรวดเร็ว การลดลงของปฏิกริยาสืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของไอออนของแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อถึงจุดหนึ่งความเข้มข้นของไอออนในสารละลายจะสูงพอทำให้เกิดการตกผลึกของ CH และในเวลาเดียวกัน C_3S จะเริ่มทำปฏิกริยาอย่างรวดเร็วอีกครั้งหนึ่งปฏิกริยาจะเกิดขึ้นบริเวณผิวของ C_3S ทำให้เกิด CSH ล้อมรอบเม็ดปูนหนาแน่นขึ้น และ ปฏิกริยาเป็นไปได้อย่างขึ้นแต่ยังคงเกิดขึ้นต่อไป ดังสามารถเขียนเป็นขั้นตอนการเกิดปฏิกริยาได้ดังนี้ (Camp, n.d.)

ขั้นที่ 1 เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว (Rapid heat generation) ประมาณ 15 นาที เมื่อผสมกับน้ำ โดยที่ผิวของ C_3S จะปล่อยแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ พีเอชจะเพิ่มขึ้นจนเป็น

สารละลายที่มีความเป็นด่างสูง เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ถึงจุดวิกฤตจึงเกิดการสร้างรูปของผลึก CH และ C-S-H เกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นแรกนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ขั้นที่ 2 ระยะดอร์แมนต์ (Dormant period) เกิดภาวะเป็นพลาสติกของซีเมนต์ (2 - 4 ชั่วโมง) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้ามาก CH สร้างผลึกจากสารละลาย C-S-H เกิดขึ้นบนผิวของ C_3S และสร้างชั้นเคลือบผิว เนื่องจากชั้นที่หนาขึ้นดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทะลุผ่านชั้นของน้ำจึงมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงต่ำ C_2S เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างช้าๆ เนื่องจากเป็นสารประกอบทำปฏิกิริยาได้น้อยกว่า

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนการเร่ง (Acceleration period) ความเข้มข้นวิกฤตของไฮดรอกไซด์เกิดไฮเดรตเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่ขั้นนี้ ซึ่งเป็นระยะที่ผ่านการก่อตัวระยะปลายมาแล้ว และกำลังเกิดการแข็งตัวในระยะต้น (4 – 8 ชั่วโมง)

ขั้นที่ 4 ขั้นการถดถอย (Deceleration) อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

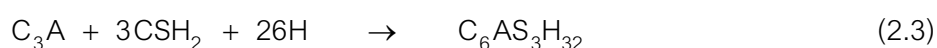
ขั้นที่ 5 ขั้นคงที่ (Steady state) อัตราการเกิดปฏิกิริยาคงที่ (12 – 24 ชั่วโมง) ที่จุดนี้ อุณหภูมิส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการเกิดไฮเดรชัน

ส่วนปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_2S นั้นทำปฏิกิริยากับน้ำในทำนองเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นช้ากว่าเพราะ C_2S ไม่ค่อยไวต่อการทำปฏิกิริยาเท่ากับ C_3S ดังนั้นความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_2S จึงน้อยกว่า C_3S

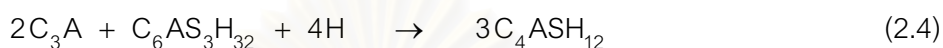
สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต $C_3S_2H_3$ ทำให้ซีเมนต์เฟสต์เกิดเป็นวุ้น (Gel) มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานมีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัว และยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้ซีเมนต์เฟสต์มีคุณสมบัติเป็นด่าง ช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้อาจทำปฏิกิริยาต่อไปอีกกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกาและอลูมินาผสมอยู่ เช่น วัสดุปอซโซลาน

2. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และ ยิปซัม

เนื่องจาก C_3A ทำปฏิกิริยารวดเร็วกับน้ำอย่างมากจะทำให้เกิดการก่อตัวโดยเฉียบพลัน (Flash set) ดังนั้นจึงผสมยิปซัม ($CaSO_4 - 2H_2O$ หรือ CSH_2) ลงในปูนซีเมนต์เพื่อหน่วงปฏิกิริยาของ C_3A ซึ่ง C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำและไฮดรอกไซด์ของซัลเฟตจากยิปซัม ดังสมการ



ซึ่งผลที่ได้ คือแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตไฮเดรต (Calcium sulpho aluminate hydrate: $C_6AS_3H_{32}$) หรือทั่วไปเรียกว่า เอททรินไกท์ (Ettringite) ซึ่งมีลักษณะยาวคล้ายเข็มและจะเกิดขึ้นรอบๆ C_3A เอททรินไกท์เพิ่มมากขึ้นรอบๆ C_3A ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ยากขึ้นและจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อไฮดรอกไซด์เฟตที่ได้จากยิปซัมหมดไปก่อนที่ C_3A จะเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ปฏิกิริยาที่ 2 สามารถเกิดขึ้นได้ โดยผลที่ได้เป็นแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตไฮเดรตที่มีซัลเฟตลดลงมีชื่อเรียกว่า โมโนซัลโฟลูมิเนต (Monosulfoaluminate: C_4ASH_{12}) ดังสมการ



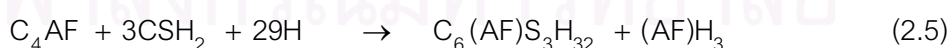
ซึ่งปฏิกิริยานี้อาจเกิดขึ้นก่อนการสร้างรูปของเอททรินไกท์ก็ได้ หากปฏิกิริยาของ C_3A และ ซัลเฟตนั้นเร็วกว่าที่ยิปซัมให้ได้ ถ้าโมโนซัลโฟลูมิเนตได้รับไฮดรอกไซด์เฟตอีกครั้งหนึ่งจะสร้าง เอททรินไกท์เพิ่มขึ้นและอาจทำให้เกิดรอยแตกซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเกิดการร้าวด้วยซัลเฟต เนื่องจากเอททรินไกท์ มีปริมาตรมากกว่า โมโนซัลโฟลูมิเนต

เมื่อไม่มีซัลเฟตที่ได้จากยิปซัม C_3A เกิดปฏิกิริยากับน้ำและสร้างรูปของแคลเซียมไฮเดรต 2 ชนิด ที่ไม่คงสภาพซึ่งต่อมาเปลี่ยนเป็นไฮโดรกราเนต ซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกันกับที่พบใน HAC โดย C_3A บริสุทธิ์อาจไม่ให้ค่าความแข็งแรงเมื่อก่อตัว

3. เทตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาของเทตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) มีความคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) โดยยิปซัมจะหน่วงปฏิกิริยาของ C_4AF มากกว่าการหน่วงปฏิกิริยาของ C_3A โดยปฏิกิริยาระหว่าง C_4AF และยิปซัมจะทำให้เกิดแคลเซียมซัลโฟลูมิเนต (Calcium Sulphoaluminate) และแคลเซียมซัลโฟเฟอร์ไรท์ (Calcium Sulphoferriate)

นอกจากนี้ปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสารประกอบ $(A, F)H_3$ อันเนื่องมาจากปริมาณของปูนขาวไม่เพียงพอสำหรับปฏิกิริยา ดังสมการ



แคลเซียมซัลโฟลูมิเนต และแคลเซียมซัลโฟเฟอร์ไรท์มีลักษณะเหมือนเข็มคล้ายเอททรินไกท์ และทำนองเดียวกันแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตและแคลเซียมซัลโฟเฟอร์ไรท์จะสามารถทำปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ที่มีซัลเฟตต่ำ ดังสมการ



ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_4AF มากและ C_3A ต่ำจะทนทานต่อการทำลายของซัลเฟต แสดงว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงกลับจากโมโนซัลโฟลูมินเนตที่เกิดจาก C_4AF เป็นเอททรินไกท์

2.1.5.2 ปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

การเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ สารประกอบต่างๆของปูนซีเมนต์จะทำปฏิกริยากับน้ำและมีอิทธิพลต่อกัน เช่น C_3A และ C_4AF จะแย่งไฮดรอกซิลของซัลเฟต C_3A ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกริยามากกว่าจะแย่งไฮดรอกซิลของซัลเฟตได้มากกว่าเป็นผลให้ C_4AF ไม่ถูกหน่วงในการทำปฏิกริยามากเท่ากับในกรณีของ C_3A นอกจากนี้ในปูนซีเมนต์นั้นยังมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ และถ้ามีในปริมาณมากพออาจมีผลต่อปฏิกริยา เช่น P_2O_5 สามารถทำให้ C_3S สลายตัวเป็น C_2S กับ CaO

ปริมาณของยิปซัมในปูนซีเมนต์จะต้องมีพอเหมาะ ซึ่งถ้ามียิปซัมมากเกินไปจะทำให้เกิดเอททรินไกท์มากหลังจากซีเมนต์เพสต์ได้ก่อตัวแล้ว ทำให้เกิดการขยายตัวและเกิดการวิบัติของซีเมนต์เพสต์ได้ แต่หากถ้ามียิปซัมน้อยเกินไป C_3A จะทำปฏิกริยาและเกิดเป็นสารละลายแข็ง $C_3A(CS,CH)H_{12}$ ก่อนที่ C_3S จะก่อตัว ปฏิกริยาของ C_3A ดังกล่าวต้องการไฮดรอกซิลของแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ทำให้ความเข้มข้นของไฮดรอกซิลของแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ลดลง และการเริ่มตกผลึกเป็น CH และการก่อตัวของ C_2S ต้องล่าช้าออกไป

ความร้อนที่ได้จากการที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกริยากับน้ำเรียกว่า heat of hydration วัดเป็นคาลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาให้ความร้อนประมาณ 85 ถึง 100 คาลอรีต่อกรัม ตามระยะเวลาภายหลังการผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้บางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมาแต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูงคอนกรีตอาจเสียความแข็งแรงได้ และความร้อนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงต่างๆภายในเนื้อของคอนกรีตซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตที่บาง ความร้อนสามารถถ่ายเทออกได้แต่โครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่และหนา เช่น เขื่อน จะต้องมีการออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต วิธีหนึ่งซึ่งอาจทำได้โดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทสี่ ที่ให้ความร้อนจากปฏิกริยาไฮเดรชันต่ำ (ประมาณ 60 – 70 คาลอรีต่อกรัม)

การทำปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำระเหยหนีออกจากเพสต์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มซึ่งเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของ

ปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์อุณหภูมิ และอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับทำให้ น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลา 1 เดือน โดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลองจะพบว่าปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ตามสภาพในสนาม คอนกรีตจะแห้งภายในเวลาไม่กี่วันหลังจากนั้นปูนซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปได้โดยอาศัยน้ำที่ซึมมาจากใต้ดินหรือจากความชื้นในขณะฝนตกหรือในขณะที่มีความชื้นในอากาศสูง ดังนั้นภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำจะยังคงมีต่อไปอีกหลายปี

2.2 กากอุตสาหกรรม

2.2.1 ความหมายของกากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรม หมายถึง ของเหลือทิ้งจากการผลิตหรือสิ่งของที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้การไม่ได้แล้ว หรือในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมไม่ต้องการใช้อีกต่อไป ซึ่งกากของเสียดังกล่าวยังมีคุณสมบัติหรือความเข้มข้นในระดับที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปกากของเสียอุตสาหกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. กากของเสียอันตราย (Hazardous Waste) คือ สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตราย หรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตรายที่ก่อให้เกิดอันตรายได้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ.2548) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟ สารกัดกร่อน สารที่ติดไฟได้ง่าย สารพิษ สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTL) ที่กำหนดไว้ และสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/L) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

2. กากของเสียที่ไม่อันตราย (Non-Hazardous Waste) คือ สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/L) น้อยกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

2.2.2 การนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำของเสียจากแหล่งต่างๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนหรือแม้แต่เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อเป็นการลดต้นทุนในด้านการผลิต อีกทั้งยังสามารถกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อย่างไรก็ตามการกำจัดของเสียได้จากการนำมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก

การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และโลหะหนักนั้น มีอิทธิพลต่อทั้งความแข็งแรงของคอนกรีต/ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) และความสามารถในการชะละลายของโลหะตลอดอายุการใช้งานหรือแม้แต่หลังหมดอายุการใช้งานไปแล้ว เช่น การนำไปฝังกลบหรือการกำจัด ดังนั้นในการนำเทคโนโลยีเผาไหม้ร่วม (Co-incineration) มาใช้นั้นจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจอย่างละเอียดถี่ถ้วนเกี่ยวกับเสถียรภาพของโลหะหนักที่อยู่ในปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างของเสียที่มักใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Environmental Toxicology International, 1992; Trezza และ Scian, 2000; Achternbosch และคณะ, 2003; Ract, Espinosa และ Tenorio, 2003; Shih, Chang และ Chiang, 2003)

ชนิด	วัตถุดิบที่ใช้
วัตถุดิบทดแทน	แร่เหล็ก ทราเยที่ใช้เป็นแบบหล่อ เถ้าหนัก เถ้าลอยจากถ่านหิน วัสดุจากการผลิตเหล็ก เถ้าจากการเผาน้ำมันรถยนต์เก่าที่ใช้แล้ว กัลวานิค สลัดจ์จากโรงงานชุบด้วยไฟฟ้า
เชื้อเพลิงทดแทน	เศษไม้ ตัวทำละลาย ของเสียพวกน้ำมัน ยางรถยนต์เก่า เชื้อเพลิงจากการผลิตขยะอุตสาหกรรมเฉพาะ เชื้อเพลิงทดแทนจากขยะชุมชน ขยะกระดาษ ขยะพลาสติก ส่วนผสมในกระดาษและพลาสติก วัสดุรถยนต์ วัสดุสิ่งทอ สารอินทรีย์ที่ใช้แล้ว เนื้อสัตว์และอาหารสัตว์

ตารางที่ 2.5 เชื้อเพลิงส่วนต่างๆที่ป้อนเข้าสู่ระบบสำหรับการผลิตปูนเม็ดในประเทศเยอรมนี
ปีพ.ศ.2542 (Achternbosch และคณะ, 2003)

ชนิดของเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงที่ป้อนสู่ระบบ	ปริมาณที่ป้อนเพื่อผลิตปูนเม็ด (ตัน/ปี)
เชื้อเพลิงปกติ	ถ่านหินแข็ง (Hard coal)	980,000
	ถ่านหินสีน้ำตาล (Brown coal)	2,140,000
	ถ่านโค้กน้ำมัน (Oil coke)	312,903
เชื้อเพลิงทดแทน	ยางที่ใช้แล้ว (Used types)	236,000
	น้ำมันที่ทิ้งแล้ว (Waste oil)	181,000
	เศษไม้ (Scrap wood)	77,000
	ชิ้นส่วนของเสียจากการค้าชุมชน และอุตสาหกรรม	290,000

ตารางที่ 2.6 สัดส่วนของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปในเตาเผาซีเมนต์ในประเทศเยอรมนี ปีพ.ศ.2542
(Achternbosch และคณะ, 2003)

วัตถุดิบที่ป้อน		ปริมาณที่ป้อนเข้าไปในเตาเผา ซีเมนต์(ตัน/ปี)
วัตถุดิบโดยตรง	หินปูน	35,695,913
	ดินเหนียวปนปูน	10,000,000
	ดินเหนียวรวมกันเบนโทไนต์/คาร์บอนไนต์	1,985,000
	ทราย	1,240,000
วัตถุดิบทดแทน	วัสดุจากการผลิตเหล็ก	170,000
	แร่เหล็ก	117,000
	เถ้าจากกระบวนการเผา	240,000
	เถ้าลอยจากถ่านหิน	212,039
	ทรายที่ใช้เป็นแบบหล่อ	140,000

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบของของเสียอันตรายที่ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน (Achterbosch และคณะ, 2003)

ของเสีย	ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ร้อยละสูงสุดที่ สามารถเติมได้	อ้างอิง
เถ้าจากการเผา น้ำมันรถที่ใช้แล้ว	CaO = 21.34, SiO ₂ = 3.80, Al ₂ O ₃ = 1.64 และ Fe ₂ O ₃ = 2.32	-	Trezza และ Scian, 2000
กัลวานิคสลัดจ์จาก โรงงานชุบด้วยไฟฟ้า	Ca = 43.19, Si = 9.02, Al = 2.33 และ Fe = 1.88	2	Ract, Espinosa, และ Tenorio, 2003
เถ้าจากเตาเผาขยะ ชุมชน	CaO = 27.02, SiO ₂ = 29.4, Al ₂ O ₃ = 18.0 และ Fe ₂ O ₃ = 2.32	< 5	Shih และคณะ, 2003

สภาวะทางเคมี-ฟิสิกส์ของการชะละลายในแต่ละช่วงวัฏจักรของซีเมนต์นั้นแตกต่างกัน และมีอิทธิพลอย่างมากต่อเสถียรภาพของโลหะหนักที่แฝงตัวอยู่ในซีเมนต์เฟส ซึ่งปัจจุบันสำคัญที่ควบคุมพฤติกรรมของการชะละลายของโลหะหนักในระบบสู่งสิ่งแวดล้อม การทบทวนเอกสารที่จะแสดงต่อจากนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะสรุปความรู้และความเข้าใจที่มีอยู่ในปัจจุบัน เกี่ยวกับการเคลื่อนตัว/การชะละลายของอนุภาค/โลหะออกจากคอนกรีตหรือจากซีเมนต์เฟสในแต่ละช่วงวัฏจักร ตั้งแต่การผสมน้ำเพื่อหล่อแข็งตลอดจนถึงการใช้งาน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาการชะละลายของโลหะจากโครงสร้างที่ทำจากปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตจากการใช้วัสดุเฝ้าร่วมนั้น ยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นการอธิบายทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยจึงเกิดจากการประยุกต์ใช้ผลและข้อสรุปจากการทดลองการชะละลายของกากอุตสาหกรรมที่ผ่านการปรับเสถียรโดยการหล่อแข็ง (Solidification/Stabilization)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การรั่ว/ชะละลายของโลหะหนักเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระยะแรกในระบบซีเมนต์ (Release of trace elements into the mixing water)

ในกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งและปรับเสถียร (The solidification and stabilization process) ของของเสียที่มีโลหะหนักอยู่นั้น ซีเมนต์และของเสียจะผสมกันกับน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water to cement ratio) และของเสียต่อวัสดุประสาน (Waste to binder ratio) ตามที่ออกแบบไว้ โดยสมมุติว่าการชะละลายของโลหะหนักนั้นจะเกิดขึ้นมากทำให้มีความเข้มข้นขึ้นในระบบซีเมนต์-น้ำในช่วงเวลาที่แรกๆ ในทำนองเดียวกันในช่วงช่วงแรกๆ ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะส่งผลให้เกิดการตกตะกอนขั้นต้นของโลหะไฮดรอกไซด์และตามมาด้วยระยะที่เกิดการสร้างสารประกอบเชิงซ้อน เช่น AF_m (โมโนซัลเฟต: Monosulphate) AF_t (เอททรินไกท์: Ettringite หรือ อลูมิโนเฟอร์ไรท์ ไตรซัลเฟต: $C_6AS_3H_{32}$) และ CSH (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต) เนื่องจากพีเอชของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากจากการเกิดปฏิกิริยาหลักของปูนซีเมนต์เม็ด ดังนั้นโลหะหนักทั้งหลายจะตกตะกอนอยู่ในรูปของตะกอนไฮดรอกไซด์ในทันที ในขณะที่ผิวหน้าของซีเมนต์จะดูดซับโลหะหนักที่ไม่เกิดการตกตะกอน (Yousuf และคณะ, 1995 อ้างถึงใน Achternbosch และคณะ, 2003) อาทิ การรวมตัวของ แคดเมียม (Cadmium : Cd) โครเมียม (Chromium : Cr) แทลเลียม (Thallium : Tl) และ สังกะสี (Zinc : Zn) ในของผสมซึ่ง Seidel (1959 อ้างถึงใน Achternbosch และคณะ, 2003) รายงานไว้ว่ามี Cr^{6+} ละลายอยู่เกือบร้อยละ 100 เนื่องจากไม่สามารถตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ได้ตรงกันข้ามในสารละลายมี แทลเลียม และแคดเมียมหรือ สังกะสีละลายเหลืออยู่เพียงร้อยละ 0.1 และ 0.001 ตามลำดับ โดยกระบวนการต่างๆ เกือบเสร็จสมบูรณ์หลังจากผ่านไป 4 สัปดาห์ และอนุภาคปริมาณน้อยๆ ทั้งหมดจะไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากอยู่ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง โดย CSH จะจับอนุภาคปริมาณน้อยๆ ที่มีอยู่ด้วยกันหลายรูป เช่น CdO หรือ HgO ซึ่งเป็นการป้องกันการชะละลาย (van der Sloot และคณะ, 2001 อ้างถึงใน Achternbosch และคณะ, 2003)

2.4 การชะละลายในระยะยาว (Long-term Leaching)

ถึงแม้ว่ากระบวนการดูดซับ (Sorption) การตกตะกอน (Precipitation) และการตกผลึก (Crystalline) จะยึดโลหะหนักไว้ในซีเมนต์ในขั้นตอนแรกๆ ของการรวมตัวกับน้ำในช่วงอายุการใช้งาน แต่โครงสร้างดังกล่าวนั้นก็ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้ากับสภาวะที่กระตุ้นให้เกิดการชะละลายของโลหะออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ จากสภาวะทั้งหมดปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวกับการปล่อยโลหะออกสู่สิ่งแวดล้อม คือการสัมผัสกันระหว่างน้ำกับโครงสร้างคอนกรีต/ซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากปูนซีเมนต์ที่ผลิตจากการใช้วัสดุร่วมเผา (Co-incinerated cement) นั้นโดยปกติจะนำมาทำเป็นคอนกรีต (Concrete) หรือมอร์ตาร์ (Mortar) ซึ่งนำมาใช้เป็นฐานราก ภาชนะบรรจุน้ำ ท่อส่งน้ำ และ

วัสดุปูพื้นถนน ในสภาพแวดล้อมดังที่กล่าวมานั้นจะสามารถสัมผัสกับน้ำได้ 2 วิธีคือ การไหลซึมผ่านโครงสร้าง (Percolation through the matrices) และการไหลรอบโครงสร้าง (Flow around the matrices) หรือส่วนของรอยแตก

ภาพรวมของการปล่อยอนุภาคละลายน้ำที่บรรจุอยู่ในรูพรุนของซีเมนต์ซึ่งสัมผัสกับน้ำ เป็นผลมาจากการเกิดองค์ประกอบเชิงซ้อน (Complex) และปรากฏการณ์อีก 2-3 ปรากฏการณ์ โดยการเคลื่อนที่ของน้ำในชั้นตัวกลางที่มีความพรุนขึ้นอยู่กับความความอึดตัวของสารละลาย การละลายของอนุภาคต่างๆ ในรูพรุนจะขึ้นอยู่กับสถานะทางเคมีนั้นๆและมีอาการเปลี่ยนแปลงของชนิดของอนุภาคที่ละลายอยู่ในชั้นรูพรุน (รวมถึงความเป็นไปได้ที่จะกลับมาตกตะกอนใหม่) หากสถานะทางเคมีเปลี่ยนไปเนื่องจากการปล่อยอนุภาคชนิดที่ควบคุมพีเอช (เช่น Portlandite: $\text{Ca}(\text{OH})_2$) การเคลื่อนที่ของอนุภาคจากตัวกลางที่มีรูพรุนไปสู่สารละลายมีสาเหตุมาจากผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีของการละลายนั้นมิกไกที่แตกต่างกัน 3 กลไก ที่ได้เสนอการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ละลายได้ในขณะที่เกิดการละลายของก้อนของแข็งใน ระยะสั้น กลาง และในระยะยาว ได้แก่ 1.การชะล้างที่จุดเริ่มต้นของการสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว (Surface wash off) 2.การละลายของโครงสร้างที่มีสารมลพิษบรรจุอยู่ (Solubilization) และ 3.การปลดปล่อยของอนุภาคที่ละลายอยู่ภายในโครงสร้างรูพรุนโดยอาศัยกลไกการแพร่ (Diffusion) ตามลำดับ (van der Sloot และ คณะ, 1990 อ้างถึงใน Barna และ คณะ, 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีกลไกการละลายเกิดร่วมกันอีกด้วย เช่น การชะล้างที่ผิวหน้าซึ่งเกิดตอนเริ่มต้นของการละลาย แต่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมากเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานซึ่งกระบวนการที่ควบคุมการแพร่นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับธรรมชาติของวัสดุ (Schiesl และ Hohberg, 1997)

สำหรับชนิดของวัสดุ และกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุมีอิทธิพลต่อกลไกการละลายที่ปรากฏเมื่อเกิดสภาพการละลาย อาทิ วัสดุที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูงอาจสามารถจำแนกอยู่ในวัสดุประเภทเม็ดเล็กๆ (Granular material) สำหรับวัสดุที่มีความพรุนการแพร่ของอนุภาคที่สนใจออกจากวัสดุก้อนแข็ง (Monolithic material) นั้นอาจเป็นกระบวนการที่ควบคุมอัตราการละลาย โดยความสัมพันธ์ที่ดังกล่าวสามารถพิสูจน์ได้จาก กฎการแพร่ของฟิคส์ (Fick's diffusion laws) (Crank, 1975 และ Coté, 1987 อ้างถึงใน Schiesl และ Hohberg, 1997)

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ $-1/2$ ในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของกระแสความหนาแน่นของไอออนที่พิจารณา กับลอการิทึมของเวลานั้น แสดงค่าที่เป็นจริงก็ต่อเมื่อ สภาวะภายในของวัสดุยังคงไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งอาจกินเวลาถึงหลายร้อยปี ความสัมพันธ์นี้อาจสามารถใช้สมมติสำหรับคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ซึ่งสัมผัสกับดินหรือน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตามสภาวะภายในของตัวอย่างของเสียที่ผ่านการปรับเสถียร

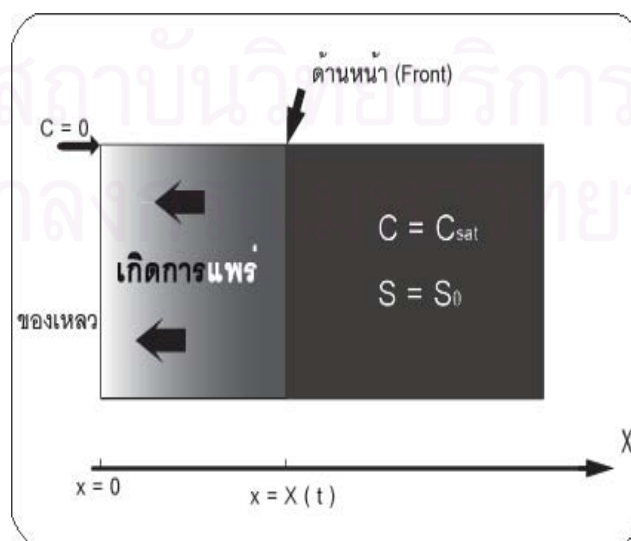
อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเนื่องมาจากการเกิดคาร์บอนเนชันหรือการชะละลายของต่าง ซึ่งมีผลจากการลดลงของพีเอช นอกจากนี้แล้วโครงสร้างรูพรุนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของวัสดุกับน้ำแข็งกับธรรมชาติ ผลที่ได้ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับพฤติกรรมการชะละลายนั้น อาจแตกต่างกันออกไป สำหรับองค์ประกอบบางชนิดการลดลงของพีเอชนั้นอาจเพิ่มความสามารถในการละลายเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตการชะละลาย ในขณะที่องค์ประกอบบางชนิดอาจเกิดการตกตะกอนของเกลือขึ้น (เช่น การเกิดคาร์บอนเนชันที่ผิวด้านนอก) (Schiesl และ Hohberg, 1997)

กระบวนการคาร์บอนเนชัน (Carbonatization) เริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงอายุการใช้งานเกิดจากพีเอชที่สูงของสารละลายในโครงสร้างรูพรุนในคอนกรีตกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีตจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศซึ่งเป็นผลให้พีเอชของสารละลายในรูพรุนลดลงอย่างช้าๆ และแคลเซียม (Ca) จะละลายออกจากซีเมนต์เฟสที่แข็ง (ส่วนใหญ่จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์: $\text{Ca}(\text{OH})_2$) แคลเซียมที่ละลายออกมาจะตกตะกอนเป็นคัลไซต์ (calcite : CaCO_3) อยู่ในปริมาตรรูพรุน อัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันขึ้นกับรูพรุนและความเปียกของพื้นผิวเริ่มต้นในช่วงเวลา 20 ปีอาจเกิดได้ถึง 10 มิลลิเมตร การลดลงของพีเอชที่ใกล้กับผิวหน้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโลหะมากขึ้น โลหะหลายชนิด อาทิ สารหนู (As) ดีบุก (Sn) ซีลีเนียม (Se) เทลเลียม (Te) และปรอท (Hg) นั้นเคลื่อนที่ได้ที่พีเอชสูง (ประมาณ 11) หลังจากที่ใช้บัพเฟอร์ของซีเมนต์จนหมดต่อจากนั้นระบบจะทำการสร้างบัพเฟอร์ขึ้นมาจาก CSH ที่พีเอชระหว่าง 9 และ 11 ซึ่งจะช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของ วานาเดียม (V) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ดังนั้นการเคลื่อนที่ของสารเหล่านี้ขึ้นอยู่กัระยะเวลาที่บัพเฟอร์ของ CSH มีประสิทธิภาพ ตะกั่ว (Pb) และโคบอลต์ (Co) ไม่เคลื่อนที่ในบัพเฟอร์ของคาร์บอนเนต ซึ่งทั้ง 2 นี้จะละลายได้ที่พีเอชที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามค่าที่ได้นี้อาจพบได้ตามธรรมชาติทั่วไป ภายหลังจากการสลายของคาร์บอนเนตและ AF_m (โมโนซัลเฟต: Monosulphate) ในทางตรงกันข้ามโครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) และดีบุก (Sn) นั้นแทบไม่ละลายเลย ผลที่ได้โดยยึดถือพฤติกรรม การชะละลายนั้นอาจแตกต่างกันออกไป ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นว่าองค์ประกอบบางชนิดจะมีความสามารถในการละลายสูงขึ้นเมื่อลดพีเอช อีกกรณีหนึ่งการลดลงของพีเอชอาจทำให้เกิดการตกตะกอนของเกลือได้ (การเกิดคาร์บอนเนชันที่ผิวด้านนอก)

ถึงแม้ว่านักวิจัยส่วนมากจะพิจารณาว่าการเคลื่อนที่ของมวลสารในขณะเกิดการชะละลายนั้นสามารถอธิบายได้จากกลไกการแพร่ที่ปรากฏแต่อันที่จริงแล้ว Barna และคณะ (Barna และคณะ, 1997) แสดงให้เห็นว่ากลไกการแพร่นั้น ไม่สามารถอธิบายถึงการชะละลายของธาตุทุกธาตุได้ ซึ่งสรุปได้ว่าลักษณะเฉพาะทางเคมีของธาตุที่สนใจนั้นแสดงบทบาทที่สำคัญต่อการพิจารณารูปแบบของการชะละลาย และยังแสดงให้เห็นว่ากลไกการชะละลายนี้เป็นตัวแทนที่ดีใกล้เคียงความเป็นจริง ในกรณีที่สารสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ในน้ำที่อยู่ในรูพรุน (เช่น ในกรณีของโซเดียม) ซึ่ง

ความสามารถในการละลายนั้นไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะทางเคมี-ฟิสิกส์ของการชะละลาย อย่างไรก็ตามสำหรับอนุภาคที่ละลายได้และความสามารถในการละลายไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะทางเคมี-ฟิสิกส์ของการชะละลายซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งที่จุดเริ่มต้นของการชะละลาย (เช่นในกรณีของแคลเซียม) หรืออนุภาคที่ความสามารถในการละลายเปลี่ยนแปลงไปตามเคมี-ฟิสิกส์ของสภาวะการชะละลาย เช่นโลหะที่สามารถละลายได้ทั้งในกรดและเบส (Amphoteric metal) กลไกการแพร่พื้นฐานนี้ยังไม่อาจให้ผลที่ดีที่สุดได้

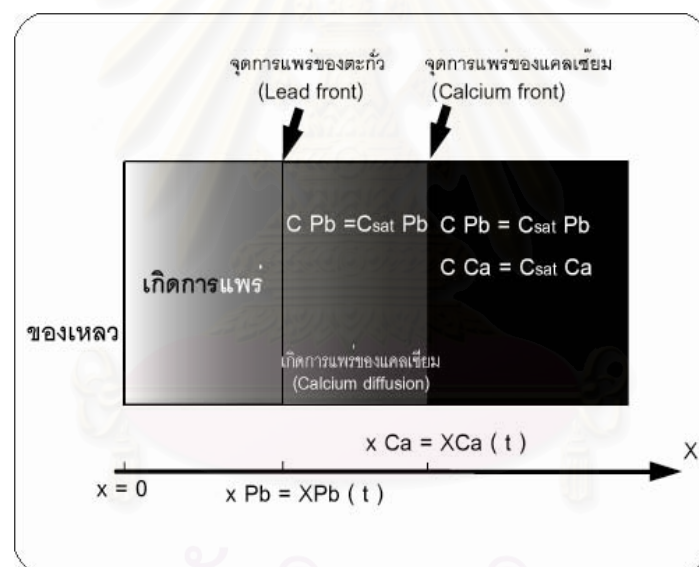
จากผลการศึกษาของ Barna และคณะ สำหรับองค์ประกอบที่ละลายได้ซึ่งความสามารถในการละลายไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะการชะละลายทางเคมี-ฟิสิกส์ และอยู่ในโครงสร้างในรูปของแข็งในขั้นตอนแรก การประยุกต์ใช้แบบจำลอง Shrink front ให้ผลใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นซึ่งประกอบด้วย 2 กรณีคือ กรณีขององค์ประกอบที่สามารถละลายได้เพียงองค์ประกอบเดียวโดยปราศจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และอีกกรณีคือมีองค์ประกอบ 2 ตัวและสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น กรณีแรกเหมาะสำหรับใช้อธิบายการชะละลายของแคลเซียมโดยปราศจากการจับคู่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคอื่น ในทางทฤษฎีแบบจำลอง shrinking core ลำดับแรก (ชนิดพิจารณาองค์ประกอบเดียว) นั้นแยกให้เห็นความแตกต่างของก้อนของแข็งที่นำมาชะละลายออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งแยกตามการสลายตัวดังแสดงในรูป 2.1 ส่วนนอก (outer zone) อยู่ใกล้กับผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็ง ซึ่งของแข็งจะสร้างรูปที่ละลายได้ (ความเข้มข้น S_0) และสลายตัวออกจากโครงสร้างรูพรุนโดยซึมผ่านออกมายังสารละลายโดยอาศัยการแพร่ (สัมประสิทธิ์การแพร่ D_0) ในทางตรงกันข้ามส่วนที่ 2 ซึ่งอยู่ใกล้กับแกนของของแข็งมากกว่าจะไม่มีการไหลซึมหรือการเคลื่อนที่ของมวลสาร (ความเข้มข้นขององค์ประกอบในสารละลายชั้นรูพรุนเกิดการอิ่มตัว) โดยสมมุติว่าการละลายนั้นเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน



รูปที่ 2.1 แผนภาพของแบบจำลอง Shrink front (ชนิดที่มีอนุภาคที่สนใจ 1 ชนิด)

ในกรณีที่สองของการใช้งานนั้นเหมาะสำหรับการชะละลายอนุภาคที่ละลายได้ 2 ชนิดซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ ตัวอย่างเช่น การชะละลายของตะกั่วออกมาจากมอร์ตาร์ ซึ่งมี $\text{Ca}(\text{OH})_2$ อยู่ซึ่งการนำไปใช้นี้เหมาะสมสำหรับการอธิบายเกี่ยวกับการชะละลายของอนุภาคที่สามารถในการละลายนั้นขึ้นอยู่กับ สภาวะทางเคมี ฟิสิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พีเอช (เช่น พวกโลหะที่สามารถละลายได้ทั้งสภาวะกรดและเบส) โดยความสามารถในการละลายของอนุภาคที่อยู่ในรูปปูนและพีเอชในโครงสร้างเป็นตัวกำหนดกลไกการชะละลายของอนุภาคเหล่านี้ในกรณีดังกล่าว จะต้องนำส่วนที่จะกล่าวต่อจากนี้เข้าไปรวมอยู่ในการพิจารณาด้วย

1. อนุภาคที่ละลายได้เกิดปฏิกิริยาในชั้นของเหลว ซึ่งปฏิกิริยานั้นมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น (เช่น ในชั้นรูปปูน)
2. ตัวอย่างที่นำมาทดสอบการชะละลายมีขนาดจำกัดแต่ไม่เป็นศูนย์
3. ความเข้มข้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งมีค่าคงที่เป็นศูนย์



รูปที่ 2.2 แผนภาพของแบบจำลอง Shrink front (ชนิดที่มีอนุภาคที่สนใจ 2 ชนิด)

สำหรับการนำแบบจำลองนี้ไปใช้งาน มีการกำหนดขอบเขตอยู่ 3 ส่วนซึ่งสามารถแสดงให้เห็นเป็นภาพได้ใน รูปที่ 2.2 โดยเป็นแสดงการชะละลายของตัวอย่างเพียงด้านเดียว

1. ส่วนที่อยู่ในของแข็งซึ่งอยู่ใกล้กับผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งที่ซึ่งแคลเซียม และตะกั่วได้เกิดการละลายออกไปแล้ว ปริมาณของแคลเซียมและตะกั่วในน้ำชั้นรูปปูนในส่วนนี้เกิดการเคลื่อนที่โดยการแพร่ผ่านออกไปยังผิวของของเหลว

2. ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ใกล้เคียงของแข็งมากขึ้นซึ่ง Ca(OH)_2 สามารถละลายได้ สารประกอบไฮดรอกไซด์ของตะกั่วในรูปของแข็งยังปรากฏให้เห็นอยู่ ดังนั้นในรูปพูนจะอิมิตัวด้วย ตะกั่ว ในส่วนนี้แคลเซียมเคลื่อนย้ายโดยการแพร่ความเข้มข้นของตะกั่วที่นั่นอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ใน สารละลายหรืออยู่ในของแข็ง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพีเอชในรูปพูน

3. ส่วนที่สามของแข็งทั้งสองปรากฏและไม่มีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนย้ายของมวลสาร

ความเข้มข้นของอนุภาคซึ่งสมดุลในสถานะของเหลวนั้นสามารถประเมินได้จาก

1. สมดุลระหว่างของแข็ง และสารละลายที่สัมผัส
2. ความเป็นกลางทางไฟฟ้า
3. ปฏิกริยาที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างอนุภาคที่ปรากฏอยู่ในสารละลาย

อย่างไรก็ดี การเคลื่อนที่ขององค์ประกอบที่มีปริมาณน้อย ๆ ออกจากคอนกรีต ยังคง ขึ้นกับลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของคอนกรีตเอง (latter's physical properties) ตัวแปรที่สำคัญ คือโครงสร้างรูปพูนเริ่มแรกของคอนกรีต ซึ่งมีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต คุณสมบัติในการรวมเป็นเนื้อเดียวหรือการบดอัดและสูตรของคอนกรีต

2.5 การชะละลายและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชะละลาย (Todorovic และ Ecke, 2004)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชะละลายสามารถแบ่งออกได้เป็น ทางฟิสิกส์และทางเคมี

2.5.1 ปัจจัยทางฟิสิกส์ที่มีอิทธิพลต่อการชะละลาย

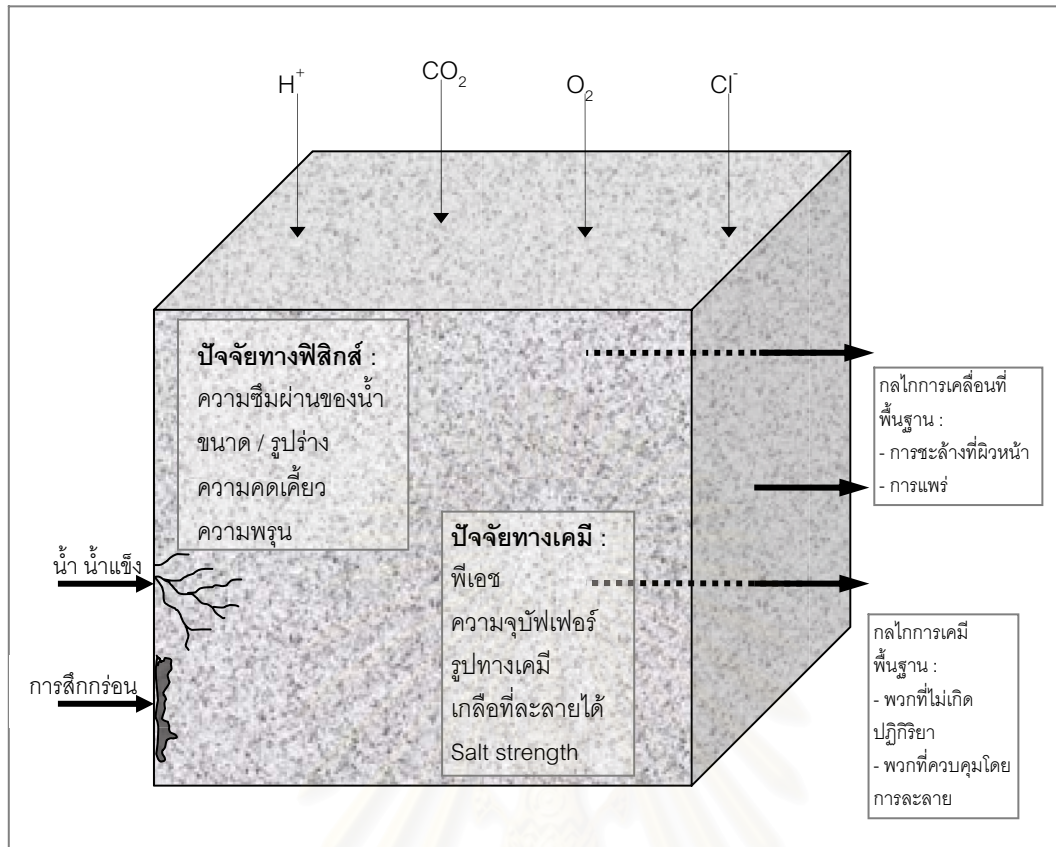
2.5.1.1 ลักษณะสมบัติของอนุภาค (Particle properties)

2.5.1.2 โครงสร้างรูปพูนภายในโครงสร้างของแข็ง (Internal pore structure of the solids matrix)

2.5.1.3 อุณหภูมิ (Temperature)

2.5.1.4 เวลาสัมผัส (Time of contact between phases)

2.5.1.5 อัตราส่วนระหว่างของเหลวและของแข็ง (Liquid-to-solid ratio)

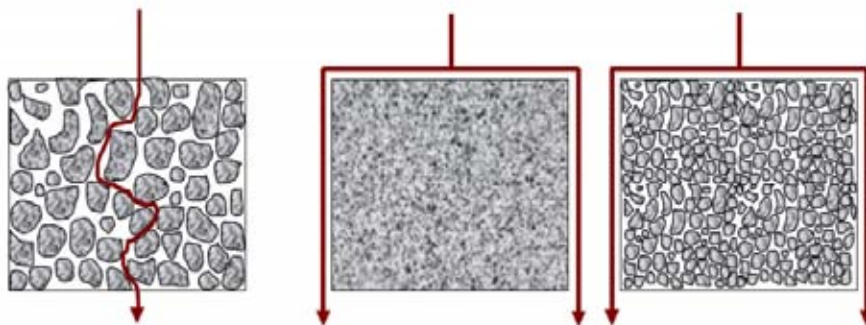


รูปที่ 2.3 ปัจจัยทางฟิสิกส์-เคมี ที่มีผลต่อการชะละลายของสารมลพิษ ออกจากวัตถุก้อนแข็ง (van der Sloot และ Dijkstra, 2004)

ลักษณะสมบัติของอนุภาค (Particle properties) เช่น ขนาดของอนุภาค และ โครงสร้างรูพรุนมีอิทธิพลต่อการชะละลายจากผิวหน้าที่สัมผัสกับสารชะละลาย ค่าที่ใช้อธิบายถึง โครงสร้าง รูพรุนภายในของวัตถุก้อนแข็ง และวัสดุเป็นเม็ดที่ผ่านการบดอัดมาแล้ว คือ

1. ความสามารถที่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (permeability) คืออัตราที่ของเหลวสามารถไหลซึม(percolate) ผ่านชั้นของวัสดุ
2. รูพรุน (porosity) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่าง และ ปริมาตรของวัสดุ
3. ความคดเคี้ยว (tortuosity) คืออัตราส่วนระหว่างความยาวของเส้นทางจริง และ เส้นทางที่ปรากฏของการแพร่ผ่านวัสดุ

อย่างไรก็ดีไม่ว่าของเหลวจะไหลซึมผ่านวัสดุหรือไหลรอบวัสดุ โดยทั่วไปจะพิจารณา เป็นความสามารถในการยอมให้ของเหลวซึมผ่านวัสดุและกลไกการชะละลายนั้นคล้ายกันระหว่าง ของวัตถุก้อนแข็ง (Monolithic) และวัสดุที่ผ่านการบดอัดให้มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำต่ำ



รูปที่ 2.4 ทิศทางการไหลผ่านของสารละลายผ่านตัวกลางชนิดต่างๆ

อัตราส่วนระหว่างของเหลวและของแข็ง (L/S ratio) มีความสัมพันธ์ต่อเวลาที่สัมผัสในการชะละลาย โดยการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างของเหลวต่อของแข็งในห้องปฏิบัตินั้นสามารถสร้างการทำนายความสามารถในการชะละลายในระยะยาวให้เป็นไปได้ โดยอัตราส่วนนั้นยังเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการชะละลายที่แตกต่างกัน (Kylefors, Andreas และ Lagerkvist, 2003)

2.5.2 ปัจจัยทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อการชะละลาย

2.5.2.1 พีเอช (pH)

2.5.2.2 ความสามารถในการรับ-จ่ายอิเล็กตรอน (Redox potential)

2.5.2.3 การมีอยู่ของอนุภาคที่สามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อน (Availability of complex formers)

2.5.2.4 การมีอยู่ของพื้นผิวที่มีการดูดซับ (Availability of sorption surfaces)

พีเอชมีอิทธิพลต่อความสามารถในการชะละลายของอนุภาคหลากหลายชนิด การเคลื่อนที่ของโลหะส่วนใหญ่มากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด อาจเนื่องจากโลหะจะสร้างรูปที่เคลื่อนที่ได้ที่พีเอชต่ำและโลหะเชิงซ้อนจะสร้างรูปร่างที่เล็กลงในสภาวะกรด องค์ประกอบบางชนิดจับตัวเป็นออกไซด์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งกรดและเบส ซึ่งเรียกองค์ประกอบจำพวกนี้ว่า แอมโฟเทอริก (Amphoteric) โดยความสามารถในการชะละลายขององค์ประกอบจำพวกนี้จะต่ำในช่วงพีเอชที่เป็นกลางและจะสูงขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นหรือลดต่ำลง องค์ประกอบที่สร้างรูปเป็นออกไซด์ประจุลบของโลหะ (Oxianions) เช่น สารหนู โครเมียม เซเลเนียม จะแสดงความสามารถในการชะละลายออกมาได้สูงที่สุดที่สภาวะเป็นกลาง (van der Sloot, Heasman และ Quevauviller, 1997) อย่างไรก็ตามความสามารถในการชะละลายของ โซเดียมและคลอไรด์นั้นไม่ขึ้นกับพีเอช ทั้งนี้พีเอชไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการชะละลาย แต่ส่งผลต่อการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนและกระบวนการดูดซับ

ศักยภาพในการรับ-จ่ายอิเล็กตรอน (Redox potential) ของระบบนั้นค่อนข้างสำคัญสำหรับการชะละลายเนื่องจากหากการสร้างรูปทางเคมีนั้นเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนอาจมีความสามารถในการชะละลายแตกต่างกันไปจากการสร้างรูปภายใต้สภาวะรีดิวซิง (Reducing conditions) การมีอยู่ของแร่ธาตุชนิดออกซิไดซิง (Oxidizing) หรือรีดิวซิง (Reducing) หรือ ออกซิเจนอาจส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของโลหะ

การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) กับลิแกนด์ (Ligand) ที่เป็นสารอินทรีย์หรือ สารอนินทรีย์ อาจนำไปสู่การเคลื่อนที่ขององค์ประกอบออกจากของแข็ง ถ้าไม่เช่นนั้นก็อาจจะไม่สามารถละลายออกมา ความสามารถในการชะละลายของแคดเมียมมีอิทธิพลอย่างมากจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับคลอไรด์ (van der Sloot และคณะ, 1997) ปฏิกิริยาการดูดซับ (Sorption reactions) นำไปสู่การสร้างพันธะขององค์ประกอบที่ละลายลงบนผิวหน้าของของแข็ง (Meima และคณะ, 2002)

2.6 การปลดปล่อยของอนุภาคจำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสาร (Release of species)

พฤติกรรมของการชะละลายของอนุภาค หรือสารหลากหลายชนิดสามารถแยกให้เห็นความแตกต่างได้ออกเป็น 2 กรณี ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสารนั่นเองอันได้แก่

2.6.1 ชนิดที่สามารถละลายได้ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะทางเคมีฟิสิกส์ เช่น คลอไรด์ โซเดียม โพแทสเซียม

2.6.2 ชนิดที่มีความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับสภาวะทางเคมีฟิสิกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พีเอช

ในส่วนที่จะกล่าวต่อไปเป็นการศึกษาพฤติกรรมขององค์ประกอบชนิดต่าง ๆ กับการละลาย

1. ธาตุฮาโลเจน และ โลหะอัลคาไลน์ (Halogens and alkali metals)

ความสามารถในการละลายของสารประกอบจากธาตุฮาโลเจนและธาตุอัลคาไลน์ (ยกเว้นที่มาจาก ฟลูออรีน : F) ไม่ขึ้นกับพีเอช (van der Sloot และคณะ, 1997) ชี้ความสามารถในการละลายไม่ได้จำกัดพฤติกรรมของการชะละลายของสารเหล่านี้และสารเหล่านี้พร้อมที่จะชะละลายละลายออกอย่างรวดเร็ว การบำบัดโดยทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) ไม่ได้ช่วยให้สารเหล่านี้หยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่เนื่องจากสารเหล่านี้ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับโครงสร้างแข็ง (Solid matrix) จากพฤติกรรมของการชะละลายที่กล่าวมาบางครั้งเรียกสารประเภทนี้ว่า สารเฉื่อย (Inert)

2. โลหะ (Metals)

ความสามารถในการชะละลายของอลูมิเนียมส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งความสามารถในการละลายต่ำสุดที่พีเอช 5 (van der Sloot และคณะ, 1997)

ความสามารถในการละลายของแคดเมียมจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งต่ำสุดที่พีเอชมีค่าเท่ากับ 11 (Moszkowicz และคณะ, 1998) อย่างไรก็ตาม การชะละลายของแคดเมียมมีผลกระทบอย่างมากจากการมีอยู่ของคลอไรด์ ความแตกต่างของความสามารถในการชะละลายเป็นฟังก์ชันกับพีเอช อาจเนื่องจากการสร้างรูปที่ละลายได้ของสารประกอบเชิงซ้อนแคดเมียม-คลอไรด์ (Cadmium-Chloro complexes) นั้นมีผลต่อเส้นความสามารถในการชะละลายของแคดเมียมโดยเปลี่ยนไปที่พีเอชที่สูงขึ้น (van der Sloot, Comans และ Hjelmar, 1996)

มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเข้าใจเกี่ยวกับเคมีของแคลเซียมเนื่องจากสามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของระบบแคลเซียมมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากกับค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของระบบ แคลเซียมยังมีความจำเป็นต่อการสร้างรูปของ C-S-H (Calcium Silicate Hydrogel) ในช่วงขณะของกระบวนการปรับเสถียรและทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization/solidification processes) และยังส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายขององค์ประกอบอื่นๆ ผ่านทางการปรับเสถียรภาพทางฟิสิกส์ของส่วนที่เหลือ

การละลายของทองแดง (Cu) ต่ำเมื่อพีเอชมากกว่า 7 แต่อย่างไรก็ดีในวัสดุที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบความสามารถในการชะละลายของทองแดงจะมากขึ้นตามพีเอชที่สูงขึ้น พฤติกรรมดังกล่าวอาจมีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

ตะกั่ว (Pb) เป็นตัวที่สามารถละลายได้ทั้งที่พีเอชสูงและต่ำ ซึ่งความสามารถในการชะละลายต่ำสุดจะอยู่ที่พีเอช 9-10 (van der Sloot และคณะ, 1997) การเกิดคาร์บอนเนชันอาจทำให้ความสามารถในการชะละลายของตะกั่วลดต่ำลง ผ่านการลดลงของพีเอชจากสภาพที่เป็นด่างสูงไปสู่สภาพที่เป็นด่างอ่อน (พีเอช ประมาณ 8.3) ที่พีเอช 6-9 ความสามารถในการชะละลายของตะกั่วที่น้อยอันเป็นสาเหตุมาจากการสร้างรูปที่ละลายได้น้อยของคาร์บอนเนต (CO_3)

ความสามารถในการชะละลายของนิเกิล (Ni) นั้นคล้ายกับของตะกั่วแต่มีความไวต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารคาร์บอนอินทรีย์ละลาย (DOC) มากกว่าการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับคลอไรด์ (van der Sloot และคณะ, 1997)

สังกะสี (Zn) มีความสามารถในการละลายได้ทั้งสภาพที่เป็นกรดและเบส ซึ่งที่พีเอช 9 (Cohen และ Petrie, 1997 อ้างถึงใน Todolovic และ Ecke, 2004) จะมีความสามารถในการละลายต่ำที่สุดที่ช่วงพีเอชกลางๆสังกะสีจะอยู่ในรูปของซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($\text{Zn}(\text{OH})_2$) ซึ่งเป็นรูปที่ละลายได้น้อยทำให้สังกะสีไม่เกิดการเคลื่อนที่นอกจากนี้ความสามารถในการชะละลายที่เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอช มากกว่า 10 นั้นอาจเป็นเพราะการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนในรูปที่ละลายได้ของสังกะสีกับไฮดรอกไซด์ (OH^-)

2. ธาตุที่สามารถเกิดสารประกอบกับออกซิเจนและมีประจุเป็นลบ (Oxyanions)

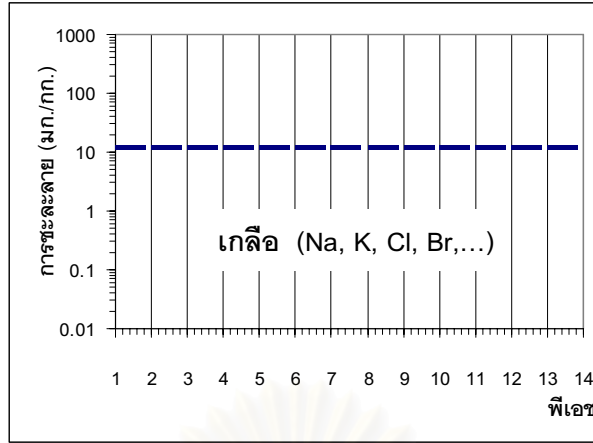
สารหนู โมลิบดีนัม พลวง และซีลีเนียม แสดงความสามารถในการชะละลายที่มากที่สุด ในสภาพที่เป็นกลาง (van der Sloot และคณะ, 1997) นอกจากนี้ Duntre และ Vandecasteele (1997) ยังแสดงให้เห็นว่าในการเติมซีเมนต์ลงในของเสียที่มีการปนเปื้อนสารหนูนั้นแคลเซียมจะแสดงบทบาทที่สำคัญต่อการหยุดการเคลื่อนที่ของสารหนูมากกว่านั้นการเติมปูนขาวลงในส่วนผสมทำให้ความเข้มข้นของสารหนู ในน้ำที่ผ่านการชะละลายอาจลดลงมากถึง 100 เท่า สาเหตุเนื่องมาจากมีพีเอชสูงกว่า 12 และการสร้างรูปที่ไม่ละลายน้ำของ CaHAsO_3 โดยกลไกที่สำคัญในการสร้างพันธะของโมลิบดีนัมที่พีเอชต่ำๆคือกลไกการดูดซับของโมลิบดีนัม(VI)ออกไซด์ (MoO_4^{2-}) บนผิวหน้าของเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) (Comans, Meima และ Geelhoed, 2000)

การมีอยู่ของโครเมียมในระบบธรรมชาตินั้นมีทั้งที่เป็นประจุ + 3 (โครเมียม (III): Cr^{+3}) หรือ +6 (โครเมียม (VI): Cr^{+6}) Cr^{+3} เป็นรูปที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและมีพิษน้อยกว่า ในขณะที่รูป Cr^{+6} เป็นสารออกซิไดส์ที่รุนแรงและมีพิษมาก (Rinehart และคณะ, 1997) Cr^{+3} มีคุณสมบัติในการละลายได้ทั้งในสภาพกรดและเบส ในขณะที่ Cr^{+6} สามารถละลายได้มากในช่วงที่เลเยอร์พีเอชไปแล้ว (Cohen และ Petrie, 1997 อ้างถึงใน Todolovic และ Ecke, 2004) การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์สามารถทำให้หยุดการเคลื่อนที่ของ Cr^{+3} ได้โดยการแทนที่ซิลิกา Cr^{+3} สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นผลิตภัณฑ์จากไฮเดรชันของซีเมนต์ (cement hydration product) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำหรืออยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ในสารละลายในรูปของ การเกิดผลิตภัณฑ์จากไฮเดรชันของซีเมนต์ไม่ต้องการที่จะให้มี Cr^{+6} เกิดขึ้นซึ่งมีการศึกษาของ Cohen และ Petrie (1997 อ้างถึงใน Todolovic และ Ecke, 2004) พบว่าประมาณร้อยละ 75 ของโครเมียมที่ชะละลายออกมาจากของเสียที่หล่อเป็นก้อนแข็งอยู่ในรูปของ Cr^{+6} ส่วนที่เหลือเป็น Cr^{+3}

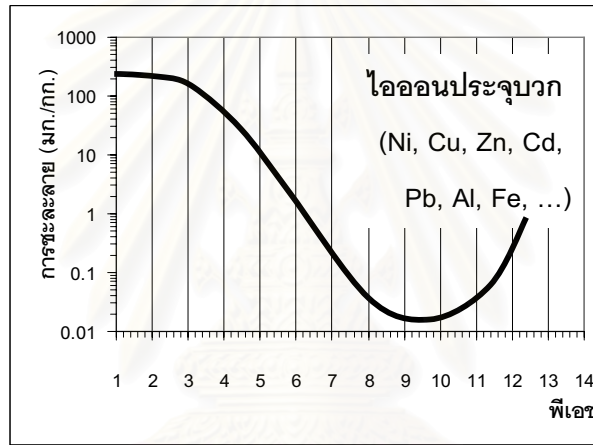
4. สารโลหะ

ในของเหลือที่เหลือจากการเผา ซัลเฟต (SO_4) มักจะอยู่ในรูปของเกลือที่สามารถละลายได้ซึ่งสามารถชะละลายได้สูง มีการศึกษาพบว่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงในช่วง 4 -11 ไม่ส่งผลต่อการชะละลายของ ซัลเฟต

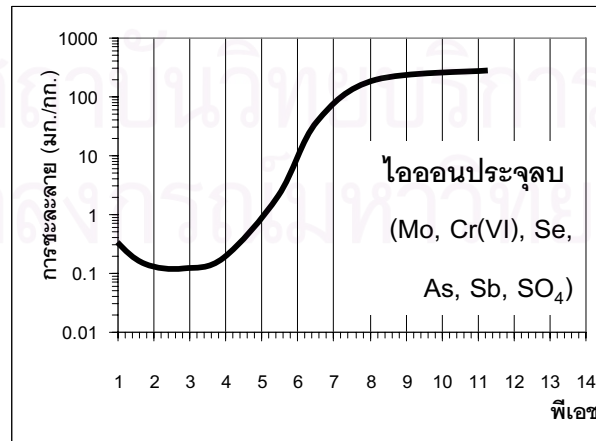
รูปที่ 2.5-2.7 แสดงพฤติกรรมของการชะละลายทั่วไปของอนุภาค 3 กลุ่มที่เป็นฟังก์ชันกับพีเอช คือกลุ่มที่มีประจุบวก ประจุลบ และเกลือที่สามารถละลายได้ ซึ่งมีรูปแบบการชะละลายที่ต่างกันอย่างเด่นชัดโดยมีสาเหตุการรูปแบบทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงตามพีเอช รูปที่ 2.8 แสดงปริมาณการชะละลายสุดท้ายที่แตกต่างกันเนื่องจากผลของรีดอกซ์ และคาร์บอนอินทรีย์ละลาย และปัจจัยอื่นๆ รูปแบบการชะละลายของธาตุที่กลุ่มต่างกันสำหรับวัสดุทุกประเภทนั้นเป็นระบบมากจะต่างกันเพียงปริมาณการชะละลายสุดท้าย (ซึ่งนำไปสู่ “ลายนิ้วมือทางเคมี” ของวัสดุ)



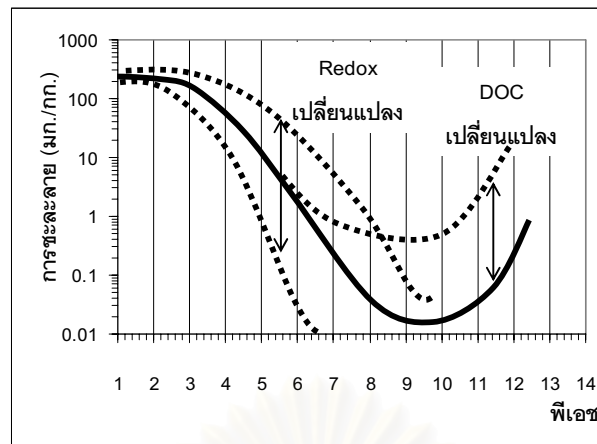
รูปที่ 2.5 รูปแบบการละลายของเกลือซึ่งเป็นฟังก์ชันกับพีเอช (van der Sloot และ Dijkstra, 2004)



รูปที่ 2.6 รูปแบบการละลายของไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับพีเอช (van der Sloot และ Dijkstra, 2004)



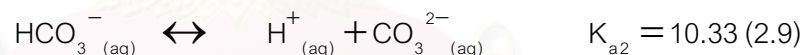
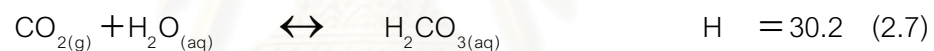
รูปที่ 2.7 รูปแบบการละลายของไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับพีเอช (van der Sloot และ Dijkstra, 2004)



รูปที่ 2.8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการละลาย (van der Sloot และ Dijkstra, 2004)

2.7 การเกิดคาร์บอนเนชั่น

ในระบบเปิดที่มีสิ่งแวดล้อมสัมผัสกับอากาศ CO_2 สามารถละลายลงในน้ำได้ตามกฎของเฮนรี โดยเริ่มต้นจากการที่ CO_2 ละลายจากสถานะก๊าซ กลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) สำหรับในระบบที่มีพีเอชสูงๆ อาทิ การละลายของซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีพีเอชสูงประมาณ 12-13 H_2CO_3 จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ ดังสมการที่ 2.7 – 2.9



โดย $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ จะสามารถจับกับ $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ ที่ละลายออกมาจากซีเมนต์เพสต์และตกตะกอนเกิดเป็นหินปูน ($\text{CaCO}_{3(s)}$) ได้ดังสมการที่ 2.10 ซึ่งมีผลให้พีเอชของระบบลดลง



2.8 การทดสอบการละลาย

ในการเลือกใช้มาตรฐานเพื่อทดสอบการละลายนั้นมีความจำเป็นอย่างหนึ่งที่จะต้องให้มีความสัมพันธ์กับการใช้งานหรือสภาวะจริงที่เกิดขึ้น ซึ่งในการใช้งานของภาชนะบรรจุน้ำดื่มที่ทำจากปูนซีเมนต์นั้นเปรียบเสมือนเป็นการละลายของโลหะหนักจากวัตถุก้อนแข็ง (Monolithic) ออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการละลายเกิดขึ้นเพียงด้านเดียวคือด้านที่สัมผัสกับน้ำที่บรรจุ ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการจำลองสภาพการใช้งานจริงที่เกิดขึ้นและประยุกต์มาตรฐานการละลายเพื่อมาอธิบายการละลายที่เกิดขึ้น

2.8.1 ภาพรวมการทดสอบการชะละลาย (Hartwell และ Calovini, 1999)

การทดสอบการชะละลายนั้นได้รับการเสนอหรือประกาศให้ใช้ไม่เพียงแต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น แต่ยังมีประเทศอื่นๆอีก อาทิ ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ เยอรมนี สวีเดน เดนมาร์ก สหภาพยุโรป และแคนาดา ซึ่งทั้งภาครัฐและเอกชนได้พัฒนาและมีส่วนร่วมในการนำ การทดสอบการชะละลายเข้าสู่โปรแกรมของตน ซึ่งแต่ละวิธีการทดสอบนั้นไม่ได้เป็นเพียงการ ทดสอบแบบ single-batch เหมือนในการทดสอบ TCLP และกล่าวได้ว่าเป็นการจัดการด้านของ เสีย เกิดการแบ่งลักษณะการชะละลาย และชนิดของของเสีย การทดสอบได้รับการพัฒนาเพื่อ สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนระหว่างสารชะละลายและของเสีย องค์ประกอบ ทางเคมีของสารชะละลาย การทดสอบของวัตถุก้อนแข็ง (monolithic) และของเสียที่เป็นเม็ดเล็ก (granular) รวมไปถึงของเสียที่ผ่านการทำก้อนแข็งและปรับเสถียรแล้วและเพื่อระบุของเสียที่เป็น สารกัมมันตภาพรังสี มาตรฐานการทดสอบการชะละลายในประเทศสหรัฐอเมริกานั้นประกาศ โดย ASTM (the American Society for Testing and Materials), IAEA (the International Atomic Energy Agency), กองทัพบกสหรัฐ (the US Army), ANSI/ANS และ ISO

โดยทั่วไปสามารถแบ่งการทดสอบการชะละลายได้ออกเป็น 2 กลุ่มคือ Static extraction tests และ Dynamic extraction tests โดยการทดสอบแบบ Static extraction นั้นการทดสอบจะ ใช้สารชะละลายเดี่ยวที่กำหนดปริมาตร ส่วนการทดสอบแบบ Dynamic extraction นั้นสาร ชะละลายที่ใช้มีการเปลี่ยนใหม่ตลอดช่วงการทดสอบ

1.การทดสอบแบบ Static extraction

ทดสอบโดยใช้สารชะละลายที่กำหนดปริมาตรแน่นอนสัมผัสกับของเสียที่มีปริมาณตามที่ กำหนดตลอดช่วงเวลาการทดสอบที่ระบุไว้โดยไม่มีการเปลี่ยนสารชะละลาย โดยทั่วไปคือที่สิ้นสุด การทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป การทดสอบแบบ Static extraction นั้นมีสมมุติฐานว่า สภาวะคงตัว (Steady state condition) เกิดขึ้นที่จุดสิ้นสุดของการทดลอง ชนิดของการทดสอบรวม มีทั้ง การทดสอบแบบที่มีการเขย่า (Agitated) ไม่เขย่า (Non-agitated) การสกัดแยก (Sequential chemical extraction tests) และการทดสอบแบบสร้างความเข้มข้น (Buildup tests)

1.1 การทดสอบแบบเขย่า

ในการทดสอบแบบเขย่านั้นของเสียและสารชะละลายผสมเข้าด้วยกันและ เกิดการเขย่า ดังนั้นการทดสอบนี้จะถึงสภาวะคงตัวได้เร็วเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการทดสอบ โดยมากมากจะต้องมีขั้นตอนการลดขนาดของของเสียเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสดังนั้นจึงทำให้ใช้ เวลาสั้นลงในการเข้าถึงสภาวะคงที่ การทดสอบแบบเขย่าจะวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของระบบของ เสีย/สารชะละลายมากกว่าทางฟิสิกส์และกลไกควบคุมอัตราการชะละลาย ด้วยเหตุผลนี้การ

ทดสอบประเภทนี้จึงให้ผลที่เกินความเป็นจริงในการประเมินการปลดปล่อยของสารองค์ประกอบ ในช่วงสั้น ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแบบเขย่านั้นรวมถึง TCLP, EP Tox, California's WET, SPLP และ CEN 292

1.2 การทดสอบแบบไม่เขย่า

การทดสอบแบบไม่เขย่านั้นของเสียและสารชะละลายได้รับการผสมกันแต่ไม่เขย่า โดยการทดสอบแบบดังกล่าวนี้เป็นการวิเคราะห์ทางด้านฟิสิกส์ และกลไกควบคุมอัตราการชะละลาย มากกว่าสมบัติทางเคมีของระบบของเสีย/สารชะละลาย ซึ่งอยู่ภายใต้สมมุติฐานว่า ความสมบูรณ์ของโครงสร้างของของเสียส่งผลกระทบต่อปริมาณขององค์ประกอบที่จะชะละลายออกมาจากโครงสร้าง การทดสอบแบบไม่เขย่านั้นใช้เวลายาวนานกว่าในการเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบเขย่า ตัวอย่างของการทดสอบประเภทนี้คือ Strategic Leach test (MCC-1) และ High Temperature Static Leach test (MCC-2) ทั้งสองจากประเทศแคนาดา

1.3 การทดสอบด้วยการสกัดทางเคมี

การทดสอบด้วยการสกัดทางเคมีเป็นการทดสอบแบบอนุกรมของการสกัดด้วยการเขย่าด้วยการใช้สารสกัดที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีการทดสอบ 2 แบบ แบบแรกเตรียมการทดสอบหลายครั้งแต่ละการทดสอบนั้นจะใช้สารสกัดต่างกันไปตามสมมุติฐานว่าสารสกัดแต่ละชนิดนั้นสามารถสกัดองค์ประกอบที่สารสกัดที่มีความรุนแรงน้อยกว่าสกัดออกมาได้รวมกับสิ่งปนเปื้อนที่เพิ่มออกมาอีกปริมาณหนึ่งหรือจำนวนมาก อีกวิธีหนึ่งคือของเสียที่มีปริมาณเดียวกันสามารถนำมาใส่ในสารชะละลายแต่ละลำดับโดยสมมุติฐานว่าสารชะละลายในลำดับถัดมานั้นจะสกัดบางอย่างที่สารสกัดลำดับก่อนหน้านั้นสกัดออกมาไม่ได้ ในแต่ละกรณีอยู่ในสมมุติฐานที่ว่า การเพิ่มความรุนแรงของสารสกัดจะส่งผลให้สามารถสกัดสิ่งปนเปื้อนออกมาได้เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของการทดสอบด้วยการสกัดทางเคมีคือ ASTM's Sequential Batch Extraction of Wastes with Acidic Extraction Fluid ส่วนการทดสอบอื่นๆ ยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนา

1.4 การทดสอบแบบสร้างความเข้มข้น

วิธีการสำหรับ การทดสอบแบบสร้างความเข้มข้น (Concentration build-up tests) กระทำได้โดยการนำของเสียที่มีปริมาณเท่ากันไปสัมผัสกับสารสกัดชนิดเดิมซ้ำๆ ที่อัตราสารชะละลายต่อของแข็งที่ต่ำ การทดสอบประเภทนี้จำลองของเหลวปริมาณหนึ่งที่ไหลผ่านเนื้อของของเสียด้วยความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นในสารสกัด การทดสอบนี้อาจเป็นการจำลองที่ดีของรูปพูนซึ่งเป็นองค์ประกอบของของเสีย ตัวอย่างของการทดสอบประเภทนี้คือ Wisconsin's Standard Leach Test ขั้นตอน C

2.การทดสอบแบบ Dynamic

สารชะละลายจะได้รับการเปลี่ยนใหม่ แบบชนิดต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่องอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อรักษาแรงขับในกระบวนการชะละลาย เนื่องจากความมั่นคงทางกายภาพของของเสีย โดยทั่วไปยังคงรักษาไว้ได้ในช่วงระหว่างการทดสอบ และข้อมูลที่ได้ แปรผันตามกับเวลา การสกัดแบบ Dynamic ให้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าทางจลนศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของสิ่งปนเปื้อน โดยทั่วไปการทดสอบแบบ Dynamic นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น Serial batch tests, Flow-around tests, Flow-through tests และ Soxhlet tests.

2.1 การทดสอบแบบ Serial batch test

ในการทดสอบแบบ Serial batch test นั้นก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบจำนวนหนึ่งจะถูกทำให้แตกเป็นก้อนเล็กๆและนำไปผสมกับสารชะละลายก่อนทำการเขย่าตามเวลาที่กำหนดไว้ ที่จุดสิ้นสุดของช่วงเวลา สารชะละลายจะถูกแยกออกและเปลี่ยนสารชะละลายใหม่กลับเข้าไป การทดสอบเกิดขึ้นซ้ำๆ จนกว่าจะครบตามจำนวนของช่วงการทดสอบที่กำหนดไว้ ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่วัดได้ในสารชะละลายแบบอนุกรมให้ข้อมูลทางจลนศาสตร์เกี่ยวกับการละลายของสารปนเปื้อน ตัวอย่างของการทดสอบ อาทิ Multiple Extraction Procedure (SW-846 Method 1320), NEN 7341 Availability Test (เนเธอร์แลนด์), NEN 7349 Serial Batch Test (เนเธอร์แลนด์) และ Graded Serial Batch test (US Army)

2.2 การทดสอบแบบ Flow-around

การทดสอบแบบไหลรอบ (Flow-around) ปกติใช้ทดสอบกับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นก้อนแข็ง (Monolithic) โดยวางก้อนตัวอย่างลงในหลอดทดสอบซึ่งมีพื้นที่ว่างอยู่โดยรอบก้อนตัวอย่าง และเติมสารชะละลายซึ่งจะไหลรอบก้อนตัวอย่าง สารชะละลายดังกล่าวอาจทำการเปลี่ยนใหม่อย่างต่อเนื่องในกรณีที่ศึกษาเป็นช่วงเวลา หรืออาจเปลี่ยนสารชะละลายเป็นครั้งคราว ในแต่ละกรณีนั้นอัตราส่วนระหว่างของเหลวต่อของแข็งแสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวของก้อนตัวอย่าง ตัวอย่างของการทดสอบแบบไหลรอบได้แก่ the ISO Leach Test 6961, ANSI 16-1, NEN 7345 Monolithic Diffusion Test (เนเธอร์แลนด์) และ ASTM C 1220-92 (Static Leaching of Monolithic Waste Forms for disposal of Radioactive Wastes)

2.3 การทดสอบแบบ Flow-through

การทดสอบแบบไหลผ่าน (Flow-through) มีความแตกต่างกับการทดสอบแบบไหลรอบ (Flow-around) ตรงที่สารชะละลายนั้นจะไหลผ่านก้อนตัวอย่างซึ่งแปลว่าก้อนตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบนั้นจะต้องมีความพรุนมากกว่าตัวอย่างที่เป็นก้อนแข็ง (Monolithic) พอสมควร นอกเหนือจากนั้นการทดสอบกระทำคล้ายกับในการทดสอบแบบไหลรอบ โดยทั่วไป

แล้วการทดสอบแบบไหลผ่านนิยมติดตั้งในรูปของคอลัมน์ (columns) โดยมีช่องทางให้สารชะละลายไหลผ่าน การเปลี่ยนแปลงของการไหลอาจเกิดขึ้นได้จากความนำไฟฟ้าของสารชะละลาย หรือการอุดตันของระบบเนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กรวมไปถึงการเจริญเติบโตทางชีววิทยา (biological growth) แต่กระนั้นการทดสอบแบบไหลผ่านสามารถติดตั้งเลียนแบบสภาวะจริงที่เกิดขึ้นได้ ตัวอย่างการทดสอบแบบไหลผ่านได้แก่ Waste Interface Leach test (แคนาดา), NVN 7344 Column Test และ ASTM's Column Test

2.4 การทดสอบแบบ Soxhlet

การทดสอบแบบ Soxhlet สามารถใช้ในการชะละลายของเสียโดยการให้ของเสียสัมผัสกับสารชะละลายอย่างต่อเนื่อง ในการทดสอบประเภทนี้ สารชะละลายจะถูกเปลี่ยนใหม่อย่างต่อเนื่องด้วยสารชะละลายที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle leachant) จากสารชะละลายก่อนหน้านี้ที่นำสิ่งปนเปื้อนออกไปแล้ว การทดสอบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อสกัดสิ่งปนเปื้อนออกมาให้ได้ปริมาณมากที่สุดและเร็วเท่าที่จะทำได้ การทดสอบ Soxhlet Test (MCC-5s) ของประเทศแคนาดาเป็นตัวอย่างที่ดีของการทดสอบประเภทนี้

2.8.2 การทดสอบการชะละลายตามมาตรฐานของ NEN 7375 (EA NEN 7375, 2004)

การทดสอบการชะละลายตามมาตรฐานของ NEN 7375 นั้นเป็นการทดสอบลักษณะการชะละลายของสิ่งปลูกสร้างและกากของเสียที่ได้รับการขึ้นรูป (Moulded) หรือเป็นก้อนแข็ง (Monolithic) โดยทั่วไปเรียกว่า การทดสอบแบบแท็งก์ (The Tank Test)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบแพร่นี้เพื่อพิจารณาการชะละลายของสารอินทรีย์จากวัสดุที่ได้รับการขึ้นรูปหรือเป็นก้อนแข็งภายใต้สภาวะที่มีอากาศซึ่งเป็นฟังก์ชันกับเวลาตลอดช่วง 64 วัน การทดสอบพิจารณาธรรมชาติและสมบัติของวัสดุภายใต้การทดลองโดยวางตัวอย่างในสารชะละลายและเปลี่ยนสารชะละลายใหม่ตามเวลาที่กำหนด ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่สนใจที่ชะละลายออกมาถูกนำไปวิเคราะห์ในแต่ละช่วงการทดสอบ ส่วนพีเอชที่การชะละลายเกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัสดุนั้นๆ โดยพื้นฐานของผลการทดสอบแบบแพร่ ปริมาณที่ชะละลายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ที่สามารถคำนวณได้สำหรับองค์ประกอบแต่ละชนิด ปัจจัยอื่นๆ สามารถอนุมานได้จากการทดลองรวมทั้งการประเมินการชะล้างที่ผิวหน้าและสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการชะละลายซึ่งสามารถใช้ในการประเมินการชะละลายในช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าได้ การทดสอบการชะละลายนั้นไม่เหมาะสมสำหรับสารที่สามารถละลายได้ในระยะเวลาที่ทำการทดสอบ มาตรฐานนี้มีพื้นฐานมาจากมาตรฐานลักษณะการชะละลายของประเทศเนเธอร์แลนด์ NEN 7345 โดยรายละเอียดของการทดสอบ EA NEN 7375 แสดงอยู่ในภาคผนวก จ

2.9 มาตรฐานสำหรับน้ำดื่ม

ปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานน้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคจากหลายหน่วยงาน อาทิ ของ U.S.EPA (U.S. Environmental Protection Agency) WHO (World Health Organization) และ EU (Europe Union) เป็นต้น ซึ่งเป็นประเทศต่างๆได้รับเอามาตรฐานเหล่านี้ไปบังคับใช้เพื่อกำหนดคุณภาพน้ำดื่มในประเทศ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกเอามาตรฐานน้ำประปาของไทยดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2.8 ซึ่งได้รับเอามาตรฐานของ WHO มาปรับใช้ เพื่อมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบการชะละลายที่ได้

สำหรับระดับความเสี่ยงต่ำสุด (Minimal Risk Levels : MRLs) ในตารางที่ 2.8 นั้นเป็นค่าที่ประเมินไว้สำหรับสารอันตรายซึ่งมนุษย์สามารถสัมผัสได้ในแต่ละวันโดยที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยค่า MRLs นั้นไม่ได้ตั้งขึ้นเพื่อการประกาศใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับ ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) หรือองค์กรอื่นแต่อย่างใด โดยค่า MRLs สำหรับสารอันตรายแต่ละชนิดนั้นจะแบ่งออกตามระยะเวลาที่สัมผัสได้แก่ เฉียบพลัน (1-14วัน) ระยะกลาง (14 – 364 วัน) และระยะยาว (365 วันขึ้นไป) และเส้นทางของการรับสารอันตรายเหล่านั้นเช่น ทางปาก จากการสูดดม สำหรับการรับสารอันตรายทางผิวหนัง นั้นยังไม่มีภาระระบุ โดยค่า MRLs นั้นมีพื้นฐานมาจากกลุ่มสารที่มีความไวสูง และกลุ่มเป้าหมายที่มีความสัมพันธ์กับมนุษย์ โดย ADSTR ไม่ได้นำค่าที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพมาเป็นพื้นฐานในการกำหนดซึ่งหมายความว่า การสัมผัสสารอันตรายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าค่า MRLs ที่กำหนดไว้ก็ไม่จำเป็นจะต้องมีผลต่อสุขภาพเสมอไป สำหรับค่า MRLs ที่นำมาแสดงเป็นการได้รับโลหะหนักจากการรับประทานเท่านั้น

จากมาตรฐานน้ำดื่มที่ให้ไว้จะเห็นได้ว่าค่ากำหนดของโลหะบางชนิดนั้นมีค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากความเป็นพิษต่อผู้บริโภคที่สูง โดยในส่วนต่อไปจะยกตัวอย่างอันตรายจากพิษของโลหะแหล่งที่มา รวมถึงอาการหากได้รับโลหะนั้นแบบเฉียบพลันและแบบสะสม ซึ่งอาจเป็นแนวทางหนึ่งในการหลีกเลี่ยงแหล่งที่ก่อให้เกิดโลหะหนัก รวมถึงเพิ่มความระมัดระวังหากต้องอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสที่จะสัมผัสกับโลหะหนักเหล่านั้น

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานสำหรับน้ำดื่ม

สาร		มาตรฐานน้ำประปา การประปา นครหลวง ⁽¹⁾	ATSDR Minimal Risk Levels (MRLs) ⁽²⁾			
			ระยะสัมผัส (การกิน)	MRL มก./กก./วัน	กลุ่มเป้าหมาย	ปีที่กำหนด
		มก./ล.				
อะลูมิเนียม	Al	0.1	กลาง	1.0	ระบบประสาท	2006
			ยาว	1.0	ระบบประสาท	2006
อาร์เซนิก	As	0.01	เฉียบพลัน	0.005 ⁽⁵⁾	ทางเดินอาหาร	2005
			ยาว	0.0003	ผิวหนัง	2005
แบเรียม	Ba	(3)	กลาง	0.7 ⁽⁶⁾	ไต	2005
			ยาว	0.6 ⁽⁶⁾	ไต	
เบอริลเลียม	Be	(3)	ยาว	0.002	ทางเดินอาหาร	2002
โบรอน	B	(3)	กลาง	0.01	พัฒนาการ	1992
แคดเมียม	Cd	0.003	ยาว	0.0002	ไต	1999
โครเมียม	Cr	0.05	(4)	(4)	(4)	(4)
ทองแดง	Cu	2	เฉียบพลัน	0.01	ทางเดินอาหาร	2004
			กลาง	0.01	ทางเดินอาหาร	2004
เหล็ก	Fe	0.3	(4)	(4)	(4)	(4)
ปรอท	Hg	0.001	(4)	(4)	(4)	(4)
แมงกานีส	Mn	0.4	(4)	(4)	(4)	(4)
นิกเกิล	Ni	(3)	(4)	(4)	(4)	(4)
ตะกั่ว	Pb	0.01	(4)	(4)	(4)	(4)
เซเลเนียม	Se	0.01	ยาว	0.005	ผิวหนัง	2003
สตรอนเทียม	Sr	(3)	กลาง	2	กล้ามเนื้อ	2004
วานาเดียม	V	(3)	กลาง	0.003	ไต	1992
สังกะสี	Zn	3	กลาง	0.3	เลือด	2005
			ยาว	0.3	เลือด	2005

หมายเหตุ: (1) ที่มาจากเว็บไซต์ของการประปานครหลวง

(2) ที่มาจากเว็บไซต์ของ ATSDR

(3) ไม่ได้ระบุ

(4) ไม่ได้ระบุสำหรับการสัมผัสทางปาก

(5) ประกาศใช้ชั่วคราว

(6) สำหรับรูปเกลือที่ละลายได้ของแบเรียม

2.10 ความเป็นพิษของโลหะหนัก

โลหะในปัจจุบันแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศ อาหาร น้ำ และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งที่มีพิษและไม่มีพิษ โดยพิษจากการสัมผัสโลหะเหล่านี้มีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งเกิดขึ้นทั้งมีผลเล็กน้อยต่อสุขภาพไปจนถึงแก่ชีวิต การดูแลป้องกันเพื่อมิให้ได้รับโลหะเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับพิษของโลหะชนิดต่างๆ โดยพิษของโลหะสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. อะลูมิเนียม (ATSDR, 2006)

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่พบมากบนโลก โดยมากพบอยู่รวมกับธาตุอื่นๆ เช่น ออกซิเจน ซิลิกอน และ ฟลูออรีน โลหะอะลูมิเนียมสามารถสกัดได้จากแร่ที่มีอะลูมิเนียมผสมอยู่ และในน้ำสามารถพบอะลูมิเนียมละลายอยู่ในปริมาณเล็กน้อย อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา ลักษณะสีเงินค่อนข้างขาว โดยมากใช้ในอุตสาหกรรมกระป๋องเครื่องดื่ม หม้อ กระทะ เครื่องบิน ผักริม และ ฟอยล์ บางครั้งอะลูมิเนียมผสมกับโลหะชนิดอื่นได้เป็น อะลูมิเนียมอัลลอยด์ ซึ่งมีความแข็งแรง และหนักกว่า สารประกอบอะลูมิเนียมสามารถใช้ได้ในหลายลักษณะ เช่น ใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และยังสามารถพบได้ในเครื่องใช้ประจำวัน เช่น ยาลดกรด ยาบรรเทาปวด ใสในอาหาร และเป็นส่วนผสมของยาลดการขับเหงื่อ

โดยทั่วไปแล้วการได้รับอะลูมิเนียมนั้นไม่เป็นอันตราย เว้นแต่ว่าจะเป็นปริมาณที่สูง คนงานที่สูดเอาฝุ่นอะลูมิเนียมเข้าไปจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับปอด เช่น อาการไอ ผลเอกซเรย์หน้าอกที่ผิดปกติ นอกจากนี้อาจทำให้เกิดการทำงานที่แย่งลงของระบบประสาท ผู้ป่วยโรคไตจะสะสมอะลูมิเนียมไว้ในร่างกาย และอาจพัฒนาให้เป็นโรคเกี่ยวกับกระดูกหรือสมองซึ่งเป็นผลมาจากการมีอะลูมิเนียมที่สูงเกินไป การศึกษาบางกรณีบ่งชี้ว่าบุคคลที่ได้รับอะลูมิเนียมในปริมาณที่สูงมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer disease: AD) แต่ก็ยังมีข้อโต้แย้งจากการศึกษาอื่นๆ ที่ไม่ปรากฏว่าข้อสันนิษฐานนี้จะเป็นจริง ซึ่งทำให้ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าการได้รับอะลูมิเนียมสามารถส่งผลให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ได้หรือไม่ นอกจากนี้สารประกอบของอะลูมิเนียมในยาลดการขับเหงื่ออาจทำให้เกิดอาการคันบริเวณใต้แขนอีกด้วย

สำหรับผลต่อการสืบพันธุ์ของมนุษย์นั้นยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัด แต่อะลูมิเนียมไม่ปรากฏว่ามีผลต่อการแพร่พันธุ์ของสัตว์ นอกจากนี้ The Department of Health and Human Services (DHHS) และ The Environmental Protection Agency (EPA) ยังไม่ประเมินว่าอะลูมิเนียมมีศักยภาพในการก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งในคนหรือไม่ แต่อะลูมิเนียมไม่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์

ผลของอะลูมิเนียมที่มีต่อเด็กนั้น สำหรับผู้ป่วยโรคไตในเด็กที่ได้รับอะลูมิเนียมจากการบำบัดด้วยยาทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับกระดูก อะลูมิเนียมในปริมาณสูงเป็นอันตรายต่อตัวอ่อนและสัตว์ที่กำลังพัฒนาเนื่องจากสามารถส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของกระดูกและการพัฒนาของ

ระบบประสาทที่ช้าลง แต่ไม่ปรากฏว่าเด็กจะมีความไวต่ออะลูมิเนียมมากกว่าผู้ใหญ่ อีกทั้งยังไม่ปรากฏว่ามีความแตกต่างระหว่างเด็กและผู้ใหญ่ในแง่ของปริมาณอะลูมิเนียมที่สามารถเข้าสู่ร่างกาย และแหล่งที่สะสมอะลูมิเนียม รวมไปถึงระยะเวลาในการกำจัดออกจากร่างกาย อย่างไรก็ตาม อะลูมิเนียมจากมารดาสามารถถ่ายเทสู่ตัวอ่อนได้ผ่านทางรก และอะลูมิเนียมยังสามารถตรวจพบได้ในน้ำนมมารดาแต่มีเพียงส่วนน้อยที่เด็กทารกจะได้รับ

EPA ได้แนะนำระดับความปนเปื้อนเข้มข้นสูงสุดลำดับที่ 2 (Secondary Maximum Contaminant Level: SMCL) ไว้ที่ 0.05-0.2 มก./ล. สำหรับอะลูมิเนียมในน้ำดื่ม โดยที่ค่า SMCL นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับการเกิดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อมนุษย์และสัตว์หากแต่ขึ้นอยู่กับ รูป รส กลิ่น และ สี The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้พิจารณาว่า ปริมาณอะลูมิเนียมในฝุ่นที่คนงานสูดเข้าไปไม่ควรเกิน 15 มก./ลบม. ของอากาศ และ The Food and Drug Administration (FDA) ได้อธิบายไว้ว่าอะลูมิเนียมที่อยู่ในภาชนะทำอาหาร แผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม ยาลดการขับเหงื่อ ยาลดกรด หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอะลูมิเนียมอื่นๆ นั้น โดยทั่วไปแล้วมีความปลอดภัย

2. อาร์เซนิก (ATSDR, 2005)

อาร์เซนิกเป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติกระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกโลก ในธรรมชาติ อาร์เซนิกจะรวมตัวกับออกซิเจน คลอรีน และซัลเฟอร์ เพื่อสร้างรูปสารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์ อาร์เซนิกในสัตว์และพืชจะรวมตัวกับคาร์บอน และไฮโดรเจนเพื่อสร้างรูปสารประกอบอาร์เซนิกอินทรีย์ สารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์โดยมากแล้วมักใช้ในงานรักษาเนื้อไม้ สารประกอบระหว่าง อาร์เซนิก โคเรเมต และทองแดง (CCA) นั้นใช้ในการผลิตไม้อัด ซึ่งสาร CCA นั้นในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศยกเลิกสำหรับการใช้งานเพื่อที่อยู่อาศัย แต่ยังคงใช้งานอยู่ในอุตสาหกรรม ส่วนสารประกอบอาร์เซนิกอินทรีย์ใช้ทำเป็นยาฆ่าแมลง

อาร์เซนิกถูกจัดให้เป็นสารที่มีพิษเป็นลำดับที่ 1 ของ ATSDR จาก 20 อันดับ ซึ่งผลจากการสูดดมสารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์ในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดอาการเจ็บคอและระคายเคืองต่อปอด การรับประทานอาร์เซนิกในปริมาณมากส่งผลถึงแก่ชีวิตได้ สำหรับการได้รับอาร์เซนิกในปริมาณที่ต่ำกว่าทำให้เกิดการอาเจียน และคลื่นไส้ ลดการผลิตเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว หัวใจเต้นผิดปกติ หายใจลำบาก เกิดความเสียหายต่อหลอดเลือด และอาจทำให้เกิดความรู้สึกเจ็บปวดเหมือนโดนเข็มทิ่มแทงที่มือและเท้า การรับประทานหรือสูดดมอาร์เซนิกอนินทรีย์ในปริมาณต่ำเป็นเวลานานอาจทำให้ผิวหนังมีสีคล้ำขึ้น และเกิดตาปลาหรือหูดขึ้นที่ฝ่ามือ ฝ่าเท้า และตามร่างกาย การสัมผัสโดยตรงกับสารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์อาจทำให้เกิดอาการบวม

และแดงได้ ส่วนสารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์นั้นมีความเป็นพิษน้อยกว่า แต่การรับในปริมาณมากก็ส่งผลเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาหลายกรณีแสดงให้เห็นว่าการรับประทานอาร์เซนิกอนินทรีย์เข้าไปทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งผิวหนัง และเป็นมะเร็งที่ ปอด กระเพาะปัสสาวะ ตับ ไต และต่อมลูกหมาก การหายใจเอาอาร์เซนิกอนินทรีย์เข้าไปสามารถทำให้เสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่ปอดได้ The Department of Health and Human Services (DHHS) ได้พิจารณาให้อาร์เซนิกอนินทรีย์เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง The International Agency for Research on Cancer (IARC) และ EPA พิจารณาว่าสารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

สำหรับผลที่มีต่อเด็กนั้น มีผลการศึกษาซึ่งพบว่าเด็กที่ได้รับอาร์เซนิกเป็นเวลานาน ทำให้ผลการทดสอบไอคิว (IQ) มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ระบุว่าเด็กมีความสามารถน้อยกว่าผู้ใหญ่ในการเปลี่ยนรูปสารประกอบอาร์เซนิกอนินทรีย์ให้อยู่ในรูปของอาร์เซนิกอนินทรีย์ ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่า ด้วยเหตุผลนี้เด็กจึงมีความไวต่อพิษของอาร์เซนิกอนินทรีย์มากกว่าผู้ใหญ่ ยังมีงานวิจัยที่กล่าวว่าการหายใจหรือการกินอาร์เซนิกเข้าไปสามารถทำอันตรายต่อผู้หญิงที่กำลังตั้งครรภ์ และตัวอ่อนในครรภ์ ถึงแม้ว่างานวิจัยหลายงานจะไม่น่าเชื่อถือ แต่งานวิจัยในสัตว์พบว่า การได้รับอาร์เซนิกในปริมาณสูงสามารถทำให้เกิดการป่วยในตัวเมียที่กำลังตั้งครรภ์และทำให้ลูกที่คลอดออกมามีน้ำหนักต่ำ ตัวอ่อนในครรภ์ผิดปกติ พิกลพิการ และอาจถึงตายได้ อาร์เซนิกสามารถเดินทางผ่านรกและตรวจพบในเนื้อเยื่อของตัวอ่อนแต่พบน้อยมากในน้ำนม

EPA ได้กำหนดปริมาณอาร์เซนิกที่โรงงานอุตสาหกรรมสามารถปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ และเพิ่มความเข้มงวดรวมถึงการประกาศยกเลิกการใช้อาร์เซนิกในยาฆ่าแมลงหลายชนิด สำหรับอาร์เซนิกในน้ำดื่ม EPA กำหนดค่าไว้ที่ 0.01 มก./ล.

3. แบเรียม (ATSDR, 2005)

แบเรียมเป็นโลหะที่มีสีเงินค่อนข้างขาว ซึ่งโดยธรรมชาติจะพบแบเรียมอยู่ในสินแร่ปะปนกับองค์ประกอบอื่นๆเท่านั้น โดยจะรวมอยู่กับ ซัลเฟต ออกซิเจน หรือ คาร์บอน ในรูปของสารประกอบแบเรียม สารประกอบแบเรียมใช้มากในอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ และยังใช้ในการทำสี อิฐ เซรามิก แก้ว และ ยาง สารประกอบแบเรียมซัลเฟตถูกนำมาใช้ในวงการแพทย์เพื่อแสดงการทดสอบทางยา และใช้ในการเอกซเรย์เส้นทางการเดินอาหาร

ผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับสารประกอบแบเรียมชนิดต่างๆนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายในน้ำหรือในกระเพาะของสารประกอบนั้นๆ สารประกอบแบเรียมที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แบเรียมซัลเฟต โดยปกติแล้วไม่มีอันตราย

เมื่อคนได้รับแบเรียมในระดับที่สูงเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดย EPA ในช่วงเวลาเพียงสั้นๆ แบเรียมทำให้เกิดการรบกวนในทางเดินอาหาร และทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง บางคนที่ได้รับประทานหรือดื่मอาหารที่มีปริมาณแบเรียมสูงกว่าค่าที่พบได้ในทั่วไปในช่วงเวลาสั้นๆ อาจทำให้เกิดการอาเจียน เป็นตะคริวในช่องท้อง ท้องเสีย หายใจลำบาก เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความดันเลือด ไข้หนาวสั่น และกล้ามเนื้ออ่อนแรง การรับประทานหรือดื่मสารประกอบแบเรียมที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในปริมาณมากๆ ส่งผลให้จังหวะการเต้นของหัวใจเปลี่ยนแปลง หรือเป็นอัมพาต หรืออาจถึงตายได้ สัตว์ที่ดื่मแบเรียมเป็นเวลานานๆ มีผลทำให้ไตเกิดความเสียหาย น้ำหนักตัวลดลง และบางตัวเสียชีวิต

The Department of Health and Human Services (DHHS) และ The International Agency for Research on Cancer (IARC) ยังไม่ระบุว่าแบเรียมเป็นสารก่อมะเร็ง EPA ก็เช่นเดียวกัน

ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าเด็กมีความไวต่อพิษของแบเรียมมากหรือน้อยกว่าผู้ใหญ่ ผลการศึกษาหนึ่งในหนูที่กลืนกินแบเรียมพบว่ารุ่นที่เกิดใหม่มีน้ำหนักน้อยลง ซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดว่าผลในมนุษย์จะใกล้เคียงกันหรือไม่

EPA ได้จำกัดค่าความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำดื่มไว้ที่ 2 มก./ล. สำหรับในพื้นที่ทำงาน The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้ตั้งค่าจำกัดที่อนุญาตให้มีได้ (Permissible Exposure Limits :PELs) ไว้ที่ 0.5 มก. ของสารประกอบแบเรียมที่ละลายได้ ต่อลบม. ของอากาศในสถานที่ทำงาน สำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

4. เบอริลเลียม (ATSDR, 2002)

เบอริลเลียมเป็นโลหะแข็งสีเทาโดยทั่วไปพบอยู่ในหิน ถ่านหิน ดิน และฝุ่นภูเขาไฟ สินแร่เบอริลเลียมถูกเจาะขึ้นมาทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในอาวุธนิวเคลียร์และกังหันปฏิกรณ์ ผลิตภัณฑ์ของอากาศยานและอวกาศยาน เครื่องมือต่างๆ เครื่องเอกซเรย์ และกระจก ออกไซด์ของเบอริลเลียมนำมาใช้ทำเซรามิกที่มีความเฉพาะตัวสำหรับใช้ในงานไฟฟ้าและงานเทคโนโลยีสูง อัลลอยด์ที่ทำจากเบอริลเลียมถูกนำมาใช้ทำเป็นชิ้นส่วนของยานยนต์ คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์กีฬา (ไม้กอล์ฟ) และงานทันตกรรม

เบอริลเลียมสามารถเป็นอันตรายได้ถ้าสูดดมเข้าไป ผลที่ได้รับขึ้นอยู่กับปริมาณที่สัมผัสระยะเวลา รวมไปถึงความไวต่อพิษของแต่ละบุคคล ถ้าปริมาณของเบอริลเลียมในอากาศมีมากพอ (มากกว่า 1,000 มคก./ลบ.ม.) สามารถทำให้เกิดผลเฉียบพลันได้ ซึ่งมีอาการคล้ายคลึงกับโรคปอดอักเสบ โดยเรียกว่าโรคเบอริลเลียมเฉียบพลัน (acute beryllium disease)

คนงานบางกลุ่ม (ร้อยละ 1-15) มีแนวโน้มที่จะมีความไวต่อเบอริลเลียมมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการบวมพองในระบบทางเดินหายใจได้ สภาวะนี้เรียกว่าโรคจากพิษสะสมของเบอริลเลียม (chronic beryllium disease: CBD) และอาจเกิดขึ้นหลังจากได้รับเบอริลเลียมในอากาศที่สูงกว่ามาตรฐานหลายปี (มากกว่า 0.2 มคก./ลบ.ม.) และผู้ที่มีอาการนี้จะรู้สึกว่าร่างกายอ่อนแอ และเหนื่อย หายใจลำบาก เบื่ออาหาร น้ำหนักลด และอาจมีผลทำให้หัวใจห้องขวามีขนาดใหญ่ขึ้น และอาจเกิดโรคหัวใจได้ ผู้ที่มีความไวต่อเบอริลเลียมบางรายอาจไม่แสดงอาการดังที่กล่าวมาเลย โดยทั่วไปแล้วประชาชนแทบจะไม่มีโอกาสเป็นโรคจากพิษสะสมของเบอริลเลียมได้เนื่องจากในสภาพอากาศทั่วไป เบอริลเลียมอยู่น้อยมาก (0.00003-0.0002 มคก./ลบ.ม.) ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการกลืนเบอริลเลียมเนื่องกระเพาะและลำไส้สามารถดูดซึมเบอริลเลียมได้น้อยมาก

การสัมผัสกับเบอริลเลียมเป็นระยะเวลานานสามารถเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอดในคนได้ DHHS และ IARC ได้ลงความเห็นว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ EPA ประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสกับเบอริลเลียมด้วยความเข้มข้น 0.04 มคก./ลบ.ม. ตลอดช่วงชีวิตสามารถทำให้มีโอกาสเป็นมะเร็งได้ 1 ใน 1000

EPA ห้ามไม่ให้โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยเบอริลเลียมปริมาณเฉลี่ย 30 วันที่ความเข้มข้น 0.01 มคก./ลบ.ม. ออกสู่สิ่งแวดล้อม OSHA กำหนดค่าไว้ที่ 2 มคก./ลบ.ม. สำหรับการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

5. โบรอน (ATSDR, 1995)

โบรอนเป็นสารประกอบชนิดหนึ่งที่พบในธรรมชาติ โดยมากพบอยู่ร่วมกับสารอื่นเพื่อสร้างเป็นสารประกอบซึ่งเรียกว่า บอเรต สารประกอบของบอเรตรวมไปถึง กรดบอริก เกลือของบอเรต และโบรอนออกไซด์ บริษัทหลายแห่งในสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตส่วนใหญ่ของโลกจากสารประกอบโบรอน บอเรตส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้ว และยังใช้ในน้ำยาดับเพลิง อุตสาหกรรมพอกหนัง เครื่องสำอาง วัสดุเกี่ยวกับการถ่ายภาพ สบู่และสารทำความสะอาด เชื้อเพลิงพลังงานสูง นอกจากนี้ยังฆ่าแมลงบางประเภทซึ่งใช้ควบคุมแมลงสาบ และงานรักษาเนื้อไม้ก็มีบอเรตเป็นส่วนผสมด้วย

ปัจจุบันยังมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับโบรอนเป็นเวลานานๆ เนื่องจากการศึกษาเกือบทั้งหมดมุ่งประเด็นไปที่การได้รับในระยะสั้น การหายใจเอาโบรอนในความเข้มข้นระดับปานกลางอาจทำให้เกิดการระคายเคืองที่จมูก คอ และดวงตา มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ เช่น จำนวนของอสุจิลดลง ซึ่งพบในผู้ชายที่สัมผัสกับโบรอนเป็นเวลานานๆ การศึกษาด้วยสัตว์แสดงผลกระทบต่อปอดจากการหายใจเอาโบรอนความเข้มข้นสูงเข้าสู่ร่างกาย

การรับประทานโบรอนปริมาณมากในช่วงสั้นๆ สามารถทำอันตรายต่อ กระเพาะอาหาร ลำไส้ ตับ ไต และสมอง จากการศึกษาด้วยสัตว์พบผลจากการรับประทานโบรอนต่อลูกอันตะของ สัตว์ตัวผู้ การเกิดที่ผิดปกติของลูกสัตว์เนื่องจากแม่ได้รับโบรอนในขณะตั้งครรรภ์

DHHS, IARC และ EPA ยังไม่ระบุว่าโบรอนเป็นสารก่อมะเร็ง การศึกษากับสัตว์กรณีหนึ่ง ไม่พบหลักฐานในการเกิดมะเร็งหลังจากที่ได้รับกรดบอริกในอาหารตลอดช่วงชีวิต ซึ่งยังไม่ปรากฏ การศึกษาในมนุษย์

EPA อนุญาตให้มีโบรอนใน น้ำมันฝ้ายได้ไม่เกิน 300 มก./ล. ในผลไม้จำพวกส้มและ มะนาวไม่เกิน 8 มก./ล. นอกจากนี้หากต้องการทิ้ง โบรอนไตรคลอไรด์ หรือโบรอนไตรฟลูออไรด์ สู่อากาศมากกว่า 100 ปอนด์ จะต้องทำรายงาน OSHA กำหนดการสัมผัสโบรอน จากการทำงานไว้ที่ไม่เกิน 15 มก./ลบ.ม. สำหรับฝุ่นโบรอนออกไซด์ ในสถานที่ทำงาน 8 ชม./วัน 40 ชม./สัปดาห์

6. แคดเมียม (ATSDR, 1999)

แคดเมียมเป็นธาตุตามธรรมชาติที่พบได้ที่เปลือกโลก โดยทั่วไปอยู่ในรูปแร่ที่รวมตัวกับ ธาตุอื่น เช่น ออกซิเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์ แคดเมียมเกือบทั้งหมดที่ใช้ในสหรัฐถูกสกัดมาจากการผลิตโลหะชนิดอื่น เช่น สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง แคดเมียมใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้ง แบตเตอรี่ เม็ดสี เคลือบโลหะ และพลาสติก

แคดเมียมถูกจัดให้เป็นสารที่มีพิษเป็นลำดับที่ 8 ของ ATSDR จาก 20 อันดับ การหายใจ เอาแคดเมียมที่มีความเข้มข้นสูงเข้าสู่ร่างกายโดยทั่วไปแล้วจะทำความเสียหายแก่ปอด และอาจ ทำให้เสียชีวิตได้ การรับประทานหรือดื่มน้ำที่มีระดับแคดเมียมสูงจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่ กระเพาะอาหาร ซึ่งนำไปสู่การอาเจียน และท้องเสีย การได้รับแคดเมียมจากอากาศในระดับต่ำกว่า เป็นเวลานานๆ อาจทำให้เกิดการสะสมของแคดเมียมในไตและอาจก่อให้เกิดโรคไตได้ ผลระยะยาวอื่นๆ คือ เกิดความเสียหายในปอด กระดูกเปราะ สัตว์ที่ได้รับแคดเมียมจากอาหาร หรือน้ำ จะทำให้ความดันเลือดสูง เกิดภาวะเลือดขาดธาตุเหล็ก และระบบประสาทหรือสมองได้รับความเสียหาย ส่วนผลที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์จากการดื่มน้ำหรือกินอาหารที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าจะเกิดโรสดังกล่าวหรือไม่ การสัมผัสกับแคดเมียมทางผิวหนังยังไม่ทราบผล ต่อสุขภาพทั้งต่อคนและสัตว์

DHHS พิจารณาว่า แคดเมียม และสารประกอบของแคดเมียมอาจมีเหตุผลสมควรให้ คาดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

ผลต่อสุขภาพในเด็กคล้ายกับที่เกิดในผู้ใหญ่ (เกิดความเสียหายกับ ไต ปอด และลำไส้) ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าแคดเมียมจะมีผลต่อความไม่สมประกอบในมนุษย์หรือไม่ แคดเมียมจะไม่

เคลื่อนที่จากแม่สู่ลูกที่กำลังพัฒนาในครรภ์อย่างฉับพลัน แต่บางส่วนสามารถเดินทางผ่านรกได้นอกจากนี้ยังสามารถพบแคดเมียมได้ในน้ำนมแม่ ลูกสัตว์ที่ได้รับแคดเมียมในปริมาณมากขณะที่อยู่ในครรภ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรม และความสามารถในการเรียนรู้ แคดเมียมยังมีผลต่อน้ำหนักแรกเกิด และกระดูกของสัตว์ที่กำลังพัฒนาอีกด้วย การศึกษาในสัตว์พบว่าเกิดการสะสมของแคดเมียมในร่างกายเพิ่มขึ้นหากอาหารมีปริมาณแคลเซียม โปรตีน หรือ ธาตุเหล็กต่ำหรืออาหารไขมันสูง

EPA กำหนดปริมาณแคดเมียมในน้ำดื่มไม่เกิน 5 มก./ล. และไม่อนุญาตให้ใช้แคดเมียมในยาฆ่าแมลง FDA กำหนดปริมาณแคดเมียมในอาหารที่มีสีต้องไม่เกิน 15 ส่วนในล้านส่วน OSHA จำกัดอากาศในพื้นที่ทำงานปริมาตร 1 ลบ.ม. ต้องมีความเข้มข้นของแคดเมียมที่เป็นก๊าซเจือปนไม่เกิน 100 มก. และความเข้มข้นของแคดเมียมที่เป็นฝุ่นไม่เกิน 200 มก./ลบม.

7. โครเมียม (ATSDR, 2000)

โครเมียมเป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติพบมากในหิน สัตว์ ต้นไม้ ดิน จากฝุ่นและก๊าซของภูเขาไฟ โครเมียมที่ปรากฏในธรรมชาติมีอยู่หลายรูปที่พบมากได้แก่ โครเมียม(0) โครเมียม (III) และ โครเมียม (IV) โดยโครเมียม (III) เกิดขึ้นตามธรรมชาติและเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายเพื่อสนับสนุนการทำงานของอินซูลินในเนื้อเยื่อของร่างกายซึ่งทำให้สามารถนำน้ำตาลโปรตีน และไขมันไปใช้ประโยชน์ได้ โครเมียม (0) และโครเมียม (IV) เกิดโดยกระบวนการผลิตจากอุตสาหกรรม ซึ่งยังไม่ทราบเกี่ยวกับบรรทัดและกลื่นของมัน โครเมียม (0) ปกติเป็นโลหะแข็งสีเทา มีจุดหลอมเหลวสูง การใช้งานหลักสำหรับใช้ทำเหล็กกล้าและทำอัลลอยด์ชนิดอื่น สำหรับโครเมียม (III) ใช้ทำเป็นยาแนวอิฐในเตาเผาที่มีความร้อนสูง ใช้ทำโลหะและอัลลอยด์ นอกจากนี้ยังใช้ทำสารประกอบเคมี สารประกอบโครเมียม เกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของ โครเมียม (III) และโครเมียม (IV) ผลิตโดยโรงงานเคมีและใช้ในงานชุบโครเมียม อุตสาหกรรมผลิตเม็ดสีและสีย้อม อุตสาหกรรมฟอกหนัง งานรักษาเนื้อไม้ ปริมาณที่น้อยลงมาถูกใช้ในงานชุดเจาะ ตัวป้องกันสนิม และการกัดกร่อน สิ่งทอ และเป็นโทนเนอร์ในเครื่องถ่ายเอกสาร

โครเมียม (III) เป็นสารอาหารที่สำคัญที่ช่วยให้ร่างกายใช้ น้ำตาล โปรตีน และไขมัน สำหรับปริมาณที่แนะนำให้รับประทานในแต่ละวันสำหรับผู้ใหญ่คือ 50 - 200 มก. จากข้อมูลเฉลี่ยในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้ใหญ่ได้รับโครเมียมจากอาหารประมาณวันละ 60 - 80 มก. ซึ่งแสดงว่ามีผู้ที่ยังได้รับโครเมียม (III) ไม่เพียงพอจากอาหาร ซึ่งอาจส่งผลทำให้ร่างกายเสียความสามารถในการใช้น้ำตาล โปรตีน และไขมัน ซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักตัวลด การเจริญเติบโตลดลง การทำงานของระบบประสาทแย่ลง เกิดภาวะคล้ายเป็นโรคเบาหวาน ดังนั้นโครเมียม (III) จึงถูกใช้เป็นอาหารเสริมและมีประโยชน์หากได้รับในปริมาณที่เพียงพอในแต่ละวัน สำหรับ

โครเมียม (IV) นั้นมีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียม (III) โดยโครเมียม (IV) ถูกจัดให้เป็นสารที่มีพิษเป็นลำดับที่ 18 ของ ATSDR จาก 20 อันดับ การหายใจเอาสารประกอบโครเมียม (IV) เช่น กรดโครมิก หรือ โครเมียมไตรออกไซด์ เข้าไปในปริมาณสูง (มากกว่า 2 มก./ลบ.ม.) ทำให้เกิดอาการระคายเคืองจมูก น้ำมูกไหล จาม คัน เลือดกำเดาไหล เป็นแผลพุพอง ผลเหล่านี้จะเกิดขึ้นในคนงานที่ผลิตหรือใช้ โครเมียม (IV) ในช่วงหลายเดือนหรือหลายปี การได้รับโครเมียม (IV) เป็นเวลายาวนานอาจก่อให้เกิดมะเร็งปอด ในคนงานที่ได้รับโครเมียม (IV) ในอากาศที่มีปริมาณสูงกว่าที่พบในธรรมชาติ 100 ถึง 1,000 เท่า โดยมะเร็งปอดอาจเกิดขึ้นมาภายหลังแม้การรับโครเมียม (IV) จะสิ้นสุดลงแล้ว การสูดดมโครเมียม (IV) ปริมาณเล็กน้อยในช่วงเวลาสั้นหรือยาวนานไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการมีโครเมียมในที่ทำงานเป็นปริมาณมากส่งผลให้เกิดอาการหืดหอบต่อคนที่แพ้โครเมียม สำหรับการสูดดมโครเมียม (III) นั้นไม่ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองในคนส่วนใหญ่ คล้ายกับการสูดดม

การรับประทานโครเมียม (IV) นั้นไม่เป็นอันตราย อย่างไรก็ตามการกินโครเมียม (IV) ในปริมาณมากโดยเจตนาหรือโดยอุบัติเหตุทำให้รู้สึกผิดปกติที่กระเพาะ เป็นแผลพุพอง เกิดอาการคันอย่างรุนแรง เกิดความเสียหายต่อไตและตับ หรืออาจทำให้เสียชีวิตได้ สำหรับปริมาณของโครเมียม (IV) ที่ทำให้เกิดอาการเหล่านี้แตกต่างจากปริมาณที่พบในอาหารหรือน้ำอยู่มาก ถึงแม้ว่าโครเมียม (III) จะเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายแต่การได้รับในปริมาณก็ส่งผลเสียได้เช่นเดียวกัน คนงานที่ทำงานกับของเหลวหรือของแข็งที่มีโครเมียม (IV) ผสมอยู่อาจเกิดแผลพุพองสำหรับคนที่มีการแพ้โครเมียมจะเกิดอาการการบวมแดงอย่างรุนแรง สำหรับโครเมียม (0) ซึ่งไม่เกิดขึ้นเองในธรรมชาตินั้นยังไม่ทราบผลที่มีต่อสุขภาพ แต่มีข้อสันนิษฐานว่าจะไม่ส่งผลร้ายแรงต่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังไม่รายงานที่น่าเชื่อถือเกี่ยวผลของโครเมียมกับการสืบพันธุ์ของมนุษย์รวมไปถึงกำเนิดที่ไม่สมบูรณ์

เนื่องจากสารประกอบบางประเภทของโครเมียม (IV) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็งที่ปอดดังนั้น DHHS จึงพิจารณาว่า สารประกอบโครเมียม (IV) (แคลเซียมโครเมต โครเมียมไตรออกไซด์ ลีดโครเมต สตรอนเทียมโครเมต และ ซิงค์โครเมต) เป็นสารก่อมะเร็งในคนเช่นเดียวกันกับ IARC ซึ่งพิจารณาว่าโครเมียม (IV) นั้นเป็นสารก่อมะเร็งในคน สำหรับ EPA ระบุว่าโครเมียม (IV) ในอากาศเป็นสารก่อมะเร็งและระบุว่า สำหรับโครเมียม (IV) และ โครเมียม (III) ในอาหารและน้ำนั้นยังมีข้อมูลไม่เพียงพอในการพิจารณาว่าเป็นสารก่อมะเร็งหรือไม่

EPA กำหนดค่าสูงสุดของโครเมียม (III) และ โครเมียม (IV) ที่อนุญาตให้มีในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 100มก./ล. สำหรับปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดโรคนั้น EPA กำหนดค่าไว้ที่ 1,400 มก./ล. สำหรับการได้รับเป็นเวลา 10 วันในเด็ก 240 มก./ล.สำหรับการได้รับในระยะที่ยาวขึ้นในเด็ก 840 มก./ล. สำหรับผู้ใหญ่ และ 120 มก./ล.สำหรับการได้รับตลอดชีวิตของผู้ใหญ่

8. ทองแดง (ATSDR, 2004)

ทองแดงเป็นโลหะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีมากมายในสิ่งแวดล้อม ในหิน ดิน น้ำ และอากาศ ทองแดงเป็นธาตุที่สำคัญทั้งกับพืชและสัตว์ (รวมถึงมนุษย์ด้วย) ซึ่งหมายความว่าทองแดงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิต ดังนั้น พืชและสัตว์จะต้องดูดซับทองแดงจากการกิน การดื่ม และการหายใจ ทองแดงถูกใช้ในการทำเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น สายไฟ ท่อน้ำ และแผ่นโลหะ เหมืองแร่ทองแดงของสหรัฐที่ผลิตก่อนปี 1982 ทำมาจากทองแดงล้วน ในขณะที่เหมืองแร่ที่ผลิตหลังปี 1982 จะเคลือบทองแดงไว้ที่ผิวนอกเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถนำทองแดงมาผสมกับโลหะอื่นเพื่อทำเป็นทองเหลือง ทองแดง และ ก๊อกล้ำ สารประกอบทองแดงโดยทั่วไปใช้ในการเกษตรเพื่อรักษาโรคเชื้อราในพืช การปรับปรุงคุณภาพน้ำ งานรักษาเนื้อไม้ งานเครื่องหนัง และ สิ่งทอ

ทุกคนจำเป็นต้องได้รับทองแดงปริมาณเล็กน้อยในแต่ละวัน เนื่องจากทองแดงเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่ทองแดงปริมาณสูงสามารถก่อให้เกิดอันตรายได้ การสูดดมทองแดงที่มีความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการระคายเคืองที่จมูกและลำคอ ส่วนการรับประทานทองแดงในปริมาณมากทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และท้องร่วง ความเข้มข้นที่สูงมากๆ สามารถทำอันตรายต่อไต ตับ และอาจถึงแก่ชีวิตได้

ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าทองแดงสามารถทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้หรือไม่ โดย EPA พิจารณาว่าทองแดงไม่สามารถถูกจัดให้อยู่ในประเภทของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

การได้รับทองแดงความเข้มข้นสูงในเด็กส่งผลที่คล้ายคลึงกับในผู้ใหญ่ ซึ่งยังไม่ทราบว่าปริมาณของทองแดงที่ก่อให้เกิดโรคในเด็กจะเทียบเท่าในผู้ใหญ่หรือไม่ สำหรับการศึกษานี้สัตว์ผลที่มีต่อสุขภาพในลูกสัตว์จะรุนแรงกว่าในสัตว์ที่โตแล้วแต่ยังไม่ทราบว่าจะเป็นจริงในมนุษย์หรือไม่ สำหรับทารก และ เด็กที่มีความไวต่อพิษของทองแดงนั้นมีจำนวนน้อยมาก นอกจากนี้ยังไม่ทราบว่าทองแดงสามารถทำให้เกิดการคลอดที่ไม่สมบูรณ์ หรือผลต่อการพัฒนาอื่นๆในมนุษย์หรือไม่ โดยผลการจากทดลองในสัตว์พบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สูงส่งผลให้การเจริญเติบโตของตัวอ่อนในครรภ์ลดลง

EPA กำหนดมาตรฐานสำหรับน้ำดื่มว่าจะต้องมีปริมาณทองแดงเข้มข้นไม่เกิน 1.3 มก./ล. The U.S. Department of Agricultural ให้คำแนะนำเกี่ยวกับปริมาณทองแดงที่อนุญาตให้ได้รับในแต่ละวันไม่ควรเกิน 900 มคก.ของทองแดงต่อวัน สำหรับคนที่มีอายุมากกว่า 8 ปีขึ้นไป ส่วน OSHA กำหนดปริมาณทองแดงในอากาศในที่ทำงานต้องไม่มากเกิน 1.0 มก./ลบ.ม. สำหรับฝุ่นทองแดง

9. ตะกั่ว (ATSDR, 2005)

ตะกั่วเป็นโลหะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีสีออกฟ้าอมเทาสามารถพบได้ที่ผิวโลกในปริมาณน้อย ตะกั่วพบได้ในทุกส่วนของสิ่งแวดล้อมโดยมากมาจากกิจกรรมของมนุษย์รวมถึงการเผาเชื้อเพลิง เหมืองแร่ และอุตสาหกรรม ตะกั่วมีการใช้งานในหลายรูปแบบ เช่นในกระบวนผลิตแบตเตอรี่ กระสุน ผลิตภัณฑ์จากโลหะ (โลหะสำหรับบัดกรี และท่อ) เนื่องจากความเป็นห่วงเกี่ยวกับสุขภาพ ตะกั่วจากก๊าซซีลีเนียม สี ผลิตภัณฑ์เซรามิค วัสดุสำหรับอุดรูเรือ และวัสดุสำหรับเชื่อมท่อจึงมีปริมาณลดลงอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา

ตะกั่วถูกจัดให้เป็นสารที่มีพิษเป็นลำดับที่ 2 ของ ATSDR จาก 20 อันดับ ผลกระทบจากตะกั่วต่อสุขภาพจากการรับประทานหรือจากการหายใจนั้นเหมือนกัน โดยตะกั่วมีผลต่ออวัยวะและระบบเกือบทั้งหมดในร่างกาย สำหรับกลุ่มเป้าหมายหลักของพิษจากตะกั่วคือระบบประสาททั้งในเด็กและผู้ใหญ่ การได้รับตะกั่วเป็นเวลานานในผู้ใหญ่มีผลทำให้ความสามารถจากการทดสอบบางอย่างที่ใช้วัดการทำงานของระบบประสาทลดลง อาจทำให้เกิดอาการอ่อนแรงในนิ้วมือ ข้อมือ และข้อเท้า การได้รับสารตะกั่วยังส่งผลให้ความดันในเลือดสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัยกลางคนและผู้สูงอายุ และอาจทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง การได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากสามารถทำให้สมองและไตได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ และสุดท้ายอาจทำให้เสียชีวิตได้ ในผู้หญิงที่กำลังตั้งครรภ์การได้รับตะกั่วปริมาณมากอาจทำให้เกิดการแท้งบุตร นอกจากนี้ในผู้ชายที่รับสารตะกั่วปริมาณมากจะสามารถทำความเสียหายต่ออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตัวอสุจิ

ยังไม่มีข้อสรุปที่พิสูจน์ได้ว่าตะกั่วก่อให้เกิดมะเร็งในคน ส่วนการทดลองในหนูพบว่ามีเนื้องอกในไตเกิดขึ้นจากการได้รับสารประกอบของตะกั่วปริมาณมาก DHHS ได้พิจารณาว่าเหตุผลที่จะคาดว่าตะกั่วและสารประกอบตะกั่วเหล่านั้นเป็นสารก่อมะเร็งในคน ส่วน EPA นั้นพิจารณาว่ามีความเป็นไปได้ที่ตะกั่วจะเป็นสารก่อมะเร็งในคน สำหรับ IARC ก็พิจารณาว่าตะกั่วมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารก่อมะเร็งในคนเช่นกันแต่ยังมีข้อมูลไม่เพียงพอในการตัดสินใจว่าสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วจะเป็นสารก่อมะเร็งในคนหรือไม่

เด็กมีความอ่อนแอต่อพิษของตะกั่วมากกว่าผู้ใหญ่ เด็กที่กลืนตะกั่วปริมาณมากเข้าไปส่งผลให้เกิดภาวะโลหิตจาง ปวดท้องอย่างรุนแรง กล้ามเนื้ออ่อนแรง และเกิดความเสียหายต่อสมอง สำหรับเด็กที่กลืนตะกั่วในปริมาณที่น้อยลงมาผลที่เกิดขึ้นต่อการทำงานของสมองและเลือดจะมีน้อยลงมาก แต่ถึงอย่างไรการรับตะกั่วในปริมาณที่น้อยมากก็ยังส่งผลต่อจิตใจและการเจริญเติบโตทางกายภาพของเด็ก สำหรับเด็กที่ยังไม่คลอดสามารถได้รับสารตะกั่วผ่านทางมารดาซึ่งทำให้เกิดการคลอดก่อนกำหนด ทารกมีขนาดเล็ก ความสามารถทางจิตใจของทารกลดลง

เรียนรู้อยาก การเจริญเติบโตลดลงของเด็ก ซึ่งผลเหล่านี้จะมากขึ้นหากได้รับสารตะกั่วปริมาณมากขึ้น ผลบางอย่างอาจจะแสดงตลอดช่วงวัยเด็ก

The Centers for Disease Control and Prevention (CDC) แนะนำให้มีการตรวจหาสารตะกั่วสำหรับเด็กที่มีอายุ 1 และ 2 ปี และในเด็กที่มีอายุระหว่าง 3-6 ปี หากไม่เคยได้รับการตรวจมาก่อน หากอาศัยอยู่ในบ้านหรือไปบ้านที่สร้างก่อนปี 1950 บ่อยๆ หากไปเยี่ยมบ้านที่สร้างก่อนปี 1978 ที่เพิ่งมีการปรับปรุงใหม่ หากมีพี่น้องหรือเพื่อนเล่นที่ได้รับพิษจากสารตะกั่ว โดย CDC กำหนดระดับตะกั่วที่น่าเป็นห่วงสำหรับเด็กอยู่ที่ 10 มก./มล. สำหรับ EPA จำกัดปริมาณตะกั่วในน้ำดื่มอยู่ที่ 15 มก./ล.

10. แมงกานีส (ATSDR, 2001)

แมงกานีสเป็นโลหะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พบมากในหินหลายชนิด แมงกานีสบริสุทธิ์มีสีเงินแต่ไม่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยทั่วไปจะรวมตัวกับสารอื่นเพื่อสร้างสารประกอบได้แก่ออกซิเจน ซัลเฟอร์ หรือ คลอรีน แมงกานีสยังสามารถรวมกับคาร์บอนเพื่อสร้างสารประกอบแมงกานีสอินทรีย์ แมงกานีสเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย สามารถพบได้ในอาหารหลายประเภท เช่น ในเมล็ดพืช และ ชา

ในการได้รับแมงกานีสปริมาณมากเป็นเวลานานจากที่ทำงานทำให้เกิดการรบกวนทางสภาวะทางจิตใจและอารมณ์ และทำให้การเคลื่อนไหวร่างกายช้าลงและชุ่มชื้น อาการเหล่านี้รวมเรียกว่าโรคแมงกานีสซึม (Manganism) คนงานโดยปกติแล้วจะยังไม่เป็นโรคดังกล่าวจนกว่าจะได้รับแมงกานีสเป็นเวลาหลายเดือนหรือเป็นปี โรคแมงกานีสซึม เกิดขึ้นเนื่องจากแมงกานีสเข้าไปทำลายสมองส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย การได้รับแมงกานีสปริมาณสูงที่ลอยมาตามอากาศ เช่น ในโรงหลอมแมงกานีส โรงงานแบตเตอรี่ มีผลต่อความสามารถบางอย่างเช่น การทำมือนิ่ง การเคลื่อนไหวมืออย่างรวดเร็ว และการรักษาสมดุล นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ และความผิดปกติของการทำงานของอวัยวะเพศ

สำหรับผลของแมงกานีสต่อการเกิดมะเร็งในคนนั้นยังไม่มีข้อมูล ส่วนการได้รับแมงกานีสปริมาณมากจากอาหารมีผลให้เพิ่มโอกาสการเกิดเนื้องอกในตับอ่อนของหนูตัวผู้ และเนื้องอกในไทรอยด์ทั้งหนูตัวผู้และตัวเมีย EPA พิจารณาว่าแมงกานีสไม่สามารถจัดประเภทให้เป็นสารก่อมะเร็งในคนได้

การได้รับแมงกานีสที่พอเหมาะในแต่ละวันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีของเด็ก ในมารดาที่กำลังตั้งครรภ์จะมีแมงกานีสเพื่อการพัฒนาของตัวอ่อนในครรภ์ นอกจากนี้แมงกานีสยังสามารถถ่ายทอดผ่านน้ำนมแม่สู่ลูกในระดับที่เหมาะสมเพื่อการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์

เด็กหรือแม้กระทั่งผู้ใหญ่ที่สูญเสียความสามารถในการกำจัดแอมกานีสส่วนเกินในร่างกายอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบประสาท เนื่องจากในช่วงเด็กจะได้รับแอมกานีสสูงกว่าผู้ใหญ่ ดังนั้นจึงมีความกังวลว่าเด็กจะมีไวต่อพิษของแอมกานีสที่มากเกินไปได้

ผลการศึกษาในสัตว์บ่งชี้ว่า การได้รับแอมกานีสในปริมาณสูงสามารถทำให้ตัวอ่อนไม่สมประกอบ สำหรับมารดาที่ได้รับแอมกานีสที่มากเกินไปยังไม่มีข้อมูลว่าแอมกานีสที่สูงเกินไปนั้นสามารถส่งไปยังตัวอ่อนในครรภ์หรือน้ำนมได้หรือไม่

EPA กำหนดมาตรฐานที่ไม่ได้บังคับใช้น้ำดื่มไว้ที่ 0.05 มก./ล. The National Research Council ได้แนะนำว่าปริมาณของแอมกานีสที่เพียงพอและปลอดภัยในแต่ละวันอยู่ในช่วง 0.3-1 มก./วัน สำหรับเด็กอายุไม่เกิน 1 ปี 1-2 มก./วัน สำหรับเด็กอายุไม่เกิน 10 ปี และ 2-5 มก./วัน สำหรับเด็กตั้งแต่อายุ 10 ปีขึ้นไป

11. พรอท (ATSDR, 1999)

พรอทเกิดในธรรมชาติจากการปล่อยก๊าซของเปลือกโลกในการปะทุของภูเขาไฟ ปกติแล้วพรอทอยู่ใน 3 รูปแบบคือ พรอทที่เป็นธาตุ เป็นสารประกอบอินทรีย์ และ อนินทรีย์ พรอทมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญจากการทำเหมืองแร่ และอุตสาหกรรมกระดาษ พรอทในบรรยากาศจะกระจายไปทั่วโลกโดยอาศัยลม และกลับสู่พื้นโลกโดยฝนเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำและ ปลาในทะเลสาบ สารประกอบของพรอทใช้เติมไปในสีเพื่อเป็นสารกำจัดราตั้งแต่ปี 1990 แม้ว่าปัจจุบันสารประกอบตัวนี้จะถูกห้ามใช้ แต่สีเก่าๆ และสีที่ทาไปแล้วก็ยังคงอยู่ นอกเหนือจากนี้ยังมีการใช้พรอทในเทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมสตัด และ อมัลกัมซึ่งใช้ในงานทันตกรรม (มีนักวิจัยหลายคนสงสัยว่า อมัลกัมเหล่านี้มีโอกาสที่จะเป็นแหล่งของพิษพรอท แม้แต่ในยา เช่น mercurochrome และ merthiolate ก็มีพรอทเป็นองค์ประกอบ ยาฆ่าสาหร่าย และวัคซีนสำหรับเด็กล้วนแต่สามารถที่จะมีพรอทแฝงอยู่ได้ทั้งสิ้น

พรอทถูกจัดให้เป็นสารที่มีพิษเป็นลำดับที่ 3 ของ ATSDR จาก 20 อันดับ โดยส่วนใหญ่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเข้าไป พรอทในรูปของสารประกอบอินทรีย์พร้อมที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยกระเพาะและลำไส้ (ร้อยละ 90-100) ส่วนพรอทในรูปของสารอนินทรีย์แม้จะถูกดูดซึมในปริมาณที่น้อยกว่าแต่ก็มีความสำคัญ (ร้อยละ 7-15) อวัยวะเป้าหมายคือ สมอง และไต พิษเฉียบพลันของพรอทอาจเกิดขึ้นได้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และ การผลิตยาฆ่ารา เทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมสตัด พรอทเหลวเป็นสิ่งที่ดึงดูดใจต่อเด็กๆ เพราะความที่เป็นสีเงิน และมีพฤติกรรมเฉพาะเวลาที่หกล เด็กๆ มักจะได้รับพิษเฉียบพลันจากการกลืนกินพรอทในเทอร์โมมิเตอร์ที่แตกหรือดื่มยาที่มีพรอทเป็นองค์ประกอบเข้าไป และ เพราะว่าไอพรอทจะเข้มข้นที่ระดับพื้น เด็กที่คลานจึงเป็นอันตรายมากในขณะที่มีพรอทกระจายในช่วงพิธีกรรมทางศาสนา หรือในขณะที่มีการรั่วไหลของ

ปรอท ปรอทที่รั่วไหลออกมาจากการทำความสะอาดมาก รวมทั้งส่วนที่ยังเหลือติดพรมก็ยากต่อการตรวจพบด้วย อาการของพิษปรอทเฉียบพลัน ได้แก่ ไข้ เจ็บคอ หายใจติดขัด รู้สึกเหมือนมีรสชาติโลหะในปาก ปวดท้อง คลื่นเหียน อาเจียน ท้องเสีย ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย การมองเห็นไม่ชัดเจน หัวใจเต้นเร็วผิดปกติ และ ความดันโลหิตสูง

พิษปรอทเรื้อรังอาจทำให้เกิดความเสียหายอย่างถาวรต่อระบบประสาทส่วนกลาง และ ไต ปรอทสามารถส่งผ่านในรกจากมารดาสู่ทารกในครรภ์ (และระดับปรอทในทารกมักจะเป็นสองเท่าของที่มีในมารดาด้วย) และ สะสมได้ ซึ่งส่งผลให้สมองทำงานช้า หรือ ถูกทำลาย สมองเป็นอัมพาต ตาบอด เป็นลม และ พุดไม่ได้

อัมลัษณ์ที่ใช้ในทันตกรรมก็ถูกสงสัยว่าจะอาจจะเป็นไปได้ที่เป็นแหล่งของพิษปรอทแบบเรื้อรัง แพทย์บางคนกล่าวว่าอัมลัษณ์ที่ใช้อุดฟันน่าจะเป็นส่วนหนึ่งของคำอธิบายถึงปัญหาเด็กออทิสติกตั้งแต่ช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการนำเอาปรอทอัมลัษณ์เข้ามาใช้อย่างกว้างขวาง ในการศึกษาทั้งกับสัตว์ และ คนยืนยันว่าพบปรอทจากอัมลัษณ์ในเนื้อเยื่อสัตว์ทดลอง เลือด น้ำคร่ำ หรือ ในปัสสาวะ อย่างไรก็ตาม Dr. Robert M. Anderton แห่งสมาคมทันตแพทย์อเมริกากล่าวว่า ไม่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ยืนยันเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการใช้อัมลัษณ์และอาการหรือความเจ็บป่วยเรื้อรังที่เกิดขึ้น

12. เซเลเนียม (ATSDR, 2003)

เซเลเนียมเป็นแร่ธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและแพร่กระจายอย่างแพร่หลายในสิ่งแวดล้อมส่วนมากพบในหินและดิน ในรูปบริสุทธิ์ เซเลเนียมเป็นโลหะที่มีสีเทาไปจนถึงสีดำมีรูปผลึกเป็นทรง 6 เหลี่ยม แต่โดยทั่วไปมักรวมตัวอยู่กับ ซัลไฟด์ เงิน ทองแดง ตะกั่ว หรือ นิเกิล เซเลเนียมเกือบทั้งหมดถูกใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนั้นยังสามารถนำเซเลเนียมมาใช้เป็นอาหารเสริม ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว ทำเป็นเม็ดสีในพลาสติก สี งานเคลือบ หมึก ยาง ในกระบวนการเตรียมการปรุงยา เป็นอาหารเสริมของสัตว์ปีกและปศุสัตว์ การสร้างรูปของยาฆ่าแมลง เป็นส่วนผสมในแชมพูกำจัดรังแค เป็นส่วนผสมในยาฆ่าเชื้อรา สำหรับสารกัมมันตภาพรังสีเซเลเนียมถูกใช้ในวินิจฉัยทางการแพทย์

เซเลเนียมมีทั้งผลดีและผลเสียต่อสุขภาพ โดยร่างกายคนเราต้องการเซเลเนียมในปริมาณต่ำๆ เพื่อการรักษาสุขภาพที่ดี อย่างไรก็ตามการได้รับเซเลเนียมในปริมาณมากสามารถส่งผลเสียต่อสุขภาพได้เช่นกัน การรับประทานเซเลเนียมปริมาณมากเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และท้องร่วง การได้รับสารประกอบเซเลเนียมปริมาณมากเป็นเวลานาน สามารถก่อให้เกิดโรคที่เรียกว่า เซเลโนซิส (Selenosis) สัญญาณหลักที่บ่งชี้ของโรคดังกล่าวคือ ผลร่วง เล็บเปราะหักง่าย ระบบประสาทผิดปกติ (เช่น เกิดอาการชา มึนงง

เกิดความรู้สึกแปลกอื่นๆ ที่ปลายแขน) การได้รับเซลเนียม หรือ เซเลเนียมไดออกไซด์ ชั่วครู่ ในอากาศ มีผลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเส้นทางเดินหายใจ หลอดลมอักเสบ หายใจลำบาก และมีอาการเจ็บท้อง การได้รับสารดังกล่าวอย่างใดอย่างหนึ่งในอากาศนานขึ้น สามารถทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ เกิดตะคริวที่หลอดลม ไอ ซึ่งปริมาณของเซลเนียมที่ก่อให้เกิดอาการเหล่านี้โดยทั่วไปแล้วไม่พบนอกบริเวณทำงาน

ผลการศึกษาในสัตว์แสดงให้เห็นว่า เซเลเนียมปริมาณสูงมีผลต่อการผลิตสูกินในสัตว์ตัวผู้ และมีผลต่อวงจรสืบพันธุ์ของสัตว์เพศเมีย แต่ยังไม่ทราบว่าในคนจะเกิดโรคเช่นเดียวกันนี้หรือไม่

การศึกษาในห้องปฏิบัติการทั้งของคนและสัตว์พบว่าสารประกอบของเซลเนียมเกือบทั้งหมดไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง อันที่จริงแล้วการศึกษาในคนมีข้อเสนอแนะว่าการได้รับเซลเนียมในปริมาณที่ต่ำกว่าที่มีปกติในอาหารอาจทำให้เพิ่มความเสี่ยงที่จะเกิดมะเร็ง IARC ได้พิจารณาว่า เซเลเนียม และสารประกอบเซลเนียมไม่ถูกจัดอยู่ในประเภทสารที่ก่อมะเร็งในมนุษย์ ส่วน EPA พิจารณามีสารประกอบเซลเนียมอยู่ชนิดหนึ่งที่อาจเป็นสารก่อมะเร็งอยู่นั่นคือ เซเลเนียมซัลไฟด์ แต่อย่างไรก็ดีสารประกอบเซลเนียมซัลไฟด์นี้ไม่พบในอาหารและเป็นสารเคมีที่มีความแตกต่างจากสารประกอบเซลเนียมที่พบในอาหารและในสิ่งแวดล้อมมาก

ผลต่อร่างกายในเด็กมีความคล้ายคลึงกับในผู้ใหญ่ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาหนึ่งพบว่าเด็กอาจมีความไวต่อพิษของเซลเนียมน้อยกว่าผู้ใหญ่ สารประกอบเซลเนียมไม่ปรากฏผลต่อการเกิดที่ไม่สมบูรณ์ทั้งในคนและในสัตว์

EPA ห้ามไม่ให้มีเซลเนียมในระบบจ่ายน้ำสาธารณะเกิน 50 มก./ล. ATSDR และ EPA พิจารณาว่า การได้รับเซลเนียมปริมาณ 5 มก.ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. ต่อวัน ไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายตลอดช่วงชีวิต

13. สตรอนเทียม (ATSDR, 2004)

สตรอนเทียมเป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติพบได้ในหิน ดิน ฝุ่น ถ่านหินและน้ำมัน สตรอนเทียมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะไม่ใช้สารกัมมันตภาพรังสี ซึ่งสามารถเรียกว่าเป็น สตรอนเทียม หรือ สตรอนเทียมที่คงตัว สตรอนเทียมในสิ่งแวดล้อมมีสภาวะคงตัวอยู่ 4 ไอโซโทป ^{84}Sr (อ่านว่า สตรอนเทียม แปดสิบ - สี่) ^{86}Sr ^{87}Sr และ ^{88}Sr สารประกอบสตรอนเทียมถูกใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเซรามิกส์และผลิตภัณฑ์จากแก้ว เม็ดสี หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และยา

สตรอนเทียมสามารถอยู่ในรูปของสารกัมมันตภาพรังสีได้หลายชนิดโดยทั่วไปคือ ^{90}Sr ซึ่งจะเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์นิวเคลียร์ หรือในระหว่างที่เกิดการระเบิดของอาวุธนิวเคลียร์ โดย ^{90}Sr มีครึ่งชีวิตอยู่ที่ 29 ปี

การได้รับสตรอนเทียมคงตัวในระดับต่ำไม่แสดงผลกระทบต่อสุขภาพ แต่อาจส่งผลกระทบต่อเด็กได้ (ดังจะกล่าวต่อไป) การหายใจหรือรับประทานกัมมันตภาพสตรอนเทียมเข้าไปในระดับต่ำไม่แสดงผลกระทบต่อสุขภาพ ถ้าระดับความเข้มข้นสูงอาจส่งผลกระทบต่อไขกระดูก เกิดภาวะโลหิตจาง และ ชัดขวางการจับตัวของเลือด

มีสารประกอบของสตรอนเทียมคงตัวเพียงชนิดเดียวที่อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งได้แก่ สตรอนเทียมโครเมต แต่ทั้งนี้เนื่องจากตัวโครเมต ไม่ใช่สตรอนเทียม การได้รับกัมมันตภาพสตรอนเทียมระดับสูงอาจทำให้เกิดมะเร็ง ซึ่งโรคลูคีเมียได้เคยตรวจพบในคนที่สัมผัสกับกัมมันตภาพสตรอนเทียมปริมาณมาก สำหรับการทดลองในสัตว์พบโรคลูคีเมีย มะเร็งในกระดูก จมูก ปอด และ ผิวหนัง IARC ได้ระบุว่า สารกัมมันตภาพสตรอนเทียมเป็นสารก่อมะเร็ง

ยังไม่ปรากฏหลักฐานว่าการสัมผัสกับสตรอนเทียมจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาที่ไม่สมบูรณ์หรือผลที่เกี่ยวกับพัฒนาการในมนุษย์ สำหรับการเกิดที่ไม่สมบูรณ์พบได้ในการศึกษาด้วยสัตว์ที่ได้รับสารกัมมันตภาพสตรอนเทียม การได้รับสตรอนเทียมคงตัวในปริมาณสูงในเด็กสามารถทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโตลดลง เด็กอาจมีความไวต่อพิษของสารกัมมันตภาพสตรอนเทียมมากกว่าผู้ใหญ่

EPA กำหนดค่าในน้ำดื่มไม่ควรเกิน 4,000 มก./ล. และมี ^{90}Sr ไม่เกิน 8 พิโกคูลี

14. วานาเดียม (ATSDR, 1995)

วานาเดียมเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เป็นโลหะที่มีสีขาว-เทา และสามารถพบได้บ่อยๆ ในรูปผลึก วานาเดียมบริสุทธิ์จะไม่มีกลิ่น โดยทั่วไปรวมตัวกับธาตุอื่นเช่น ออกซิเจน โซเดียม ซัลเฟอร์ และคลอไรด์ วานาเดียมและสารประกอบของวานาเดียมพบได้ในเปลือกโลก ในหิน แร่เหล็ก และ แหล่งน้ำมันดิบ วานาเดียมสามารถรวมตัวกับโลหะชนิดอื่นเพื่อผลิตเป็นอัลลอยด์ สำหรับวานาเดียมในรูปของวานาเดียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบในโลหะชนิดพิเศษซึ่งใช้ในชิ้นส่วนยานยนต์ สปริง ลูกปืน (ball bearing) วานาเดียมเกือบทั้งหมดที่ใช้ในสหรัฐถูกนำไปผลิตเป็นเหล็กกล้า ออกไซด์ของวานาเดียมนั้นจะเป็นผงสีเหลืองส้ม หรือเป็นแผ่นสีเทาเข้ม หรือผลึกสีเหลือง นอกจากนี้วานาเดียมยังถูกใช้ผสมกับเหล็กเพื่อผลิตชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องยนต์ของอากาศยาน

การได้รับวานาเดียมในปริมาณสูงอาจส่งเสียต่อสุขภาพ ผลกระทบหลักจากการสูดดมคือที่ ปอด คอ และ ดวงตา คนงานที่หายใจเอาวานาเดียมเข้าไปทั้งช่วงเวลาสั้นและยาวบางครั้งจะเกิดอาการ ระคายเคืองที่ปอด ไอ หายใจหอบ เจ็บหน้าอก น้ำมูกไหล และเจ็บคอ ผลกระทบเหล่านี้จะหมดไปภายหลังจากที่หยุดการหายใจในอากาศที่มีการปนเปื้อน ผลที่เกิดขึ้นในสัตว์ใกล้เคียงกับในมนุษย์ นอกจากนี้ที่กล่าวมาแล้วยังไม่พบผลกระทบต่อสุขภาพอื่นๆจากวานาเดียมที่พบใน

มนุษย์ สำหรับการรับประทานวานาเดียมเข้าไปนั้นยังไม่ทราบถึงผลกระทบที่มีต่อสุขภาพในมนุษย์ สำหรับสัตว์การรับประทานวานาเดียมเข้าไปเป็นจำนวนมากทำให้เสียชีวิต สำหรับปริมาณที่ต่ำลง แต่ยังคงมีความเข้มข้นของวานาเดียมค่อนข้างมากซึ่งสัตว์ได้รับในขณะตั้งครรภ์ให้ผลการคลอดที่ไม่สมบูรณ์เล็กน้อย สำหรับสัตว์ที่สูดดมหรือรับประทานวานาเดียมเป็นเวลานาน ๆ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ไต และ ตับ โดยปริมาณของวานาเดียมที่นำมาทดสอบกับสัตว์ที่แสดงผลกระทบต่อสุขภาพมีค่ามากกว่าที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมมากกว่ามาก

DHHS IARC และ EPA ยังไม่ได้จัดให้วานาเดียมเป็นสารก่อมะเร็งต่อมนุษย์ และยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นสารก่อมะเร็งของวานาเดียมในมนุษย์ ไม่มีการเพิ่มขึ้นของเนื้องอกในสัตว์ที่ได้รับวานาเดียมจากน้ำดื่มเป็นเวลานาน

EPA ระบุว่าหากผู้ใดต้องการที่จะวานาเดียมออกสู่สิ่งแวดล้อมที่มีปริมาตรตั้งแต่ 1,000 ปอนด์ขึ้นไปจะต้องทำรายงาน OSHA ได้กำหนดค่าจำกัดปริมาณฝุ่นของวานาเดียมเพนโทไซด์ (vanadium pentoxide) ในอากาศไว้ที่ 0.05 มก./ลบ.ม. สำหรับก๊าซที่ 0.1 มก./ลบ.ม. สำหรับอากาศในที่ทำงาน 8 ชม./วัน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

15. สังกะสี (ATSDR, 2005)

สังกะสีเป็นหนึ่งในธาตุพื้นฐานที่พบได้มากบนโลกทั้งใน อากาศ ดิน และในน้ำ และยังมีอยู่ในอาหารแทบทุกชนิด สังกะสีบริสุทธิ์เป็นโลหะที่มีความเงาสีขาวออกฟ้า สังกะสีใช้มากในงานเคลือบเพื่อป้องกันสนิม ในแบตเตอรี่แห้ง และผสมกับโลหะชนิดอื่นเพื่อทำเป็นอัลลอยด์ เช่น ทองเหลือง และทองสัมฤทธิ์ อัลลอยด์จากสังกะสีและทองแดงนั้นเคยใช้ทำเป็นเหรียญเฟรนนีของสหรัฐอเมริกา สังกะสีสามารถรวมตัวกับธาตุอื่นเพื่อสร้างรูปสารประกอบ โดยทั่วไปสารประกอบของสังกะสีจะสามารถพบได้ในพื้นที่ที่เป็นของเสียอันตราย เช่น คลอไรด์ของสังกะสี ออกไซด์ของสังกะสี ซัลเฟตของสังกะสี และ สังกะสีซัลไฟด์ สารประกอบสังกะสีใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตสี ยาง สีย้อม งานรักษาเนื้อไม้ และ ซีเมนต์

สังกะสีเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นในอาหาร สังกะสีที่น้อยเกินไปสามารถทำให้เกิดปัญหาในขณะเดียวกัน สังกะสีที่มากเกินไปก็ทำอันตรายได้ อันตรายที่เพิ่มขึ้นโดยทั่วไปแล้วจะเริ่มตั้งแต่ 10 – 15 เท่า ของที่มนุษย์ต้องการสำหรับการมีสุขภาพที่ดี การกินสังกะสีในปริมาณมากถึงแม้จะเป็นช่วงสั้นๆ แต่ก็สามารถทำให้เกิดอาการตะคริวที่ท้อง คลื่นไส้ และอาเจียน หากได้รับนานขึ้นทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง ระดับคอเรสเตอรอลที่ลดลง ยังไม่ทราบผลต่อการสืบพันธุ์ของมนุษย์จากการได้รับสังกะสีปริมาณมาก หนูที่ถูกเลี้ยงด้วยสังกะสีปริมาณมากทำให้เกิดการเป็นหมัน การหายใจเอาฝุ่นหรือควันของสังกะสีเข้าสู่ร่างกายสามารถทำให้เกิดโรคเฉพาะที่เกิดขึ้นระยะสั้น

เรียกว่า "ใช้จากควันของโลหะ" สำหรับผลในระยะยาวจากการหายใจเอาสังกะสีเป็นเวลานานๆ นั้นยังไม่มีข้อมูล

DHHS EPA และ IARC ยังไม่จัดประเภทให้สังกะสีเป็นสารก่อมะเร็ง จากข้อมูลที่ยังไม่สมบูรณ์ในการศึกษาด้วยคนและสัตว์

EPA แนะนำปริมาณของสังกะสีในน้ำดื่มว่าไม่ควรเกิน 5 มก./ล. จากสาเหตุเรื่องรสชาติ และระบุว่าในการทิ้งสังกะสีปริมาณ 1,000 ปอนด์ (หรือ 5,000 ปอนด์ในบางกรณี) จะต้องทำรายงาน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

3.1.1 การวางแผนการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมอุปกรณ์ สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง
2. การวางแผนเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจากกระบวนการผลิตปกติของโรงงาน
3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักก่อนการทดสอบการชะละลาย
4. การดำเนินการทดลอง
5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการชะละลายของโลหะหนักจากโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซึ่งใช้กากอุตสาหกรรมเป็นเชื้อเพลิงและ/หรือวัตถุดิบร่วมในกระบวนการผลิต โดยได้แบ่งการทดลองเป็นดังนี้

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างปุ๋ยหมัก เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจเลือกตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบการชะละลายในขั้นตอนต่อไป
2. ทดสอบการชะละลายของโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ที่เวลาต่าง ๆ โดยการทดสอบนั้นมีการแปรเปลี่ยนสภาวะการชะละลาย เพื่อศึกษาว่าสภาวะเหล่านั้นมีผลต่อการชะละลายหรือไม่อย่างไร
3. ขั้นตอนการทดสอบการเปลี่ยนแปลงระดับอนุภาคของโครงสร้างภายหลังผ่านการชะละลายที่เวลาต่าง ๆ

3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
2. แบบพลาสติกสำหรับทดสอบการชะละลาย
3. เครื่องแก้วสำหรับวัดตวง
4. เครื่องบดปุ๋ยหมัก
5. ตะแกรงแยกขนาด
6. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

7. เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
8. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
9. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
10. เตาอบวัสดุ (Oven)
11. เครื่องย่อยสลายสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave digester)
12. เครื่อง ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer)
13. เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infra-Red Spectrophotometer)
14. เครื่อง XRD (X-Ray Diffraction Spectrometer)

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดไนตริก ความเข้มข้นร้อยละ 65 (65% HNO_3)
2. กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 50 (50% HF)
3. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 (37% HCl)
4. กรดบอริก ความเข้มข้น 0.87 โมลาร์ (0.87 โมลาร์ H_3BO_3)
5. กรดซัลฟูริก ความเข้มข้นร้อยละ 96 (96% H_2SO_4)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
7. ฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain water)
8. สารละลายมาตรฐาน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของโลหะหนักผสม

3.2.3 การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายกรดบอริก

ซึ่งกรดบอริกชนิดผง 53.4647 กรัม ละลายในน้ำที่ปราศจากไอออนปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 0.87 โมลาร์

2. การเตรียมฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain water)

ผสมกรดไนตริกและกรดซัลฟูริกในอัตราส่วนร้อยละ 40 ต่อ 60 โดยน้ำหนักลงในน้ำปราศจากไอออน จนมีพีเอชเท่ากับ 3 ± 0.2 (EPA, 1986) ใช้เป็นฝนกรดสังเคราะห์ในการทดสอบการชะละลาย

3.3 การเตรียมตัวอย่างปูนเม็ด

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นปูนเม็ด (Clinker) ที่ได้จากกระบวนการผลิตปกติของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด (มหาชน) โรงงานสระบุรี จากโรงผลิตที่มีการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงทดแทนร่วมกับวัตถุดิบและเชื้อเพลิงหลักในกระบวนการผลิต

ในการเก็บตัวอย่างมีวิธีการเก็บเป็นแบบกะ (Batch) ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างปูนเม็ด คือ เดือนกันยายน พ.ศ. 2547 จำนวน 6 ตัวอย่าง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 จำนวน 7 ตัวอย่าง เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 จำนวน 12 ตัวอย่าง และ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 จำนวน 5 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างรวมทั้งหมด 30 กะ (30 ตัวอย่าง)

ปูนเม็ดแต่ละกะที่ได้ต้องนำไปบดให้มีขนาดเล็กขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มิลลิเมตร) ได้เกือบทั้งหมดก่อนนำมาย่อยสลายด้วยกรดตามมาตรฐาน EPA วิธี 3052 และนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักในปูนเม็ดด้วยเครื่อง ICP-OES ต่อไป

3.4 การดำเนินการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างปูนเม็ด

3.4.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1 (การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ด โดยการย่อยสลายด้วยกรด) สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
- ตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองที่ 1	- ตัวอย่างปูนเม็ด (Clinker) ที่ผ่านการบดแล้ว ช่วงเดือน กันยายน 2547- กุมภาพันธ์ 2548 จำนวน 30 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างด้วย วิธี Composite Sampling ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. วิธีการย่อยสลาย 2. ปริมาณตัวอย่างปูนเม็ด 3. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ - กรดไนตริก เข้มข้นร้อยละ 65 - กรดไฮโดรฟลูออริก เข้มข้นร้อยละ 50 - กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้นร้อยละ 37 - กรดบอริก ความเข้มข้น 0.87 โมลาร์ 4. การวิเคราะห์ผล	1. SW-846 Method 3052 ของ US EPA 2. 0.5 กรัม (ปริมาณที่ใช้ในแต่ละซ้ำ) 3. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ - 9 มิลลิลิตร - 3 มิลลิลิตร - 2 มิลลิลิตร - 37 มิลลิลิตร 4. เครื่อง ICP-OES

ตารางที่ 3.1(ต่อ) ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1

ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้	ข้อมูล
- การเก็บรักษาตัวอย่างภายหลังการย่อยสลาย	- เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
- วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างด้วย เครื่อง ICP-OES	- ปริมาณโลหะบางชนิดและโลหะหนักที่พบในปูน เม็ด อาทิ As Ca Cr Mn Pb Sr Zn เป็นต้น

3.4.1.2 รายละเอียดขั้นตอนในการทดลองที่ 1

1.การย่อยสลายปูนเม็ด

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ดจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ปูนเม็ดที่ผ่านการบดแล้วจำนวน 30 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 กรัม รวม 90 ตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่างที่บดแล้วหนัก 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำมาย่อยสลายด้วยเครื่องไมโครเวฟ ETHOS SEL ตามมาตรฐานการย่อยสลายสารที่มีปริมาณซิลิกาสูง (Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices) ของ US EPA SW-846 Method 3052 (EPA,1995) โดยเติมกรดไนตริก (HNO_3) 9 ± 0.1 มิลลิลิตร กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) $3 - 4 \pm 0.1$ มิลลิลิตร ขึ้นอยู่กับปริมาณซิลิกา (Si) ในตัวอย่างและเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 2 ± 2 มิลลิลิตร เพื่อสร้างเสถียรภาพแก่โลหะหนักบางชนิดเช่น เงิน (Ag) แบร์เรียม (Ba) พลวง (Sb) เหล็ก (Fe) และอลูมิเนียม (Al) ซึ่งการเติมกรดทุกครั้งต้องทำในตู้ดูดควัน จากนั้นนำชุดตัวอย่างใส่เข้าในเครื่องไมโครเวฟตั้งการทำงานไว้ 3 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 ให้เครื่องเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องสู่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในเวลา 5.5 นาที

ช่วงที่ 2 ให้เครื่องรักษาอุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียสไว้นาน 9.5 นาที

ช่วงที่ 3 เครื่องไมโครเวฟหยุดให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแต่ยังทำงานต่อเพื่อลดอุณหภูมิลงโดยขั้นตอนนี้อาจกินเวลาตั้งแต่ 5 – 15 นาที

จากนั้นเมื่อตัวอย่างเย็นแล้วจึงนำออกมาเติมกรดบอริก (H_3BO_3) 37 มิลลิลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ที่เหลือการกระบวนแรกเป็นกรดฟลูออโรบอริก (HBF_4) จากนั้นนำชุดตัวอย่าง เข้าทำการย่อยต่อโดยตั้งการทำงานไว้ 3 ช่วงเช่นกันคือ

ช่วงที่ 1 ให้เครื่องเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องสู่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ในเวลา 13 นาที

ช่วงที่ 2 ให้เครื่องรักษาอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียสไว้นาน 6 นาที

ช่วงที่ 3 เครื่องไมโครเวฟหยุดให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแต่ยังทำงานต่อเพื่อลดอุณหภูมิลง โดยขั้นตอนนี้อาจกินเวลาตั้งแต่ 5-15 นาที

เมื่อสิ้นสุดการทำงานและตัวอย่างเย็นลงแล้ว นำตัวอย่างออกมาปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ก่อนนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักและโลหะบางชนิด อาทิ สารหนู แคลเซียม โครเมียม แมงกานีส ตะกั่ว สตรอนเทียม สังกะสี เป็นต้น ด้วยเครื่อง ICP-OES ต่อไป ซึ่งการย่อยสลายด้วยเครื่องไมโครเวฟตามวิธี 3052 นั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่ต้องการย่อยสลายองค์ประกอบทั้งหมดเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิจัยที่ต้องรายงานผลในรูปของปริมาณทั้งหมด

2. การเลือกตัวอย่างปุ๋ยมัดไปทดสอบการชะละลาย

ภายหลังการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยมัดแล้ว นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบ และเลือกตัวอย่างรวม 8 ตัวอย่าง เพื่อนำไปทดสอบการชะละลายต่อไป โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

1. มีการกระจายตัวอย่างครอบคลุมทุกเดือน
2. โลหะหนักแต่ละชนิดมีความแตกต่างของปริมาณเริ่มต้นในปุ๋ยมัดอย่างเห็นได้ชัด เพื่อศึกษาผลการทดสอบการชะละลายที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะหนักมีปริมาณเริ่มต้นในปุ๋ยมัดที่แตกต่างกัน
3. ตัวอย่างปุ๋ยมัดที่มีโลหะหนักปริมาณเริ่มต้นสูงๆ เพื่อศึกษาผลการชะละลายที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างที่มีโลหะหนักเริ่มต้นเป็นปริมาณมาก

3.4.2 การทดสอบการชะละลายของโครงสร้างบรรจุน้ำ ที่เวลาต่าง ๆ

3.4.2.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2 (การทดสอบการชะละลายของโครงสร้างบรรจุน้ำ ที่เวลาต่าง ๆ) สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ปุ๋ยมัดที่นำมาทดสอบการชะละลาย	1. เลือกซีเมนต์ที่จะนำมาทดสอบการชะละลายจากผลการทดลองที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 จำนวน 8 ตัวอย่าง
2. เวลาที่ใช้ในการทดสอบการชะละลาย	2. เก็บสารชะละลายและเปลี่ยนใหม่ตามเวลาดังนี้ 0.25 1 2.25 4 9 16 36 และ 64 วัน

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
3. อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัส (Liquid to Surface ratio) 4. ชนิดของสารละลาย	3. ที่ 8 20 30 40 ลบ.ซม. ต่อ ตร.ซม. 4.1 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) พีเอชประมาณ 5.5 - 6.0 โดยปิดฝาภาชนะตลอดการทดสอบ 4.2 น้ำประปา (Tap water) พีเอชประมาณ 7.0 - 7.5 โดยปิดฝาภาชนะตลอดการทดสอบ 4.3 น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain water) พีเอชประมาณ 3 โดยปิดฝาภาชนะตลอดการทดสอบ 4.4 น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain water) พีเอชประมาณ 3 โดยเปิดฝาภาชนะตลอดการทดสอบ
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ส่วนผสมในการหล่อก้อนตัวอย่าง 2. เวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอย่าง	1.1 ร้อยละของปูนเม็ดต่อยิปซัม เท่ากับ 96 และ 4 ตามลำดับ 1.2 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.485 ต่อ 1 2. 3 วัน
ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้	ข้อมูล
1. อุณหภูมิในการทดลอง	1. ที่อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
1. ลักษณะของสารละลายก่อนการทดลอง 2. ลักษณะของสารละลายหลังการทดลอง 3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการชะละลาย 4. ความสามารถในการชะละลายของโลหะหนัก	1.1 ปริมาณ และชนิดของโลหะหนักที่ตรวจพบ 1.2 พีเอช 2.1 ปริมาณ และ ชนิดของโลหะหนักที่ตรวจพบ 2.2 พีเอช 3. ปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความสามารถในการชะละลาย อาทิ คลอไรด์ ซัลเฟต Redox potential และ ความนำไฟฟ้า เป็นต้น 4. รูปแบบการชะละลายที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ

3.4.2.2 รายละเอียดขั้นตอนในการทดลองที่ 2

1. ขั้นตอนการเตรียมซีเมนต์เพสต์

เมื่อได้ตัวอย่างทั้ง 8 จากการทดลองที่ 1 แล้วจึงนำปูนเม็ดไปบดเพื่อลดขนาด จากนั้นนำมาผสมกับยิปซัมในอัตราส่วน 96 ต่อ 4 ให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียว ผสมส่วนผสมที่ได้กับน้ำที่ปราศจากไอออนในอัตราส่วน น้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to Cement ratio) เท่ากับ 0.485 ต่อ 1 จากนั้นเทลงในแบบพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ซึ่งมีความสูงของแบบแตกต่างกันทั้งสิ้น 4 ระดับ (18 25 35 และ 45 เซนติเมตร) เพื่อเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนระหว่างสารชะละลายต่อพื้นที่สัมผัส (Liquid to surface ratio) ต่อความสามารถในการชะละลาย โดยเทซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเสร็จแล้วลงแบบ โดยให้มีความสูงของซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ใช้เวลาบ่ม 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนทดสอบการชะละลายต่อไป

2. วิธีการทดสอบการชะละลาย

ปัจจุบันมีวิธีทดสอบการชะละลายอยู่หลายประเภทแตกต่างกันไปตามสภาพการใช้งานซึ่งควรเลือกให้เหมาะสม อาทิ การชะละลายของโลหะหนักจากภาชนะบรรจุน้ำดื่ม นั้น เป็นการชะละลายออกจากวัตถุก่อนแข็งจึงไม่ควรเลือกใช้วิธีการทดสอบที่ต้องบดตัวอย่าง เพื่อศึกษาการชะละลาย ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกวิธีการทดสอบการชะละลายของ NEN 7375 (EA NEN 7375, 2004) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบการชะละลายของสารอนินทรีย์ออกจากวัตถุก่อนแข็ง โดยการทดสอบแบบแพร่ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการใช้งานมากที่สุดแต่การชะละลายจริงของภาชนะนั้นเกิดขึ้นเพียงด้านเดียวคือด้านที่สัมผัสกับน้ำ และเนื่องจากมีความแตกต่างกันระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะบรรจุงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องประยุกต์วิธีการทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับการทดสอบให้มากที่สุด

3. ขั้นตอนการชะละลาย

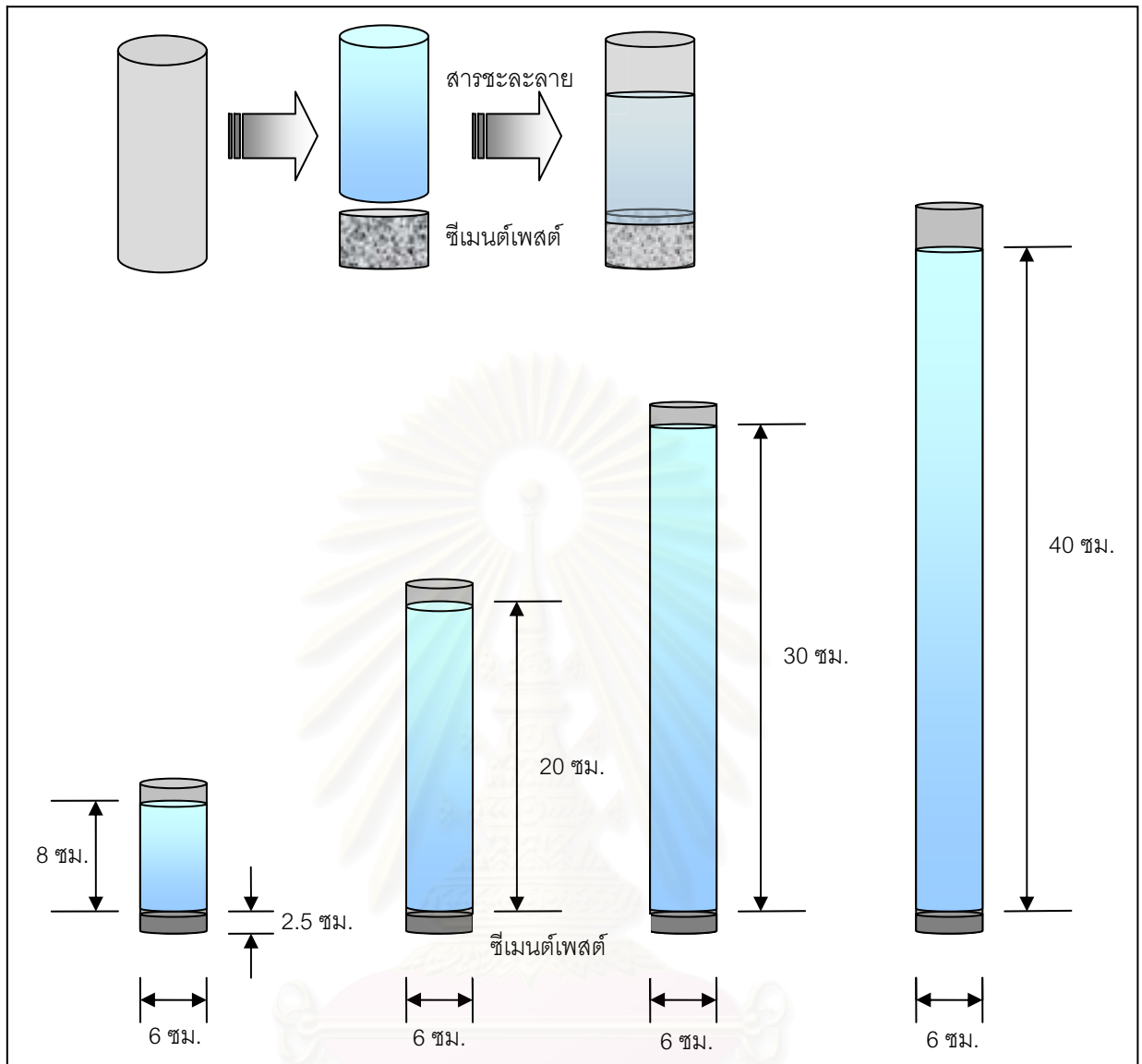
หลังจากบ่มซีเมนต์ครบตามเวลาแล้วจึงทำการทดสอบการชะละลายโดยใช้สารชะละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ใน 4 สภาวะ ได้แก่

1. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) โดยปิดฝาของภาชนะตลอดการทดสอบพีเอชเริ่มต้นประมาณ 5.5 - 6.0
2. น้ำประปา (Tap water) โดยปิดฝาตลอดการทดสอบพีเอชเริ่มต้นประมาณ 7.0 - 7.5
3. น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain water) โดยปิดฝาตลอดการทดสอบพีเอชเริ่มต้นประมาณ 3

4. น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain water) โดยเปิดฝาดูดการทดสอบพีเอชเริ่มต้นการทดสอบประมาณ 3 เพื่อศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (ซึ่งสามารถละลายลงในสารละลายได้อย่างอิสระ) ต่อการชะละลายของระบบ

สารละลายที่ใช้้นั้นมาจากการจำลองสภาพการใช้งานจริง เช่นเมื่อนำภาชนะเหล่านั้นไปใช้รองรับน้ำฝนซึ่งในกรณีที่แย่ที่สุดคือฝนนั้นเป็นฝนกรด โดยการทดลองได้สังเคราะห์น้ำฝนกรดขึ้นจากส่วนผสมของกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริกตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ซึ่งการทดสอบกับฝนกรดนั้นจะเพิ่มการทดสอบแบบเปิดฝาชั้นมาอีกหนึ่งการทดสอบเพื่อศึกษาผลของสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำต่อการรักษาพีเอช ซึ่งอาจมีผลต่อความสามารถในการชะละลายของโลหะบางชนิด หรือแม้แต่การร่อนน้ำประปาไว้ใช้เพื่อการอุปโภคก็ได้นำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้ด้วยซึ่งเป็นการทดสอบแบบปิดฝา และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบการชะละลายในสภาวะที่ไม่มีปัจจัยอื่นเพิ่มเติมในระบบที่อาจส่งผลต่อความสามารถในการชะละลาย จึงเลือกน้ำปราศจากไอออนมาเป็นสารละลายอีกชนิดหนึ่ง

ทั้งนี้จากการสำรวจภาชนะบรรจุน้ำซึ่งทำมาจากซีเมนต์โดยทั่วไปพบว่าค่าอัตราส่วนน้ำต่อพื้นที่ผิวสัมผัสนั้น อยู่ที่ประมาณ 30 และ 40 เซนติเมตร³ต่อเซนติเมตร² และตามวิธีการทดสอบการชะละลายของ NEN 7375 (EA NEN 7375, 2004) สำหรับการชะละลายจากผิวหน้าบางส่วนให้มีปริมาณสารละลายเป็น 8 ± 1 เท่าของพื้นที่ผิวสัมผัส และเพื่อเป็นการเติมช่วงของการทดสอบให้เต็มจึงเพิ่มอัตราส่วนที่ 20 เซนติเมตร³ต่อเซนติเมตร² ขึ้นอีกหนึ่งช่วงดังนั้นอัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัส (Liquid to Solid ratio) จึงเท่ากับ 8 (Todorovic' และ Ecke, 2004) 20 30 และ 40 เซนติเมตร³ต่อเซนติเมตร² ตามลำดับ การทดลองดำเนินไปโดยการเก็บตัวอย่างน้ำและวัดพีเอชที่จุดเริ่มต้นการทดลอง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างและเปลี่ยนสารละลายใหม่ที่เวลา 0.25 1 2.25 4 9 16 36 และ 64 วัน (รวม 8 ครั้ง ระยะเวลา 132.5วัน) ตามวิธีการทดสอบของ NEN 7375 โดยทุกครั้งที่เปลี่ยนสารละลายจะเริ่มต้นนับเวลาใหม่ (ไม่มีการเปลี่ยนภาชนะใหม่) ซึ่งหลังจากกรองและวัดพีเอชแล้วทำการปรับพีเอชของสารละลายไปที่พีเอชต่ำกว่า 2 โดยใช้กรดไนตริก จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการชะละลายมาแล้วไปทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีที่ชะละลายออกมาทั้งชนิดและปริมาณด้วยเครื่อง ICP-OES จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่มต่อไป



รูปที่ 3.1 การทดสอบการชะละลายที่อัตราส่วนสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัสต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบการเปลี่ยนแปลงระดับอนุภาคของโครงสร้างภายหลังผ่านการชะละลาย

3.4.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 3 (การทดสอบการเปลี่ยนแปลงระดับอนุภาคของโครงสร้างภายหลังผ่านการชะละลายที่เวลาต่างๆ) สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 3

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ภายหลังผ่านการทดสอบการชะละลาย	1. ซีเมนต์เพสต์ซึ่งผ่านการทดสอบการชะละลายมาแล้วที่สภาวะต่างๆกัน จากการทดลองที่ 2
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. การทดสอบการชะละลาย 2. การวิเคราะห์ผล	1. จำลองการทดสอบจากการทดลองที่ 2 2. เครื่อง FTIR, XRD
ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้	ข้อมูล
1. อุณหภูมิในการทดลอง	1. ที่อุณหภูมิห้อง
การวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
1. เสถียรภาพของซีเมนต์และโลหะหนักในช่วงที่เกิดการชะละลาย	1. การเปลี่ยนแปลงระดับอนุภาคของระบบซีเมนต์-โลหะหนัก ของซีเมนต์เพสต์ภายหลังผ่านการทดสอบการชะละลายที่เวลาต่างๆ อาทิ การจับตัวที่เปลี่ยนแปลงไปของโลหะหนัก การเพิ่มขึ้น-ลดลงของกลุ่มฟังก์ชัน รวมไปถึงลักษณะของการชะละลายเพื่อนำผลที่ได้มาร่วมอธิบายกับผลการทดสอบการชะละลาย

3.4.3.2 รายละเอียดขั้นตอนในการทดลองที่ 3

1. การศึกษาสารประกอบของโลหะหนักในซีเมนต์เพสต์ภายหลังการชะละลาย

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาคของโครงสร้างภายหลังผ่านการทดสอบการชะละลายที่เวลาต่างๆ โดยการจำลองการทดสอบการชะละลายขึ้นมาอีก 1 ชุด การทดสอบทำโดยใช้เครื่อง FTIR และ XRD เพื่อดูชั้นที่โลหะเปลี่ยนแปลงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง

1.1 ตรวจวัดสารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึก

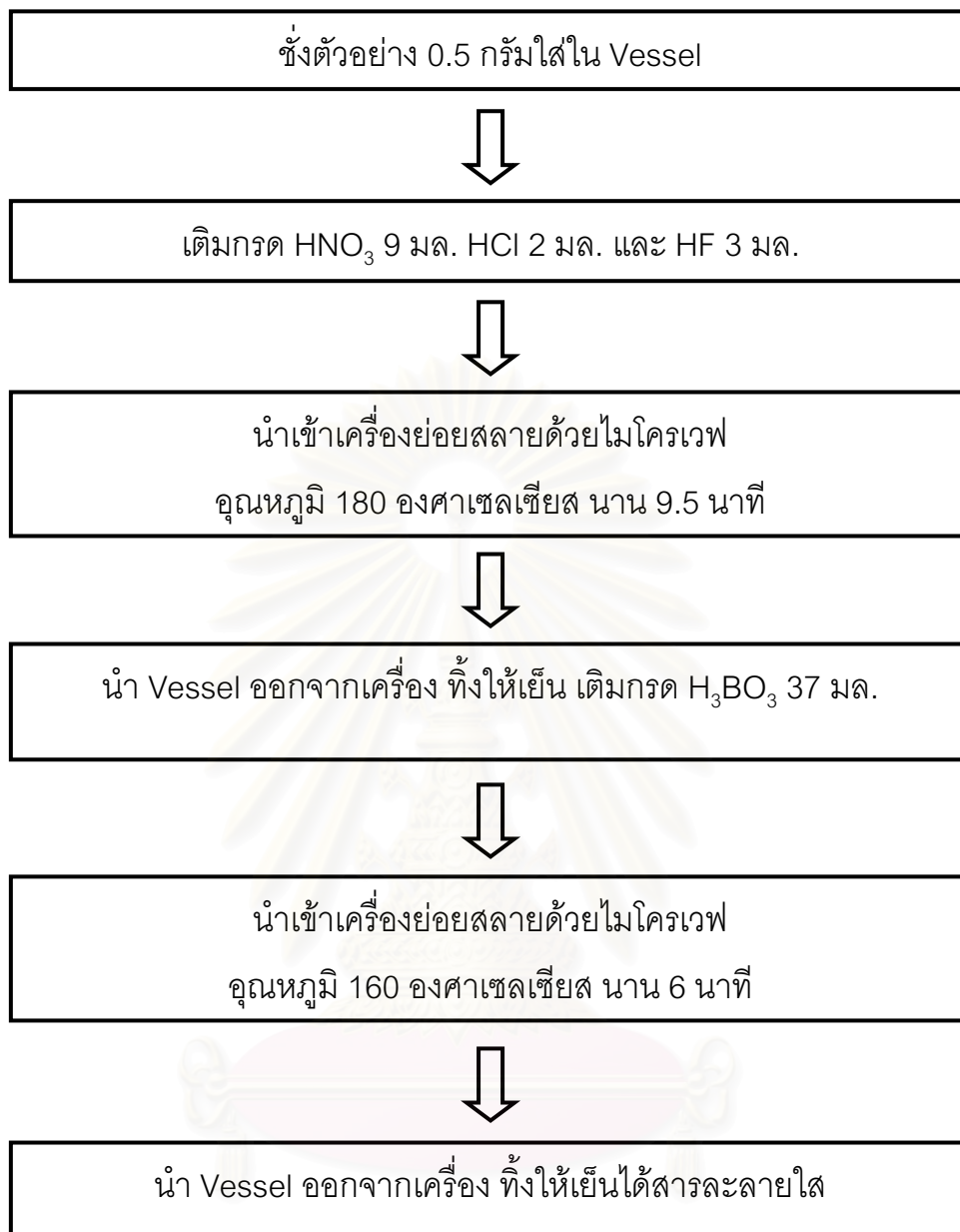
ตรวจวัดสารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึก (Mineralogical Composition) ด้วยเครื่อง XRD โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 5 กรัม สิ่งที่ได้จากการวัดเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม 2θ ตั้งแต่ 10-60 และ Relative Intensity แล้วนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มี ซึ่งทำให้สามารถระบุสารประกอบโลหะแต่ละชนิดได้

1.2 ตรวจวัดพันธะของสารประกอบโลหะหนัก

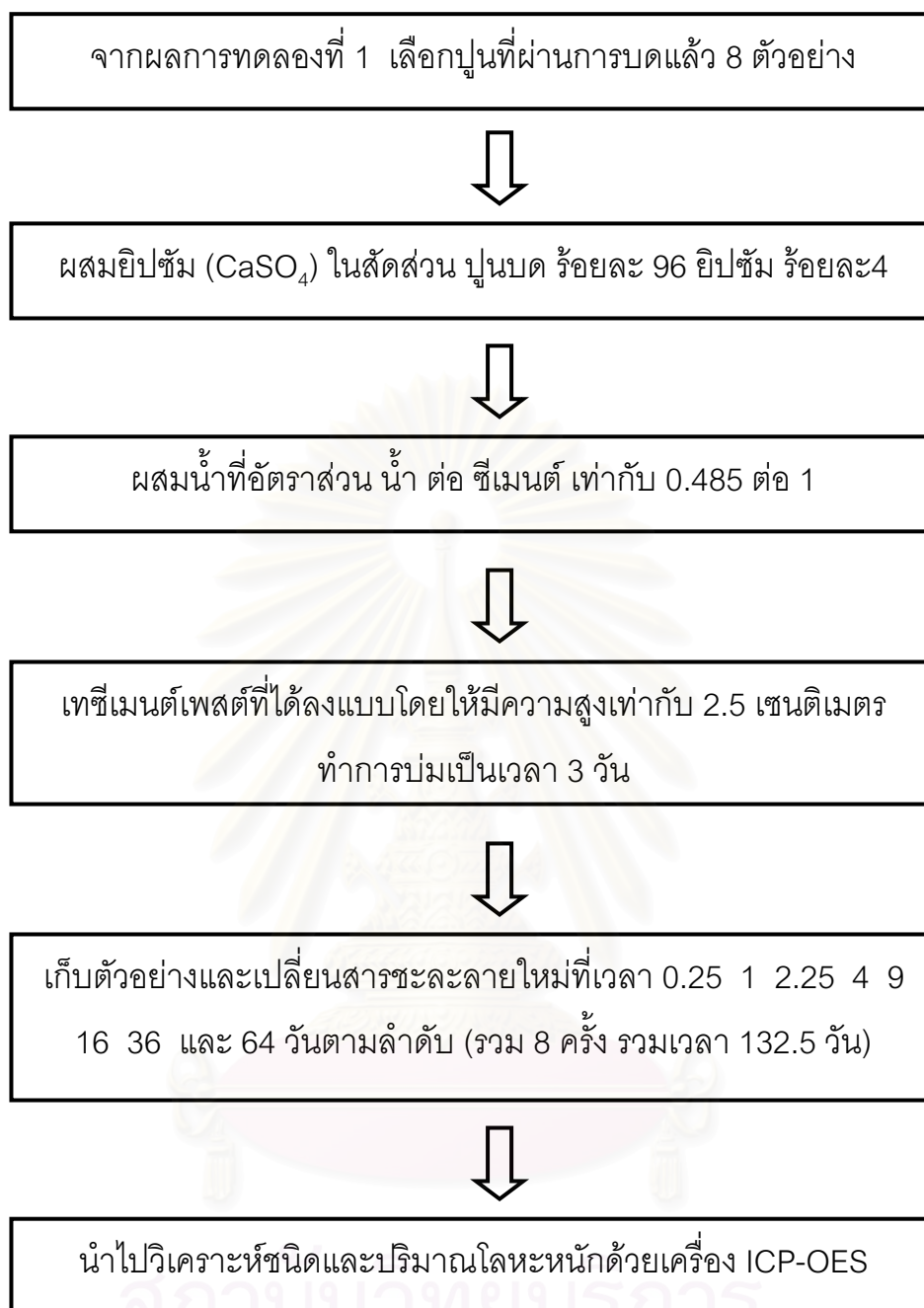
ตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-IR โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.005 กรัม และใช้ปริมาณของโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) 0.050 กรัม กำหนดความถี่ 200 ครั้งต่อการวัด 1 ครั้ง สิ่งที่ได้จากการวัดคือ Absorbance ของสารประกอบต่างๆ นำกราฟที่ได้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มี เพื่อทราบชนิดของสารประกอบที่อยู่ในตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดสอบการชะละลายโดยรวม



รูปที่ 3.3 แผนผังการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ตามวิธีมาตรฐานของ
US EPA SW-846 Method 3052



รูปที่ 3.4 แผนผังการทดสอบการชะละลายโดยละเอียด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างปูนเม็ด

ปูนเม็ด (Clinker) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมีการเก็บตัวอย่างจาก บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) โรงงานสระบุรี เริ่มตั้งแต่เดือน กันยายน 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 รวม 30 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 7 กิโลกรัม (ดังอธิบายเป็นเลขที่ตัวอย่างและวันที่ที่เก็บในตารางที่ 4.1) นำปูนเม็ดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเข้าสู่ขั้นตอนการบดลดขนาดให้สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ก่อนทำการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave Digester) โดยใช้วิธีมาตรฐานของ US EPA SW-846 Method 3052 (ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) เพื่อให้ได้ตัวอย่างเป็นของเหลวใส จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง ICP สามารถสรุปเป็นความเข้มข้นสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนของตัวอย่าง 30 วัน ได้ดังตารางที่ 4.2 (สำหรับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP เฉลี่ย 3 ซ้ำ แสดงอยู่ในภาคผนวก ก.) และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโลหะหนักในปูนเม็ดตลอดช่วงที่มีการเก็บตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.1-4.5 โดยเรียงลำดับตามความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบ

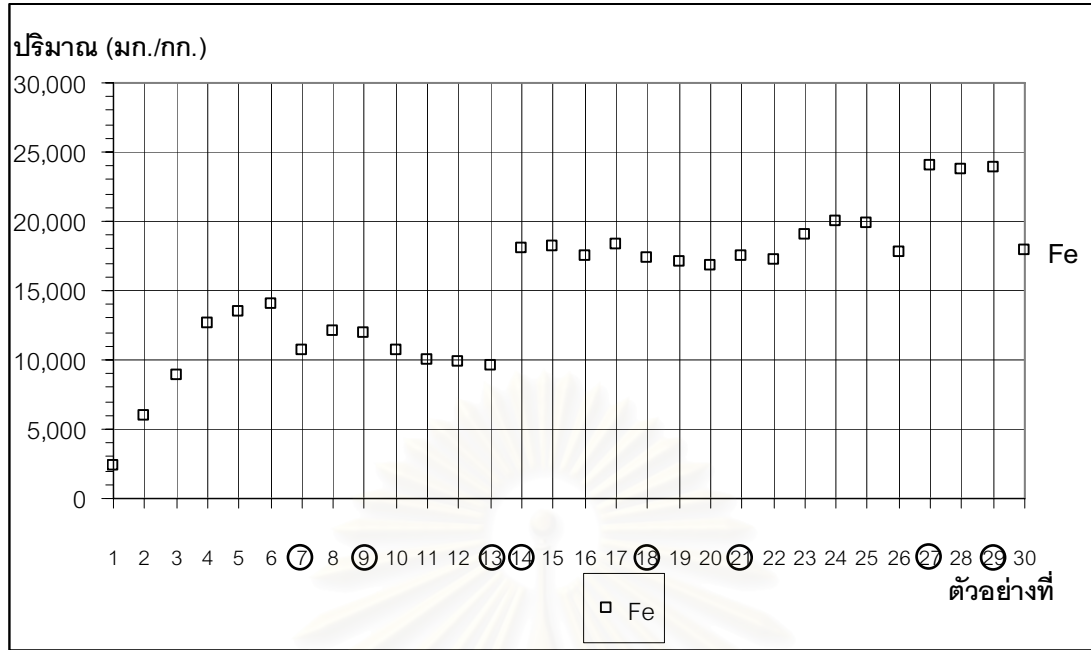
ตารางที่ 4.1 วันที่เก็บตัวอย่างปูนเม็ดที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ	ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ	ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ	ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ
1	14/09/47	7	20/10/47	14	6/01/48	26	01/02/48
2	16/09/47	8	21/10/47	15	8/01/48	27	03/02/48
3	21/09/47	9	22/10/47	16	10/01/48	28	05/02/48
4	23/09/47	10	23/10/47	17	12/01/48	29	07/02/48
5	27/09/47	11	24/10/47	18	16/01/48	30	09/02/48
6	30/09/47	12	25/10/47	19	18/01/48		
		13	26/10/47	20	20/01/48		
				21	22/01/48		
				22	24/01/48		
				23	26/01/48		
				24	28/01/48		
				25	30/01/48		

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นสูงสุด-ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของโลหะหนักชนิดต่างๆในปูนเม็ด

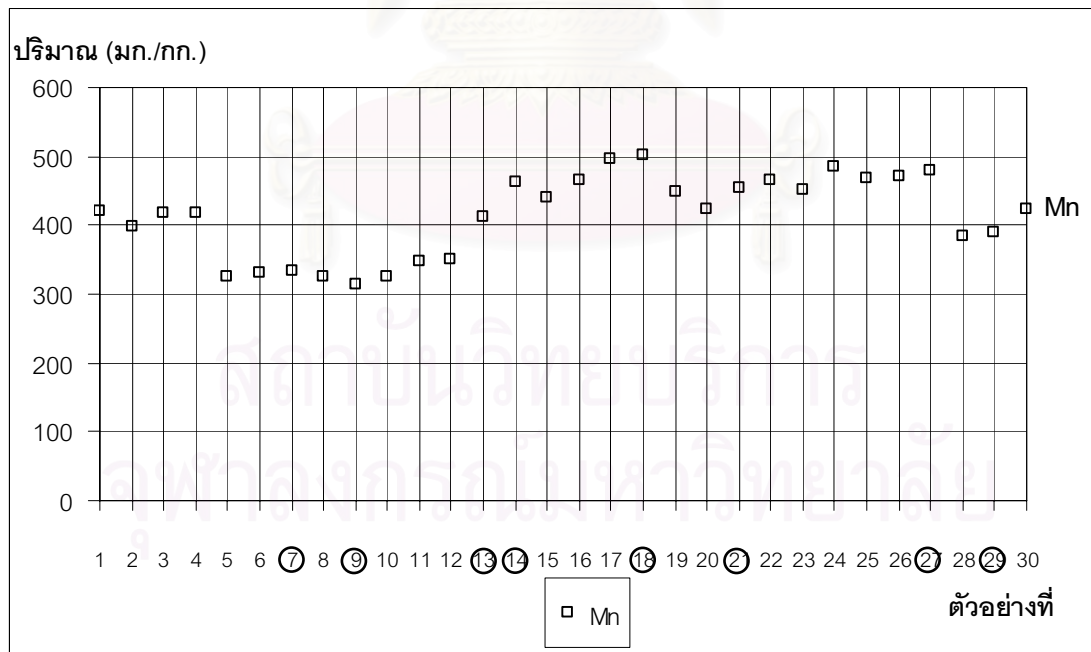
ชนิดของ โลหะหนัก	ปูนเม็ด			
	ความเข้มข้นสูงสุด (มก./กก.)	ความเข้มข้นต่ำสุด (มก./กก.)	ค่าเฉลี่ย	
			(มก./กก.)	SD.
Ag	0.110	< 0.02	0.020	0.020
As	19.320	< 0.09	1.280	4.780
Ba	154.990	< 0.003	76.090	67.350
Be	< 0.001	< 0.01	< 0.001	0.000
Cd	2.800	< 0.01	0.180	0.690
Co	13.810	2.340	8.820	3.250
Cr	88.400	29.150	44.120	13.530
Cu	274.120	9.580	18.900	72.660
Fe	24,044.730	2,434.980	15,220.050	5,165.510
Ga	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0.000
Hg	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0.000
Mn	501.630	315.170	414.560	57.750
Ni	38.100	14.910	27.550	7.690
Pb	46.880	< 0.11	6.160	12.750
Se	23.160	< 0.10	9.720	8.970
Sr	281.090	126.290	213.260	41.750
Tl	< 0.25	< 0.25	< 0.25	0.000
V	87.500	40.110	68.510	14.970
Zn	342.350	33.140	86.690	85.290

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในปูนเม็ด (รูปที่ 4.2-4.5) จะเห็นได้ว่าแมงกานีส (Mn) สตรอนเชียม (Sr) สังกะสี (Zn) และแบเรียม (Ba) มีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นตามลำดับ โดยแมงกานีสมีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 414 มก./กก. ส่วนสตรอนเชียมนั้นมีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 213 มก./กก. และโลหะทั้งหมดมีความเข้มข้นค่อนข้างผันผวนไปตามช่วงเดือนต่างๆ ที่เปลี่ยนไป โดยพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่จะสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่เดือนมกราคม 2548 (ตั้งแต่ตัวอย่างที่ 14 เป็นต้นไป)



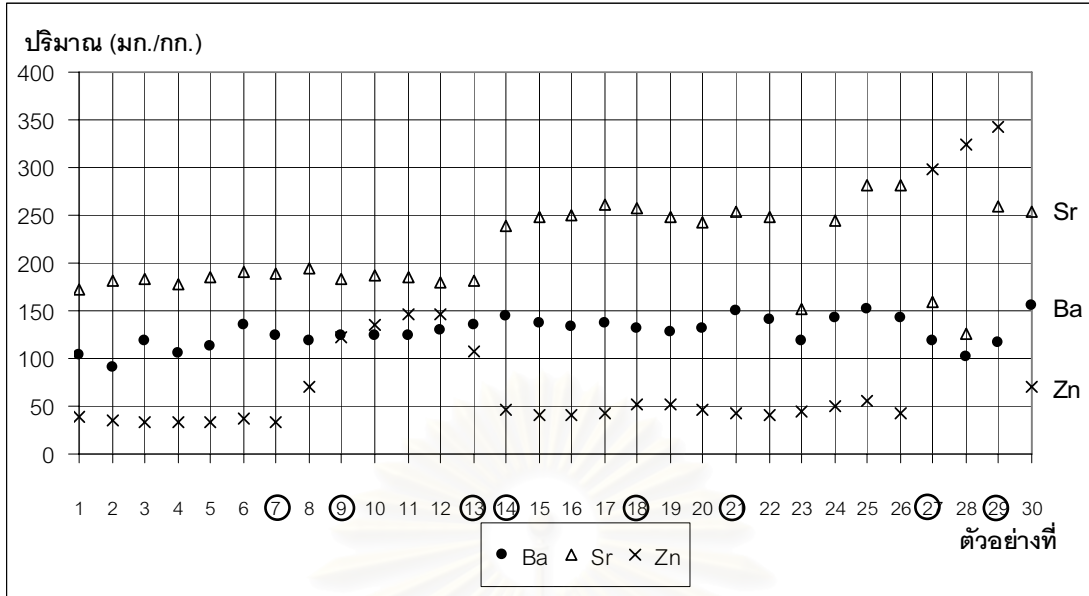
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Fe ในปูนเม็ด

หมายเหตุ : ○ วงกลมแสดงตัวอย่างที่เลือกไปทดสอบการชะละลายต่อไป



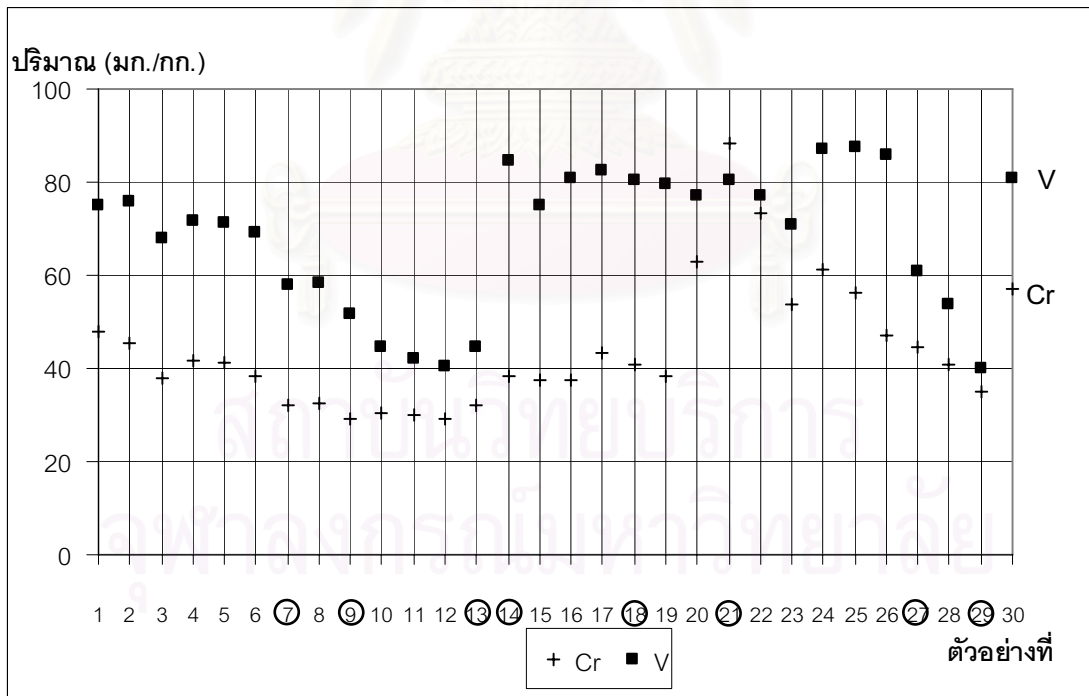
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Mn ในปูนเม็ด

หมายเหตุ : ○ วงกลมแสดงตัวอย่างที่เลือกไปทดสอบการชะละลายต่อไป



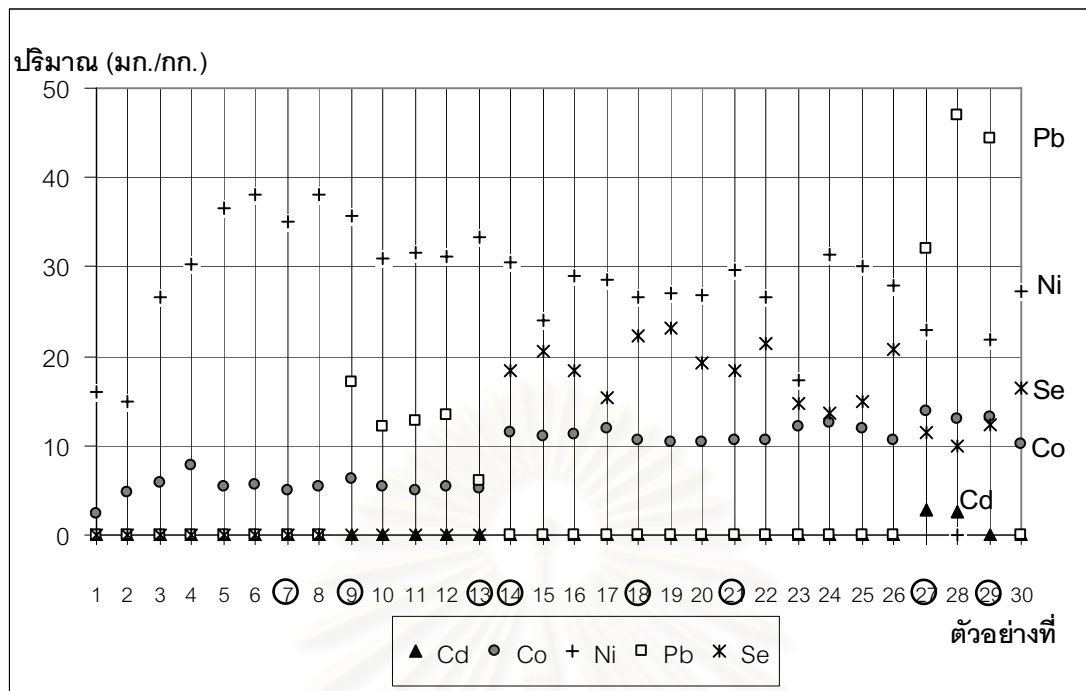
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Ba Sr และ Zn ในปูนเม็ด

หมายเหตุ : ○ วงกลมแสดงตัวอย่างที่เลือกไปทดสอบการชะละลายต่อไป



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Cr และ V ในปูนเม็ด

หมายเหตุ : ○ วงกลมแสดงตัวอย่างที่เลือกไปทดสอบการชะละลายต่อไป



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP แสดงภาพรวมความเข้มข้นของ Cd Co Ni Pb และ Sr ในปูนเม็ด
หมายเหตุ : ○ วงกลมแสดงตัวอย่างที่เลือกไปทดสอบการชะละลายต่อไป

4.1.1 การเลือกตัวอย่างซีเมนต์ไปทดสอบชะละลาย

ภายหลังการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ดแล้ว นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบและเลือกตัวอย่างรวม 8 ตัวอย่าง เพื่อนำไปทดสอบการชะละลายต่อไปโดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

1. มีการกระจายตัวอย่างครอบคลุมทุกเดือน
2. โลหะหนักแต่ละชนิดมีความแตกต่างของปริมาณเริ่มต้นในปูนเม็ดอย่างเห็นได้ชัดเพื่อศึกษาผลการทดสอบการชะละลายที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะหนักมีปริมาณเริ่มต้นในปูนเม็ดที่แตกต่างกัน
3. ตัวอย่างปูนเม็ดที่มีโลหะหนักปริมาณเริ่มต้นสูงๆ เพื่อศึกษาผลการชะละลายที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างที่มีโลหะหนักเริ่มต้นเป็นปริมาณมาก

ตัวอย่างปูนเม็ดที่เก็บมีทั้งสิ้น 4 เดือน ได้แก่ กันยายน ตุลาคม มกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ (เก็บโดยบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด มหาชน แต่ละตัวอย่างเก็บ 1 ครั้ง ครั้งละ 7 กก) ซึ่งตัวอย่างซีเมนต์เดือนกันยายนมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะนำมาทดสอบการชะละลายจึงเลือกใช้งานจากตัวอย่างที่เหลืออีก 3 เดือน เมื่อพิจารณาในแง่ของตัวอย่างที่มีปริมาณโลหะหนักสูงที่สุดได้ตัวอย่างวันที่

16 มกราคม 2548 โดยมีปริมาณ แอมกานีสสูงที่สุดที่ 501.627 มก./กก.

22 มกราคม 2548 โดยมีปริมาณ โครเมียมสูงที่สุดที่ 88.398 มก./กก.

3 กุมภาพันธ์ 2548 โดยมีปริมาณ เหล็กสูงที่สุดที่ 24,044.727 มก./กก.

7 กุมภาพันธ์ 2548 โดยมีปริมาณ ทองแดงและสังกะสีสูงที่สุดที่ 274.120 มก./กก

และ 342.353 มก./กก. ตามลำดับ

สำหรับตัวอย่างเดือนตุลาคม 2547 นั้น เลือกตัวอย่างวันที่ 20 และ 22 เนื่องจากโดยรวมแล้วมีปริมาณโลหะหนักใกล้เคียงกัน ยกเว้นโลหะหนักบางธาตุที่มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมาก เช่น ทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสี สำหรับตัวอย่างอีก 2 วันที่เลือกคือ ตัวอย่างวันที่ 26 ตุลาคม 2547 และ 6 มกราคม 2548 ซึ่งมีปริมาณโลหะหนักแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตารางที่ 4.3 เป็นตารางสรุปตัวอย่างที่นำไปทดสอบการชะละลายต่อไป โดยแสดงผลเฉพาะโลหะหนักที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกตัวอย่างเท่านั้น (สำหรับชนิดละปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่พบในปูนเม็ดอยู่ในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.3 ภาพรวมความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในตัวอย่างซีเมนต์ที่เลือกไปทดสอบชะละลาย

ตย.	วันที่	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
7	20/10/47	123.714	31.991	11.052	10,762.326	334.101	34.960	<0.110	<0.102	189.602	57.956	33.142
9	22/10/47	123.336	29.153	98.525	12,013.421	315.172	35.741	17.047	<0.102	183.500	51.542	122.170
13	26/10/47	135.731	32.177	66.183	9,597.753	411.040	33.272	6.154	<0.102	181.212	44.753	107.212
14	6/1/48	143.955	38.148	14.623	18,097.141	462.164	30.534	<0.110	18.308	238.882	84.518	47.082
18	16/1/48	131.671	40.864	15.401	17,351.372	501.627	26.728	<0.110	22.338	258.098	80.434	51.625
21	22/1/48	150.491	88.398	11.370	17,458.871	453.206	29.717	<0.110	18.436	252.979	80.571	42.166
27	3/2/48	117.603	44.603	202.334	24,044.727	480.598	22.859	31.975	11.516	160.094	60.956	297.372
29	7/2/48	116.890	34.864	274.120	23,831.049	388.851	21.953	44.420	12.399	258.966	40.109	342.353

4.2 การชะละลายของซีเมนต์เพสต์

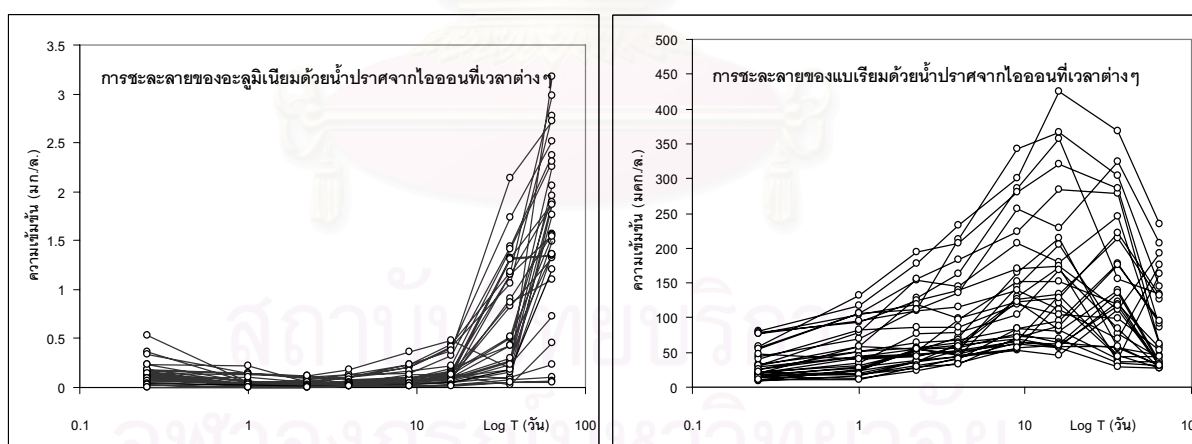
การใช้งานซีเมนต์ไปผลิตเป็นภาชนะบรรจุน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคนั้นการชะละลายที่เกิดขึ้นจะเกิดเพียงด้านเดียวคือภายในภาชนะที่สัมผัสกับน้ำ การศึกษาการชะละลายจึงได้ทดสอบการชะละลายเพียงด้านเดียวและอาศัยการประยุกต์การทดสอบจากมาตรฐานการ

ชะละลายของ EA NEN 7375:2004 มาเป็นตัวช่วยในการทดสอบเนื่องจากมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงคือ ไม่มีการกวนเขย่ารวมไปจนถึงไม่มีการทำลายตัวอย่าง

4.2.1 ภาพรวมผลการทดสอบการชะละลาย

จากการศึกษาการชะละลายของธาตุทั้งสิ้น 18 ชนิด ได้แก่ Ag Al As B Ba Be Ca Cd Cr Cu Fe Mn Ni Pb Se Sr V และ Zn พบว่ามีธาตุอยู่ 3 ชนิดที่ไม่สามารถตรวจวัดการชะละลายได้แก่ Ag As และ Se ส่วนธาตุที่มีการชะละลายออกมาบ้างเล็กน้อยได้แก่ Fe และ Cu ดังแสดงอยู่ในตารางที่ ข.65-ข.128 (ภาคผนวก ข.) การชะละลายโดยรวมมีตั้งแต่ระดับ มคก./ล. ไปจนถึงระดับ มก./ล. โดยธาตุแต่ละชนิดแสดงพฤติกรรมของการชะละลายแตกต่างกันออกไป ซึ่งมีทั้งชนิดที่มีแบบแผนชัดเจน ไปจนถึงธาตุที่ไม่พบแบบแผนในการชะละลายชัดเจนซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ในระดับต่ำ

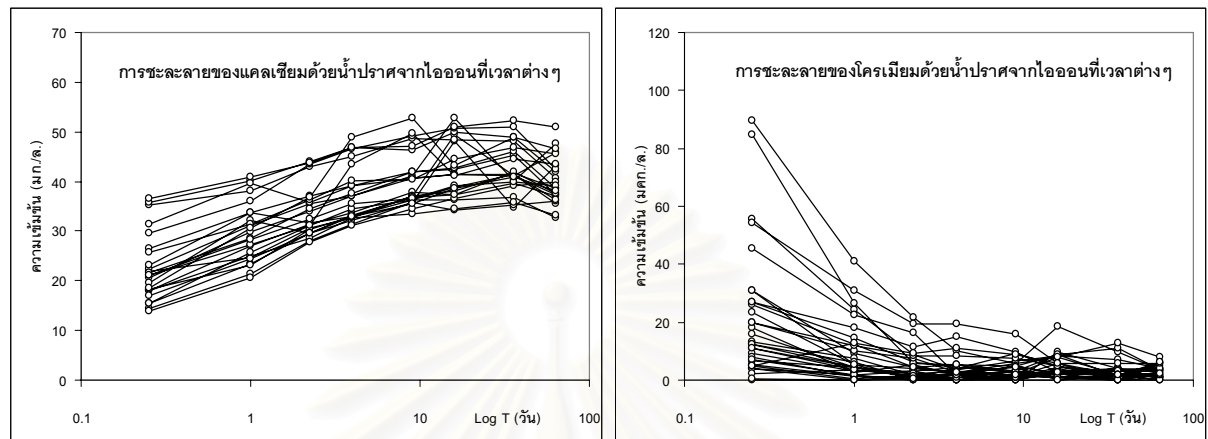
รูปที่ 4.6 – 4.8 แสดงการชะละลายของ Al Ba Ca Cr และ Sr ซึ่งเป็นการพล็อตรวมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ทุกชุดทดสอบ (ทั้ง 8 วัน) ที่ L/S Ratio ทุกค่า (8 20 30 และ 40) โดยเลือกน้ำปราศจากไอออนเป็นตัวแทนของสารชะละลายเพื่อแสดงภาพรวมของการชะละลายของธาตุที่มีการชะละลายอย่างมีแบบแผน โดย แกนตั้ง (y) เป็นความเข้มข้น มีหน่วยเป็น มคก./ล.และมก./ล. ส่วนแกนนอน (x) เป็น Log ของเวลา มีหน่วยเป็นวัน



รูปที่ 4.6 ภาพรวมการชะละลายของ (ซ้าย) Al (ขวา) Ba ด้วยน้ำปราศจากไอออน

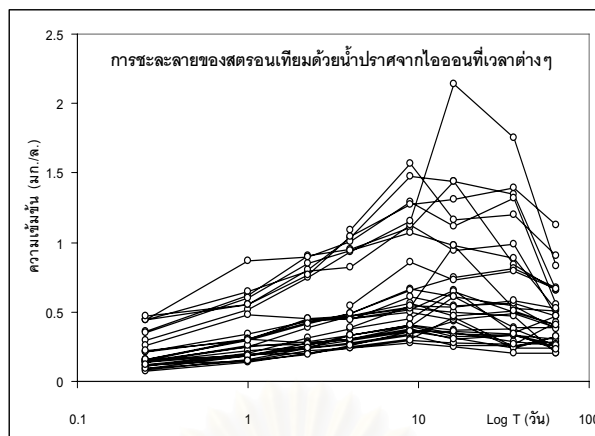
จากภาพที่ 4.6 (ซ้าย) แสดงภาพรวมการชะละลายของ Al ตลอดการทดสอบซึ่งจะเห็นได้ว่า Al เกิดการชะละลายตั้งแต่ช่วงแรกของการทดสอบ (6 ชั่วโมงแรก) จากนั้นความเข้มข้นของ Al ลดต่ำลงระหว่างการทดสอบและเกิดการชะละลายของ Al อีกครั้งในช่วงท้ายของการทดสอบ (ตั้งแต่ 16 วัน – 64 วัน) สำหรับการชะละลายของ Ba นั้นแสดงอยู่ในภาพที่ 4.6 (ขวา) ซึ่งความ

เข้มข้นของ Ba ถูกชะละลายออกมาตั้งแต่ในช่วงแรกของการทดสอบและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา การทดสอบแต่กลับลดลงเมื่อถึงช่วงท้ายของการทดสอบ โดยการชะละลายสูงสุดของ Ba อยู่ที่ประมาณ 9-16 วัน



รูปที่ 4.7 ภาพรวมการชะละลายของ (ซ้าย) Ca (ขวา) Cr ด้วยน้ำปราศจากไอออน

สำหรับการชะละลายของ Ca และ Cr นั้นแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งการชะละลายของ Ca นั้นเริ่มเกิดตั้งแต่ช่วงแรกของการทดสอบการชะละลายและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบแต่ช่วงท้ายของการทดสอบพบว่า ปริมาณแคลเซียมที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.2.7 ส่วนการชะละลายของ Cr นั้นเกิดขึ้นอย่างมากในช่วงแรกของการทดสอบเนื่องจากโครเมียมไม่สามารถตกตะกอนในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์จึงถูกดูดซับอยู่บนผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์และเกิดการชะล้างที่ผิวหน้าเมื่อทำการทดสอบการชะละลาย (Seidel, 1959 อ้างถึงใน Achtembosch และคณะ, 2003) และความเข้มข้นของโครเมียมลดลงเมื่อเวลาของการทดสอบผ่านไป เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของ Cr จะมีค่าสูงที่สุดในสภาวะที่เป็นกลาง (van der Sloot และคณะ, 1997) ซึ่งแตกต่างจากในสารชะละลายที่ผ่านการทดสอบแล้วโดยมีภาวะเป็นด่างจึงไม่เกิดการชะละลายของโครเมียม



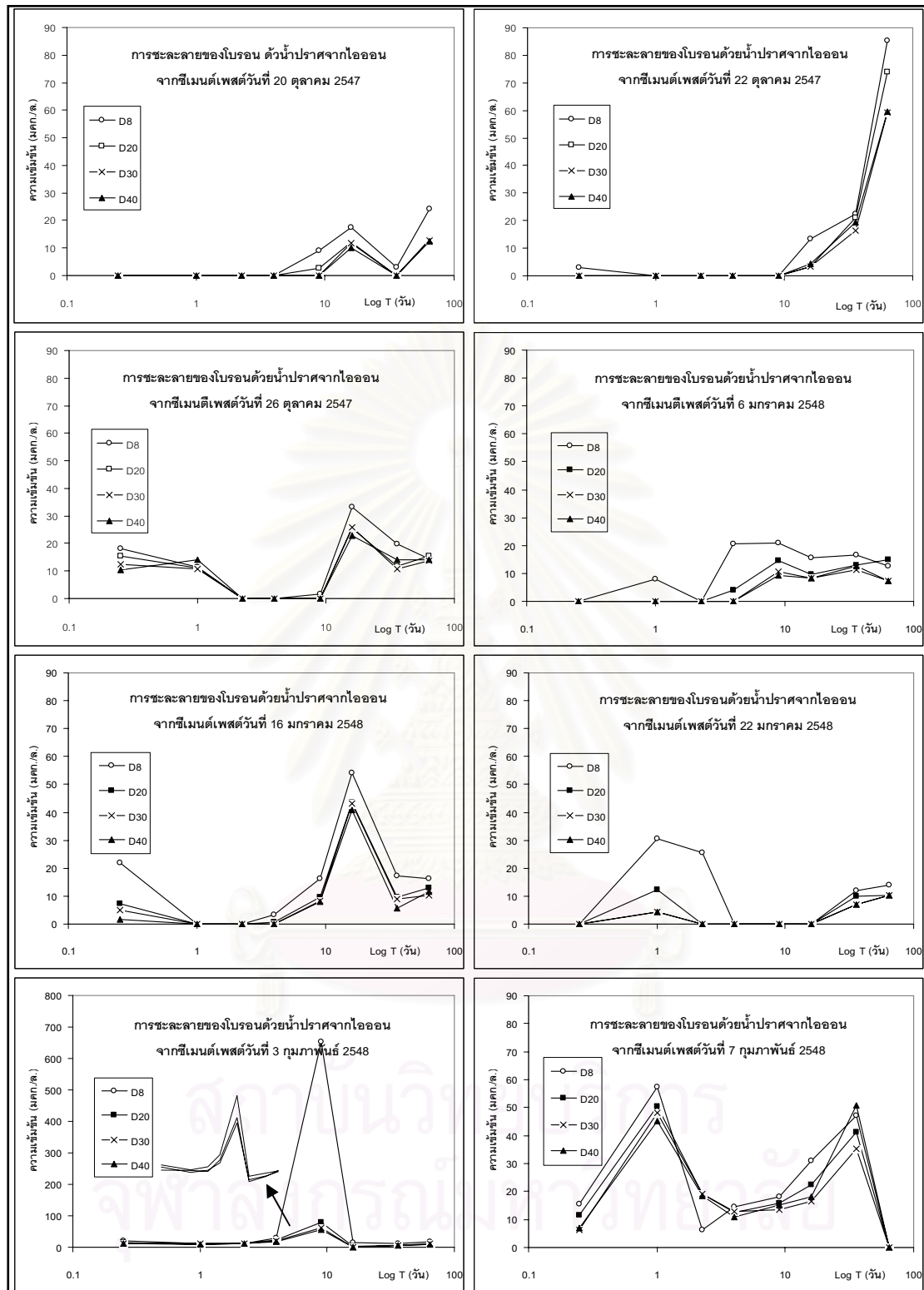
รูปที่ 4.8 ภาพรวมการชะละลายของสตรอนเทียมด้วยน้ำปราศจากไอออน

การชะละลายของสตรอนเทียมดังแสดงในรูปที่ 4.8 นั้นมีความใกล้เคียงกับ Ba กล่าวคือ เกิดการชะละลายตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบและมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แต่ความเข้มข้นกลับลดลงเมื่อถึงช่วงท้ายของการทดสอบ รูปที่ 4.9-4.16 แสดงการชะละลายของธาตุที่ไม่พบแบบแผนชัดเจน ได้แก่ B Be Cd Mn Ni Pb V และ Zn

การชะละลายของ B ดังแสดงในรูปที่ 4.9 มีความแตกต่างกันในแต่ละวัน โดยรวมการชะละลายเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ ส่วนการชะละลายของ Be แสดงอยู่ในรูปที่ 4.10 จะสามารถแบ่งการชะละลายออกได้คร่าว ๆ เป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มแรกจะเกิดการชะละลายตั้งแต่ช่วงแรกของการทดสอบ (ตัวอย่างเดือนตุลาคม และเดือนมกราคม) และความเข้มข้นของ Be ลดลงเมื่อถึงช่วงสุดท้ายของการทดสอบ กับอีกกลุ่มหนึ่ง คือตัวอย่างเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งการชะละลายของ Be ออกจากซีเมนต์เพสต์ในเดือนนี้จะกลับกับส่วนที่กล่าวมาข้างต้น คือเกิดการชะละลายเมื่อการทดสอบเริ่มเข้าสู่ช่วงกลางและท้าย รูปที่ 4.11 แสดงความแปรปรวนในการชะละลายอย่างมากของ Cd

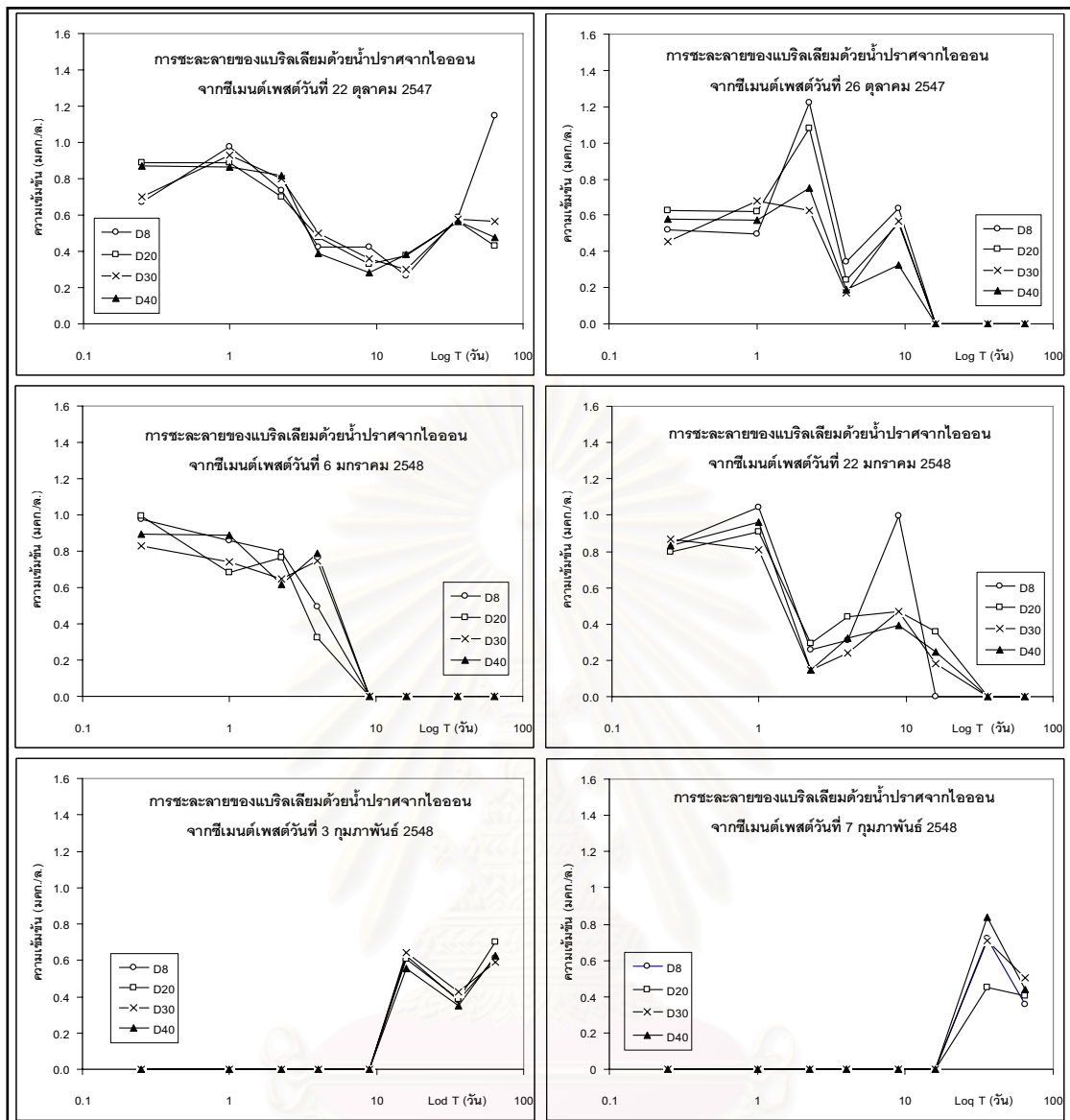
ความเข้มข้นของ Mn ที่ชะละลายออกมาจากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ในแต่ละวันมีความแตกต่างมากอยู่ในช่วงประมาณ 0-400 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งยังพอเห็นภาพรวมของการชะละลายได้คือการชะละลายเกิดขึ้นมากในช่วงกลางของการทดสอบและลดต่ำลงในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ

Ni Pb และ V แสดงความแปรปรวนในการชะละลายอย่างมากเช่นเดียวกับ Cd ดังแสดงในรูปที่ 4.13 -4.15 ตามลำดับ ส่วน Zn เกิดการชะละลายเป็นช่วง ๆ ตลอดการทดสอบ โดยพบว่าค่า L/S Ratio เท่ากับ 8 มีการชะละลายสูงมากเมื่อเทียบกับค่าอื่น ๆ โดยแสดงภาพรวมการชะละลายของ Zn ไว้ในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.9 ภาพรวมการชะละลายของ B จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

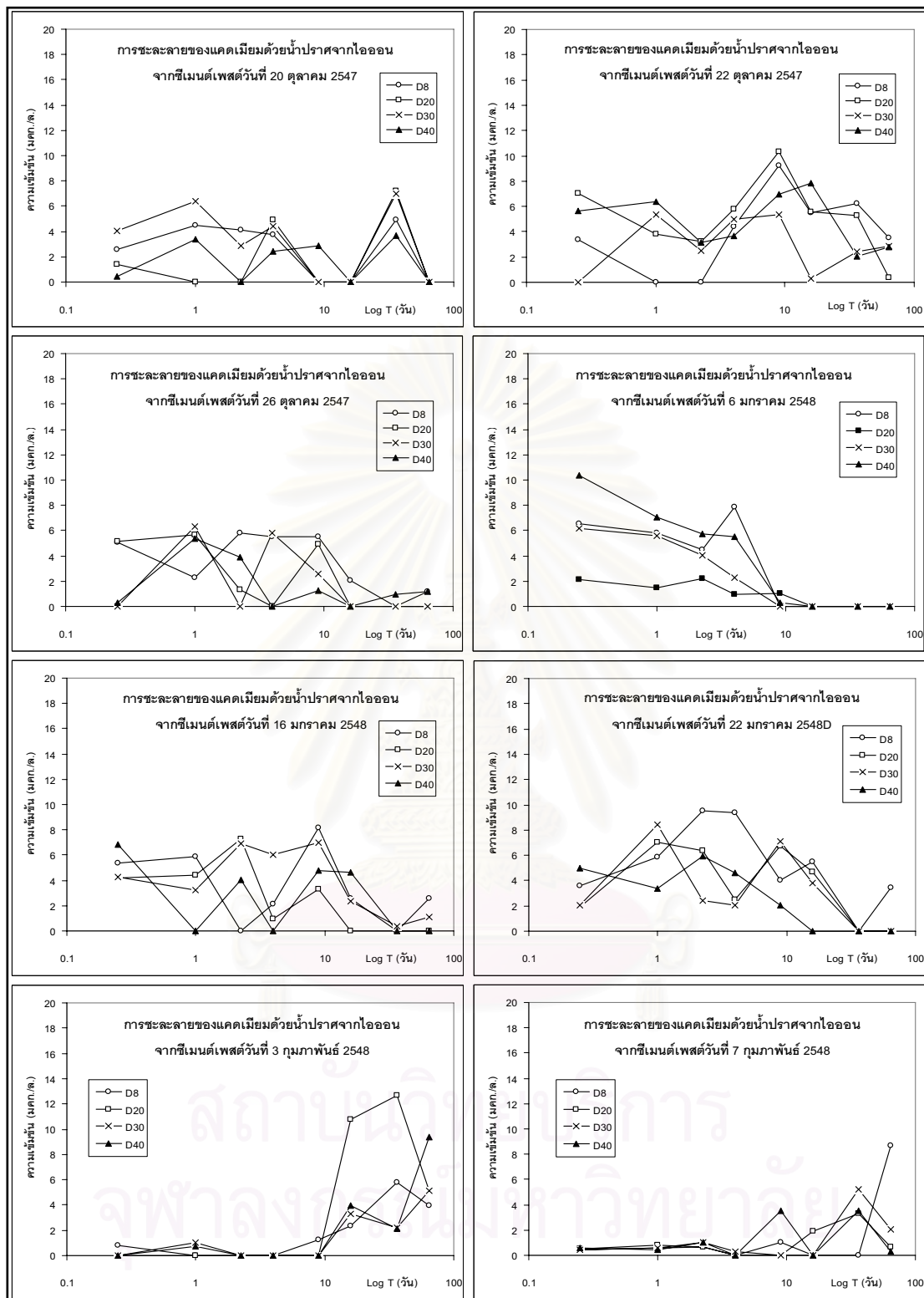
คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8



รูปที่ 4.10 ภาพรวมการละลายของ Be จากตัวอย่างซีเมนต์โพสต์ต่างๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

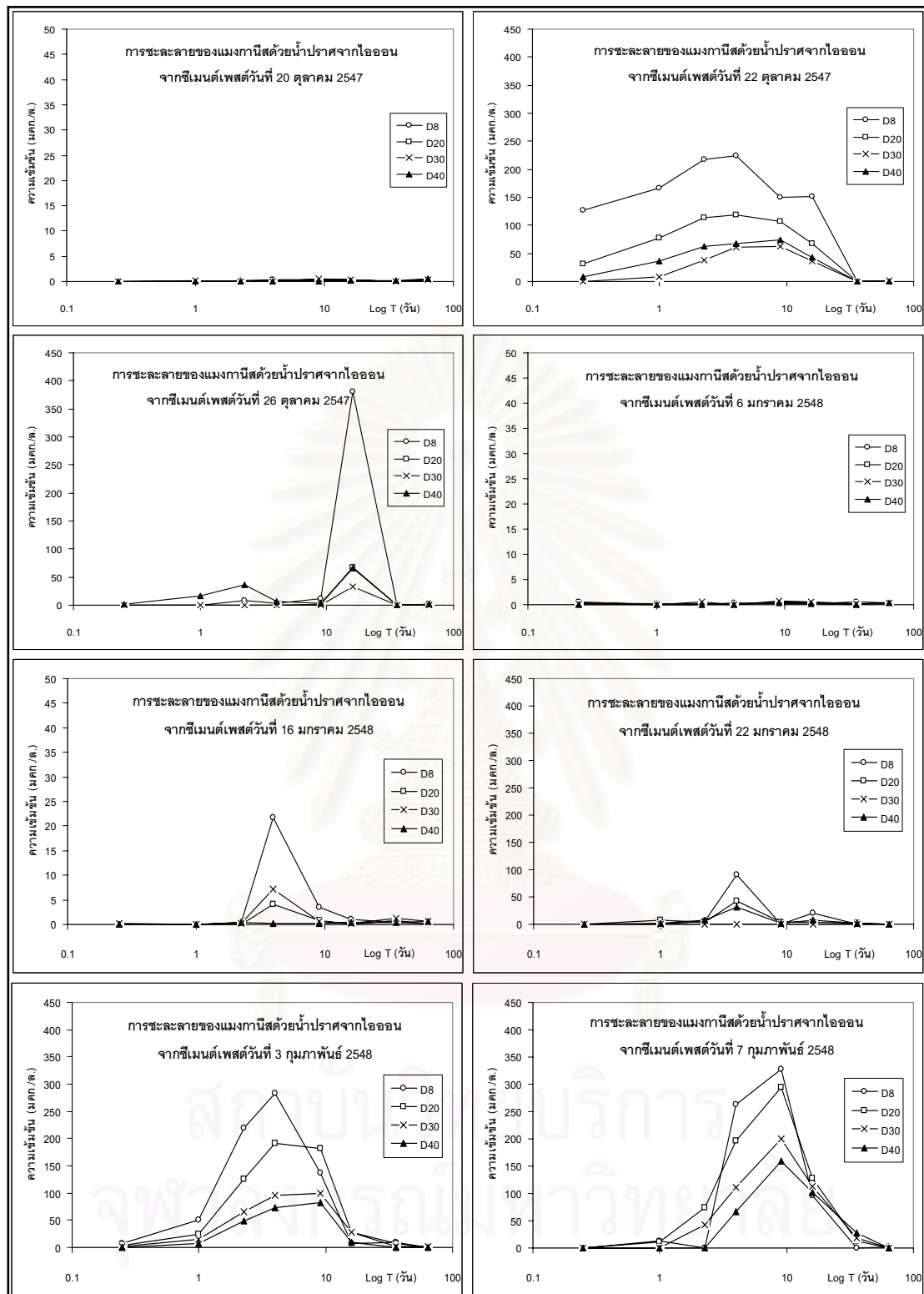
คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



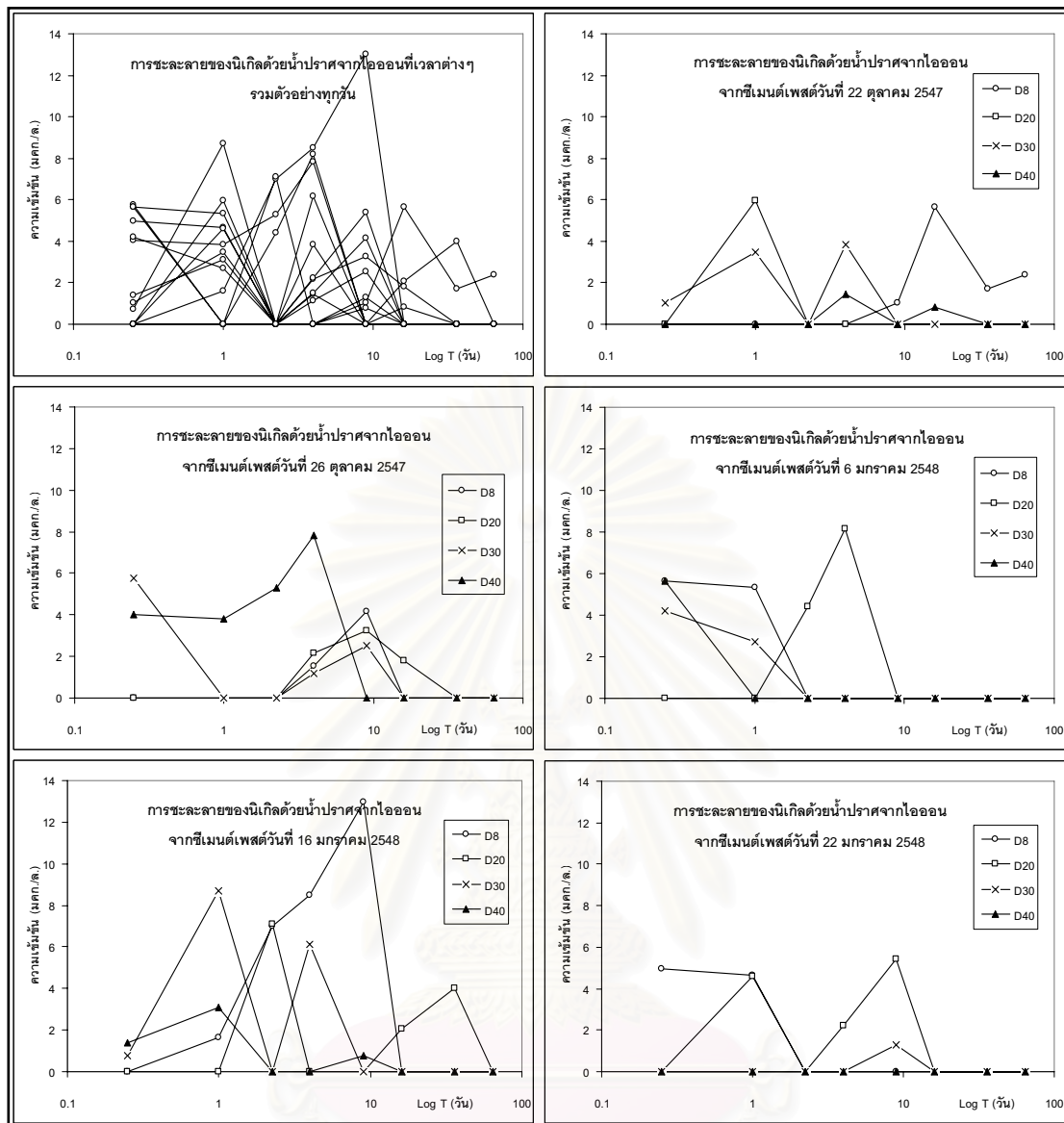
รูปที่ 4.11 ภาพรวมการชะละลายของ Cd จากตัวอย่างซีเมนต์โพสตันต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8



รูปที่ 4.12 ภาพรวมการชะละลายของ Mn จากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

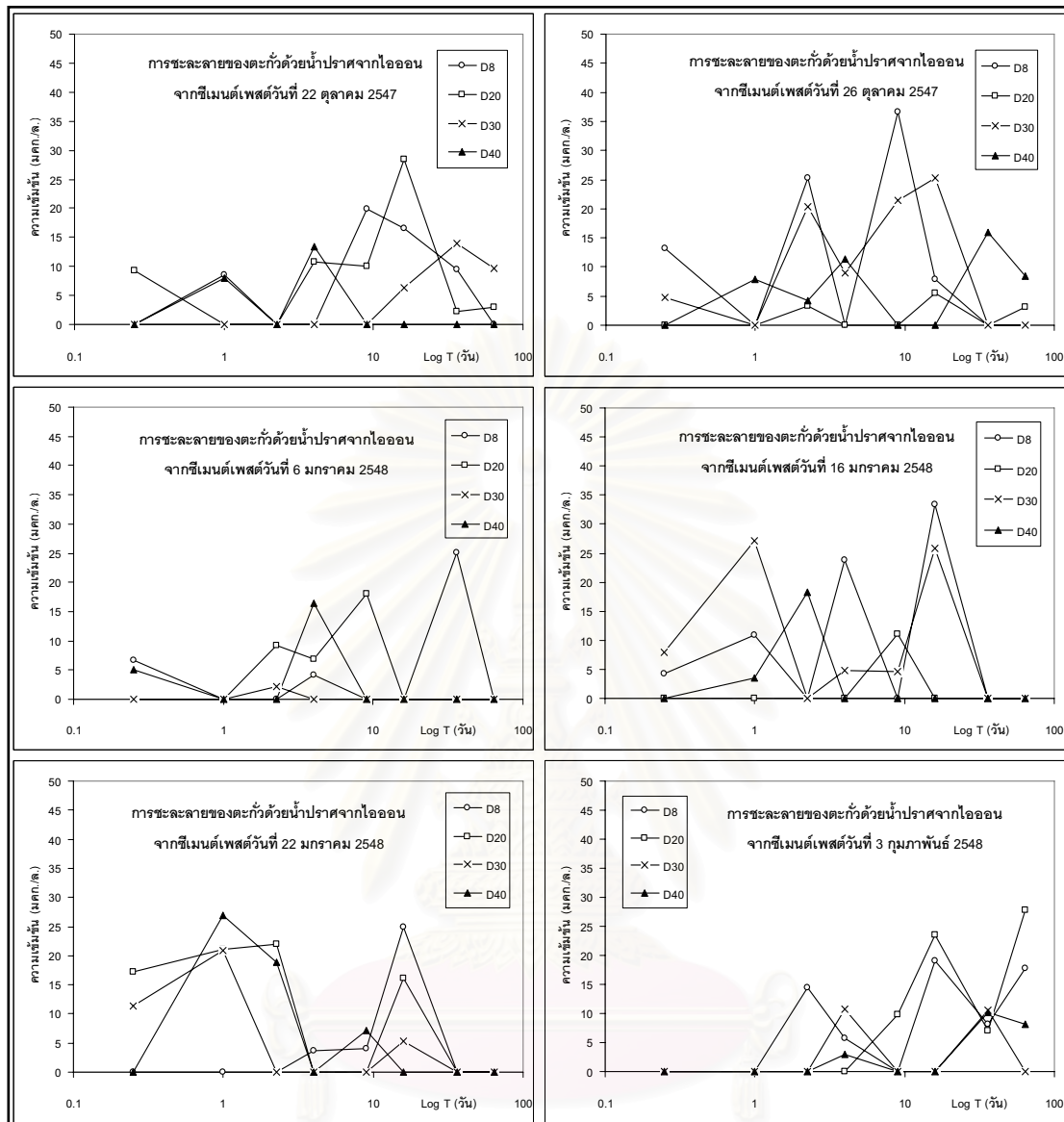
คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8



รูปที่ 4.13 ภาพรวมการชะละลายของ Ni จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสต่างๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

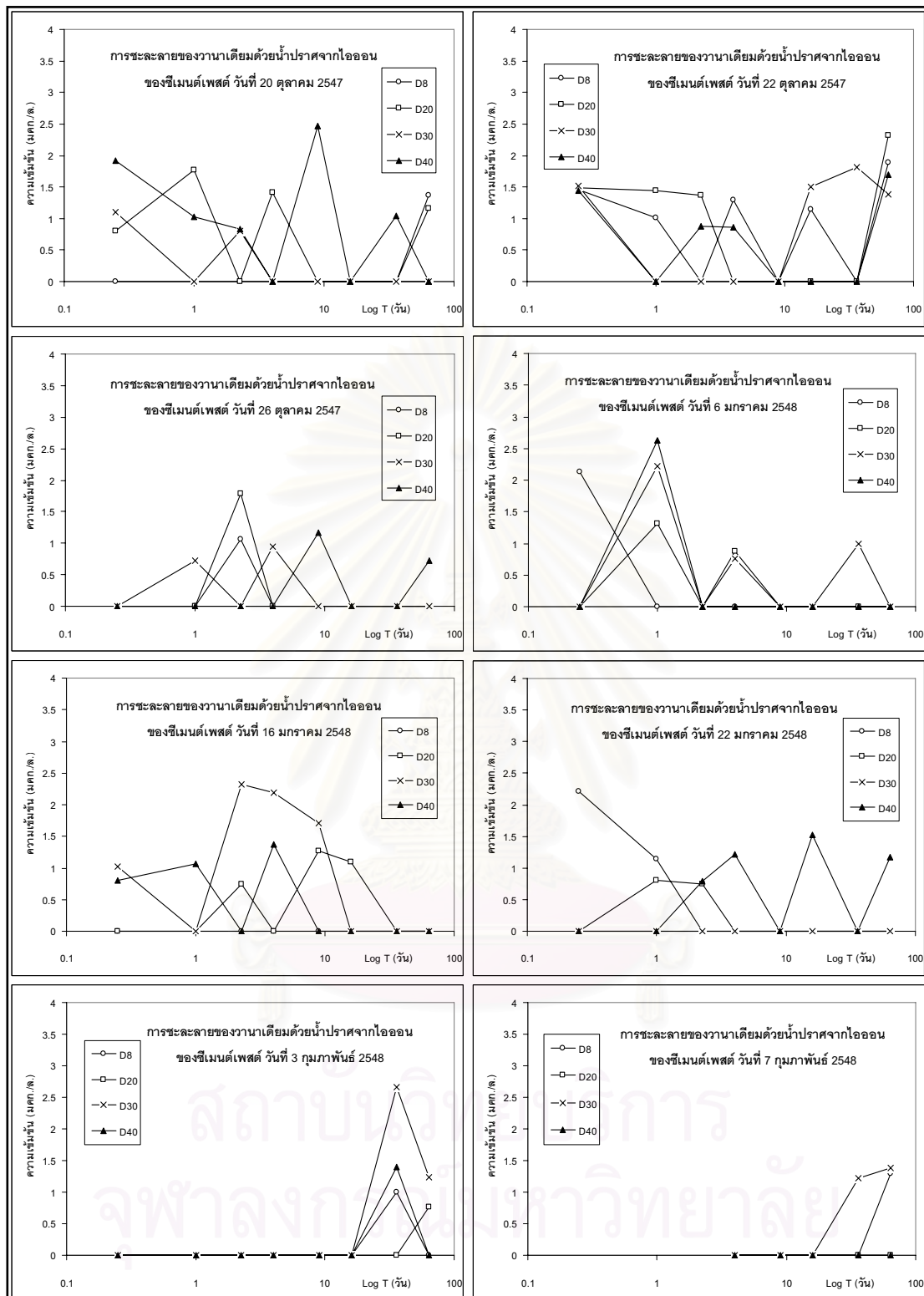
คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ $L/S = 8$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



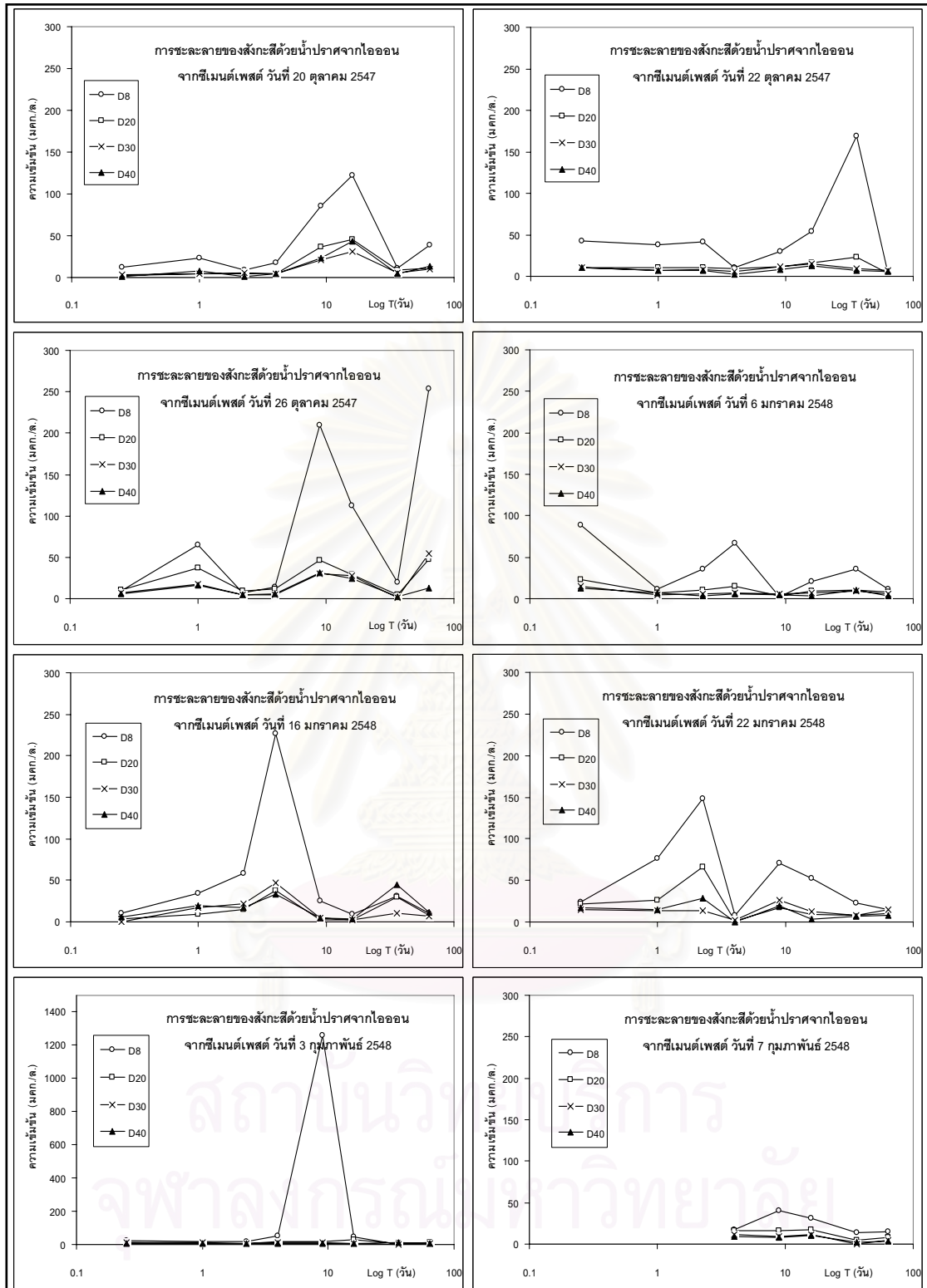
รูปที่ 4.14 ภาพรวมการชะละลายของ Pb จากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8



รูปที่ 4.15 ภาพรวมการชะละลายของ V จากตัวอย่างซีเมนต์เฟสค์ต่างๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8



รูปที่ 4.16 ภาพรวมการชะละลายของ Zn จากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ต่าง ๆ ด้วยน้ำปราศจากไอออน

คำอธิบายกราฟ: D8 หมายถึง ทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่ L/S = 8

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นในปูนเม็ดกับผลการชะละลาย

ในการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักในปูนเม็ด (ผลจากการย่อยสลายด้วยกรดโดยอาศัยเครื่องมือโครเวฟ แสดงโดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ในตารางที่ 4.4) กับ การชะละลาย ซึ่งทำโดยนำผลการทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนที่ L/S ทุกค่า มาเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์โดยมีสมมุติฐานดังนี้

1. หากความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักในปูนเม็ดส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักนั้นๆ แล้ว ตัวอย่างปูนเม็ดที่มีปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นน้อยจะให้ผลการทดสอบการชะละลายที่น้อย และในทางเดียวกัน ตัวอย่างปูนเม็ดที่มีปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นมาก ก็จะให้ผลการทดสอบการชะละลายที่มากด้วย

2. สำหรับตัวอย่างปูนเม็ดในแต่ละวันที่มีปริมาณโลหะหนักใกล้เคียงกันควรให้ผลการทดสอบการชะละลายที่คล้ายกัน

ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของโลหะต่างๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.17 – 4.26 โดยความเข้มข้นเริ่มต้นในปูนเม็ดของ Ba แทบไม่มีผลต่อความสามารถในการชะละลายของ Ba เลย โดยความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุดของ Ba ได้แก่ตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ประมาณ 150 มก./กก. ซึ่งแทบไม่แสดงผลการชะละลายสูงสุดให้เห็น โดยตัวอย่างที่แสดงผลการชะละลายสูงสุดได้แก่ตัวอย่างวันที่ 26 ตุลาคม 2547 จากนั้นนำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นใกล้เคียงกัน (ตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 กับ วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 กับ 20 ตุลาคม 2547 และตัวอย่างวันที่ 16 มกราคม 2548 กับ วันที่ 26 ตุลาคม 2547) มาเปรียบเทียบปริมาณ Ba ที่ชะละลายออกมาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมาก แต่ยังสามารเห็นแนวโน้มของการชะละลายได้จากรูปที่ 4.17 ที่เวลา 4 วันซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลาย โดยที่เวลาอื่นๆ ผลการชะละลายแสดงความแปรปรวนจึงมีความเป็นไปได้ว่ามีปัจจัยอื่นนอกจากความเข้มข้นเริ่มต้นที่ส่งผลต่อการชะละลายของ Ba

Cr มีความแตกต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นไม่มากนัก โดยความเข้มข้นต่ำสุดมาจากตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 ที่ 29 มก./กก. และสูงสุดมาจากตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ที่ 88 มก./กก. เมื่อเปรียบเทียบกับผลการชะละลายพบว่า ตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุดกลับแทบไม่แสดงผลการชะละลายที่สูงที่สุด ต่างจากตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 35 มก./กก. และ ตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 45 มก./กก. แต่แสดงผลการชะละลายสูงสุดหลายครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเริ่มต้นที่มีในปูนเม็ดไม่ส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายของ Cr เนื่องจากมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยการเปรียบเทียบการชะละลายของ Cr จากตัวอย่างวันต่างๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.18

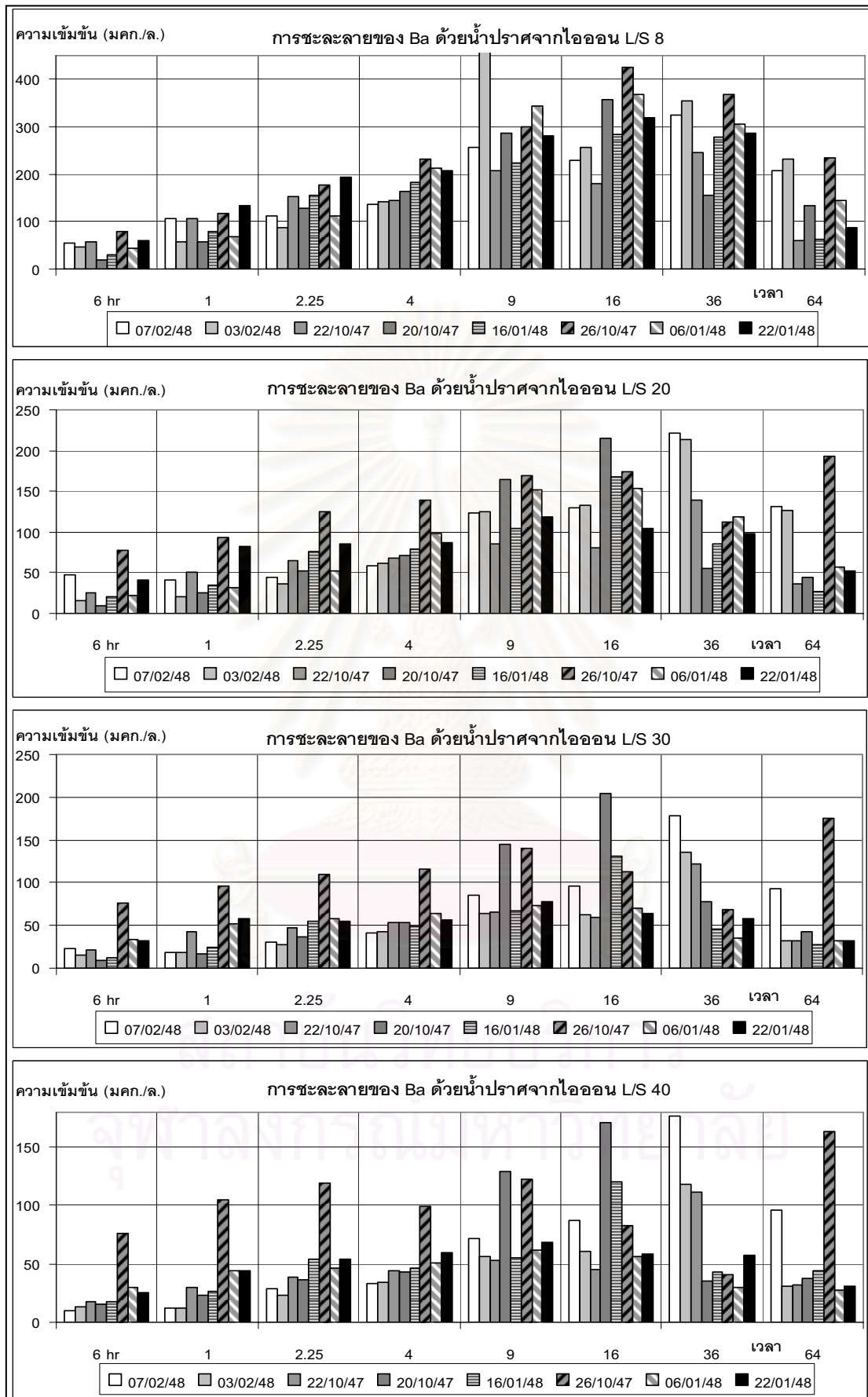
Cu แทบไม่ปรากฏการชะละลายให้เห็น โดยตัวอย่างที่มีการชะละลายออกมาสูงที่สุดได้แก่ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งเกิดการชะละลายออกมาในการทดสอบ 3 ช่วงแรก (6 ชั่วโมง 1 วัน และ 2.25 วัน) โดยแสดงอยู่ในรูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณ Cu เริ่มต้นสูงที่สุดเช่นกันที่ 274 มก./กก.

นอกจากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น Fe Mn Ni และ Pb ไม่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นที่มีต่อผลการทดสอบการชะละลายโดยแสดงอยู่ในรูปที่ 4.20 - 4.23 ในทำนองเดียวกับ V และ Zn ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.25 - 4.26

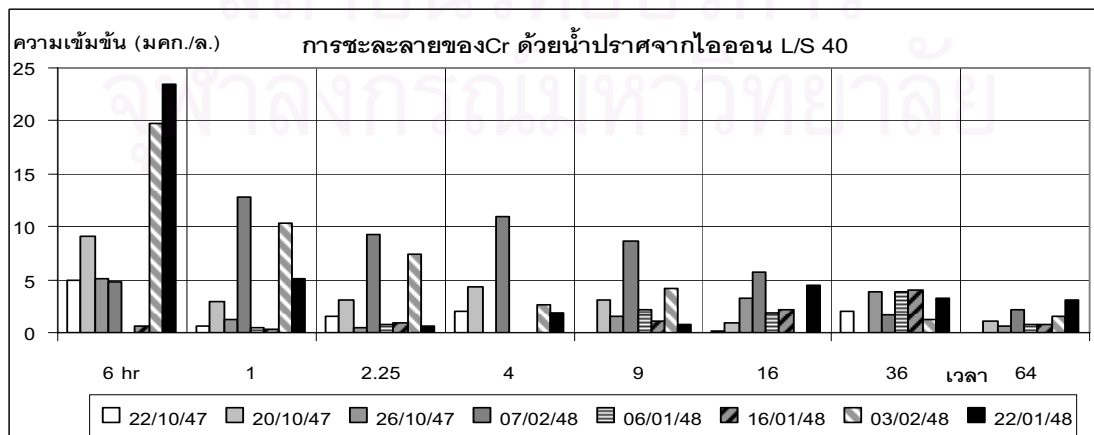
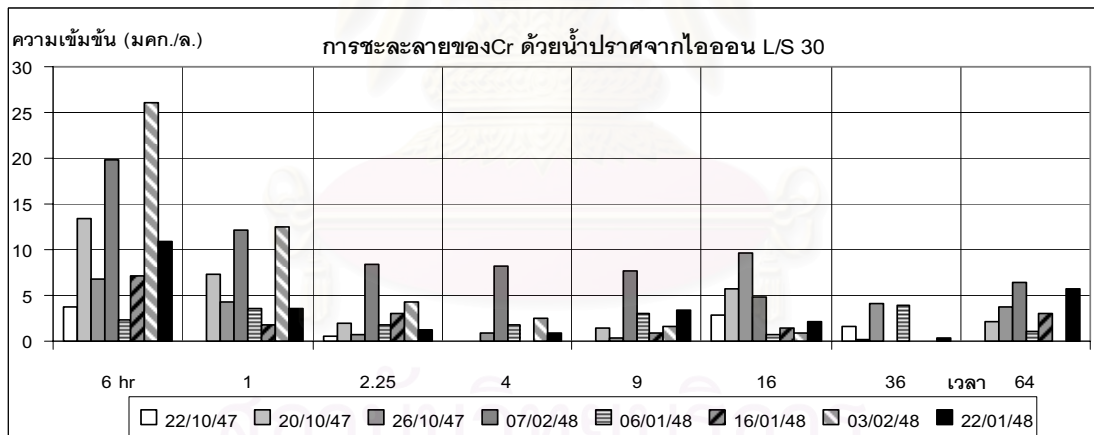
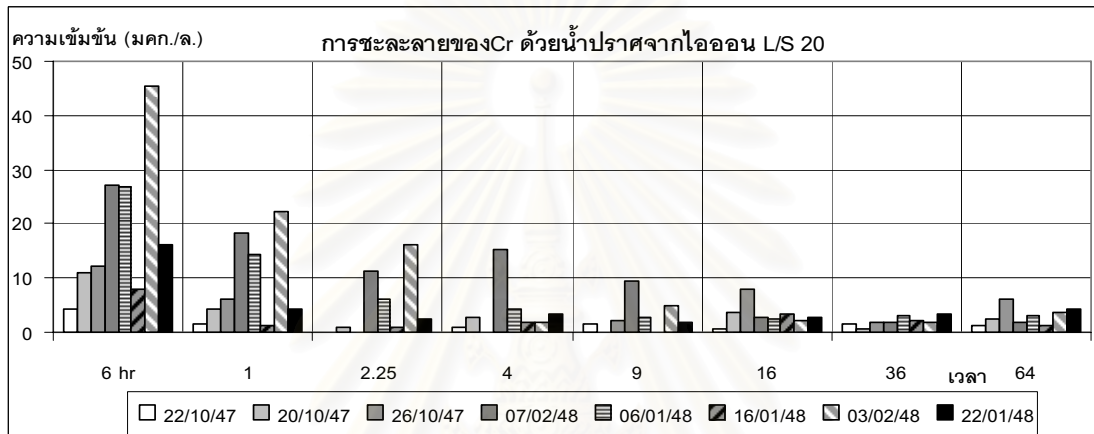
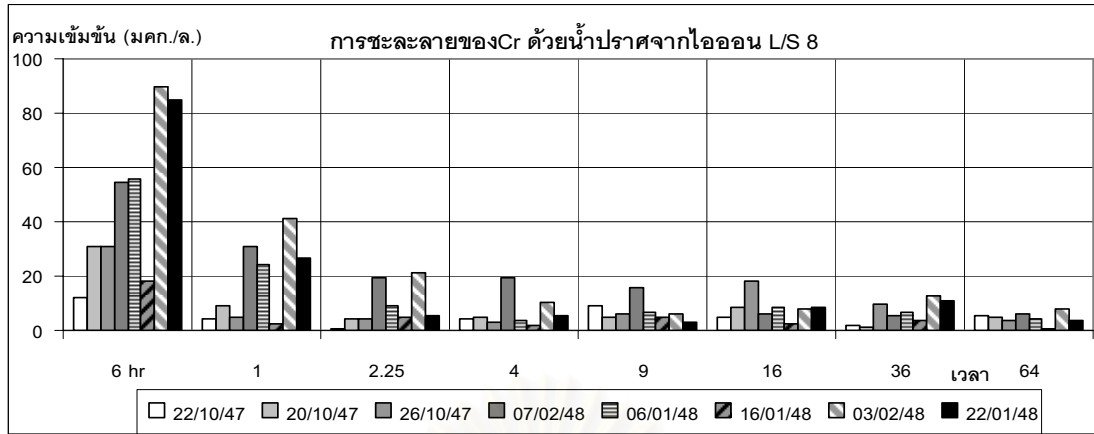
สำหรับ Sr นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ Ba คือจากรูปที่ 4.24 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นและผลการชะละลายอยู่บ้างในช่วงการทดสอบแรก ๆ (ช่วงที่ 1 – 4) จากตัวอย่างที่มีปริมาณ Sr ไม่สูงนัก ถึงแม้ว่าตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 จะแสดงความสามารถในการชะละลายที่สูงที่สุดในการทดสอบช่วงหลังๆ แต่หากดูจากผลของปริมาณเริ่มต้นของ Sr แล้วพบว่า ตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 16 มกราคม 2548 และ วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ 253 258 และ 259 มก./กก. ตามลำดับ จึงควรจะมีผลการทดสอบการชะละลายที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่ายังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการชะละลายมากกว่าปริมาณ Sr เริ่มต้นในปูนเม็ด หรือปริมาณเริ่มต้นในตัวอย่างต่างๆ นั้นยังมีความแตกต่างกันไม่มากเพียงพอที่จะส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายของ Sr ได้

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเริ่มต้นเรียงจากน้อยไปมากของธาตุต่างๆ

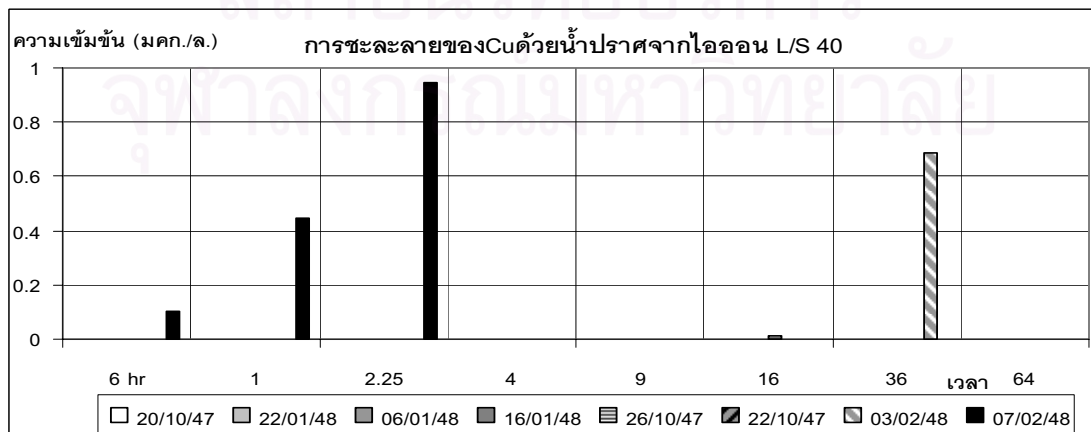
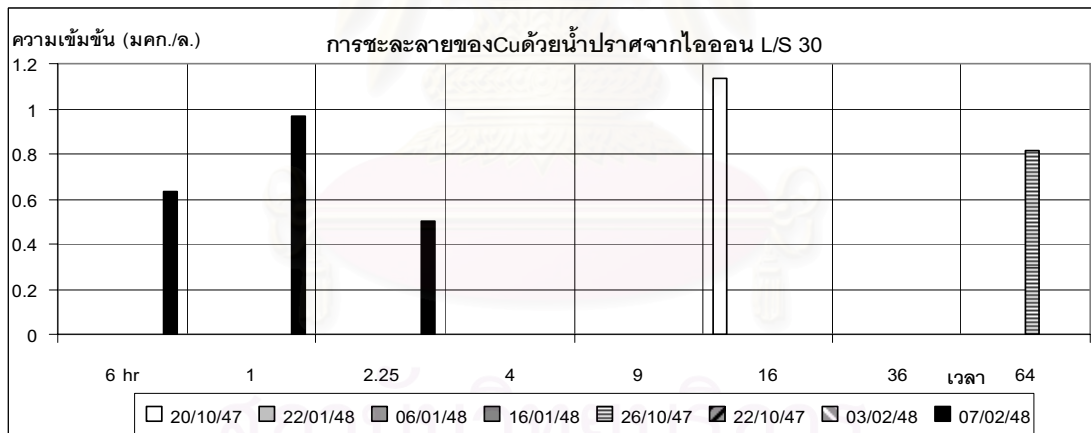
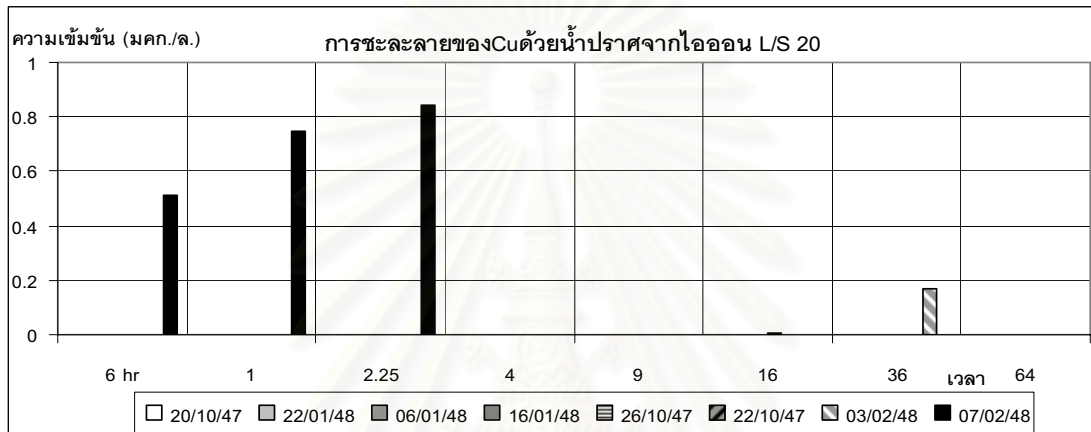
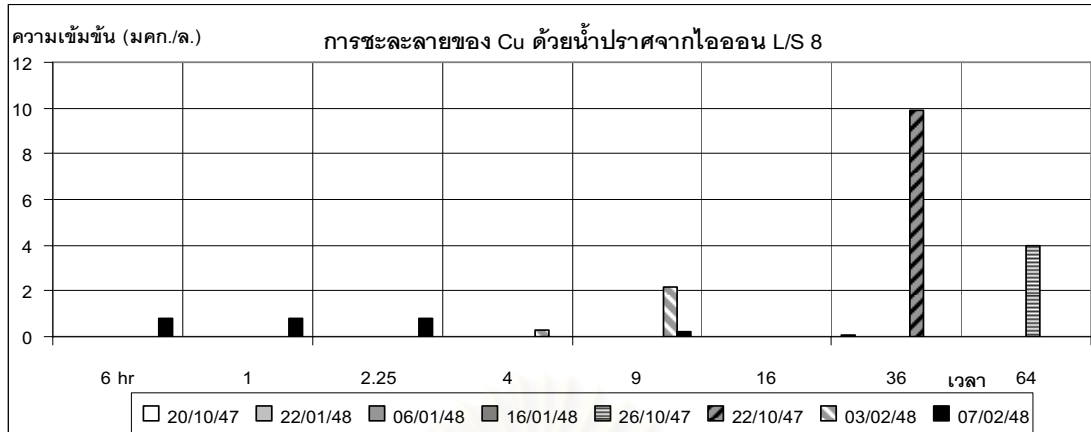
ธาตุ		ความเข้มข้นเรียงจากน้อยไปมาก							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Ba	วันที่	07/02/48	03/02/48	22/10/47	20/10/47	16/01/48	26/10/47	06/01/48	22/01/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	117	118	123	124	132	136	144	150
Cr	วันที่	22/10/47	20/10/47	26/10/47	07/02/48	06/01/48	16/01/48	03/02/48	22/01/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	29	32	32	35	38	41	45	88
Cu	วันที่	20/10/47	22/01/48	06/01/48	16/01/48	26/10/47	22/10/47	03/02/48	07/02/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	11	11	15	15	66	99	202	274
Fe	วันที่	26/10/47	20/10/47	22/10/47	16/01/48	22/01/48	06/01/48	07/02/48	03/02/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	9,598	10,762	12,013	17,351	17,459	18,097	23,831	24,045
Mn	วันที่	22/10/47	20/10/47	07/02/48	26/10/47	22/01/48	06/01/48	03/02/48	16/01/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	315	334	389	411	453	462	481	502
Ni	วันที่	07/02/48	03/02/48	16/01/48	22/01/48	06/01/48	26/10/47	20/10/47	22/10/47
	ปริมาณ (มก./กก.)	22	23	27	30	31	33	35	36
Pb	วันที่	20/10/47	06/01/48	16/01/48	22/01/48	26/10/47	22/10/47	03/02/48	07/02/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	<0.110	<0.110	<0.110	<0.110	6	17	32	44
Sr	วันที่	03/02/48	26/10/47	22/10/47	20/10/47	06/01/48	22/01/48	16/01/48	07/02/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	160	181	184	190	239	253	258	259
V	วันที่	07/02/48	26/10/47	22/10/47	20/10/47	03/02/48	16/01/48	22/01/48	06/01/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	40	45	52	58	61	80	81	85
Zn	วันที่	20/10/47	22/01/48	06/01/48	16/01/48	26/10/47	22/10/47	03/02/48	07/02/48
	ปริมาณ (มก./กก.)	33	42	47	52	107	122	297	342



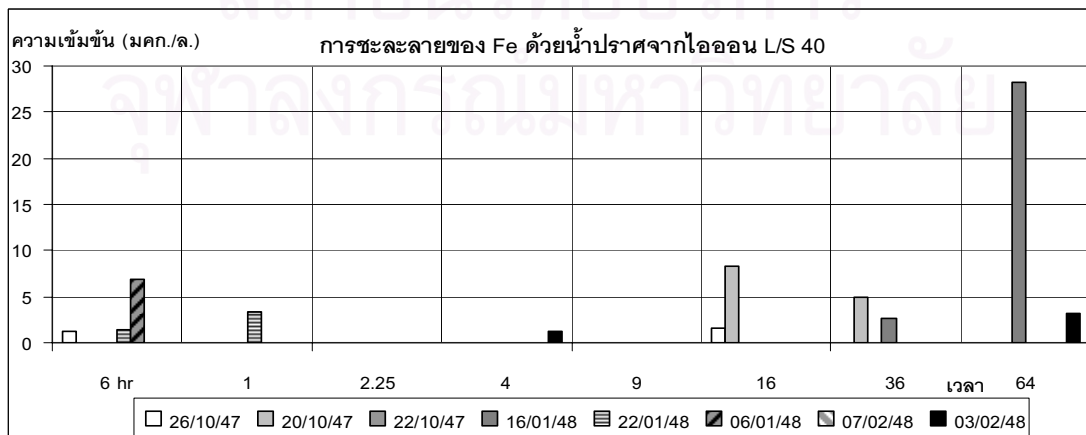
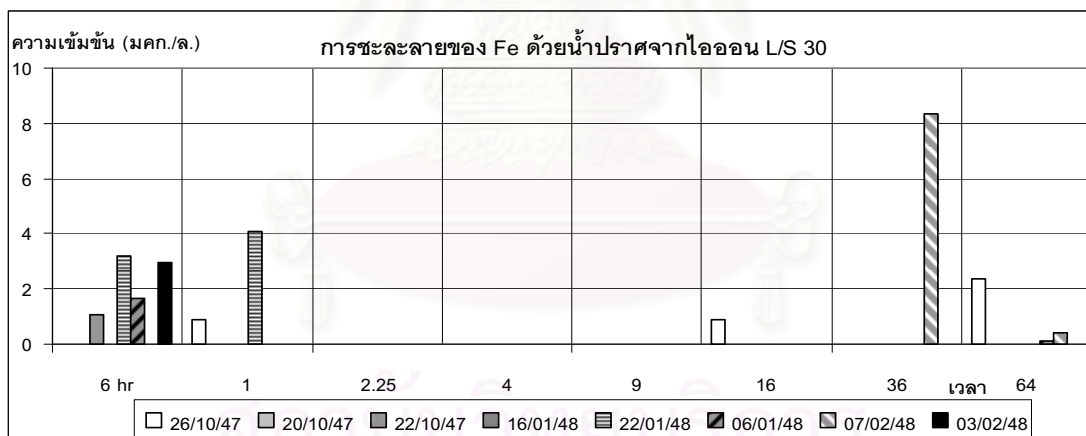
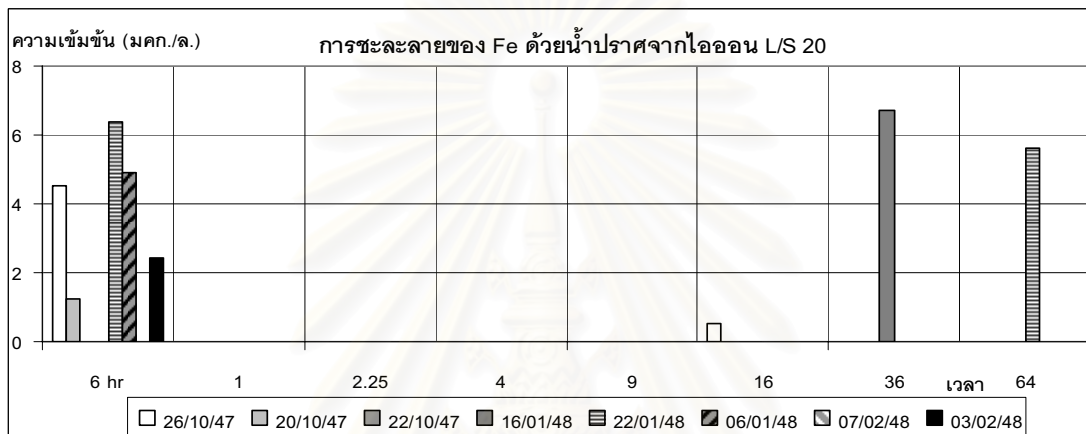
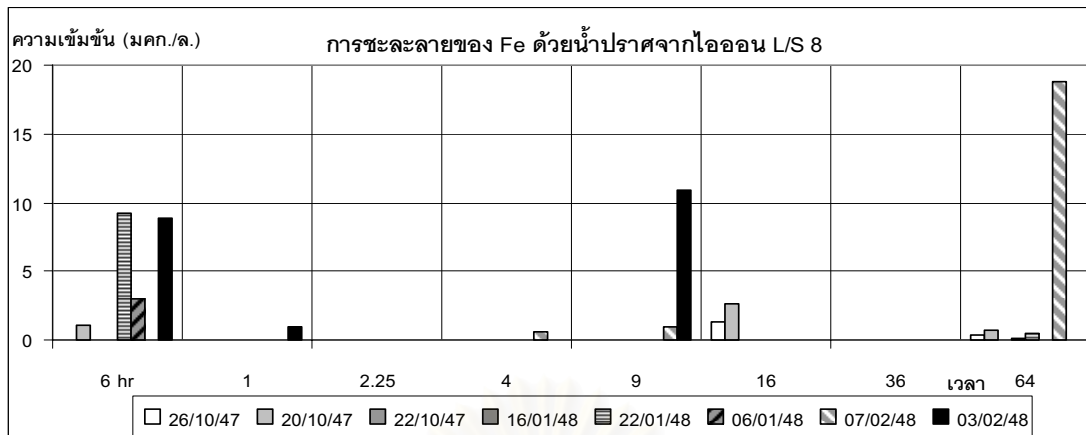
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Ba ที่ L/S ต่างๆ



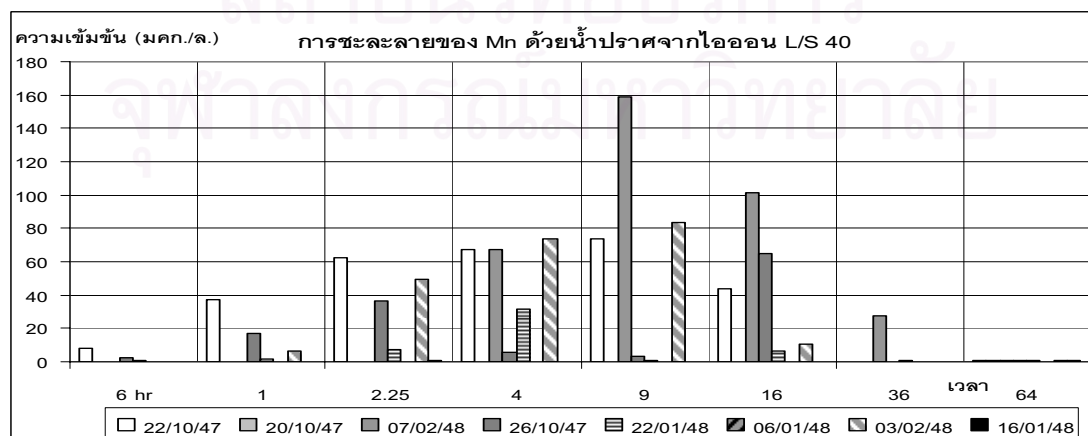
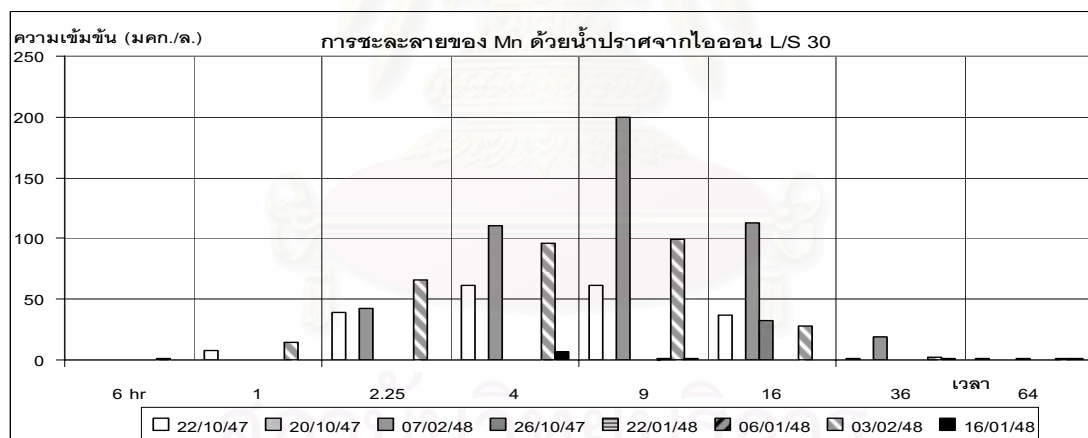
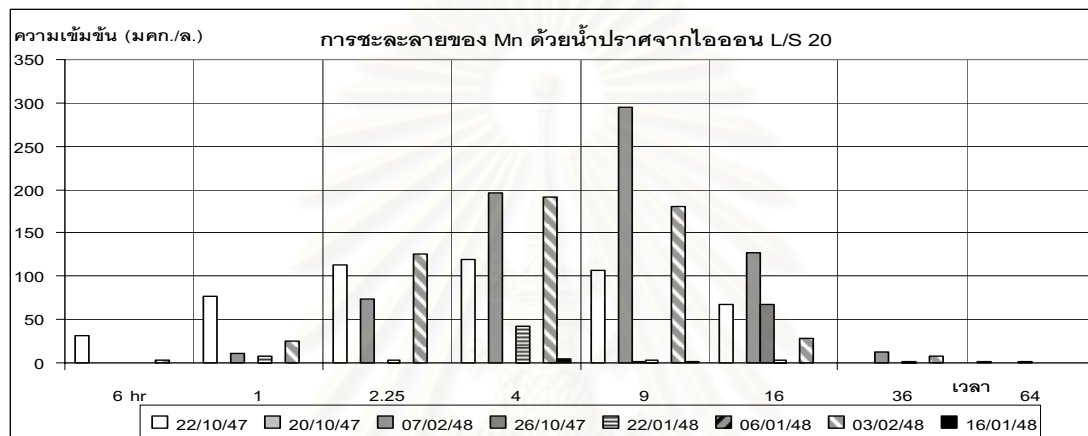
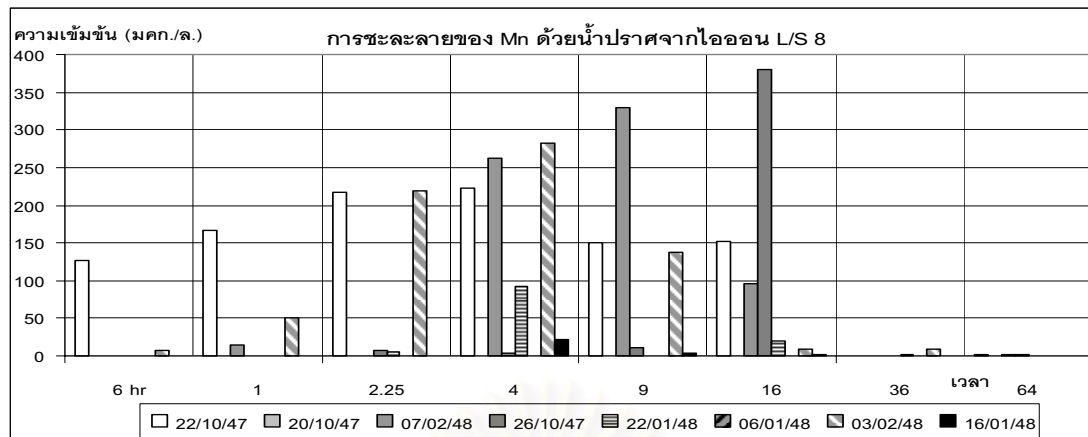
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Cr ที่ L/S ต่างๆ



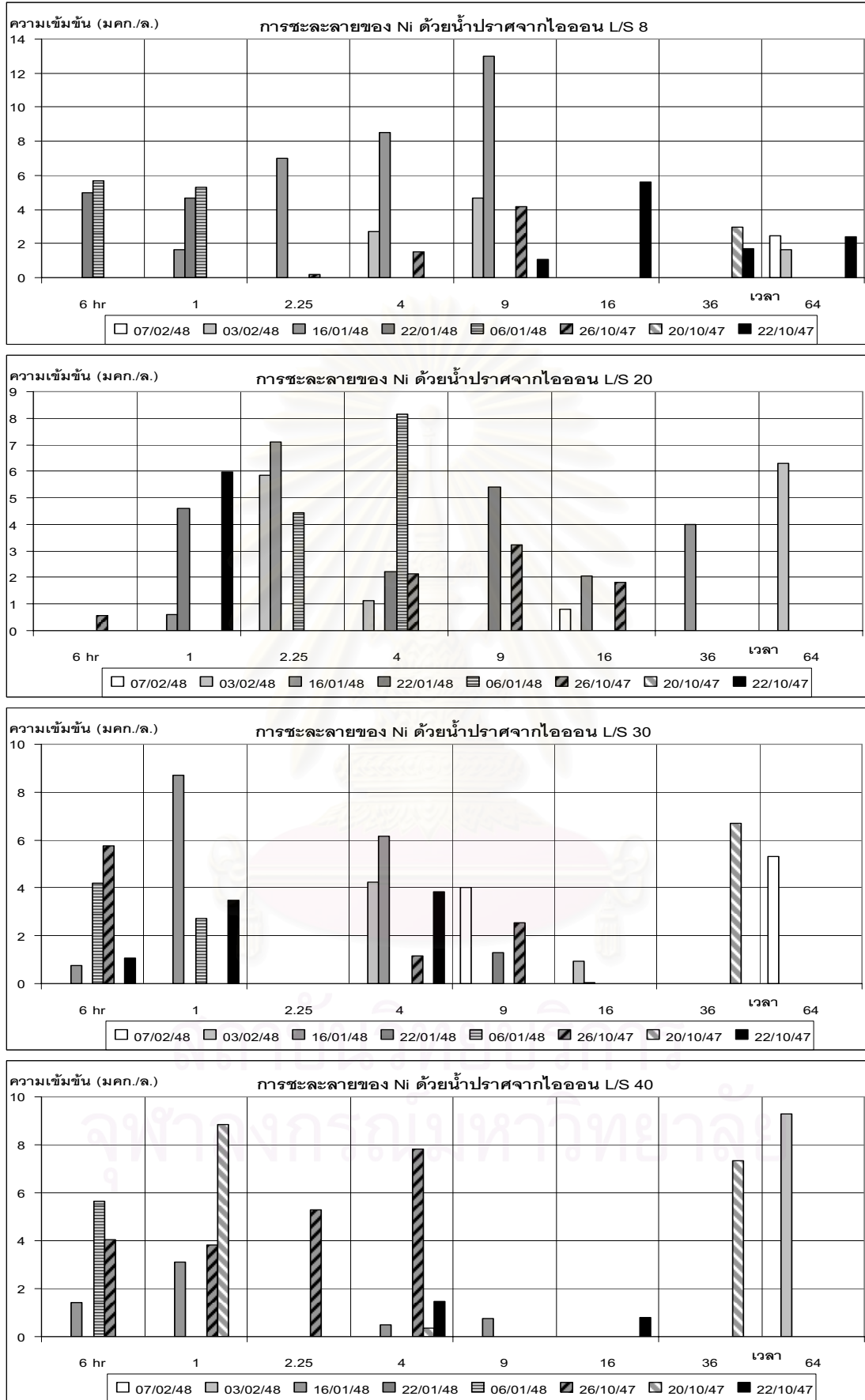
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Cu ที่ L/S ต่างๆ



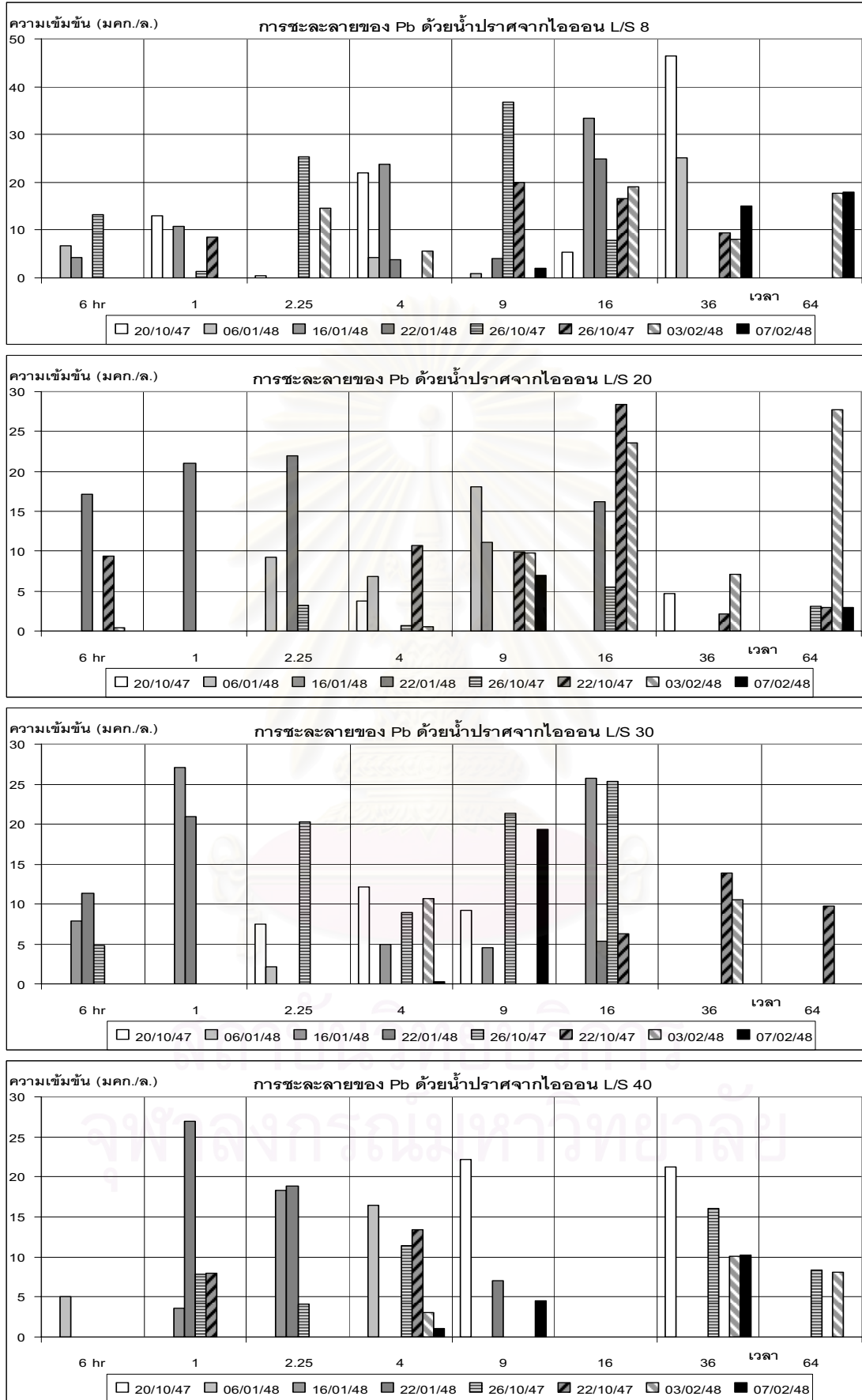
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Fe ที่ L/S ต่างๆ



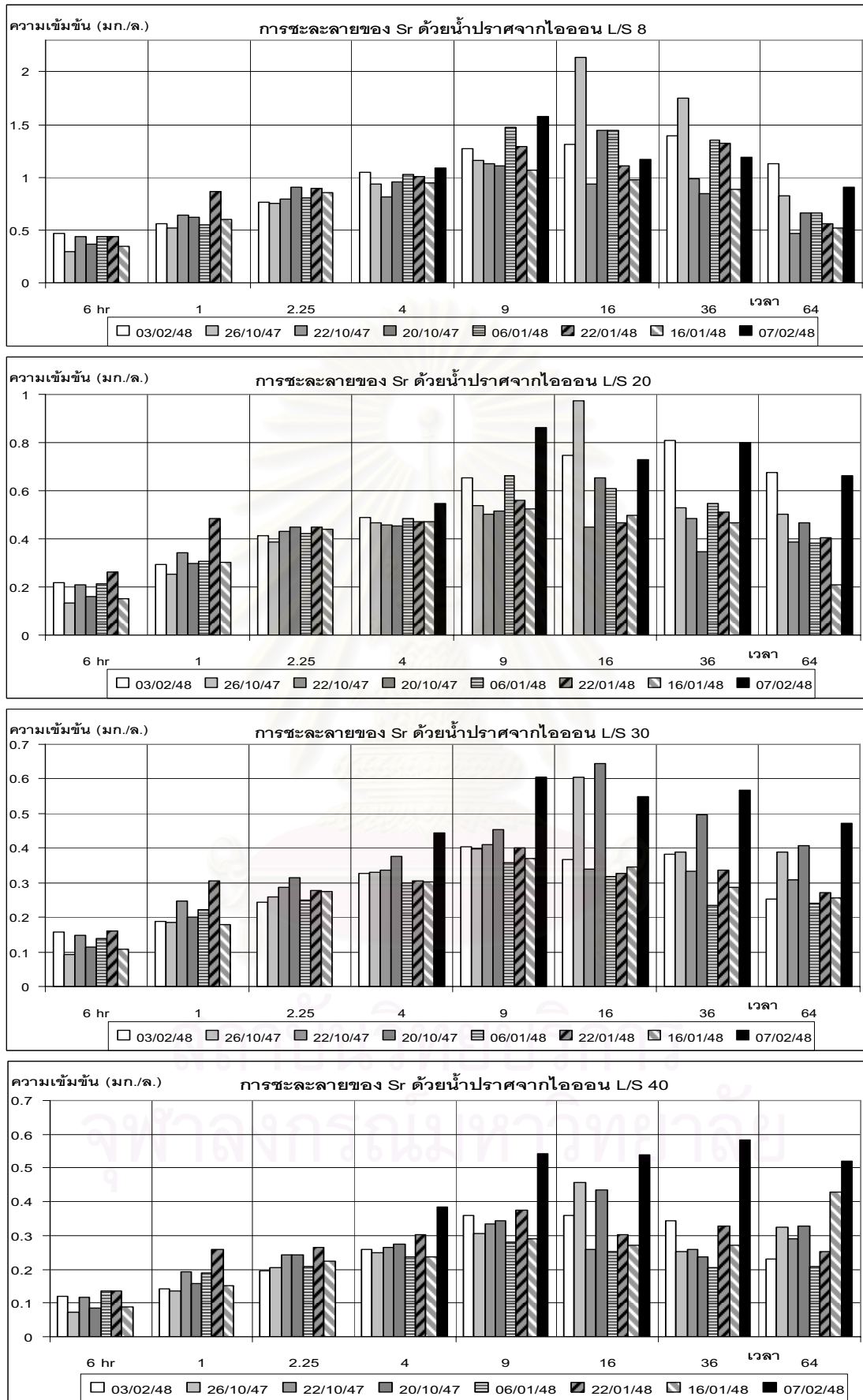
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Mn ที่ L/S ต่างๆ



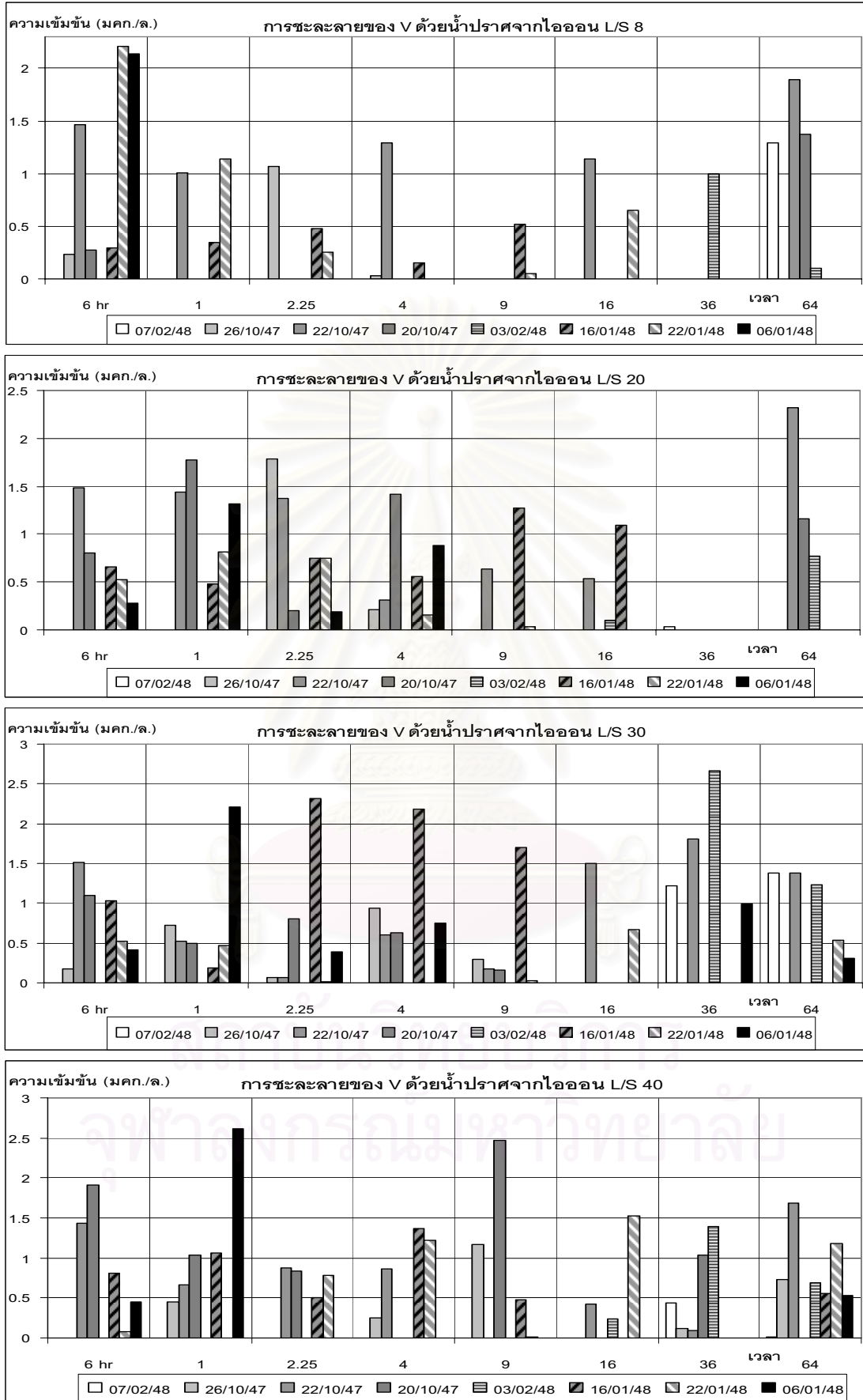
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Ni ที่ L/S ต่างๆ



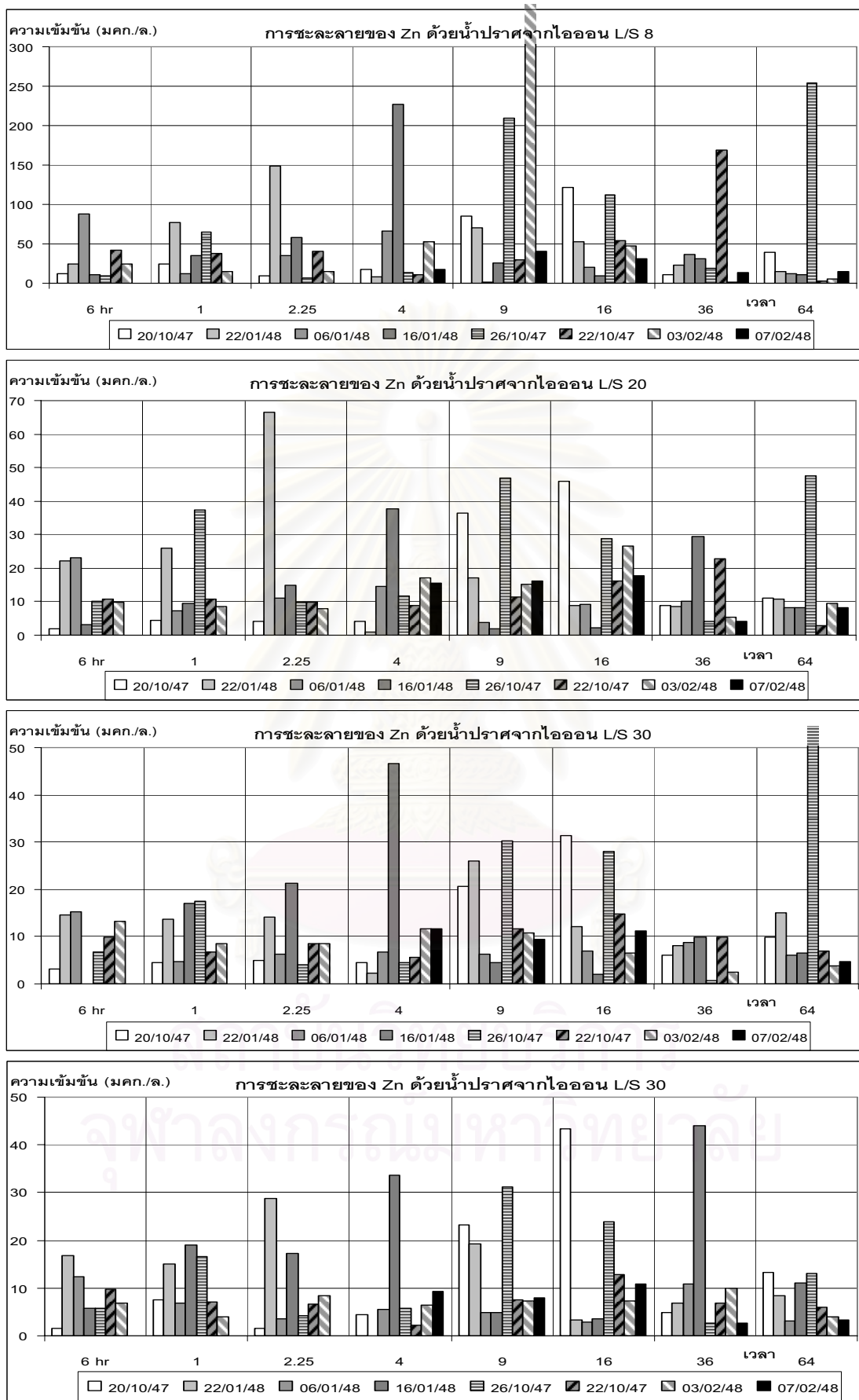
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Pb ที่ L/S ต่างๆ



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Sr ที่ L/S ต่างๆ



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ V ที่ L/S ต่างๆ



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับการชะละลายของ Zn ที่ L/S ต่างๆ

4.2.3 การชะละลายกับมาตรฐานน้ำดื่ม

ปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานน้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคจากหลายหน่วยงาน อาทิ ของ U.S.EPA (U.S. Environmental Protection Agency) WHO (World Health Organization) และ EU (Europe Union) เป็นต้น ซึ่งเป็นประเทศต่างๆได้รับเอามาตรฐานเหล่านี้ไปบังคับใช้เพื่อกำหนดคุณภาพน้ำดื่มในประเทศ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกเอามาตรฐานน้ำประปาของไทยดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2.8 ซึ่งได้รับเอามาตรฐานของ WHO มาปรับใช้ เพื่อมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบการชะละลายที่ได้

โลหะหนักซึ่งปรากฏอยู่ในมาตรฐานของการประปานครหลวงนั้นประกอบด้วย Al As Cd Cr Cu Fe Hg Mn Pb Se และ Zn สำหรับโลหะหนักที่ไม่มีระบุไว้จะยึดมาตรฐานของ WHO เป็นสำคัญ ได้แก่ B Ba และ Ni

ผลสรุปการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักที่ชะละลายออกมากับมาตรฐานน้ำดื่มต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 โดยนำข้อมูลความเข้มข้นของโลหะทั้งหมดมาสร้างกราฟโดยให้มี แกนตั้ง (y) เป็นความเข้มข้น และแกนนอน (x) เป็นตัวอย่าง จุดประสงค์ของการแสดงกราฟในลักษณะนี้เพียงเพื่อต้องการกระจายข้อมูลตัวอย่างที่อยู่ในการทดลองซึ่งมีความเข้มข้นแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโดยไม่คำนึงถึง ชนิดของตัวอย่าง (วันที่ต่างๆ) เวลาในการทดสอบ สารชะละลาย และ ค่า L/S Ratio ผลการเปรียบเทียบปรากฏว่ามีโลหะอยู่ 6 ชนิดที่มีความเข้มข้นไม่เกินมาตรฐาน ได้แก่ Be Cu Fe Mn Ni และ Zn ที่เกินมาตรฐานมีทั้งสิ้น 7 ธาตุ ได้แก่ Al B Ba Ca Cd Cr และ Pb ดังรูปที่ 4.27-4.34 นอกจากนี้มี 2 ธาตุที่ไม่มีมาตรฐานระบุไว้ได้แก่ Sr และ V

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

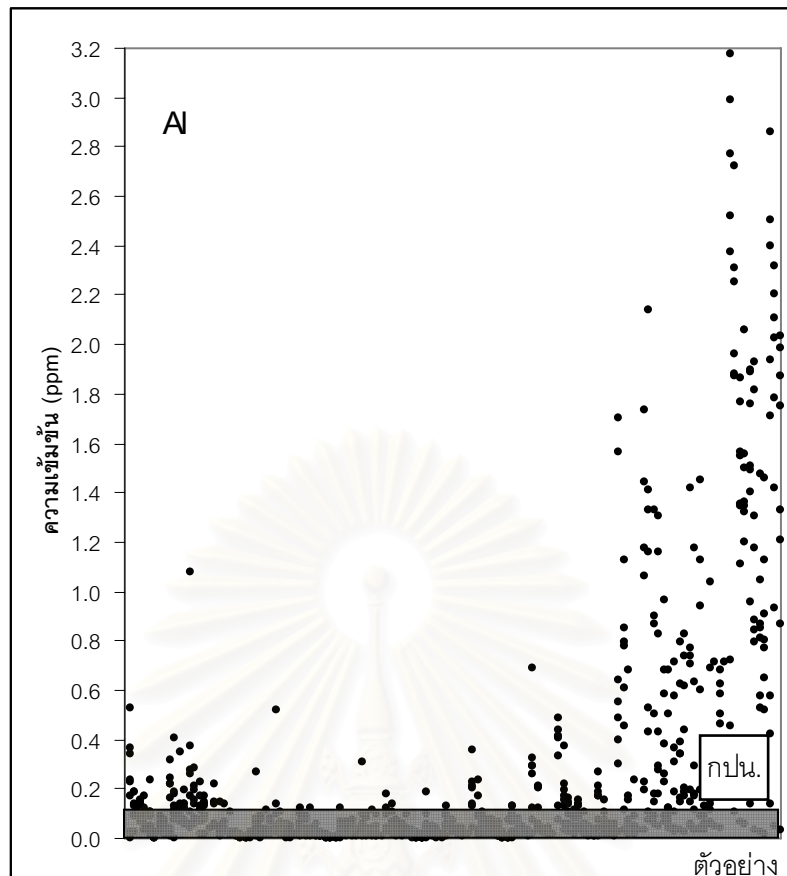
ตารางที่ 4.5 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบการทดสอบการชะละลายกับมาตรฐานน้ำต่างๆ

ธาตุ	มาตรฐานที่ใช้	จำนวนที่เกิน (ตัวอย่าง)	คิดเป็นร้อยละ (ร้อยละ)	วันที่เกินมาตรฐาน จำนวนสูงสุด	จำนวน (ตัวอย่าง)	ความเข้มข้น				วันที่มีค่า มากที่สุด
						เฉลี่ย ⁽¹⁾	สูงสุด	SD.	หน่วย	
Al	กปน. ⁽²⁾	363	35.450	22 มค. 48	70	0.253	3.175	0.490	มก./ล.	22 มค. 48
B	WHO	12	1.172	16 มค. 48	4	37.059	737.630	65.497	มคก./ล.	3 กพ. 48
Ba	WHO	31	3.027	6 มค. 48	9	93.289	2,701.400	122.453	มคก./ล.	3 กพ. 48
Be	EPA	-	-	-	-	0.578	1.220	0.246	มคก./ล.	26 ตค. 47
Ca	ไทย 1 ⁽³⁾	8	0.781	26 ตค. 47	8	33.625	90.294	12.212	มก./ล.	26 ตค. 47
Cd	กปน.	394	38.477	22 ตค. 47	83	3.571	12.672	2.470	มคก./ล.	3 กพ. 48
Cr	กปน.	16	1.563	22 มค. 48	6	8.055	120.560	12.296	มคก./ล.	22 มค. 48
Cu	กปน.	-	-	-	-	1.759	24.724	2.685	มคก./ล.	26 ตค. 47
Fe	กปน.	-	-	-	-	5.108	86.798	9.893	มคก./ล.	26 ตค. 47
Mn	กปน.	-	-	-	-	16.902	399.820	49.484	มคก./ล.	26 ตค. 47
Ni	WHO	-	-	-	-	3.599	16.177	2.987	มคก./ล.	16 มค. 48
Pb	กปน.	199	19.434	26 ตค. 47	32	11.589	49.429	9.246	มคก./ล.	26 ตค. 47
Sr	N/A ⁽⁴⁾	-	-	-	-	0.445	2.292	0.329	มก./ล.	26 ตค. 47
V	N/A	-	-	-	-	2.630	100.320	7.202	มคก./ล.	26 ตค. 47
Zn	กปน.	-	-	-	-	19.180	1,261.700	47.020	มคก./ล.	3 กพ. 48

หมายเหตุ:

- (1) ความเข้มข้นเฉลี่ย เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยความเข้มข้นที่วัดได้ โดยไม่นับรวมตัวอย่างที่มีค่าต่ำกว่า LOD
- (2) การประปานครหลวง
- (3) เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (ไทย)
- (4) ไม่ปรากฏมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

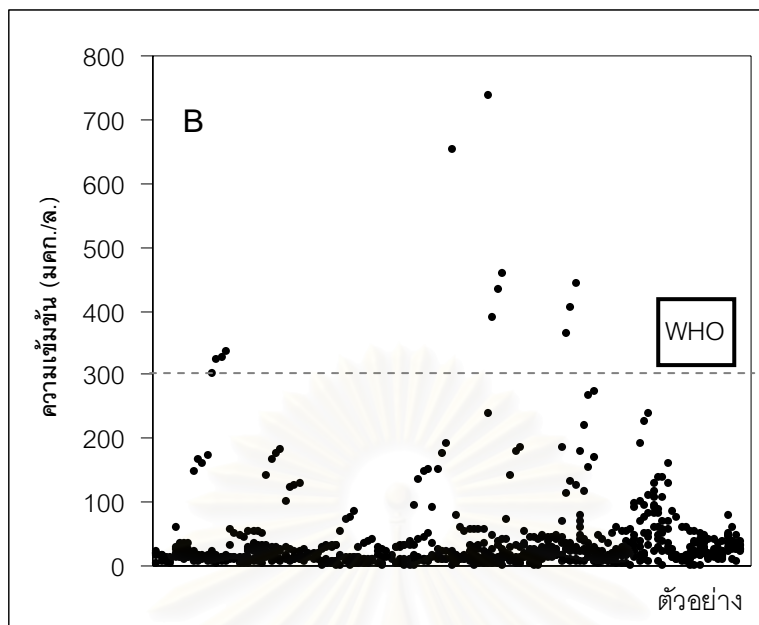


รูปที่ 4.27 ภาพรวมการชะละลายของ AI เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

ค่าที่เกินมาตรฐานของ AI ซึ่งประกาศไว้โดยการประปานครหลวงที่ 0.1 มก./ล. เกิดขึ้นหลักๆ อยู่ 2 ช่วงคือ ช่วงเริ่มต้นการทดสอบซึ่งเกิดจากการชะล้างที่ผิวหน้าของ AI จากก่อนทดสอบ และช่วงท้ายซึ่งเกิดการละลายของ AI ออกจากก้อนตัวอย่าง

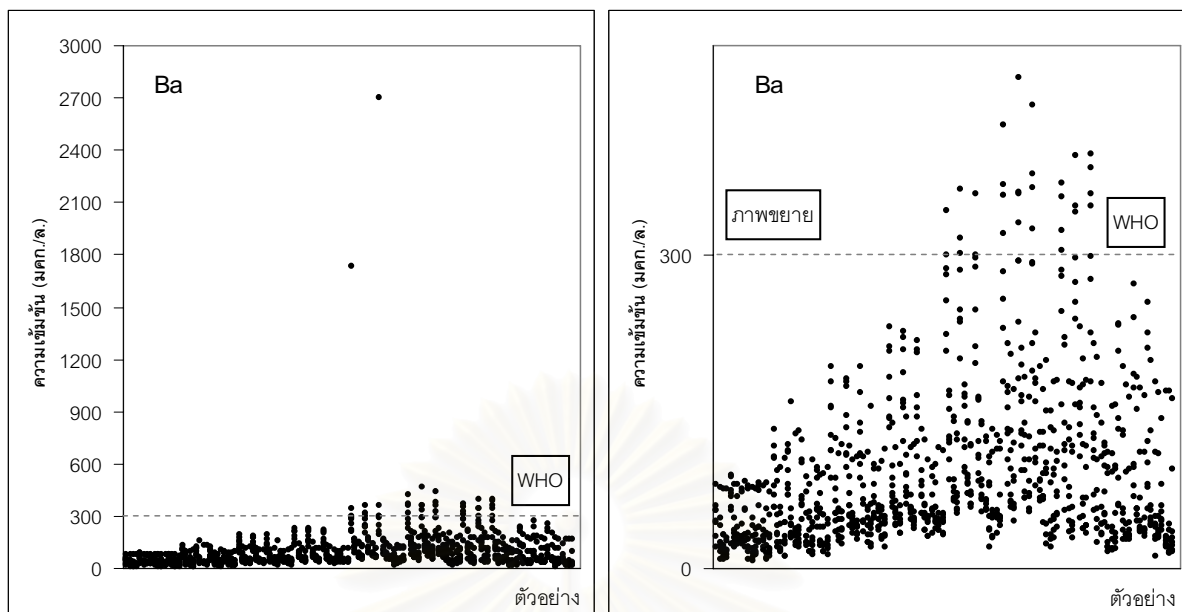
ที่จุดเริ่มต้นของการทดสอบ (6 ชั่วโมงแรก) เกิดการชะละลายที่เกินมาตรฐานจากสารชะละลายทั้ง 3 ได้แก่ น้ำปราศจากไอออนอยู่ระหว่าง 0.100 – 0.529 มก./ล. น้ำฝนกรดชนิดปิดฝาระหว่าง 0.116 – 0.409 มก./ล. และ น้ำฝนกรดชนิดเปิดฝาระหว่าง 0.108 – 1.080 มก./ล. โดยไม่เกิดการชะละลายที่เกินมาตรฐานจากการทดสอบด้วยน้ำประปา

ในช่วงกลางของการทดสอบ AI เกิดการชะละลายที่เกินมาตรฐานบ้างเพียงเล็กน้อยจากตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 และ เมื่อเวลาการทดสอบเข้าสู่ช่วงท้าย (16วันเป็นต้นไป) เกิดการชะละลายของ AI ออกมาอย่างมากจากสารชะละลายทั้ง 4 ชนิด ซึ่งมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.104 – 3.175 มก./ล.



รูปที่ 4.28 ภาพรวมการกระจายของ B เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

จากมาตรฐานของการประปานครหลวงซึ่งไม่ได้ระบุความเข้มข้นของ B ไว้จึงนำเอามาตรฐานของ WHO ซึ่งกำหนดไว้ที่ 300 มคก./ล. มาเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยผลจากการทดสอบด้วยสารละลายหลายชนิดพบความเข้มข้นของ B ที่เกินมาตรฐานมีจำนวนน้อยมาก (12 ตัวอย่าง จาก 1,024 ตัวอย่าง) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 โดยค่าที่เกินมาตรฐานมาจากช่วงแรกของการทดสอบการละลาย (6 ชั่วโมงแรก) ของฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝาจากซีเมนต์เพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 โดยมีช่วงความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 301.450 - 336.580 มคก./ล. และจากช่วงกลางของการทดสอบด้วยฝนกรดสังเคราะห์ชนิดปิดฝา ที่เวลา 9 วัน จากซีเมนต์เพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 โดยมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 389.750 - 457.460 มคก./ล. และที่เวลา 16 วัน จากซีเมนต์เพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ที่ความเข้มข้น 364.910 - 443.400 มคก./ล. ตามลำดับ

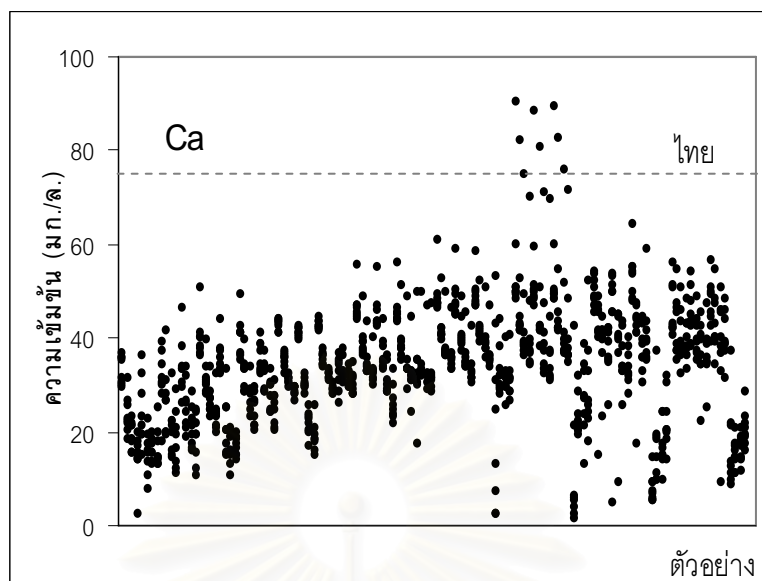


รูปที่ 4.29 ภาพรวมการชะละลายของ Ba เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

เช่นเดียวกับ B การเปรียบเทียบการชะละลายของ Ba จะนำเอามาตรฐานของ WHO มาศึกษา ซึ่งจากการทดสอบพบค่าความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานที่ให้ไว้โดย WHO ที่ 300 มก./ล. ในการทดลองครั้งที่ 5 (9วัน) ที่ค่า L/S Ratio เท่ากับ 8 ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ซึ่งตรวจพบความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานจากสารชะละลายทั้ง น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์ชนิดปิดฝาช่วงความเข้มข้นระหว่าง 300.350 - 2,701.400 มก./ล. แต่ในฝนกรดชนิดเปิดฝาไม่พบค่าที่เกินมาตรฐานแต่อย่างใด

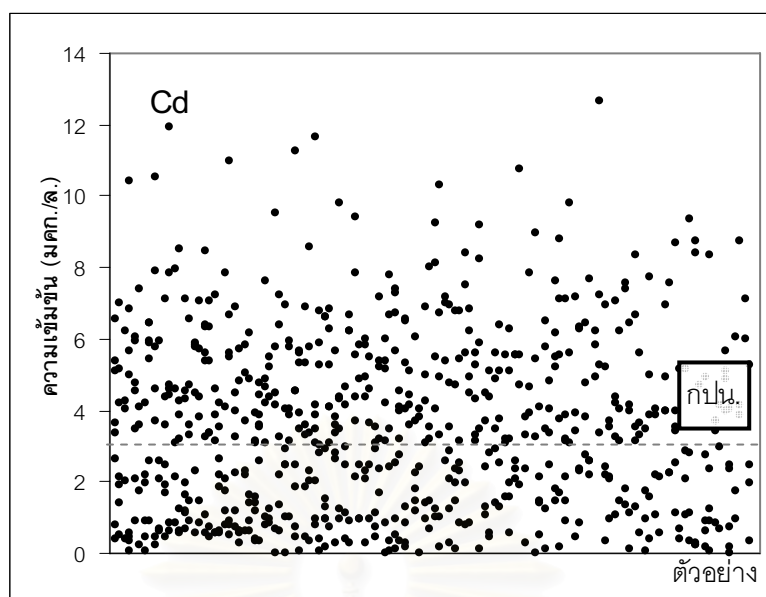
เมื่อเวลาผ่านไปในการทดลองครั้งที่ 6 (16วัน) พบว่าจำนวนตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานมีจำนวนเพิ่มขึ้นจาก 7 ตัวอย่าง เป็น 12 ตัวอย่าง ที่ช่วงความเข้มข้นระหว่าง 319.850 - 469.450 มก./ล. ซึ่งฝนกรดชนิดเปิดฝายังคงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน จำนวนตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานในการทดสอบครั้งที่ 7 (36วัน) ลดลงเหลือเพียง 10 ตัวอย่าง โดยมีความเข้มข้นระหว่าง 304.120 - 396.880 มก./ล. และลดลงต่ำกว่ามาตรฐานทั้งหมดที่การทดลองช่วงสุดท้ายคือครั้งที่ 8 (64วัน)

การชะละลายของ Be เกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งความเข้มข้นมากที่สุดอยู่ที่ 1.220 มก./ล. จากตัวอย่างวันที่ 26 ตุลาคม 2547 ที่เวลาการชะละลาย 2.25 วัน ในน้ำปราศจากไอออน ค่า L/S Ratio เท่ากับ 8 ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานน้ำดื่มที่ให้ไว้โดย U.S.EPA ที่ 4 มก./ล. อยู่ค่อนข้างมาก



รูปที่ 4.30 ภาพรวมการชะละลายของ Ca เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

Ca เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่มากในซีเมนต์เฟสท์ ในการทดสอบการชะละลาย Ca มีการชะละลายออกมาในระดับ มก./ล. ช่วงความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 1.641 – 90.294 มก./ล. โดยมาตรฐานน้ำดื่มจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมระบุไว้สำหรับ Ca คือเกณฑ์ที่กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่ 75 มก./ล. และเกณฑ์ที่อนุโลมให้สูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคอยู่ที่ 200 มก./ล. ซึ่งการชะละลายของ Ca มีค่าเกินมาตรฐานน้อยมาก (8 ตัวอย่างจาก 1024 ตัวอย่าง) ที่ความเข้มข้นระหว่าง 75.010 - 90.294 มก./ล. โดยทั้งหมดมาจากตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 มีสารชะละลายเป็น น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และผงกรดสังเคราะห์ชนิดปิดฝา ที่การทดสอบช่วงที่ 5 (9 วัน) ทั้งสิ้น จากความเข้มข้นของ Ca ที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ายังไม่มีค่าใดเกินค่าที่อนุโลมให้สูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

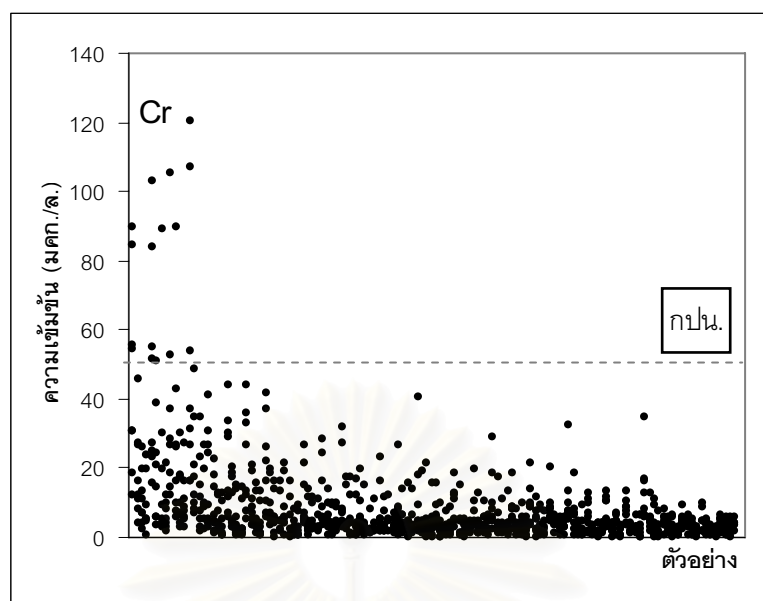


รูปที่ 4.31 ภาพรวมการชะละลายของ Cd เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

การชะละลายของ Cd ดังแสดงในรูปที่ 4.31 มีการกระจายตัวและความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานอยู่เป็นจำนวนมาก (394 ตัวอย่าง) เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ให้ไว้โดยการประปานครหลวง ที่ 3 มคก./ล. ซึ่งช่วงความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานอยู่ระหว่าง 3.033 - 12.672 มคก./ล.

การชะละลายของ Cd จะออกเป็น 3 ลักษณะด้วยกันคือ

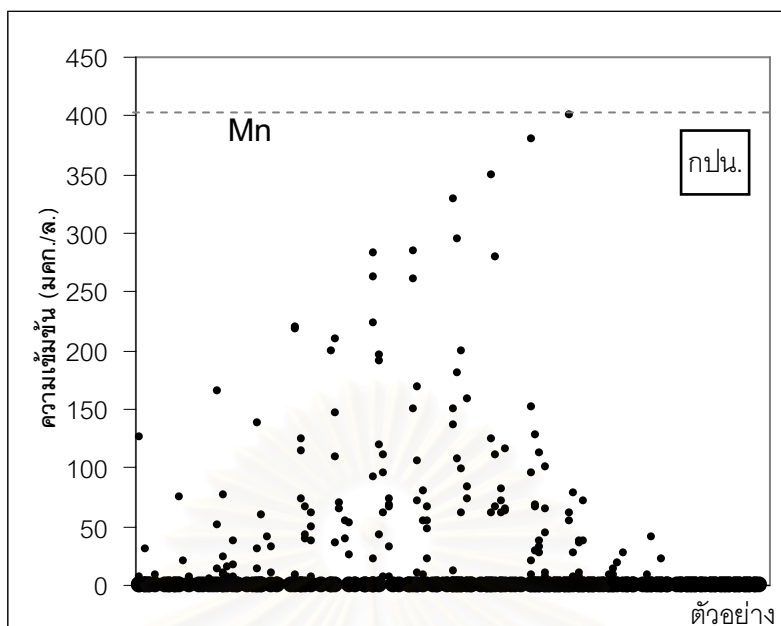
1. เกิดการชะละลายที่เกินมาตรฐานตลอดช่วงการทดสอบได้แก่ตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 (83 ตัวอย่าง จาก 128 ตัวอย่าง) ช่วงความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานอยู่ระหว่าง 3.058 - 11.251 มคก./ล.
2. เกิดการชะละลายที่เกินมาตรฐานในช่วงแรก-กลาง (6 ชั่วโมงแรก - 16 วัน) และการชะละลายลดลงต่ำกว่ามาตรฐานในช่วงท้าย (36 - 64 วัน) ได้แก่ตัวอย่าง วันที่ 20 ตุลาคม 2547 26 ตุลาคม 2547 6 มกราคม 2548 16 มกราคม 2548 และ 22 มกราคม 2548
3. เกิดการชะละลายที่เกินมาตรฐานเฉพาะในช่วงท้ายของการทดสอบ (36 - 64 วัน) ได้แก่ตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 และตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548



รูปที่ 4.32 ภาพรวมการชะละลายของ Cr เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

มาตรฐานน้ำดื่มของ Cr กำหนดไว้ที่ 50 มก./ล. ซึ่งความเข้มข้นของ Cr จากการทดสอบการชะละลายพบว่ามีเพียง 16 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีค่าเกินมาตรฐาน โดยช่วงความเข้มข้นที่เกิดขึ้นอยู่ที่ 50.700 - 120.560 มก./ล. โดยความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานของ Cr ทั้งหมดมาจากการทดสอบการชะละลายในช่วงแรก (6 ชั่วโมง) ที่ L/S Ratio ต่ำๆ (8) สำหรับสารชะละลายทุกชนิด โดยมากมาจากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ วันที่ 22 มกราคม 2548 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 และวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 เมื่อเวลาการทดสอบผ่านไม่พบความเข้มข้นของ Cr ที่เกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มแต่อย่างใด ภาพการเปรียบเทียบผลการชะละลายของ Cr กับมาตรฐานของการประปานครหลวงแสดงอยู่ในรูปที่ 4.32

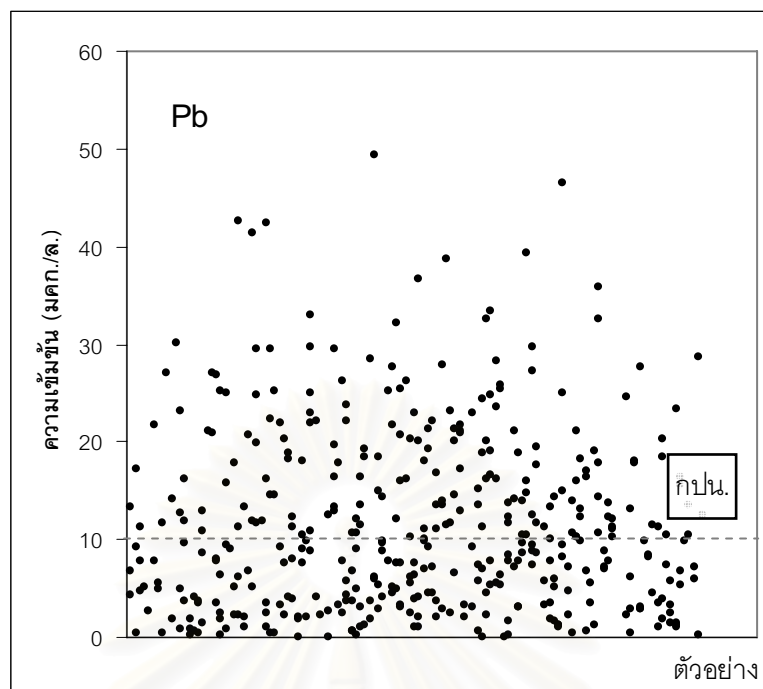
Cu มีมาตรฐานน้ำดื่มให้ไว้โดยการประปานครหลวงอยู่ที่ 2,000 มก./ล. จากการทดสอบพบว่า Cu แทบไม่ปรากฏการชะละลาย โดยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 24.724 มก./ล. มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม เช่นเดียวกับ Cu การชะละลายของ Fe เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 86.798 มก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ของการประปา นครหลวง ที่ 300 มก./ล.



รูปที่ 4.33 ภาพรวมการชะละลายของ Mn เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

มาตรฐานของการประปานครหลวงสำหรับ Mn นั้นอยู่ที่ 400 มก./ล. แต่จากการทดสอบการชะละลายพบว่าความเข้มข้นสูงสุดของ Mn ที่ชะละลายออกมาอยู่ที่ 399.820 มก./ล. ซึ่งยังไม่เกินมาตรฐาน โดยความเข้มข้นของ Mn ส่วนมากมาจาก สารชะละลายที่เป็นน้ำปราศจากไฮดรอน และฝนกรดสังเคราะห์ชนิดปิดฝาทดสอบ และมีความเข้มข้นลดลงเมื่อมีค่า L/S Ratio เพิ่มขึ้น และการชะละลายที่มีความเข้มข้นสูงส่วนใหญ่ออกมาในช่วงต้นถึงช่วงกลางของการทดสอบ (2.25-16 วัน)

WHO กำหนดมาตรฐานสำหรับ Ni ไว้ที่ 20 มก./ล. ซึ่งจากผลการทดสอบการชะละลายไม่ปรากฏความเข้มข้นที่เกินมาตรฐานโดยความเข้มข้นสูงสุดของ Ni อยู่ที่ 16.177 มก./ล. มาจากตัวอย่างซีเมนต์เฟสที่วันที่ 16 มกราคม 2548



รูปที่ 4.34 ภาพรวมการชะละลายของ Pb เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

การชะละลายของ Pb มีกระจายตัวสูงโดยความเข้มข้นที่มีค่าเกินมาตรฐานปรากฏให้เห็นตลอดช่วงของการทดสอบ (199 ตัวอย่าง) ซึ่งการประปานครหลวง กำหนดไว้ที่ 10 มก./ล. โดยความเข้มข้นสูงสุดที่พบเท่ากับ 49.429 มก./ล.

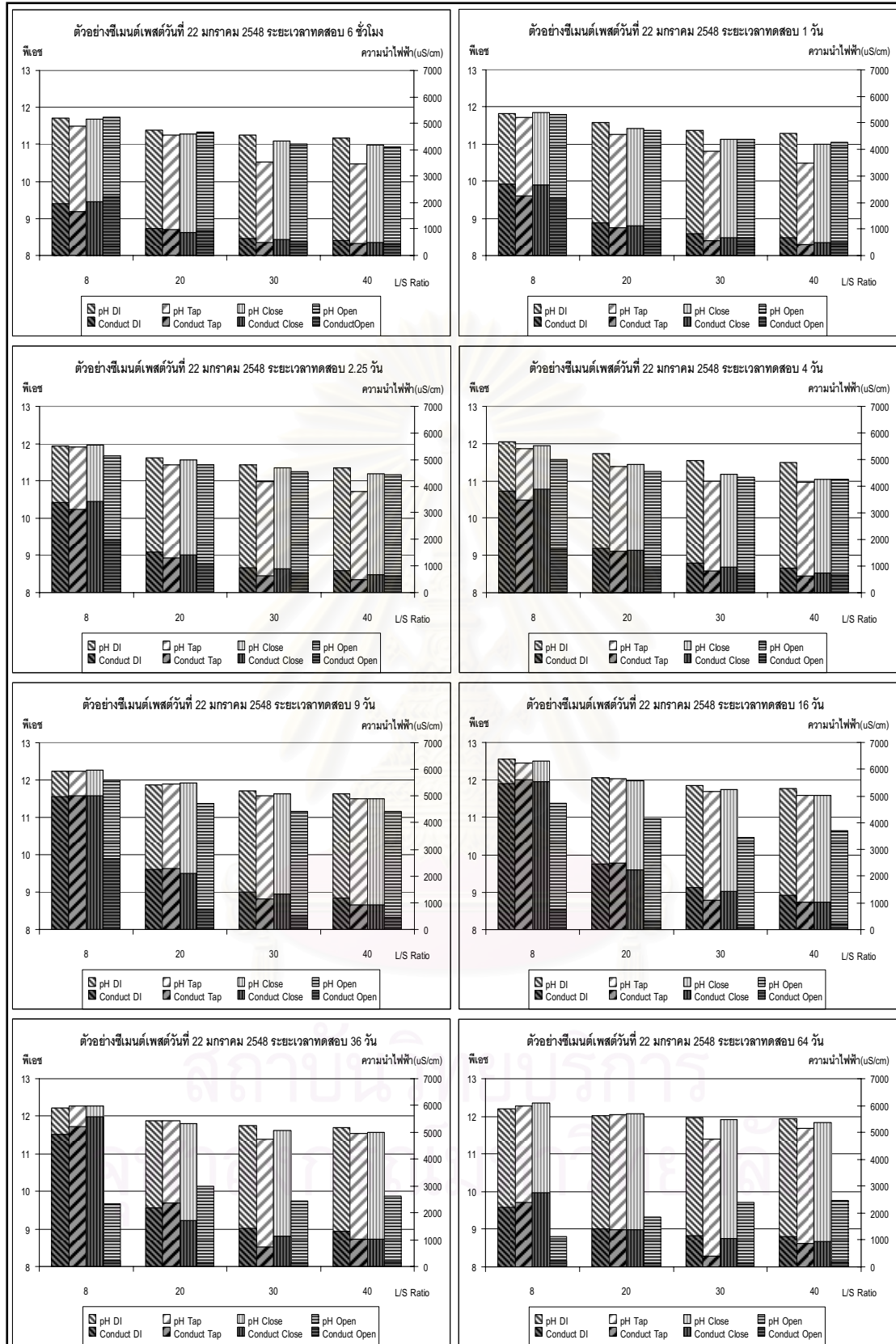
สำหรับ V และ Sr นั้น ไม่ปรากฏมาตรฐานสำหรับน้ำดื่ม โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ Sr อยู่ที่ 0.456 มก./ล. และความเข้มข้นสูงสุดที่ 2.292 มก./ล. จากการทดสอบด้วยน้ำประปาที่ค่า L/S Ratio ต่ำ(8) ช่วงเวลาการทดสอบที่ 6 (16วัน) ส่วน V มีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ 2.688 มก./ล. และมีความเข้มข้นสูงสุด 100.320 มก./ล. จากทดสอบการชะละลายด้วยฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝาทดสอบที่เวลาการทดสอบช่วงที่ 7 (36วัน) ค่า L/S Ratio ต่ำ (8) โดยความเข้มข้นสูงสุดของทั้ง Sr และ V มาจากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ทั้งสิ้น

มาตรฐานน้ำดื่มสำหรับ Zn นั้นการประปานครหลวงได้กำหนดไว้ที่ 3,000 มก./ล. ซึ่งจากการทดสอบพบว่าไม่ปรากฏความเข้มข้นของ Zn ที่เกินมาตรฐาน โดยความเข้มข้นสูงสุดที่พบคือ 1,261.700 มก./ล. จากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ระยะเวลาการทดสอบ 9 วันในสารละลายที่เป็นน้ำปราศจากไอออน ค่า L/S Ratio เท่ากับ 8

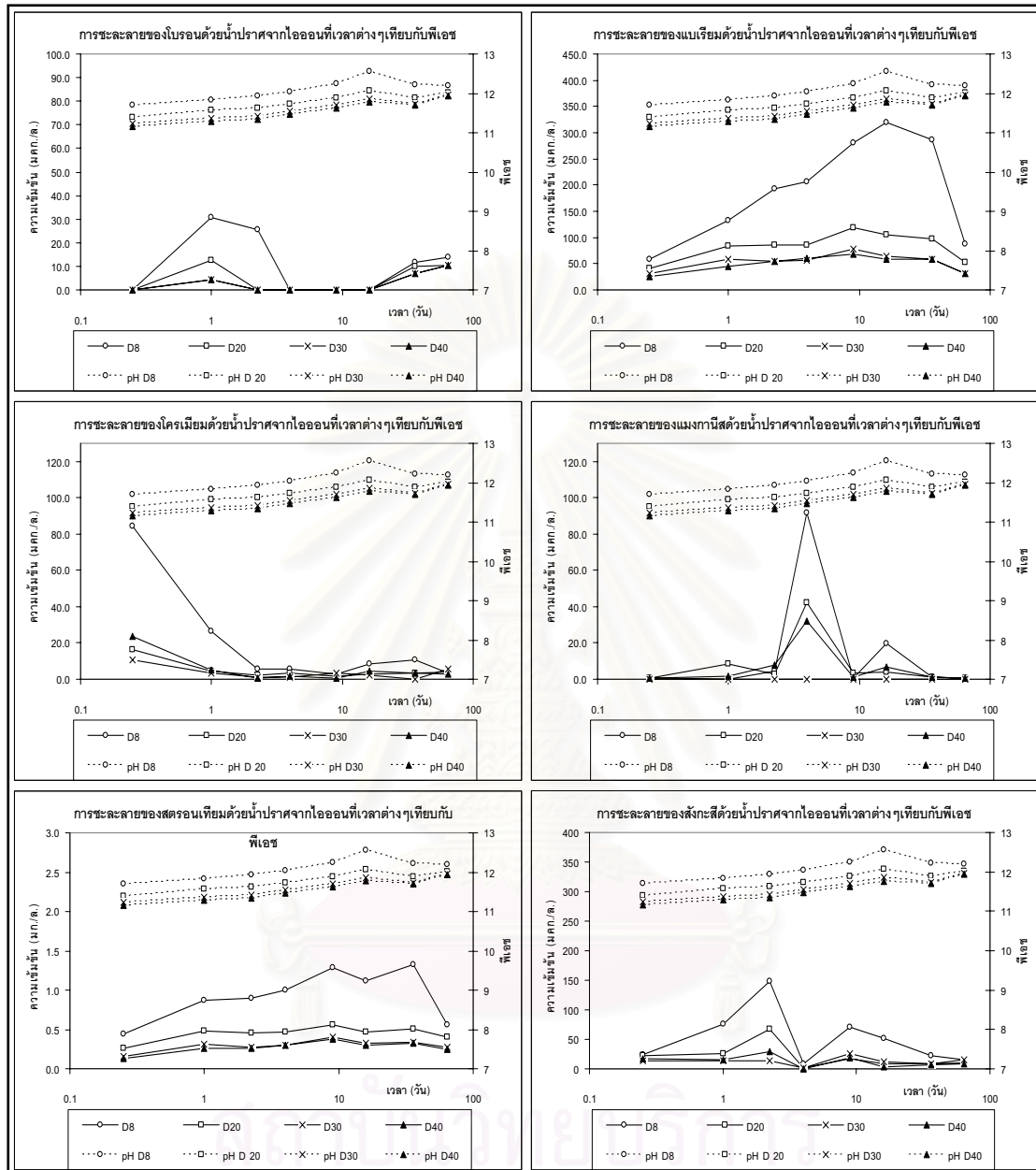
4.2.4 การชะละลายกับอัตราส่วนสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัส

อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาตรของสารชะละลาย (L/S Ratio) มีผลต่อการชะละลายในแง่ของความสามารถในการเจือจาง จากรูปที่ 4.35 แสดงความแตกต่างของพีเอชและความนำไฟฟ้าของการทดสอบของซีเมนต์เพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 จะเห็นได้ว่าพีเอช (สีอ่อน) ของสารชะละลายที่ L/S 8 มีค่าสูงกว่า L/S ค่าอื่นๆ ที่สารชะละลายและเวลาเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วพีเอชของ L/S 8 มีค่ามากกว่า L/S 20 อยู่มาก และ L/S 20 มีค่ามากกว่า L/S 30 อยู่พอสมควร แต่ที่ L/S 30 มีพีเอชใกล้เคียงกับที่ L/S 40 โดยจะเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อดูจากความนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่ L/S 8 มีค่าความนำไฟฟ้า (สีเข้ม) สูงกว่า L/S อื่นๆ ทั่วๆ ไปอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีปริมาตรของสารชะละลายน้อยจึงมีความเข้มข้นของไอออนละลายในสารชะละลายสูงกว่าที่ L/S อื่นๆ โดยความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามเวลาในการทดสอบสูงสุดในช่วงการทดสอบที่ 16 -36 วัน และลดต่ำลงในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ รูปที่ 4.36 แสดงความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดของความเข้มข้นของ B Ba Cr Mn Sr และ Zn ที่ชะละลายในช่วงการทดสอบที่ L/S ต่างๆ โดยที่ L/S 8 เกิดการชะละลายออกมาอย่างมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ L/S อื่นๆ ซึ่งจากผลของความเข้มข้นที่ L/S ต่างกันแสดงถึงการละลายที่ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว นอกจากนี้เนื่องจากการทดสอบการชะละลายไม่มีการกวนเขย่าจึงมีการสะสมความเข้มข้นโลหะหนักบริเวณที่เกิดการชะละลายซึ่ง จากรูปที่ 4.37 (ซ้าย) แสดงภาพการสะสมความเข้มข้นของ Mn ที่บริเวณการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนของซีเมนต์เพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงการทดสอบที่ 5 (9 วัน ระยะเวลาทดสอบรวม 16.5 วัน) (ขวา) แสดงภาพการสะสมความเข้มข้นของ Mn ที่บริเวณการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนของซีเมนต์เพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ช่วงการทดสอบที่ 6 (16วัน ระยะเวลาทดสอบรวม 32.5 วัน) ซึ่งเป็นผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ L/S 8 มีค่าสูงกว่า L/S อื่นๆ มาก รูปที่ 4.38 แสดงความนำไฟฟ้าของตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 และ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งยืนยันความแตกต่างของความนำไฟฟ้าที่ L/S ต่างๆ

สำหรับการใช้งานจริง โดยทั่วไปแล้วภาชนะบรรจุน้ำที่ทำจากซีเมนต์จะมีค่า L/S Ratio เมื่อบรรจุน้ำเต็มอยู่ที่ประมาณ 30 – 40 เซนติเมตร ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมานั้นมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ปริมาณโลหะหนักในน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาตรน้ำในภาชนะลดลงจนมีค่า L/S Ratio ต่ำ ๆ



รูปที่ 4.35 พีเอชและความนำไฟฟ้าที่ L/S Ratioต่างกัน ของซีเมนต์เพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548
หมายเหตุ: พีเอชเป็นแกนสีอ่อนดูแกนซ้าย และความนำไฟฟ้าเป็นแกนสีเข้มดูแกนขวา



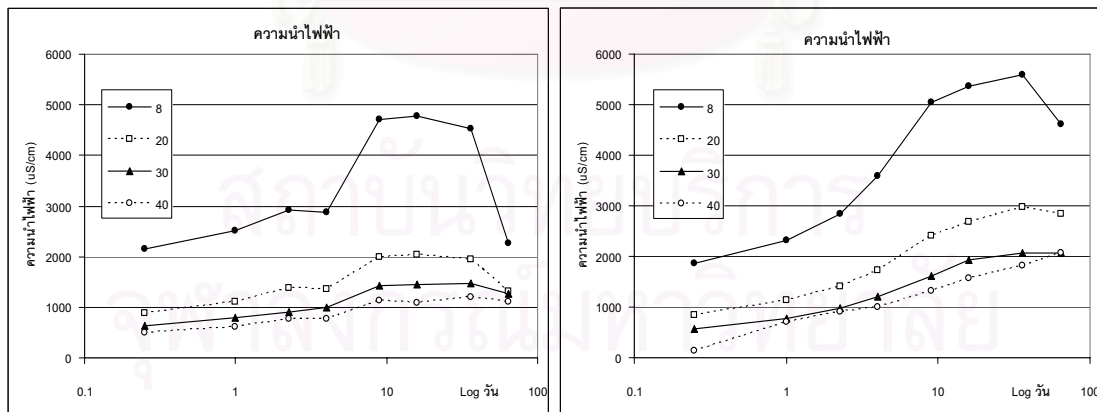
รูปที่ 4.36 L/S Ratio กับการชะละลายของโลหะชนิดต่างๆจากซีเมนต์เฟสค์วันที่ 22 มกราคม 2548

หมายเหตุ : กราฟเส้นเต็มเป็นกราฟแสดงความเข้มข้นดูแกนซ้าย

กราฟเส้นประเป็นกราฟพีเอชดูแกนขวา



รูปที่ 4.37 การสะสมความเข้มข้นของ Mn ที่บริเวณการทดสอบการชะละลายของตัวอย่างวันที่ (ซ้าย) 22 ตุลาคม 2547 และ (ขวา) 7 กุมภาพันธ์ 2548

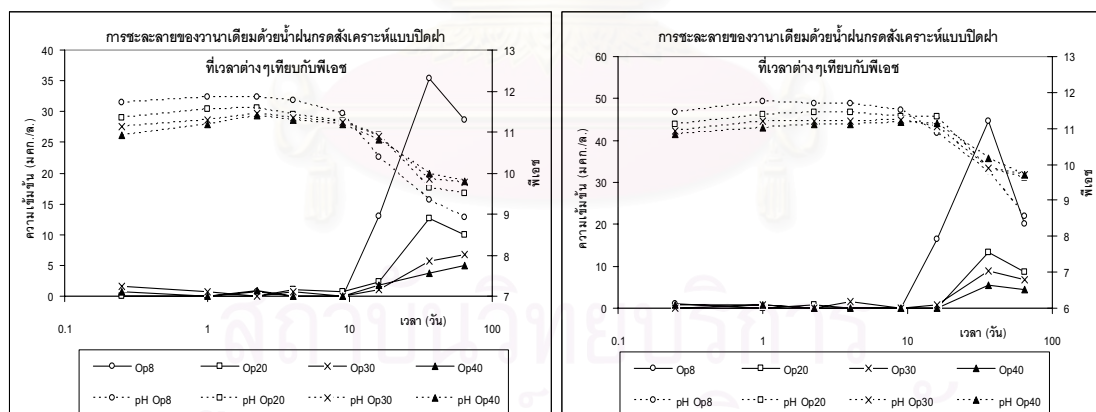


รูปที่ 4.38 ความนำไฟฟ้าที่ L/S ต่างๆของ (ซ้าย) 22 ตุลาคม 2547 และ (ขวา) 7 กุมภาพันธ์ 2548

4.2.5 ผลของพีเอชกับการชะละลาย

การละลายของ $\text{Ca(OH)}_{2(s)}$ จากซีเมนต์โพสท์เป็นตัวควบคุมพีเอชของสารชะละลาย ภายหลังการทดสอบซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 9.81 – 12.83 (โดยไม่นับรวมผลของการชะละลายแบบเปิดฝาชึ่งมีผลทำให้พีเอชของระบบลดลง) รูปที่ 4.40 แสดงภาพรวมของพีเอชตลอดการทดสอบ การชะละลายของธาตุต่างๆ ประกอบไปด้วย (ก.) Ba (ข.) Ca (ค.) Cd (ง.) Cr (จ.) Sr และ (ฉ.) V จากรูปจะเห็นได้ว่าการชะละลายที่เพิ่มขึ้นของ Ca ซึ่งส่งผลให้พีเอชของระบบเพิ่มขึ้นมีผลต่อความสามารถในการชะละลายของ Ba และ Sr (เพิ่มขึ้น) ตรงกันข้ามกับการชะละลายของ V ในระบบเปิดซึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อพีเอชของระบบลดลงโดยแสดงอยู่ในรูปที่ 4.39 ส่วน Cd นั้นผลการทดสอบที่ได้ยังไม่ปรากฏรูปแบบการชะละลายที่ชัดเจน รวมไปถึงการชะละลายของ Cr ซึ่งมีความเข้มข้นสูงขึ้นที่พีเอชประมาณ 11 – 12

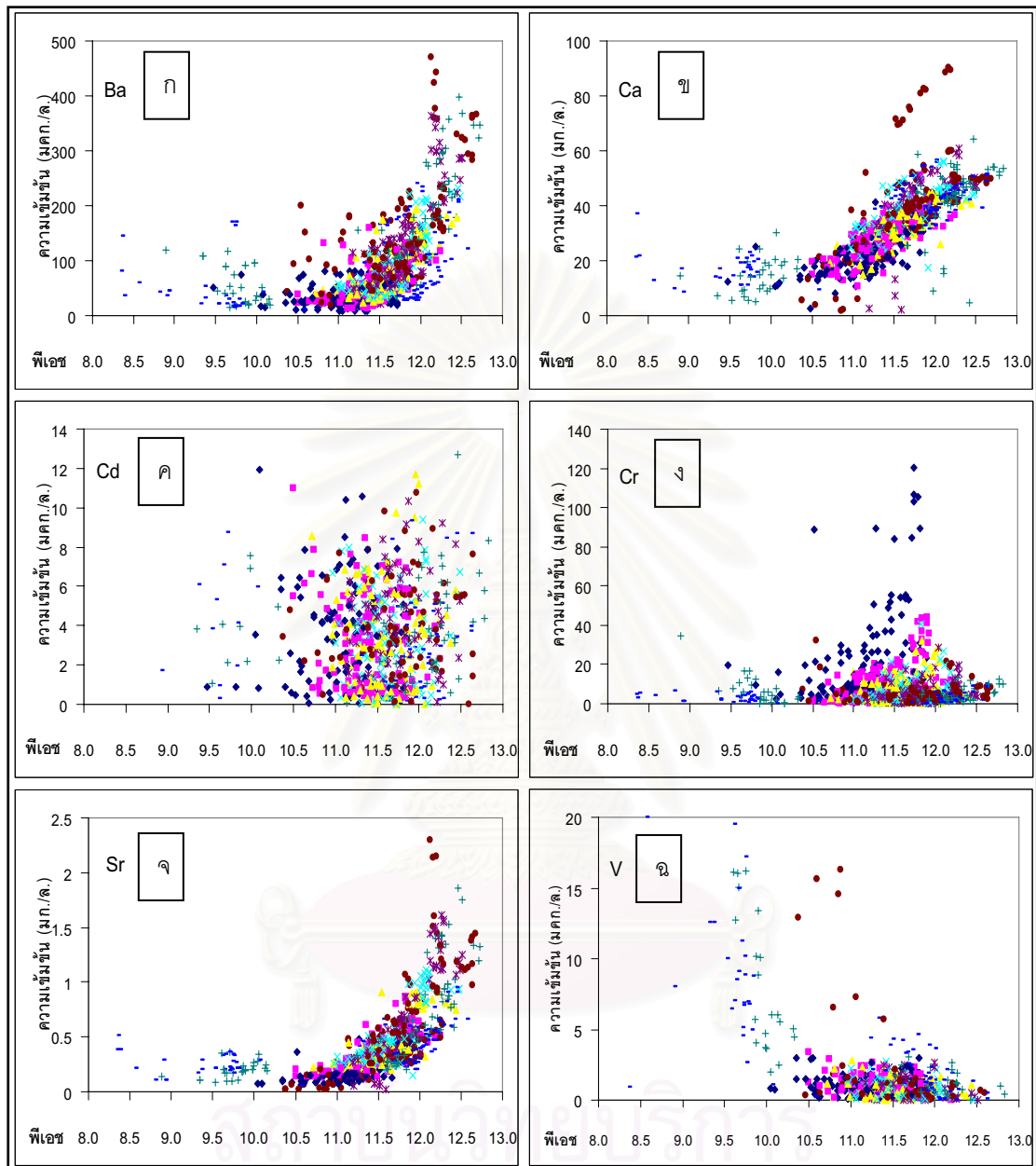
สำหรับธาตุที่ไม่ชะละลายออกมา Qiao และคณะ (2006) ได้อธิบายการสะสมตัวของ Cu Pb และ Zn ใกล้ผิวหน้าของการชะละลายว่าเนื่องจากความแตกต่างของพีเอชในรูปพรุน (พีเอชมากกว่า 12) เป็นผลให้โลหะเหล่านี้เกิดการเคลื่อนย้ายจากแก่นของก้อนทดสอบสู่บริเวณที่อยู่ใกล้กับผิวหน้าที่สัมผัสกับสารชะละลายซึ่งพีเอชในบริเวณนี้ลดลงเนื่องจากการชะละลายของ $\text{Ca(OH)}_{2(s)}$ โลหะเกิดการตกตะกอนซึ่งเป็นผลให้เกิดการชะละลายที่ลดลงในอนาคต



รูปที่ 4.39 การชะละลายของ V ในระบบเปิดซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง (ซ้าย) 22 ตุลาคม 2547 (ขวา) 6 มกราคม 2548

หมายเหตุ : กราฟเส้นเติมเป็นกราฟแสดงความเข้มข้นดูแกนซ้าย

กราฟเส้นประเป็นกราฟพีเอชดูแกนขวา

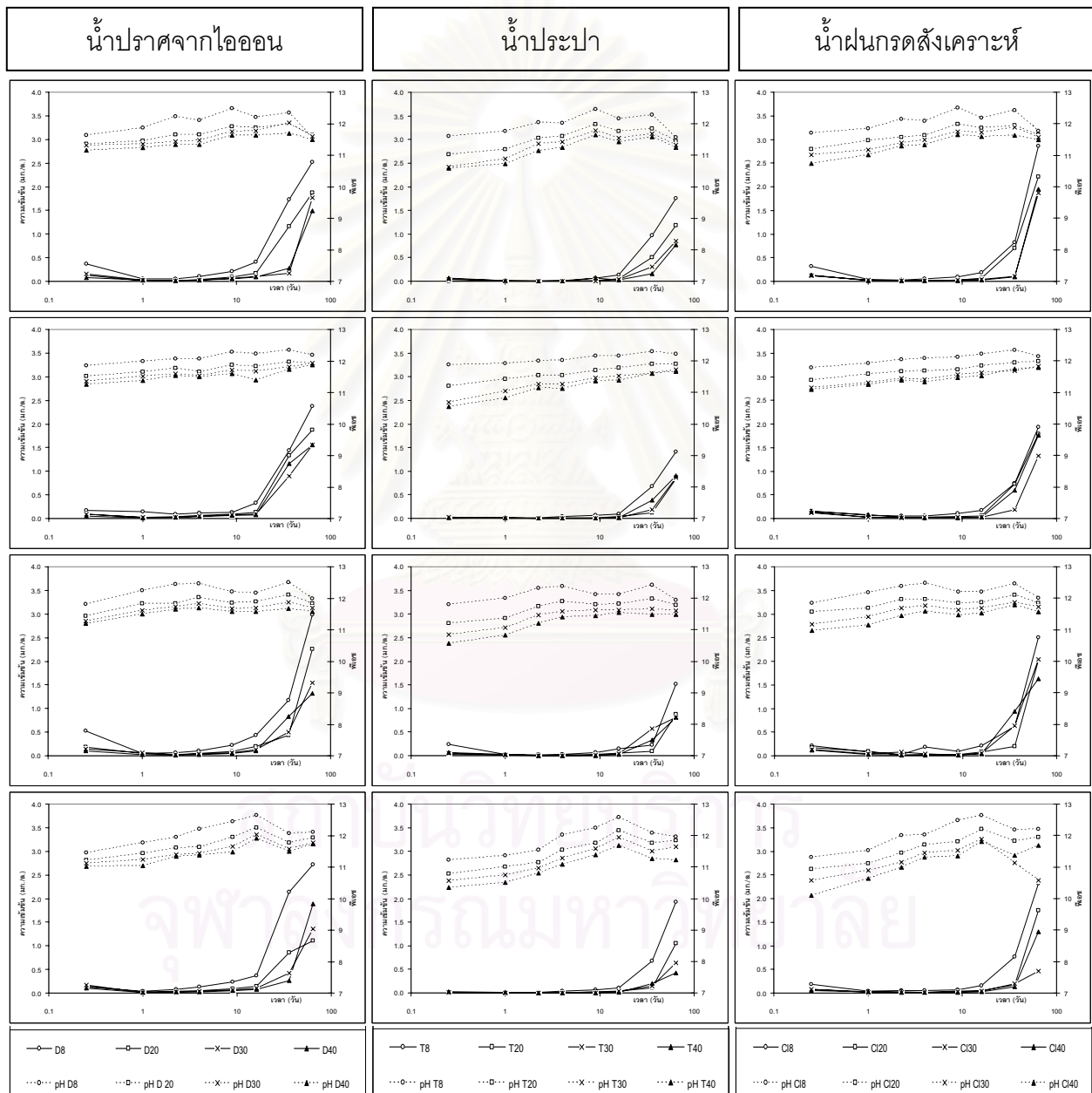


รูปที่ 4.40 ภาพรวมพีเอชจากการทดสอบการชะละลายของธาตุต่างๆ

4.2.6 สารชะละลายกับการชะละลาย

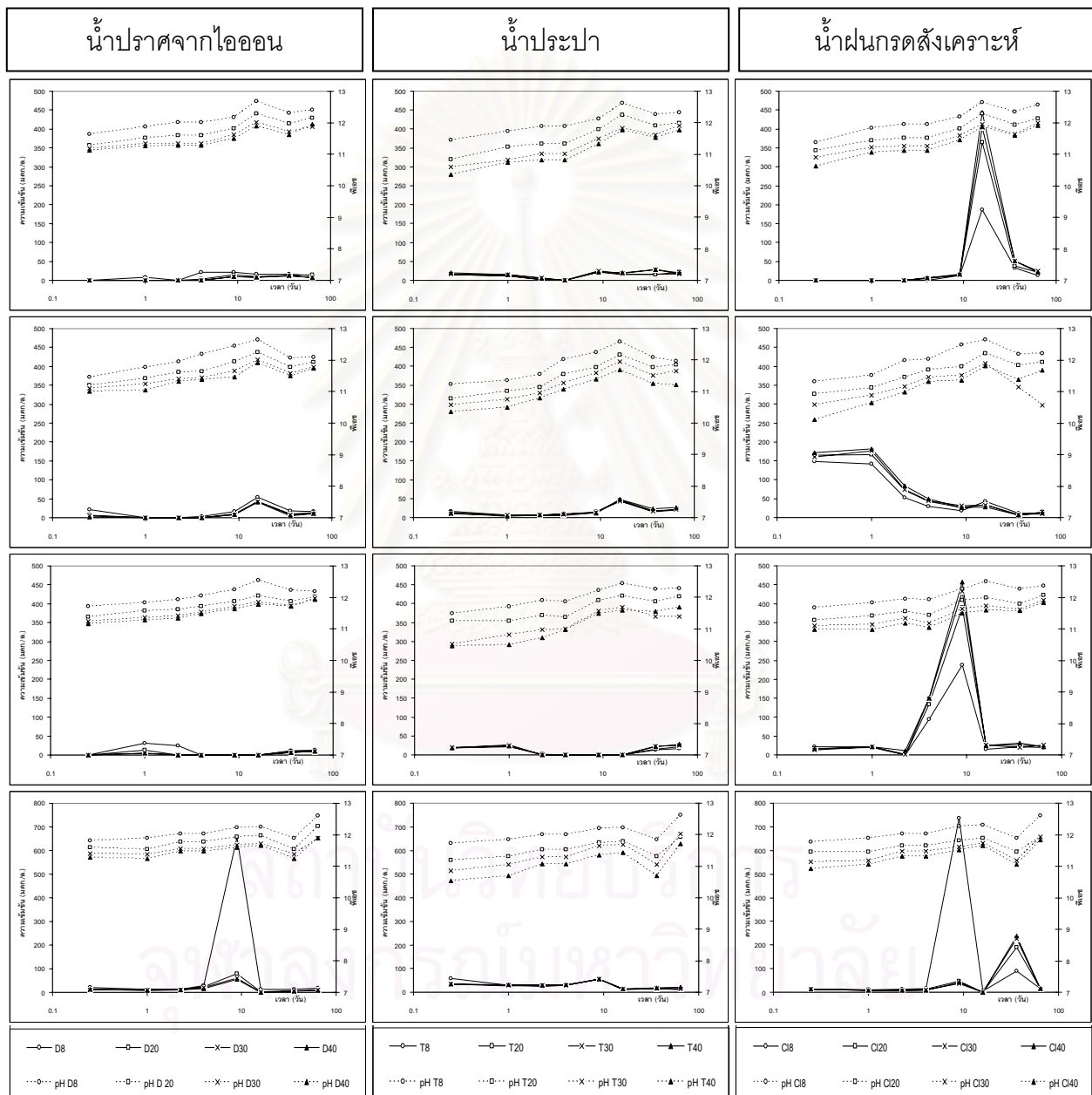
การทดสอบการชะละลายด้วยสารชะละลายต่างชนิดกัน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการชะละลายของโลหะในสารชะละลายชนิดต่างๆ รูปที่ 4.41 แสดงลักษณะการชะละลายของ Al ในสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด โดยคอลัมน์แรก (แนวตั้ง) เป็นน้ำปราศจากไอออน คอลัมน์ที่ 2 เป็น

น้ำประปา และคอลัมน์ที่ 3 เป็นน้ำฝนกรดสังเคราะห์ จากตัวอย่างซีเมนต์โพสต์หลายวันโดยมี
 แถวที่ 1 (แนวนอน) เป็นตัวอย่างวันที่ 20 ตุลาคม 2547 แถวที่ 2 วันที่ 22 ตุลาคม 2547
 แถวที่ 3 วันที่ 26 ตุลาคม 2547 และ แถวที่ 4 วันที่ 16 มกราคม 2548 จากรูปจะเห็นว่าการ
 ชะละลายของ AI ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยการชะละลายใน
 น้ำปราศจากไอออนและน้ำฝนกรดสังเคราะห์แสดงผลที่ใกล้เคียงกัน ส่วนน้ำประปาให้ผลการ
 ชะละลายที่ต่ำกว่าสารละลายทั้ง 2 แต่ก็ไม่มากนัก



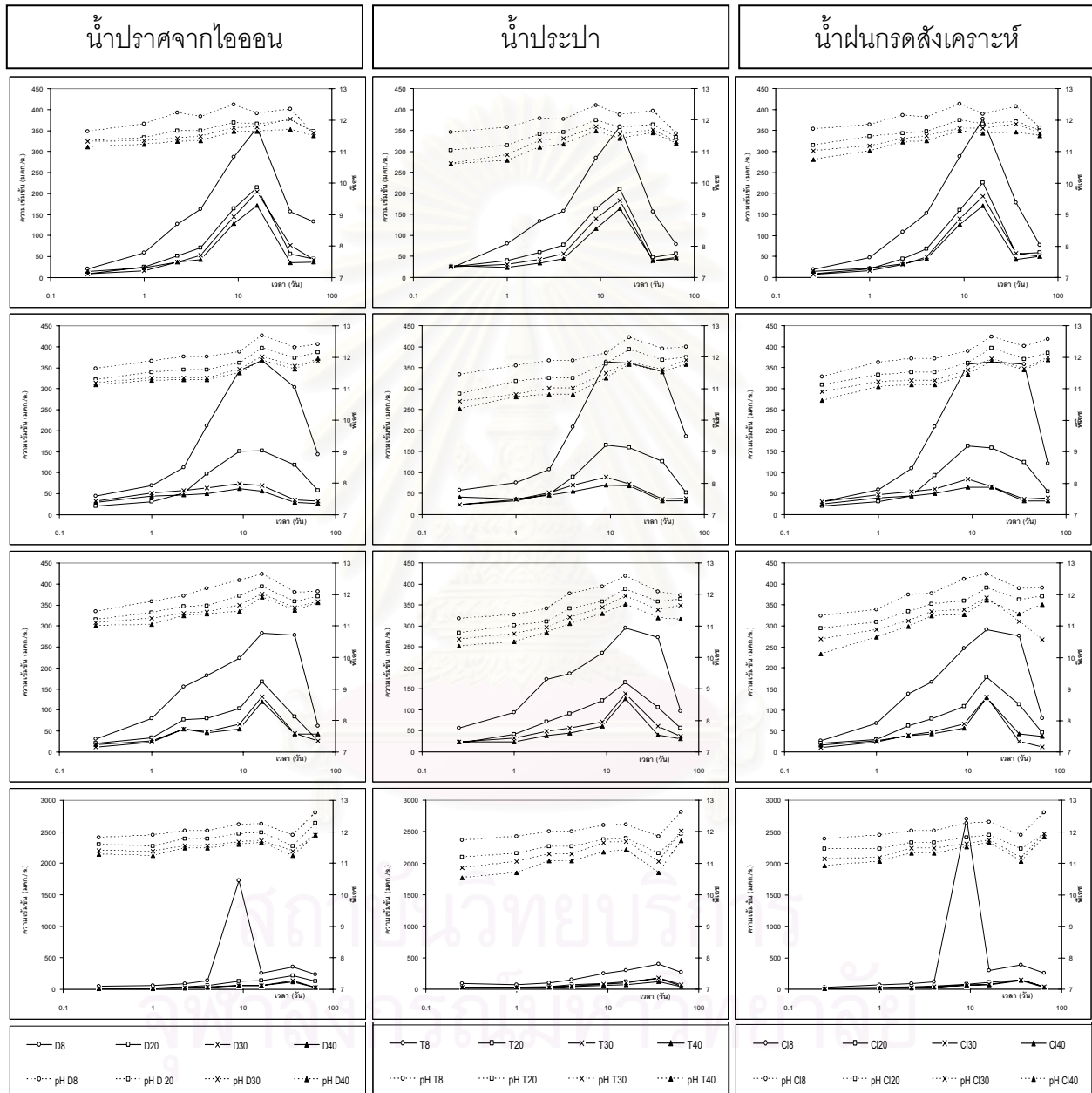
รูปที่ 4.41 การชะละลายของ AI ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

รูปที่ 4.42 แสดงการชะละลายของ B ในสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด โดยแถวที่ 1 เป็นตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 แถวที่ 2 วันที่ 16 มกราคม 2548 แถวที่ 3 วันที่ 22 มกราคม 2548 และแถวที่ 4 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ผลการเปรียบเทียบพบว่าการชะละลายของ B มีความแตกต่างจากการชะละลายของ AI โดยการชะละลายในฝนกรดสังเคราะห์แสดงผลการชะละลายที่มากกว่าสารชะละลายชนิดอื่น



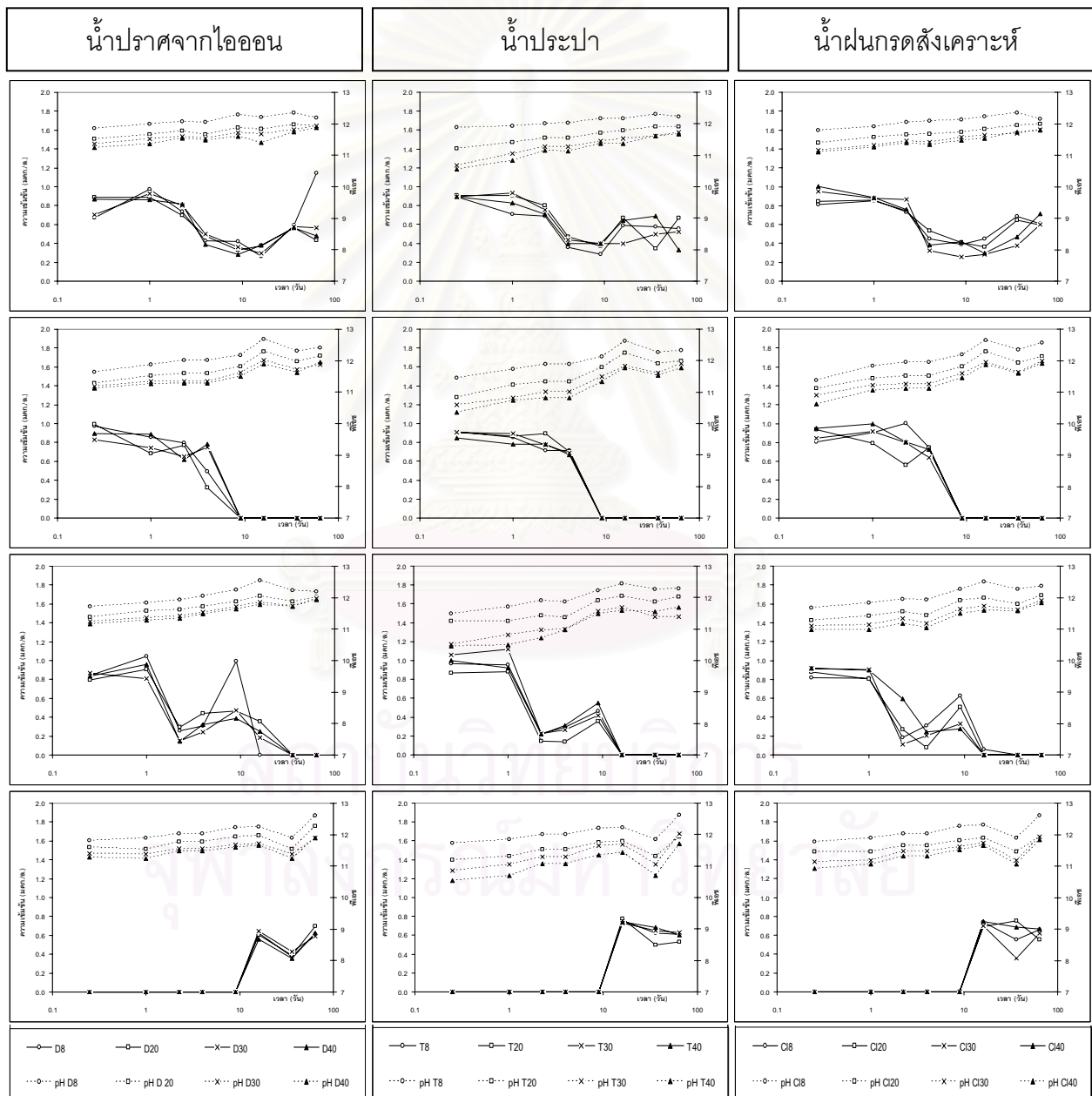
รูปที่ 4.42 การชะละลายของ B ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

การชะละลายของ Ba ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด แสดงอยู่ในรูปที่ 4.43 โดยตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่นำมาแสดงได้แก่ แกวที่ 1 วันที่ 20 ตุลาคม 2547 แกวที่ 2 วันที่ 6 มกราคม 2548 แกวที่ 3 วันที่ 16 มกราคม 2548 และ แกวที่ 4 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นลักษณะการชะละลายที่คล้ายกันในสารละลายชนิดต่างๆ



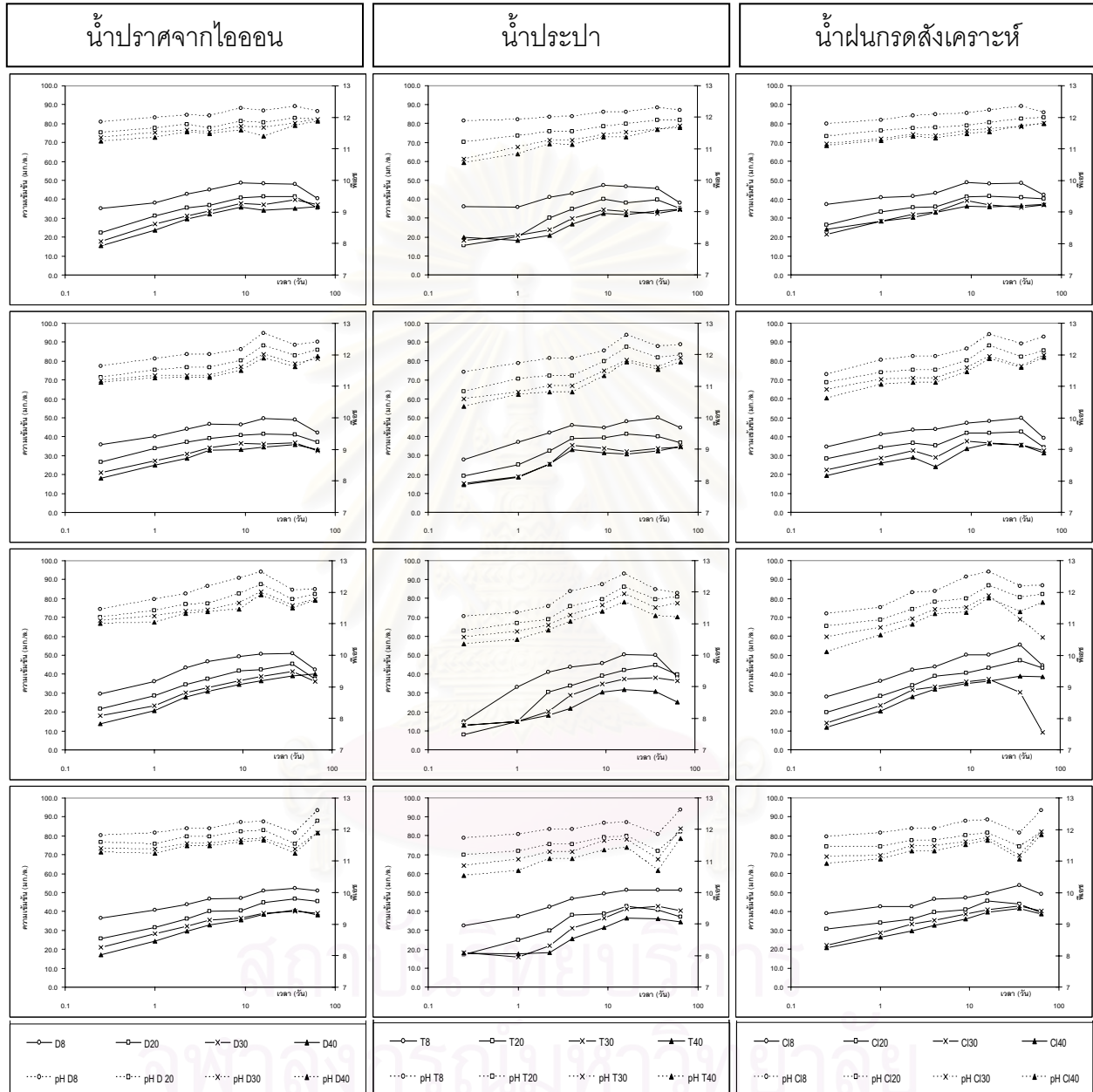
รูปที่ 4.43 การชะละลายของ Ba ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

การชะละลายของ Be ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด แสดงอยู่ในรูปที่ 4.44 โดยตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่นำมาแสดงได้แก่ แกวที่ 1 วันที่ 22 ตุลาคม 2547 แกวที่ 2 วันที่ 6 มกราคม 2548 แกวที่ 3 วันที่ 22 มกราคม 2548 และ แกวที่ 4 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นถึงลักษณะการชะละลายที่คล้ายกันในสารละลายชนิดต่างๆ ถึงแม้ไม่ทราบแน่ชัดเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลให้ Be เกิดการชะละลายออกมาในหลายรูปแบบ แต่จากการทดสอบด้วยสารละลายต่างชนิดกัน Be ยังคงแสดงลักษณะการชะละลายนั้นไว้ได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าชนิดของสารละลายไม่มีผลต่อความสามารถในการชะละลายของ Be



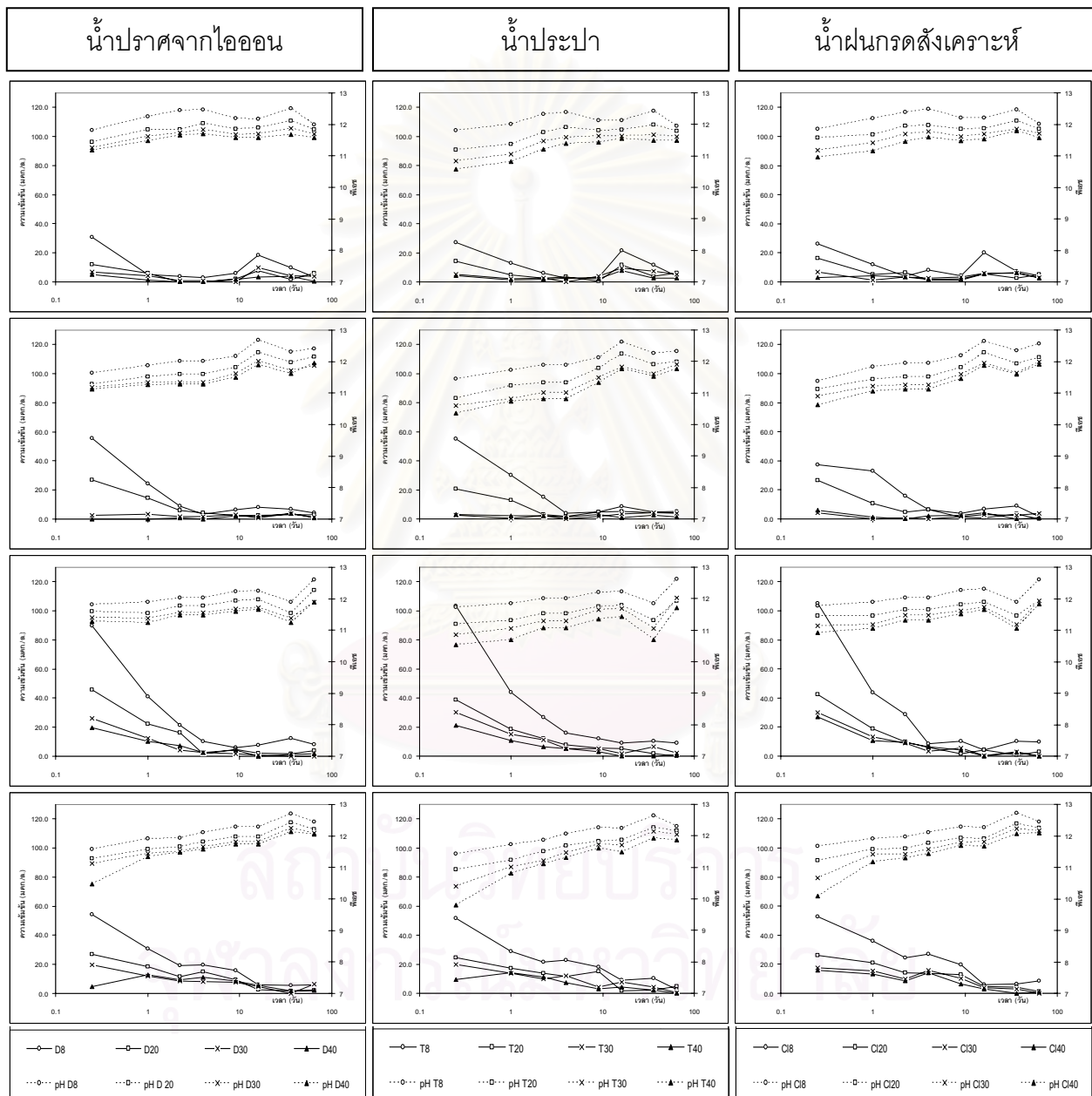
รูปที่ 4.44 การชะละลายของ Be ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

Ca แสดงการชะละลายที่เหมือนกันในสารชะละลายทั้ง 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.45 แกว
ที่ 1 เป็นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 แกวที่ 2 วันที่ 6 มกราคม 2548 แกวที่ 3 วันที่
16 มกราคม 2548 และแกวที่ 4 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548



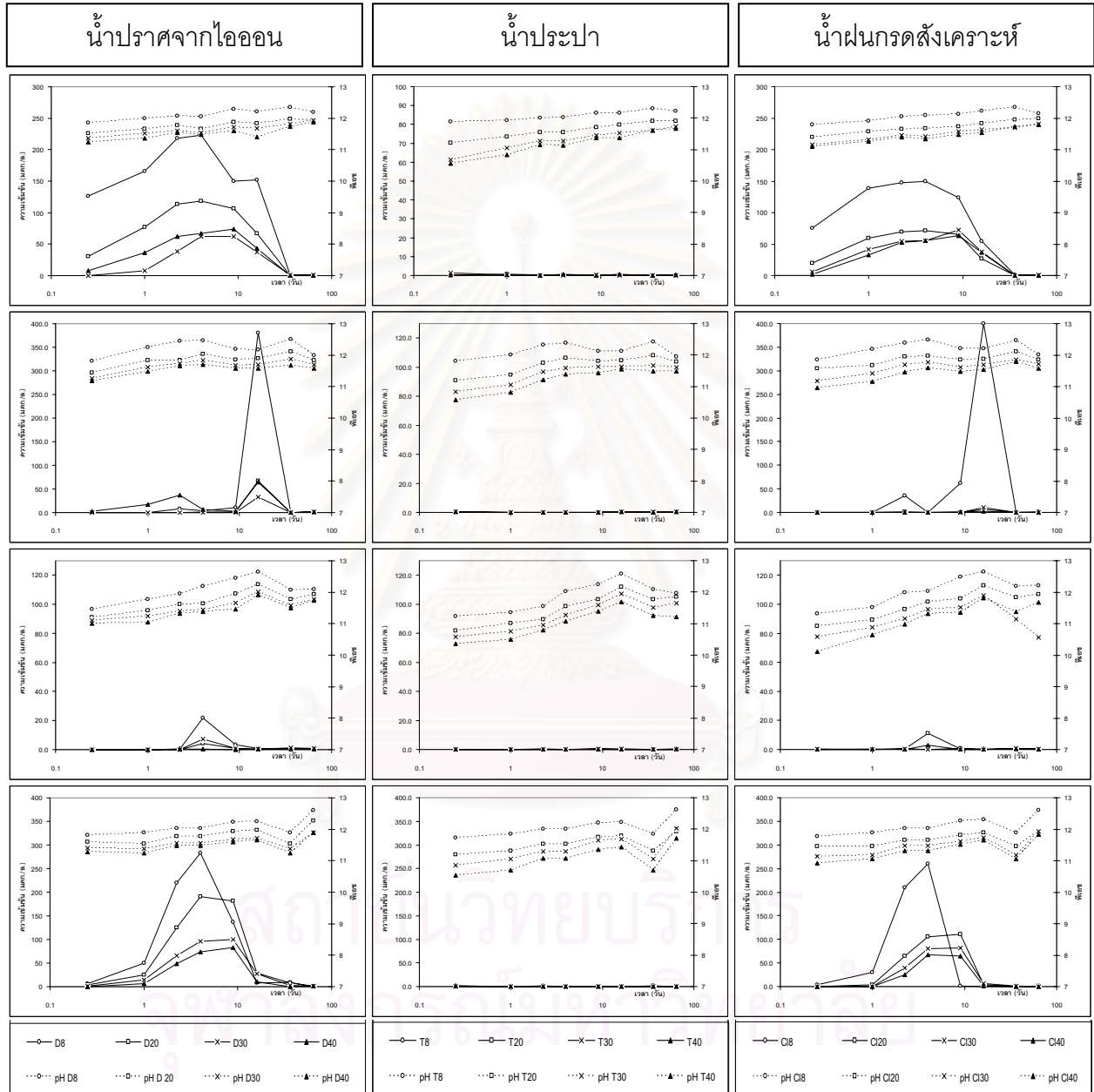
รูปที่ 4.45 การชะละลายของ Ca ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

เช่นเดียวกับ Ca และธาตุอื่นที่กล่าวมาข้างต้น (Al Ba และ Be) Cr แสดงการชะละลายที่มีลักษณะคล้ายกันในสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด ซึ่งการชะละลายจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการทดสอบ ดังแสดงใน รูปที่ 4.46 โดยมีแถวที่ 1 เป็นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 แถวที่ 2 วันที่ 6 มกราคม 2548 แถวที่ 3 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 และ แถวที่ 4 เป็น ตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ตามลำดับ



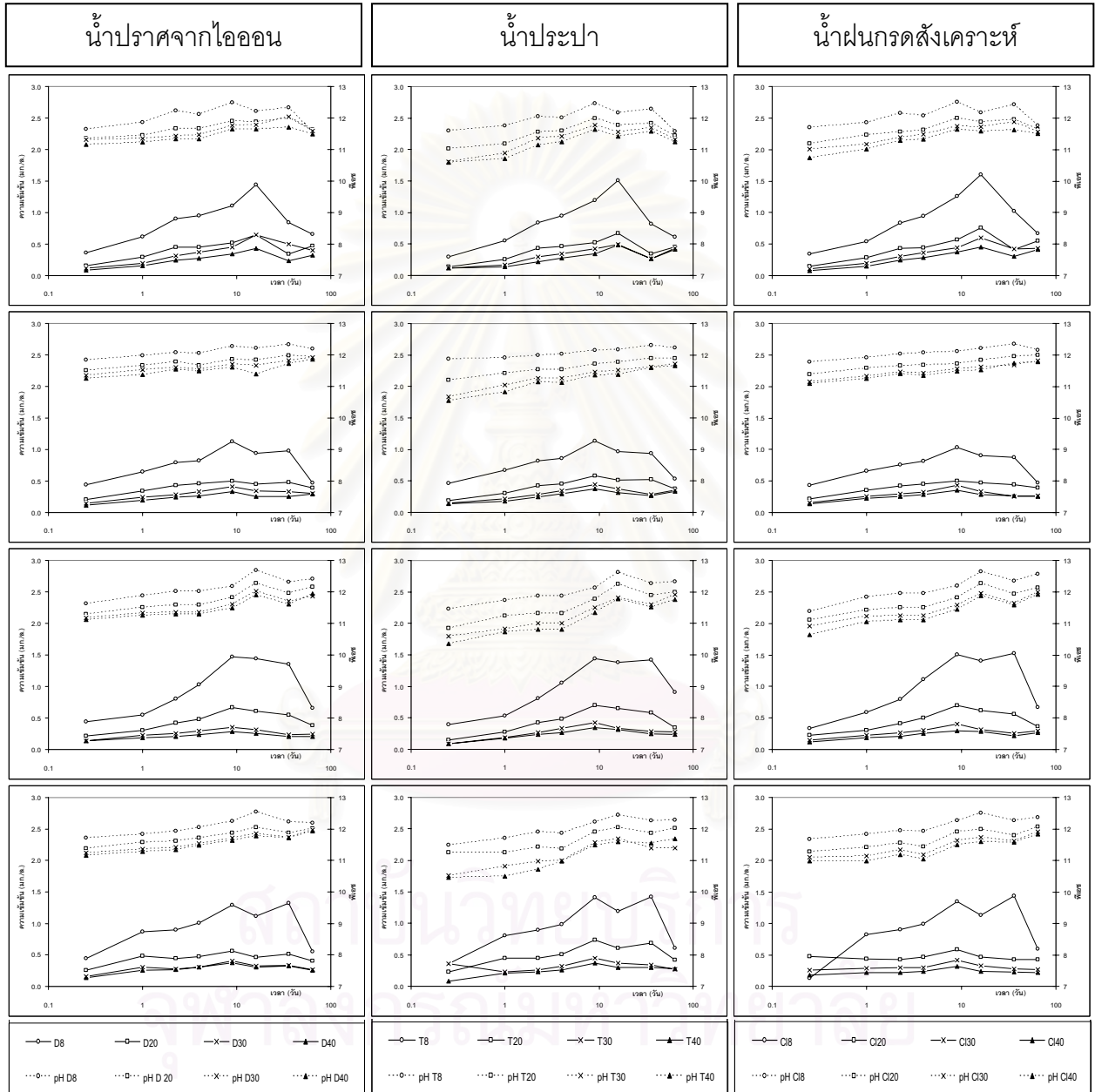
รูปที่ 4.46 การชะละลายของ Cr ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

การชะละลายของ Mn ให้ผลการเปรียบเทียบที่ต่างออกไป เนื่องจากไม่ปรากฏการชะละลายของ Mn ในน้ำประปา ส่วนในสารละลายอีก 2 ชนิดนั้นให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.47 โดยแถวที่ 1 คือตัวอย่างซีเมนต์เฟสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 แถวที่ 2 วันที่ 26 ตุลาคม 2547 แถวที่ 3 วันที่ 16 มกราคม 2548 และแถวที่ 4 วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548



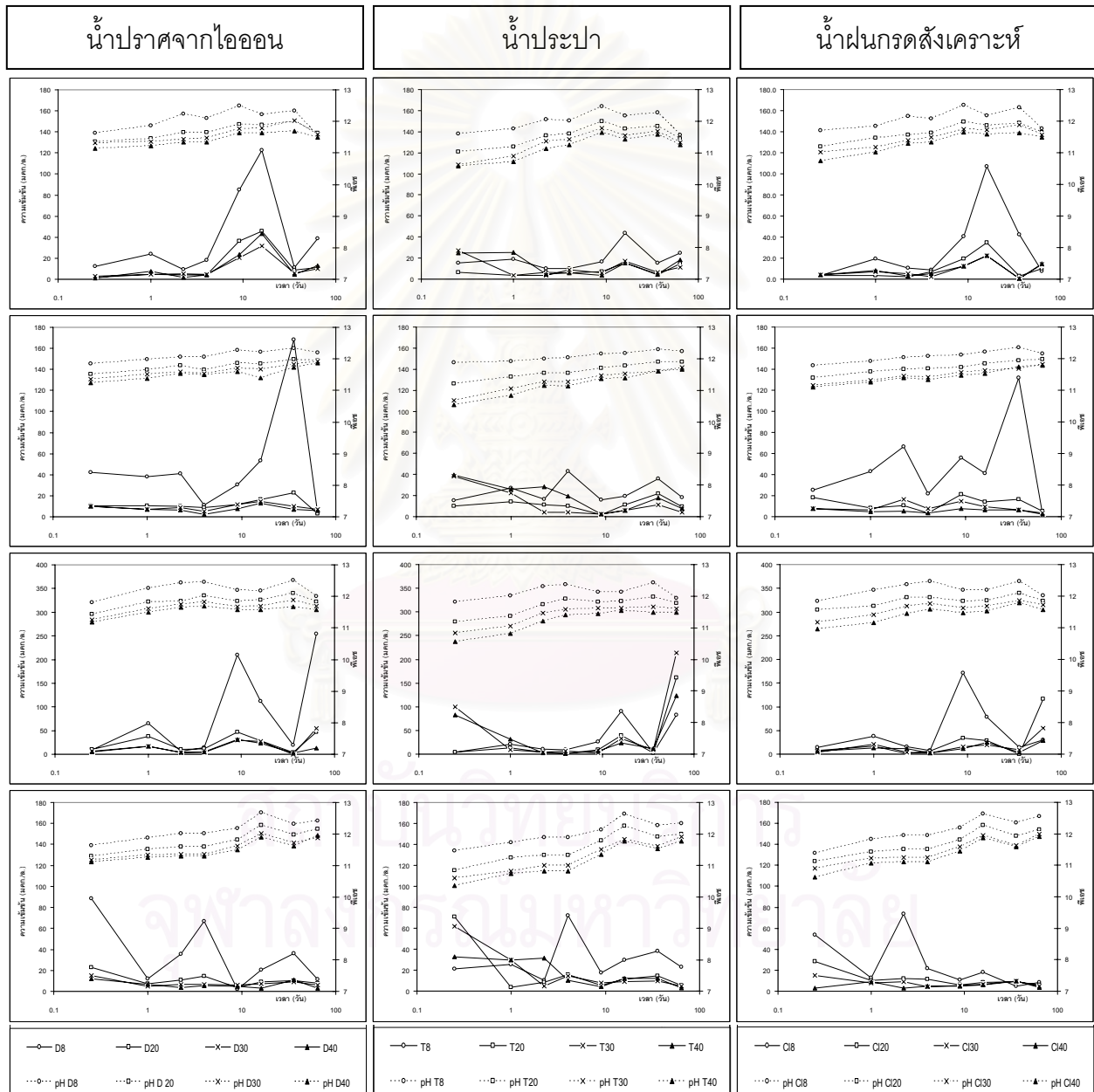
รูปที่ 4.47 การชะละลายของ Mn ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

Sr แสดงผลการเปรียบเทียบที่ไม่แตกต่างกันของสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด โดยการชะละลายเกิดขึ้นในช่วงกลางของการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.48 โดยมีแถวที่ 1 เป็นตัวอย่าง วันที่ 20 ตุลาคม 2547 แถวที่ 2 วันที่ 22 ตุลาคม 2547 แถวที่ 3 วันที่ 6 มกราคม 2548 และ แถวที่ 4 วันที่ 22 มกราคม 2548



รูปที่ 4.48 การชะละลายของ Sr ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

การชะละลายของ Zn แสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบด้วยสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด ในรูปที่ 4.49 โดยแถวที่ 1 คือตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 แถวที่ 2 วันที่ 22 ตุลาคม 2547 แถวที่ 3 วันที่ 26 ตุลาคม 2547 และ แถวที่ 4 วันที่ 6 มกราคม 2548 ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นความคล้ายคลึงของการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนกับฝนกรดสังเคราะห์ โดยการชะละลาย Zn ด้วยน้ำประปาแสดงการชะละลายเพียงเล็กน้อยและดูเหมือนจะแทบไม่มีความแตกต่างกันของความเข้มข้นของ Zn ที่ L/S ต่างกัน



รูปที่ 4.49 การชะละลายของ Zn ในน้ำปราศจากไอออน น้ำประปา และฝนกรดสังเคราะห์

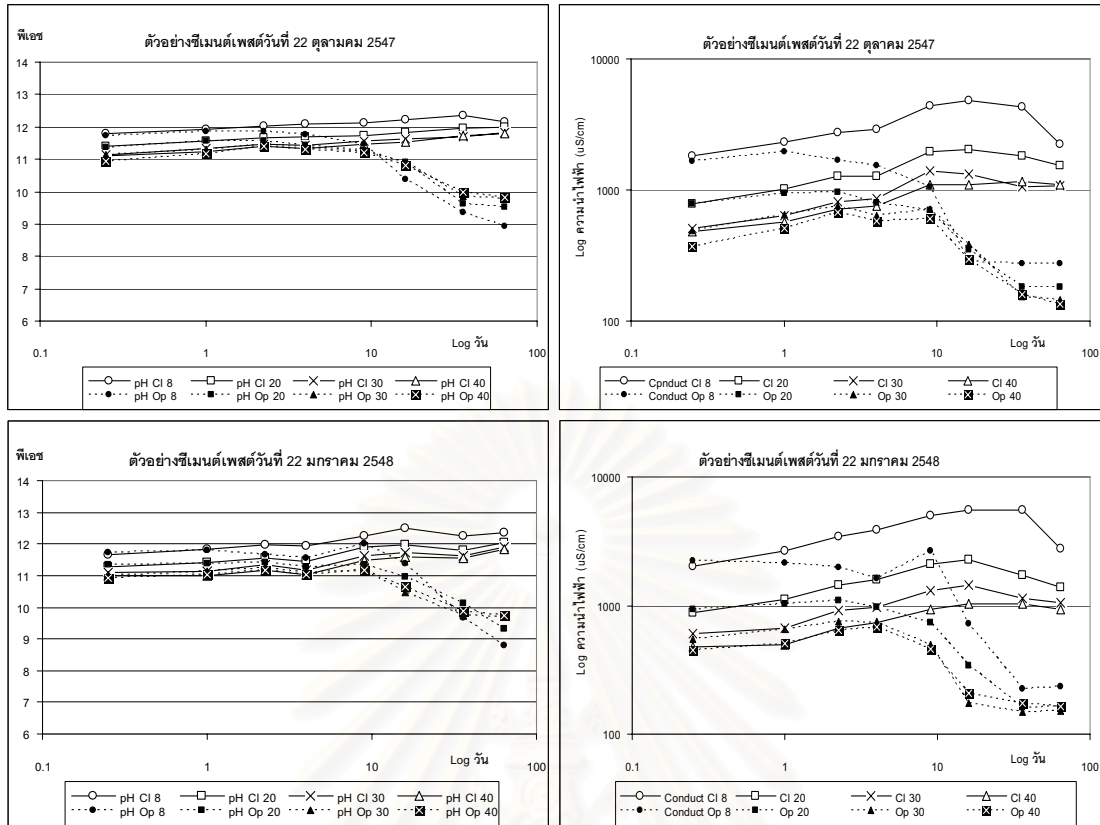
สำหรับ Cd Cu Fe Ni Pb และ V นั้นไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างสารละลายทั้ง 3 ชนิดได้ เนื่องจากผลการทดสอบที่ได้ไม่แสดงแนวโน้มในการละลายที่ชัดเจน หรือการละลายที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก ดังกล่าวในหัวข้อ 4.2.1 (ภาพรวมผลการทดสอบการละลาย)

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบจากสารละลายชนิดต่างๆ พบว่าโลหะส่วนใหญ่แสดงความสามารถในการละลายที่คล้ายกันในสารละลายทั้ง 3 ประเภท ทั้งนี้มีโลหะอยู่ 2 ชนิดที่แสดงลักษณะการละลายที่แตกต่างออกไป คือ Mn เมื่อทดสอบด้วยน้ำประปา (น้อยลง) และ B เมื่อทดสอบด้วยฝนกรดสังเคราะห์ (สูงขึ้นเป็น peak)

4.2.7 การเกิดคาร์บอนเนชันกับการละลาย

การเปรียบเทียบการละลายด้วยฝนกรดสังเคราะห์ชนิดปิดฝาและชนิดเปิดฝาทดสอบเพื่อศึกษาผลของการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation) โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมี $\text{CO}_{2(g)}$ ละลายลงสู่ระบบเป็น $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$ แล้วรวมตัวกับ $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ ในสารละลายที่พีเอชสูงกลายเป็น $\text{CaCO}_{3(s)}$ มีผลทำให้พีเอชของระบบมีค่าลดลงเนื่องจากมี $\text{H}_3\text{O}^{+}_{(aq)}$ เกิดขึ้น รูปที่ 4.50 แสดงความแตกต่างของพีเอช และความนำไฟฟ้าระหว่างการทดสอบแบบเปิดฝาและปิดฝาของสารละลายที่เป็นฝนกรดสังเคราะห์ ของตัวอย่างซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 และตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าการทดสอบชนิดปิดฝาทดสอบจะให้พีเอชสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 12 ส่วนการทดสอบแบบเปิดฝามีพีเอชสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 9-10 (โดยมีบัฟเฟอร์ของ $\text{HCO}_3^{-}_{(aq)}$ ช่วยรักษาระดับพีเอชไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนักอยู่ที่ 6.3-10.3 (Benjamin, 2002)) ซึ่งในความแตกต่างของพีเอชนี้อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความสามารถในการละลายของโลหะหนักชนิดต่างๆ ทั้งมีความสามารถเพิ่มขึ้นและลดต่ำลงตามธรรมชาติของสารประเภทนั้น ดังได้แสดงผลของพีเอชกับการละลายของ V มาแล้วในข้างต้น

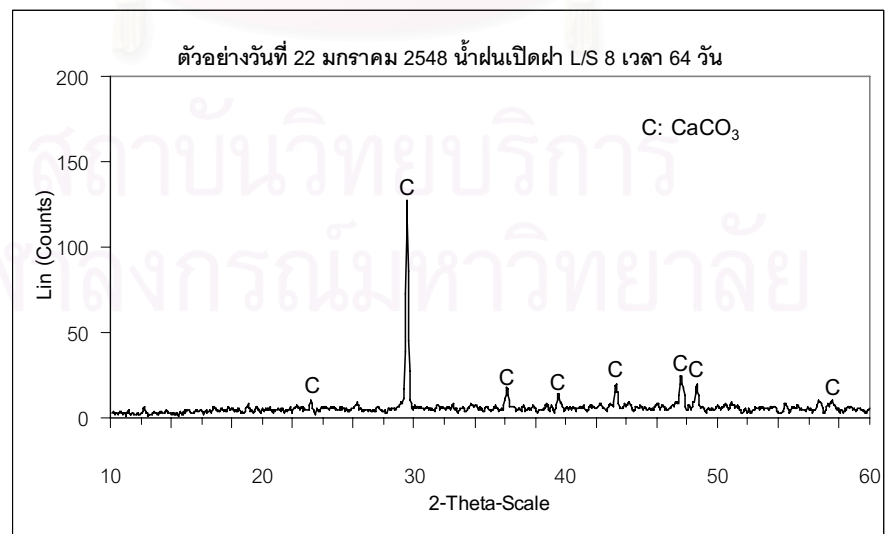
นอกจากการเปลี่ยนแปลงของ พีเอชที่เกิดขึ้นแล้ว การเกิดคาร์บอนเนชันยังส่งผลให้ไอออนละลายน้ำมีปริมาณลดลงอย่างมากโดยดูได้จากความนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปของฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝาทดสอบ รูปที่ 4.51 แสดงผลการวิเคราะห์ซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ซึ่งผ่านการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน ที่ L/S เท่ากับ 8 ช่วงเวลาการทดสอบ 64 วัน ด้วยเครื่อง XRD พบว่าเกิดตะกอนหินปูนในปริมาณมากซึ่งตะกอนนี้อยู่บนผิวหน้าของก้อนทดสอบ (สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน) สำหรับ peak ของหินปูนนั้นจะขึ้นที่ 23.1° 29.5° 36° 39.5° 43.3° 47.9° 48.5° และที่ 57.5°



รูปที่ 4.50 ความแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบเปิดฝาและปิดฝาของตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 (บน) และตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 (ล่าง)

หมายเหตุ: คอลัมน์ซ้าย พีเอช - คอลัมน์ขวา ความนำไฟฟ้า

: เส้นที่ระบบปิด - เส้นที่ระบบเปิด



รูปที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์ซีเมนต์เฟสที่ผ่านการชะละลายด้วยฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา

4.2.8 กลไกการชะละลาย

4.2.8.1 ความแตกต่างระหว่างการทดสอบตามมาตรฐานการชะละลายของ EA NEN 7375 และการทดสอบในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักจากโครงสร้างบรรจุน้ำดื่มซึ่งทำจากซีเมนต์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ ประเด็นหลักของการวิจัยอยู่ที่การศึกษาสภาพการใช้งานจริงโดยอาศัยการประยุกต์การทดสอบของ EA NEN 7375 เข้าช่วย ดังนั้นจึงมีความแตกต่างกันระหว่างการทดสอบตามมาตรฐานและการทดสอบในงานวิจัยนี้ อาทิ ปริมาตรของสารชะละลายในงานวิจัย มีค่าตั้งแต่ 0.23 0.57 0.85 และ 1.13 ลิตร ตามลำดับ ซึ่งตามข้อกำหนดให้ใช้สารชะละลายมีปริมาตรอยู่ระหว่าง 50 ถึง 200 เท่าของพื้นที่ผิวสัมผัส หรือ 0.14 – 0.57 ลิตร (พื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 0.0028 ตรม. สำหรับการทดสอบการชะละลายบางส่วน) ดังนั้นในการวิเคราะห์กลไกการชะละลายจึงใช้ค่า L/S ที่ 8 และ 20 ดังแสดงปริมาตรสารชะละลายในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาตรของสารชะละลายที่ L/S ต่างๆ เทียบกับข้อกำหนดของ EA NEN 7375

L/S Ratio	พื้นที่ผิวสัมผัส	50 เท่าของพื้นที่ผิว	ปริมาตรสารชะละลาย	200 เท่าของพื้นที่ผิว
ซม.	ตร.ม.	ลิตร	ลิตร	ลิตร
8	0.0028	0.1414	0.2263	0.5657
20			0.5657	
30			0.8486	
40			1.1314	

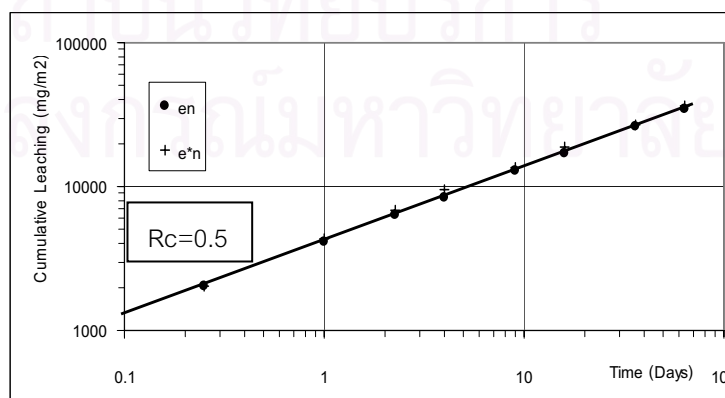
นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างของสารชะละลาย โดยในมาตรฐานระบุให้ใช้ กรดไนตริก เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ซึ่งต่างจากในงานวิจัยที่ใช้ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา น้ำฝนกรดสังเคราะห์ ซึ่งสารชะละลายที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานมากที่สุดคือน้ำปราศจากไอออน เนื่องจากฝนกรดสังเคราะห์ที่ทำขึ้นตามมาตรฐานของ EPA มีส่วนผสมของ กรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก (40:60 โดยน้ำหนัก) ซึ่ง SO_4^{2-} อาจส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายของธาตุบางชนิดได้

4.2.8.2 การวิเคราะห์กลไกการชะละลาย

ในการวิเคราะห์กลไกการชะละลายจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการตรวจสอบก่อนตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ว่าเกิดการละลายของก้อนทดสอบหรือไม่ และขั้นตอนของการวิเคราะห์กลไกการชะละลาย ซึ่งในภาคผนวก ค. แสดงการคำนวณโดย

ละเอียดของตัวอย่าง ซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 วิเคราะห์การชะละลายของ AI ด้วยน้ำปราศจากไอออน ที่ L/S 8 การวิเคราะห์กลไกการชะละลายแสดงให้เห็นว่าการชะละลายของ AI นั้นประกอบไปด้วยกลไกที่เกี่ยวข้อง 2 กลไก คือ การชะล้างที่ผิวหน้าช่วงแรกจากนั้นจึงการละลายของ AI ดังตาราง ค.7

การวิเคราะห์กลไกการชะละลายสำหรับธาตุต่างๆ นั้น ข้อมูลที่จำเป็นในการพิจารณากลไกมีอยู่ 3 ข้อมูลได้แก่ CF (Concentration Factor) r_c (The slope of linear regression line of cumulative leaching) และ sd_{r_c} (The standard deviation of the slope) ซึ่งค่า CF จะต้องมีความมากกว่า 1.5 กล่าวคือปริมาณของธาตุที่วัดได้จะต้องมากกว่าค่า LOD อย่างน้อย 1.5 เท่า ซึ่งหมายความว่า สำหรับธาตุที่มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่า LOD นั้นไม่สามารถคำนวณหากลไกการชะละลายได้ และ sd_{r_c} จะต้องมีความน้อยกว่า 0.5 สำหรับ r_c จะพิจารณาเป็นช่วงๆ ดังแสดงในรายการคำนวณในภาคผนวก ค. สำหรับการพิจารณากลไกการชะละลายจากกราฟสามารถทำร่วมกับการคำนวณได้โดยการสร้างเส้น r_c ที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.5 เพื่อมาเปรียบเทียบในกราฟที่พล็อตระหว่าง (แกนตั้ง: y) ค่า Log ของการชะละลายสะสมที่วัดได้ (ϵ_n^* :กากบาท) ร่วมกับ ค่า Log ของการชะละลายสะสมที่ได้จากสูตร (ϵ_n :วงกลม) โดยมีค่า Log ของเวลาเป็นแกนนอน (แกน x) ซึ่งกลไกการชะละลายแบบแพร่จะให้กราฟที่มีความชันระหว่าง 0.35 -0.65 รูปที่ 4.52 แสดงตัวอย่างภาพที่มีกลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมอย่างสมบูรณ์ตลอดการชะละลาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าจุดของ ϵ_n ในแต่ละช่วงอยู่บนเส้นความชันเท่ากับ 0.5 พอดี ซึ่งกราฟแสดงกลไกการชะละลายของธาตุต่างๆ ในแต่ละวันแสดงอยู่ในรูปที่ 4.53-4.59 ธาตุที่แสดงกลไกการชะละลายอย่างชัดเจนได้แก่ธาตุที่มีความสามารถในการชะละลายออกมาได้สูง อาทิ Al Ba Ca และ Sr เป็นต้น สำหรับธาตุที่ชะละลายออกมาในระดับต่ำจะแสดงความแปรปรวน อาทิ Cr Mn และ Zn นอกจากนี้ธาตุอื่นๆ ไม่สามารถคำนวณกลไกการชะละลายได้เนื่องจากวัดความเข้มข้นได้ต่ำกว่า LOD

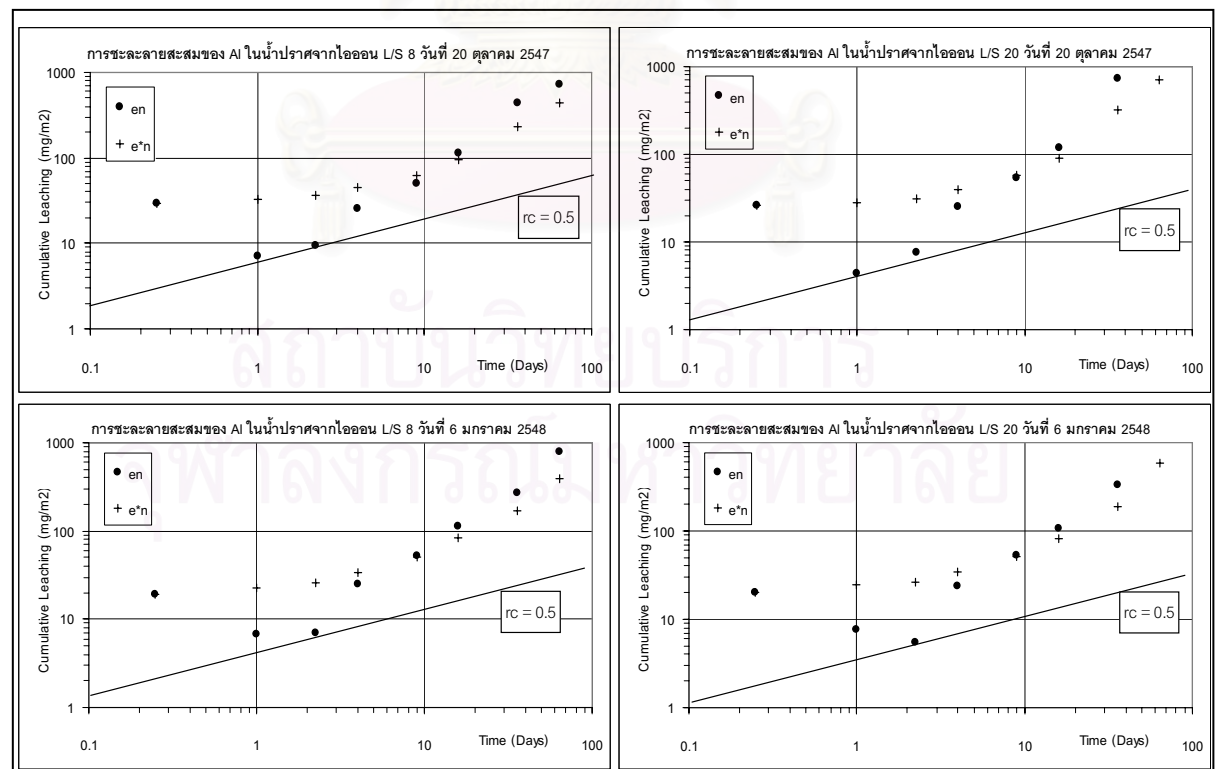


รูปที่ 4.52 ตัวอย่างภาพที่มีการแพร่เป็นตัวควบคุมการชะละลายอย่างสมบูรณ์ตลอดการทดสอบ

ในการพิจารณาการชะละลายของ AI ซึ่งแสดงผลกลไกที่ได้จากการคำนวณของตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 และวันที่ 6 มกราคม 2548 อยู่ในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการชะละลายโดยรวมของ AI (Order 1: Increment 2-7) เป็นการชะละลายโดยเกิดการละลายของ AI โดยในช่วงแรก (Order 6: Increment 1-4) เกิดการชะล้างที่ผิวหน้าของ AI ออกจากก้อนตัวอย่าง และในรูปที่ 4.53 แสดงปริมาณการชะละลายสะสมที่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดสอบเนื่องจากเกิดการชะล้างที่ผิวหน้าและการชะละลายที่ออกมาอย่างมากจากการละลายของ AI เมื่อเวลาผ่านไปซึ่งมีความชันมากกว่า 0.5

ตารางที่ 4.7 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ AI

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				6 มกราคม 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	1.166	Dissolution	1.411	Dissolution	1.110	Dissolution	1.153	Dissolution
2	5 - 8	1.405	Dissolution	1.727	Dissolution	1.336	Dissolution	1.626	Dissolution
3	4 - 7	1.300	Dissolution	1.527	Dissolution	1.101	Dissolution	1.203	Dissolution
4	3 - 6	1.197	Dissolution	1.257	Dissolution	1.344	Dissolution	1.438	Dissolution
5	2 - 5	0.948	Dissolution	1.210	Dissolution	1.010	Dissolution	0.991	Dissolution
6	1 - 4	-0.124	Surface wash-off	-0.092	Surface wash-off	-0.011	Surface wash-off	-0.091	Surface wash-off

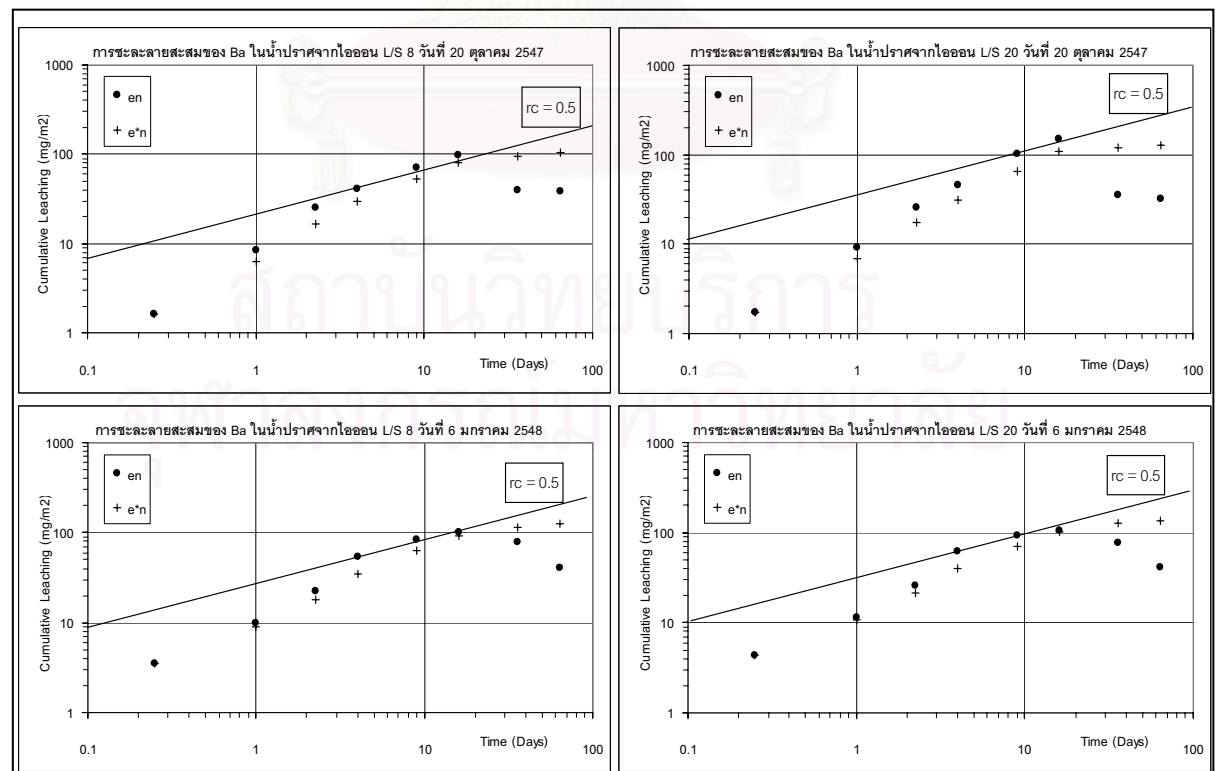


รูปที่ 4.53 การชะละลายสะสมของ AI ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$

เช่นเดียวกับการพิจารณาการชะละลายของ Al สำหรับการคำนวณกลไกการชะละลายของ Ba แสดงอยู่ในตารางที่ 4.8 และในรูปที่ 4.54 ซึ่งอธิบายได้ว่าการชะละลายของ Ba มีกลไกที่เกี่ยวข้องอยู่หลายกลไกคือ ช่วงแรกของการทดสอบเกิดการละลายหรืออาจเกิดการแพร่ที่ล่าช้า (Delayed diffusion or dissolution) ของ Ba เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการละลายของ Ba จากก้อนทดสอบ (Dissolution) และมีแนวโน้มการชะละลายลดลง (Depletion) (ไอออน Ba ในสารชะละลายลดลง) ในช่วงท้ายของการทดสอบ การชะละลายโดยรวม (Order 1: Increment 2-7) แสดงกลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมน่าจะเกิดจากการเฉลี่ยของความชันมากกว่าที่จะเป็นกลไกการแพร่จริงๆ ซึ่งดูได้จากในรูปที่ 4.54

ตารางที่ 4.8 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Ba

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				6 มกราคม 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	0.501	Diffusion	0.516	Diffusion	0.617	Diffusion	0.571	Diffusion
2	5 - 8	-0.433	Depletion	-0.757	Depletion	-0.362	Depletion	-0.417	Depletion
3	4 - 7	0.029	Depletion	-0.053	Depletion	0.182	Depletion	0.108	Depletion
4	3 - 6	0.691	Dissolution	0.836	Dissolution	0.742	Dissolution	0.690	Dissolution
5	2 - 5	0.955	Dissolution	1.081	Dissolution	1.003	Dissolution	0.987	Dissolution
6	1 - 4	1.190	Delayed diffusion or dissolution	1.186	Delayed diffusion or dissolution	0.955	Delayed diffusion or dissolution	0.933	Delayed diffusion or dissolution

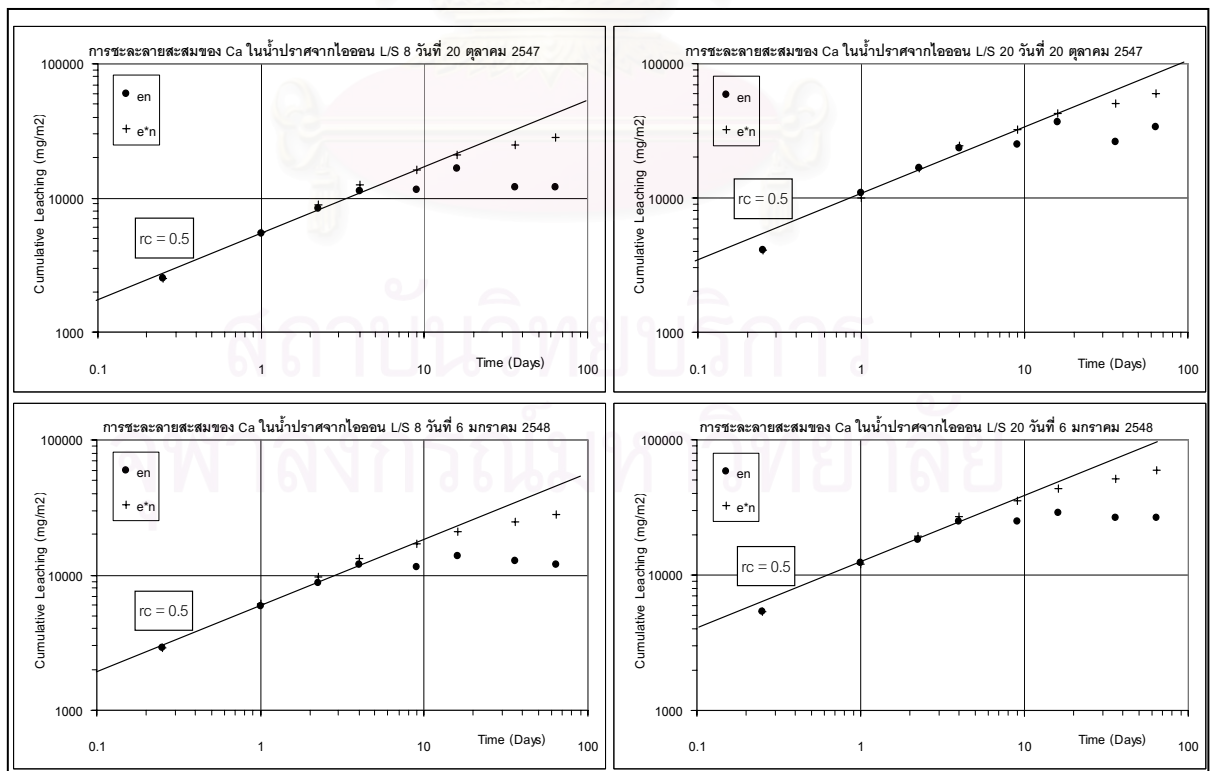


รูปที่ 4.54 การชะละลายสะสมของ Ba ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน rc = 0.5

กลไกการชะละลายของ Ca แสดงอยู่ในตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า Ca มีกลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมการชะละลายใน 4 ช่วงแรกของการทดสอบและมีปริมาณไอออนของ Ca ในสารชะละลายลดลงในช่วงท้ายการทดสอบ เช่นเดียวกับ Ba คือการชะละลายโดยรวมของ Ca นั้นเกิดจากการเฉลี่ยค่าความชันมากกว่าการเกิดจากการชะล้างที่ผิวหน้า ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.55

ตารางที่ 4.9 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Ca

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				6 มกราคม 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	0.243	Surface wash-off	0.272	Surface wash-off	0.210	Surface wash-off	0.211	Surface wash-off
2	5 - 8	-0.040	Depletion	0.064	Depletion	0.004	Depletion	0.011	Depletion
3	4 - 7	0.072	Depletion	0.084	Depletion	0.049	Depletion	0.046	Depletion
4	3 - 6	0.302	Depletion	0.339	Depletion	0.194	Depletion	0.196	Depletion
5	2 - 5	0.350	Diffusion	0.399	Diffusion	0.319	Depletion	0.337	Depletion
6	1 - 4	0.541	Diffusion	0.628	Diffusion	0.510	Diffusion	0.554	Diffusion

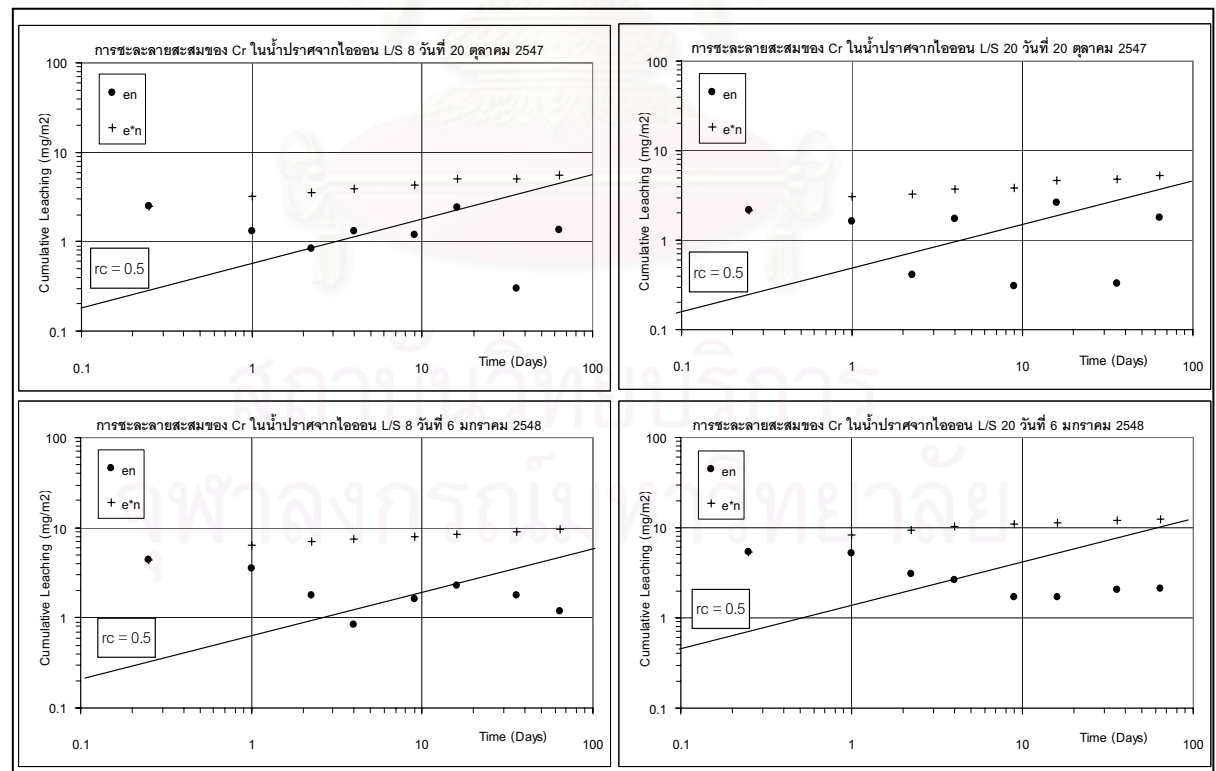


รูปที่ 4.55 การชะละลายสะสมของ Ca ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$

การชะละลายของ Cr แสดงการชะล้างที่ผิวหน้าอย่างชัดเจนในช่วงแรกของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.10 และในรูปที่ 4.56 โดยตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 จะแสดงผลที่ชัดเจนกว่า คือเกิดการชะล้างที่ผิวหน้าในระยะแรกและเกิดการหมดไปของ Cr สารชะละลายในช่วงทำการทดสอบ สำหรับการชะละลายของ Mn ซึ่งกล่าวไว้ในข้างต้น (เรื่องการชะละลายโดยทั่วไปหัวข้อ 4.2.1) ว่าการชะละลายของ Mn ในแต่ละตัวอย่างซีเมนต์เพสต์มีความแตกต่างกัน สำหรับตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ซึ่งมีการชะละลายของ Mn ออกมาในปริมาณน้อย ที่ L/S 8 แสดงกลไกการชะละลายช่วงแรกเป็นการละลายที่ล่าช้า ตามมาด้วยการละลายและมี

ตารางที่ 4.10 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Cr

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				6 มกราคม 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	-0.188	Surface wash-off	-0.197	Surface wash-off	-0.083	Surface wash-off	-0.285	Surface wash-off
2	5 - 8	-0.321	Depletion	0.384	Diffusion	-0.181	Depletion	0.120	Depletion
3	4 - 7	-0.536	Depletion	-0.467	Depletion	0.353	Diffusion	-0.120	Depletion
4	3 - 6	0.445	Diffusion	0.498	Diffusion	0.229	Depletion	-0.341	Depletion
5	2 - 5	-0.001	Depletion	-0.543	Depletion	-0.415	Depletion	-0.491	Depletion
6	1 - 4	-0.297	Surface wash-off	-0.281	Surface wash-off	-0.570	Surface wash-off	-0.268	Surface wash-off

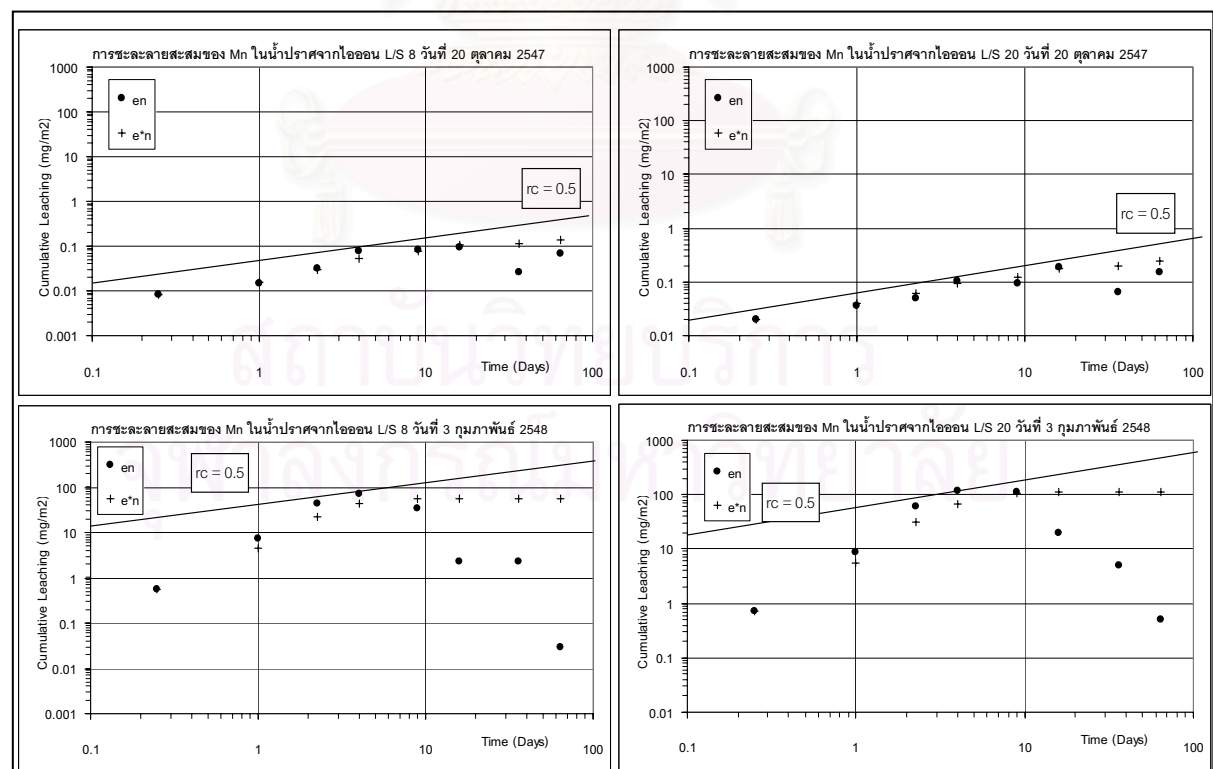


รูปที่ 4.56 การชะละลายสะสมของ Cr ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน rc = 0.5

กลไกการแพร่ร่วมด้วย ก่อนจะเกิดการหมดไปของ Mn ในสารชะละลาย สำหรับ L/S 20 ผลการคำนวณแสดงให้เห็นถึงการแพร่ตั้งแต่การทดสอบช่วงแรกและเกิดการหมดไปของ Mn ในช่วงท้าย เช่นเดียวกับที่ L/S 8 และ ตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งแสดงการชะละลายที่มากกว่า กลไกการชะละลายของ L/S ทั้ง 2 ค่าให้ผลที่เหมือนกันคือ เกิดการละลายที่ล่าช้าในช่วงแรก ตามมาด้วยการละลายในช่วงต่อมา จนเมื่อถึงช่วงท้ายของการทดสอบปริมาณ Mn ในสารชะละลายลดน้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.57

ตารางที่ 4.11 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Mn

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				3 กุมภาพันธ์ 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	0.241	Surface wash-off	0.265	Surface wash-off	-0.608	Surface wash-off	-0.250	Surface wash-off
2	5 - 8	-0.307	Depletion	0.019	Depletion	-3.084	Depletion	-2.591	Depletion
3	4 - 7	-0.449	Depletion	-0.130	Depletion	-1.766	Depletion	-1.540	Depletion
4	3 - 6	0.473	Diffusion	0.565	Diffusion	-1.411	Depletion	-0.513	Depletion
5	2 - 5	0.826	Dissolution	0.492	Diffusion	0.705	Dissolution	1.148	Dissolution
6	1 - 4	0.787	Delayed diffusion or dissolution	0.552	Diffusion	1.808	Delayed diffusion or dissolution	1.895	Delayed diffusion or dissolution

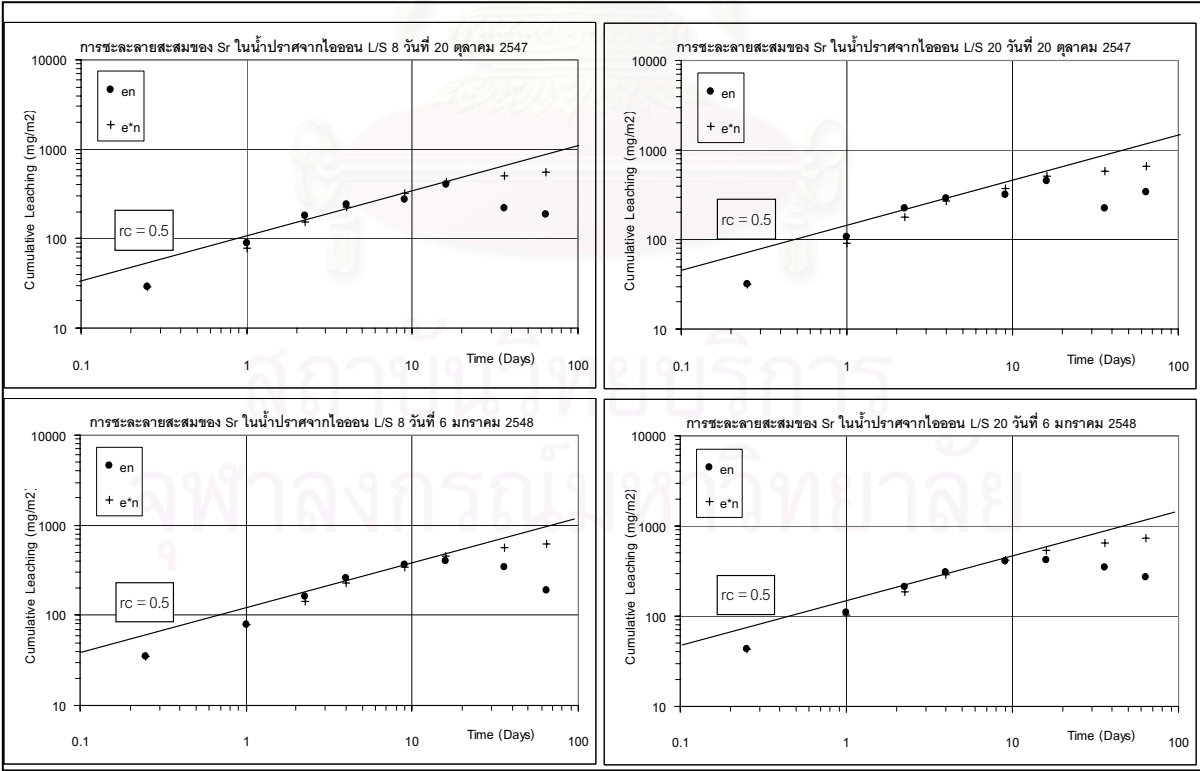


รูปที่ 4.57 การชะละลายสะสมของ Mn ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน rc = 0.5

ค่า rc ที่ระบุกลไกการชะละลายของ Sr แสดงอยู่ในตารางที่ 4.12 ซึ่งกลไกที่ควบคุมการชะละลายของ Sr ประกอบไปด้วยช่วงแรกเป็นการชะละลายชนิดเกิดการแพร่แบบล่าช้า ช่วงต่อมาแสดงกลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมการชะละลายและเกิดการหมดไปของ Sr ในสารชะละลายในช่วงท้ายของการทดสอบ โดยรูปที่ 4.58 แสดงกลไกที่ชัดเจนของ Sr เมื่อเทียบกับเส้น $rc = 0.5$

ตารางที่ 4.12 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Sr

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				6 มกราคม 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	0.278	Surface wash-off	0.236	Surface wash-off	0.424	Diffusion	0.330	Surface wash-off
2	5 - 8	-0.275	Depletion	-0.108	Depletion	-0.313	Depletion	-0.211	Depletion
3	4 - 7	-0.003	Depletion	-0.068	Depletion	0.133	Depletion	0.063	Depletion
4	3 - 6	0.371	Diffusion	0.313	Depletion	0.459	Diffusion	0.359	Diffusion
5	2 - 5	0.505	Diffusion	0.490	Diffusion	0.700	Dissolution	0.594	Diffusion
6	1 - 4	0.781	Delayed diffusion or dissolution	0.819	Delayed diffusion or dissolution	0.719	Delayed diffusion or dissolution	0.715	Delayed diffusion or dissolution

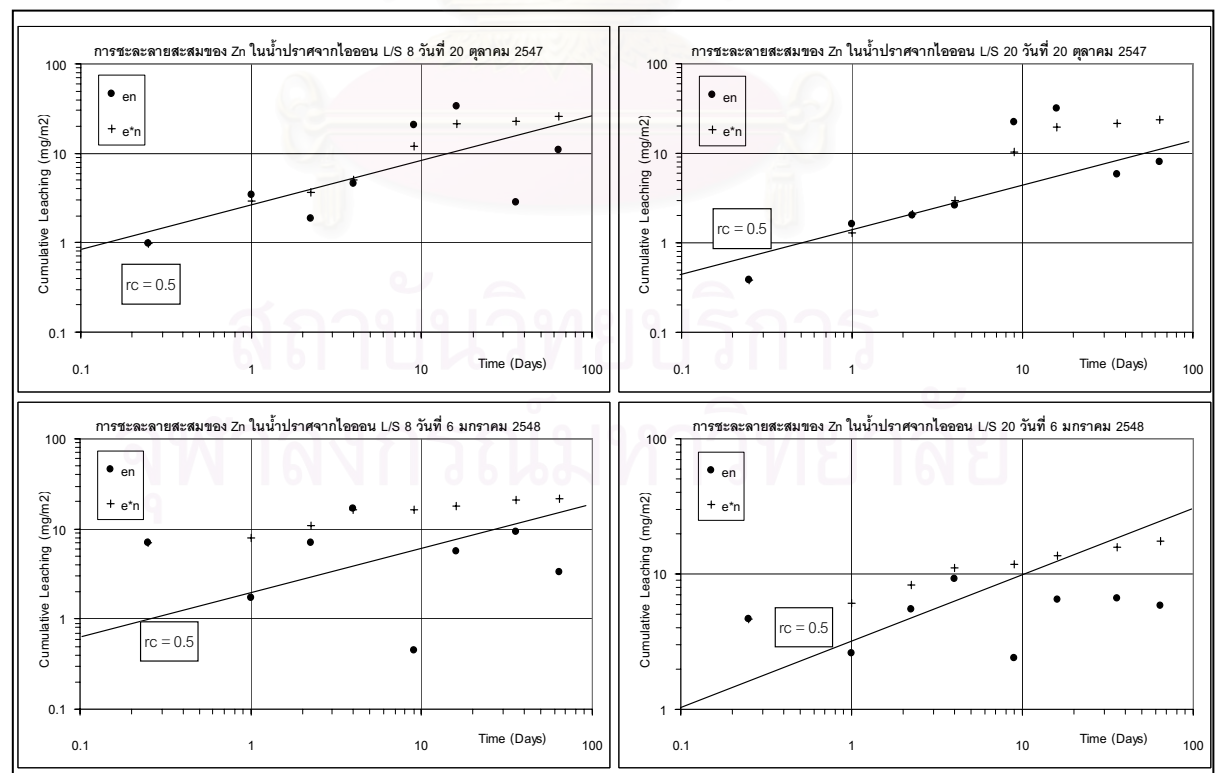


รูปที่ 4.58 การชะละลายสะสมของ Sr ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$

กลไกการชะละลายของ Zn จากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ทั้ง 2 วันมีความแตกต่างกัน โดยตัวอย่างวันที่ 20 ตุลาคม 2547 แสดงการแพร่ในช่วงเริ่มต้นก่อนเกิดการละลายและปริมาณของ Zn ในสารชะละลายลดลงในตอนท้ายของการทดสอบ ซึ่งต่างจากตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 ที่ในช่วงแรกการทดสอบเกิดการชะล้างที่ผิวหน้า ก่อนปริมาณของ Zn สะสมในสารชะละลายจะลดลงไปแล้วจึงเกิดการชะละลายออกมาอีกในตอนท้ายของการทดสอบ ซึ่งแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.59

ตารางที่ 4.13 ค่า rc และกลไกการชะละลายจากการคำนวณของ Zn

Order	Increment	20 ตุลาคม 2547				6 มกราคม 2548			
		rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก	rc L/S 8	กลไก	rc L/S 20	กลไก
1	2 - 7	0.363	Diffusion	0.671	Dissolution	0.153	Surface wash-off	0.150	Surface wash-off
2	5 - 8	-0.724	Depletion	-0.765	Depletion	0.962	Dissolution	0.386	Diffusion
3	4 - 7	-0.142	Depletion	0.369	Diffusion	0.027	Depletion	-0.033	Depletion
4	3 - 6	1.544	Dissolution	1.412	Dissolution	-0.753	Depletion	-0.167	Depletion
5	2 - 5	0.868	Dissolution	1.146	Dissolution	-0.477	Depletion	0.028	Depletion
6	1 - 4	0.451	Diffusion	0.691	Delayed diffusion or dissolution	0.305	Surface wash-off	0.240	Surface wash-off



รูปที่ 4.59 การชะละลายสะสมของ Zn ที่เวลาต่างๆ เทียบกับเส้นความชัน $rc = 0.5$

4.3 ผลการศึกษาซีเมนต์เฟสท์ภายหลังการทดสอบการชะละลาย

4.3.1 ผลตรวจวัดสารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึก

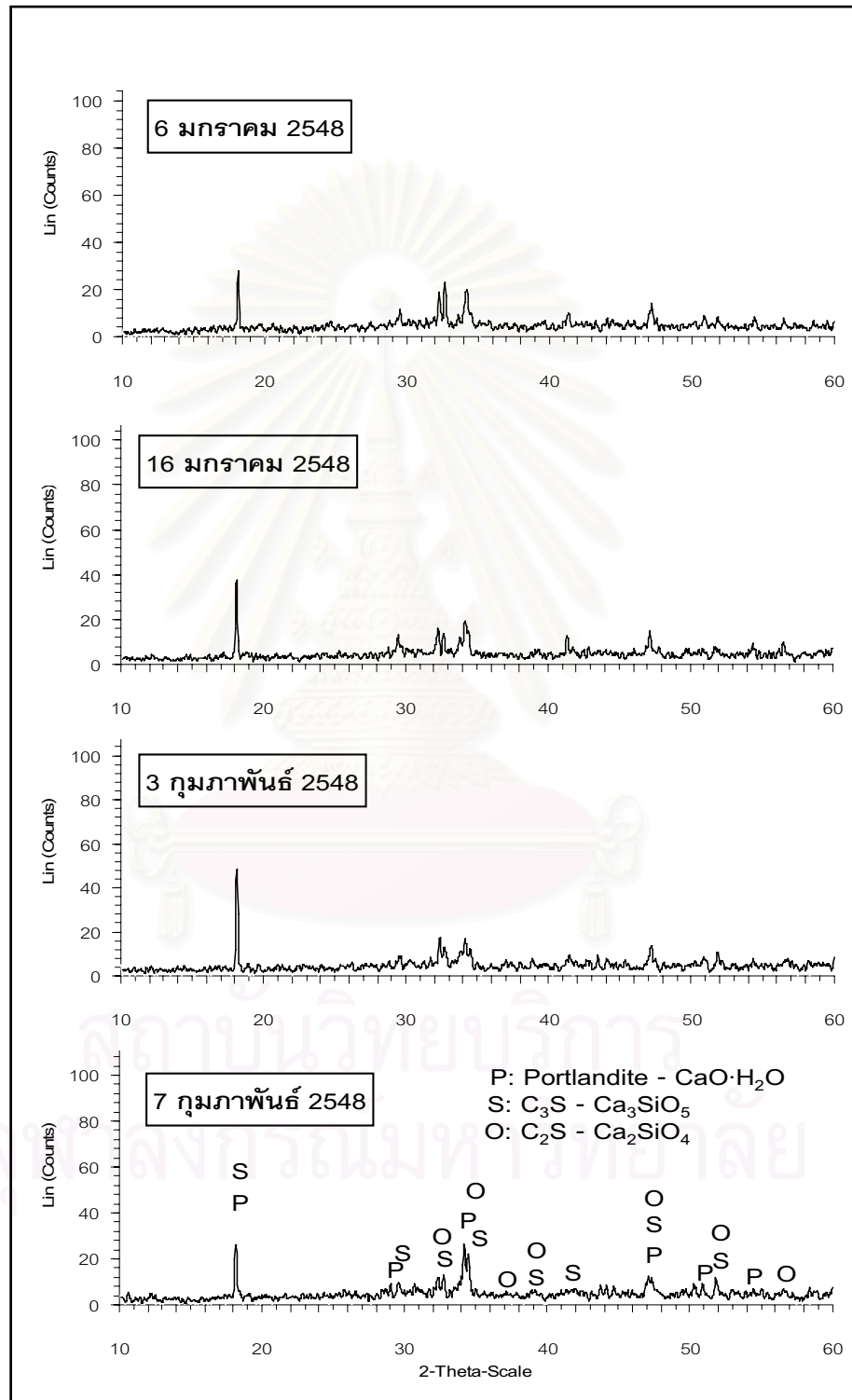
จากการนำตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์ที่อายุบ่ม 3 วัน (ก่อนการทดสอบการชะละลาย) และตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์ภายหลังผ่านการทดสอบการชะละลาย มาตรวจวัดสารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึก (Mineralogical Composition) ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction Spectrometer (XRD) โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม 2θ และ Relative Intensity เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่อยู่ในรูปผลึกของซีเมนต์เฟสท์ที่อาจเกิดขึ้นด้วยการนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มี ซึ่งทำให้สามารถระบุสารประกอบโลหะแต่ละชนิดได้ โดยผลการทดลองทั้งหมด แสดงในรูปที่ ง.1 ถึงรูปที่ ง.36 (ภาคผนวก ง.)

จากการวิเคราะห์โดย XRD ในรูปที่ 4.60 สารประกอบหลักในซีเมนต์เฟสท์ก่อนการทดสอบการชะละลายอยู่ในรูปควอทซ์ (Crystalline Phase) เห็นได้จากกราฟที่มี Peak สูงเด่นชัด ได้แก่ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) และไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต มีค่า Diffraction Peak ที่สังเกตได้ชัดเจนที่ 29.48° และ 34.29° ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งเป็นผลจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่า Diffraction Peak ที่สังเกตได้ชัดเจนที่ 18.12° 34.16° 47.20° และ 50.84° และ งานวิจัยของ Shondeep, Sharkar และ Wheeler ในปี 2001 พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่า Diffraction Peak ที่ 18° ส่วนแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเช่นกัน นั้นไม่พบ Diffraction Peak เนื่องจากอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous Phase) (Stephan และคณะ, 1998; Achternbosh และคณะ, 2003)

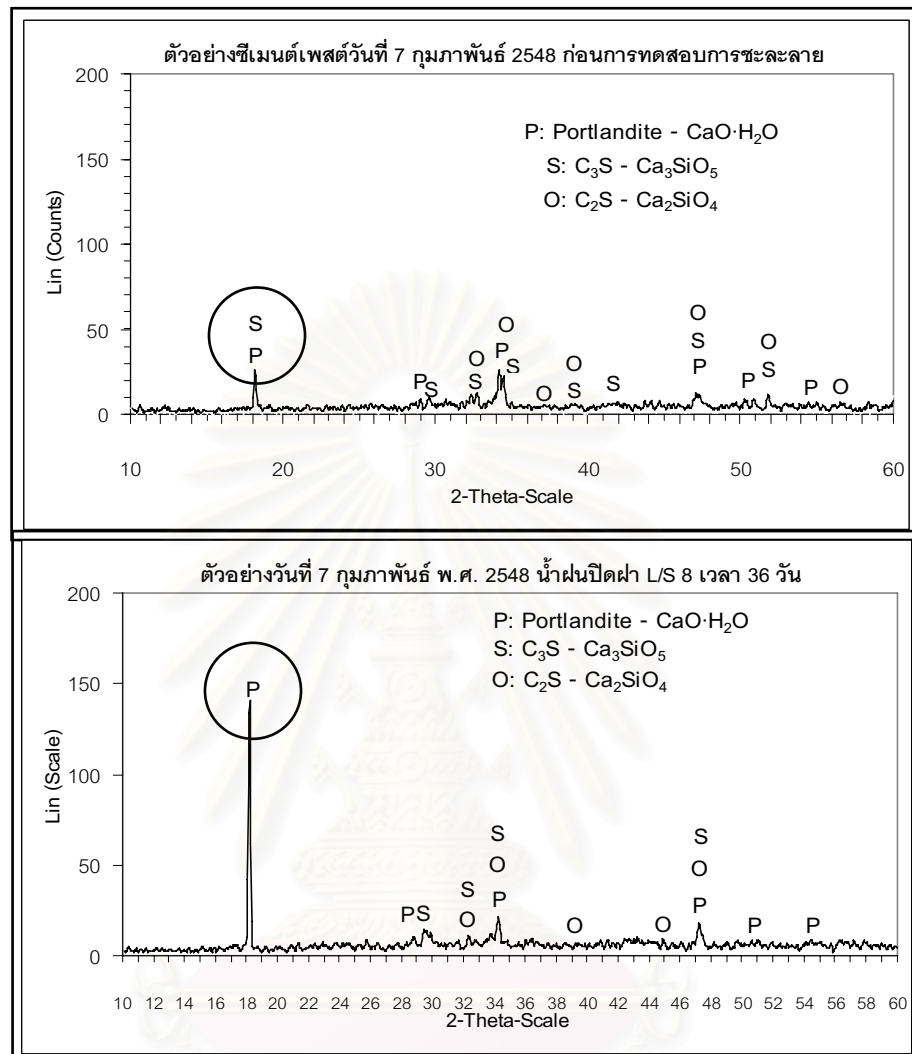
ภายหลังจากการทดสอบการชะละลายพบว่าปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ลดลง (Spence, 1993; Stephan และคณะ, 1998) เนื่องจาก C_3S และ C_2S เป็นสารตั้งต้นถูกนำไปในปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.61

จากผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นอีกว่าการทดสอบการชะละลายชนิดปิดฝา ของสารชะละลายทั้ง 3 ชนิดนั้น เกิดตะกอน $CaCO_3$ ขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของพีเอชที่มีค่าลดลง ในช่วงท้ายของการทดสอบเนื่องจากยังมีช่องอากาศเหลืออยู่ในหลอดทดสอบ รูปที่ 4.62 แสดง $CaCO_3$ ที่ปรากฏในซีเมนต์เฟสท์ภายหลังการทดสอบจากสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด แต่กระนั้น ปริมาณของ $CaCO_3$ ที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เฟสท์จากสารชะละลายชนิดปิดฝายังเทียบไม่ได้กับใน ฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝาทดสอบดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.63 นอกจากนี้ สำหรับในสารชะละลาย

นั้นภายหลังจากทดสอบพบว่ามึตะกอนเกิดขึ้นซึ่งเมื่อนำตะกอนเหล่านั้นไปตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD พบว่าเป็นตะกอนของหินปูน (CaCO_3) เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เฟสท์ แสดงผลอยู่ในรูปที่ 4.64

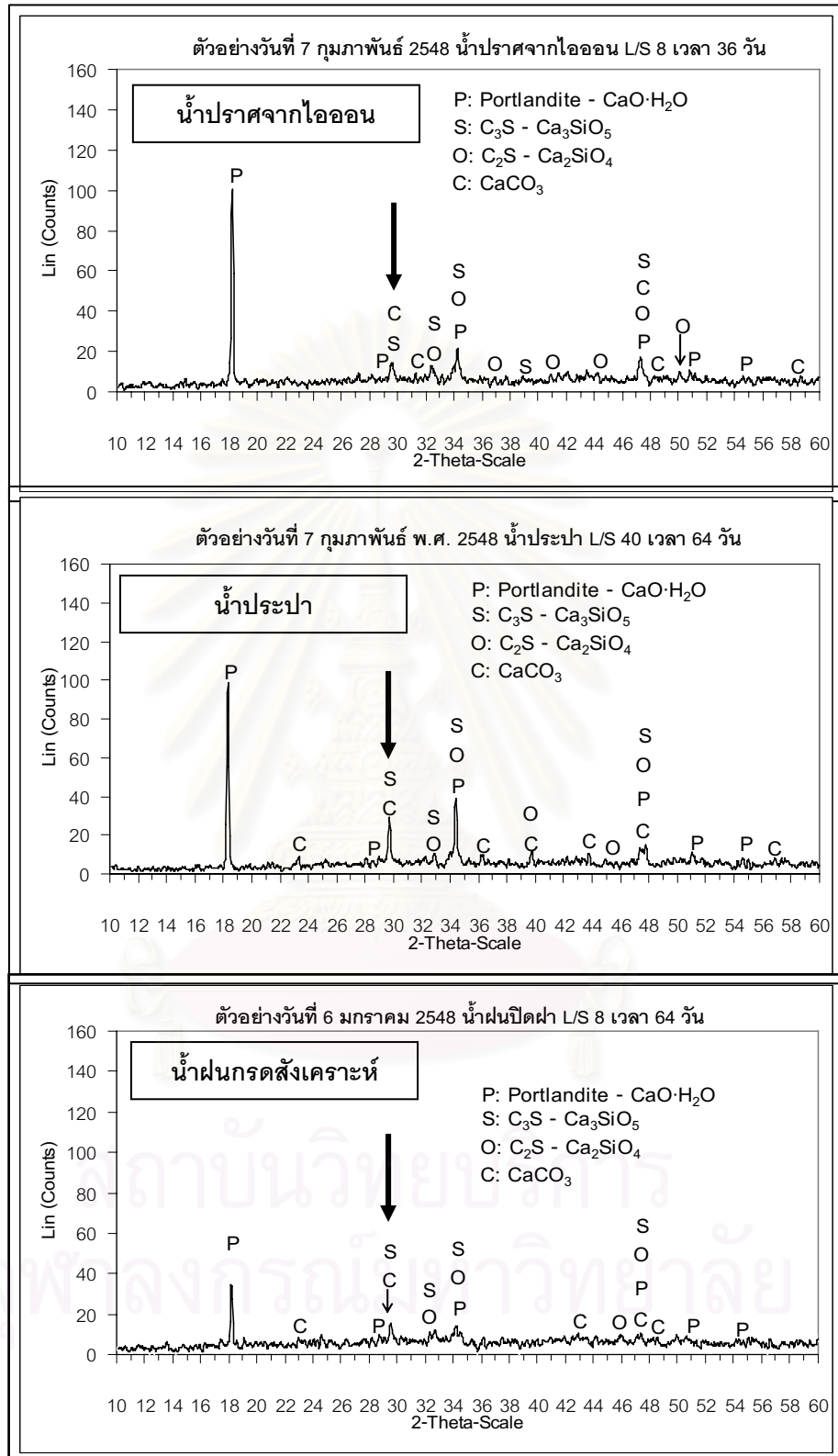


รูปที่ 4.60 ผล XRD แสดงสารประกอบหลักของซีเมนต์เฟสท์วันต่างๆ ก่อนการชะละลาย

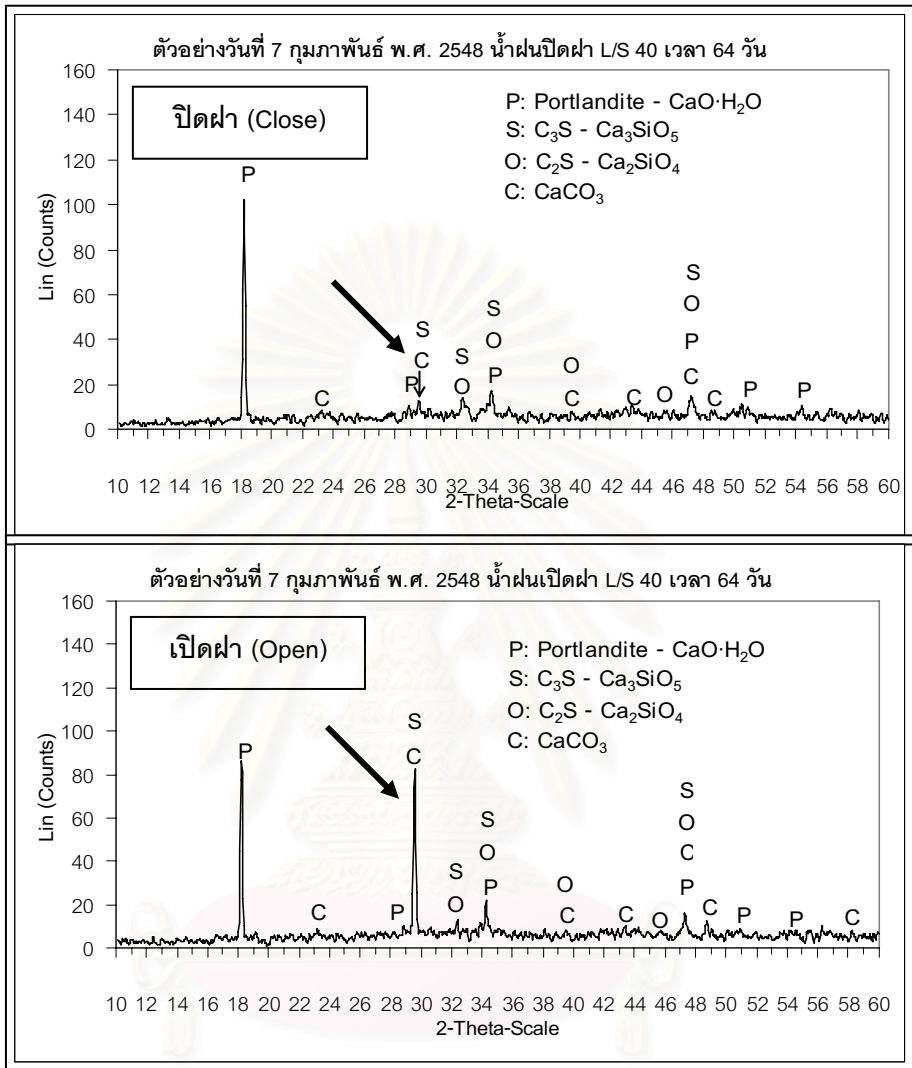


รูปที่ 4.61 ผล XRD เปรียบเทียบปริมาณ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ก่อน และ หลังการทดสอบการชะละลาย

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD นั้น ยังไม่สามารถตรวจพบสารประกอบโลหะหนักที่ต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เวลาการทดสอบต่างๆ อาจเนื่องด้วยปริมาณความเข้มข้นที่มีเมื่อเทียบกับกับซีเมนต์นั้นมีค่าน้อยมาก จึงส่งผลให้ peak ของซีเมนต์บดบัง peak ของสารประกอบโลหะหนักที่อาจเกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ในซีเมนต์เพสต์นั้นประกอบไปด้วยธาตุที่อยู่ร่วมกันมากมายหลายชนิดซึ่งเป็นการยากที่จะระบุว่าเป็นสารประกอบชนิดใดจากผล XRD ที่ได้หากไม่พบ peak ที่เด่นชัดของสารประกอบนั้น ๆ

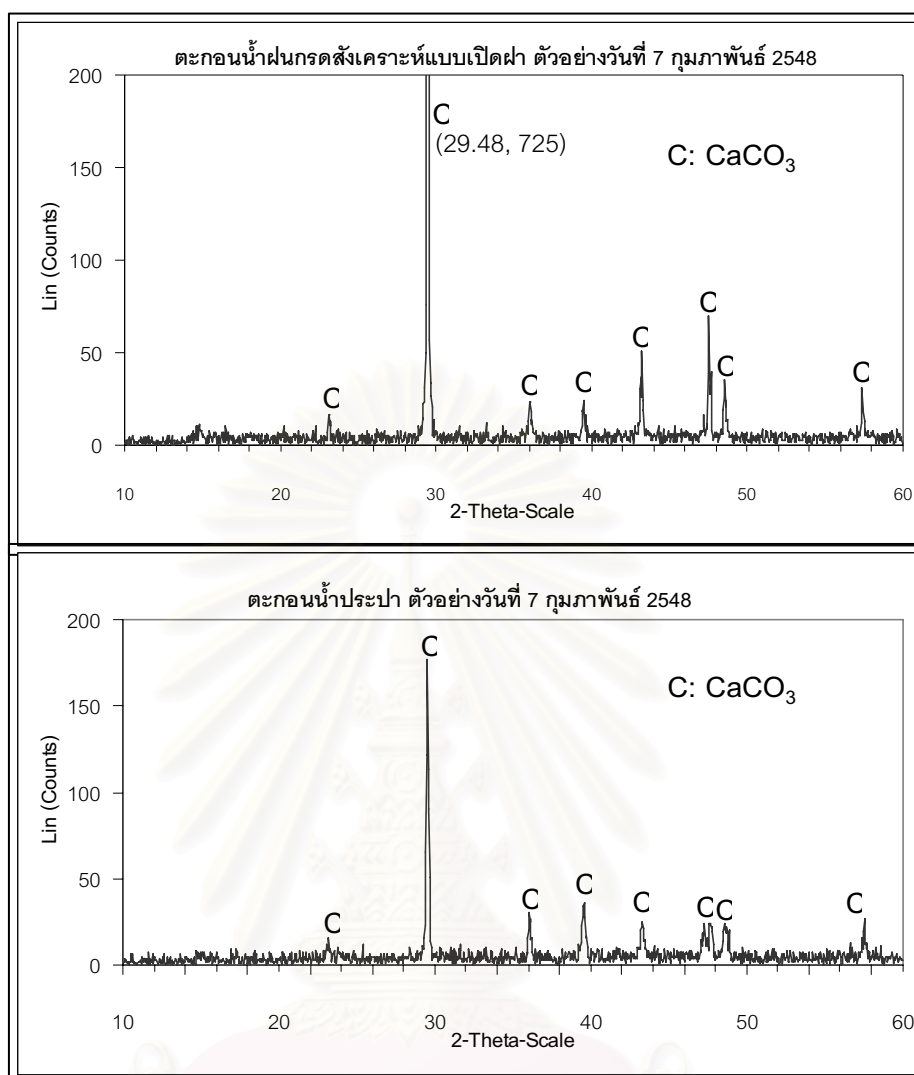


รูปที่ 4.62 ผล XRD แสดง CaCO_3 ที่เกิดขึ้นในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการทดสอบ



รูปที่ 4.63 ผล XRD เปรียบเทียบปริมาณ CaCO_3 ของการทดสอบชนิดปิดฝาและเปิดฝา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

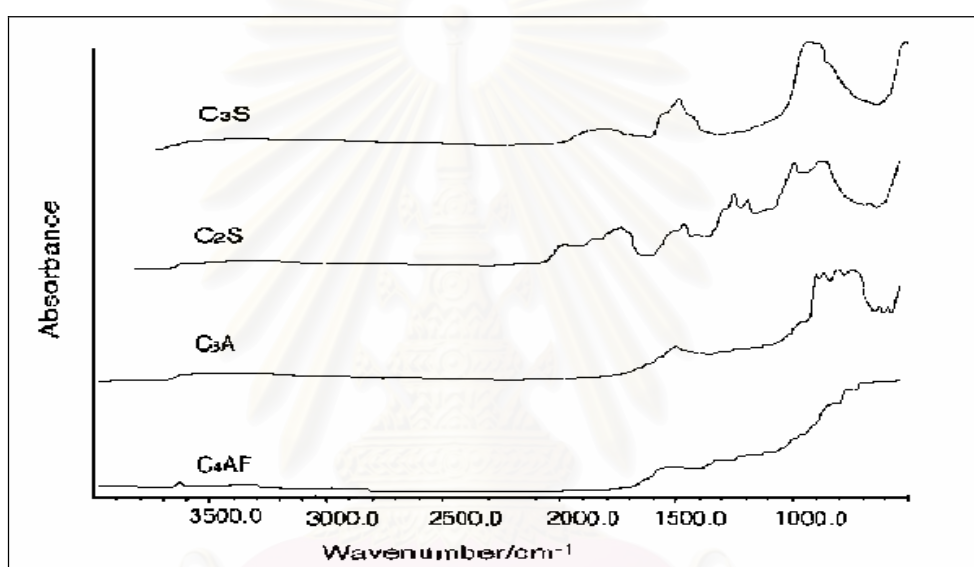


รูปที่ 4.64 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายภายหลังการทดสอบ

สำหรับการชะละลายที่ลดลงของโลหะหนักในช่วงท้ายของการทดสอบซึ่งคาดว่าเกิดจากการเกิดคาร์บอนชั้นในระบบทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักไปพร้อมกับหินปูนซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยการวิเคราะห์ด้วย XRD แต่จากการศึกษาพบว่าปริมาณหินปูนที่มีความเข้มข้นสูงอาจบดบัง peak ของสารประกอบโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยทำให้ตรวจวัดไม่พบโลหะหนักในตะกอนหินปูนจึงไม่สามารถสรุปสาเหตุของการที่โลหะหนักเกิดการชะละลายลดลงในช่วงหลังได้

4.3.2 ผลการตรวจวัดพันธะของสารประกอบโลหะหนัก

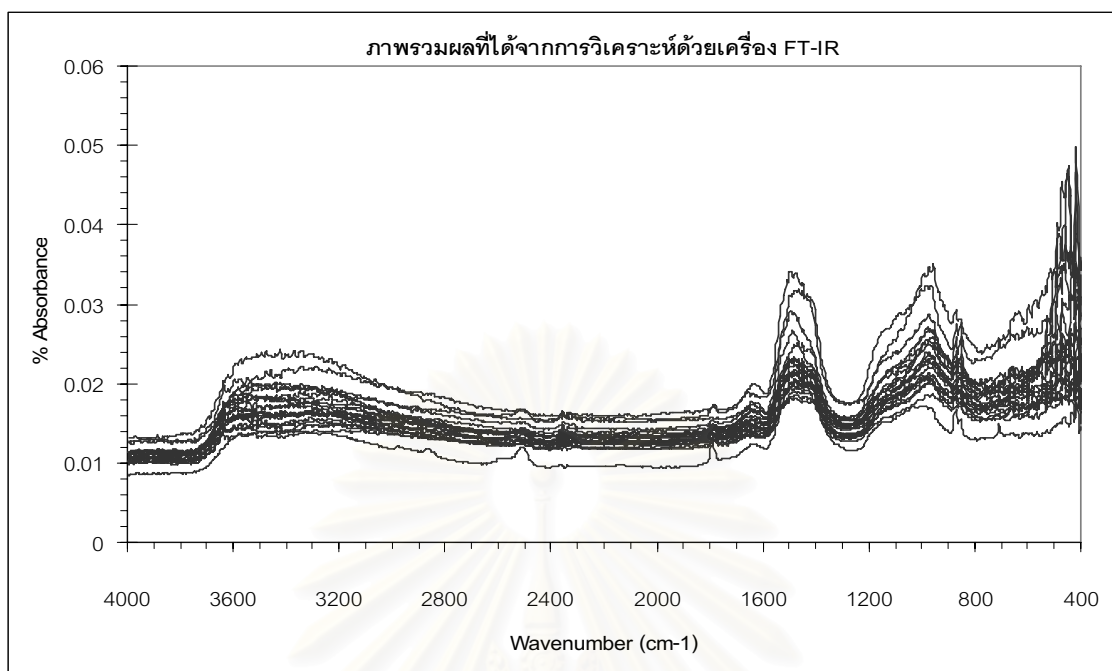
การศึกษาพันธะของสารประกอบโลหะหนักโดยใช้รังสีอินฟราเรดด้วยเครื่อง FT-IR เป็นการตรวจวัดในเชิงคุณภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์พันธะของสารประกอบที่มีอยู่ในโครงสร้างปูนซีเมนต์ผลจากการนำตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์ภายหลังการทดสอบการชะละลายมาวิเคราะห์พันธะของสารประกอบโลหะหนักด้วยเครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) สรุปรูปภาพความถี่ที่วัดได้ แสดงดังรูปที่ 4.65 ถึงรูปที่ 4.72 โดยแกนนอน (x) คือค่าเลขคลื่น และแกนตั้ง (y) คือค่า Absorbance (%) ส่วนกราฟความถี่ที่วัดได้ในแต่ละตัวอย่าง แสดงในรูปที่ ๑.2 ถึงรูปที่ ๑.28 (ภาคผนวก ๑.)



รูปที่ 4.65 รูปแบบสารประกอบของ C_3S C_2S C_3A และ C_4AF จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-IR (Hughes และคณะ, 1995)

Hughes และคณะ (1995) ศึกษาารูปแบบสารประกอบของ C_3S และ C_2S จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-IR ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ทำให้ทราบถึงแนวโน้มของกราฟความถี่พันธะของสารประกอบในปูนซีเมนต์แต่กราฟรูปแบบพันธะของสารประกอบในตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์มีลักษณะที่ต่างไปบ้าง ทั้งนี้เนื่องจาก C_3S C_2S C_3A และ C_4AF เป็นสารตั้งต้นและจะถูกใช้ไปเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จากผลการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์

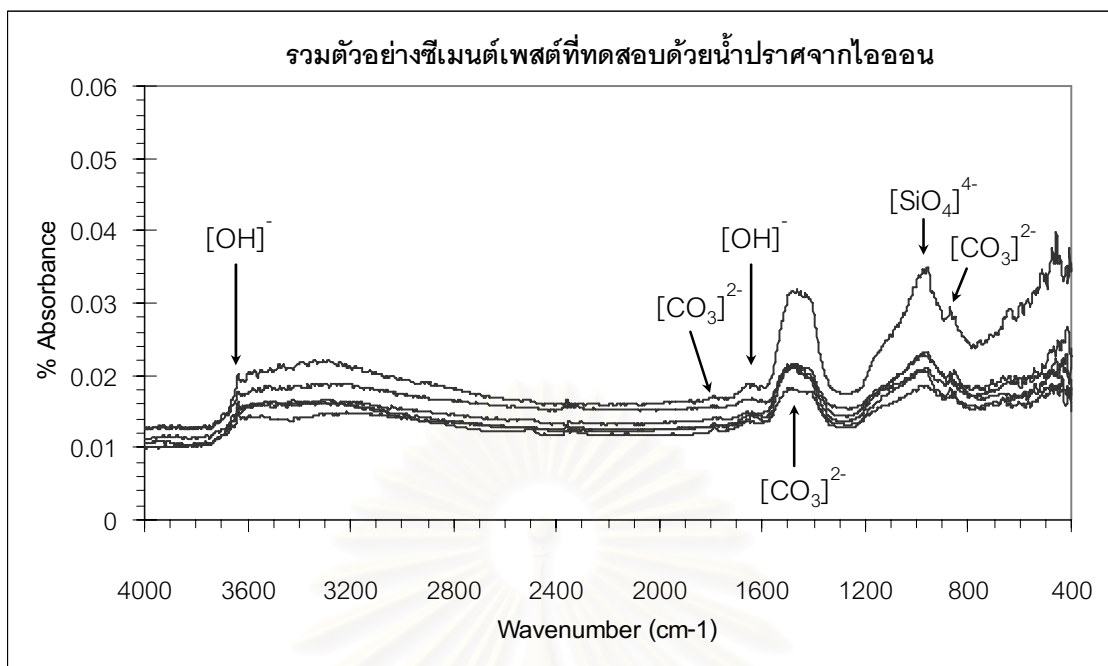
ในการศึกษาผลของโลหะหนักต่อพันธะของสารประกอบในซีเมนต์เฟสท์ภายหลังการชะละลายที่เวลาต่างๆ นั้น เบื้องต้นจะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของตัวอย่างซีเมนต์เฟสท์วันใดวันหนึ่ง (เลือกวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548) ที่เวลา 64 วัน และ 36 วัน ของสารชะละลายชนิดต่างๆ เมื่อพบความแตกต่างที่สามารถนำไปวิเคราะห์ผลของโลหะหนักต่อพันธะของสารประกอบในซีเมนต์เฟสท์ได้จึงจะทำการศึกษาในรายละเอียดต่อไป ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นด้วยเครื่อง FT-IR ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.66



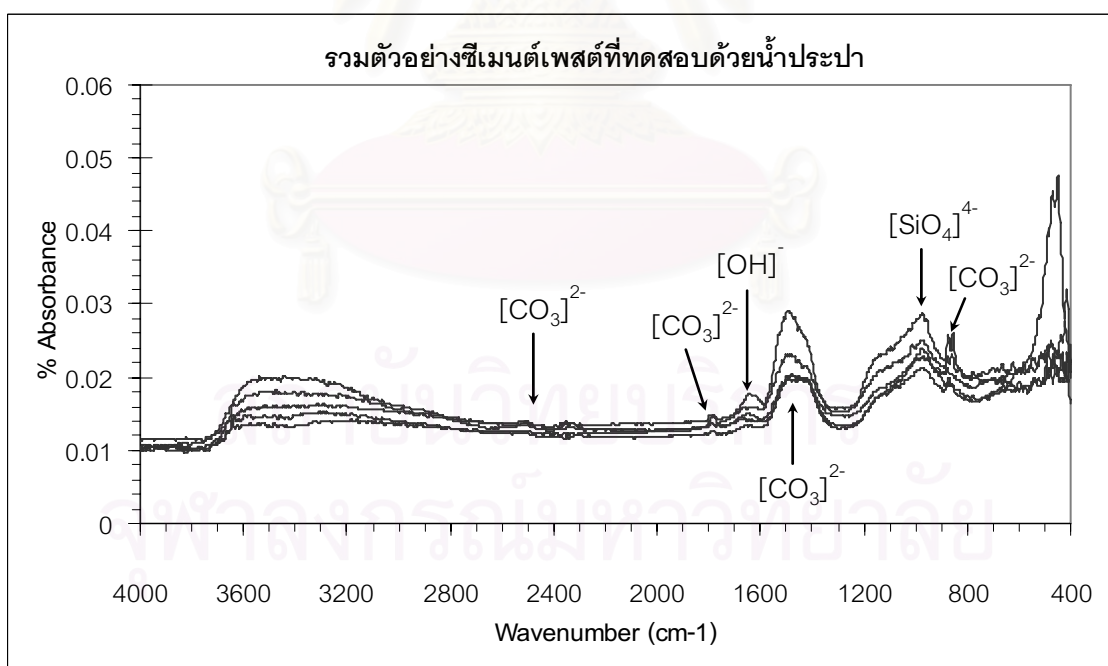
รูปที่ 4.66 ภาพรวมผลที่ได้จากการวิเคราะห์ซีเมนต์เพสต์ซึ่งผ่านการชะละลายด้วยเครื่อง FT-IR

สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เพสต์ครั้งนี้จะทดลองโดยการนำสาร Ca(OH)_2 และ Zn(OH)_2 มาวิเคราะห์เป็นมาตรฐานพันธะของไฮดรอกซิล (OH^-) และสาร CaCO_3 และ Cu_2CO_3 มาวิเคราะห์เป็นมาตรฐานพันธะของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และสาร $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ และ MgSO_4 มาวิเคราะห์เป็นมาตรฐานพันธะของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบเลขคลื่นที่ได้กับข้อมูลของ Nakamoto (1986) Spence (1993) Hughes และคณะ (1995) และ Mollah และคณะ (2000) จะเห็นได้ว่า สารที่นำมาวิเคราะห์มีเลขคลื่นใกล้เคียงกับเอกสารที่อ้างอิง โดยแสดงในรูปแบบที่ ๑.1 และตารางที่ ๑.1 (ภาคผนวก ๑.) ทั้งนี้เนื่องจากเลขคลื่นที่อ้างอิงจากข้อมูลต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นการสังเคราะห์สารบริสุทธิ์ขึ้นมาวิจัย และทำการศึกษาแยกแต่ละพันธะ เพื่อหาเลขคลื่นของพันธะที่ชัดเจน แต่ในการวิจัยครั้งนี้ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่มีหลายพันธะรวมอยู่ด้วยกัน อีกทั้งบางพันธะจะมีเลขคลื่นซ้อนทับกัน (Overlap) จึงสามารถบอกเพียงช่วงของเลขคลื่นที่เกิดขึ้น

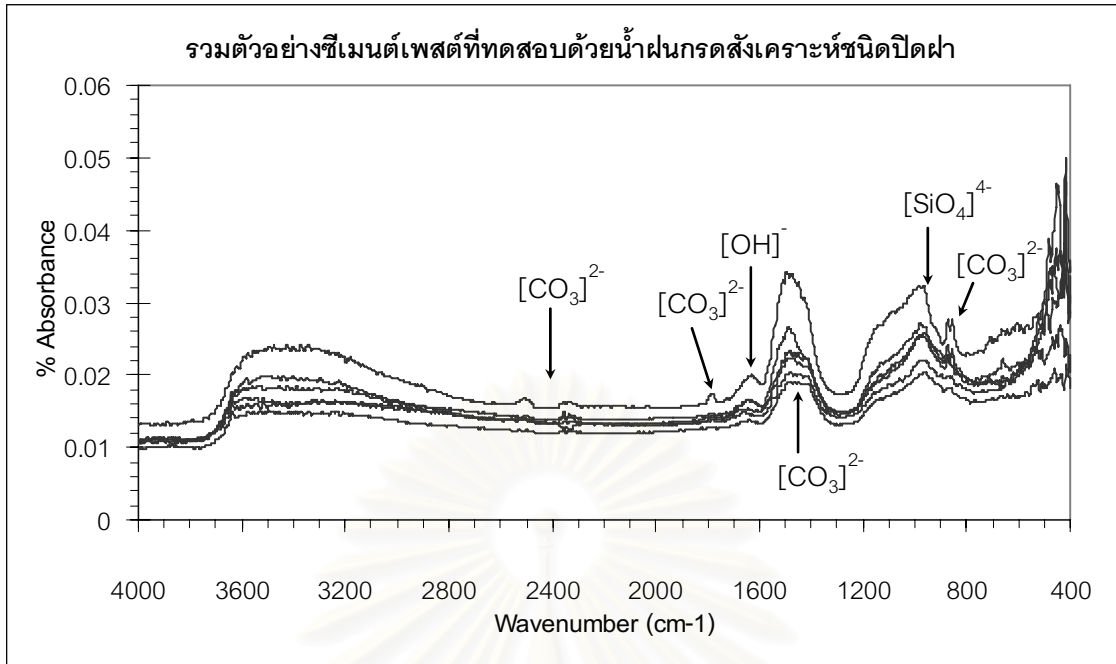
เมื่อเปรียบเทียบเลขคลื่นที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานพันธะของสารที่สร้างขึ้นร่วมกับข้อมูลของงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงผลของพันธะของสารประกอบที่มีอยู่ในซีเมนต์เพสต์ดังรูปที่ 4.67-4.70 โดยแยกตามสารชะละลายซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากโดยในซีเมนต์เพสต์จะมีพันธะของ (CO_3^{2-}) ปะปนอยู่ซึ่งสอดคล้องกับผล XRD และผลการชะละลายที่ได้ว่าเกิด CaCO_3 ขึ้นสำหรับพันธะ (OH^-) ที่พบนั้นอาจเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูปของแข็งหรืออาจจะเป็น Ca(OH)_2 (portlandite) โดยสามารถยืนยันได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (ผลการทดสอบที่ได้ไม่พบโลหะหนักเนื่องจากมีความเข้มข้นน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบหลักของซีเมนต์)



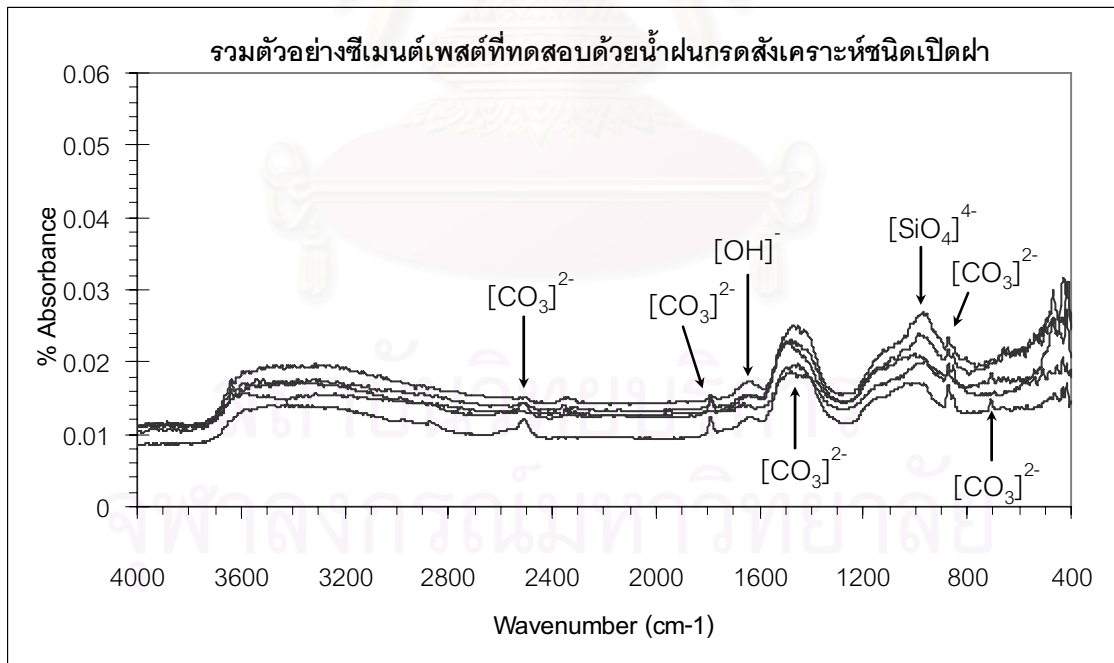
รูปที่ 4.67 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังจากทดสอบการชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน



รูปที่ 4.68 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังจากทดสอบการชะละลายด้วยน้ำประปา

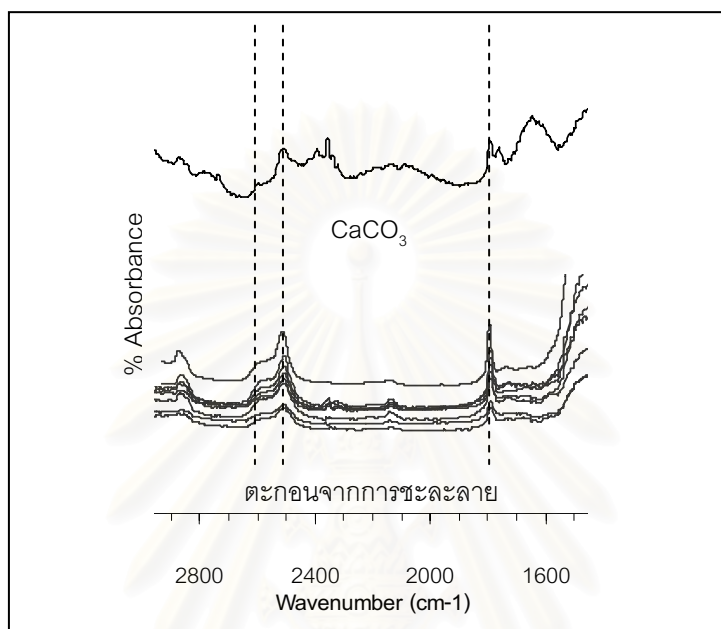


รูปที่ 4.69 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังจากทดสอบการชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา

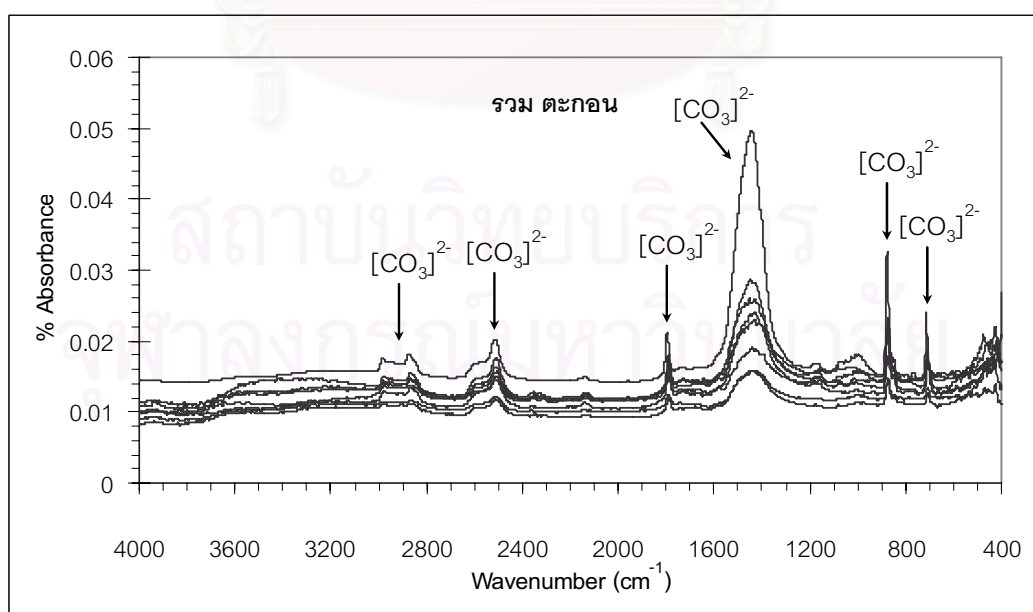


รูปที่ 4.70 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังจากทดสอบการชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา

นอกจากนั้นในการทดสอบการชะละลายภายหลังเกิดตะกอนในสารชะละลายซึ่งศึกษาด้วย XRD พบว่าเป็นตะกอนหินปูน ผลที่ได้จากเครื่อง FT-IR สามารถยืนยันได้โดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงความถี่ของพันธะ $(\text{CO}_3)^{2-}$ ในตารางที่ ๔.1 (ภาคผนวก ๔.) และการเปรียบเทียบจากมาตรฐานพันธะของ $(\text{CO}_3)^{2-}$ ในรูปที่ 4.71 และรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.71 ผลการวิเคราะห์รูปแบบพันธะของสารประกอบจากตะกอนที่เกิดจากการทดสอบการชะละลาย เทียบกับมาตรฐานพันธะของสาร CaCO_3 ด้วยเครื่อง FT-IR



รูปที่ 4.72 ภาพรวมผลการวิเคราะห์สารประกอบของตะกอนที่เกิดขึ้นในสารชะละลายต่างๆ ภายหลังการทดสอบการชะละลาย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักจากโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

1. การศึกษาชนิดและปริมาณของโลหะหนักในปูนเม็ดพบว่าโลหะหนักหลายชนิดที่ตรวจพบมากที่สุดคือ เหล็ก (Fe) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในปูนซีเมนต์ รองลงมาคือ แมงกานีส (Mn) สตรอนเชียม (Sr) แบเรียม (Ba) และ สังกะสี (Zn) ตามลำดับ ชนิดและปริมาณของโลหะหนักที่พบจะมีความแตกต่างกันเป็นช่วง ๆ ซึ่งมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบและเชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการผลิต สำหรับตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักชนิดต่างๆ และปริมาณที่ชะละลายออกมาคิดเป็นร้อยละ

ตารางที่ 5.1 ปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในปูนเม็ดและปริมาณที่ชะละลายออกมาคิดเป็นร้อยละ

ธาตุ	ปริมาณที่พบในปูนเม็ดเฉลี่ย มก./กก.	ปริมาณที่ชะละลายออกมา คิดเป็นร้อยละ
Ba	130.424	2.834
Cd	0.359	33.371
Cr	42.525	0.669
Cu	86.701	0.016
Fe	16,644.58	0.00024
Mn	418.345	0.114
Ni	29.471	0.181
Pb	12.505	1.681
Sr	215.417	7.897
V	62.605	0.092
Zn	130.39	0.540

2. การศึกษากลไกการชะละลายโดยอิงมาตรฐานของ EA NEN 7375 พบว่ามีโลหะหนักหลายชนิดที่เกิดการชะละลายออกมา โดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะแสดงลักษณะการชะละลายที่แตกต่างกันออกไป ตารางที่ 5.2 สรุปกลไกการชะละลายของโลหะ 5 ชนิด สำหรับโลหะหนักที่ชะละลายออกมาในระดับความเข้มข้นต่ำ (มคก./ล.) นั้นทำให้การสังเกตลักษณะการชะละลายเป็นไปได้ยาก

ตารางที่ 5.2 กลไกการชะละลายของโลหะทั้ง 5 ชนิด

ธาตุ	กลไกการชะละลาย
Al	Surface wash-off + Dissolution
Ba	Dissolution + Depletion
Ca	Diffusion + Depletion
Cr	Surface wash-off + Depletion
Sr	Delayed diffusion + Depletion

3. การศึกษาผลการชะละลายกับมาตรฐานน้ำดื่มพบว่ามีโลหะหนักอยู่หลายชนิดที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐาน มากที่สุดคือการชะละลายของอะลูมิเนียม (Al) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการทดสอบด้วยน้ำประปาและน้ำฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝาทดสอบ รองลงมาคือ แคดเมียม (Cd) และ ตะกั่ว (Pb) ซึ่งหากมีการวิจัยในขั้นต่อไปจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับโลหะหนักเหล่านี้เป็นพิเศษเพื่อศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดการชะละลายที่มากเกินมาตรฐานเนื่องจากเป็นโลหะหนักที่มีความอันตราย

4. การศึกษาผลการชะละลายกับความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างสารชะละลายต่อพื้นที่ผิวสัมผัสพบว่า ที่ค่า L/S เท่ากับ 8 มีความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาสูงสุด เนื่องจากโลหะหนักเกิดการสะสมความเข้มข้นใกล้กับบริเวณที่เกิดการชะละลาย ดังนั้นสารชะละลายที่มีปริมาตรน้อยที่สุดจะทำให้ตรวจพบโลหะหนักมากที่สุด

5. การศึกษาพีเอชกับการชะละลายพบว่า การชะละลายของ Ca(OH)_2 จากซีเมนต์เพสต์เป็นตัวควบคุมพีเอชในระบบ (มีผลมากกว่าพีเอชเริ่มต้นของสารชะละลาย) สำหรับโลหะหนักที่แสดงความเปลี่ยนแปลงในการชะละลายเมื่อพีเอชลดลง (การทดสอบด้วยฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา) ที่เห็นได้ชัดเจนคือ วาเนเดียม (V) ซึ่งแสดงการชะละลายที่เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของระบบลดลง

6. การศึกษาการชะละลายของโลหะหนักในสารชะละลายต่างชนิดกันพบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่แสดงลักษณะที่คล้ายกันในสารชะละลายต่าง ๆ ยกเว้น โบรอน (B) ที่เกิดการชะละลายได้มากในน้ำฝนกรดสังเคราะห์ และแมงกานีส (Mn) ไม่เกิดการชะละลายในน้ำประปา

7. การเกิดคาร์บอนเนชันในระบบมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมละลายในระบบลดลง เนื่องจากเกิดการตกตะกอนในรูปของหินปูน ซึ่งมีผลทำให้พีเอชของระบบลดลงโดยพบว่าช่วงท้ายของการทดสอบโลหะหนักต่างๆชะละลายออกมาในปริมาณต่ำซึ่งเป็นได้ 2 กรณีคือ 1. โลหะหนักเหล่านั้นเกิดการชะละลายลดลงหรือ 2. โลหะเหล่านั้นตกตะกอนร่วมกับหินปูน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง FT-IR และ XRD

8. สำหรับการศึกษาซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่อง FT-IR และ XRD นั้นไม่เป็นไปตามจุดประสงค์โดยเป้าหมายของการศึกษาเพื่อตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของสารประกอบในซีเมนต์เพสต์และโลหะหนักภายหลังการทดสอบการชะละลาย ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสารประกอบโลหะหนักนั้นมีปริมาณน้อยเกินกว่าที่จะเห็นความเปลี่ยนแปลงหรือตรวจพบ เช่นเดียวกับในตะกอนหินปูนที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบการชะละลาย การตรวจสอบด้วยเครื่อง FT-IR และเครื่อง XRD ไม่สามารถยืนยันว่ามีโลหะหนักตกตะกอนร่วมกับหินปูนหรือไม่เนื่องจากความเข้มของหินปูนที่สูงมากอาจบดบัง peak ของโลหะหนักซึ่งมีปริมาณน้อยมาก (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3 หน้า 134 – 144)

9. สำหรับการศึกษาการชะละลายในระยะยาวที่อาจเกิดขึ้นมีความเป็นไปได้ว่าโลหะหนักส่วนใหญ่จะเกิดการชะละลายลดลงอันเนื่องมาจากผลของการเกิดคาร์บอนเนชันในระบบ (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.5 4.2.7 และ 4.3)

5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาอุปสรรคที่พบในงานวิจัย

1. ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวอย่างปูนซีเมนต์จากกระบวนการผลิตจริง การศึกษาผลความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่มีต่อการชะละลายจึงทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นของโลหะหนักได้ตามต้องการและทำให้ผลการวิจัยในบางเรื่องทำได้ไม่ชัดเจน เช่น การวิเคราะห์ซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่อง XRD และ FT-IR เนื่องจากโลหะหนักมีปริมาณความเข้มข้นน้อยเกินไป ทำให้การตรวจวัดบางครั้งไม่สามารถตรวจวัดได้ ทำให้ผลการทดลองไม่สามารถสรุปผลออกมาได้อย่างชัดเจนเท่าที่ควร

2. นอกจากการศึกษาค่าผลของความเข้มข้นเริ่มต้นในปูนเม็ดของโลหะหนักที่ส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักชนิดนั้นๆแล้ว ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาค่าผลที่มีต่อกันของโลหะหนักชนิดต่างๆในปูนเม็ดกับผลของการชะละลาย ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมปริมาณโลหะหนักซึ่งเป็นไปได้ยากในการศึกษาจากปูนเม็ดที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงเนื่องจากไม่สามารถ

ควบคุมปริมาณของโลหะหนักชนิดใดชนิดหนึ่งให้มีปริมาณคงที่และโลหะหนักชนิดที่สนใจให้มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติมความเข้มข้นของโลหะหนักที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการในขณะเตรียมซีเมนต์เพสต์ โดยผลที่ได้อาจแตกต่างกันเนื่องจากกระบวนการผลิตปูนเม็ดนั้นมีการให้ความร้อนที่สูง

3. ควรมีการจำลองเตาเผาปูนซีเมนต์ขนาดเล็กขึ้นมาใช้งาน เพื่อที่จะสามารถควบคุมการเติมวัตถุดิบและเชื้อเพลิงทดแทนในปริมาณที่ต้องการได้ อีกทั้งสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตได้

4. ในขั้นตอนการลดขนาดปูนเม็ดสำหรับใช้ในการทดสอบการชะละลายนั้นใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการซึ่งทำให้ขนาดของอนุภาคของปูนซีเมนต์ที่ได้มีความแตกต่างจากของจริงซึ่งอาจมีผลต่อการชะละลายของโลหะหนักบางชนิด

5. ในการศึกษาไม่สามารถสรุปได้ว่าธาตุที่เกิดการหมดไป (depletion) ในตอนหลังการทดสอบการชะละลายเกิดจากการที่ธาตุนั้นๆไม่ชะละลายออกมาแล้วหรือเกิดการตกตะกอนร่วมกับ CaCO_3 เนื่องจากในการทดสอบด้วยเครื่อง XRD ไม่ปรากฏสารประกอบของโลหะหนักอื่นๆเนื่องจากปริมาณของ CaCO_3 ที่มากซึ่งสามารถบดจนการมองเห็นของสารประกอบอื่นๆได้

6. อาจมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อการชะละลายของธาตุต่างๆ พร้อมกัน ซึ่งยากต่อการพิจารณาว่า สาเหตุที่โลหะหนักเกิดการชะละลายออกมา มาก หรือ น้อย นั้นมีผลมาจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเป็นสำคัญ หรือเกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน

7. สำหรับการวิจัยในขั้นต่อไปควรมีการเก็บตัวอย่างจากการใช้งานจริงเพื่อศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ชะละลายออกมาจากการใช้งานจริงในระยะยาวเนื่องจากมีการเก็บกักและการเปลี่ยนน้ำที่แตกต่างจากการทดลอง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การประสานครหลวง. 2547. มาตรฐานคุณภาพน้ำ [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา :

<http://www.mwa.co.th/standard.html> [9 เมษายน 2550]

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2540. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ผลิตภัณท์และวัสดุก่อสร้าง (ซีแพค).

วินิต ช่อวิเชียร. 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 9. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

หวังแก้ว บุญสวน. 2542. การปรับปรุงคุณภาพของปูนก่อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.diw.go.th/editwebdesign/html/versionthai/laws/27.pdf>

[27 เมษายน 2549]

ภาษาอังกฤษ

Achterbosch, M., Brautigam, K. R., Hartlieb, N., Kupsch, C., Richers, U., and

Stemmermann, P. 2003. Heavy Metals in Cement and Concrete resulting from the co-incineration of Wastes in Cement Kilns with Regard to the Legitimacy of Waste Utilisation. ITAS-Project.

Andrade, F. R. D., Maringolo, V., and Kihara, Y. 2003. Incorporation of V, Zn and Pb into the crystalline phases of Portland clinker. Cement and Concrete Research. 33: 63-71

Arjunan, P., Silsbee, M. R., and Roy, D. 1999. Sulfoaluminate-belite Cement from Low-calcium Fly Ash and Sulfur-rich and other Industrial By-products. Cement and Concrete Research. 29: 1305-1311.

Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 1995. ToxFAQs™ for

Boron [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts26.pdf> [2007, April 9]

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 1995. ToxFAQs™ for Vanadium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts58.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 1999. ToxFAQs™ for Cadmium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts5.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 1999. ToxFAQs™ for Mercury [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2001. ToxFAQs™ for Chromium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts7.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2001. ToxFAQs™ for Manganese [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts151.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2002. ToxFAQs™ for Beryllium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts4.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2003. ToxFAQs™ for Selenium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts92.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2004. ToxFAQs™ for Copper [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2004. ToxFAQs™ for Strontium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts159.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2005. ToxFAQs™ for Arsenic [Online]. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts2.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2005. ToxFAQs™ for Barium [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts24.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2005. ToxFAQs™ for Lead [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts13.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2006. ToxFAQs™ for Aluminum [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts22.pdf> [2007, April 9]
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2006. ToxFAQs™ for Zinc [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts60.pdf> [2007, April 9]

- Barna, R., Sanchez, F., Moszkowicz, P., and Méhu, J. 1997. Leaching behavior of pollutants in stabilized / solidified wastes. Journal of Hazardous Materials. 52: 287-310.
- Benjamin, M. M. 2002. Water Chemistry. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Washington. Chapter 8.
- Camp, C. (n.d.). Hydration of Portland Cement [Online]. Available from: http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/everything%20about%20concrete/4_-_hydration.html [November 29, 2004]
- Comans, R. N. J., Meima, J. A., and Geelhoed, P. A. 2000. Reduction of contaminant leaching MSWI bottom ash by addition of sorbing components. Waste Management. 20: 125-133.
- Duntre, V., and Vandecasteele, C. 1997. An evaluation of the solidification/stabilization of industrial arsenic containing waste using extraction and semi-dynamic leach tests. Waste Management. 16: 625-631
- Environment Agency (EA). 2004. Leaching characteristic of moulded or monolithic building and wastes materials. Determination of leaching of inorganic components with the diffusion test. NEN 7375. Based on a translation of the Netherlands Normalisation Institute Standard (NNI). pp. 1-32.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1989. Method 1320. Multiple extraction procedure. 1-2.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1995. Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. 1-20.
- Environmental Toxicology International, Inc. (ETI). 1992. All Fired Up Burning Hazardous Waste in Cement Kilns. ETI, Seattle, WA.
- Hartwell, S. W., and Calovini, F. 1999. Overview of current leaching approaches [Online]. Available from: <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/hartwell1.pdf> and <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/current.pdf> [December 12, 2006]
- Hughes, T. L., Methven, C. M., Jones, T. G. J., Pelham, S. E., Fletcher, P., and Hall, S. 1995. Determining Cement Composition By Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Advn Cem Bas Mat. 2: 91-104.

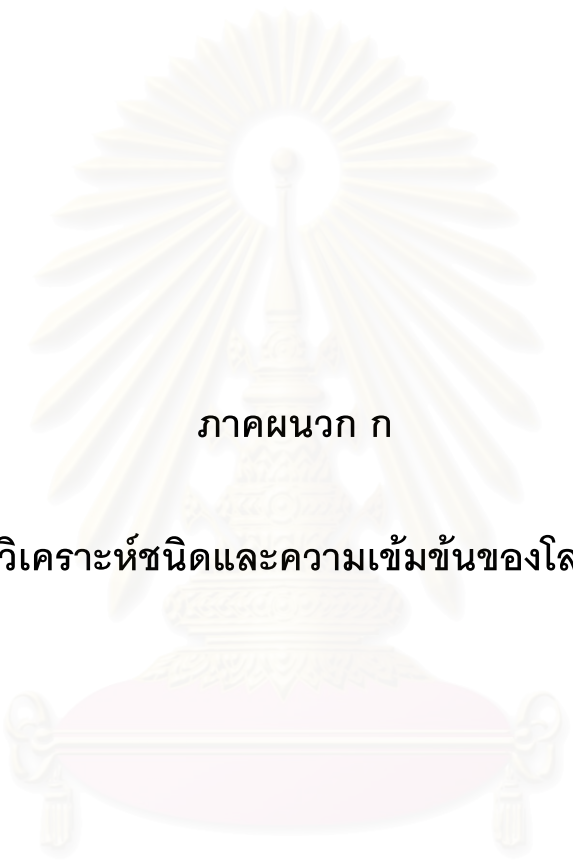
- Kylefors, K., Andreas, L., and Lagerkvist, A. 2003. A comparison of small-scale, pilot-scale and large-scale tests for predicting leaching behaviour of landfilled wastes. Waste Management. 23: 45-59.
- Meima, J. A., Weijden, R. D. v. d., Eighmy, T. T., and Comans, R. N. J. 2002. Carbonation processes in municipal solid waste incinerator bottom ash and their effect on the leaching of copper and molybdenum. Applied Geochemistry. 17: 1503-1513.
- Mollah, M. Y. A., Weng, Y., Robert, S., and David, L. C. 2000. A Fourier Transform Infrared Spectroscopic Investigation of the early hydration of Portland cement and the Influence of sodium lignosulfonate. Cement and Concrete Research. 30: 267-273.
- Monshi, A., and Asgarani, M. K. 1999. Producing Portland cement from iron and steel slags and limestone. Cement and Concrete Research. 29: 1373-1377.
- Moszkowicz, P., Sanchez, F., Barna, R., and Mehu, J. 1998. Pollutants leaching behaviour from solidified wastes: a selection of adapted various models. Talanta. 46: 375-383
- Nakamoto, K. 1986. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. Marquette University.
- Qiao, X. C., Poon, C. S., and Cheeseman, C. R. 2006. Transfer mechanisms of contaminants in cement-based stabilized/solidified wastes. Journal of Hazardous Materials. B129: 290-296.
- Ract, P.G., Espinosa, D.C.R., and Tenorio, J.A.S. 2003. Determination of Cu and Ni incorporation ratios in Portland cement clinker. Waste Management. 23: 281-285
- Rinehart, T. L., Schulze, D. G., Bricka, R. M., Bajt, S. and Blatchley III, E. R. 1997. Chromium leaching vs. oxidation state for a contaminated solidified/stabilized soil. Journal of Hazardous Materials. 52: 213-221.
- Schiessl, P., and Hohberg, I. 1997. Construction materials. In H. A. van der Sloot, L. Heasman, and P. Quevauviller (eds.), Harmonization of Leaching / Extraction Tests, pp. 187-208. Netherlands: Elsevier Science B. V.
- Shih, P.H., Chang, J.E., and Chiang L.C. 2003. Replacement of raw mix in cement production by municipal solid waste incineration ash. Cement and Concrete Research. 33: 1831-1836.

- Siam City Cement Public Company Limited. 2005. Environmental Care. Environmental Initiatives [Online]. Available from: <http://www.siamcitycement.com> [2005, June 12]
- Singh, M., Upadhayay, S. N., and Prasad, P. M. 1996. Preparation of special cements from red mud. Waste Management. 16: 665-670.
- Singh, M., and Garg, M. 2000. Cementitious binder from fly ash and other industrial wastes. Cement and Concrete Research. 29: 309-314.
- Spence, R. D. 1993. Chemistry and Microstructure of Solidified Waste Forms. ACS National Meeting. New York City.
- Stephan, D., Maleki, H., Knofel, D., Eber, B., and Hardtl, R. 1998. Influence of Cr Ni and Zn on the properties of pure clinker phases Part 1. C_3S . Cement and Concrete Research. 29: 545-552.
- Todorovic, J., and Ecke, H. 2004. Diffusion tests for assessment of mobility of inorganic contaminants from solidified incineration residues – Literature review. Division of Waste Science & Tecnology. Luleå University of Technology. Luleå. Sweden.
- Trezza, M.A., and Scian, A.N. 2000. Burning wastes as an industrial resource: Their effect on Portland cement clinker. Cement and Concrete Research. 30: 137-144.
- van der Sloot, H. A., Comans, R. N. J., and Hjelmar, O. 1996. Similarities in the leaching behaviour of trace contaminants from waste, stabilized waste, construction materials and soils. The Science of the Total Environment. 178 : 111-126.
- van der Sloot, H. A., Heasman, L., and Quevauviller, P. 1997. Harmonization of Leaching/Extraction Tests. Netherlands: Elsevier Science B. V.
- van der Sloot, H. A., and Dijkstra, J. J. 2004. Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: A material based or release based approach? Identical leaching mechanisms for different materials. ECN Clean Fossil Fuels. ECN-C-04-060



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆในปูนเม็ด จำนวน 30 ตัวอย่าง

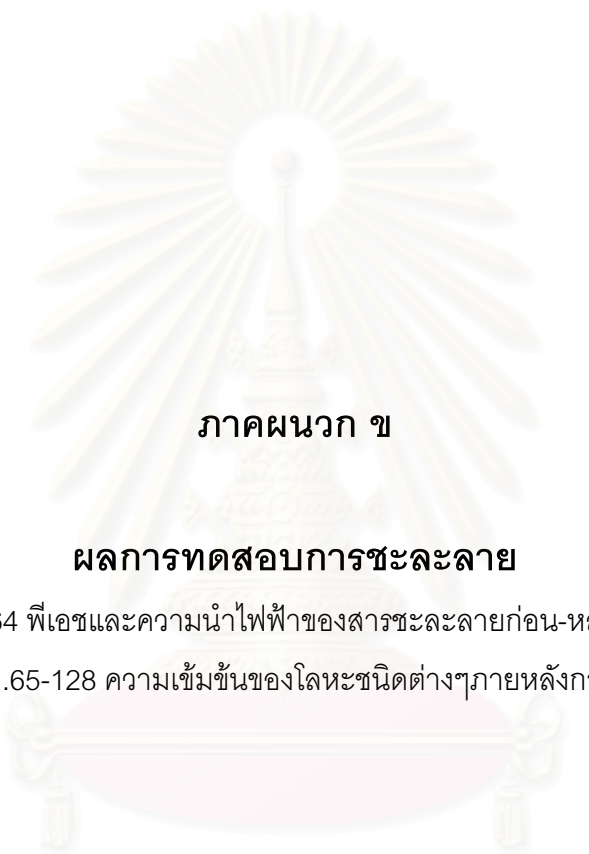
วันที่ เก็บตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆในปูนเม็ด																		
	Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Tl	V	Zn
	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
14/09/47	0.050	<0.090	103.759	<0.001	<0.010	2.341	48.081	17.741	2424.755	<0.040	<0.004	421.840	15.930	<0.110	<0.102	171.527	<0.247	75.074	38.296
16/09/47	0.087	<0.090	89.928	<0.001	<0.010	4.662	45.353	15.948	5914.734	<0.040	<0.004	399.154	14.915	<0.110	<0.102	181.107	<0.247	75.957	35.182
21/09/47	0.000	<0.090	117.682	<0.001	<0.010	5.777	38.051	13.463	8863.930	<0.040	<0.004	416.945	26.556	<0.110	<0.102	183.167	<0.247	67.836	33.239
23/09/47	0.082	<0.090	106.198	<0.001	<0.010	7.769	41.461	12.075	12654.350	<0.040	<0.004	418.161	30.369	<0.110	<0.102	178.215	<0.247	71.496	33.057
27/09/47	0.089	<0.090	113.772	<0.001	<0.010	5.393	41.305	11.699	13425.364	<0.040	<0.004	324.745	36.670	<0.110	<0.102	185.867	<0.247	71.304	34.165
30/09/47	0.036	<0.090	135.931	<0.001	<0.010	5.558	38.311	10.487	13986.664	<0.040	<0.004	332.021	38.093	<0.110	<0.102	191.327	<0.247	69.213	36.200
20/10/47	0.001	<0.090	123.714	<0.001	<0.010	4.913	31.991	11.052	10762.326	<0.040	<0.004	334.101	34.960	<0.110	<0.102	189.602	<0.247	57.956	33.142
21/10/47	0.000	<0.090	119.176	<0.001	<0.010	5.323	32.545	12.954	12036.083	<0.040	<0.004	324.276	38.099	<0.110	<0.102	193.764	<0.247	58.315	70.463
22/10/47	0.001	<0.090	123.336	<0.001	<0.010	6.259	29.153	98.525	12013.421	<0.040	<0.004	315.172	35.741	17.047	<0.102	183.500	<0.247	51.542	122.170
23/10/47	0.062	<0.090	124.761	<0.001	<0.010	5.513	30.467	86.528	10676.307	<0.040	<0.004	325.455	31.048	12.186	<0.102	187.336	<0.247	44.441	135.453
24/10/47	0.037	<0.090	123.821	<0.001	<0.010	4.903	30.031	89.060	9955.648	<0.040	<0.004	349.014	31.521	12.824	<0.102	185.064	<0.247	41.892	146.250
25/10/47	0.019	<0.090	129.168	<0.001	<0.010	5.500	29.296	95.085	9872.025	<0.040	<0.004	350.263	31.236	13.362	<0.102	179.424	<0.247	40.356	146.366
26/10/47	0.055	<0.090	135.731	<0.001	<0.010	5.291	32.177	66.183	9597.753	<0.040	<0.004	411.040	33.272	6.154	<0.102	181.212	<0.247	44.753	107.212
06/01/48	< 0.0023	<0.090	143.955	<0.001	<0.010	11.427	38.148	14.623	18097.141	<0.040	<0.004	462.164	30.534	<0.110	18.308	238.882	<0.247	84.518	47.082
08/01/48	< 0.0023	<0.090	137.741	<0.001	<0.010	11.027	37.329	10.461	18145.763	<0.040	<0.004	440.536	24.118	<0.110	20.564	247.538	<0.247	74.904	41.241

หมายเหตุ: ช่องสีเข้มคือตัวอย่างที่นำไปทดสอบการชะละลายต่อ

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆในปูนเม็ด จำนวน 30 ตัวอย่าง

วันที่ เก็บตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆในปูนเม็ด																		
	Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Tl	V	Zn
	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
10/01/48	< 0.0023	<0.090	133.619	<0.001	<0.010	11.240	37.402	10.789	17516.930	<0.040	<0.004	466.612	29.105	<0.110	18.324	250.823	<0.247	80.642	41.539
12/01/48	< 0.0023	<0.090	137.515	<0.001	<0.010	11.797	43.206	11.855	18381.474	<0.040	<0.004	495.988	28.554	<0.110	15.298	261.868	<0.247	82.575	42.167
16/01/48	< 0.0023	<0.090	131.671	<0.001	<0.010	10.695	40.864	15.401	17351.372	<0.040	<0.004	501.627	26.728	<0.110	22.338	258.098	<0.247	80.434	51.625
18/01/48	< 0.0023	<0.090	127.717	<0.001	<0.010	10.352	38.341	11.821	17093.762	<0.040	<0.004	449.070	27.152	<0.110	23.164	247.959	<0.247	79.774	51.465
20/01/48	< 0.0023	<0.090	131.329	<0.001	<0.010	10.378	62.802	10.739	16832.619	<0.040	<0.004	424.091	26.936	<0.110	19.214	242.536	<0.247	77.250	45.810
22/01/48	< 0.0023	<0.090	150.491	<0.001	<0.010	10.542	88.398	11.370	17458.871	<0.040	<0.004	453.206	29.717	<0.110	18.436	252.979	<0.247	80.571	42.166
24/01/48	< 0.0023	<0.090	141.600	<0.001	<0.010	10.692	73.363	10.594	17252.332	<0.040	<0.004	466.676	26.561	<0.110	21.380	248.551	<0.247	77.250	40.974
26/01/48	< 0.0023	<0.090	118.696	<0.001	<0.010	12.014	53.695	10.549	18979.683	<0.040	<0.004	452.370	17.265	<0.110	14.816	151.215	<0.247	70.970	45.270
28/01/48	< 0.0023	<0.090	143.024	<0.001	<0.010	12.507	61.209	10.166	20038.227	<0.040	<0.004	485.983	31.329	<0.110	13.658	244.199	<0.247	87.239	49.736
30/01/48	< 0.0023	<0.090	151.304	<0.001	<0.010	11.928	56.220	10.040	19908.024	<0.040	<0.004	469.302	30.079	<0.110	14.960	281.094	<0.247	87.503	55.289
01/02/48	< 0.0023	<0.090	142.933	<0.001	<0.010	10.595	46.889	9.585	17801.168	<0.040	<0.004	470.109	27.962	<0.110	20.862	281.188	<0.247	85.849	41.936
03/02/48	< 0.0023	<0.090	117.603	<0.001	2.802	13.810	44.603	202.334	24044.727	<0.040	<0.004	480.598	22.859	31.975	11.516	160.094	<0.247	60.956	297.372
05/02/48	< 0.0023	<0.090	101.687	<0.001	2.702	12.989	41.015	266.626	23709.280	<0.040	<0.004	384.380	<0.040	46.879	9.853	126.287	<0.247	53.696	323.216
07/02/48	< 0.0023	<0.090	116.890	<0.001	<0.010	13.196	34.864	274.120	23831.049	<0.040	<0.004	388.851	21.953	44.420	12.399	258.966	<0.247	40.109	342.353
09/02/48	< 0.0023	<0.090	154.991	<0.001	<0.010	10.235	56.925	35.147	17975.673	<0.040	<0.004	422.971	27.238	<0.110	16.516	254.411	<0.247	80.849	70.201

หมายเหตุ: ช่องสีเข้มคือตัวอย่างที่นำไปทดสอบการชะละลายต่อ



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการชะละลาย

(ตารางที่ ข.1-64 พีเอชและความนำไฟฟ้าของสารชะละลายก่อน-หลังการทดสอบ)

(ตารางที่ ข.65-128 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังการทดสอบ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.22	0.9	24.4	0.0	
น้ำประปา	7.20	265	24.7	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	495	24.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	517	24.5	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.64	1,926	24.0	1.0
	20	11.35	809	24.5	0.4
	30	11.32	718	24.5	0.3
	40	11.15	443	24.6	0.2
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.60	1,487	23.9	0.7
	20	11.03	566	24.4	0.3
	30	10.62	409	24.4	0.2
	40	10.59	397	24.6	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.71	1,807	24.0	0.9
	20	11.20	626	24.3	0.3
	30	11.01	500	24.4	0.2
	40	10.74	340	24.6	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.72	2,030	24.0	1.0
	20	11.21	726	24.2	0.3
	30	11.05	503	24.5	0.2
	40	10.91	402	24.6	0.2

ตารางที่ ข.2 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์เพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.22	0.9	24.4	0.0	
น้ำประปา	7.20	265	24.7	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	519	24.2	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	505	24.0	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.87	2,460	25.5	1.3
	20	11.45	1,048	26.2	0.5
	30	11.35	803	26.3	0.4
	40	11.23	561	26.4	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.76	2,100	26.5	1.1
	20	11.19	727	26.3	0.4
	30	10.89	462	26.4	0.2
	40	10.72	394	26.5	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.85	2,460	25.6	1.3
	20	11.47	979	26.1	0.5
	30	11.17	613	26.4	0.3
	40	11.01	451	26.4	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.74	2,080	25.6	1.1
	20	11.47	941	26.1	0.5
	30	11.30	635	26.3	0.3
	40	11.10	464	26.4	0.2

ตารางที่ ข.3 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์เพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		7.65	0.9	25.7	0.0
น้ำประปา		7.20	2.7	25.6	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		2.99	509	23.3	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.00	512	24.0	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.23	3,280	23.4	1.7
	20	11.66	1,403	23.9	0.7
	30	11.43	1,066	24.3	0.5
	40	11.33	755	24.5	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.05	2,990	23.4	1.5
	20	11.55	1,129	24.1	0.6
	30	11.36	736	24.5	0.4
	40	11.14	565	24.7	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.15	3,340	23.4	1.7
	20	11.57	1,353	24.2	0.7
	30	11.39	900	24.5	0.4
	40	11.29	712	24.6	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.79	2,180	23.4	1.1
	20	11.42	1,063	23.9	0.5
	30	11.35	847	24.3	0.4
	40	11.28	653	24.4	0.3

ตารางที่ ข.4 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์เพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.76	0.9	26.2	0.0	
น้ำประปา	7.43	272	25.6	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	576	25.3	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	558	24.7	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.11	3,380	25.1	1.8
	20	11.66	1,493	25.6	0.7
	30	11.48	1,122	25.8	0.6
	40	11.34	813	25.7	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.02	3,230	25.4	1.7
	20	11.60	1,238	25.9	0.6
	30	11.42	820	26.1	0.4
	40	11.24	616	25.9	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.08	3,460	25.5	1.8
	20	11.63	1,450	26.0	0.7
	30	11.49	997	26.1	0.5
	40	11.33	726	26.1	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.59	1,680	25.4	0.8
	20	11.44	1,019	25.8	0.5
	30	11.31	835	25.8	0.4
	40	11.28	672	25.8	0.3

ตารางที่ ข.5 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.20	1.6	26.6	0.0	
น้ำประปา	7.32	272	27.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	556	25.4	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	546	25.4	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังกการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.49	4,150	23.5	2.2
	20	11.91	1,868	24.3	0.9
	30	11.76	1,453	24.8	0.7
	40	11.64	1,021	24.7	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.47	4,410	24.1	2.3
	20	11.99	1,710	24.9	0.9
	30	11.78	1,122	25.3	0.6
	40	11.64	842	25.2	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.51	4,640	24.1	2.5
	20	11.99	1,925	25.0	1.0
	30	11.74	1,310	25.7	0.6
	40	11.65	973	25.4	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.51	1,000	24.0	0.5
	20	11.54	928	24.6	0.5
	30	11.41	814	25.2	0.4
	40	11.40	694	25.1	0.3

ตารางที่ ข.6 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังจากทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	อุณหภูมิ (Temperature)	ความเค็ม (Salinity)	
	-	μS	°C	%	
น้ำปราศจากไอออน	6.05	0.7	25.9	0.0	
น้ำประปา	7.36	252	26.1	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	526	25.3	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	556	25.3	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังจากการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio)	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	อุณหภูมิ (Temperature)	ความเค็ม (Salinity)
	cm/cm	-	μS	°C	%
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.21	4,410	23.8	2.3
	20	11.88	2,040	24.1	1.0
	30	11.78	1,620	24.3	0.8
	40	11.64	1,112	24.3	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.17	4,370	23.9	2.3
	20	11.77	1,780	24.2	0.9
	30	11.55	1,174	24.4	0.6
	40	11.42	939	24.3	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.18	4,620	24.0	2.5
	20	11.87	2,030	24.3	1.0
	30	11.73	1,456	24.4	0.7
	40	11.58	1,085	24.4	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.06	475	24.0	0.2
	20	11.04	398	24.3	0.2
	30	11.14	447	24.3	0.2
	40	11.14	458	24.3	0.2

ตารางที่ ข.7 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		7.63	1.0	24.5	0.0
น้ำประปา		7.56	202	24.7	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.00	497	23.5	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.01	479	24.0	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.34	3,240	25.3	1.7
	20	12.00	1,540	25.5	0.8
	30	12.03	1,720	25.7	0.9
	40	11.70	894	25.7	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.28	3,170	25.5	1.7
	20	11.84	1,215	26.2	0.6
	30	11.69	903	26.6	0.4
	40	11.58	723	26.6	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.43	3,980	26.0	2.1
	20	11.95	1,505	26.4	0.8
	30	11.88	1,287	26.4	0.6
	40	11.62	905	26.4	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.53	251	25.9	0.1
	20	9.67	151	26.4	0.1
	30	9.99	140	26.5	0.1
	40	10.15	141	26.2	0.1

ตารางที่ ข.8 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.31	0.8	26.2	0.0	
น้ำประปา	7.83	218	26.0	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	421	25.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	420	25.3	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.55	1,224	28.1	0.6
	20	11.63	1,343	27.7	0.7
	30	11.59	1,231	27.5	0.6
	40	11.50	1,006	27.9	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.57	1,470	28.2	0.7
	20	11.45	1,109	27.8	0.5
	30	11.32	852	27.6	0.4
	40	11.25	766	27.7	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.76	2,010	29.7	1.0
	20	11.65	1,535	29.4	0.8
	30	11.57	1,222	29.1	0.6
	40	11.50	1,110	29.2	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.34	327	29.4	0.2
	20	9.36	173	29.1	0.1
	30	8.90	136	28.9	0.1
	40	9.61	129	28.9	0.1

ตารางที่ ข.9 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.30	1.5	23.9	0.0	
น้ำประปา	7.44	334	23.9	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	441	24.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	464	24.2	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.85	2,140	24.7	1.1
	20	11.51	893	25.1	0.4
	30	11.36	634	25.4	0.3
	40	11.25	504	25.8	0.2
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.88	2,190	24.9	1.1
	20	11.21	788	24.9	0.4
	30	10.68	536	25.1	0.3
	40	10.55	474	25.7	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.79	1,827	25.0	0.9
	20	11.39	790	25.1	0.4
	30	11.15	514	25.1	0.2
	40	11.09	480	25.3	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.73	1,664	24.3	0.8
	20	11.36	788	24.7	0.4
	30	11.13	495	24.7	0.2
	40	10.93	370	25.1	0.2

ตารางที่ ข.10 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน		8.3	1.1	23.5	0.0
น้ำประปา		7.39	337	23.2	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3	459	23.8	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3	471	23.6	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.99	2,510	24.6	1.3
	20	11.66	1,116	25.6	0.5
	30	11.52	794	25.9	0.4
	40	11.37	612	26.3	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.92	2,310	24.5	1.2
	20	11.42	881	25.4	0.4
	30	11.05	574	25.7	0.3
	40	10.83	482	26.0	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.92	2,340	24.5	1.2
	20	11.58	1,019	25.3	0.5
	30	11.32	641	25.8	0.3
	40	11.25	570	26.2	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.86	1,962	24.7	1.0
	20	11.55	947	25.2	0.5
	30	11.30	646	25.7	0.3
	40	11.18	507	26.2	0.2

ตารางที่ ข.11 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	5.88	3.5	24.2	0.0	
น้ำประปา	7.26	334	26.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	438	24.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	472	24.4	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.07	2,920	26.4	1.5
	20	11.78	1,382	27.2	0.7
	30	11.60	905	27.3	0.4
	40	11.54	773	27.4	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.00	2,860	26.2	1.5
	20	11.54	1,097	27.1	0.5
	30	11.27	714	27.4	0.3
	40	11.15	602	26.7	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.04	2,750	25.0	1.4
	20	11.66	1,275	26.1	0.6
	30	11.46	814	26.4	0.4
	40	11.40	714	26.5	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.86	1,677	25.3	0.8
	20	11.58	965	26.4	0.5
	30	11.46	758	26.6	0.4
	40	11.39	670	26.8	0.3

ตารางที่ ข.12 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.68	5.5	24.5	0.0	
น้ำประปา	7.52	345	23.8	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	447	24.9	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	446	25.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.06	2,870	25.1	1.5
	20	11.66	1,351	26.0	0.7
	30	11.54	1,005	26.4	0.5
	40	11.49	759	26.0	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.03	2,900	24.4	1.5
	20	11.54	1,201	25.9	0.6
	30	11.27	971	26.4	0.4
	40	11.13	660	26.2	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.08	2,930	24.6	1.5
	20	11.68	1,285	25.4	0.6
	30	11.42	866	25.8	0.4
	40	11.34	750	25.2	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.77	1,534	24.5	0.8
	20	11.42	795	25.0	0.4
	30	11.35	644	25.6	0.3
	40	11.30	584	25.6	0.3

ตารางที่ ข.13 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		8.25	1.6	24.0	0.0
น้ำประปา		7.30	312	23.8	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.01	394	24.3	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.01	397	24.6	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.28	4,700	22.7	2.5
	20	11.87	1,985	24.0	1.0
	30	11.71	1,433	24.1	0.7
	40	11.60	1,133	23.9	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.16	4,540	22.9	2.4
	20	11.71	1,910	23.6	1.0
	30	11.46	1,222	24.0	0.6
	40	11.37	934	23.7	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.12	4,380	25.1	2.3
	20	11.73	1,956	26.2	1.0
	30	11.57	1,394	26.1	0.7
	40	11.48	1,098	25.9	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.46	1,052	25.0	0.5
	20	11.28	705	25.9	0.3
	30	11.25	711	25.8	0.3
	40	11.19	601	25.9	0.3

ตารางที่ ข.14 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.41	2.8	24.5	0.0	
น้ำประปา	7.20	315	22.9	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	436	22.9	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	450	22.9	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.22	4,780	23.6	2.5
	20	11.84	2,040	24.5	1.0
	30	11.67	1,440	25.4	0.7
	40	11.40	1,086	25.1	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.17	4,600	23.4	2.4
	20	11.78	1,919	24.6	1.0
	30	11.52	1,178	25.2	0.6
	40	11.38	866	25.0	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.22	4,830	23.6	2.6
	20	11.84	2,030	24.9	1.0
	30	11.63	1,334	24.9	0.7
	40	11.53	1,100	25.0	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	10.38	286	23.7	0.1
	20	10.91	350	24.7	0.2
	30	10.90	384	25.0	0.2
	40	10.80	297	24.9	0.1

ตารางที่ ข.15 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		7.92	0.7	23.8	0.0
น้ำประปา		7.30	273	23.7	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.00	582	24.5	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.00	581	24.6	0.3
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.34	4,520	22.9	2.4
	20	11.98	1,958	23.2	1.0
	30	11.82	1,473	23.2	0.7
	40	11.73	1,204	23.2	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.30	3,970	23.3	2.1
	20	11.90	1,792	23.6	0.9
	30	11.61	933	23.5	0.5
	40	11.60	938	23.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.35	4,300	23.4	2.3
	20	11.95	1,812	23.7	0.9
	30	11.69	1,067	23.8	0.5
	40	11.74	1,165	23.8	0.6
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.35	276	23.7	0.1
	20	9.63	184	23.7	0.1
	30	9.86	153	23.8	0.1
	40	9.98	159	23.9	0.1

ตารางที่ ข.16 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.59	0.5	23.3	0.0	
น้ำประปา	7.29	212	23.1	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	430	23.8	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.99	439	24.0	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.19	2,270	26.2	1.2
	20	11.94	1,311	28.9	0.7
	30	11.93	1,262	29.2	0.6
	40	11.87	1,118	29.4	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.23	2,270	28.1	1.2
	20	11.90	1,223	28.0	0.6
	30	11.72	1,015	28.0	0.5
	40	11.66	927	28.1	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.15	2,220	28.1	1.1
	20	11.99	1,527	28.2	0.8
	30	11.82	1,071	28.2	0.5
	40	11.79	1,089	28.2	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.92	277	28.2	0.1
	20	9.52	182	28.2	0.1
	30	9.78	146	28.2	0.1
	40	9.81	136	28.2	0.1

ตารางที่ ข.17 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	5.79	1.3	24.6	0.0	
น้ำประปา	7.33	271	25.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	359	25.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	358	25.6	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.81	2,050	25.4	1.0
	20	11.44	886	25.5	0.4
	30	11.27	578	25.6	0.3
	40	11.19	429	25.6	0.2
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.81	1,687	25.3	0.8
	20	11.20	649	25.4	0.3
	30	10.84	455	25.5	0.2
	40	10.57	388	25.6	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.85	1,832	25.3	0.9
	20	11.57	901	25.4	0.4
	30	11.18	483	25.6	0.2
	40	10.97	333	25.6	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.79	1,836	25.3	0.9
	20	11.37	746	25.4	0.4
	30	11.13	473	25.5	0.2
	40	11.02	373	25.5	0.2

ตารางที่ ข.18 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		5.79	1.3	24.6	0.0
น้ำประปา		7.33	271	25.3	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.00	482	23.5	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.00	482	23.8	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.25	2,510	27.4	1.3
	20	11.83	1,065	27.9	0.5
	30	11.62	729	28.1	0.4
	40	11.49	525	28.1	0.2
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.01	2,330	27.4	1.2
	20	11.37	765	27.9	0.4
	30	11.06	474	28.1	0.2
	40	10.82	392	28.1	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.19	2,360	27.1	1.2
	20	11.68	970	27.4	0.5
	30	11.41	595	28.0	0.3
	40	11.16	413	28.0	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.10	2,060	26.6	1.0
	20	11.68	886	27.3	0.4
	30	11.39	585	27.5	0.3
	40	11.16	400	27.7	0.2

ตารางที่ ข.19 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		7.61	0.9	27.2	0.0
น้ำประปา		7.55	254	27.1	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.01	509	23.4	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.00	524	23.7	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.44	3,150	23.3	1.6
	20	11.84	1,360	24.4	0.7
	30	11.74	856	24.7	0.4
	40	11.65	663	23.9	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.32	3,040	23.3	1.6
	20	11.75	1,155	25.1	0.6
	30	11.47	710	25.1	0.3
	40	11.21	512	24.3	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.38	3,160	23.4	1.6
	20	11.96	1,295	24.9	0.6
	30	11.69	772	24.8	0.4
	40	11.46	565	24.6	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.07	1,824	23.5	0.9
	20	11.72	966	24.8	0.5
	30	11.55	701	25.1	0.3
	40	11.41	530	24.7	0.3

ตารางที่ ข.20 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.49	0.5	23.5	0.0	
น้ำประปา	7.32	236	24.0	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	488	24.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	494	24.7	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.46	3,770	24.8	2.0
	20	12.03	1,596	25.4	0.8
	30	11.83	1,080	25.9	0.5
	40	11.70	812	26.0	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.38	3,540	25.2	1.9
	20	11.91	1,474	26.0	0.7
	30	11.59	920	26.0	0.4
	40	11.40	678	26.2	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.48	3,680	25.3	1.9
	20	11.97	1,567	26.4	0.8
	30	11.77	986	26.6	0.5
	40	11.59	712	26.4	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.92	1,473	24.8	0.7
	20	11.73	1,017	25.7	0.5
	30	11.59	734	26.0	0.4
	40	11.49	605	26.0	0.3

ตารางที่ ข.21 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.60	0.8	25.5	0.0	
น้ำประปา	7.36	233	25.4	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	518	26.0	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	406	26.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.20	4,540	24.8	2.4
	20	11.85	2,040	25.5	1.0
	30	11.68	1,325	25.6	0.7
	40	11.58	1,008	25.4	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.13	4,380	24.6	2.3
	20	11.81	1,980	25.4	1.0
	30	11.63	1,256	25.7	0.6
	40	11.44	961	25.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.20	4,340	24.2	2.3
	20	11.85	2,070	25.0	1.0
	30	11.62	1,322	25.6	0.7
	40	11.48	982	25.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.59	1,186	23.9	0.6
	20	11.78	1,603	24.4	0.8
	30	11.31	677	24.9	0.3
	40	11.18	550	24.9	0.3

ตารางที่ ข.22 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	5.92	0.9	24.2	0.0	
น้ำประปา	7.63	198	24.4	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	374	24.7	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	369	25.0	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.17	4,740	25.2	2.5
	20	11.89	2,220	25.3	1.1
	30	11.70	1,461	25.4	0.7
	40	11.58	1,100	25.4	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.13	4,700	25.2	2.5
	20	11.83	2,160	25.4	1.1
	30	11.62	1,323	25.5	0.7
	40	11.55	1,075	25.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.20	4,780	25.4	2.6
	20	11.87	2,270	25.5	1.2
	30	11.69	1,477	25.6	0.7
	40	11.53	1,100	25.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	10.54	430	25.5	0.2
	20	10.60	233	25.6	0.1
	30	10.99	352	25.6	0.2
	40	11.16	451	25.6	0.2

ตารางที่ ข.23 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.25	0.52	25.4	0.0	
น้ำประปา	7.71	201	25.5	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	487	24.5	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	467	24.2	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.51	4,690	23.2	2.5
	20	12.11	1,983	23.5	1.0
	30	11.88	1,241	23.8	0.6
	40	11.67	941	23.6	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.42	4,670	23.4	2.5
	20	11.98	1,959	23.7	1.0
	30	11.67	1,088	23.7	0.5
	40	11.49	945	23.7	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.47	4,860	23.5	2.6
	20	12.10	2,150	23.8	1.1
	30	11.86	1,280	23.9	0.6
	40	11.79	989	23.8	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.89	353	23.2	0.2
	20	9.71	179	23.4	0.1
	30	9.61	147	23.7	0.1
	40	10.06	147	23.4	0.1

ตารางที่ ข.24 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		6.90	0.9	23.2	0.0
น้ำประปา		7.58	226	23.3	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.00	390	24.7	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.01	378	24.3	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.00	2,440	26.0	1.2
	20	11.83	1,625	26.3	0.8
	30	11.69	1,114	26.4	0.5
	40	11.58	910	26.5	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.94	2,280	25.8	1.2
	20	11.79	1,577	26.2	0.8
	30	11.60	1,038	26.3	0.5
	40	11.49	870	26.3	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.01	2,460	26.0	1.3
	20	11.85	1,738	26.0	0.9
	30	11.72	1,233	25.4	0.6
	40	11.57	873	25.2	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.35	398	25.8	0.2
	20	9.74	181	26.0	0.1
	30	9.69	155	25.9	0.1
	40	9.73	136	25.3	0.1

ตารางที่ ข.25 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.30	0.6	25.0	0.0	
น้ำประปา	7.34	308	24.4	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	593	25.4	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	573	25.5	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.63	1,928	26.2	1.0
	20	11.29	882	26.8	0.4
	30	11.18	677	27.9	0.3
	40	11.12	591	28.1	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.46	1,621	26.6	0.8
	20	10.84	675	27.5	0.3
	30	10.60	534	28.4	0.3
	40	10.35	467	28.9	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.38	1,236	26.2	0.6
	20	11.12	724	26.7	0.3
	30	10.91	513	27.4	0.2
	40	10.63	356	27.4	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.46	1,345	25.7	0.7
	20	11.11	673	26.4	0.3
	30	10.94	506	27.1	0.2
	40	10.84	460	26.9	0.2

ตารางที่ ข.26 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.30	0.9	25.0	0.0	
น้ำประปา	7.19	340	25.7	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	491	25.1	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	519	25.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.88	2,540	25.0	1.3
	20	11.51	1190	25.7	0.6
	30	11.34	773	25.9	0.4
	40	11.26	645	25.9	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.73	2,100	26.0	1.1
	20	11.24	890	27.0	0.4
	30	10.82	558	27.1	0.3
	40	10.73	517	27.1	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.84	2,530	25.5	1.3
	20	11.43	1009	26.8	0.5
	30	11.22	653	26.9	0.3
	40	11.06	483	26.9	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.76	2,130	25.0	1.1
	20	11.40	986	26.2	0.5
	30	11.19	644	25.9	0.3
	40	11.01	472	26.4	0.2

ตารางที่ ข.27 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.28	4.2	24.3	0.0	
น้ำประปา	7.26	330	23.5	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	484	25.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	461	25.8	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.01	3,410	24.3	1.8
	20	11.59	1472	25.0	0.7
	30	11.35	897	25.5	0.4
	40	11.29	710	25.6	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.88	3,050	24.5	1.6
	20	11.33	1188	25.2	0.6
	30	11.01	703	25.5	0.3
	40	10.81	564	25.5	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.96	3,250	24.4	1.7
	20	11.51	1332	24.9	0.7
	30	11.25	821	25.4	0.4
	40	11.11	607	25.4	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.70	2,000	24.3	1.0
	20	11.45	1137	24.6	0.6
	30	11.20	760	25.3	0.4
	40	11.12	606	25.3	0.3

ตารางที่ ข.28 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.18	0.8	24.3	0.0	
น้ำประปา	7.09	344	24.7	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	483	23.1	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	467	23.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.07	3,810	24.7	2.0
	20	11.83	1726	24.7	0.9
	30	11.59	1108	24.7	0.5
	40	11.51	852	24.7	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.02	3,850	24.8	2.0
	20	11.59	1440	25.0	0.7
	30	11.26	769	25.0	0.4
	40	11.06	579	24.9	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.08	3,960	24.8	2.1
	20	11.70	1627	24.9	0.8
	30	11.49	1146	25.0	0.6
	40	11.36	845	24.9	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.67	1,796	24.7	0.9
	20	11.58	1080	24.8	0.5
	30	11.34	738	25.0	0.4
	40	11.26	605	24.9	0.3

ตารางที่ ข.29 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.09	0.7	24.6	0.0	
น้ำประปา	7.10	335	24.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	392	23.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.99	427	23.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.18	5,260	26.1	2.8
	20	11.82	2200	26.2	1.1
	30	11.61	1355	26.4	0.7
	40	11.50	1058	26.5	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.13	4,750	26.1	2.5
	20	11.78	2100	26.2	1.1
	30	11.50	1216	26.3	0.6
	40	11.34	887	26.5	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.19	5,130	25.8	2.8
	20	11.81	2190	26.0	1.1
	30	11.59	1366	26.2	0.7
	40	11.45	1016	26.4	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.51	1,407	25.9	0.7
	20	11.34	859	26.2	0.4
	30	11.23	669	26.3	0.3
	40	11.18	640	26.3	0.3

ตารางที่ ข.30 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.30	0.6	25.0	0.0	
น้ำประปา	7.34	308	24.4	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	439	24.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	455	23.7	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.68	5,900	24.1	3.2
	20	12.28	2490	24.1	1.3
	30	12.02	1375	24.2	0.7
	40	11.90	1110	24.4	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.63	5,460	24.0	2.9
	20	12.25	2360	24.0	1.2
	30	11.82	1052	24.1	0.5
	40	11.77	926	24.4	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.64	5,610	24.1	3.0
	20	12.28	2360	24.1	1.2
	30	11.95	1174	24.1	0.6
	40	11.87	1066	24.5	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	10.88	432	24.4	0.2
	20	11.32	448	24.3	0.2
	30	11.05	314	24.4	0.1
	40	11.13	350	24.6	0.2

ตารางที่ ข.31 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.87	0.8	24.6	0.0	
น้ำประปา	7.41	267	24.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	520	25.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	514	25.5	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.31	5,480	24.3	2.9
	20	11.97	2340	24.4	1.2
	30	11.71	1280	24.3	0.6
	40	11.61	1104	24.5	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.27	5,780	24.4	3.1
	20	11.90	2140	24.7	1.1
	30	11.60	1099	24.6	0.5
	40	11.52	916	24.5	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.35	6,280	24.5	3.4
	20	11.94	2350	24.6	1.2
	30	11.64	1146	24.6	0.6
	40	11.59	1034	24.4	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.81	311	24.3	0.1
	20	9.90	189.3	24.6	0.1
	30	9.90	175.9	24.6	0.1
	40	10.16	180.2	24.5	0.1

ตารางที่ ข.32 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.63	0.7	24.4	0.0	
น้ำประปา	7.68	200	24.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	491	24.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	519	24.4	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.41	2,710	24.2	1.4
	20	12.16	1540	25.1	0.8
	30	11.87	1080	25.0	0.5
	40	11.95	1008	25.0	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.33	2,430	24.7	1.2
	20	11.99	1287	25.1	0.6
	30	11.91	1080	25.3	0.5
	40	11.76	833	25.0	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.56	3,640	24.1	1.9
	20	12.13	1524	24.5	0.8
	30	11.99	1123	24.5	0.6
	40	11.92	1021	24.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.56	309	23.5	0.1
	20	9.63	177.2	24.0	0.1
	30	9.72	164.4	24.2	0.1
	40	9.70	159.3	24.2	0.1

ตารางที่ ข.33 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.66	1.3	28.2	0.0	
น้ำประปา	7.10	279	28.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	514	26.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	522	26.2	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.46	1,871	28.2	0.9
	20	11.21	878	28.3	0.4
	30	11.11	643	28.2	0.3
	40	11.01	483	28.4	0.2
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.23	1,466	28.1	0.7
	20	10.78	615	28.1	0.3
	30	10.57	476	28.0	0.2
	40	10.35	403	28.1	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.32	1,688	27.8	0.8
	20	10.93	675	28.0	0.3
	30	10.58	375	28.0	0.2
	40	10.10	251	28.2	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.28	1,630	27.6	0.8
	20	10.98	654	27.9	0.3
	30	10.75	430	27.6	0.2
	40	10.05	237	28.0	0.1

ตารางที่ ข.34 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		7.66	1.3	28.2	0.0
น้ำประปา		7.10	279	28.4	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.00	420	24.4	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.01	468	24.2	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.77	2,400	22.8	1.2
	20	11.43	1046	22.9	0.5
	30	11.24	674	23.0	0.3
	40	11.04	543	23.1	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.36	2,110	22.8	1.1
	20	11.01	725	22.8	0.4
	30	10.75	490	23.0	0.2
	40	10.50	383	23.1	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.52	2,390	22.9	1.2
	20	11.12	939	22.9	0.5
	30	10.89	544	22.9	0.3
	40	10.64	379	23.2	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.43	1,992	23.2	1.0
	20	11.13	899	23.0	0.5
	30	10.91	548	23.1	0.3
	40	10.73	368	23.2	0.2

ตารางที่ ข.35 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.16	1.3	22.6	0.0	
น้ำประปา	7.38	279	22.5	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	551	25.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	518	25.6	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.96	2,860	24.7	1.5
	20	11.61	1290	24.9	0.6
	30	11.40	825	24.9	0.4
	40	11.33	642	24.9	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.54	2,790	24.3	1.4
	20	11.14	1032	24.6	0.5
	30	10.96	591	24.7	0.3
	40	10.80	437	24.9	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.00	3,001	23.9	1.6
	20	11.45	1212	24.2	0.6
	30	11.15	717	24.4	0.3
	40	10.99	511	24.5	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.69	1,652	24.1	0.8
	20	11.47	990	24.1	0.5
	30	11.27	691	24.3	0.3
	40	11.13	510	24.4	0.2

ตารางที่ ข.36 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.60	0.7	26.0	0.0	
น้ำประปา	7.65	247	26.1	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	544	24.1	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.99	556	24.5	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.20	3,620	24.1	1.9
	20	11.63	1589	25.6	0.8
	30	11.44	1023	25.9	0.5
	40	11.38	795	25.8	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.03	3,450	24.4	1.8
	20	11.55	1360	25.9	0.7
	30	11.28	798	26.5	0.4
	40	11.08	543	26.2	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.02	3,420	24.8	1.8
	20	11.70	1503	26.0	0.7
	30	11.45	906	26.7	0.4
	40	11.32	668	26.5	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.57	1,526	24.8	0.8
	20	11.40	990	26.0	0.5
	30	11.22	733	26.3	0.4
	40	11.16	601	26.3	0.3

ตารางที่ ข.37 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.64	0.8	24.1	0.0	
น้ำประปา	7.49	244	27.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	470	26.2	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	475	26.0	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.44	4,570	24.6	2.4
	20	11.95	2080	25.5	1.1
	30	11.65	1349	25.8	0.7
	40	11.47	1075	25.5	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.25	4,390	24.4	2.3
	20	11.77	1933	25.2	1.0
	30	11.59	1241	25.3	0.6
	40	11.39	837	25.2	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.48	4,730	24.3	2.5
	20	11.80	2040	25.0	1.0
	30	11.52	1169	25.5	0.6
	40	11.36	984	25.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.20	989	24.1	0.5
	20	11.38	879	25.0	0.4
	30	11.20	677	25.3	0.3
	40	11.13	581	25.4	0.3

ตารางที่ ข.38 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.39	0.8	24.1	0.0	
น้ำประปา	7.43	270	24.1	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	515	24.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	517	24.3	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.64	4,800	24.9	2.6
	20	12.25	2260	25.1	1.2
	30	12.02	1452	25.2	0.7
	40	11.91	1149	25.1	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.59	4,750	24.9	2.5
	20	12.16	2160	25.3	1.1
	30	11.94	1329	25.3	0.7
	40	11.69	830	25.1	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.64	5,280	25.1	2.8
	20	12.20	2320	25.3	1.2
	30	11.89	1148	25.3	0.6
	40	11.81	1088	25.2	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	10.86	437	24.9	0.2
	20	11.44	528	25.0	0.3
	30	11.42	547	25.3	0.3
	40	11.33	443	25.1	0.2

ตารางที่ ข.39 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.08	0.7	26.4	0.0	
น้ำประปา	7.52	265	25.9	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	548	25.2	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	544	25.3	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.07	3,480	26.0	1.8
	20	11.78	1772	26.6	0.9
	30	11.58	1113	26.8	0.5
	40	11.50	953	26.8	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.09	3,730	25.6	2.0
	20	11.76	1829	26.3	0.9
	30	11.51	1031	26.5	0.5
	40	11.26	579	26.5	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.19	4,670	25.8	2.5
	20	11.83	2100	26.1	1.1
	30	11.14	476	26.5	0.2
	40	11.37	808	26.5	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.73	289	25.3	0.1
	20	9.87	157.2	26.1	0.1
	30	10.00	151	26.3	0.1
	40	10.05	156	26.2	0.1

ตารางที่ ข.40 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		8.47	0.58	25.3	0.0
น้ำประปา		7.88	206	25.3	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		3.00	487	25.9	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.00	469	25.8	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.10	1,822	26.6	0.9
	20	11.93	1234	27.0	0.6
	30	11.78	890	27.2	0.4
	40	11.74	842	27.0	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.97	1,489	26.6	0.7
	20	11.84	1376	27.1	0.7
	30	11.64	888	27.2	0.4
	40	11.22	399	27.0	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.21	2,160	26.2	1.1
	20	11.94	1419	26.6	0.7
	30	10.57	148.6	26.8	0.1
	40	11.68	880	26.8	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.38	352	25.9	0.2
	20	9.65	175.4	26.4	0.1
	30	9.73	157.1	26.6	0.1
	40	9.77	149.6	26.7	0.1

ตารางที่ ข.41 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.69	0.6	26.3	0.0	
น้ำประปา	7.19	335	23.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	450	24.6	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	424	24.4	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.71	1,956	23.1	1.0
	20	11.39	1,026	23.9	0.5
	30	11.24	657	24.2	0.3
	40	11.16	551	24.2	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.49	1,648	23.5	0.8
	20	11.25	975	24.1	0.5
	30	10.52	485	24.4	0.2
	40	10.46	446	24.4	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.67	2,020	23.9	1.0
	20	11.27	882	24.3	0.4
	30	11.09	609	24.5	0.3
	40	10.99	478	24.4	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.74	2,210	23.8	1.1
	20	11.33	932	24.2	0.5
	30	11.01	543	24.4	0.3
	40	10.93	451	24.3	0.2

ตารางที่ ข.42 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	5.88	0.9	24.3	0.0	
น้ำประปา	7.09	334	24.5	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	422	24.2	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	447	24.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.83	2,710	24.2	1.4
	20	11.57	1,237	24.7	0.6
	30	11.36	808	24.9	0.4
	40	11.29	669	24.4	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.71	2,240	24.2	1.1
	20	11.26	1,033	25.2	0.5
	30	10.81	545	25.5	0.3
	40	10.50	424	25.0	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.84	2,670	24.3	1.4
	20	11.41	1,123	25.3	0.6
	30	11.13	669	25.7	0.3
	40	10.99	494	25.2	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.79	2,120	24.3	1.1
	20	11.37	1,024	25.3	0.5
	30	11.13	658	25.5	0.3
	40	11.04	501	25.2	0.2

ตารางที่ ข.43 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio)	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน	8	11.94	3,370	26.0	1.8
	20	11.62	1,510	26.3	0.8
	30	11.42	948	26.3	0.5
	40	11.35	823	26.4	0.4
(Deionized Water)					
น้ำประปา	8	11.90	3,140	25.9	1.6
	20	11.43	1,304	26.1	0.6
	30	10.97	622	26.3	0.3
	40	10.72	495	26.2	0.2
(Tap Water)					
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	8	11.96	3,440	25.9	1.8
	20	11.56	1,431	26.3	0.7
	30	11.34	910	26.3	0.4
	40	11.18	671	25.5	0.3
(Synthetic Acid Rain)					
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	8	11.67	1,983	25.7	1.0
	20	11.42	1,090	26.2	0.5
	30	11.24	748	26.3	0.4
	40	11.17	638	26.3	0.3
(Synthetic Acid Rain)					

ตารางที่ ข.44 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.98	3.3	25.9	0.0	
น้ำประปา	7.27	311	25.9	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	431	23.1	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	407	23.5	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.05	3,800	24.5	2.0
	20	11.72	1,665	25.0	0.8
	30	11.54	1,100	25.3	0.5
	40	11.48	933	25.5	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.87	3,500	24.7	1.8
	20	11.38	1,552	25.4	0.8
	30	11.00	813	25.8	0.4
	40	10.97	613	25.4	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.94	3,900	24.8	2.1
	20	11.44	1,602	25.4	0.8
	30	11.18	978	25.6	0.5
	40	11.04	737	25.2	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.57	1,621	25.1	0.8
	20	11.26	964	25.6	0.5
	30	11.10	732	25.8	0.4
	40	11.03	676	26.0	0.3

ตารางที่ ข.45 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.30	0.8	25.0	0.0	
น้ำประปา	7.34	308	24.4	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	421	26.2	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	401	26.2	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.25	4,960	23.8	2.7
	20	11.88	2,240	23.0	1.1
	30	11.71	1,407	23.2	0.7
	40	11.63	1,177	23.3	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.23	5,010	23.0	2.7
	20	11.90	2,280	22.9	1.2
	30	11.57	1,140	23.3	0.6
	40	11.49	928	23.3	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.26	5,020	22.9	2.7
	20	11.92	2,090	23.3	1.1
	30	11.64	1,312	23.2	0.6
	40	11.50	938	23.5	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.00	2,650	2.5	1.4
	20	11.36	740	23.3	0.4
	30	11.16	498	23.4	0.2
	40	11.17	456	23.5	0.2

ตารางที่ ข.46 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	9.17	0.7	23.3	0.0	
น้ำประปา	7.43	257	23.0	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	428	25.8	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	429	25.5	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.55	5,470	25.3	2.9
	20	12.06	2,450	25.4	1.3
	30	11.85	1,569	25.7	0.8
	40	11.77	1,295	25.7	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.45	5,590	25.3	3.0
	20	12.04	2,490	25.5	1.3
	30	11.68	1,114	25.8	0.5
	40	11.59	1,021	25.9	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.51	5,550	3.0	2.5
	20	11.99	2,250	25.7	1.1
	30	11.74	1,433	25.9	0.7
	40	11.59	1,024	26.0	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.39	727	25.3	0.4
	20	10.96	338	25.7	0.2
	30	10.46	174	25.8	0.1
	40	10.64	209	25.8	0.1

ตารางที่ ข.47 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	อุณหภูมิ (Temperature)	ความเค็ม (Salinity)	
	-	μS	°C	%	
น้ำปราศจากไอออน	8.51	1.1	25.4	0.0	
น้ำประปา	7.36	275	25.5	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	433	24.0	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	543	24.0	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio)	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity)	อุณหภูมิ (Temperature)	ความเค็ม (Salinity)
	cm/cm	-	μS	°C	%
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.23	4,920	24.3	2.6
	20	11.88	2,200	24.5	1.1
	30	11.74	1,405	24.5	0.7
	40	11.71	1,319	24.5	0.7
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.27	5,210	24.2	2.8
	20	11.87	2,370	24.5	1.2
	30	11.39	733	24.5	0.4
	40	11.54	1,034	24.5	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.27	5,580	24.5	3.0
	20	11.79	1,724	24.8	0.9
	30	11.62	1,132	24.8	0.6
	40	11.57	1,022	24.6	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.67	226	24.3	0.1
	20	10.13	160	24.4	0.1
	30	9.75	150	24.7	0.1
	40	9.87	173	24.8	0.1

ตารางที่ ข.48 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.00	0.9	24.1	0.0	
น้ำประปา	7.72	201	24.1	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	569	25.2	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	573	24.9	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.20	2,210	26.1	1.1
	20	12.01	1,428	26.0	0.7
	30	11.97	1,173	25.9	0.6
	40	11.93	1,126	26.1	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.28	2,390	26.3	1.2
	20	12.03	1,374	26.1	0.7
	30	11.40	400	26.0	0.2
	40	11.68	882	26.1	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.36	2,770	26.5	1.4
	20	12.06	1,392	26.4	0.7
	30	11.91	1,041	26.4	0.5
	40	11.83	928	26.5	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	8.80	233	27.0	0.1
	20	9.31	162	26.7	0.1
	30	9.71	153	26.5	0.1
	40	9.75	163	26.7	0.1

ตารางที่ ข.49 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.31	1.0	25.5	0.0	
น้ำประปา	7.37	305	24.0	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	526	24.3	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	506	24.2	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.81	2,300	24.6	1.2
	20	11.59	1,058	25.0	0.5
	30	11.41	662	24.8	0.3
	40	11.28	507	25.1	0.2
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.73	2,190	25.0	1.1
	20	11.19	786	25.0	0.4
	30	10.85	587	25.3	0.3
	40	10.53	482	25.1	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.78	2,300	24.5	1.2
	20	11.46	944	24.4	0.5
	30	11.13	513	24.4	0.2
	40	10.93	420	24.6	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.74	2,000	24.6	1.0
	20	11.42	877	24.7	0.4
	30	11.23	631	25.1	0.3
	40	10.85	379	25.2	0.2

ตารางที่ ข.50 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย		พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน		6.68	2.7	23.4	0.0
น้ำประปา		7.34	307	25.9	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)		2.99	544	24.0	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)		3.01	503	23.8	0.2
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
		-			
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.90	2,500	25.5	1.3
	20	11.54	1,236	26.3	0.6
	30	11.38	738	26.1	0.4
	40	11.24	586	26.4	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.84	2,340	25.5	1.2
	20	11.32	864	25.3	0.4
	30	11.06	621	26.1	0.3
	40	10.69	453	26.5	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.90	2,650	25.4	1.4
	20	11.46	1,021	25.5	0.5
	30	11.18	597	26.0	0.3
	40	11.05	504	26.2	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.79	2,050	25.7	1.0
	20	11.46	953	25.6	0.5
	30	11.23	690	25.9	0.3
	40	11.08	490	25.8	0.2

ตารางที่ ข.51 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.62	0.6	25.4	0.0	
น้ำประปา	7.40	308	29.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	546	24.7	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.99	615	24.8	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.03	3,110	25.3	1.6
	20	11.77	1,668	25.8	0.8
	30	11.56	968	25.6	0.5
	40	11.48	788	25.6	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.00	3,140	25.7	1.6
	20	11.53	1,132	25.8	0.6
	30	11.30	782	25.9	0.4
	40	11.08	566	25.7	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.03	3,430	25.6	1.8
	20	11.66	1,401	25.6	0.7
	30	11.47	924	25.6	0.5
	40	11.31	674	25.4	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.83	2,080	25.3	1.1
	20	11.59	1,238	25.3	0.6
	30	11.49	979	25.1	0.5
	40	11.30	677	25.3	0.3

ตารางที่ ข.52 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.88	0.7	26.6	0.0	
น้ำประปา	7.31	309	28.5	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	497	27.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	499	24.9	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.15	3,800	25.9	2.0
	20	11.84	1,898	26.1	1.0
	30	11.60	1,114	26.9	0.5
	40	11.52	866	26.8	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.18	3,930	24.1	2.1
	20	11.68	1,501	24.9	0.7
	30	11.48	1,029	25.7	0.5
	40	11.31	728	25.5	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.14	3,740	24.4	2.0
	20	11.76	1,602	25.2	0.8
	30	11.47	1,050	25.8	0.5
	40	11.35	839	25.6	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.88	1,968	24.0	1.0
	20	11.58	1,054	24.3	0.5
	30	11.47	847	25.0	0.4
	40	11.37	707	25.2	0.3

ตารางที่ ข.53 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.58	1.0	24.1	0.0	
น้ำประปา	7.22	320	27.8	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	706	25.3	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.99	834	25.0	0.4	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.23	4,180	24.5	2.2
	20	11.94	2,190	25.6	1.1
	30	11.68	1,245	26.0	0.6
	40	11.60	1,035	26.2	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.21	4,660	24.7	2.5
	20	11.75	1,787	25.8	0.9
	30	11.65	1,376	26.6	0.7
	40	11.35	907	26.4	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.27	4,610	24.7	2.4
	20	11.82	1,858	25.8	0.9
	30	11.62	1,238	26.3	0.6
	40	11.52	993	26.1	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.65	1,245	24.4	0.6
	20	11.43	826	25.1	0.4
	30	11.34	735	25.7	0.4
	40	11.29	636	25.6	0.3

ตารางที่ ข.54 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.25	1.6	24.0	0.0	
น้ำประปา	7.30	312	23.8	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.01	409	24.3	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	403	24.6	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.25	5,570	25.3	3.0
	20	11.97	2,840	25.3	1.5
	30	11.71	1,467	25.3	0.7
	40	11.66	1,325	25.3	0.7
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.22	5,790	25.0	3.1
	20	11.78	2,320	25.0	1.2
	30	11.68	1,823	25.1	0.9
	40	11.44	1,242	25.3	0.6
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.30	6,090	24.9	3.3
	20	11.90	2,360	24.9	1.2
	30	11.73	1,715	25.0	0.9
	40	11.65	1,368	25.1	0.7
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.93	2,570	24.7	1.3
	20	11.06	420	24.8	0.2
	30	11.14	518	24.8	0.2
	40	11.05	426	25.0	0.2

ตารางที่ ข.55 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.46	1.3	26.3	0.0	
น้ำประปา	7.23	292	25.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	440	26.5	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	461	26.1	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.78	7,090	27.3	3.9
	20	12.46	3,540	27.3	1.9
	30	12.20	1,940	27.3	1.0
	40	12.16	1,760	27.4	0.9
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.78	7,520	26.5	4.1
	20	12.27	2,360	27.1	1.2
	30	12.26	2,410	27.2	1.2
	40	12.00	1,434	27.3	0.7
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.83	7,760	26.5	4.3
	20	12.33	2,540	26.8	1.3
	30	12.20	2,000	26.9	1.0
	40	12.12	1,711	27.3	0.9
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.95	2,490	26.5	0.1
	20	9.93	1,861	26.9	0.1
	30	10.32	1,826	27.0	0.1
	40	10.33	1,940	26.8	0.1

ตารางที่ ข.56 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.08	0.7	26.4	0.0	
น้ำประปา	7.52	265	25.9	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	572	25.2	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	566	25.4	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.61	5,840	23.7	3.2
	20	12.26	2,920	24.3	1.5
	30	11.89	1,192	24.4	0.6
	40	11.90	1,259	24.3	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.62	6,050	24.0	3.3
	20	11.92	1,383	24.2	0.7
	30	12.03	1,705	24.2	0.9
	40	11.70	945	24.3	0.5
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.61	6,060	23.6	3.3
	20	11.94	1,374	24.1	0.7
	30	11.93	1,418	24.4	0.7
	40	11.84	1,181	24.6	0.6
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.61	211	24.3	0.1
	20	9.82	173.5	24.2	0.1
	30	9.66	161.3	24.3	0.1
	40	9.57	163.1	24.3	0.1

ตารางที่ ข.57 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสตันท์ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 1

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.15	0.6	26.0	0.0	
น้ำประปา	7.50	312	26.0	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	519	26.0	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.97	565	26.0	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 1 ระยะเวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.57	1,869	25.6	0.9
	20	11.29	834	25.7	0.4
	30	11.12	567	25.5	0.3
	40	10.48	135	26.4	0.1
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.44	1,523	25.7	0.8
	20	10.94	639	26.6	0.3
	30	10.40	491	25.9	0.2
	40	9.81	422	26.1	0.2
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.67	1,548	25.2	0.8
	20	11.22	684	25.7	0.3
	30	10.66	381	25.7	0.2
	40	10.08	273	25.7	0.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.64	1,561	25.3	0.7
	20	11.28	780	25.6	0.4
	30	10.68	412	25.7	0.2
	40	9.47	264	25.4	0.1

ตารางที่ ข.58 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 2

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	5.90	1.2	25.2	0.0	
น้ำประปา	7.42	297	26.6	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	734	26.5	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.98	525	25.4	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 2 ระยะเวลาการทดสอบ 1 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.91	2,310	24.4	1.2
	20	11.58	1,141	24.9	0.6
	30	11.44	771	25.6	0.4
	40	11.35	695	25.9	0.3
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.73	1,725	24.9	0.9
	20	11.24	821	25.3	0.4
	30	11.02	574	25.7	0.3
	40	10.81	534	25.7	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.92	2,420	24.6	1.2
	20	11.57	1,141	25.1	0.6
	30	11.42	752	25.4	0.4
	40	11.17	543	25.4	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.83	1,942	25.5	1.0
	20	11.51	1,000	24.9	0.5
	30	11.30	658	25.2	0.3
	40	11.11	537	25.1	0.3

ตารางที่ ข.59 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 3

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.08	1.7	24.7	0.0	
น้ำประปา	7.57	309	25.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.98	555	25.8	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	517	26.0	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบ 2.25 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	11.93	2,850	25.3	1.5
	20	11.66	1,400	26.1	0.7
	30	11.52	974	26.3	0.5
	40	11.48	899	26.2	0.4
น้ำประปา (Tap Water)	8	11.86	2,490	25.7	1.3
	20	11.51	1,118	25.8	0.5
	30	11.22	682	26.4	0.3
	40	11.12	622	26.1	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.97	2,990	25.8	1.5
	20	11.60	1,382	26.0	0.7
	30	11.42	894	26.3	0.4
	40	11.30	702	26.0	0.3
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.76	1,914	25.4	1.0
	20	11.56	1,185	25.6	0.6
	30	11.50	1,026	25.8	0.5
	40	11.38	873	26.0	0.4

ตารางที่ ข.60 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 4

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.68	0.6	25.4	0.0	
น้ำประปา	7.57	309	25.3	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	675	26.3	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	680	26.1	0.3	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 4 ระยะเวลาการทดสอบ 4 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.11	3,600	25.7	1.9
	20	11.81	1,732	26.0	0.9
	30	11.65	1,205	26.1	0.6
	40	11.57	991	26.0	0.5
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.06	3,300	25.8	1.7
	20	11.69	1,447	26.1	0.7
	30	11.47	961	26.0	0.5
	40	11.31	747	25.9	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.10	3,620	25.8	1.9
	20	11.77	1,685	25.9	0.8
	30	11.57	1,225	25.9	0.6
	40	11.43	909	26.3	0.4
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	11.82	1,878	25.4	0.9
	20	11.63	1,265	25.6	0.6
	30	11.46	968	25.9	0.5
	40	11.36	873	25.8	0.4

ตารางที่ ข.61 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 5

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.33	1.6	24.2	0.0	
น้ำประปา	7.26	297	28.4	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	2.99	556	24.0	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	2.99	482	24.5	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 5 ระยะเวลาการทดสอบ 9 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.29	5,040	24.5	2.7
	20	11.97	2,410	24.5	1.2
	30	11.81	1,612	24.8	0.8
	40	11.73	1,309	24.6	0.6
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.26	4,830	24.4	2.6
	20	11.83	2,070	24.4	1.0
	30	11.73	1,470	25.0	0.7
	40	11.61	1,141	25.1	0.6
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.29	5,090	23.6	2.7
	20	11.94	2,380	24.3	1.2
	30	11.79	1,653	24.0	0.8
	40	11.69	1,274	23.4	0.6
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.03	2,840	23.5	1.5
	20	11.63	1,237	24.1	0.6
	30	11.46	848	23.9	0.4
	40	11.39	780	24.3	0.4

ตารางที่ ข.62 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 6

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	6.35	1.8	23.4	0.0	
น้ำประปา	7.56	332	23.7	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	549	25.2	0.3	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.01	503	24.8	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 6 ระยะเวลาการทดสอบ 16 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.29	5,370	23.2	2.9
	20	11.97	2,690	24.7	1.4
	30	11.81	1,938	24.7	1.0
	40	11.74	1,565	24.5	0.8
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.25	5,450	23.9	2.9
	20	11.86	2,520	25.0	1.3
	30	11.71	1,843	25.4	0.9
	40	11.50	1,456	25.2	0.7
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.26	5,480	23.5	2.9
	20	11.91	2,620	24.4	1.3
	30	11.81	1,987	24.8	1.0
	40	11.68	1,520	24.6	0.8
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	10.79	340	24.0	0.2
	20	11.43	912	24.9	0.4
	30	11.45	931	25.1	0.5
	40	11.44	918	25.0	0.4

ตารางที่ ข.63 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 7

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	8.30	3.0	23.3	0.0	
น้ำประปา	7.31	322	23.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.02	341	23.4	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.02	357	23.6	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 7 ระยะเวลาการทดสอบ 36 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.71	5,580	22.9	3.0
	20	12.42	2,980	23.3	1.5
	30	12.25	2,060	23.6	1.0
	40	12.14	1,810	23.2	0.9
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.65	5,680	23.2	3.1
	20	12.26	2,710	23.7	1.4
	30	12.15	2,120	23.9	1.1
	40	11.92	1,529	23.5	0.8
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.72	5,830	23.1	3.1
	20	12.38	2,910	23.6	1.5
	30	12.22	2,280	23.9	1.2
	40	12.06	1,831	23.6	0.9
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.65	165	22.9	0.1
	20	11.84	1,044	23.4	0.5
	30	11.24	347	23.5	0.2
	40	11.53	566	23.4	0.3

ตารางที่ ข.64 ค่าเริ่มต้น - ภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 8

ค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ					
สารชะละลาย	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %	
น้ำปราศจากไอออน	7.50	0.6	22.8	0.0	
น้ำประปา	7.23	234	22.7	0.1	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา)	3.00	506	26.5	0.2	
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา)	3.00	468	25.3	0.2	
ผลที่ได้ภายหลังการทดสอบการชะละลายช่วงที่ 8 ระยะเวลาการทดสอบ 64 วัน					
สารชะละลาย	อัตราส่วน (L/S ratio) cm/cm	พีเอช (pH)	ความนำไฟฟ้า (Conductivity) μS	อุณหภูมิ (Temperature) °C	ความเค็ม (Salinity) %
น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)	8	12.44	4,620	26.6	2.5
	20	12.22	2,850	27.0	1.5
	30	12.09	2,070	27.2	1.1
	40	12.05	2,070	27.1	1.1
น้ำประปา (Tap Water)	8	12.31	3,650	26.7	1.9
	20	12.16	2,800	27.2	1.4
	30	12.05	2,140	27.3	1.1
	40	11.87	1,640	27.1	0.8
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (ปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	12.44	4,550	26.5	2.4
	20	12.24	3,150	27.0	1.6
	30	12.17	2,550	27.2	1.3
	40	12.09	2,130	27.1	1.1
น้ำฝนกรดสังเคราะห์ (เปิดฝา) (Synthetic Acid Rain)	8	9.36	152	26.2	0.1
	20	9.70	98	26.7	0.0
	30	10.06	95	27.0	0.0
	40	11.30	426	27.0	0.2

ตารางที่ ข.65 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ระยะเวลา ทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่าง ๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																																			
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn																		
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.																	
20/10/47	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.364	<LOD	<LOD	20.294	<LOD	31.448	2.609	30.726	<LOD	1.071	0.016*	<LOD	<LOD	<LOD	0.363	0.279*	12.137																		
			20	<LOD	0.129	<LOD	<LOD	8.772	<LOD	20.501	1.391	10.865	<LOD	1.256	0.012*	<LOD	<LOD	<LOD	0.158	0.802	1.931																		
			30	<LOD	0.154	<LOD	<LOD	8.958	<LOD	21.945	4.034	13.436	<LOD	<LOD	0.001*	<LOD	<LOD	<LOD	0.114	1.104	3.091																		
			40	<LOD	0.084	<LOD	<LOD	15.375	<LOD	14.506	0.431	9.065	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.086	1.913	1.454																		
		TAP	8	<LOD	0.049	<LOD	<LOD	22.991	<LOD	19.224	2.078	25.026	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.298	2.229	15.353																		
			20	<LOD	0.001	<LOD	<LOD	25.480	<LOD	10.820	1.740	6.014	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.136	1.567	6.613																		
			30	<LOD	0.043	<LOD	<LOD	25.246	<LOD	15.228	<LOD	9.002	<LOD	<LOD	0.066*	4.884	5.452	<LOD	0.123	0.127*	27.319																		
			40	<LOD	0.063	<LOD	<LOD	28.023	<LOD	14.727	5.431	8.340	<LOD	<LOD	0.401	2.724	<LOD	<LOD	0.116	1.195	24.786																		
		AR-Close	8	<LOD	0.319	<LOD	<LOD	19.850	<LOD	31.464	5.791	28.174	<LOD	2.038	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.343	1.413	3.463																		
			20	<LOD	0.116	<LOD	<LOD	8.413	<LOD	19.243	0.603	10.021	<LOD	1.010	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.143	0.447*	3.369																		
			30	<LOD	0.120	<LOD	<LOD	7.601	<LOD	19.731	3.564	9.658	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.108	1.165	4.291																		
			40	<LOD	0.138	<LOD	<LOD	15.242	<LOD	16.632	4.416	7.715	<LOD	<LOD	<LOD	5.283	12.625	<LOD	0.082	1.395	4.384																		
		AR-Open	8	<LOD	0.259	<LOD	<LOD	24.126	<LOD	33.624	<LOD	30.968	2.158	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.354	1.752	12.095																		
			20	<LOD	0.211	<LOD	<LOD	36.501	<LOD	21.956	4.259	12.372	0.498*	3.663	<LOD	<LOD	1.860	<LOD	0.154	<LOD	14.650																		
			30	<LOD	0.116	<LOD	<LOD	8.100	<LOD	19.450	7.101	11.615	0.810*	<LOD	<LOD	<LOD	3.997	<LOD	0.109	0.351*	9.920																		
			40	<LOD	0.143	<LOD	<LOD	14.150	<LOD	19.229	3.318	9.055	<LOD	0.623	<LOD	<LOD	3.381	<LOD	0.090	1.839	5.689																		
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																						0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.66 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
20/10/47	1 วัน	DI	8	<LOD	0.049	<LOD	<LOD	58.561	<LOD	37.599	4.457	9.086	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	12.901	<LOD	0.620	<LOD	23.780
			20	<LOD	0.012	<LOD	<LOD	25.510	<LOD	29.798	<LOD	4.414	<LOD	<LOD	0.067*	<LOD	<LOD	<LOD	0.296	1.775	4.503
			30	<LOD	0.028	<LOD	<LOD	16.730	<LOD	24.616	6.412	7.345	<LOD	<LOD	0.215	<LOD	<LOD	<LOD	0.201	0.493*	4.451
			40	<LOD	0.020	<LOD	<LOD	23.425	<LOD	21.455	3.351	2.943	<LOD	<LOD	0.036*	8.850	<LOD	<LOD	0.157	1.029	7.533
		TAP	8	<LOD	0.013	<LOD	<LOD	80.799	<LOD	32.793	7.204	11.282	<LOD	<LOD	0.065*	<LOD	<LOD	<LOD	0.556	2.308	19.159
			20	<LOD	0.001	<LOD	<LOD	40.240	<LOD	17.155	2.619	2.758	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.254	0.489*	3.335
			30	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	31.000	<LOD	12.815	1.741	3.280	<LOD	<LOD	<LOD	1.750	<LOD	<LOD	0.164	1.466	3.744
			40	<LOD	0.014	<LOD	<LOD	24.518	<LOD	14.834	6.645	2.453	<LOD	<LOD	0.016*	3.572	<LOD	<LOD	0.135	<LOD	25.332
		AR-Close	8	<LOD	0.043	<LOD	<LOD	46.810	<LOD	36.676	6.905	13.114	<LOD	<LOD	0.111	<LOD	<LOD	<LOD	0.540	0.105*	19.304
			20	<LOD	0.025	<LOD	<LOD	21.362	<LOD	29.387	<LOD	7.005	<LOD	<LOD	0.326	<LOD	<LOD	<LOD	0.281	0.853	3.669
			30	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	16.057	<LOD	26.038	5.044	5.361	<LOD	<LOD	<LOD	2.325	20.686	<LOD	0.197	2.396	7.312
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	22.325	<LOD	21.441	0.874	1.217	<LOD	<LOD	0.447	<LOD	<LOD	<LOD	0.151	0.667*	8.294
		AR-Open	8	<LOD	0.045	<LOD	<LOD	39.446	<LOD	33.190	3.893	15.936	1.770	0.917	0.070*	<LOD	<LOD	<LOD	0.495	1.831	21.613
			20	<LOD	0.022	<LOD	<LOD	21.929	<LOD	28.928	2.565	6.789	3.802	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.275	0.666*	19.018
			30	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	15.552	<LOD	24.693	4.205	5.756	5.897	5.217	<LOD	0.954	<LOD	<LOD	0.194	0.100*	16.652
			40	<LOD	0.037	<LOD	<LOD	21.779	<LOD	21.667	5.478	4.868	4.460	<LOD	0.086*	5.921	<LOD	<LOD	0.150	<LOD	14.664
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.67 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
20/10/47	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.047	<LOD	<LOD	127.650	<LOD	42.301	4.119	4.248	<LOD	<LOD	0.164	<LOD	0.413*	<LOD	0.906	<LOD	9.282
			20	<LOD	0.015	<LOD	<LOD	52.301	0.287	33.905	<LOD	0.830	<LOD	<LOD	0.034*	<LOD	<LOD	<LOD	0.449	0.199*	4.089
			30	<LOD	0.012	<LOD	<LOD	36.777	0.312	30.587	2.891	1.964	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	7.496	<LOD	0.316	0.799	5.002
			40	<LOD	0.012	<LOD	<LOD	36.914	0.098	28.086	<LOD	3.116	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.242	0.833	1.518
		TAP	8	<LOD	0.007	<LOD	<LOD	134.290	<LOD	40.400	4.546	7.036	<LOD	<LOD	<LOD	7.977	7.894	<LOD	0.840	0.778	10.074
			20	<LOD	0.001	<LOD	<LOD	59.903	<LOD	30.003	5.311	0.376*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.081	<LOD	0.438	1.686	6.608
			30	<LOD	0.002	<LOD	<LOD	43.294	<LOD	22.975	6.891	3.425	<LOD	<LOD	<LOD	3.157	<LOD	<LOD	0.293	1.918	3.734
			40	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	34.190	<LOD	17.851	3.350	<LOD	<LOD	<LOD	0.286	4.701	9.909	<LOD	0.215	1.297	4.460
		AR-Close	8	<LOD	0.030	<LOD	<LOD	107.700	<LOD	42.333	0.929	5.010	<LOD	<LOD	<LOD	6.695	21.924	<LOD	0.840	0.412*	10.764
			20	<LOD	0.016	<LOD	<LOD	45.263	<LOD	34.242	2.781	4.223	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.431	1.902	2.337
			30	<LOD	0.007	<LOD	<LOD	31.783	<LOD	31.096	6.592	1.867	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.307	0.612*	5.094
			40	<LOD	0.016	<LOD	<LOD	32.428	<LOD	28.914	3.093	3.006	<LOD	<LOD	<LOD	5.750	<LOD	<LOD	0.248	1.154	3.006
		AR-Open	8	<LOD	0.027	<LOD	<LOD	62.507	<LOD	34.631	2.792	4.609	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.533	0.387*	8.481
			20	<LOD	0.016	<LOD	<LOD	39.723	<LOD	30.862	<LOD	3.758	1.843	<LOD	<LOD	<LOD	12.912	<LOD	0.384	1.568	4.518
			30	<LOD	0.014	<LOD	<LOD	30.170	<LOD	29.751	2.986	3.772	2.768	<LOD	0.019*	<LOD	<LOD	<LOD	0.308	<LOD	3.305
			40	<LOD	0.011	<LOD	<LOD	31.901	<LOD	27.822	6.659	1.044	2.717	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.233	1.442	8.449
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.68 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังจากทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังจากทดสอบการชะละลาย																																			
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn																		
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.																		
20/10/47	4 วัน	DI	8	<LOD	0.103	<LOD	<LOD	162.810	<LOD	44.443	3.724	5.108	<LOD	<LOD	0.305	<LOD	22.043	<LOD	0.954	<LOD	17.947																		
			20	<LOD	0.040	<LOD	<LOD	71.445	<LOD	37.056	4.893	2.740	<LOD	<LOD	0.166	<LOD	3.730	<LOD	0.455	1.418	4.194																		
			30	<LOD	0.028	<LOD	<LOD	53.602	<LOD	32.808	4.395	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	12.124	<LOD	0.376	0.624*	4.498																			
			40	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	43.061	<LOD	31.304	2.458	4.259	<LOD	<LOD	<LOD	0.335*	<LOD	<LOD	0.273	<LOD	4.380																		
		TAP	8	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	157.850	<LOD	42.896	0.732	1.478	<LOD	<LOD	0.116	4.076	19.232	<LOD	0.946	2.150	9.799																		
			20	<LOD	0.009	<LOD	<LOD	77.740	<LOD	33.329	7.168	1.575	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.465	<LOD	5.850																		
			30	<LOD	0.001	<LOD	<LOD	56.885	<LOD	28.474	5.397	4.643	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.345	2.762	8.620																		
			40	<LOD	0.002	<LOD	<LOD	45.094	<LOD	22.949	2.406	3.047	<LOD	<LOD	0.075*	<LOD	<LOD	<LOD	0.275	2.310	6.006																		
		AR-Close	8	<LOD	0.049	<LOD	<LOD	153.670	<LOD	45.012	7.384	4.617	<LOD	<LOD	0.011*	<LOD	4.010	<LOD	0.947	<LOD	9.018																		
			20	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	68.069	<LOD	37.730	3.218	2.146	<LOD	<LOD	0.172	3.720	<LOD	<LOD	0.440	0.646*	7.349																		
			30	<LOD	0.010	<LOD	<LOD	49.665	<LOD	33.215	5.295	3.993	<LOD	<LOD	<LOD	3.855	27.546	<LOD	0.361	1.051	2.120																		
			40	<LOD	0.009	<LOD	<LOD	44.601	<LOD	31.121	<LOD	0.877	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.281	0.326*	5.332																		
		AR-Open	8	<LOD	0.049	<LOD	<LOD	55.311	<LOD	31.686	3.710	1.912	<LOD	<LOD	0.076*	<LOD	20.675	<LOD	0.429	0.875	16.678																		
			20	<LOD	0.021	<LOD	<LOD	58.560	<LOD	32.382	4.031	1.084	0.891*	<LOD	0.096*	<LOD	26.228	<LOD	0.435	0.690*	10.755																		
			30	<LOD	0.013	<LOD	<LOD	47.465	<LOD	30.660	1.428	0.211*	6.315	<LOD	<LOD	<LOD	5.513	<LOD	0.351	1.630	10.688																		
			40	<LOD	0.007	<LOD	<LOD	43.486	<LOD	29.564	1.460	0.060*	6.940	<LOD	<LOD	5.455	<LOD	<LOD	0.273	0.508*	20.277																		
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																						0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.69 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
20/10/47	9 วัน	DI	8	<LOD	0.205	<LOD	9.018	286.550	<LOD	46.747	<LOD	4.778	<LOD	<LOD	0.327	<LOD	<LOD	<LOD	1.110	<LOD	85.031
			20	<LOD	0.088	<LOD	2.797*	164.620	<LOD	41.162	0.189*	0.037*	<LOD	<LOD	0.154	<LOD	<LOD	<LOD	0.517	0.613*	36.537
			30	<LOD	0.061	<LOD	<LOD	145.380	<LOD	37.107	<LOD	1.412	<LOD	<LOD	0.467	<LOD	9.235	<LOD	0.455	0.155*	20.596
			40	<LOD	0.050	<LOD	<LOD	129.360	0.016*	35.896	2.842	3.105	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	22.180	<LOD	0.345	2.463	23.262
		TAP	8	<LOD	0.064	<LOD	8.399	284.530	<LOD	47.024	2.373	4.726	<LOD	<LOD	0.004*	2.123	11.036	<LOD	1.194	0.226*	16.397
			20	<LOD	0.015	<LOD	6.456	163.250	<LOD	37.213	5.436	1.094	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	14.002	<LOD	0.522	2.667	6.842
			30	<LOD	0.006	<LOD	5.938	140.740	<LOD	33.609	1.982	3.430	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	38.739	<LOD	0.429	1.339	6.059
			40	<LOD	0.070	<LOD	9.903	116.270	<LOD	31.310	6.827	0.956	<LOD	<LOD	0.312	1.986	23.221	<LOD	0.349	0.765	3.260
		AR-Close	8	<LOD	0.095	<LOD	2.422*	287.440	0.099	47.079	5.574	3.317	<LOD	<LOD	0.053	1.971	<LOD	<LOD	1.255	0.003*	40.578
			20	<LOD	0.031	<LOD	2.980*	160.510	<LOD	40.514	8.246	1.276	<LOD	<LOD	0.333	0.195*	21.132	<LOD	0.566	<LOD	19.321
			30	<LOD	0.024	<LOD	4.239*	139.830	0.102	37.515	1.042	3.430	<LOD	<LOD	0.063*	0.087*	<LOD	<LOD	0.445	<LOD	12.392
			40	<LOD	0.013	<LOD	0.849*	125.920	0.187	35.053	4.351	1.767	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.376	1.380	12.502
		AR-Open	8	<LOD	0.325	<LOD	14.586	106.840	0.258	7.302	2.906	2.436	0.586*	<LOD	0.471	<LOD	<LOD	<LOD	0.054	0.490*	10.080
			20	<LOD	0.045	<LOD	7.435	133.360	0.109	31.734	2.536	3.453	<LOD	<LOD	<LOD	0.688*	0.523*	<LOD	0.435	0.795	12.253
			30	<LOD	0.022	<LOD	3.424*	127.250	<LOD	31.225	3.202	3.380	<LOD	<LOD	0.183	0.825	18.833	<LOD	0.434	0.726	0.163*
			40	<LOD	0.020	<LOD	1.990*	121.940	<LOD	31.098	1.546	3.814	0.206*	<LOD	<LOD	<LOD	20.059	<LOD	0.360	0.795	5.593
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.70 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
20/10/47	16 วัน	DI	8	<LOD	0.403	<LOD	17.582	356.740	<LOD	59.882	<LOD	8.768	<LOD	2.635	0.341	<LOD	5.349	<LOD	1.442	<LOD	122.280
			20	<LOD	0.171	<LOD	12.004	215.160	<LOD	52.663	<LOD	3.802	<LOD	<LOD	0.273	<LOD	<LOD	<LOD	0.652	<LOD	45.922
			30	<LOD	0.106	<LOD	11.757	204.720	<LOD	49.284	<LOD	5.676	1.138	<LOD	0.362	<LOD	<LOD	<LOD	0.645	<LOD	31.407
			40	<LOD	0.088	<LOD	10.102	171.590	<LOD	48.049	<LOD	0.857	<LOD	8.243	0.190	<LOD	<LOD	<LOD	0.435	<LOD	43.296
		TAP	8	<LOD	0.132	<LOD	22.845	358.880	<LOD	59.559	<LOD	9.554	<LOD	<LOD	0.406	<LOD	1.588	<LOD	1.509	<LOD	43.813
			20	<LOD	0.053	<LOD	21.828	210.770	<LOD	50.876	<LOD	7.592	<LOD	<LOD	0.268	<LOD	<LOD	<LOD	0.666	<LOD	15.530
			30	<LOD	0.039	<LOD	24.080	182.800	<LOD	47.430	<LOD	2.019	<LOD	<LOD	0.236	<LOD	<LOD	<LOD	0.496	<LOD	17.253
			40	<LOD	0.027	<LOD	23.694	163.410	<LOD	44.472	<LOD	3.151	<LOD	<LOD	0.143	<LOD	9.673	<LOD	0.488	<LOD	15.185
		AR-Close	8	<LOD	0.190	<LOD	14.312	376.520	<LOD	59.936	<LOD	9.937	<LOD	0.564	0.329	<LOD	<LOD	<LOD	1.607	<LOD	106.900
			20	<LOD	0.067	<LOD	10.231	225.380	<LOD	54.362	<LOD	6.231	<LOD	1.040	0.277	<LOD	8.823	<LOD	0.761	<LOD	34.774
			30	<LOD	0.036	<LOD	7.335	192.810	<LOD	51.866	0.878	4.906	<LOD	<LOD	0.279	<LOD	<LOD	<LOD	0.598	<LOD	22.241
			40	<LOD	0.025	<LOD	8.276	170.670	<LOD	48.097	<LOD	3.081	<LOD	<LOD	0.163	<LOD	<LOD	<LOD	0.453	<LOD	22.289
		AR-Open	8	<LOD	1.563	<LOD	46.939	151.000	<LOD	6.142	<LOD	13.296	0.166	0.206*	0.437	<LOD	<LOD	<LOD	0.028	7.295	26.286
			20	<LOD	0.775	<LOD	25.456	135.150	<LOD	28.277	<LOD	8.112	<LOD	20.559	0.576	<LOD	<LOD	<LOD	0.180	<LOD	19.041
			30	<LOD	0.054	<LOD	11.568	177.890	<LOD	34.398	<LOD	4.260	0.115	<LOD	0.297	<LOD	<LOD	<LOD	0.476	<LOD	12.320
			40	<LOD	0.052	<LOD	11.882	180.520	<LOD	36.993	<LOD	4.375	0.141	<LOD	0.602	<LOD	1.303*	<LOD	0.466	<LOD	16.012
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.71 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
20/10/47	36 วัน	DI	8	<LOD	1.732	<LOD	2.990*	156.540	<LOD	46.857	4.903	1.177	0.104	<LOD	0.091	2.977	46.512	<LOD	0.840	<LOD	11.113
			20	<LOD	1.160	<LOD	<LOD	55.909	<LOD	40.208	7.208	0.512	<LOD	<LOD	0.067*	<LOD	4.677	<LOD	0.347	<LOD	8.921
			30	<LOD	0.176	<LOD	<LOD	77.233	<LOD	41.198	6.970	0.098*	<LOD	<LOD	<LOD	6.708	0.425*	<LOD	0.497	<LOD	6.052
			40	<LOD	0.272	<LOD	<LOD	35.887	0.195	34.834	3.682	<LOD	<LOD	4.946	0.238	7.337	21.189	<LOD	0.236	1.042	4.835
		TAP	8	<LOD	0.965	<LOD	3.693*	156.910	<LOD	45.402	7.038	3.420	<LOD	<LOD	0.169	1.009	12.344	<LOD	0.820	0.325*	15.620
			20	<LOD	0.503	<LOD	4.521*	48.346	<LOD	36.485	3.131	2.999	<LOD	1.455	0.057*	2.221	<LOD	<LOD	0.347	1.591	4.192
			30	<LOD	0.310	<LOD	2.139*	38.662	<LOD	33.665	1.370	4.381	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.488	<LOD	0.271	3.074	6.392
			40	<LOD	0.160	<LOD	0.428*	40.292	<LOD	31.933	4.132	0.072*	<LOD	<LOD	0.077*	0.405*	<LOD	<LOD	0.264	1.190	4.527
		AR-Close	8	<LOD	0.822	<LOD	<LOD	178.210	<LOD	47.979	3.147	3.500	<LOD	<LOD	0.430	1.961	35.809	<LOD	1.024	0.333*	42.068
			20	<LOD	0.706	<LOD	<LOD	56.077	<LOD	40.839	3.302	<LOD	<LOD	<LOD	0.459	<LOD	7.043	<LOD	0.410	0.069*	2.980
			30	<LOD	0.111	<LOD	<LOD	57.568	<LOD	38.807	3.487	1.317	<LOD	<LOD	<LOD	0.781	13.755	<LOD	0.421	0.488*	0.456
			40	<LOD	0.091	<LOD	<LOD	42.380	<LOD	35.052	0.367	<LOD	<LOD	<LOD	0.123	<LOD	10.155	<LOD	0.303	<LOD	0.591
		AR-Open	8	<LOD	0.055	<LOD	22.721	44.315	<LOD	5.705	1.056	8.017	<LOD	<LOD	0.258	2.746	<LOD	<LOD	0.085	40.701	9.810
			20	<LOD	0.229	<LOD	5.605	15.506	<LOD	9.529	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.388	<LOD	<LOD	0.169	15.060	4.052
			30	<LOD	0.710	<LOD	1.392*	28.253	<LOD	9.778	6.939	0.518	0.350*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.235	4.744	7.897
			40	<LOD	0.579	<LOD	<LOD	29.057	<LOD	13.796	<LOD	0.269*	0.273*	<LOD	0.220	<LOD	13.117	<LOD	0.241	2.488	2.516
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.72 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																																			
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn																		
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.																	
20/10/47	64 วัน	DI	8	<LOD	2.517	<LOD	24.333	132.800	<LOD	42.105	<LOD	4.673	<LOD	0.717	0.239	<LOD	<LOD	<LOD	0.658	1.375	38.757																		
			20	<LOD	1.875	<LOD	13.212	45.030	<LOD	47.531	<LOD	2.463	<LOD	<LOD	0.217	<LOD	<LOD	<LOD	0.467	1.161	11.054																		
			30	<LOD	1.768	<LOD	12.851	42.317	<LOD	45.922	<LOD	2.203	<LOD	<LOD	0.295	<LOD	<LOD	<LOD	0.406	<LOD	9.834																		
			40	<LOD	1.497	<LOD	12.577	37.257	<LOD	43.201	<LOD	1.033	<LOD	<LOD	0.493	<LOD	<LOD	<LOD	0.326	<LOD	13.190																		
		TAP	8	<LOD	1.757	<LOD	26.841	78.987	<LOD	43.686	0.220	4.446	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11.430	<LOD	0.613	1.834	24.957																		
			20	<LOD	1.176	<LOD	34.996	56.850	<LOD	42.548	<LOD	4.096	<LOD	<LOD	0.155	<LOD	<LOD	<LOD	0.453	3.877	14.824																		
			30	<LOD	0.847	<LOD	32.140	45.341	<LOD	39.442	<LOD	0.897	<LOD	<LOD	0.305	<LOD	<LOD	<LOD	0.437	5.791	10.988																		
			40	<LOD	0.772	<LOD	34.890	48.012	<LOD	38.803	<LOD	3.042	<LOD	<LOD	0.251	<LOD	<LOD	<LOD	0.414	2.187	18.504																		
		AR-Close	8	<LOD	2.861	<LOD	14.073	77.706	<LOD	49.593	<LOD	4.673	<LOD	<LOD	0.140	<LOD	<LOD	<LOD	0.667	<LOD	7.902																		
			20	<LOD	2.205	<LOD	13.985	59.813	<LOD	48.167	<LOD	4.677	<LOD	0.124*	0.118	<LOD	<LOD	<LOD	0.546	0.154*	9.747																		
			30	<LOD	1.871	<LOD	16.190	50.366	<LOD	46.006	<LOD	0.777	<LOD	<LOD	0.427	<LOD	6.732	<LOD	0.432	<LOD	13.928																		
			40	<LOD	1.953	<LOD	15.443	50.348	<LOD	45.708	<LOD	1.168	<LOD	0.485	0.131	<LOD	<LOD	<LOD	0.418	0.120*	14.805																		
		AR-Open	8	<LOD	0.042	<LOD	50.004	80.640	<LOD	21.137	<LOD	4.989	3.043	<LOD	0.043*	<LOD	<LOD	<LOD	0.380	25.423	30.122																		
			20	<LOD	0.182	<LOD	36.401	31.232	<LOD	17.220	<LOD	2.594	0.073*	<LOD	0.218	<LOD	<LOD	<LOD	0.292	21.100	14.997																		
			30	<LOD	0.354	<LOD	28.462	35.876	<LOD	16.858	<LOD	0.932	<LOD	<LOD	0.104	<LOD	<LOD	<LOD	0.285	8.037	18.823																		
			40	<LOD	0.537	<LOD	24.251	35.268	<LOD	18.972	0.313	3.188	0.078*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.334	7.019	14.025																		
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																						0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.73 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.174	<LOD	3.060*	56.206	0.670	35.193	3.349	12.252	<LOD	<LOD	126.440	<LOD	<LOD	<LOD	0.438	1.464	42.194
			20	<LOD	0.093	<LOD	<LOD	25.295	0.890	22.408	7.027	4.172	<LOD	<LOD	31.035	<LOD	9.311	<LOD	0.208	1.483	10.653
			30	<LOD	0.090	<LOD	<LOD	20.686	0.702	17.890	<LOD	3.815	<LOD	1.086	0.086*	1.052	<LOD	<LOD	0.147	1.515	9.977
			40	<LOD	0.055	<LOD	<LOD	17.174	0.870	15.555	5.659	5.015	<LOD	<LOD	8.302	<LOD	<LOD	<LOD	0.116	1.439	9.815
		TAP	8	<LOD	0.019	<LOD	11.183	71.183	0.895	36.099	5.919	22.950	<LOD	<LOD	0.182	<LOD	<LOD	<LOD	0.460	1.068	15.556
			20	<LOD	0.003	<LOD	13.159	33.514	0.906	15.689	7.383	3.752	<LOD	<LOD	0.007*	7.704	21.687	<LOD	0.190	0.164*	10.080
			30	<LOD	0.023	<LOD	16.508	32.526	0.896	18.114	0.063*	3.853	<LOD	<LOD	1.197	2.380	<LOD	<LOD	0.151	1.500	38.242
			40	<LOD	0.018	<LOD	12.234	25.762	0.893	19.879	5.961	1.963	<LOD	<LOD	0.443	4.388	<LOD	<LOD	0.139	2.966	39.576
		AR-Close	8	<LOD	0.160	<LOD	<LOD	57.131	0.809	37.174	3.677	14.678	<LOD	<LOD	74.833	13.819	26.981	<LOD	0.428	0.699	25.363
			20	<LOD	0.128	<LOD	<LOD	27.205	0.843	26.541	5.919	7.675	<LOD	<LOD	19.900	<LOD	<LOD	<LOD	0.212	0.859	18.129
			30	<LOD	0.122	<LOD	<LOD	19.544	0.948	21.309	1.909	6.428	<LOD	<LOD	6.193	4.822	30.181	<LOD	0.156	<LOD	7.524
			40	<LOD	0.140	<LOD	<LOD	20.760	1.005	24.162	<LOD	8.569	<LOD	2.529	1.882	1.740	4.868	<LOD	0.137	0.279*	7.769
		AR-Open	8	<LOD	0.108	<LOD	<LOD	75.019	0.866	33.133	3.058	15.947	<LOD	<LOD	2.068	0.245*	16.225	<LOD	0.422	0.165*	37.603
			20	<LOD	0.079	<LOD	<LOD	30.368	0.856	26.661	1.240	7.902	<LOD	<LOD	0.863	<LOD	<LOD	<LOD	0.215	0.287*	10.829
			30	<LOD	0.070	<LOD	<LOD	22.473	0.914	21.160	1.644	7.740	<LOD	<LOD	0.576	<LOD	<LOD	<LOD	0.168	1.601	7.380
			40	<LOD	0.075	<LOD	<LOD	19.054	1.079	19.448	4.726	9.926	<LOD	1.453	1.284	0.933	<LOD	<LOD	0.130	0.681	7.765
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.74 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	1 วัน	DI	8	<LOD	0.145	<LOD	<LOD	105.810	0.974	38.044	<LOD	4.209	<LOD	<LOD	165.740	<LOD	8.563	<LOD	0.644	1.010	38.248
			20	<LOD	0.031	<LOD	<LOD	51.225	0.890	31.127	3.803	1.675	<LOD	<LOD	77.074	5.965	<LOD	<LOD	0.343	1.440	10.742
			30	<LOD	0.022	<LOD	<LOD	42.427	0.930	26.981	5.379	<LOD	<LOD	<LOD	7.468	3.482	<LOD	<LOD	0.247	0.523*	6.801
			40	<LOD	0.014	<LOD	<LOD	30.088	0.864	23.528	6.347	0.610	<LOD	<LOD	36.972	<LOD	7.935	<LOD	0.193	0.665*	7.073
		TAP	8	<LOD	0.010	<LOD	4.350*	113.300	0.709	35.876	<LOD	7.026	<LOD	<LOD	0.198	1.048	2.524	<LOD	0.666	0.970	27.001
			20	<LOD	0.009	<LOD	10.274	48.910	0.904	20.356	3.505	4.150	<LOD	<LOD	0.781	3.538	<LOD	<LOD	0.306	2.060	14.054
			30	<LOD	0.004	<LOD	8.228	36.118	0.936	20.986	<LOD	2.709	<LOD	<LOD	0.403	<LOD	<LOD	<LOD	0.217	0.606*	22.330
			40	<LOD	0.011	<LOD	9.661	32.147	0.825	18.140	5.581	0.418*	<LOD	<LOD	0.217	<LOD	2.161	<LOD	0.180	2.104	25.909
		AR-Close	8	<LOD	0.067	<LOD	<LOD	104.370	0.850	41.015	<LOD	5.417	<LOD	<LOD	138.480	6.439	2.180	<LOD	0.655	0.639*	42.925
			20	<LOD	0.022	<LOD	<LOD	52.719	0.861	33.416	4.796	3.209	<LOD	<LOD	59.358	<LOD	0.991*	<LOD	0.355	<LOD	8.229
			30	<LOD	0.020	<LOD	<LOD	35.920	0.879	28.410	3.677	2.800	<LOD	<LOD	41.214	<LOD	<LOD	<LOD	0.257	0.072*	6.185
			40	<LOD	0.077	<LOD	<LOD	29.926	0.887	28.469	1.414	2.976	<LOD	<LOD	32.673	<LOD	41.326	<LOD	0.224	1.156	4.432
		AR-Open	8	<LOD	0.044	<LOD	<LOD	93.809	0.984	36.964	3.063	7.219	<LOD	<LOD	3.183	11.704	11.743	<LOD	0.561	<LOD	20.608
			20	<LOD	0.019	<LOD	<LOD	52.315	0.972	33.269	3.538	3.655	<LOD	<LOD	0.204	<LOD	<LOD	<LOD	0.365	0.080*	10.888
			30	<LOD	0.009	<LOD	<LOD	38.982	0.759	29.811	0.985	3.999	<LOD	<LOD	0.382	0.725	1.086*	<LOD	0.276	0.768	13.055
			40	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	29.285	0.765	27.397	5.190	4.622	<LOD	<LOD	0.147	0.037*	14.530	<LOD	0.223	<LOD	12.085
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.75 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังจากทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังจากทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.098	<LOD	<LOD	153.720	0.737	42.917	0.011*	0.664	<LOD	<LOD	218.070	<LOD	<LOD	<LOD	0.797	<LOD	41.123
			20	<LOD	0.044	<LOD	<LOD	64.918	0.699	35.581	3.226	<LOD	<LOD	<LOD	113.580	<LOD	<LOD	<LOD	0.431	1.369	9.876
			30	<LOD	0.032	<LOD	<LOD	46.577	0.802	31.323	2.476	0.545	<LOD	<LOD	38.638	<LOD	<LOD	<LOD	0.287	0.067*	8.588
			40	<LOD	0.024	<LOD	<LOD	38.435	0.816	29.484	3.120	1.559	<LOD	<LOD	62.037	<LOD	<LOD	<LOD	0.242	0.870	6.622
		TAP	8	<LOD	0.009	<LOD	0.956*	146.790	0.690	40.954	11.251	5.190	<LOD	<LOD	<LOD	1.056	12.365	<LOD	0.823	<LOD	16.770
			20	<LOD	0.001	<LOD	4.553*	60.450	0.802	30.058	3.484	3.968	<LOD	<LOD	0.177	5.324	<LOD	<LOD	0.424	1.549	11.445
			30	<LOD	0.001	<LOD	4.219*	42.793	0.752	23.681	3.307	4.642	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	10.462	<LOD	0.285	0.111*	3.871
			40	<LOD	<LOD	<LOD	7.829	39.352	0.710	20.847	5.753	2.382	<LOD	<LOD	<LOD	3.483	<LOD	<LOD	0.243	0.589*	28.497
		AR-Close	8	<LOD	0.054	<LOD	<LOD	129.600	0.746	41.673	2.018	<LOD	<LOD	<LOD	147.210	<LOD	8.722	<LOD	0.758	<LOD	66.317
			20	<LOD	0.022	<LOD	<LOD	65.518	0.734	35.481	5.860	0.676	<LOD	<LOD	69.046	7.795	4.066	<LOD	0.426	<LOD	10.496
			30	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	47.530	0.863	32.130	1.491	<LOD	<LOD	<LOD	54.659	<LOD	<LOD	<LOD	0.296	0.603*	16.248
			40	<LOD	0.029	<LOD	<LOD	42.453	0.760	30.483	6.284	4.660	<LOD	<LOD	52.215	2.727	<LOD	<LOD	0.258	0.078*	5.189
		AR-Open	8	<LOD	0.059	<LOD	<LOD	69.014	0.982	32.821	3.781	3.847	<LOD	19.485	3.607	0.510*	<LOD	<LOD	0.386	0.741	43.052
			20	<LOD	0.015	<LOD	<LOD	47.109	0.900	32.671	3.457	4.065	<LOD	<LOD	<LOD	3.964	13.276	<LOD	0.334	0.357*	8.814
			30	<LOD	0.010	<LOD	<LOD	49.400	0.739	32.102	4.650	0.296*	<LOD	<LOD	1.606	<LOD	<LOD	<LOD	0.307	0.664*	10.063
			40	<LOD	0.013	<LOD	<LOD	43.549	0.824	31.469	6.236	0.480*	<LOD	<LOD	0.339	<LOD	<LOD	<LOD	0.269	0.969	14.885
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.76 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	4 วัน	DI	8	<LOD	0.125	<LOD	<LOD	144.570	0.426	44.988	4.377	4.077	<LOD	<LOD	223.370	<LOD	<LOD	<LOD	0.819	1.293	10.885
			20	<LOD	0.062	<LOD	<LOD	68.568	0.477	36.952	5.800	0.855	<LOD	<LOD	118.510	<LOD	10.711	<LOD	0.456	0.307*	8.979
			30	<LOD	0.046	<LOD	<LOD	53.202	0.499	33.748	4.947	<LOD	<LOD	<LOD	61.807	3.820	<LOD	<LOD	0.335	0.598*	5.535
			40	<LOD	0.036	<LOD	<LOD	43.747	0.387	32.130	3.639	1.972	<LOD	<LOD	67.441	1.460	13.473	<LOD	0.265	0.864	2.147
		TAP	8	<LOD	0.045	<LOD	3.681*	160.690	0.359	42.914	0.461	1.770	<LOD	<LOD	0.391	2.698	1.166*	<LOD	0.860	1.518	43.068
			20	<LOD	0.011	<LOD	3.186*	73.047	0.472	34.633	1.664	2.736	<LOD	<LOD	0.421	2.769	<LOD	<LOD	0.452	<LOD	9.854
			30	<LOD	0.001	<LOD	4.975*	56.465	0.435	29.728	4.206	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	5.867	<LOD	0.350	0.938	4.253	
			40	<LOD	0.004	<LOD	8.117	46.841	0.397	26.853	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.536	<LOD	<LOD	<LOD	0.295	1.779	19.267
		AR-Close	8	<LOD	0.059	<LOD	<LOD	145.110	0.452	43.352	5.635	4.533	<LOD	<LOD	149.400	<LOD	<LOD	<LOD	0.817	0.793	21.928
			20	<LOD	0.024	<LOD	<LOD	69.767	0.537	36.108	4.003	1.980	<LOD	<LOD	70.931	<LOD	<LOD	<LOD	0.452	0.796	3.481
			30	<LOD	0.021	<LOD	<LOD	52.814	0.325	33.494	4.007	4.383	<LOD	<LOD	55.254	7.366	<LOD	<LOD	0.325	0.946	7.684
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	47.911	0.385	32.966	5.089	2.991	<LOD	<LOD	54.996	2.441	12.132	<LOD	0.282	1.267	3.307
		AR-Open	8	<LOD	0.100	<LOD	<LOD	55.044	0.512	35.407	6.045	4.421	<LOD	<LOD	0.840	4.063	25.394	<LOD	0.262	0.200*	14.204
			20	<LOD	0.031	<LOD	<LOD	44.287	0.429	32.670	<LOD	3.163	<LOD	<LOD	2.053	<LOD	<LOD	<LOD	0.274	1.068	8.154
			30	<LOD	0.016	<LOD	<LOD	45.200	0.334	32.017	6.860	2.332	<LOD	<LOD	0.070*	<LOD	<LOD	<LOD	0.271	0.665	2.700
			40	<LOD	0.021	<LOD	<LOD	48.852	0.430	31.399	3.164	3.871	<LOD	<LOD	2.830	4.423	3.921	<LOD	0.286	0.091*	3.528
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.77 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	9 วัน	DI	8	<LOD	0.136	<LOD	<LOD	207.300	0.422	48.549	9.228	9.237	<LOD	<LOD	149.540	1.053	19.977	<LOD	1.125	<LOD	30.287
			20	<LOD	0.097	<LOD	<LOD	85.074	0.332	40.753	10.315	1.638	<LOD	<LOD	106.790	<LOD	9.946	<LOD	0.500	0.635*	11.471
			30	<LOD	0.076	<LOD	<LOD	65.693	0.360	37.703	5.350	<LOD	<LOD	<LOD	61.940	<LOD	<LOD	<LOD	0.410	0.170*	11.576
			40	<LOD	0.061	<LOD	<LOD	52.620	0.282	35.708	6.971	<LOD	<LOD	<LOD	73.975	<LOD	<LOD	<LOD	0.336	<LOD	7.480
		TAP	8	<LOD	0.072	<LOD	5.988	200.250	0.286	47.278	1.946	10.935	<LOD	<LOD	0.104	5.080	2.039	<LOD	1.130	0.314*	15.995
			20	<LOD	0.008	<LOD	0.164*	96.453	0.368	40.159	3.147	1.116	<LOD	<LOD	0.300	1.419	13.438	<LOD	0.581	0.484*	1.820
			30	<LOD	0.003	<LOD	2.308*	71.068	0.397	34.598	0.764	0.621	<LOD	<LOD	0.235	<LOD	<LOD	<LOD	0.447	2.332	2.474
			40	<LOD	0.002	<LOD	2.517*	57.852	0.396	32.477	6.191	4.511	<LOD	<LOD	0.071*	3.783	2.453	<LOD	0.371	2.257	2.126
		AR-Close	8	<LOD	0.105	<LOD	<LOD	195.910	0.387	48.857	3.324	4.185	<LOD	<LOD	123.860	<LOD	21.316	<LOD	1.031	0.799	56.075
			20	<LOD	0.036	<LOD	<LOD	90.945	0.408	41.374	0.117*	2.773	<LOD	<LOD	65.642	1.167	<LOD	<LOD	0.506	<LOD	20.904
			30	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	70.775	0.258	39.364	1.291	1.343	<LOD	<LOD	72.060	5.245	<LOD	<LOD	0.436	0.347*	14.521
			40	<LOD	0.019	<LOD	<LOD	56.408	0.415	36.409	5.069	2.063	<LOD	<LOD	63.813	0.600*	<LOD	<LOD	0.354	0.219*	7.572
		AR-Open	8	<LOD	0.295	<LOD	<LOD	36.709	0.508	24.811	1.378	5.390	<LOD	<LOD	0.474	1.250	22.913	<LOD	0.078	0.377*	11.635
			20	<LOD	0.049	<LOD	<LOD	30.918	0.281	29.507	1.307	1.684	<LOD	<LOD	1.153	3.667	<LOD	<LOD	0.163	0.738	10.954
			30	<LOD	0.024	<LOD	<LOD	49.205	0.468	32.192	3.104	<LOD	<LOD	<LOD	0.149	<LOD	<LOD	<LOD	0.287	0.102*	5.255
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	47.991	0.666	31.402	5.111	0.427*	<LOD	<LOD	0.454	1.389	32.586	<LOD	0.270	0.308*	4.124
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.78 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	16 วัน	DI	8	<LOD	0.328	<LOD	13.413	178.970	0.266	48.317	5.531	5.064	<LOD	<LOD	152.120	5.644	16.553	<LOD	0.937	1.143	53.473
			20	<LOD	0.130	<LOD	3.361	81.022	0.375	41.393	5.558	0.743	<LOD	<LOD	67.440	<LOD	28.361	<LOD	0.447	0.534*	16.211
			30	<LOD	0.097	<LOD	3.238	58.838	0.298	37.273	0.284	2.772	<LOD	<LOD	37.062	<LOD	6.326	<LOD	0.340	1.501	14.908
			40	<LOD	0.079	<LOD	4.356	45.432	0.380	34.339	7.831	0.183*	<LOD	<LOD	43.484	0.814	<LOD	<LOD	0.259	0.425*	12.784
		TAP	8	<LOD	0.098	<LOD	15.840	181.710	0.592	46.662	8.935	4.221	<LOD	<LOD	0.453	3.718	<LOD	<LOD	0.965	<LOD	19.500
			20	<LOD	0.034	<LOD	16.036	93.512	0.672	38.024	0.503	0.114*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	7.172	<LOD	0.517	<LOD	11.174
			30	<LOD	0.013	<LOD	16.103	66.607	0.395	33.487	3.445	<LOD	<LOD	<LOD	0.011*	<LOD	18.835	<LOD	0.373	1.620	6.184
			40	<LOD	0.007	<LOD	17.114	54.227	0.642	31.636	4.041	<LOD	<LOD	<LOD	0.533	<LOD	8.562	<LOD	0.316	<LOD	5.730
		AR-Close	8	<LOD	0.171	<LOD	68.875	188.500	0.446	48.270	5.214	8.202	<LOD	<LOD	54.659	<LOD	10.448	<LOD	0.909	0.014*	41.285
			20	<LOD	0.053	<LOD	112.890	79.607	0.366	41.748	8.817	<LOD	<LOD	<LOD	26.970	<LOD	9.378	<LOD	0.469	0.758	14.012
			30	<LOD	0.031	<LOD	130.520	74.415	0.284	37.016	7.135	1.310	<LOD	<LOD	37.856	3.961	19.381	<LOD	0.338	0.404*	9.693
			40	<LOD	0.024	<LOD	127.020	44.455	0.296	36.032	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	37.106	<LOD	<LOD	<LOD	0.285	2.142	6.290
		AR-Open	8	<LOD	0.302	<LOD	78.678	42.900	0.368	5.544	3.409	7.347	<LOD	<LOD	0.545	9.162	<LOD	<LOD	0.023	12.918	14.044
			20	<LOD	0.454	<LOD	116.320	19.865	0.246	20.112	6.327	6.730	<LOD	<LOD	0.269	<LOD	7.696	<LOD	0.071	2.393	8.758
			30	<LOD	0.035	<LOD	152.920	36.204	0.587	23.643	6.457	0.870	<LOD	<LOD	1.460	<LOD	5.916	<LOD	0.155	1.076	4.433
			40	<LOD	0.029	<LOD	169.460	39.178	0.442	22.548	2.601	0.742	<LOD	<LOD	2.740	<LOD	<LOD	<LOD	0.199	1.827	6.415
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.79 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	36 วัน	DI	8	<LOD	1.442	<LOD	22.503	245.510	0.591	48.128	6.220	1.821	9.904	<LOD	0.529	1.716	9.444	<LOD	0.983	<LOD	168.500
			20	<LOD	1.327	<LOD	21.165	138.500	0.567	41.339	5.279	1.667	<LOD	<LOD	0.035*	<LOD	2.156	<LOD	0.485	<LOD	22.842
			30	<LOD	0.902	<LOD	16.415	122.610	0.579	39.671	2.434	1.615	<LOD	<LOD	0.625	<LOD	13.887	<LOD	0.334	1.808	9.770
			40	<LOD	1.159	<LOD	19.415	111.060	0.563	35.281	2.085	1.959	<LOD	<LOD	0.123	<LOD	<LOD	<LOD	0.259	0.094*	6.946
		TAP	8	<LOD	0.677	<LOD	20.961	238.110	0.575	45.553	3.259	2.816	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.936	<LOD	36.178
			20	<LOD	0.118	<LOD	21.702	153.360	0.343	39.674	1.433	0.151*	<LOD	<LOD	0.005*	6.299	16.996	<LOD	0.525	0.851	21.609
			30	<LOD	0.187	<LOD	24.166	118.040	0.497	32.610	7.386	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.282	1.235	11.175
			40	<LOD	0.388	<LOD	29.688	95.958	0.689	33.779	3.957	0.644	<LOD	<LOD	0.087*	<LOD	<LOD	<LOD	0.268	1.348	17.836
		AR-Close	8	<LOD	0.740	<LOD	39.804	224.510	0.689	48.545	3.533	4.222	<LOD	<LOD	0.739	<LOD	<LOD	<LOD	0.874	<LOD	131.890
			20	<LOD	0.734	<LOD	68.339	128.550	0.646	40.839	3.636	1.802	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	8.767	<LOD	0.444	2.306	16.361
			30	<LOD	0.180	<LOD	76.632	103.890	0.379	35.808	0.972	2.909	<LOD	<LOD	<LOD	11.287	7.702	<LOD	0.256	1.042	6.233
			40	<LOD	0.597	<LOD	81.066	107.430	0.467	36.524	1.569	0.940	<LOD	<LOD	0.103	2.557	<LOD	<LOD	0.266	1.292	6.287
		AR-Open	8	<LOD	0.034	<LOD	95.448	108.940	0.705	7.311	3.869	6.650	<LOD	<LOD	0.177	<LOD	<LOD	<LOD	0.110	35.327	6.587
			20	<LOD	0.111	<LOD	82.100	90.253	0.338	14.583	<LOD	4.097	<LOD	<LOD	0.079	2.173	<LOD	<LOD	0.203	12.697	4.606
			30	<LOD	0.314	<LOD	69.488	92.370	0.591	14.733	3.978	0.134*	<LOD	<LOD	0.108	<LOD	<LOD	<LOD	0.185	5.732	5.466
			40	<LOD	0.352	<LOD	68.831	95.198	0.517	18.256	7.564	<LOD	<LOD	<LOD	0.006*	1.728	0.493*	<LOD	0.200	3.724	3.425
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.80 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/10/47	64 วัน	DI	8	<LOD	2.374	<LOD	85.308	60.160	1.146	40.607	3.541	5.651	<LOD	<LOD	1.328	2.406	<LOD	<LOD	0.471	1.895	3.327
			20	<LOD	1.877	<LOD	73.947	36.045	0.432	35.450	0.376	1.291	<LOD	<LOD	0.912*	<LOD	2.931	<LOD	0.388	2.326	2.899
			30	<LOD	1.564	<LOD	59.111	31.550	0.566	37.143	2.870	0.014*	<LOD	<LOD	1.316	<LOD	9.727	<LOD	0.308	1.377	6.912
			40	<LOD	1.556	<LOD	59.584	31.869	0.479	36.084	2.778	<LOD	<LOD	<LOD	0.457*	<LOD	<LOD	<LOD	0.291	1.688	5.917
		TAP	8	<LOD	1.405	<LOD	52.829	69.433	0.559	38.101	0.232	3.888	<LOD	<LOD	0.552*	<LOD	<LOD	<LOD	0.529	1.158	18.099
			20	<LOD	0.839	<LOD	54.530	45.459	0.669	35.258	<LOD	0.586	<LOD	<LOD	0.175	<LOD	0.928*	<LOD	0.379	1.243	9.589
			30	<LOD	0.869	<LOD	51.587	35.292	0.520	34.286	4.946	0.753	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.770	<LOD	0.352	3.541	4.253
			40	<LOD	0.908	<LOD	47.999	36.663	0.328	34.615	8.370	<LOD	<LOD	<LOD	0.380	3.340	<LOD	<LOD	0.340	3.372	7.763
		AR-Close	8	<LOD	1.933	<LOD	39.340	57.431	0.606	42.364	3.696	<LOD	<LOD	<LOD	0.755	<LOD	<LOD	<LOD	0.469	0.936	2.973
			20	<LOD	1.785	<LOD	39.770	40.929	0.594	40.319	4.143	<LOD	<LOD	<LOD	0.739	<LOD	1.310*	<LOD	0.397	1.444	5.163
			30	<LOD	1.330	<LOD	34.798	28.242	0.598	36.801	5.674	2.547	<LOD	<LOD	0.819	<LOD	16.310	<LOD	0.262	1.422	3.563
			40	<LOD	1.763	<LOD	38.659	28.758	0.713	37.261	2.441	1.304	<LOD	<LOD	0.411	<LOD	9.901	<LOD	0.260	2.065	2.164
		AR-Open	8	<LOD	0.045	<LOD	77.406	44.705	0.561	8.637	1.712	1.096	0.284*	<LOD	0.050*	<LOD	13.427	<LOD	0.109	28.539	5.761
			20	<LOD	0.111	<LOD	59.236	21.194	0.449	14.616	3.850	0.444*	0.708*	<LOD	<LOD	0.490*	<LOD	<LOD	0.209	9.962	3.189
			30	<LOD	0.309	<LOD	45.826	16.283	0.586	14.095	<LOD	1.213	0.514*	<LOD	<LOD	<LOD	28.591	<LOD	0.216	6.736	5.711
			40	<LOD	0.394	<LOD	38.670	22.017	0.490	15.903	1.941	3.238	<LOD	<LOD	0.118	<LOD	<LOD	<LOD	0.218	4.997	4.685
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.81 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสค์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.529	<LOD	18.211	80.079	0.521	30.394	5.098	30.746	<LOD	<LOD	0.007*	<LOD	13.252	<LOD	0.297	0.234*	9.254
			20	<LOD	0.186	<LOD	15.360	77.956	0.623	22.682	5.147	12.171	<LOD	4.533	0.358	0.581*	<LOD	<LOD	0.136	<LOD	9.998
			30	<LOD	0.147	<LOD	12.479	76.423	0.453	15.614	<LOD	6.791	<LOD	<LOD	0.428	5.744	4.807	<LOD	0.092	0.171*	6.641
			40	<LOD	0.100	<LOD	10.346	76.088	0.577	13.910	0.330	5.157	<LOD	1.184	2.343	4.037	<LOD	<LOD	0.072	<LOD	5.828
		TAP	8	<LOD	0.234	<LOD	29.152	75.256	0.521	23.077	4.558	27.316	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.260	2.946	4.406
			20	<LOD	0.025	<LOD	28.541	80.967	0.541	13.603	<LOD	14.387	<LOD	<LOD	<LOD	0.340*	<LOD	<LOD	0.134	1.496	3.595
			30	<LOD	0.056	<LOD	27.415	80.028	0.439	13.665	4.222	5.364	<LOD	7.887	0.454	<LOD	<LOD	<LOD	0.074	0.998	99.280
			40	<LOD	0.069	<LOD	24.904	73.652	0.590	12.983	6.432	4.285	<LOD	8.499	0.424	<LOD	0.444*	<LOD	0.067	0.446*	82.126
		AR-Close	8	<LOD	0.218	<LOD	16.520	83.331	0.702	30.657	4.605	26.350	<LOD	<LOD	0.436	4.125	<LOD	<LOD	0.292	1.271	14.993
			20	<LOD	0.177	<LOD	16.426	76.047	0.555	26.646	<LOD	16.417	<LOD	86.798	0.579*	<LOD	1.856	<LOD	0.142	0.375*	7.280
			30	<LOD	0.136	<LOD	15.142	77.588	0.522	16.089	7.133	6.849	<LOD	3.766	0.108	<LOD	<LOD	<LOD	0.095	1.178	3.339
			40	<LOD	0.118	<LOD	11.857	75.654	0.658	13.580	4.585	3.155	<LOD	0.229	0.052*	<LOD	<LOD	<LOD	0.072	0.119*	6.465
		AR-Open	8	<LOD	0.375	<LOD	13.277	78.346	0.658	29.228	2.146	26.355	1.218	0.279*	0.193	2.902	<LOD	<LOD	0.301	1.169	8.397
			20	<LOD	0.191	<LOD	13.198	78.893	0.595	20.929	0.551	9.977	3.880	3.193	0.287	<LOD	0.229*	<LOD	0.137	1.176	12.920
			30	<LOD	0.167	<LOD	12.085	81.787	0.648	16.053	1.933	5.441	4.139	13.711	5.029	<LOD	<LOD	<LOD	0.097	<LOD	13.053
			40	<LOD	0.094	<LOD	12.142	73.524	0.312	15.289	<LOD	8.836	2.314	0.250*	2.252	<LOD	<LOD	<LOD	0.079	0.326*	9.031
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.82 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	1 วัน	DI	8	<LOD	0.055	<LOD	11.354	117.160	0.494	36.770	2.294	5.107	<LOD	<LOD	0.567	<LOD	1.394*	<LOD	0.518	<LOD	65.196
			20	<LOD	0.051	<LOD	11.196	93.492	0.617	27.893	5.692	6.082	<LOD	<LOD	0.111	<LOD	<LOD	<LOD	0.253	<LOD	37.423
			30	<LOD	0.064	<LOD	10.862	95.998	0.677	24.437	6.303	4.270	<LOD	0.887	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.185	0.723	17.516
			40	<LOD	0.026	<LOD	14.073	105.240	0.572	19.956	5.398	1.169	<LOD	<LOD	17.143	3.829	7.849	<LOD	0.135	0.454*	16.528
		TAP	8	<LOD	0.020	<LOD	21.966	111.410	0.642	32.335	4.599	13.050	<LOD	<LOD	0.006*	4.641	1.889	<LOD	0.518	0.529*	21.482
			20	<LOD	0.014	<LOD	34.437	159.740	0.301	15.443	0.598	4.817	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	15.745	<LOD	0.213	1.621	13.185
			30	<LOD	0.011	<LOD	30.556	128.250	0.292	10.610	4.067	1.991	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.136	0.975	9.830
			40	<LOD	0.026	<LOD	27.079	130.980	0.310	13.936	0.503	1.364	<LOD	<LOD	0.101	<LOD	17.833	<LOD	0.127	1.781	31.324
		AR-Close	8	<LOD	0.079	<LOD	14.931	100.390	0.579	35.126	3.968	12.197	<LOD	<LOD	0.339	<LOD	42.570	<LOD	0.495	0.017*	37.442
			20	<LOD	0.091	<LOD	4.928*	87.759	0.623	28.506	5.708	5.031	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.244	0.572*	17.515
			30	<LOD	0.036	<LOD	12.365	80.583	0.431	24.804	5.850	1.418	<LOD	<LOD	0.127	<LOD	<LOD	<LOD	0.180	2.317	20.955
			40	<LOD	0.029	<LOD	8.667	104.300	0.497	21.405	<LOD	4.203	<LOD	<LOD	0.055*	<LOD	5.200	<LOD	0.138	<LOD	12.713
		AR-Open	8	<LOD	0.141	<LOD	14.994	96.993	0.361	32.533	1.376	10.586	<LOD	0.876	0.188	0.683	19.822	<LOD	0.444	<LOD	17.995
			20	<LOD	0.049	<LOD	7.516	89.711	0.366	28.531	4.771	5.997	<LOD	<LOD	0.358	<LOD	<LOD	<LOD	0.269	0.253*	13.127
			30	<LOD	0.034	<LOD	10.737	90.340	0.518	23.943	4.625	1.096	<LOD	<LOD	0.446	<LOD	2.541	<LOD	0.179	0.381*	15.102
			40	<LOD	0.028	<LOD	16.269	97.147	0.624	20.600	1.209	2.252	<LOD	<LOD	0.132	6.919	22.233	<LOD	0.138	1.482	13.517
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.83 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.064	<LOD	<LOD	178.340	1.220	41.018	5.774	4.049	<LOD	<LOD	7.779	0.170*	25.226	<LOD	0.750	1.069	7.026
			20	<LOD	0.028	<LOD	<LOD	124.690	1.079	32.282	1.358	<LOD	<LOD	<LOD	0.147	<LOD	3.257	<LOD	0.387	1.784	9.787
			30	<LOD	0.029	<LOD	<LOD	110.040	0.623	29.355	<LOD	0.662	<LOD	<LOD	0.045*	<LOD	20.312	<LOD	0.261	0.067*	4.104
			40	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	118.910	0.752	26.444	3.865	0.465*	<LOD	<LOD	36.751	5.281	4.148	<LOD	0.205	<LOD	4.146
		TAP	8	<LOD	0.012	<LOD	4.601*	181.220	0.757	39.871	4.539	5.955	<LOD	<LOD	0.045*	2.330	<LOD	<LOD	0.810	0.507*	9.905
			20	<LOD	0.008	<LOD	9.665	116.560	0.507	29.679	5.636	2.531	<LOD	<LOD	<LOD	3.116	<LOD	<LOD	0.396	0.571*	4.207
			30	<LOD	0.005	<LOD	3.403*	103.400	0.688	22.940	<LOD	2.575	<LOD	<LOD	<LOD	7.634	<LOD	<LOD	0.257	1.914	3.654
			40	<LOD	0.006	<LOD	5.751	106.010	0.725	16.060	2.022	1.515	<LOD	<LOD	0.192	<LOD	<LOD	<LOD	0.189	<LOD	2.870
		AR-Close	8	<LOD	0.030	<LOD	<LOD	168.270	0.634	42.038	3.102	3.664	<LOD	<LOD	35.142	2.419	29.656	<LOD	0.786	0.364*	15.460
			20	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	106.640	0.661	33.684	5.274	6.246	<LOD	<LOD	0.742	<LOD	22.163	<LOD	0.394	<LOD	1.592
			30	<LOD	0.077	<LOD	<LOD	110.760	0.288	31.332	1.283	3.342	<LOD	12.850	0.153	3.277	<LOD	<LOD	0.279	0.777	4.547
			40	<LOD	0.017	<LOD	1.788*	155.240	0.391	28.108	5.253	3.294	1.303	3.934	0.270	<LOD	<LOD	<LOD	0.220	0.648	11.438
		AR-Open	8	<LOD	0.034	<LOD	<LOD	99.872	0.332	25.992	3.592	3.134	<LOD	<LOD	0.589	1.303	<LOD	<LOD	0.320	1.656	5.562
			20	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	94.728	0.681	30.393	9.773	2.632	<LOD	<LOD	0.167	<LOD	19.708	<LOD	0.306	0.657	6.818
			30	<LOD	0.019	<LOD	<LOD	102.800	0.514	29.301	<LOD	<LOD	24.724	1.155	<LOD	0.934	17.746	<LOD	0.275	0.633	22.360
			40	<LOD	0.012	<LOD	<LOD	113.570	0.517	28.032	6.243	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.219	<LOD	7.265
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.84 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	4 วัน	DI	8	<LOD	0.107	<LOD	<LOD	231.720	0.344	43.780	5.543	2.830	<LOD	<LOD	4.095	1.519	<LOD	<LOD	0.932	0.030*	13.687
			20	<LOD	0.050	<LOD	<LOD	139.240	0.243	36.427	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.668	2.153	0.686*	<LOD	0.468	0.217*	11.596
			30	<LOD	0.042	<LOD	<LOD	115.490	0.170	32.787	5.841	0.871	<LOD	<LOD	0.507	1.163	8.965	<LOD	0.330	0.944	4.517
			40	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	99.251	0.188	30.147	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	6.040	7.812	11.399	<LOD	0.248	0.252*	5.772
		TAP	8	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	226.290	0.398	42.666	3.504	2.489	<LOD	<LOD	0.067*	2.901	18.502	<LOD	0.935	<LOD	9.294
			20	<LOD	0.007	<LOD	<LOD	145.380	0.426	33.696	5.209	3.501	<LOD	<LOD	<LOD	0.053*	1.791	<LOD	0.473	0.631	1.032
			30	<LOD	0.006	<LOD	1.360*	116.030	0.621	29.109	5.170	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	49.429	<LOD	0.326	<LOD	6.144
			40	<LOD	0.004	<LOD	1.562*	117.960	0.553	23.834	3.454	2.620	<LOD	<LOD	<LOD	5.556	<LOD	<LOD	0.251	1.325	0.664
		AR-Close	8	<LOD	0.187	<LOD	<LOD	217.470	0.664	44.144	6.713	8.341	<LOD	<LOD	0.589	<LOD	14.397	<LOD	0.943	<LOD	8.316
			20	<LOD	0.030	<LOD	<LOD	133.200	0.579	37.675	2.753	1.133	<LOD	<LOD	<LOD	6.158	<LOD	<LOD	0.475	<LOD	6.448
			30	<LOD	0.041	<LOD	<LOD	123.420	0.534	33.501	6.504	2.360	<LOD	<LOD	<LOD	4.180	4.438	<LOD	0.340	0.358*	3.221
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	103.890	0.545	30.854	3.588	1.808	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	32.100	<LOD	0.256	<LOD	3.066
		AR-Open	8	<LOD	0.048	<LOD	<LOD	88.412	0.636	17.462	1.777	3.828	<LOD	<LOD	0.143	<LOD	7.606	<LOD	0.151	0.574*	2.173
			20	<LOD	0.066	<LOD	<LOD	100.080	0.769	31.888	0.003*	2.092	<LOD	<LOD	0.400	1.662	<LOD	<LOD	0.243	1.158	<LOD
			30	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	115.850	0.584	29.012	3.108	3.756	<LOD	<LOD	0.060*	<LOD	2.490	<LOD	0.296	<LOD	4.898
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	112.450	0.566	28.299	3.554	0.506	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	22.982	<LOD	0.255	<LOD	5.371
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.85 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	9 วัน	DI	8	<LOD	0.227	<LOD	1.513*	300.350	0.637	47.118	5.497	5.790	<LOD	<LOD	11.144	4.162	36.662	<LOD	1.157	<LOD	210.100
			20	<LOD	0.089	<LOD	<LOD	169.830	0.554	39.810	4.943	2.093	<LOD	<LOD	1.428	3.243	<LOD	<LOD	0.538	<LOD	46.869
			30	<LOD	0.060	<LOD	<LOD	139.620	0.566	36.765	2.603	0.430*	<LOD	<LOD	0.338	2.523	21.353	<LOD	0.399	0.291*	30.250
			40	<LOD	0.048	<LOD	<LOD	122.360	0.327	33.186	1.214	1.511	<LOD	<LOD	3.230	<LOD	<LOD	<LOD	0.304	1.171	31.163
		TAP	8	<LOD	0.064	<LOD	<LOD	301.130	0.604	44.949	6.780	3.074	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.196	0.193*	25.712
			20	<LOD	0.029	<LOD	<LOD	175.790	0.224	40.376	6.796	0.611	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.583	<LOD	9.685
			30	<LOD	0.016	<LOD	<LOD	138.960	0.309	35.809	5.586	4.076	<LOD	<LOD	0.168	<LOD	<LOD	<LOD	0.429	<LOD	2.215
			40	<LOD	0.005	<LOD	<LOD	117.990	0.228	32.760	0.862	2.020	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.340	<LOD	6.474
		AR-Close	8	<LOD	0.088	<LOD	<LOD	297.020	0.216	47.633	3.134	4.391	<LOD	<LOD	62.043	2.613	14.489	<LOD	1.141	0.185*	171.450
			20	<LOD	0.030	<LOD	<LOD	161.760	0.282	39.208	9.164	1.446	<LOD	<LOD	0.401	1.223	20.876	<LOD	0.544	<LOD	33.825
			30	<LOD	0.019	<LOD	<LOD	138.060	0.195	37.512	2.407	3.592	<LOD	<LOD	0.505	<LOD	<LOD	<LOD	0.426	<LOD	15.313
			40	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	121.330	0.377	35.102	2.792	2.351	<LOD	<LOD	0.893	<LOD	<LOD	<LOD	0.331	1.191	11.320
		AR-Open	8	<LOD	0.258	<LOD	<LOD	101.210	0.314	2.325	5.620	8.151	<LOD	<LOD	0.554	<LOD	<LOD	<LOD	0.017	1.050	31.680
			20	<LOD	0.207	<LOD	<LOD	111.340	0.308	38.029	6.359	2.596	<LOD	<LOD	0.352	<LOD	7.405	<LOD	0.275	<LOD	18.118
			30	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	113.520	0.293	29.492	<LOD	1.169	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.041*	<LOD	0.223	0.028*	4.106
			40	<LOD	0.020	<LOD	<LOD	114.660	0.670	28.738	3.179	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.409*	<LOD	<LOD	0.247	1.700	11.898
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.86 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	16 วัน	DI	8	<LOD	0.439	<LOD	33.320	424.210	<LOD	90.294	2.046	18.350	<LOD	1.316	380.030	<LOD	7.857	<LOD	2.137	<LOD	112.430
			20	<LOD	0.192	<LOD	25.673	174.250	<LOD	82.024	<LOD	7.835	0.007*	0.527	67.064	1.814	5.443	<LOD	0.975	<LOD	28.838
			30	<LOD	0.135	<LOD	25.851	112.540	<LOD	75.010	<LOD	9.636	<LOD	0.869	32.525	<LOD	25.340	<LOD	0.605	<LOD	27.951
			40	<LOD	0.108	<LOD	22.764	82.613	<LOD	69.953	<LOD	3.306	0.013*	1.518	65.124	<LOD	0.006	<LOD	0.457	<LOD	23.807
		TAP	8	<LOD	0.141	<LOD	43.179	469.450	<LOD	88.318	<LOD	21.684	1.296	17.219	0.273	<LOD	8.384	<LOD	2.292	<LOD	90.936
			20	<LOD	0.060	<LOD	37.999	194.550	<LOD	80.735	1.479	11.599	<LOD	1.762	0.454	<LOD	<LOD	<LOD	1.072	<LOD	38.724
			30	<LOD	0.041	<LOD	45.475	127.150	<LOD	71.014	<LOD	9.429	<LOD	2.555	0.468	<LOD	2.988	<LOD	0.674	<LOD	32.182
			40	<LOD	0.029	<LOD	40.746	103.440	<LOD	69.570	<LOD	7.603	<LOD	1.603	0.436	<LOD	13.849	<LOD	0.540	<LOD	23.632
		AR-Close	8	<LOD	0.211	<LOD	34.410	443.170	0.021*	89.488	1.794	20.291	1.113	3.678	399.820	1.536	<LOD	<LOD	2.147	<LOD	78.125
			20	<LOD	0.074	<LOD	24.370	181.430	<LOD	82.586	<LOD	5.723	<LOD	0.522	6.184	<LOD	12.422	<LOD	1.026	<LOD	28.272
			30	<LOD	0.055	<LOD	20.814	117.310	0.003*	75.759	1.484	5.999	0.593*	5.175	11.033	<LOD	<LOD	<LOD	0.646	<LOD	19.527
			40	<LOD	0.040	<LOD	20.931	91.302	<LOD	71.407	<LOD	5.536	<LOD	3.269	2.011	<LOD	<LOD	<LOD	0.499	<LOD	24.274
		AR-Open	8	<LOD	0.551	<LOD	67.756	199.470	<LOD	3.910	<LOD	32.302	0.462*	4.547	1.996	<LOD	5.773	<LOD	0.018	68.357	38.818
			20	<LOD	0.611	<LOD	40.379	150.850	0.020*	21.113	<LOD	18.696	1.107	5.968	0.649	3.420	13.357	<LOD	0.064	15.650	18.429
			30	<LOD	0.156	<LOD	34.385	50.429	<LOD	38.446	<LOD	4.796	0.320*	4.918	2.296	<LOD	<LOD	<LOD	0.265	<LOD	20.871
			40	<LOD	0.047	<LOD	28.342	72.968	<LOD	51.962	<LOD	9.053	1.992	3.004	1.111	<LOD	1.175	<LOD	0.414	<LOD	13.692
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.87 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	36 วัน	DI	8	<LOD	1.175	<LOD	19.979	368.000	<LOD	45.572	<LOD	9.727	<LOD	<LOD	0.553	<LOD	<LOD	<LOD	1.755	<LOD	19.478
			20	<LOD	0.429	<LOD	11.727	112.150	<LOD	15.178	<LOD	1.721	<LOD	<LOD	0.454	<LOD	<LOD	<LOD	0.528	<LOD	4.056
			30	<LOD	0.506	<LOD	10.791	68.720	<LOD	23.024	<LOD	4.064	<LOD	<LOD	0.088	<LOD	<LOD	<LOD	0.389	<LOD	0.635
			40	<LOD	0.829	<LOD	14.125	41.127	<LOD	25.577	0.950	3.856	<LOD	<LOD	0.145	<LOD	16.010	<LOD	0.252	0.126*	2.729
		TAP	8	<LOD	0.230	<LOD	26.535	253.840	<LOD	4.703	<LOD	11.752	<LOD	<LOD	0.368	<LOD	13.128	<LOD	0.585	<LOD	2.713
			20	<LOD	0.098	<LOD	28.329	157.500	<LOD	9.040	<LOD	4.054	<LOD	<LOD	0.148	<LOD	<LOD	<LOD	0.756	<LOD	3.081
			30	<LOD	0.573	<LOD	36.437	67.678	<LOD	25.371	<LOD	7.161	0.269*	<LOD	0.567	<LOD	<LOD	<LOD	0.359	0.584*	9.325
			40	<LOD	0.337	<LOD	33.115	67.451	<LOD	27.998	0.117*	2.424	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.381	1.232	12.323
		AR-Close	8	<LOD	0.616	<LOD	46.599	396.880	<LOD	64.106	1.286	7.487	<LOD	<LOD	0.196	0.697	<LOD	<LOD	1.857	<LOD	14.287
			20	<LOD	0.197	<LOD	16.098	105.870	<LOD	17.200	<LOD	2.744	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.501	<LOD	<LOD
			30	<LOD	0.632	<LOD	16.462	74.145	<LOD	32.880	<LOD	6.215	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.460	<LOD	9.103
			40	<LOD	0.936	<LOD	43.643	59.042	<LOD	58.881	4.958	6.646	<LOD	<LOD	0.327	<LOD	11.298	<LOD	0.394	<LOD	4.510
		AR-Open	8	<LOD	0.053	<LOD	107.160	119.370	<LOD	14.408	<LOD	34.632	0.854	<LOD	0.679	<LOD	<LOD	<LOD	0.134	100.320	19.149
			20	<LOD	0.136	<LOD	47.697	40.114	<LOD	19.385	2.111	12.875	<LOD	<LOD	0.515	<LOD	<LOD	<LOD	0.361	34.975	16.670
			30	<LOD	0.364	<LOD	37.698	40.090	<LOD	24.216	<LOD	11.005	0.237*	<LOD	0.471	<LOD	2.344	<LOD	0.354	16.086	20.419
			40	<LOD	0.504	<LOD	34.438	51.993	<LOD	30.211	<LOD	7.770	1.823	<LOD	0.942	<LOD	<LOD	<LOD	0.343	6.037	35.907
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)			0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200	

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.88 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 26 ตุลาคม 2547 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ระยะเวลา ทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
26/10/47	64 วัน	DI	8	<LOD	2.987	<LOD	14.557	233.750	<LOD	55.806	1.144	3.603	4.003	0.372	1.289	<LOD	<LOD	<LOD	0.826	<LOD	253.960
			20	<LOD	2.253	<LOD	15.589	192.500	<LOD	54.513	<LOD	6.017	<LOD	<LOD	0.974	<LOD	3.103	<LOD	0.503	<LOD	47.434
			30	<LOD	1.548	<LOD	13.841	175.500	<LOD	50.635	<LOD	3.716	0.814*	2.343	0.669	<LOD	<LOD	<LOD	0.387	<LOD	54.529
			40	<LOD	1.321	<LOD	14.210	163.080	<LOD	48.114	1.148	0.612	<LOD	<LOD	0.926	<LOD	8.416	<LOD	0.326	0.724	13.163
		TAP	8	<LOD	1.509	<LOD	16.391	239.380	<LOD	54.240	<LOD	3.999	0.897	0.773	0.293	<LOD	<LOD	<LOD	0.896	<LOD	82.230
			20	<LOD	0.881	<LOD	36.939	183.280	<LOD	48.602	<LOD	6.100	1.926	0.328	0.389	0.268*	<LOD	<LOD	0.462	4.651	161.030
			30	<LOD	0.813	<LOD	40.383	172.620	<LOD	45.279	0.187*	5.293	3.036	<LOD	0.240	<LOD	18.370	<LOD	0.421	4.233	214.300
			40	<LOD	0.805	<LOD	41.354	165.200	<LOD	47.253	<LOD	2.669	1.830	<LOD	0.299	<LOD	10.537	<LOD	0.418	4.280	123.510
		AR-Close	8	<LOD	2.505	<LOD	10.947	224.750	<LOD	56.393	0.838	4.347	<LOD	0.652	0.793	<LOD	3.188	<LOD	0.832	<LOD	30.537
			20	<LOD	2.025	<LOD	14.971	198.700	<LOD	54.616	<LOD	5.235	1.569	1.706	0.235	<LOD	23.353	<LOD	0.550	<LOD	116.800
			30	<LOD	2.035	<LOD	13.678	178.210	<LOD	50.836	<LOD	3.155	0.564*	<LOD	0.392	<LOD	<LOD	<LOD	0.447	<LOD	54.761
			40	<LOD	1.629	<LOD	10.397	167.960	<LOD	48.474	<LOD	2.739	<LOD	<LOD	0.442	<LOD	<LOD	<LOD	0.387	<LOD	28.854
		AR-Open	8	<LOD	0.099	<LOD	28.252	144.000	<LOD	37.154	<LOD	2.813	13.560	0.773	1.242	<LOD	<LOD	<LOD	0.511	0.908	56.381
			20	<LOD	0.194	<LOD	32.004	169.200	<LOD	16.668	<LOD	3.284	0.801	<LOD	0.301	<LOD	7.269	<LOD	0.328	17.168	71.824
			30	<LOD	0.294	<LOD	27.485	170.040	<LOD	20.822	<LOD	4.666	0.638*	<LOD	0.302	<LOD	<LOD	<LOD	0.369	11.212	50.824
			40	<LOD	0.409	<LOD	26.153	162.980	<LOD	23.064	<LOD	5.711	3.326	0.565	0.219	<LOD	<LOD	<LOD	0.343	8.862	167.330
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.89 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บ	ระยะเวลา	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.236	<LOD	<LOD	43.748	0.975	35.851	6.546	55.696	<LOD	3.048	0.621	5.651	6.755	<LOD	0.442	2.137	88.284
			20	<LOD	0.100	<LOD	<LOD	21.450	0.993	26.601	2.128	26.821	<LOD	4.914	0.415	<LOD	<LOD	<LOD	0.214	0.279*	23.001
			30	<LOD	0.119	<LOD	<LOD	32.783	0.831	21.072	6.205	2.398	<LOD	1.675	0.168	4.196	<LOD	<LOD	0.138	0.414*	15.329
			40	<LOD	0.119	<LOD	<LOD	29.861	0.893	17.948	10.403	<LOD	<LOD	6.874	0.085*	5.633	5.063	<LOD	0.135	0.453*	12.296
		TAP	8	<LOD	0.018	<LOD	15.040	58.058	0.912	27.797	4.763	55.229	1.271	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.393	1.841	20.976
			20	<LOD	0.008	<LOD	15.376	24.453	0.904	19.339	4.112	20.684	<LOD	<LOD	0.060*	4.151	<LOD	<LOD	0.150	2.880	70.691
			30	<LOD	0.028	<LOD	16.530	23.905	0.907	15.330	1.960	2.672	<LOD	<LOD	0.146	5.485	<LOD	<LOD	0.089	1.474	62.048
			40	<LOD	0.052	<LOD	19.697	41.857	0.845	14.565	5.864	2.920	<LOD	<LOD	0.337	<LOD	11.770	<LOD	0.093	0.318*	32.478
		AR-Close	8	<LOD	0.219	<LOD	<LOD	31.479	0.805	34.502	7.877	37.203	<LOD	8.894	0.331	6.797	<LOD	<LOD	0.332	1.635	53.933
			20	<LOD	0.076	<LOD	<LOD	20.671	0.937	28.257	2.579	26.682	<LOD	3.797	<LOD	<LOD	14.168	<LOD	0.228	1.245	28.504
			30	<LOD	0.097	<LOD	<LOD	30.971	0.848	22.306	4.396	4.305	<LOD	5.410	0.122	<LOD	<LOD	<LOD	0.148	1.009	15.027
			40	<LOD	0.120	<LOD	<LOD	25.664	0.948	19.364	7.845	5.958	<LOD	10.300	<LOD	9.110	23.087	<LOD	0.118	<LOD	3.181
		AR-Open	8	<LOD	0.170	<LOD	<LOD	39.733	0.884	33.408	<LOD	36.771	0.872*	3.828	0.279	3.888	9.700	<LOD	0.359	1.039	63.117
			20	<LOD	0.078	<LOD	<LOD	25.650	0.941	26.284	8.519	17.380	<LOD	1.826	0.390	14.211	0.745*	<LOD	0.202	0.572*	22.951
			30	<LOD	0.130	<LOD	<LOD	31.882	0.925	22.843	4.296	2.999	<LOD	4.808	0.498	<LOD	0.645*	<LOD	0.150	<LOD	21.383
			40	<LOD	0.167	<LOD	<LOD	32.688	0.966	21.952	6.531	5.445	<LOD	5.872	0.367	0.336*	0.470*	<LOD	0.150	0.703	12.211
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.90 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																		
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn	
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	1 วัน	DI	8	<LOD	0.047	<LOD	8.101	69.449	0.856	40.264	5.776	24.443	<LOD	<LOD	0.028*	5.318	<LOD	<LOD	0.549	<LOD	11.829	
			20	<LOD	0.021	<LOD	<LOD	31.800	0.682	33.766	1.483	14.378	<LOD	<LOD	0.127	<LOD	<LOD	<LOD	0.308	1.316	7.130	
			30	<LOD	0.028	<LOD	<LOD	52.051	0.741	27.223	5.574	3.485	<LOD	<LOD	<LOD	2.703	<LOD	<LOD	0.221	2.215	4.668	
			40	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	44.304	0.887	24.844	7.050	0.454*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.191	2.621	6.748	
		TAP	8	<LOD	0.008	<LOD	11.358	76.547	0.855	37.045	3.890	29.920	<LOD	<LOD	0.202	3.078	6.273	<LOD	0.537	0.589*	25.360	
			20	<LOD	0.001	<LOD	10.966	32.255	0.868	25.182	2.176	12.998	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24.916	<LOD	0.280	1.288	3.749	
			30	<LOD	0.005	<LOD	15.587	35.220	0.895	18.848	1.155	0.589	<LOD	<LOD	0.166	<LOD	<LOD	<LOD	0.185	2.100	29.541	
			40	<LOD	0.010	<LOD	14.908	36.885	0.782	18.697	0.801	2.274	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.180	1.017	29.810	
		AR-Close	8	<LOD	0.068	<LOD	<LOD	60.088	0.904	41.129	4.478	33.022	<LOD	<LOD	0.048*	8.872	11.341	<LOD	0.594	0.180*	12.521	
			20	<LOD	0.020	<LOD	<LOD	31.147	0.795	34.244	0.613	10.827	<LOD	<LOD	0.496	<LOD	2.040	<LOD	0.306	<LOD	10.302	
			30	<LOD	0.033	<LOD	<LOD	47.871	0.920	28.811	2.210	<LOD	<LOD	0.766	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.227	<LOD	7.583	
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	39.637	0.997	25.955	4.895	1.132	<LOD	<LOD	<LOD	2.399	11.914	<LOD	0.187	0.532*	9.235	
		AR-Open	8	<LOD	0.043	<LOD	<LOD	61.417	0.867	34.284	1.545	21.850	<LOD	1.620	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.461	<LOD	12.200
			20	<LOD	0.018	<LOD	<LOD	39.479	0.846	32.826	3.874	10.104	<LOD	<LOD	<LOD	0.689*	<LOD	<LOD	0.317	0.339*	10.448	
			30	<LOD	0.037	<LOD	<LOD	51.235	0.959	29.827	7.627	0.129*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16.149	<LOD	0.232	0.743	9.570	
			40	<LOD	0.042	<LOD	<LOD	42.805	0.901	26.184	0.958	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	4.377	<LOD	<LOD	0.184	0.843	8.260	
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200	

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.91 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังจากทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ระยะเวลา ทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังจากทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.036	<LOD	<LOD	112.510	0.793	43.953	4.503	8.930	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.806	<LOD	35.735
			20	<LOD	0.011	<LOD	<LOD	52.078	0.767	37.063	2.179	6.178	<LOD	<LOD	0.245	4.422	9.296	<LOD	0.421	0.188*	10.944
			30	<LOD	0.040	<LOD	<LOD	57.551	0.649	31.033	4.028	1.799	<LOD	<LOD	0.533	<LOD	2.195	<LOD	0.251	0.387*	6.344
			40	<LOD	0.030	<LOD	<LOD	46.749	0.616	28.532	5.770	0.839	<LOD	<LOD	0.094*	<LOD	<LOD	<LOD	0.207	<LOD	3.600
		TAP	8	<LOD	0.007	<LOD	2.097*	107.740	0.716	41.927	2.492	14.973	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11.332	<LOD	0.805	<LOD	10.282
			20	<LOD	0.002	<LOD	2.480*	49.488	0.892	32.437	<LOD	2.824	<LOD	<LOD	0.003*	<LOD	<LOD	<LOD	0.423	0.628*	8.763
			30	<LOD	<LOD	<LOD	6.271	52.140	0.775	25.553	5.338	2.329	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.271	2.788	5.113
			40	<LOD	0.003	<LOD	4.418*	46.050	0.779	25.441	<LOD	2.123	<LOD	<LOD	0.056*	11.455	<LOD	<LOD	0.239	2.212	31.631
		AR-Close	8	<LOD	0.064	<LOD	<LOD	109.630	1.002	43.538	4.146	15.939	<LOD	<LOD	0.302	<LOD	32.903	<LOD	0.801	0.399*	73.924
			20	<LOD	0.011	<LOD	<LOD	45.069	0.562	36.763	3.033	4.670	<LOD	<LOD	<LOD	0.637*	<LOD	<LOD	0.415	1.358	12.062
			30	<LOD	0.019	<LOD	<LOD	55.025	0.798	32.530	6.603	0.687	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.266	0.607*	9.149
			40	<LOD	0.011	<LOD	<LOD	44.949	0.803	29.145	6.838	<LOD	<LOD	<LOD	0.067*	3.543	<LOD	<LOD	0.210	1.890	2.929
		AR-Open	8	<LOD	0.047	<LOD	<LOD	95.230	0.784	34.352	5.661	7.021	<LOD	<LOD	0.027*	<LOD	2.570	<LOD	0.467	<LOD	49.235
			20	<LOD	0.013	<LOD	<LOD	54.677	0.774	32.708	4.337	2.442	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16.300	<LOD	0.380	0.802	6.655
			30	<LOD	0.022	<LOD	<LOD	57.788	0.849	32.629	4.140	5.030	<LOD	<LOD	0.133	4.167	3.254	<LOD	0.272	0.371*	10.048
			40	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	49.544	0.716	30.171	0.891	4.128	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.430	<LOD	0.216	<LOD	7.431
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.92 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังจากทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	4 วัน	DI	8	<LOD	0.100	<LOD	20.590	212.260	0.495	46.830	7.859	3.368	<LOD	<LOD	0.381	<LOD	4.204	<LOD	1.032	<LOD	66.867
			20	<LOD	0.038	<LOD	3.943*	97.486	0.324	39.096	0.938	4.222	<LOD	<LOD	<LOD	8.167	6.827	<LOD	0.485	0.882	14.567
			30	<LOD	0.061	<LOD	<LOD	63.893	0.749	34.367	2.290	1.730	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.298	0.752	6.788
			40	<LOD	0.047	<LOD	<LOD	50.675	0.786	32.780	5.492	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16.444	<LOD	0.235	<LOD	5.433
		TAP	8	<LOD	0.093	<LOD	<LOD	209.060	0.717	46.113	<LOD	3.659	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.057	<LOD	71.962
			20	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	89.438	0.703	39.190	<LOD	1.937	<LOD	1.326	0.050*	<LOD	<LOD	<LOD	0.487	0.412*	15.608
			30	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	70.211	0.689	35.304	0.824	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.335	<LOD	14.777
			40	<LOD	0.013	<LOD	<LOD	54.732	0.671	33.226	0.346	1.428	<LOD	<LOD	0.182	<LOD	5.328	<LOD	0.262	0.083*	10.582
		AR-Close	8	<LOD	0.026	<LOD	0.766*	209.100	0.743	43.863	7.286	6.547	<LOD	<LOD	<LOD	5.402	9.571	<LOD	1.110	0.469*	21.692
			20	<LOD	0.004	<LOD	6.020	94.029	0.749	35.269	0.353	6.255	<LOD	<LOD	0.052*	<LOD	7.848	<LOD	0.499	0.575*	11.688
			30	<LOD	0.002	<LOD	5.539	60.605	0.643	28.983	6.570	0.211*	<LOD	<LOD	0.054*	<LOD	21.626	<LOD	0.308	<LOD	4.165
			40	<LOD	0.001	<LOD	5.997	50.307	0.726	24.113	4.402	2.239	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.254	1.415	4.585
		AR-Open	8	<LOD	0.087	<LOD	<LOD	96.126	0.660	32.523	1.187	4.590	<LOD	0.978	<LOD	1.645	3.293	<LOD	0.359	<LOD	63.549
			20	<LOD	0.032	<LOD	<LOD	82.205	0.723	32.910	<LOD	0.931	<LOD	2.216	0.087*	<LOD	<LOD	<LOD	0.405	0.081*	21.808
			30	<LOD	0.025	<LOD	<LOD	53.064	0.646	31.982	4.256	1.228	<LOD	<LOD	<LOD	7.015	<LOD	<LOD	0.257	1.535	6.400
			40	<LOD	0.026	<LOD	<LOD	50.960	0.769	31.426	0.683	2.203	<LOD	0.302	0.127	<LOD	<LOD	<LOD	0.231	<LOD	5.730
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.93 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ระยะเวลา ทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	9 วัน	DI	8	<LOD	0.214	<LOD	20.878	342.790	<LOD	46.385	<LOD	6.586	<LOD	<LOD	0.220	<LOD	0.958*	<LOD	1.475	<LOD	1.815
			20	<LOD	0.087	<LOD	14.462	151.600	<LOD	40.699	1.012	2.776	<LOD	<LOD	0.490	<LOD	18.063	<LOD	0.664	<LOD	3.909
			30	<LOD	0.088	<LOD	10.636	73.640	<LOD	36.383	<LOD	3.124	<LOD	<LOD	0.735	<LOD	<LOD	<LOD	0.358	<LOD	6.285
			40	<LOD	0.067	<LOD	9.210	62.270	<LOD	33.352	0.263	2.128	<LOD	<LOD	0.383	<LOD	<LOD	<LOD	0.280	<LOD	4.833
		TAP	8	<LOD	0.053	<LOD	21.191	363.280	<LOD	44.715	<LOD	4.885	<LOD	<LOD	0.204	<LOD	<LOD	<LOD	1.441	<LOD	17.387
			20	<LOD	0.011	<LOD	22.359	166.060	<LOD	39.459	<LOD	4.683	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.704	<LOD	5.178
			30	<LOD	0.004	<LOD	25.368	89.668	<LOD	33.931	<LOD	1.788	<LOD	<LOD	0.174	<LOD	<LOD	<LOD	0.429	<LOD	7.651
			40	<LOD	0.003	<LOD	22.155	70.768	<LOD	31.565	<LOD	2.953	<LOD	<LOD	0.180	<LOD	<LOD	<LOD	0.346	<LOD	4.463
		AR-Close	8	<LOD	0.130	<LOD	13.649	357.610	<LOD	47.303	<LOD	3.655	<LOD	<LOD	0.198	<LOD	<LOD	<LOD	1.508	<LOD	10.656
			20	<LOD	0.044	<LOD	13.125	163.670	<LOD	41.868	<LOD	1.384	<LOD	<LOD	<LOD	0.061*	<LOD	<LOD	0.696	<LOD	6.179
			30	<LOD	0.039	<LOD	14.071	84.886	<LOD	37.779	<LOD	1.694	<LOD	<LOD	0.439	<LOD	<LOD	<LOD	0.401	<LOD	5.166
			40	<LOD	0.026	<LOD	17.068	64.922	<LOD	33.616	<LOD	2.436	<LOD	<LOD	0.252	<LOD	<LOD	<LOD	0.300	<LOD	4.980
		AR-Open	8	<LOD	0.292	<LOD	12.699	21.124	<LOD	13.236	<LOD	5.589	<LOD	1.952	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.087	<LOD	5.574
			20	<LOD	0.055	<LOD	11.087	55.431	<LOD	27.875	<LOD	3.367	<LOD	0.501	0.268	<LOD	5.766	<LOD	0.254	<LOD	5.048
			30	<LOD	0.036	<LOD	11.093	48.912	<LOD	29.831	<LOD	3.310	<LOD	0.023*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.235	0.342*	6.634
			40	<LOD	0.038	<LOD	12.333	69.519	<LOD	31.631	0.555	3.699	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.306	<LOD	8.894
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.94 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	16 วัน	DI	8	<LOD	0.411	<LOD	15.688	366.910	<LOD	49.805	<LOD	8.285	<LOD	<LOD	0.129	<LOD	<LOD	<LOD	1.442	<LOD	20.328
			20	<LOD	0.152	<LOD	9.581	152.880	<LOD	41.334	<LOD	2.426	<LOD	<LOD	0.403	<LOD	<LOD	<LOD	0.609	<LOD	9.276
			30	<LOD	0.159	<LOD	8.351	69.928	<LOD	36.340	<LOD	0.763	<LOD	<LOD	0.543	<LOD	<LOD	<LOD	0.317	<LOD	6.934
			40	<LOD	0.110	<LOD	8.146	56.814	<LOD	34.544	<LOD	1.892	<LOD	<LOD	0.158	<LOD	<LOD	<LOD	0.252	<LOD	2.897
		TAP	8	<LOD	0.094	<LOD	15.495	359.880	<LOD	48.077	<LOD	8.563	<LOD	<LOD	0.212	<LOD	0.129*	<LOD	1.384	<LOD	29.890
			20	<LOD	0.036	<LOD	15.771	158.800	<LOD	41.447	<LOD	5.149	<LOD	<LOD	0.365	<LOD	21.086	<LOD	0.648	0.084*	11.813
			30	<LOD	0.041	<LOD	17.497	73.573	<LOD	32.246	<LOD	3.373	<LOD	<LOD	0.227	<LOD	<LOD	<LOD	0.331	<LOD	9.027
			40	<LOD	0.026	<LOD	20.401	68.081	<LOD	30.864	<LOD	0.902	<LOD	<LOD	0.183	<LOD	<LOD	<LOD	0.312	<LOD	11.975
		AR-Close	8	<LOD	0.173	<LOD	186.610	363.960	<LOD	48.323	1.438	6.902	0.07*	<LOD	0.297	<LOD	<LOD	<LOD	1.408	<LOD	18.169
			20	<LOD	0.050	<LOD	364.910	159.450	<LOD	42.036	1.662	0.904	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.621	<LOD	8.240
			30	<LOD	0.052	<LOD	403.920	67.140	<LOD	36.695	<LOD	2.985	<LOD	<LOD	0.005*	<LOD	<LOD	<LOD	0.313	0.028*	6.634
			40	<LOD	0.029	<LOD	443.400	65.571	<LOD	36.301	<LOD	4.430	<LOD	<LOD	0.361	7.649	<LOD	<LOD	0.281	<LOD	5.897
		AR-Open	8	<LOD	0.642	<LOD	178.000	32.039	<LOD	2.228	<LOD	7.242	<LOD	2.125	0.138	<LOD	<LOD	<LOD	0.023	16.311	11.520
			20	<LOD	0.854	<LOD	219.800	32.297	<LOD	20.307	0.851	6.155	<LOD	3.567	0.152	<LOD	<LOD	<LOD	0.139	<LOD	7.913
			30	<LOD	0.681	<LOD	265.840	29.682	<LOD	21.201	<LOD	0.824	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.121	0.890	8.291
			40	<LOD	0.237	<LOD	272.230	52.013	<LOD	23.919	<LOD	1.300	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.218	<LOD	7.845
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.95 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังจากทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	36 วัน	DI	8	<LOD	1.059	<LOD	16.733	304.120	<LOD	49.003	<LOD	6.898	<LOD	<LOD	0.627	<LOD	25.068	<LOD	1.350	<LOD	35.956
			20	<LOD	0.523	<LOD	12.898	119.090	<LOD	41.194	<LOD	3.134	<LOD	<LOD	0.099	<LOD	<LOD	<LOD	0.546	<LOD	10.221
			30	<LOD	1.326	<LOD	11.374	34.823	<LOD	36.785	<LOD	3.922	<LOD	<LOD	0.251	<LOD	<LOD	<LOD	0.235	0.989	8.822
			40	<LOD	1.304	<LOD	12.754	29.366	<LOD	35.776	<LOD	3.903	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.206	<LOD	10.766
		TAP	8	<LOD	0.378	<LOD	16.269	341.180	<LOD	49.907	<LOD	4.884	<LOD	<LOD	0.003*	0.925	<LOD	<LOD	1.417	<LOD	37.940
			20	<LOD	0.075	<LOD	15.439	127.000	<LOD	39.980	<LOD	4.199	<LOD	<LOD	0.043*	<LOD	<LOD	<LOD	0.583	<LOD	14.558
			30	<LOD	0.710	<LOD	28.291	37.926	<LOD	33.848	<LOD	4.111	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.283	2.474	9.873
			40	<LOD	0.623	<LOD	27.593	32.958	<LOD	32.591	<LOD	2.378	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.250	0.969	12.302
		AR-Close	8	<LOD	0.025	<LOD	32.836	358.080	<LOD	49.769	<LOD	8.914	<LOD	<LOD	0.010*	<LOD	<LOD	<LOD	1.524	<LOD	4.827
			20	<LOD	0.149	<LOD	37.364	124.760	<LOD	42.481	<LOD	3.374	<LOD	<LOD	0.151	<LOD	<LOD	<LOD	0.562	<LOD	9.292
			30	<LOD	1.175	<LOD	50.959	37.463	<LOD	35.691	<LOD	2.524	<LOD	<LOD	0.274	<LOD	<LOD	<LOD	0.255	2.049	9.816
			40	<LOD	1.129	<LOD	50.812	33.071	<LOD	35.653	<LOD	0.201*	<LOD	<LOD	0.354	0.109*	<LOD	<LOD	0.217	1.076	9.919
		AR-Open	8	<LOD	0.046	<LOD	91.090	51.262	<LOD	5.261	<LOD	12.757	0.245*	<LOD	0.335	<LOD	<LOD	<LOD	0.105	44.640	18.080
			20	<LOD	0.152	<LOD	59.733	21.196	<LOD	11.014	<LOD	5.709	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.188	13.373	11.724
			30	<LOD	0.272	<LOD	57.530	19.599	<LOD	16.628	<LOD	1.734	<LOD	<LOD	0.265	<LOD	<LOD	<LOD	0.206	8.834	12.392
			40	<LOD	0.459	<LOD	56.140	18.683	<LOD	19.573	<LOD	0.788	1.093	<LOD	0.030*	<LOD	2.907	<LOD	0.196	5.560	7.147
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.96 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
06/01/48	64 วัน	DI	8	<LOD	2.771	<LOD	12.484	143.840	<LOD	41.963	<LOD	4.175	<LOD	<LOD	0.448	<LOD	<LOD	<LOD	0.659	<LOD	11.645
			20	<LOD	1.958	<LOD	14.913	57.437	<LOD	37.290	<LOD	2.931	<LOD	<LOD	0.235	<LOD	<LOD	<LOD	0.381	<LOD	8.118
			30	<LOD	1.343	<LOD	7.431	31.947	<LOD	32.606	<LOD	1.080	<LOD	0.109	0.364	<LOD	<LOD	<LOD	0.241	0.314*	6.026
			40	<LOD	1.348	<LOD	7.354	27.179	<LOD	33.262	<LOD	0.783	<LOD	<LOD	0.382	<LOD	<LOD	<LOD	0.207	0.532*	3.062
		TAP	8	<LOD	1.494	<LOD	15.764	186.390	<LOD	44.719	<LOD	5.114	0.010	47.674	0.606	7.151	<LOD	<LOD	0.909	<LOD	23.246
			20	<LOD	1.818	<LOD	21.452	51.702	<LOD	36.743	<LOD	4.090	<LOD	<LOD	0.533	<LOD	<LOD	<LOD	0.345	<LOD	5.339
			30	<LOD	1.471	<LOD	16.685	38.465	<LOD	34.488	<LOD	3.714	<LOD	<LOD	0.175	<LOD	<LOD	<LOD	0.281	<LOD	4.765
			40	<LOD	1.458	<LOD	19.877	33.200	<LOD	34.779	0.042	1.285	<LOD	<LOD	0.698	<LOD	<LOD	<LOD	0.242	1.811	3.101
		AR-Close	8	<LOD	1.713	<LOD	12.830	121.150	<LOD	39.275	<LOD	1.906	<LOD	<LOD	0.382	<LOD	<LOD	<LOD	0.665	0.448*	8.572
			20	<LOD	0.930	<LOD	21.550	55.141	<LOD	34.340	<LOD	0.422*	<LOD	<LOD	0.250	<LOD	<LOD	<LOD	0.360	2.135	6.122
			30	<LOD	0.867	<LOD	24.240	39.475	<LOD	32.777	3.957	3.669	<LOD	<LOD	0.434	<LOD	<LOD	<LOD	0.298	3.608	5.012
			40	<LOD	0.807	<LOD	21.396	32.049	<LOD	31.508	0.755	1.019	<LOD	<LOD	0.386	<LOD	<LOD	<LOD	0.267	3.861	3.576
		AR-Open	8	<LOD	0.038	<LOD	48.160	60.401	<LOD	12.700	<LOD	4.207	7.268	<LOD	0.591	<LOD	<LOD	<LOD	0.210	20.013	14.065
			20	<LOD	0.157	<LOD	30.726	22.274	<LOD	10.991	<LOD	3.915	2.830	1.105	0.493	<LOD	<LOD	<LOD	0.202	8.550	8.358
			30	<LOD	0.214	<LOD	26.660	15.235	<LOD	14.316	<LOD	1.871	1.605	<LOD	0.089	<LOD	<LOD	<LOD	0.205	6.716	8.130
			40	<LOD	0.272	<LOD	25.197	17.776	<LOD	17.324	<LOD	<LOD	1.462	<LOD	0.557	<LOD	<LOD	<LOD	0.189	4.539	6.457
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.97 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.138	<LOD	21.765	30.487	<LOD	29.617	5.389	18.279	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	4.221	<LOD	0.347	0.293*	10.424
			20	<LOD	0.142	<LOD	7.382	20.056	<LOD	21.721	4.178	7.959	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.152	0.659*	3.097
			30	<LOD	0.167	<LOD	4.974*	11.872	<LOD	18.211	4.266	7.230	<LOD	<LOD	0.113	0.747	7.844	<LOD	0.109	1.025	<LOD
			40	<LOD	0.106	<LOD	1.690*	17.578	<LOD	13.859	6.835	0.558	<LOD	<LOD	0.013*	1.402	<LOD	<LOD	0.088	0.807	5.669
		TAP	8	<LOD	0.015	<LOD	16.450	55.886	<LOD	14.824	6.054	15.594	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.599	<LOD	0.263	1.855	20.829
			20	<LOD	<LOD	<LOD	12.987	20.685	<LOD	7.966	<LOD	5.619	<LOD	<LOD	0.013*	9.929	7.760	<LOD	0.127	1.019	1.495
			30	<LOD	0.020	<LOD	10.604	23.378	<LOD	12.835	2.195	3.590	<LOD	<LOD	0.017*	<LOD	<LOD	<LOD	0.101	0.671*	46.712
			40	<LOD	0.021	<LOD	12.208	23.604	<LOD	12.990	6.425	5.311	<LOD	<LOD	0.008*	2.815	<LOD	<LOD	0.111	1.476	24.676
		AR-Close	8	<LOD	0.186	<LOD	148.260	26.053	<LOD	28.045	10.547	18.273	1.067	<LOD	0.084*	<LOD	<LOD	<LOD	0.312	0.305*	12.599
			20	<LOD	0.081	<LOD	164.900	20.258	<LOD	19.803	<LOD	5.516	5.038	<LOD	0.079*	6.303	<LOD	<LOD	0.142	0.800	6.411
			30	<LOD	0.073	<LOD	160.860	10.064	0.068	14.258	1.670	2.715	6.803	<LOD	0.218	<LOD	<LOD	<LOD	0.096	0.640*	8.592
			40	<LOD	0.058	<LOD	171.330	15.883	<LOD	12.019	11.917	5.040	0.863*	0.305	<LOD	0.022*	<LOD	<LOD	0.074	0.780	12.843
		AR-Open	8	<LOD	0.156	<LOD	301.450	26.416	<LOD	25.896	4.583	16.032	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.310	0.179*	8.246
			20	<LOD	0.068	<LOD	324.290	21.058	<LOD	18.894	3.186	7.045	<LOD	<LOD	0.039*	6.637	<LOD	<LOD	0.143	0.141*	8.685
			30	<LOD	0.127	<LOD	325.940	10.752	<LOD	17.217	4.544	1.982	<LOD	0.460	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.097	1.204	2.945
			40	<LOD	0.039	<LOD	336.580	16.830	<LOD	10.805	3.563	2.095	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.071	0.812	3.838
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.98 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังจากทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังจากทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	1 วัน	DI	8	<LOD	0.041	<LOD	<LOD	79.569	0.115	36.066	5.888	2.609	<LOD	<LOD	<LOD	1.630	10.858	<LOD	0.602	0.346*	34.681
			20	<LOD	0.022	<LOD	<LOD	34.132	<LOD	28.629	4.389	1.264	<LOD	<LOD	<LOD	0.601*	<LOD	<LOD	0.301	0.481*	9.640
			30	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	24.417	<LOD	23.224	3.230	1.723	<LOD	<LOD	0.041*	8.700	27.086	<LOD	0.180	0.182*	16.941
			40	<LOD	0.014	<LOD	<LOD	26.713	<LOD	20.675	<LOD	0.365*	<LOD	<LOD	<LOD	3.101	3.549	<LOD	0.152	1.062	19.137
		TAP	8	<LOD	0.009	<LOD	6.966	94.042	<LOD	33.278	3.146	5.793	<LOD	<LOD	<LOD	5.153	25.278	<LOD	0.607	0.455*	16.838
			20	<LOD	0.000	<LOD	5.440	41.893	<LOD	14.748	4.219	2.880	<LOD	<LOD	0.105	<LOD	<LOD	<LOD	0.247	1.676	7.570
			30	<LOD	0.000	<LOD	6.093	33.199	<LOD	14.856	7.853	1.033	<LOD	<LOD	<LOD	0.733	9.030	<LOD	0.164	2.878	42.109
			40	<LOD	0.009	<LOD	3.064*	23.308	<LOD	14.806	10.970	1.339	<LOD	<LOD	0.057*	<LOD	<LOD	<LOD	0.140	1.279	42.010
		AR-Close	8	<LOD	0.039	<LOD	141.730	68.514	<LOD	36.281	2.244	7.316	<LOD	<LOD	<LOD	4.657	6.199	<LOD	0.574	<LOD	29.926
			20	<LOD	0.026	<LOD	166.260	30.035	<LOD	28.471	0.589	3.506	<LOD	<LOD	0.022*	0.039*	13.325	<LOD	0.295	1.043	17.530
			30	<LOD	0.015	<LOD	175.930	23.119	<LOD	23.291	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	6.688	<LOD	0.177	0.701	9.921	
			40	<LOD	0.023	<LOD	181.550	26.309	<LOD	20.366	6.140	0.599	<LOD	<LOD	0.408	<LOD	<LOD	<LOD	0.140	1.018	7.373
		AR-Open	8	<LOD	0.068	<LOD	101.390	57.474	<LOD	32.819	3.143	5.552	<LOD	<LOD	0.426	3.246	24.699	<LOD	0.525	0.402*	21.533
			20	<LOD	0.019	<LOD	122.620	56.655	<LOD	28.652	3.581	<LOD	2.131	<LOD	<LOD	14.314	11.894	<LOD	0.296	2.438	18.369
			30	<LOD	0.018	<LOD	125.200	23.721	<LOD	24.100	4.847	4.580	4.938	<LOD	<LOD	<LOD	3.484	<LOD	0.180	0.824	20.684
			40	<LOD	0.017	<LOD	127.730	25.817	<LOD	20.522	<LOD	1.548	3.862	<LOD	0.275	<LOD	0.505*	<LOD	0.137	0.571*	13.882
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.99 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสท์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.074	<LOD	<LOD	155.670	<LOD	43.507	<LOD	5.113	<LOD	<LOD	0.455	6.988	<LOD	<LOD	0.851	0.475*	58.057
			20	<LOD	0.034	<LOD	<LOD	76.310	0.291	34.547	7.249	0.796	<LOD	<LOD	0.098*	7.109	<LOD	<LOD	0.441	0.743	14.732
			30	<LOD	0.024	<LOD	<LOD	54.674	0.145	30.397	6.931	3.033	<LOD	<LOD	0.158	<LOD	<LOD	<LOD	0.275	2.323	21.356
			40	<LOD	0.024	<LOD	<LOD	54.139	<LOD	27.897	4.025	0.854	<LOD	<LOD	0.435	<LOD	18.295	<LOD	0.223	0.502*	17.214
		TAP	8	<LOD	0.012	<LOD	5.716	173.410	<LOD	41.103	0.441	3.906	<LOD	<LOD	0.379	3.910	<LOD	<LOD	0.906	0.318*	22.580
			20	<LOD	0.003	<LOD	7.442	71.474	<LOD	30.571	3.909	1.875	<LOD	<LOD	<LOD	1.761	<LOD	<LOD	0.453	2.336	13.176
			30	<LOD	0.001	<LOD	6.399	49.576	<LOD	20.211	3.557	3.647	<LOD	<LOD	<LOD	2.158	18.014	<LOD	0.261	1.424	4.595
			40	<LOD	0.001	<LOD	6.540	39.368	<LOD	18.116	<LOD	2.646	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.206	0.233*	17.363
		AR-Close	8	<LOD	0.051	<LOD	52.626	138.820	<LOD	42.219	3.496	8.921	<LOD	<LOD	0.278	5.175	25.047	<LOD	0.872	0.926	66.517
			20	<LOD	0.022	<LOD	73.420	61.932	<LOD	34.073	0.074*	2.851	<LOD	<LOD	0.269	3.795	<LOD	<LOD	0.447	0.189*	34.000
			30	<LOD	0.014	<LOD	74.795	40.811	<LOD	31.581	0.976	4.064	<LOD	<LOD	0.506	<LOD	<LOD	<LOD	0.278	0.737	19.685
			40	<LOD	0.014	<LOD	84.199	38.346	<LOD	27.896	4.098	1.905	<LOD	<LOD	<LOD	16.177	<LOD	<LOD	0.215	0.258*	22.176
		AR-Open	8	<LOD	0.043	<LOD	29.090	52.374	<LOD	28.512	3.347	7.886	<LOD	<LOD	0.081*	<LOD	<LOD	<LOD	0.390	0.646*	25.570
			20	<LOD	0.023	<LOD	34.536	56.749	<LOD	31.698	4.365	4.090	0.947	<LOD	1.048	5.626	<LOD	<LOD	0.423	1.542	11.376
			30	<LOD	0.017	<LOD	36.648	42.190	<LOD	30.508	2.486	4.238	2.442	<LOD	0.859	<LOD	<LOD	<LOD	0.282	0.623*	22.438
			40	<LOD	0.011	<LOD	40.902	42.283	<LOD	28.062	<LOD	0.651	1.997	<LOD	<LOD	11.365	26.124	<LOD	0.220	0.825	16.659
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.100 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	4 วัน	DI	8	<LOD	0.135	<LOD	3.325*	182.750	<LOD	46.562	2.129	1.972	<LOD	<LOD	21.634	8.502	23.726	<LOD	0.945	0.149*	227.240
			20	<LOD	0.056	<LOD	0.646*	79.552	<LOD	37.637	0.934	1.726	<LOD	<LOD	4.141	<LOD	<LOD	<LOD	0.472	0.554*	37.812
			30	<LOD	0.038	<LOD	<LOD	48.471	<LOD	33.005	6.015	<LOD	<LOD	<LOD	7.230	6.145	4.879	<LOD	0.304	2.187	46.630
			40	<LOD	0.033	<LOD	<LOD	46.266	<LOD	31.019	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.283	0.506*	<LOD	<LOD	0.236	1.372	33.714
		TAP	8	<LOD	0.034	<LOD	4.611*	186.720	<LOD	43.686	2.914	5.328	<LOD	<LOD	0.092*	<LOD	<LOD	<LOD	0.981	1.000	16.487
			20	<LOD	0.004	<LOD	8.535	91.081	<LOD	33.914	5.354	1.772	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.604	<LOD	0.452	0.401*	5.997
			30	<LOD	0.002	<LOD	8.691	55.959	<LOD	28.704	5.968	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.511*	6.184	<LOD	0.325	1.440	6.887
			40	<LOD	0.001	<LOD	9.121	44.246	<LOD	21.696	7.785	3.653	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	18.401	<LOD	0.243	1.199	8.400
		AR-Close	8	<LOD	0.052	<LOD	30.356	165.670	<LOD	43.859	2.528	2.978	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.896	0.614*	91.204
			20	<LOD	0.014	<LOD	42.310	78.324	<LOD	38.963	4.550	3.865	<LOD	<LOD	11.036	<LOD	<LOD	<LOD	0.454	<LOD	30.463
			30	<LOD	0.012	<LOD	44.389	48.206	<LOD	33.452	1.309	1.988	<LOD	<LOD	0.163	5.053	<LOD	<LOD	0.310	1.106	21.528
			40	<LOD	0.008	<LOD	49.304	43.440	<LOD	31.911	<LOD	3.191	<LOD	<LOD	3.000	<LOD	<LOD	<LOD	0.241	0.348*	26.943
		AR-Open	8	<LOD	0.070	<LOD	33.896	34.304	<LOD	30.130	2.233	2.528	<LOD	<LOD	0.186	9.198	<LOD	<LOD	0.198	<LOD	32.269
			20	<LOD	0.016	<LOD	23.877	58.624	<LOD	33.358	2.411	4.582	<LOD	<LOD	0.247	<LOD	16.138	<LOD	0.381	0.269*	13.555
			30	<LOD	0.015	<LOD	21.895	45.384	<LOD	31.903	4.971	4.171	0.810*	<LOD	0.035*	<LOD	<LOD	<LOD	0.295	<LOD	7.567
			40	<LOD	0.013	<LOD	22.317	45.221	<LOD	30.695	7.995	<LOD	1.436	<LOD	<LOD	0.852	6.304	<LOD	0.238	0.986	10.055
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.101 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	9 วัน	DI	8	<LOD	0.232	<LOD	16.282	223.710	<LOD	49.179	8.146	4.814	<LOD	<LOD	3.528	12.996	<LOD	<LOD	1.072	0.521*	25.486
			20	<LOD	0.093	<LOD	9.787	104.120	<LOD	41.931	3.288	0.034*	<LOD	<LOD	0.915	<LOD	11.111	<LOD	0.527	1.272	2.026
			30	<LOD	0.064	<LOD	8.410	67.083	<LOD	36.414	6.999	0.908	<LOD	<LOD	0.717	<LOD	4.572	<LOD	0.370	1.701	4.505
			40	<LOD	0.052	<LOD	7.976	54.895	<LOD	34.429	4.782	1.035	<LOD	<LOD	0.199	0.763	<LOD	<LOD	0.291	0.481*	4.872
		TAP	8	<LOD	0.062	<LOD	12.525	235.770	<LOD	45.636	1.484	5.204	<LOD	<LOD	0.287	<LOD	16.784	<LOD	1.107	<LOD	24.182
			20	<LOD	0.024	<LOD	14.613	122.400	<LOD	39.227	2.282	0.647	<LOD	<LOD	<LOD	2.073	<LOD	<LOD	0.574	<LOD	22.424
			30	<LOD	0.003	<LOD	13.789	72.220	<LOD	34.820	7.530	0.093*	<LOD	<LOD	0.218	6.854	11.432	<LOD	0.408	1.859	6.472
			40	<LOD	0.002	<LOD	12.086	61.539	<LOD	30.476	4.943	2.539	<LOD	<LOD	<LOD	4.187	11.691	<LOD	0.321	2.503	9.019
		AR-Close	8	<LOD	0.064	<LOD	17.339	246.590	<LOD	50.272	5.270	4.185	<LOD	<LOD	0.879	<LOD	<LOD	<LOD	1.173	<LOD	12.112
			20	<LOD	0.033	<LOD	25.755	108.750	<LOD	40.451	5.861	3.992	<LOD	<LOD	0.589	6.037	17.274	<LOD	0.550	1.722	3.584
			30	<LOD	0.023	<LOD	31.085	66.228	<LOD	35.944	4.499	2.790	<LOD	<LOD	0.180	<LOD	2.140	<LOD	0.365	0.160*	<LOD
			40	<LOD	0.014	<LOD	25.731	55.919	<LOD	35.000	0.474	4.563	<LOD	0.164*	0.092*	6.099	<LOD	<LOD	0.295	1.157	4.384
		AR-Open	8	<LOD	0.207	<LOD	12.555	37.896	<LOD	2.354	4.874	4.356	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.168	<LOD	0.049	0.498*	15.705
			20	<LOD	0.040	<LOD	8.558	51.876	<LOD	29.974	3.742	1.444	<LOD	<LOD	0.642	<LOD	<LOD	<LOD	0.262	1.044	4.985
			30	<LOD	0.026	<LOD	2.891*	52.359	<LOD	29.540	5.538	2.017	<LOD	<LOD	<LOD	0.131*	24.467	<LOD	0.305	0.631*	<LOD
			40	<LOD	0.020	<LOD	4.568*	49.308	<LOD	28.516	1.981	2.237	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	4.600	<LOD	0.254	<LOD	0.956
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.102 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	16 วัน	DI	8	<LOD	0.374	<LOD	54.116	283.260	<LOD	50.589	2.553	2.371	<LOD	<LOD	1.057	<LOD	33.366	<LOD	0.976	<LOD	8.810
			20	<LOD	0.144	<LOD	43.382	167.970	<LOD	42.378	<LOD	3.241	<LOD	<LOD	<LOD	2.074	<LOD	<LOD	0.496	1.094	2.111
			30	<LOD	0.104	<LOD	43.108	131.840	<LOD	38.844	2.350	1.490	<LOD	<LOD	0.215	0.038*	25.771	<LOD	0.346	<LOD	2.009
			40	<LOD	0.083	<LOD	40.802	120.170	<LOD	36.541	4.643	2.158	<LOD	<LOD	0.355	<LOD	<LOD	<LOD	0.272	<LOD	3.481
		TAP	8	<LOD	0.109	<LOD	45.687	294.390	<LOD	50.356	0.053*	3.361	0.149*	<LOD	0.197	<LOD	11.653	<LOD	1.133	0.460*	21.283
			20	<LOD	0.045	<LOD	44.105	164.660	<LOD	42.039	2.146	2.356	3.941	<LOD	<LOD	3.152	14.103	<LOD	0.540	<LOD	10.186
			30	<LOD	0.036	<LOD	43.786	139.240	<LOD	37.275	5.760	1.555	<LOD	1.906	0.268	<LOD	7.819	<LOD	0.405	1.004	8.071
			40	<LOD	0.011	<LOD	47.527	126.160	<LOD	31.702	3.365	0.780	<LOD	<LOD	0.080*	0.662*	<LOD	<LOD	0.299	0.683*	0.238
		AR-Close	8	<LOD	0.156	<LOD	43.181	290.490	<LOD	50.005	7.594	5.323	<LOD	<LOD	0.624	0.240*	15.908	<LOD	1.167	<LOD	12.385
			20	<LOD	0.048	<LOD	35.204	177.620	<LOD	43.388	3.778	3.555	2.188	<LOD	<LOD	<LOD	29.664	<LOD	0.553	0.823	4.881
			30	<LOD	0.038	<LOD	33.454	130.420	<LOD	37.201	3.117	<LOD	<LOD	<LOD	0.147	<LOD	8.672	<LOD	0.351	0.676*	0.751
			40	<LOD	0.027	<LOD	27.746	129.510	<LOD	36.294	5.622	<LOD	<LOD	<LOD	0.162	<LOD	<LOD	<LOD	0.294	0.292*	2.934
		AR-Open	8	<LOD	0.795	<LOD	59.431	90.986	<LOD	1.641	0.464	6.754	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11.250	<LOD	0.020	14.566	9.747
			20	<LOD	0.071	<LOD	22.419	114.290	<LOD	22.153	6.286	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.535	<LOD	0.179	1.137	1.201
			30	<LOD	0.047	<LOD	23.535	131.210	<LOD	27.618	2.748	<LOD	3.547	<LOD	<LOD	4.596	14.337	<LOD	0.291	0.361*	1.819
			40	<LOD	0.036	<LOD	20.396	111.250	<LOD	26.719	2.575	0.321*	1.100	<LOD	0.099*	<LOD	<LOD	<LOD	0.253	0.707	1.825
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.103 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	36 วัน	DI	8	<LOD	2.136	<LOD	17.425	278.610	<LOD	50.848	<LOD	3.800	0.219*	<LOD	0.489	<LOD	<LOD	<LOD	0.883	<LOD	30.693
			20	<LOD	0.864	<LOD	9.538	84.946	<LOD	45.256	<LOD	2.187	<LOD	6.720	0.779	3.991	<LOD	<LOD	0.468	<LOD	29.321
			30	<LOD	0.426	<LOD	8.815	45.057	<LOD	41.311	0.344	<LOD	<LOD	<LOD	1.153	<LOD	<LOD	<LOD	0.285	<LOD	9.797
			40	<LOD	0.263	<LOD	5.511	43.437	<LOD	39.194	<LOD	4.043	<LOD	2.702	0.308	<LOD	<LOD	<LOD	0.270	<LOD	44.102
		TAP	8	<LOD	0.678	<LOD	17.539	273.130	<LOD	49.983	1.059	5.255	0.470*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.268	<LOD	25.395
			20	<LOD	0.109	<LOD	15.221	106.350	<LOD	44.746	<LOD	1.606	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.579	0.133*	20.797
			30	<LOD	0.147	<LOD	17.239	60.952	<LOD	38.173	<LOD	0.353*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.392	<LOD	5.724
			40	<LOD	0.202	<LOD	22.496	40.959	<LOD	30.773	<LOD	0.506	<LOD	<LOD	0.122	<LOD	<LOD	<LOD	0.289	<LOD	16.281
		AR-Close	8	<LOD	0.772	<LOD	12.232	276.480	<LOD	55.296	<LOD	8.927	<LOD	<LOD	0.608	<LOD	14.422	<LOD	1.398	<LOD	23.045
			20	<LOD	0.171	<LOD	6.062	112.780	<LOD	47.249	<LOD	3.753	<LOD	<LOD	0.432	<LOD	<LOD	<LOD	0.631	0.022*	7.762
			30	<LOD	0.196	<LOD	8.422	24.924	<LOD	30.335	0.062*	2.846	<LOD	<LOD	0.824	<LOD	<LOD	<LOD	0.146	<LOD	8.614
			40	<LOD	0.129	<LOD	6.411	42.574	<LOD	39.055	<LOD	3.574	<LOD	5.544	0.458	<LOD	11.120	<LOD	0.270	<LOD	8.622
		AR-Open	8	<LOD	0.054	<LOD	59.136	73.725	<LOD	5.479	<LOD	16.388	2.854	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.092	56.189	20.634
			20	<LOD	0.397	<LOD	26.789	24.898	<LOD	9.859	<LOD	2.624	5.404	<LOD	0.118	<LOD	<LOD	<LOD	0.194	10.194	12.672
			30	<LOD	0.628	<LOD	22.088	35.214	<LOD	14.917	<LOD	3.906	2.099	0.313	0.224	<LOD	<LOD	<LOD	0.269	3.619	11.423
			40	<LOD	0.710	<LOD	22.787	33.858	<LOD	20.414	<LOD	1.507	1.309	<LOD	<LOD	<LOD	6.162	<LOD	0.277	1.989	10.155
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.104 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 16 มกราคม 2548 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
16/01/48	64 วัน	DI	8	<LOD	2.719	<LOD	16.285	61.687	<LOD	42.458	2.548	0.714	<LOD	0.087*	0.246	<LOD	<LOD	<LOD	0.514	<LOD	10.854
			20	<LOD	1.106	<LOD	13.077	27.195	<LOD	37.390	<LOD	1.345	<LOD	<LOD	0.098*	<LOD	<LOD	<LOD	0.207	<LOD	8.342
			30	<LOD	1.360	<LOD	10.170	27.114	<LOD	36.265	1.075	3.018	<LOD	<LOD	0.705	<LOD	<LOD	<LOD	0.255	<LOD	6.417
			40	<LOD	1.893	<LOD	11.525	43.627	<LOD	40.009	<LOD	0.804	<LOD	28.241	0.639	<LOD	<LOD	<LOD	0.428	0.560*	11.168
		TAP	8	<LOD	1.925	<LOD	19.947	97.043	<LOD	38.461	<LOD	2.974	<LOD	<LOD	<LOD	2.668	<LOD	<LOD	0.590	0.668*	12.047
			20	<LOD	1.049	<LOD	20.082	56.952	<LOD	39.761	<LOD	4.244	<LOD	<LOD	0.094*	<LOD	<LOD	<LOD	0.428	1.701	14.180
			30	<LOD	0.644	<LOD	21.398	37.035	<LOD	36.286	0.629	4.265	<LOD	<LOD	0.054*	<LOD	<LOD	<LOD	0.331	3.347	10.300
			40	<LOD	0.423	<LOD	26.489	31.044	<LOD	25.217	<LOD	2.454	<LOD	<LOD	0.303	<LOD	<LOD	<LOD	0.279	4.398	7.915
		AR-Close	8	<LOD	2.319	<LOD	12.052	79.914	<LOD	44.495	<LOD	1.749	<LOD	<LOD	0.506	<LOD	<LOD	<LOD	0.566	<LOD	10.715
			20	<LOD	1.748	<LOD	14.401	45.865	<LOD	43.205	<LOD	1.892	<LOD	0.521	0.471	<LOD	<LOD	<LOD	0.386	<LOD	6.603
			30	<LOD	0.460	<LOD	9.428	11.268	<LOD	9.223	<LOD	2.019	<LOD	<LOD	0.298	<LOD	<LOD	<LOD	0.050	0.276*	7.023
			40	<LOD	1.294	<LOD	12.863	36.523	<LOD	38.656	0.014*	0.928	<LOD	<LOD	0.08*	<LOD	<LOD	<LOD	0.279	0.600*	6.605
		AR-Open	8	<LOD	0.036	<LOD	33.076	36.883	<LOD	21.738	<LOD	5.403	5.584	<LOD	<LOD	1.356	<LOD	<LOD	0.382	22.060	20.578
			20	<LOD	0.157	<LOD	24.096	28.988	<LOD	15.714	<LOD	4.015	0.398*	<LOD	0.012*	<LOD	5.919	<LOD	0.339	14.957	6.713
			30	<LOD	0.251	<LOD	25.591	19.944	<LOD	17.430	<LOD	2.563	<LOD	<LOD	0.215	<LOD	<LOD	<LOD	0.280	10.182	6.904
			40	<LOD	0.396	<LOD	21.468	29.549	<LOD	19.470	<LOD	4.158	0.392*	<LOD	0.066*	<LOD	<LOD	<LOD	0.266	6.979	9.682
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.105 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.343	<LOD	<LOD	59.222	0.845	35.956	3.621	84.677	<LOD	9.179	0.498	4.970	<LOD	<LOD	0.440	2.211	24.348
			20	<LOD	0.186	<LOD	<LOD	40.644	0.798	31.345	1.896	16.076	<LOD	6.386	0.674	<LOD	17.186	<LOD	0.261	0.525*	22.180
			30	<LOD	0.138	<LOD	<LOD	31.504	0.869	23.284	2.023	10.931	<LOD	3.211	<LOD	<LOD	11.333	<LOD	0.160	0.520*	14.539
			40	<LOD	0.093	<LOD	<LOD	25.630	0.834	19.570	4.993	23.518	<LOD	1.486	0.607	<LOD	<LOD	<LOD	0.134	0.075*	16.758
		TAP	8	<LOD	0.091	<LOD	18.507	68.612	0.970	19.402	3.464	84.146	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.358	0.223*	25.920
			20	<LOD	0.010	<LOD	18.820	36.971	0.867	22.682	3.588	50.700	<LOD	1.114	<LOD	2.491	<LOD	<LOD	0.225	2.620	27.211
			30	<LOD	0.090	<LOD	20.145	69.036	1.057	19.761	0.460	88.894	<LOD	<LOD	0.051*	0.208*	5.010	<LOD	0.363	2.881	24.301
			40	<LOD	0.024	<LOD	18.412	25.059	1.001	13.998	2.581	12.117	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.084	1.485	63.029
		AR-Close	8	<LOD	0.040	<LOD	21.544	26.717	0.817	17.789	<LOD	12.209	<LOD	3.347	0.592	<LOD	<LOD	<LOD	0.124	2.389	98.630
			20	<LOD	0.403	<LOD	16.968	78.283	0.875	41.311	2.070	89.498	<LOD	6.733	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.480	0.877	25.521
			30	<LOD	0.345	<LOD	13.326	40.461	0.919	32.160	2.485	17.704	<LOD	10.941	0.428	0.509*	<LOD	<LOD	0.255	1.111	11.101
			40	<LOD	0.196	<LOD	16.390	32.391	0.920	29.071	4.678	10.809	<LOD	1.354	0.239	11.274	0.786*	<LOD	0.178	<LOD	9.760
		AR-Open	8	<LOD	1.080	<LOD	20.889	82.043	0.727	46.477	7.939	120.560	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.750	<LOD	0.442	1.989	21.264
			20	<LOD	0.283	<LOD	14.881	45.382	0.913	33.871	3.890	20.878	<LOD	7.310	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.273	0.084*	18.026
			30	<LOD	0.227	<LOD	13.708	34.188	0.835	25.362	1.101	15.123	<LOD	3.105	0.056*	<LOD	<LOD	<LOD	0.176	1.222	12.257
			40	<LOD	0.134	<LOD	14.837	29.859	0.796	24.812	1.462	9.149	0.461*	1.791	0.364	5.182	3.707	<LOD	0.154	1.582	12.252
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.106 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	1 วัน	DI	8	<LOD	0.139	<LOD	30.587	132.400	1.046	50.860	5.846	26.509	<LOD	<LOD	0.209	4.662	<LOD	<LOD	0.867	1.143	76.379
			20	<LOD	0.144	<LOD	12.436	82.889	0.909	39.576	7.046	4.332	<LOD	<LOD	8.164	4.616	21.013	<LOD	0.483	0.812	26.107
			30	<LOD	0.135	<LOD	4.343*	58.282	0.810	33.841	8.429	3.562	<LOD	4.067	<LOD	<LOD	20.896	<LOD	0.305	0.464*	13.576
			40	<LOD	0.106	<LOD	4.444*	44.206	0.963	32.170	3.373	5.088	<LOD	3.441	1.512	<LOD	26.912	<LOD	0.260	<LOD	15.071
		TAP	8	<LOD	0.013	<LOD	25.818	118.790	0.951	43.931	0.534	33.599	<LOD	<LOD	0.001*	1.343	0.133*	<LOD	0.806	0.856	20.207
			20	<LOD	0.005	<LOD	20.967	57.550	0.881	33.204	1.848	20.039	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	9.374	<LOD	0.448	1.714	11.827
			30	<LOD	0.002	<LOD	24.156	37.928	1.119	19.794	2.049	6.060	<LOD	<LOD	<LOD	4.081	<LOD	<LOD	0.231	0.162*	30.846
			40	<LOD	0.024	<LOD	23.081	39.255	0.921	19.676	5.473	2.169	<LOD	<LOD	0.168	10.220	5.199	<LOD	0.206	3.363	53.679
		AR-Close	8	<LOD	0.270	<LOD	21.870	123.000	0.810	49.446	3.256	26.443	<LOD	4.941	0.118	0.244*	<LOD	<LOD	0.826	1.784	51.075
			20	<LOD	0.076	<LOD	19.273	73.705	0.806	39.452	0.258	8.409	<LOD	8.846	0.210	<LOD	<LOD	<LOD	0.437	1.911	23.456
			30	<LOD	0.112	<LOD	21.197	53.880	0.902	33.784	2.320	3.625	<LOD	5.999	0.096*	<LOD	<LOD	<LOD	0.286	1.815	13.643
			40	<LOD	0.061	<LOD	21.720	44.039	0.898	29.569	1.608	0.701	<LOD	<LOD	10.730	<LOD	<LOD	<LOD	0.221	1.035	6.924
		AR-Open	8	<LOD	0.520	<LOD	10.181	85.925	0.957	41.094	1.175	25.920	<LOD	<LOD	0.124	10.029	29.527	<LOD	0.593	1.843	31.500
			20	<LOD	0.103	<LOD	9.685	71.098	0.823	37.010	4.422	5.088	<LOD	0.901	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.430	0.628*	23.030
			30	<LOD	0.060	<LOD	10.297	51.020	0.914	33.492	3.060	5.583	<LOD	0.627	<LOD	<LOD	42.474	<LOD	0.277	0.915	31.624
			40	<LOD	0.050	<LOD	9.989	46.610	0.825	30.725	4.349	4.814	<LOD	<LOD	1.478	7.034	29.467	<LOD	0.234	1.899	19.350
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.107 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.118	<LOD	25.409	193.250	0.257	41.213	9.495	5.755	<LOD	<LOD	4.773	<LOD	<LOD	<LOD	0.898	0.250*	148.120
			20	<LOD	0.093	<LOD	<LOD	86.190	0.294	35.821	6.399	2.304	<LOD	<LOD	2.868	<LOD	21.985	<LOD	0.449	0.743	66.608
			30	<LOD	0.121	<LOD	<LOD	55.086	0.149	31.531	2.437	1.234	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.279	0.016*	14.214
			40	<LOD	0.058	<LOD	<LOD	54.058	0.144	29.633	5.955	0.643	<LOD	<LOD	7.658	<LOD	18.836	<LOD	0.264	0.785	28.797
		TAP	8	<LOD	0.012	<LOD	<LOD	178.280	0.227	39.722	1.834	4.856	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.897	<LOD	11.817
			20	<LOD	0.013	<LOD	2.142*	88.378	0.149	31.574	5.578	4.647	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.809	<LOD	0.442	0.730	7.728
			30	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	46.854	0.226	19.624	1.871	2.695	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	7.505	<LOD	0.259	1.122	5.908
			40	<LOD	<LOD	<LOD	0.714*	40.570	0.220	19.151	8.559	3.084	<LOD	<LOD	<LOD	7.976	2.097	<LOD	0.224	1.176	31.593
		AR-Close	8	<LOD	0.120	<LOD	0.572*	193.030	0.186	43.571	11.675	5.813	<LOD	<LOD	0.217	13.490	10.794	<LOD	0.906	1.581	191.270
			20	<LOD	0.062	<LOD	<LOD	79.041	0.273	36.078	6.768	4.629	<LOD	<LOD	0.016*	3.118	<LOD	<LOD	0.429	0.507*	58.400
			30	<LOD	0.060	<LOD	1.224*	59.120	0.113	32.880	2.905	2.893	<LOD	<LOD	0.076*	<LOD	2.321	<LOD	0.295	0.556*	28.352
			40	<LOD	0.034	<LOD	11.290	61.697	0.597	29.119	4.084	2.556	<LOD	<LOD	2.405	4.711	<LOD	<LOD	0.219	0.085*	19.630
		AR-Open	8	<LOD	0.308	<LOD	2.402*	80.315	0.218	30.888	2.645	7.785	<LOD	5.264	<LOD	<LOD	0.085*	<LOD	0.433	0.403*	42.006
			20	<LOD	0.079	<LOD	1.642*	59.487	0.288	32.130	1.237	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	29.540	<LOD	0.323	<LOD	17.337
			30	<LOD	0.044	<LOD	3.682*	55.144	0.213	29.674	1.145	1.168	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.266	0.302*	11.129
			40	<LOD	0.050	<LOD	5.660	47.307	0.156	28.980	<LOD	2.668	<LOD	<LOD	0.166	4.310	<LOD	<LOD	0.226	0.233*	17.130
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.108 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	4 วัน	DI	8	<LOD	0.182	<LOD	<LOD	206.880	0.309	45.415	9.401	5.513	<LOD	<LOD	91.586	<LOD	3.710	<LOD	1.004	<LOD	7.891
			20	<LOD	0.108	<LOD	<LOD	86.439	0.441	39.140	2.469	3.275	<LOD	<LOD	42.113	2.232	<LOD	<LOD	0.471	0.160*	0.889
			30	<LOD	0.074	<LOD	<LOD	56.469	0.241	32.925	2.069	0.949	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.305	<LOD	2.147
			40	<LOD	0.056	<LOD	<LOD	59.562	0.322	33.271	4.584	1.927	<LOD	<LOD	31.857	<LOD	<LOD	<LOD	0.303	1.217	<LOD
		TAP	8	<LOD	0.031	<LOD	<LOD	220.640	0.290	43.519	3.053	5.115	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.979	0.210*	15.884
			20	<LOD	0.003	<LOD	<LOD	107.460	0.139	35.122	2.373	2.466	<LOD	<LOD	<LOD	3.857	28.533	<LOD	0.508	0.417*	6.040
			30	<LOD	0.002	<LOD	<LOD	58.462	0.263	28.424	3.121	1.801	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.320	2.268	3.088
			40	<LOD	0.001	<LOD	<LOD	48.639	0.312	24.716	6.665	1.843	<LOD	<LOD	0.145	<LOD	14.917	<LOD	0.257	1.339	0.693
		AR-Close	8	<LOD	0.099	<LOD	93.591	205.530	0.311	45.294	0.949	0.779	<LOD	<LOD	<LOD	2.444	8.768	<LOD	0.990	0.826	12.189
			20	<LOD	0.052	<LOD	134.130	83.368	0.081	38.280	4.061	2.485	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.466	0.742	<LOD
			30	<LOD	0.034	<LOD	148.040	61.073	0.206	33.266	0.814	4.551	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.301	1.322	5.418
			40	<LOD	0.019	<LOD	150.550	47.899	0.247	31.900	4.117	<LOD	<LOD	<LOD	22.081	<LOD	5.008	<LOD	0.234	0.303*	1.291
		AR-Open	8	<LOD	0.130	<LOD	92.136	70.655	0.216	30.405	1.445	9.308	<LOD	<LOD	<LOD	1.384	15.998	<LOD	0.265	0.221*	7.082
			20	<LOD	0.061	<LOD	150.610	48.959	0.202	32.940	3.797	3.469	<LOD	<LOD	<LOD	1.951	<LOD	<LOD	0.291	<LOD	1.939
			30	<LOD	0.034	<LOD	177.160	40.250	0.229	32.291	0.975	1.729	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	6.130	<LOD	0.245	0.521*	2.695
			40	<LOD	0.025	<LOD	191.180	53.314	0.262	32.219	<LOD	3.384	<LOD	<LOD	0.057*	3.287	0.922*	<LOD	0.242	1.552	6.636
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.109 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	9 วัน	DI	8	<LOD	0.358	<LOD	<LOD	280.750	0.994	47.266	4.043	3.005	<LOD	<LOD	0.573	<LOD	4.039	<LOD	1.288	0.054*	70.467
			20	<LOD	0.172	<LOD	<LOD	119.170	0.467	42.063	6.710	1.901	<LOD	<LOD	3.658	5.405	<LOD	<LOD	0.559	0.037*	16.957
			30	<LOD	0.109	<LOD	<LOD	77.676	0.471	37.027	7.141	3.306	<LOD	<LOD	<LOD	1.296	<LOD	<LOD	0.400	0.024*	26.108
			40	<LOD	0.077	<LOD	<LOD	68.763	0.391	36.780	2.048	0.715	<LOD	<LOD	0.985	<LOD	7.092	<LOD	0.375	0.019*	19.219
		TAP	8	<LOD	0.075	<LOD	<LOD	315.620	0.463	50.388	4.715	12.933	<LOD	<LOD	0.067*	0.287*	3.774	<LOD	1.414	<LOD	21.490
			20	<LOD	0.049	<LOD	<LOD	154.440	0.355	44.387	2.530	4.757	<LOD	<LOD	<LOD	2.331	27.838	<LOD	0.735	0.125*	26.124
			30	<LOD	0.004	<LOD	<LOD	82.267	0.416	34.232	8.410	0.880	<LOD	<LOD	0.181	1.063	<LOD	<LOD	0.442	<LOD	7.843
			40	<LOD	0.003	<LOD	<LOD	69.575	0.552	34.435	4.453	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.250	<LOD	<LOD	0.365	<LOD	7.007
		AR-Close	8	<LOD	0.130	<LOD	237.800	299.130	0.628	49.538	4.333	7.390	<LOD	<LOD	0.136	2.349	6.571	<LOD	1.350	0.198*	12.771
			20	<LOD	0.080	<LOD	389.750	121.350	0.510	42.304	<LOD	4.409	<LOD	<LOD	<LOD	2.085	21.704	<LOD	0.582	0.520*	19.295
			30	<LOD	0.046	<LOD	431.620	79.126	0.333	39.956	3.716	5.649	<LOD	<LOD	0.244	<LOD	3.245	<LOD	0.411	0.132*	16.921
			40	<LOD	0.030	<LOD	457.460	61.479	0.277	36.011	0.587	0.516	<LOD	<LOD	0.147	5.375	<LOD	<LOD	0.317	1.147	15.749
		AR-Open	8	<LOD	0.687	<LOD	72.015	81.183	0.322	42.816	3.461	18.543	<LOD	<LOD	0.065*	6.742	<LOD	<LOD	0.353	2.299	22.573
			20	<LOD	0.123	<LOD	140.510	29.709	0.348	29.064	5.098	3.817	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	13.488	<LOD	0.115	0.835	8.016
			30	<LOD	0.039	<LOD	177.540	33.157	0.336	25.558	1.575	2.748	<LOD	<LOD	<LOD	4.603	6.991	<LOD	0.155	0.497*	3.142
			40	<LOD	0.040	<LOD	185.780	45.698	0.372	26.650	6.253	1.070	<LOD	<LOD	0.670	0.704	16.247	<LOD	0.223	1.224	2.347
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.110 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	16 วัน	DI	8	<LOD	0.482	<LOD	<LOD	319.850	<LOD	49.247	5.530	8.677	<LOD	<LOD	19.815	<LOD	24.848	<LOD	1.112	0.650*	52.175
			20	<LOD	0.217	<LOD	<LOD	104.410	0.356	42.688	4.695	2.694	<LOD	<LOD	3.727	<LOD	16.197	<LOD	0.468	<LOD	8.985
			30	<LOD	0.136	<LOD	<LOD	64.493	0.184	38.045	3.811	2.223	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	5.373	<LOD	0.326	0.668*	12.133
			40	<LOD	0.104	<LOD	<LOD	58.038	0.249	37.387	<LOD	4.495	<LOD	<LOD	6.888	<LOD	<LOD	<LOD	0.302	1.523	3.373
		TAP	8	<LOD	0.151	<LOD	<LOD	330.520	<LOD	49.944	5.451	13.706	<LOD	<LOD	0.422	5.839	7.725	<LOD	1.189	<LOD	23.060
			20	<LOD	0.045	<LOD	<LOD	131.320	<LOD	42.296	4.091	5.592	<LOD	<LOD	<LOD	3.680	<LOD	<LOD	0.602	<LOD	20.009
			30	<LOD	0.028	<LOD	<LOD	67.755	<LOD	34.446	1.222	0.829	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.367	0.248*	5.934
			40	<LOD	0.027	<LOD	<LOD	57.157	<LOD	33.313	4.839	2.310	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	10.515	<LOD	0.298	1.353	6.551
		AR-Close	8	<LOD	0.270	<LOD	14.889	323.960	0.061	49.194	5.508	8.555	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	39.280	<LOD	1.130	<LOD	20.198
			20	<LOD	0.109	<LOD	25.996	100.340	<LOD	41.833	7.108	4.264	<LOD	<LOD	0.229	2.985	27.207	<LOD	0.465	<LOD	8.639
			30	<LOD	0.054	<LOD	27.110	63.991	<LOD	38.619	3.215	2.331	<LOD	<LOD	0.084*	<LOD	17.578	<LOD	0.330	1.034	6.160
			40	<LOD	0.056	<LOD	24.698	117.480	<LOD	34.623	9.802	3.003	<LOD	<LOD	0.191	1.882	<LOD	<LOD	0.242	1.442	0.952
		AR-Open	8	<LOD	1.698	<LOD	39.634	100.860	0.157	21.256	3.909	9.825	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.104	5.669	9.571
			20	<LOD	1.124	<LOD	37.789	82.441	<LOD	19.247	2.294	2.066	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.065	1.588	3.070
			30	<LOD	0.170	<LOD	17.666	94.547	<LOD	13.030	4.779	1.472	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	5.121	<LOD	0.060	0.292*	3.425
			40	<LOD	0.090	<LOD	5.366	102.140	<LOD	17.889	2.209	<LOD	<LOD	<LOD	0.148	3.103	0.968*	<LOD	0.152	0.465*	2.290
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.111 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	36 วัน	DI	8	<LOD	0.191	<LOD	11.868	285.700	<LOD	53.841	<LOD	10.874	0.375*	<LOD	0.912	<LOD	<LOD	<LOD	1.318	<LOD	23.177
			20	<LOD	1.410	<LOD	9.998	98.271	<LOD	45.947	<LOD	3.418	<LOD	<LOD	1.230	<LOD	<LOD	<LOD	0.511	<LOD	8.505
			30	<LOD	0.093	<LOD	7.081	57.490	<LOD	41.574	<LOD	0.334*	<LOD	<LOD	0.077*	<LOD	<LOD	<LOD	0.335	<LOD	7.978
			40	<LOD	0.293	<LOD	7.014	57.859	<LOD	41.865	<LOD	3.189	<LOD	<LOD	1.211	<LOD	<LOD	<LOD	0.329	<LOD	6.774
		TAP	8	<LOD	0.585	<LOD	13.780	296.240	<LOD	53.389	<LOD	13.356	0.232*	0.905	0.454	<LOD	<LOD	<LOD	1.419	<LOD	46.196
			20	<LOD	0.121	<LOD	14.733	138.120	<LOD	44.434	<LOD	2.221	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	6.757	<LOD	0.683	<LOD	15.852
			30	<LOD	0.366	<LOD	23.266	49.529	<LOD	32.753	<LOD	4.144	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.337	<LOD	17.254
			40	<LOD	0.792	<LOD	21.016	41.527	<LOD	38.361	<LOD	3.189	<LOD	<LOD	0.093*	<LOD	<LOD	<LOD	0.302	<LOD	11.906
		AR-Close	8	<LOD	0.437	<LOD	21.419	298.790	<LOD	54.865	<LOD	13.115	<LOD	<LOD	0.190	<LOD	10.619	<LOD	1.433	<LOD	19.549
			20	<LOD	1.421	<LOD	26.950	69.622	<LOD	44.665	<LOD	3.526	<LOD	<LOD	0.393	<LOD	<LOD	<LOD	0.430	<LOD	6.411
			30	<LOD	0.295	<LOD	19.150	46.308	<LOD	39.775	<LOD	2.468	<LOD	5.738	0.105	<LOD	<LOD	<LOD	0.277	<LOD	5.512
			40	<LOD	1.450	<LOD	31.646	32.385	<LOD	39.574	<LOD	6.343	<LOD	<LOD	0.176	<LOD	<LOD	<LOD	0.228	<LOD	5.266
		AR-Open	8	<LOD	0.085	<LOD	80.617	52.398	<LOD	6.869	<LOD	16.854	<LOD	<LOD	0.024*	<LOD	<LOD	<LOD	0.093	39.509	13.215
			20	<LOD	0.690	<LOD	42.320	20.714	<LOD	18.126	<LOD	4.962	<LOD	<LOD	0.052*	<LOD	<LOD	<LOD	0.216	6.036	9.756
			30	<LOD	0.227	<LOD	50.924	17.581	<LOD	14.009	<LOD	9.299	0.373*	<LOD	0.062*	<LOD	<LOD	<LOD	0.174	16.203	5.323
			40	<LOD	0.677	<LOD	29.706	24.435	<LOD	24.151	<LOD	3.709	0.755*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.230	4.048	6.373
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.112 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 22 มกราคม 2548 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
22/01/48	64 วัน	DI	8	<LOD	3.175	<LOD	13.803	86.865	<LOD	43.226	3.410	3.473	<LOD	0.492	0.791	<LOD	<LOD	<LOD	0.556	<LOD	14.943
			20	<LOD	2.312	<LOD	10.380	52.433	<LOD	38.510	<LOD	4.187	<LOD	5.600	0.463	<LOD	<LOD	<LOD	0.404	<LOD	10.663
			30	<LOD	1.860	<LOD	10.204	31.915	<LOD	38.561	<LOD	5.772	<LOD	<LOD	0.069*	<LOD	<LOD	<LOD	0.270	0.532*	14.989
			40	<LOD	2.057	<LOD	10.202	30.814	<LOD	37.668	<LOD	3.056	<LOD	<LOD	0.513	<LOD	<LOD	<LOD	0.253	1.178	8.322
		TAP	8	<LOD	1.885	<LOD	15.841	98.765	<LOD	42.509	0.287	5.764	<LOD	<LOD	0.153	<LOD	<LOD	<LOD	0.605	<LOD	19.393
			20	<LOD	1.307	<LOD	20.961	56.802	<LOD	39.212	<LOD	2.629	<LOD	<LOD	0.037*	<LOD	3.397	<LOD	0.418	<LOD	16.031
			30	<LOD	0.528	<LOD	25.006	39.580	<LOD	22.030	<LOD	2.609	<LOD	<LOD	0.015*	<LOD	3.855	<LOD	0.269	2.097	8.496
			40	<LOD	1.124	<LOD	28.042	36.387	<LOD	35.833	0.883	2.626	<LOD	<LOD	0.215	<LOD	<LOD	<LOD	0.280	2.545	12.892
		AR-Close	8	<LOD	2.398	<LOD	20.132	101.290	<LOD	45.551	<LOD	1.677	<LOD	0.388	0.164	<LOD	1.488	<LOD	0.598	<LOD	8.035
			20	<LOD	2.104	<LOD	23.743	47.880	<LOD	40.315	<LOD	1.929	<LOD	<LOD	0.205	<LOD	1.364	<LOD	0.429	<LOD	6.667
			30	<LOD	1.983	<LOD	26.235	30.722	<LOD	38.171	<LOD	2.340	<LOD	23.233	0.239	<LOD	<LOD	<LOD	0.269	1.890	11.206
			40	<LOD	1.775	<LOD	21.264	30.412	<LOD	39.210	0.184*	3.090	<LOD	<LOD	0.324	<LOD	<LOD	<LOD	0.221	<LOD	10.696
		AR-Open	8	<LOD	0.071	<LOD	48.312	41.611	<LOD	9.703	<LOD	6.273	11.042	<LOD	0.355	<LOD	10.383	<LOD	0.111	23.157	22.726
			20	<LOD	0.161	<LOD	33.962	21.210	<LOD	13.897	<LOD	5.761	5.615	<LOD	0.115	<LOD	<LOD	<LOD	0.174	12.532	12.432
			30	<LOD	0.378	<LOD	27.327	15.214	<LOD	18.197	<LOD	5.611	4.393	<LOD	0.202	<LOD	<LOD	<LOD	0.215	6.853	11.992
			40	<LOD	0.440	<LOD	30.019	16.413	<LOD	21.884	<LOD	1.673	1.877	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.175	2.672	9.672
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.113 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.229	<LOD	19.763	45.376	<LOD	36.487	0.809	89.618	<LOD	8.886	7.118	<LOD	<LOD	<LOD	0.473	<LOD	24.881
			20	<LOD	0.092	<LOD	14.439	16.493	<LOD	25.670	<LOD	45.566	<LOD	2.411	3.699	<LOD	0.464*	<LOD	0.219	<LOD	9.908
			30	<LOD	0.064	<LOD	11.621	15.617	<LOD	21.137	<LOD	26.091	<LOD	2.987	1.074	<LOD	<LOD	<LOD	0.158	<LOD	13.322
			40	<LOD	0.036	<LOD	13.234	13.786	<LOD	17.113	0.047*	19.708	<LOD	<LOD	0.359	<LOD	<LOD	<LOD	0.118	<LOD	6.934
		TAP	8	<LOD	0.103	<LOD	59.225	88.958	<LOD	32.468	<LOD	103.160	<LOD	37.738	1.721	<LOD	<LOD	<LOD	0.479	0.447*	88.289
			20	<LOD	0.002	<LOD	35.695	29.182	<LOD	17.210	<LOD	38.800	<LOD	<LOD	0.253	<LOD	<LOD	<LOD	0.197	0.707	10.286
			30	<LOD	0.042	<LOD	33.265	27.960	<LOD	18.267	<LOD	30.068	<LOD	1.780	0.462	<LOD	<LOD	<LOD	0.145	<LOD	49.893
			40	<LOD	0.034	<LOD	33.788	30.803	<LOD	17.997	<LOD	21.173	<LOD	<LOD	0.771	<LOD	<LOD	<LOD	0.144	0.908	33.802
		AR-Close	8	<LOD	0.242	<LOD	13.100	32.385	<LOD	38.944	0.246	105.300	<LOD	3.231	3.337	<LOD	<LOD	<LOD	0.471	<LOD	10.919
			20	<LOD	0.095	<LOD	13.590	16.770	<LOD	30.832	<LOD	42.643	<LOD	7.619	0.607	<LOD	<LOD	<LOD	0.256	<LOD	6.271
			30	<LOD	0.068	<LOD	13.440	14.429	<LOD	22.079	<LOD	29.846	<LOD	<LOD	0.198	<LOD	<LOD	<LOD	0.153	<LOD	6.997
			40	<LOD	0.058	<LOD	13.481	13.353	<LOD	20.765	0.610	27.087	<LOD	0.214*	0.439	<LOD	<LOD	<LOD	0.133	<LOD	5.657
		AR-Open	8	<LOD	0.279	<LOD	18.698	39.750	<LOD	38.381	<LOD	106.800	<LOD	12.594	0.946	<LOD	11.953	<LOD	0.441	<LOD	23.914
			20	<LOD	0.134	<LOD	11.293	17.818	<LOD	31.822	<LOD	48.617	<LOD	8.792	1.714	<LOD	<LOD	<LOD	0.249	<LOD	10.323
			30	<LOD	0.113	<LOD	11.182	15.058	<LOD	28.675	0.685	34.654	<LOD	14.696	1.109	<LOD	<LOD	<LOD	0.184	<LOD	15.957
			40	<LOD	0.092	<LOD	13.498	12.180	<LOD	24.126	<LOD	26.366	<LOD	8.452	1.098	<LOD	<LOD	<LOD	0.129	<LOD	11.089
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.114 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	1 วัน	DI	8	<LOD	0.221	<LOD	13.174	58.483	<LOD	40.840	<LOD	40.971	<LOD	0.974	50.442	<LOD	<LOD	<LOD	0.556	<LOD	14.620
			20	<LOD	0.037	<LOD	9.783	20.859	<LOD	31.437	<LOD	22.311	<LOD	<LOD	24.671	<LOD	<LOD	<LOD	0.292	<LOD	8.414
			30	<LOD	0.040	<LOD	11.335	17.650	<LOD	28.358	1.047	12.482	<LOD	<LOD	14.939	<LOD	<LOD	<LOD	0.188	<LOD	8.607
			40	<LOD	0.022	<LOD	8.110	12.024	<LOD	24.350	0.723	10.309	<LOD	<LOD	6.741	<LOD	<LOD	<LOD	0.143	<LOD	4.059
		TAP	8	<LOD	0.019	<LOD	28.457	70.327	<LOD	37.487	<LOD	43.706	<LOD	<LOD	0.208	<LOD	<LOD	<LOD	0.578	<LOD	24.229
			20	<LOD	0.004	<LOD	27.414	29.253	<LOD	24.933	<LOD	18.711	0.438*	<LOD	<LOD	3.327	0.746*	<LOD	0.269	0.355*	10.628
			30	<LOD	0.003	<LOD	28.352	25.103	<LOD	15.984	<LOD	15.077	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.179	<LOD	10.774
			40	<LOD	0.024	<LOD	31.637	27.798	<LOD	17.412	<LOD	10.823	0.501*	2.146	0.085*	<LOD	<LOD	<LOD	0.142	2.073	14.513
		AR-Close	8	<LOD	0.063	<LOD	11.646	66.469	<LOD	42.475	0.742	43.908	<LOD	0.918	30.008	<LOD	<LOD	<LOD	0.594	<LOD	16.610
			20	<LOD	0.040	<LOD	11.114	25.333	<LOD	33.993	<LOD	18.840	<LOD	<LOD	4.065	<LOD	<LOD	<LOD	0.284	<LOD	8.438
			30	<LOD	0.017	<LOD	8.524	16.135	<LOD	28.626	<LOD	13.381	<LOD	<LOD	0.629	<LOD	<LOD	<LOD	0.184	<LOD	7.901
			40	<LOD	0.025	<LOD	7.550	16.307	<LOD	26.403	<LOD	10.614	<LOD	<LOD	0.272	<LOD	<LOD	<LOD	0.158	<LOD	7.159
		AR-Open	8	<LOD	0.100	<LOD	11.033	48.361	<LOD	38.731	0.403	41.710	<LOD	0.253*	0.365	<LOD	<LOD	<LOD	0.497	<LOD	15.407
			20	<LOD	0.054	<LOD	8.406	26.554	<LOD	34.261	<LOD	18.386	<LOD	0.503	0.971	<LOD	<LOD	<LOD	0.271	<LOD	12.715
			30	<LOD	0.056	<LOD	12.607	21.944	<LOD	30.482	<LOD	13.882	<LOD	13.858	2.138	1.835	<LOD	<LOD	0.197	<LOD	11.744
			40	<LOD	0.048	<LOD	8.298	18.872	<LOD	27.776	<LOD	13.262	<LOD	5.369	2.446	<LOD	<LOD	<LOD	0.154	<LOD	9.592
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.115 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.049	<LOD	12.418	86.973	<LOD	43.680	<LOD	21.498	<LOD	<LOD	219.730	<LOD	14.472	<LOD	0.762	<LOD	15.413
			20	<LOD	0.015	<LOD	12.994	35.805	<LOD	36.216	<LOD	16.118	<LOD	<LOD	125.080	5.856	<LOD	<LOD	0.414	<LOD	7.936
			30	<LOD	0.028	<LOD	10.342	26.848	<LOD	32.333	<LOD	4.367	<LOD	<LOD	66.321	<LOD	<LOD	<LOD	0.244	<LOD	8.434
			40	<LOD	0.011	<LOD	10.360	23.000	<LOD	29.634	<LOD	7.384	<LOD	<LOD	49.175	<LOD	<LOD	<LOD	0.195	<LOD	8.317
		TAP	8	<LOD	0.007	<LOD	24.237	96.027	<LOD	42.288	<LOD	26.666	<LOD	<LOD	0.784	<LOD	3.881	<LOD	0.826	<LOD	21.649
			20	<LOD	0.004	<LOD	27.961	41.045	<LOD	29.703	<LOD	11.853	<LOD	<LOD	0.656	<LOD	0.050*	<LOD	0.356	<LOD	12.327
			30	<LOD	0.002	<LOD	28.932	33.093	<LOD	21.977	<LOD	11.282	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	9.105	<LOD	0.261	1.053	10.461
			40	<LOD	0.002	<LOD	30.350	27.320	<LOD	18.373	2.269	6.617	<LOD	<LOD	0.575	<LOD	<LOD	<LOD	0.184	<LOD	8.003
		AR-Close	8	<LOD	0.043	<LOD	13.249	85.880	<LOD	42.622	3.840	28.613	<LOD	<LOD	209.650	1.645	22.847	<LOD	0.776	<LOD	18.101
			20	<LOD	0.023	<LOD	7.775	34.999	<LOD	36.024	<LOD	9.912	<LOD	<LOD	64.949	<LOD	<LOD	<LOD	0.354	<LOD	5.473
			30	<LOD	0.013	<LOD	7.466	25.250	<LOD	33.345	0.175*	9.039	<LOD	1.493	39.967	0.572*	<LOD	<LOD	0.255	<LOD	5.856
			40	<LOD	0.016	<LOD	6.984	20.401	<LOD	29.630	<LOD	9.555	<LOD	<LOD	24.987	<LOD	<LOD	<LOD	0.193	<LOD	9.443
		AR-Open	8	<LOD	0.096	<LOD	12.974	49.572	<LOD	35.025	<LOD	31.972	<LOD	<LOD	1.034	<LOD	12.480	<LOD	0.487	<LOD	13.526
			20	<LOD	0.093	<LOD	8.561	36.479	<LOD	37.690	<LOD	17.069	<LOD	<LOD	0.446	0.362*	<LOD	<LOD	0.371	<LOD	6.090
			30	<LOD	0.112	<LOD	7.545	27.349	<LOD	34.330	<LOD	17.525	<LOD	<LOD	1.640	<LOD	<LOD	<LOD	0.271	<LOD	5.640
			40	<LOD	0.101	<LOD	8.515	20.137	<LOD	31.890	<LOD	11.978	<LOD	<LOD	0.797	<LOD	7.795	<LOD	0.202	0.204*	8.652
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.116 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	4 วัน	DI	8	<LOD	0.043	<LOD	28.392	143.030	<LOD	46.774	<LOD	10.211	0.276*	<LOD	282.450	2.715	5.697	<LOD	1.044	<LOD	52.047
			20	<LOD	0.021	<LOD	24.117	62.188	<LOD	40.112	<LOD	1.879	<LOD	<LOD	190.730	1.149	0.585*	<LOD	0.489	<LOD	17.110
			30	<LOD	0.035	<LOD	20.936	42.929	<LOD	35.586	<LOD	2.510	<LOD	<LOD	96.111	4.253	10.716	<LOD	0.328	<LOD	11.584
			40	<LOD	0.018	<LOD	17.015	34.051	<LOD	32.838	0.929*	2.550	<LOD	1.179	73.563	<LOD	3.016	<LOD	0.257	<LOD	6.405
		TAP	8	<LOD	0.017	<LOD	29.453	152.830	<LOD	46.765	1.103	16.034	<LOD	<LOD	0.512	<LOD	<LOD	<LOD	1.128	<LOD	30.856
			20	<LOD	0.005	<LOD	29.276	68.961	<LOD	38.008	3.184	7.535	<LOD	1.404	0.128	<LOD	<LOD	<LOD	0.443	<LOD	8.918
			30	<LOD	0.003	<LOD	29.880	53.267	<LOD	31.057	0.009*	5.025	<LOD	<LOD	0.191	<LOD	<LOD	<LOD	0.397	<LOD	14.997
			40	<LOD	0.002	<LOD	31.463	38.618	<LOD	25.596	0.049*	4.953	<LOD	<LOD	0.235	1.638	2.883	<LOD	0.271	0.056*	7.109
		AR-Close	8	<LOD	0.040	<LOD	14.803	120.800	<LOD	46.406	0.481	8.561	<LOD	<LOD	260.120	<LOD	<LOD	<LOD	0.956	<LOD	48.179
			20	<LOD	0.016	<LOD	12.479	52.811	<LOD	39.738	<LOD	6.119	<LOD	<LOD	105.820	4.841	<LOD	<LOD	0.468	<LOD	21.895
			30	<LOD	0.013	<LOD	9.382	36.657	<LOD	35.369	0.166*	3.344	<LOD	3.703	80.420	1.555	5.128	<LOD	0.328	<LOD	9.139
			40	<LOD	0.012	<LOD	8.858	30.337	<LOD	32.703	<LOD	6.404	<LOD	<LOD	67.140	2.050	7.589	<LOD	0.262	<LOD	8.918
		AR-Open	8	<LOD	0.059	<LOD	13.888	56.556	<LOD	35.421	<LOD	17.963	<LOD	2.200	0.370	<LOD	<LOD	<LOD	0.326	0.097*	35.349
			20	<LOD	0.025	<LOD	9.982	38.190	<LOD	34.061	<LOD	4.497	<LOD	<LOD	0.503	<LOD	<LOD	<LOD	0.325	<LOD	19.256
			30	<LOD	0.040	<LOD	9.763	36.998	<LOD	32.318	<LOD	5.011	<LOD	<LOD	1.176	<LOD	10.244	<LOD	0.293	<LOD	6.068
			40	<LOD	0.022	<LOD	8.294	31.700	<LOD	31.937	<LOD	5.842	<LOD	<LOD	0.644	<LOD	<LOD	<LOD	0.250	<LOD	3.698
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.117 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	9 วัน	DI	8	<LOD	0.134	<LOD	654.110	1731.600	<LOD	47.140	1.252	5.821	2.198	10.917	136.910	4.664	<LOD	<LOD	1.273	<LOD	1261.7
			20	<LOD	0.030	<LOD	79.935	125.630	<LOD	40.387	<LOD	4.908	<LOD	<LOD	181.110	<LOD	9.769	<LOD	0.653	<LOD	15.325
			30	<LOD	0.036	<LOD	60.901	63.630	<LOD	36.601	<LOD	1.586	<LOD	<LOD	99.672	<LOD	<LOD	<LOD	0.405	<LOD	10.832
			40	<LOD	0.033	<LOD	54.686	56.696	<LOD	35.438	<LOD	4.217	<LOD	<LOD	83.392	<LOD	<LOD	<LOD	0.360	<LOD	7.203
		TAP	8	<LOD	0.017	<LOD	56.812	246.830	<LOD	49.278	0.132	12.062	<LOD	<LOD	0.000	<LOD	13.491	<LOD	1.514	<LOD	21.188
			20	<LOD	0.009	<LOD	56.249	91.809	<LOD	38.882	<LOD	5.494	<LOD	<LOD	0.139	<LOD	<LOD	<LOD	0.590	<LOD	8.587
			30	<LOD	0.004	<LOD	56.616	80.441	<LOD	36.497	<LOD	5.266	<LOD	<LOD	0.039	<LOD	<LOD	<LOD	0.498	1.468	5.597
			40	<LOD	0.003	<LOD	56.582	60.770	<LOD	31.456	<LOD	2.946	<LOD	<LOD	0.045	<LOD	<LOD	<LOD	0.391	<LOD	5.750
		AR-Close	8	<LOD	0.066	<LOD	737.630	2701.400	<LOD	47.073	<LOD	10.278	1.815	3.012	1.531	<LOD	<LOD	<LOD	1.331	<LOD	110.090
			20	<LOD	0.022	<LOD	46.961	83.485	<LOD	41.029	3.467	1.918	<LOD	<LOD	111.100	<LOD	<LOD	<LOD	0.560	<LOD	16.443
			30	<LOD	0.016	<LOD	38.146	54.740	<LOD	38.564	<LOD	5.667	<LOD	<LOD	81.366	<LOD	<LOD	<LOD	0.469	<LOD	13.067
			40	<LOD	0.016	<LOD	41.690	66.148	<LOD	35.940	<LOD	4.503	<LOD	<LOD	65.057	3.036	<LOD	<LOD	0.375	<LOD	12.135
		AR-Open	8	<LOD	0.076	<LOD	40.108	49.891	<LOD	30.751	<LOD	9.798	<LOD	<LOD	1.231	0.374	<LOD	<LOD	0.167	<LOD	19.558
			20	<LOD	0.029	<LOD	29.639	48.424	<LOD	33.282	<LOD	6.758	<LOD	<LOD	0.667	3.299	15.068	<LOD	0.321	<LOD	11.073
			30	<LOD	0.023	<LOD	31.339	49.295	<LOD	32.782	<LOD	4.252	<LOD	<LOD	0.818	<LOD	11.361	<LOD	0.374	<LOD	17.964
			40	<LOD	0.022	<LOD	28.026	41.227	<LOD	32.613	<LOD	4.165	<LOD	<LOD	0.459	<LOD	2.312	<LOD	0.323	<LOD	6.620
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.118 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	16 วัน	DI	8	<LOD	0.126	<LOD	13.676	257.180	0.622	50.955	2.328	7.817	<LOD	<LOD	8.375	<LOD	18.984	<LOD	1.311	<LOD	47.780
			20	<LOD	0.058	<LOD	3.805*	133.340	0.607	44.606	10.758	2.218	<LOD	<LOD	28.415	<LOD	23.538	<LOD	0.747	0.103*	26.560
			30	<LOD	0.057	<LOD	0.517*	63.148	0.645	39.047	3.294	0.875	<LOD	<LOD	28.064	0.956	<LOD	<LOD	0.366	<LOD	6.550
			40	<LOD	0.049	<LOD	1.263*	60.841	0.557	38.475	3.938	<LOD	<LOD	<LOD	10.203	0.357*	<LOD	<LOD	0.361	0.238*	7.283
		TAP	8	<LOD	0.048	<LOD	10.936	293.440	0.755	51.232	3.239	8.832	<LOD	<LOD	<LOD	1.192	13.620	<LOD	1.531	0.246*	0.558
			20	<LOD	0.027	<LOD	13.704	117.320	0.776	42.692	1.397	5.304	0.633*	<LOD	0.295	<LOD	<LOD	<LOD	0.630	0.578*	19.291
			30	<LOD	0.016	<LOD	13.994	104.250	0.726	41.249	6.505	1.815	<LOD	<LOD	<LOD	1.041	3.075	<LOD	0.566	0.483*	14.056
			40	<LOD	0.014	<LOD	14.435	72.362	0.743	36.575	2.453	<LOD	<LOD	<LOD	0.205	<LOD	<LOD	<LOD	0.436	0.172*	14.518
		AR-Close	8	<LOD	0.072	<LOD	5.199	292.310	0.738	49.577	6.153	4.450	<LOD	<LOD	0.003*	<LOD	14.710	<LOD	1.435	<LOD	4.035
			20	<LOD	0.032	<LOD	<LOD	105.510	0.692	45.650	5.537	4.296	<LOD	<LOD	4.205	<LOD	<LOD	<LOD	0.552	0.583*	16.887
			30	<LOD	0.025	<LOD	<LOD	83.024	0.699	40.982	3.850	0.563	<LOD	<LOD	6.334	<LOD	<LOD	<LOD	0.445	1.096	6.183
			40	<LOD	0.017	<LOD	<LOD	69.036	0.745	39.579	3.101	0.383*	<LOD	<LOD	0.857	4.035	<LOD	<LOD	0.437	<LOD	7.786
		AR-Open	8	<LOD	0.483	<LOD	4.942*	94.433	0.690	42.680	7.194	5.416	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.367	<LOD	0.461	0.263*	43.029
			20	<LOD	0.114	<LOD	<LOD	27.846	0.616	23.673	2.361	0.356*	<LOD	<LOD	0.112	<LOD	1.929	<LOD	0.110	<LOD	14.798
			30	<LOD	0.043	<LOD	<LOD	46.160	0.468	27.116	3.782	4.139	<LOD	<LOD	0.083*	0.142*	1.717	<LOD	0.224	0.412*	10.566
			40	<LOD	0.031	<LOD	<LOD	50.954	0.710	25.597	7.650	1.424	<LOD	<LOD	0.390	<LOD	<LOD	<LOD	0.250	1.348	7.301
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.119 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																		
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn	
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	
03/02/48	36 วัน	DI	8	<LOD	0.031	<LOD	12.377	355.640	0.377	52.222	5.806	12.607	<LOD	<LOD	8.838	<LOD	8.163	<LOD	1.394	0.996	0.998	
			20	<LOD	0.105	<LOD	6.770	213.600	0.385	46.776	12.672	1.706	0.169*	<LOD	7.912	<LOD	7.128	<LOD	0.810	<LOD	5.280	
			30	<LOD	0.150	<LOD	5.612	134.910	0.428	40.004	2.179	<LOD	<LOD	<LOD	2.671	<LOD	10.576	<LOD	0.383	2.660	2.491	
			40	<LOD	0.180	<LOD	5.024	117.690	0.352	40.870	2.147	1.289	0.684*	<LOD	0.288	<LOD	10.149	<LOD	0.344	1.393	9.938	
		TAP	8	<LOD	0.064	<LOD	16.783	394.390	0.620	51.163	4.342	10.382	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	18.161	<LOD	1.653	<LOD	2.320	
			20	<LOD	0.057	<LOD	14.193	172.540	0.495	40.815	4.036	1.572	0.400*	65.798	0.775	5.815	16.423	<LOD	0.558	1.120	11.055	
			30	<LOD	0.027	<LOD	15.344	174.900	0.650	42.709	7.573	6.553	<LOD	<LOD	<LOD	1.209	5.583	<LOD	0.592	1.919	5.518	
			40	<LOD	0.337	<LOD	19.026	117.490	0.681	36.048	6.459	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	19.112	<LOD	0.342	0.597*	10.200	
		AR-Close	8	<LOD	0.172	<LOD	90.521	383.700	0.554	53.690	8.329	10.386	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	17.729	<LOD	1.519	0.449*	8.529	
			20	<LOD	0.061	<LOD	190.750	153.050	0.751	43.798	5.615	0.996	<LOD	<LOD	0.411	<LOD	<LOD	<LOD	0.478	0.758	6.328	
			30	<LOD	0.034	<LOD	226.380	145.880	0.354	42.914	1.717	2.804	<LOD	<LOD	1.216	<LOD	<LOD	<LOD	0.450	2.117	5.471	
			40	<LOD	0.040	<LOD	237.670	139.400	0.689	41.481	3.839	2.584	<LOD	<LOD	0.006*	3.193	<LOD	<LOD	0.436	0.672*	<LOD	
		AR-Open	8	<LOD	0.040	<LOD	116.800	97.863	0.355	8.954	2.207	6.196	<LOD	<LOD	<LOD	0.300*	<LOD	<LOD	0.131	26.983	6.303	
			20	<LOD	0.069	<LOD	137.440	96.281	0.620	19.023	<LOD	1.999	1.277	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.232	10.120	5.878
			30	<LOD	0.225	<LOD	137.090	109.940	0.492	17.206	4.953	2.244	1.356	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.215	5.013	6.876
			40	<LOD	0.245	<LOD	160.310	98.360	0.597	20.278	2.233	3.398	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.233	4.474	0.053*
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200	

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.120 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
03/02/48	64 วัน	DI	8	<LOD	0.456	<LOD	18.437	232.110	0.613	51.005	3.968	8.143	<LOD	<LOD	<LOD	1.615	17.796	<LOD	1.125	0.101*	5.557
			20	<LOD	0.230	<LOD	9.051	127.240	0.698	45.423	5.129	3.808	<LOD	<LOD	0.713	6.301	27.722	<LOD	0.678	0.771	9.383
			30	<LOD	1.356	<LOD	11.309	32.428	0.591	39.082	5.127	<LOD	<LOD	<LOD	0.989	<LOD	<LOD	<LOD	0.254	1.236	3.821
			40	<LOD	1.201	<LOD	8.851	30.820	0.623	38.144	9.347	1.611	<LOD	3.141	0.809	9.293	8.160	<LOD	0.231	0.688*	4.011
		TAP	8	<LOD	0.141	<LOD	9.617	272.170	0.609	51.393	8.710	9.031	<LOD	<LOD	0.295	<LOD	4.438	<LOD	1.332	<LOD	5.614
			20	<LOD	0.793	<LOD	15.460	50.609	0.531	37.227	<LOD	<LOD	<LOD	3.152	0.097*	<LOD	<LOD	<LOD	0.399	1.493	6.737
			30	<LOD	0.573	<LOD	14.538	67.978	0.628	40.421	2.748	2.328	<LOD	3.010	0.093*	1.478	<LOD	<LOD	0.433	0.127*	13.233
			40	<LOD	0.517	<LOD	21.339	37.938	0.600	34.419	1.210	0.772	<LOD	1.200	0.174	2.721	7.410	<LOD	0.321	2.502	3.733
		AR-Close	8	<LOD	0.137	<LOD	15.386	254.790	0.659	49.131	3.700	10.029	<LOD	<LOD	0.169	8.078	5.775	<LOD	1.167	0.469*	<LOD
			20	<LOD	1.420	<LOD	15.099	42.114	0.553	39.340	0.676	3.210	<LOD	<LOD	1.148	2.260	<LOD	<LOD	0.280	0.846	4.535
			30	<LOD	1.204	<LOD	12.668	42.872	0.621	40.312	4.899	<LOD	<LOD	<LOD	0.543	<LOD	15.553	<LOD	0.300	1.533	4.585
			40	<LOD	1.140	<LOD	16.898	33.542	0.667	38.604	4.013	0.065*	<LOD	<LOD	0.242	8.565	<LOD	<LOD	0.253	0.707	4.911
		AR-Open	8	<LOD	0.030	<LOD	44.147	46.825	0.579	11.178	0.951	1.134	<LOD	<LOD	0.011*	<LOD	<LOD	<LOD	0.218	19.534	8.534
			20	<LOD	0.071	<LOD	35.417	26.909	0.732	20.617	4.131	2.377	<LOD	<LOD	0.012*	0.354*	<LOD	<LOD	0.273	8.739	5.466
			30	<LOD	0.102	<LOD	32.964	27.157	0.700	18.976	7.106	0.895	<LOD	<LOD	<LOD	2.454	<LOD	<LOD	0.279	9.117	6.785
			40	<LOD	0.136	<LOD	31.372	25.259	0.665	20.797	5.289	3.852	<LOD	<LOD	0.103	<LOD	<LOD	<LOD	0.252	6.458	3.267
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.121 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 1

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	6 ชั่วโมง	DI	8	<LOD	0.024	<LOD	15.436	55.694	<LOD	29.741	0.408	54.381	0.768*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.025	<LOD	11.648	47.877	<LOD	18.557	0.530	26.988	0.511*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	6.411	22.631	<LOD	15.365	0.418	19.882	0.635*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	7.019	10.093	<LOD	2.645	0.577	4.794	0.101*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		TAP	8	<LOD	<LOD	<LOD	24.938	88.399	<LOD	21.231	0.888	51.604	0.585*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.001	<LOD	23.995	47.732	<LOD	15.933	0.246	24.332	1.123	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	22.357	39.287	<LOD	17.580	0.898	19.690	0.618*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	22.650	75.314	<LOD	25.039	0.888	9.598	1.297	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		AR-Close	8	<LOD	0.005	<LOD	5.675	55.326	<LOD	29.719	0.451	52.810	0.559*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.002	<LOD	5.845	34.101	<LOD	19.789	0.683	26.183	0.582*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	10.311	48.424	<LOD	14.927	0.432	17.516	0.701*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	7.179	38.395	<LOD	11.157	0.829	15.969	0.458*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		AR-Open	8	<LOD	0.043	<LOD	5.240	60.545	<LOD	30.553	0.827	53.544	0.730*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.055	<LOD	4.146*	27.082	<LOD	24.170	0.603	34.907	0.866*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	0.015	<LOD	6.069	57.108	<LOD	16.386	1.162	23.329	0.584*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	0.015	<LOD	6.304	51.630	<LOD	12.306	0.914	19.450	0.558*	<LOD	0.360	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.122 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 2

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ระยะเวลา ทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	1 วัน	DI	8	<LOD	<LOD	<LOD	57.329	106.636	<LOD	40.287	0.563	30.906	0.793*	<LOD	13.688	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	<LOD	<LOD	50.602	40.958	<LOD	30.590	0.843	18.222	0.749*	<LOD	10.680	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	48.172	18.850	<LOD	25.615	0.582	12.119	0.970	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	45.101	11.763	<LOD	23.064	0.429	12.789	0.445*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		TAP	8	<LOD	<LOD	<LOD	54.713	69.967	<LOD	34.111	0.582	28.677	0.613*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	<LOD	<LOD	54.796	33.431	<LOD	20.462	0.570	17.384	0.826*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	53.655	22.593	<LOD	15.688	0.774	13.921	0.622*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	50.311	21.020	<LOD	16.186	0.869	14.418	0.643*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		AR-Close	8	<LOD	<LOD	<LOD	32.291	61.116	<LOD	41.137	1.177	35.984	0.835*	<LOD	13.007	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.002	<LOD	29.160	24.846	<LOD	33.196	0.581	20.941	0.679*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	28.261	16.192	<LOD	27.897	0.606	15.622	0.671*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	25.939	13.195	<LOD	23.366	0.604	13.499	0.654*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		AR-Open	8	<LOD	0.028	<LOD	26.673	55.294	<LOD	38.877	0.353	37.146	0.543*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.032	<LOD	24.501	24.584	<LOD	33.334	0.354	19.912	0.837*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	0.001	<LOD	22.697	16.785	<LOD	27.481	0.760	16.086	0.799*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	0.003	<LOD	22.220	13.769	<LOD	24.433	0.837	15.956	0.373*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.123 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	2.25 วัน	DI	8	<LOD	0.005	<LOD	6.384	112.168	<LOD	44.104	0.665	19.213	0.779	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
			20	<LOD	<LOD	<LOD	18.992	44.835	<LOD	36.795	0.641	11.432	0.844*	<LOD	73.845	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	19.002	31.045	<LOD	31.260	0.997	8.367	0.501*	<LOD	42.017	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	18.358	28.905	<LOD	29.475	1.016	9.291	0.948	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		TAP	8	<LOD	<LOD	<LOD	28.942	109.881	<LOD	42.254	0.704	21.438	0.815*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	<LOD	<LOD	29.812	51.829	<LOD	28.239	0.056*	13.595	0.475*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	30.610	37.493	<LOD	17.098	0.422	10.042	0.727*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	30.715	32.035	<LOD	15.031	0.343	11.017	0.953	<LOD	199.592	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		AR-Close	8	<LOD	<LOD	<LOD	14.880	99.108	<LOD	44.518	0.784	24.508	0.940	<LOD	108.710	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	<LOD	<LOD	13.107	43.967	<LOD	37.638	0.401	14.005	0.627*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	12.162	25.209	<LOD	32.434	0.935	9.656	0.495*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	11.843	22.984	<LOD	28.726	0.704	8.701	0.186*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
		AR-Open	8	<LOD	0.009	<LOD	12.099	47.594	<LOD	36.611	0.272	27.043	0.735*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			20	<LOD	0.005	<LOD	10.901	39.317	<LOD	36.230	0.941	15.240	1.849	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			30	<LOD	<LOD	<LOD	9.671	29.804	<LOD	32.453	0.409	12.367	0.782*	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
			40	<LOD	<LOD	<LOD	9.903	31.040	<LOD	35.010	0.281	16.703	1.374	<LOD	<LOD	<LOD	N.A.	<LOD	N.A.	N.A.	N.A.
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.124 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 4

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	4 วัน	DI	8	<LOD	0.024	<LOD	14.644	135.140	<LOD	55.781	<LOD	19.483	<LOD	0.573	263.000	<LOD	<LOD	<LOD	1.089	<LOD	17.320
			20	<LOD	0.015	<LOD	12.459	58.991	<LOD	48.975	<LOD	15.163	<LOD	<LOD	195.660	<LOD	<LOD	<LOD	0.546	<LOD	15.641
			30	<LOD	0.011	<LOD	12.834	40.441	<LOD	43.611	0.299	8.281	<LOD	<LOD	110.720	<LOD	0.214*	<LOD	0.445	<LOD	11.720
			40	<LOD	0.008	<LOD	10.819	33.204	<LOD	39.958	<LOD	10.991	<LOD	<LOD	67.253	<LOD	1.110*	<LOD	0.384	<LOD	9.295
		TAP	8	<LOD	0.014	<LOD	28.268	122.050	<LOD	55.242	<LOD	22.929	<LOD	<LOD	0.278	<LOD	<LOD	<LOD	1.084	<LOD	30.432
			20	<LOD	0.009	<LOD	32.088	61.685	<LOD	44.099	<LOD	11.807	<LOD	1.406	0.469	<LOD	<LOD	<LOD	0.582	<LOD	13.043
			30	<LOD	0.008	<LOD	32.094	47.274	<LOD	36.329	<LOD	12.183	<LOD	3.219	0.464	<LOD	<LOD	<LOD	0.464	<LOD	20.473
			40	<LOD	0.004	<LOD	36.335	40.767	<LOD	30.004	<LOD	7.191	<LOD	<LOD	0.163	<LOD	<LOD	<LOD	0.363	<LOD	12.924
		AR-Close	8	<LOD	0.019	<LOD	11.787	106.260	<LOD	56.241	0.086*	26.880	<LOD	1.889	285.140	<LOD	9.851	<LOD	1.045	<LOD	20.162
			20	<LOD	0.017	<LOD	9.084	52.225	<LOD	51.197	<LOD	13.737	3.665	<LOD	169.520	0.961	25.284	<LOD	0.555	<LOD	13.529
			30	<LOD	0.013	<LOD	8.041	36.715	<LOD	48.651	0.293	15.710	<LOD	<LOD	8.635	<LOD	<LOD	<LOD	0.486	<LOD	7.724
			40	<LOD	0.014	<LOD	6.961	30.889	<LOD	44.227	<LOD	14.031	<LOD	6.156	48.397	<LOD	<LOD	<LOD	0.392	<LOD	12.146
		AR-Open	8	<LOD	0.037	<LOD	15.568	51.456	<LOD	49.682	<LOD	40.275	1.602	<LOD	1.662	<LOD	3.154	<LOD	0.477	<LOD	17.712
			20	<LOD	0.040	<LOD	14.195	44.733	<LOD	49.782	<LOD	18.951	<LOD	<LOD	1.309	<LOD	<LOD	<LOD	0.454	0.349*	11.428
			30	<LOD	0.033	<LOD	10.469	36.539	<LOD	46.768	<LOD	21.470	2.929	<LOD	2.566	<LOD	20.291	<LOD	0.448	<LOD	12.498
			40	<LOD	0.037	<LOD	10.129	33.939	<LOD	47.348	<LOD	15.552	<LOD	3.452	2.409	<LOD	7.494	<LOD	0.425	<LOD	18.477
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.125 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 5

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	9 วัน	DI	8	<LOD	0.038	<LOD	18.170	255.670	<LOD	60.675	1.025	15.759	0.217*	1.007	328.700	<LOD	2.017	<LOD	1.573	<LOD	40.801
			20	<LOD	0.018	<LOD	15.853	123.310	<LOD	52.733	<LOD	9.584	<LOD	<LOD	294.290	<LOD	6.955	<LOD	0.860	<LOD	16.033
			30	<LOD	0.013	<LOD	13.441	84.832	<LOD	49.559	<LOD	7.611	<LOD	<LOD	199.390	4.002	19.270	<LOD	0.606	<LOD	9.343
			40	<LOD	0.012	<LOD	15.109	71.273	<LOD	46.490	3.548	8.705	<LOD	<LOD	159.300	<LOD	4.566	<LOD	0.542	<LOD	7.929
		TAP	8	<LOD	0.023	<LOD	31.701	238.510	<LOD	59.021	<LOD	18.290	<LOD	0.683	0.585	<LOD	<LOD	<LOD	1.614	<LOD	42.961
			20	<LOD	0.007	<LOD	29.439	115.420	<LOD	48.633	0.838	15.022	<LOD	<LOD	0.296	<LOD	2.919	<LOD	0.870	<LOD	17.897
			30	<LOD	0.007	<LOD	29.974	85.646	<LOD	45.558	<LOD	4.205	<LOD	5.509	1.048	<LOD	<LOD	<LOD	0.652	<LOD	8.241
			40	<LOD	0.006	<LOD	34.234	72.554	<LOD	42.569	<LOD	3.205	<LOD	<LOD	0.206	<LOD	<LOD	<LOD	0.569	<LOD	11.189
		AR-Close	8	<LOD	0.026	<LOD	17.811	211.890	<LOD	58.493	<LOD	19.790	<LOD	<LOD	349.650	<LOD	20.078	<LOD	1.554	<LOD	37.477
			20	<LOD	0.014	<LOD	11.641	105.250	<LOD	51.973	<LOD	12.890	<LOD	<LOD	280.040	<LOD	12.878	<LOD	0.858	<LOD	17.298
			30	<LOD	0.014	<LOD	9.839	67.789	<LOD	50.900	<LOD	10.280	<LOD	5.312	60.644	<LOD	<LOD	<LOD	0.642	<LOD	12.249
			40	<LOD	0.011	<LOD	10.252	56.574	<LOD	47.041	<LOD	6.355	<LOD	<LOD	115.270	<LOD	<LOD	<LOD	0.543	<LOD	10.382
		AR-Open	8	<LOD	0.125	<LOD	17.429	79.217	<LOD	52.976	<LOD	28.777	<LOD	1.129	1.444	<LOD	9.274	<LOD	0.487	<LOD	29.358
			20	<LOD	0.043	<LOD	15.744	51.450	<LOD	44.133	<LOD	17.361	<LOD	<LOD	0.376	<LOD	<LOD	<LOD	0.390	<LOD	17.776
			30	<LOD	0.034	<LOD	8.258	55.731	<LOD	40.120	<LOD	11.019	<LOD	2.732	1.824	<LOD	<LOD	<LOD	0.481	<LOD	9.482
			40	<LOD	0.039	<LOD	8.283	48.680	<LOD	40.452	<LOD	13.119	<LOD	<LOD	1.211	0.343*	<LOD	<LOD	0.459	<LOD	8.595
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.126 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 6

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	16 วัน	DI	8	<LOD	0.069	<LOD	30.872	229.640	<LOD	49.829	<LOD	5.848	<LOD	<LOD	95.754	<LOD	<LOD	<LOD	1.166	<LOD	30.998
			20	<LOD	0.029	<LOD	22.297	129.040	<LOD	43.172	1.882	2.616	<LOD	<LOD	127.680	0.811	<LOD	<LOD	0.730	<LOD	17.677
			30	<LOD	0.023	<LOD	16.609	95.397	<LOD	41.088	<LOD	4.769	<LOD	<LOD	112.680	<LOD	<LOD	<LOD	0.548	<LOD	11.190
			40	<LOD	0.015	<LOD	18.216	87.651	<LOD	39.514	<LOD	5.710	<LOD	<LOD	101.350	<LOD	<LOD	<LOD	0.538	<LOD	10.747
		TAP	8	<LOD	0.031	<LOD	29.386	234.920	<LOD	48.621	<LOD	9.115	<LOD	<LOD	0.181	<LOD	12.332	<LOD	1.335	<LOD	27.568
			20	<LOD	0.013	<LOD	27.716	128.050	<LOD	41.545	<LOD	1.584	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.804	<LOD	10.541
			30	<LOD	0.010	<LOD	26.963	92.889	<LOD	38.793	0.114*	7.916	<LOD	0.881	0.042*	1.454	<LOD	<LOD	0.615	<LOD	13.941
			40	<LOD	0.006	<LOD	26.656	83.727	<LOD	37.045	<LOD	4.429	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.582	<LOD	14.172
		AR-Close	8	<LOD	0.042	<LOD	16.494	215.400	<LOD	49.319	<LOD	5.981	2.342	<LOD	60.852	<LOD	<LOD	<LOD	1.211	<LOD	32.264
			20	<LOD	0.015	<LOD	9.042	113.740	<LOD	41.996	0.145*	4.783	5.453	<LOD	77.965	<LOD	7.355	<LOD	0.723	<LOD	15.313
			30	<LOD	0.013	<LOD	9.176	85.194	<LOD	39.779	2.122	3.897	<LOD	<LOD	35.573	<LOD	11.625	<LOD	0.603	<LOD	7.291
			40	<LOD	0.007	<LOD	5.780	68.221	<LOD	37.625	<LOD	3.157	<LOD	<LOD	71.818	<LOD	<LOD	<LOD	0.529	<LOD	8.970
		AR-Open	8	<LOD	0.396	<LOD	22.193	23.752	<LOD	5.764	<LOD	4.927	<LOD	<LOD	0.359	<LOD	<LOD	<LOD	0.030	6.524	7.673
			20	<LOD	0.031	<LOD	7.821	45.648	<LOD	31.690	<LOD	4.096	<LOD	<LOD	0.267	<LOD	10.099	<LOD	0.258	<LOD	5.230
			30	<LOD	0.020	<LOD	13.599	88.954	<LOD	32.681	<LOD	2.034	<LOD	<LOD	0.302	<LOD	<LOD	<LOD	0.464	<LOD	13.247
			40	<LOD	0.016	<LOD	6.591	69.263	<LOD	32.878	<LOD	2.485	<LOD	0.789	0.518	<LOD	<LOD	<LOD	0.513	<LOD	13.097
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.127 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 7

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																																			
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn																		
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.																		
07/02/48	36 วัน	DI	8	<LOD	0.230	<LOD	46.983	323.640	0.721	54.255	<LOD	5.614	<LOD	<LOD	0.666	0.236*	15.005	<LOD	1.195	<LOD	14.116																		
			20	<LOD	0.074	<LOD	41.216	221.320	0.451	48.849	3.343	1.878	<LOD	<LOD	12.971	<LOD	<LOD	<LOD	0.798	0.032*	4.056																		
			30	<LOD	0.055	<LOD	35.344	178.010	0.707	44.433	5.186	<LOD	<LOD	8.345	19.299	<LOD	<LOD	<LOD	0.566	1.214	0.196*																		
			40	<LOD	0.052	<LOD	50.886	176.170	0.841	42.224	3.503	1.674	<LOD	<LOD	27.322	<LOD	10.177	<LOD	0.582	0.433*	2.620																		
		TAP	8	<LOD	0.088	<LOD	59.985	346.960	0.615	53.301	4.205	10.420	<LOD	<LOD	<LOD	0.681*	9.847	<LOD	1.336	<LOD	27.546																		
			20	<LOD	0.041	<LOD	53.891	231.420	0.486	44.752	6.198	2.210	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.699	<LOD	0.889	<LOD	13.069																		
			30	<LOD	0.037	<LOD	53.265	201.020	0.366	43.401	1.772	4.382	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.686	0.240*	6.094																		
			40	<LOD	0.035	<LOD	58.021	179.190	0.368	39.997	1.127	2.112	<LOD	<LOD	0.203	0.483*	1.326	<LOD	0.651	1.011	7.418																		
		AR-Close	8	<LOD	0.189	<LOD	97.556	346.680	0.549	53.943	6.673	6.244	<LOD	<LOD	9.310	<LOD	32.636	<LOD	1.324	<LOD	23.214																		
			20	<LOD	0.052	<LOD	100.580	214.910	0.488	46.837	0.567	4.315	<LOD	<LOD	40.473	<LOD	7.089	<LOD	0.765	<LOD	7.786																		
			30	<LOD	0.036	<LOD	93.476	201.170	0.500	44.581	<LOD	2.957	<LOD	<LOD	3.318	1.253	12.341	<LOD	0.669	<LOD	1.813																		
			40	<LOD	0.035	<LOD	110.540	176.730	0.495	43.707	7.745	0.102*	<LOD	<LOD	22.142	5.129	12.133	<LOD	0.613	<LOD	4.352																		
		AR-Open	8	<LOD	0.052	<LOD	129.120	116.710	0.399	9.091	4.055	5.704	<LOD	<LOD	<LOD	0.407*	<LOD	<LOD	0.171	16.064	9.073																		
			20	<LOD	1.038	<LOD	88.807	111.210	0.420	37.222	0.575	4.822	<LOD	<LOD	<LOD	4.297	<LOD	<LOD	0.207	0.557*	4.444																		
			30	<LOD	0.048	<LOD	105.620	154.420	0.396	24.096	3.988	1.922	<LOD	<LOD	0.183	<LOD	24.548	<LOD	0.335	<LOD	1.872																		
			40	<LOD	0.038	<LOD	129.100	156.250	0.436	31.918	2.214	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.470*	<LOD	<LOD	0.485	1.719	2.224																		
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																						0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

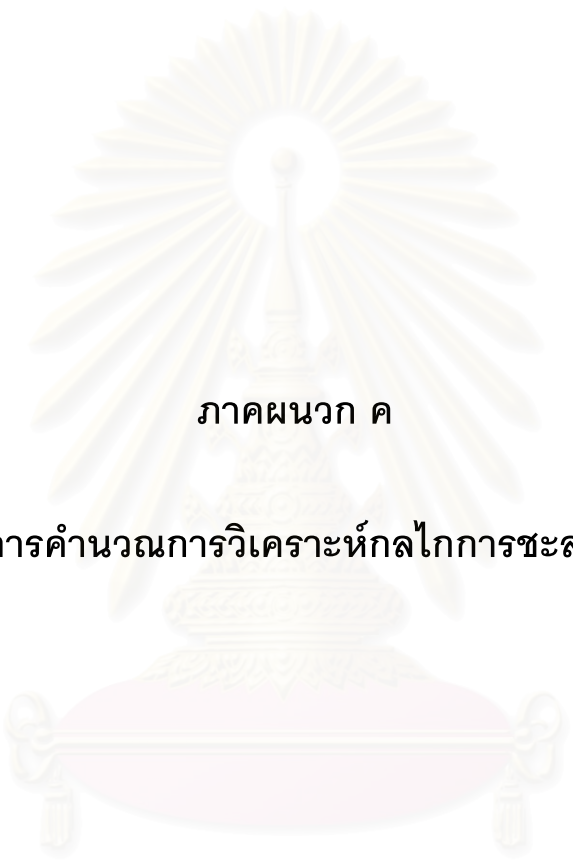
* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง

ตารางที่ ข.128 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆภายหลังทดสอบการชะละลายของซีเมนต์โพสต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2549 ช่วงที่ 8

วันที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาทดสอบ	สารชะละลาย	อัตราส่วน	ค่าความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ภายหลังทดสอบการชะละลาย																	
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
				มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.	มก./ล.	มคก./ล.	มคก./ล.
07/02/48	64 วัน	DI	8	<LOD	0.725	<LOD	<LOD	207.250	0.356	50.850	8.667	5.822	<LOD	18.768	0.929	2.468	18.019	<LOD	0.904	1.290	14.449
			20	<LOD	0.102	<LOD	<LOD	131.630	0.403	46.496	0.675	1.979	<LOD	<LOD	0.670	<LOD	2.938	<LOD	0.663	<LOD	8.313
			30	<LOD	0.069	<LOD	<LOD	92.390	0.506	43.505	2.063	6.365	<LOD	0.395	0.481	5.302	<LOD	<LOD	0.472	1.381	4.691
			40	<LOD	0.054	<LOD	<LOD	95.624	0.437	42.873	0.316	2.212	<LOD	<LOD	0.848	<LOD	<LOD	<LOD	0.522	0.007*	3.393
		TAP	8	<LOD	0.956	<LOD	0.184*	172.180	0.413	47.771	8.428	2.454	<LOD	<LOD	0.006*	<LOD	<LOD	<LOD	0.825	<LOD	21.538
			20	<LOD	0.031	<LOD	0.199*	151.970	0.400	44.201	4.726	4.623	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11.290	<LOD	0.771	<LOD	11.602
			30	<LOD	0.026	<LOD	1.103*	111.000	0.534	42.548	0.898	0.626	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	20.215	<LOD	0.559	0.059*	7.591
			40	<LOD	0.016	<LOD	<LOD	110.920	0.467	39.575	2.364	0.006*	<LOD	<LOD	0.419	1.014	<LOD	<LOD	0.594	<LOD	6.615
		AR-Close	8	<LOD	0.577	<LOD	<LOD	209.990	0.304	50.668	3.421	8.661	0.004*	<LOD	0.762	3.074	2.387	<LOD	0.947	<LOD	16.664
			20	<LOD	0.046	<LOD	<LOD	131.050	0.433	47.352	2.953	1.162	<LOD	1.925	0.108	<LOD	1.059*	<LOD	0.639	0.034*	2.512
			30	<LOD	0.032	<LOD	<LOD	110.390	0.426	45.548	5.100	0.483*	<LOD	<LOD	0.131	4.174	5.408	<LOD	0.553	0.541*	7.220
			40	<LOD	0.020	<LOD	<LOD	110.240	0.393	43.985	2.356	0.741	<LOD	<LOD	0.592	4.079	<LOD	<LOD	0.561	0.088*	6.502
		AR-Open	8	<LOD	0.040	<LOD	20.663	54.085	0.528	13.414	6.074	1.923	0.090*	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.198	12.572	12.077
			20	<LOD	0.204	<LOD	10.220	23.235	0.348	10.973	8.746	0.386*	<LOD	<LOD	0.073*	<LOD	<LOD	<LOD	0.225	5.113	4.147
			30	<LOD	0.542	<LOD	5.696	42.533	0.383	11.623	5.981	0.164*	0.431*	<LOD	0.161	2.995	0.110*	<LOD	0.285	1.052	5.048
			40	<LOD	0.034	<LOD	<LOD	94.711	0.667	28.455	2.471	<LOD	<LOD	<LOD	0.746	<LOD	12.390	<LOD	0.458	0.419*	4.391
Limits of Detection : LOD (มคก./ล.)																					
				0.500	0.900	3.000	5.000	0.030	0.050	0.010	0.200	0.500	0.900	0.300	0.100	0.700	1.500	4.000	0.020	0.700	0.200

<LOD คือค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง ICP จะวัดได้

* เป็นค่าที่ได้จากการประมาณของเครื่อง



ภาคผนวก ค

รายการคำนวณการวิเคราะห์หลักไวยากรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณ ตามมาตรฐานของ EA NEN 7375

1. พีเอช และ ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์) แสดงอยู่ใน ภาคผนวก ข
2. ปริมาตรของก้อนตัวอย่างและ ปริมาตรของสารชะละลาย (ลิตร)
3. ความเข้มข้นของธาตุที่สนใจ (มคก./ล.) ที่เวลาต่างๆ
4. ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดได้ของธาตุนั้นๆ (LOD: Limit of Determination) (มคก./ล.)

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบว่าปริมาตรของสารชะละลายเหมาะสมต่อการศึกษากลไกการชะละลายหรือไม่ โดยในการทดสอบเป็นการชะละลายเพียงด้านเดียวซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้สมการ

$$50 \times A \times f \leq V \leq 200 \times A \times f$$

V : ปริมาตรของสารชะละลาย หน่วย ลิตร

A : พื้นที่ที่เกิดการชะละลาย (พื้นที่ที่ไม่ถูกปิด) หน่วย ตารางเมตร

f : ตัวแปลงหน่วย 1 ลิตร/ตารางเมตร

ตารางที่ ค.1 แสดงปริมาตรของสารชะละลายที่ใช้ในการทดสอบซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ L/S 30 และ 40 มีค่ามากเกินไปที่กำหนดดั่งนั้นในการวิเคราะห์กลไกการชะละลายจะพิจารณาจาก L/S 8 และ 20 เท่านั้น โดยในรายการคำนวณนี้จะแสดงการวิเคราะห์กลไกการชะละลายของ AI จากตัวอย่างซีเมนต์เพสต์วันที่ 20 ตุลาคม 2547 ซึ่งผ่านการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออนที่ L/S 8

ตารางที่ ค.1 ปริมาตรของสารชะละลายที่ L/S ต่างๆ

L/S Ratio	พื้นที่ผิวสัมผัส	50 เท่าของพื้นที่ผิว	ปริมาตรสารชะละลาย	200 เท่าของพื้นที่ผิว
ซม.	ตร.ม.	ลิตร	ลิตร	ลิตร
8	0.0028	0.1414	0.2263	0.5657
20			0.5657	
30			0.8486	
40			1.1314	

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ค่าพีเอชและความนำไฟฟ้าของสารละลายที่ผ่านการทดสอบซึ่งมีข้อกำหนด 2 ข้อ ซึ่งถ้าไม่ผ่านข้อกำหนดทั้ง 2 ข้อนี้จะต้องทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ CaSO_4 และ Cl เพื่อพิจารณาว่าก้อนตัวอย่างนั้นเกิดการละลายของโครงสร้างหรือไม่

ข้อกำหนดที่ 1

$$S_{7-8} > 1.5 \times \frac{V_p}{V} + 10^{(pH_{7-8} - 11.78)} + 10^{(2.5 - pH_{7-8})}$$

ถ้าไม่ผ่านข้อกำหนดที่ 1 แสดงว่าโครงสร้างของก้อนทดสอบไม่เกิดการละลาย ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์หา CaSO_4 และ Cl แต่หากผ่านข้อกำหนดที่ 1 ให้คำนวณข้อกำหนดที่ 2 ต่อ

ข้อกำหนดที่ 2

$$S_{7-8} > 2 \times S_{5-6}$$

S_{5-6} คือ ความนำไฟฟ้าเฉลี่ยของช่วง 5 และ 6 หน่วย ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร

S_{7-8} คือ ความนำไฟฟ้าเฉลี่ยของช่วง 7 และ 8 หน่วย ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร

pH_{7-8} คือ ค่าเฉลี่ยของ pH ในช่วงที่ 7 และ 8

V_p คือปริมาตรของก้อนทดสอบ (ลิตร)

V คือปริมาตรของสารละลาย (ลิตร)

ตารางที่ ค.2 แสดงผลการคำนวณจากข้อกำหนดทั้ง 2

ข้อกำหนดที่	S_{7-8} us/cm		$1.5 \times \frac{V_p}{V} + 10^{(pH_{7-8} - 11.78)} + 10^{(2.5 - pH_{7-8})}$	ผล	หมายเหตุ
1	6,465	>	8.64	ผ่าน.	คำนวณข้อกำหนดที่ 2 ต่อ
ข้อกำหนดที่	S_{7-8} us/cm		$2 \times S_{5-6}$	ผล	หมายเหตุ
2	6,465	>	9,750	ไม่ผ่าน	โครงสร้างไม่เกิดการละลาย

ขั้นตอนที่ 3 นำผลที่ได้ภายหลังจากการทดสอบการชะละลายไปหาค่าตัวแปรต่างๆ โดยความเข้มข้นของ AI ภายหลังจากการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของ AI ในน้ำปราศจากไอออนที่ L/S 8 ภายหลังจากการทดสอบการชะละลายที่เวลาต่างๆ

Leachant	L/S Ratio	Time	Conc.
	cm	Days	ppb
DI	8	0.25	364.290
		1	48.983
		2.25	47.412
		4	102.880
		9	204.900
		16	403.060
		36	1732.200
		64	2517.200

- การคำนวณค่าที่ชะละลายออกมาของธาตุที่สนใจในการเปลี่ยนสารชะละลายแต่ละครั้ง
(Measured leaching of a component per fraction)

สำหรับธาตุแต่ละชนิดที่จะศึกษาจะต้องคำนวณหา ค่าการชะละลายที่วัดได้ โดยใช้สูตร

$$E^*_i = \frac{c_i \times V}{f \times A}$$

E^*_i คือ ค่าการชะละลายที่วัดได้ของธาตุหนึ่งในการเปลี่ยนสารชะละลายครั้งที่ i หน่วย mg/m^2

c_i คือ ความเข้มข้นของธาตุในสารชะละลาย i หน่วย ug/l

V คือ ปริมาตรของสารชะละลาย หน่วย ลิตร

f คือ ตัวแปลงหน่วย : 1000 ug/mg

ความเข้มข้น c_i เป็นความเข้มข้นที่ปรากฏอยู่ในสารชะละลายที่ผ่านการทดสอบ ถ้าความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่เครื่องมือจะวัดได้ให้แทนค่า c_i ด้วยค่าที่เครื่องมือสามารถวัดได้ต่ำที่สุดซึ่งจะได้ผลเป็น ค่าขอบเขตบนของ E^*_i และแทนค่า c_i ด้วย 0 จะได้ผลเป็นขอบเขตล่างของ E^*_i สำหรับผลการวิเคราะห์ค่า E^*_i แสดงอยู่ในตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 ค่าการชะละลายที่วัดได้ต่อพื้นที่

Leachant	L/S Ratio	Time	Conc.	Volume	Area	Fraction	E^*_i	
	cm	Days	(C) ppb	(V) litre	(A) m^2	(i)	mg/m^2	
DI	8	0.25	364.290	0.2263	0.0028	1	E^*_1	29.143
		1	48.983			2	E^*_2	3.919
		2.25	47.412			3	E^*_3	3.793
		4	102.880			4	E^*_4	8.230
		9	204.900			5	E^*_5	16.392
		16	403.060			6	E^*_6	32.245
		36	1732.200			7	E^*_7	138.576
		64	2517.200			8	E^*_8	201.376

2. การคำนวณการชะละลายสะสมที่วัดได้ (Measured cumulative leaching)

สำหรับธาตุที่นำมาวิเคราะห์จะต้องคำนวณการชะละลายสะสม (e^*_n : the measured cumulative leaching) ของช่วงเวลาตั้งแต่ $n = 1$ ถึง N ซึ่งช่วงเวลา $n = 1$ นั้น นับตั้งแต่เริ่มการทดสอบการชะละลายไปจนถึงการเปลี่ยนสารชะละลายครั้งแรก (ประกอบด้วยสารชะละลาย $i = 1$) สำหรับช่วงเวลา $n = 2$ นั้น นับตั้งแต่เริ่มการทดสอบการชะละลายไปจนถึงการเปลี่ยนสารชะละลายครั้งที่ 2 (ประกอบด้วยสารชะละลาย $1 + 2$) เรื่อยไปจนครบโดยใช้สูตร

$$E^*_n = \sum_{i=1}^n E^*_i \quad \text{สำหรับ } n = 1 \text{ ถึง } N$$

E^*_n คือ การชะละลายสะสมที่วัดได้จากธาตุที่สนใจในช่วงเวลา n

ประกอบไปด้วยสารชะละลาย $i = 1$ ถึง n หน่วย mg/m^2

N คือ จำนวนช่วงเวลาที่เหมาะกับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนตัวอย่างทั้งหมด ($N=8$)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$E^*_3 = E^*_1 + E^*_2 + E^*_3 = 29.14 + 3.92 + 3.79 = 36.85 \text{ } mg/m^2$$

3. การคำนวณการชะละลายสะสมที่ได้จากสูตร (Derived cumulative leaching of a component)

สำหรับธาตุที่สนใจต้องทำการคำนวณการชะละลายสะสม ($\mathcal{E}_n$: the derived cumulative leaching) ในแต่ละช่วงตั้งแต่ $n = 1$ ถึง N ซึ่ง n จะนับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ จนถึง การเปลี่ยนสารชะละลายครั้งที่ n (ประกอบด้วยสารชะละลายที่ $i = 1$ ถึง n) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\mathcal{E}_n = \frac{(E^*_i \times \sqrt{t_i})}{(\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}})} \quad \text{สำหรับ } n = 1 \text{ ถึง } N \text{ (โดยที่ } i = n)$$

e_n คือ การชะละลายสะสมที่ได้จากสูตรของธาตุที่สนใจในช่วงเวลา n

ซึ่งประกอบด้วยสารชะละลายตั้งแต่ที่ $i = 1$ จนถึง n หน่วย mg/m^2

t_i คือ เวลาที่เปลี่ยนสารชะละลาย i (เวลาที่จุดสิ้นสุดของสารชะละลายที่ i) หน่วย วินาที

t_{i-1} คือ เวลาที่เปลี่ยนสารชะละลาย $i-1$ (เวลาเริ่มต้นของสารชะละลายที่ i) หน่วย วินาที

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\sqrt{t_3} = \sqrt{(0.25 + 1 + 2.25) \times 24 \times 60 \times 60} = 549.91 \text{ sec}^{1/2}$$

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(E^*_3 \times \sqrt{t_3})}{(\sqrt{t_3} - \sqrt{t_2})} = \frac{(3.79 \times 549.91)}{(549.91 - 328.63)} = 9.426 \text{ mg/m}^2$$

ตารางที่ ค.5 ค่า $\mathcal{E}^*_n$ และ $\mathcal{E}_n$ ที่คำนวณได้ตามเวลาต่างๆ

Time	Fraction	E* _i		E* _n		SQR Time		E _n	
						Sec ^{1/2}			
Days	(i)	mg/m ²		mg/m ²		t ₀	0	mg/m ²	
0.25	1	E* ₁	29.14	E* ₁	29.14	t ₁	146.97	E ₁	29.14
1	2	E* ₂	3.92	E* ₂	33.06	t ₂	328.63	E ₂	7.09
2.25	3	E* ₃	3.79	E* ₃	36.85	t ₃	549.91	E ₃	9.43
4	4	E* ₄	8.23	E* ₄	45.09	t ₄	804.98	E ₄	25.97
9	5	E* ₅	16.39	E* ₅	61.48	t ₅	1193.98	E ₅	50.31
16	6	E* ₆	32.24	E* ₆	93.72	t ₆	1675.71	E ₆	112.17
36	7	E* ₇	138.58	E* ₇	232.30	t ₇	2432.78	E ₇	445.30
64	8	E* ₈	201.38	E* ₈	433.67	t ₈	3383.49	E ₈	716.68

ขั้นตอนที่ 4 การพิจารณาการกลไกการชะละลายที่เกิดขึ้นในการทดสอบแบบแพร่

ภายหลังจากทดสอบว่าก้อนตัวอย่างไม่เกิดการละลายซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา ต่อจากนี้เป็นการพิจารณาการชะละลายสำหรับธาตุที่สนใจว่ากลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมกระบวนการชะละลายเพียงอย่างเดียวหรือว่ามีกลไกอื่นด้วย

4.1 การพิจารณาช่วงเวลาเพิ่มขึ้น (Definition of incremental periods)

รวมกลุ่มของสารชะละลายในช่วงเวลาที่ 1 – 8 ดังนี้

Order	Elute fraction	Increment a-b
1	Fractions 2 to 7	Increment 2-7
2	Fractions 5 to 8	Increment 5-8
3	Fractions 4 to 7	Increment 4-7
4	Fractions 3 to 6	Increment 3-6
5	Fractions 2 to 5	Increment 2-5
6	Fractions 1 to 4	Increment 1-4

4.2 การคำนวณเชิง increment ของธาตุแต่ละชนิด (Incremental analysis per component)

สำหรับทุกธาตุที่ศึกษาสามารถทำการวิเคราะห์เชิง increment ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 4.2.1 :

สำหรับแต่ละ Increment a-b คำนวณค่า CF_{a-b} (the concentration factor)

$$CF_{a-b} = \frac{\text{mean concentration in the increment}}{\text{lowest limit of determination}}$$

ถ้าความเข้มข้นที่วัดได้ในทุก fraction ใน increment a-b ทั้งหมดมีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดที่วัดได้สำหรับธาตุนั้น (the lowest limit of determination) และค่า CF_{a-b} สูงกว่า 1.5 ให้ทำต่อไปที่ขั้นตอนที่ 4.2.2 ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ แสดงว่าธาตุที่สนใจไม่สามารถพิจารณาการกลไกการชะละลายได้ใน increment นั้นๆ

ขั้นตอนที่ 4.2.2 :

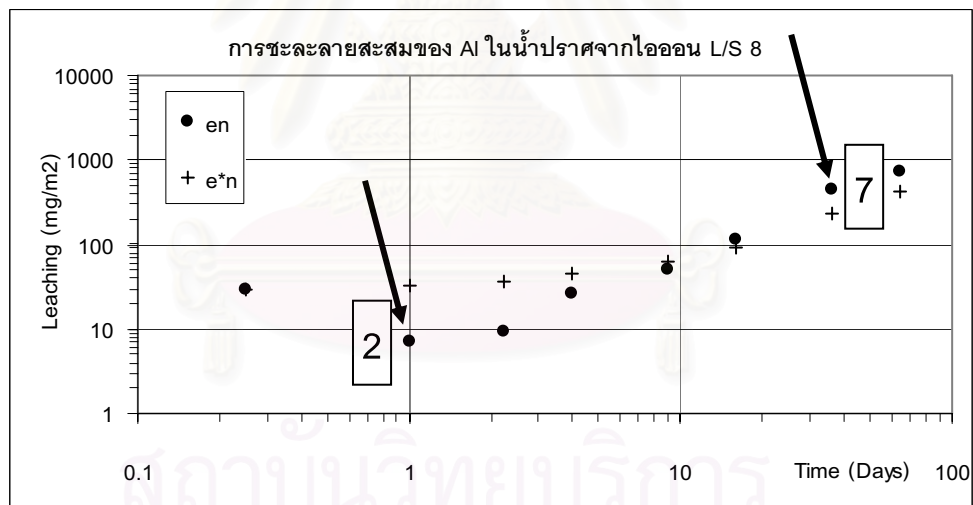
ใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นของ $\text{Log } \epsilon_n$ และ $\text{Log } t_i$ หาค่าความชัน (rc) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชัน (Sd_{rc}) และสรุปเป็นตารางดังแสดงในตารางที่ ค.6

ตัวอย่างการคำนวณ

$$CF_{2-7} = \frac{(44.983 + 47.412 + 102.88 + 204.9 + 403.06 + 1732.2)/6}{0.9}$$

(โดยที่ 0.9 เป็นค่า LOD ของ AI)

Rc_{2-7} และ Sd_{rc} หาได้จากกราฟโดย rc_{2-7} เป็นความชันของ en ตั้งแต่จุดที่ 2-7 ส่วน Sd คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชันที่จุด 2-7



รูปที่ ค.1 ตัวอย่างการหาค่า rc และ sd จากกราฟการชะละลายสะสมของ AI

ตารางที่ ค.6 ค่า CF rc และ Sd ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการชะละลายสะสมของ AI

Order	Increment a-b	Cf _{a-b}	rc	Sd _{rc}
Order 1	Increment 2 - 7	470.266	1.166	0.678
Order 2	Increment 5 - 8	1349.267	1.405	0.532
Order 3	Increment 4 - 7	678.622	1.300	0.531
Order 4	Increment 3 - 6	210.626	1.129	0.455
Order 5	Increment 2 - 5	112.271	0.948	0.394
Order 6	Increment 1 - 4	156.546	-0.124	0.309

ขั้นตอนที่ 4.2.4 การพิจารณาว่าการชะละลายของธาตุที่ต่างกันมีกลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมหรือมีกลไกอื่นมีส่วนร่วมด้วยหรือไม่

บนพื้นฐานของการคำนวณ CF และ Slope ใน ขั้นตอนี่4.2.2 สามารถพิจารณาได้ว่ามีกลไกได้เกี่ยวข้องกับการชะละลายขององค์ประกอบที่แตกต่างกันจากก่อนทดสอบ โดยการทดสอบเบื้องต้นคือค่าเบี่ยงเบนของความชันจะต้องได้ตรงตามต้องการโดยการชะละลายที่มีกลไกการชะละลายเป็นแบบแพร่อย่างสมบูรณ์จะต้องมีความความชันอยู่ที่ 0.5 พอดี ความสำคัญของความชัน rc แสดงอยู่ในตารางที่ ค.7

ตารางที่ ค.7 ความสำคัญของค่า rc ใน Increment ต่างๆ

Increment a-b	Slope, rc		
	≤ 0.35	> 0.35 and ≤ 0.65	> 0.65
Increment 2-7	Surface wash - off	Diffusion	Dissolution
Increment 5-8	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 4-7	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 3-6	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 2-5	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 1-4	Surface wash - off	Diffusion	Delayed diffusion or Dissolution

นำผลการวิเคราะห์ rc มาเปรียบเทียบได้ผลดังแสดงในตารางที่ ค.8

ตารางที่ ค.8 ผลการเปรียบเทียบค่า rc กับกลไกการชะละลายใน Increment ต่างๆ

Order	Increment a-b	rc	Mechanism
Order 1	Increment 2 - 7	1.166	Dissolution
Order 2	Increment 5 - 8	1.405	Dissolution
Order 3	Increment 4 - 7	1.300	Dissolution
Order 4	Increment 3 - 6	1.129	Dissolution
Order 5	Increment 2 - 5	0.948	Dissolution
Order 6	Increment 1 - 4	-0.124	Surface wash-off

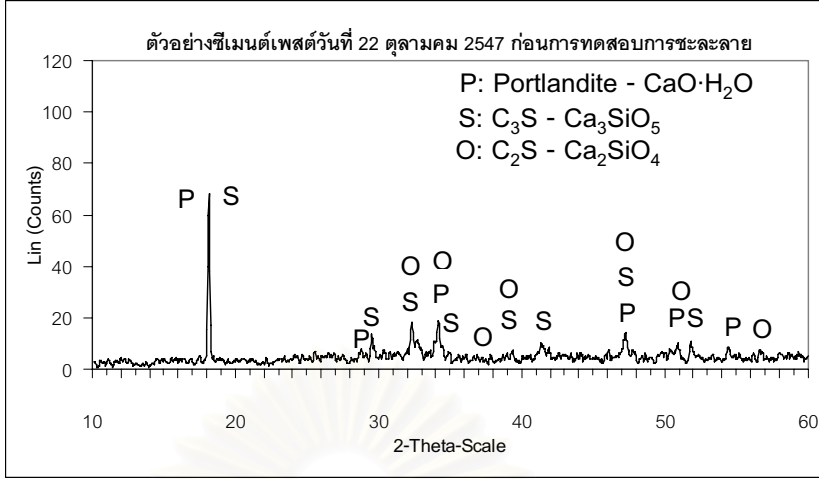
ผลจากการวิเคราะห์ค่า rc ของ AI พบว่ากลไกการชะละลายของ AI มีกลไกที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กลไกได้แก่ ในช่วงแรกของการทดสอบการชะละลายจะเกิดการชะล้างที่ผิวหน้าของก้อนทดสอบ จากนั้นเมื่อการทดสอบผ่านไปจึงเกิดการละลายของ AI ออกมา



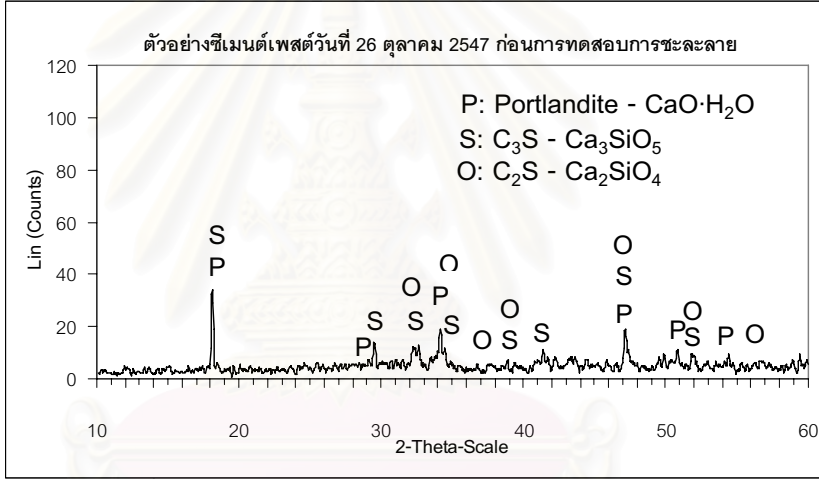
ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์สารประกอบโลหะหนักที่เป็นผลึก
ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction Spectrometer (XRD)

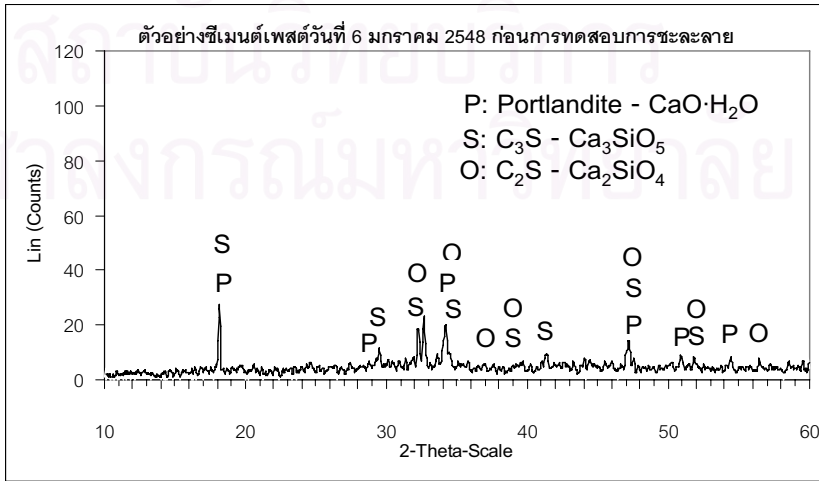
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



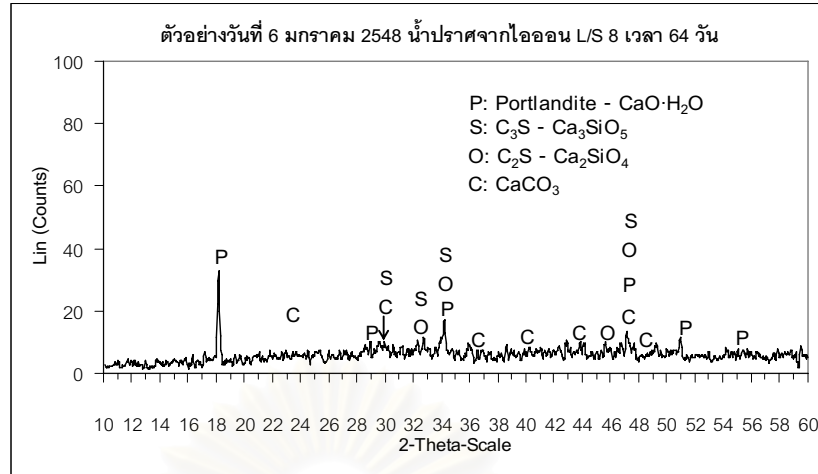
รูปที่ ง.1 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



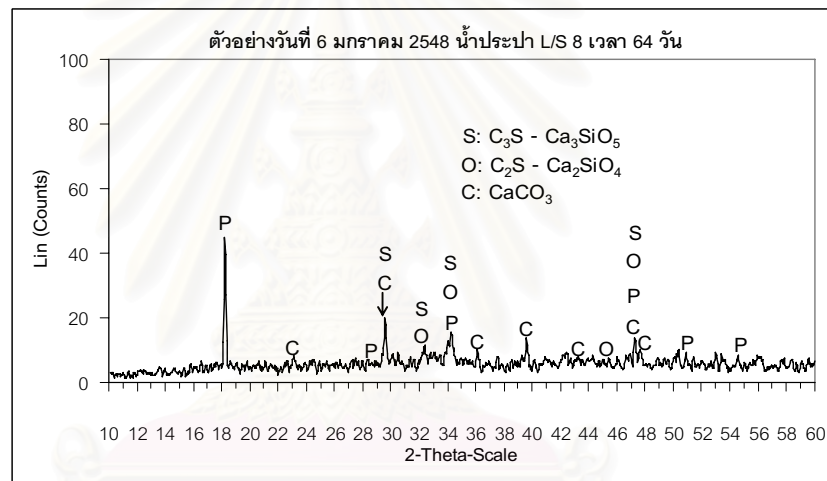
รูปที่ ง.2 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 26 ตุลาคม 2547 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



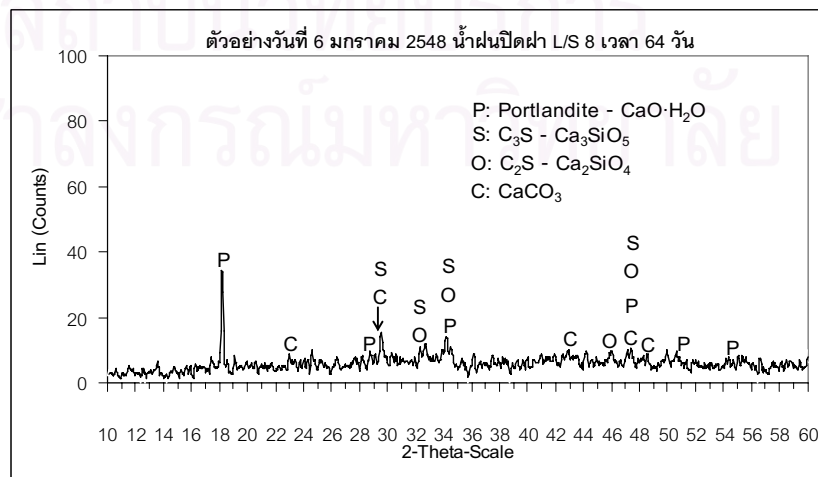
รูปที่ ง.3 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



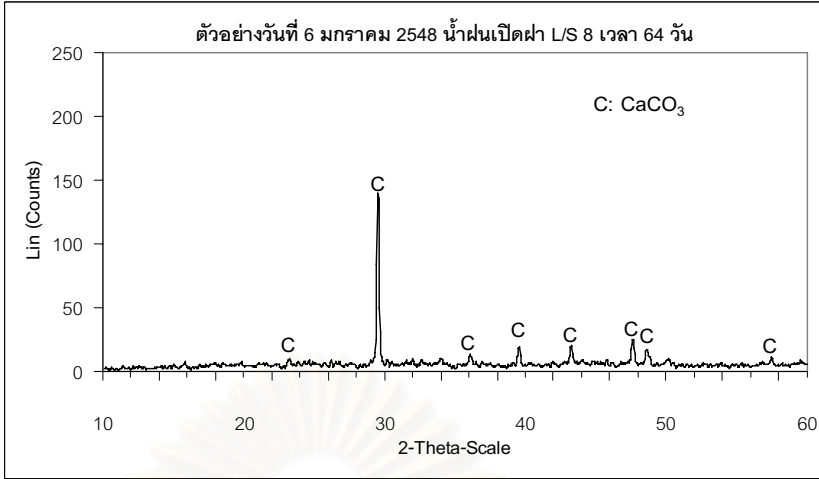
รูปที่ ง.4 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 ระยะ 64 วัน



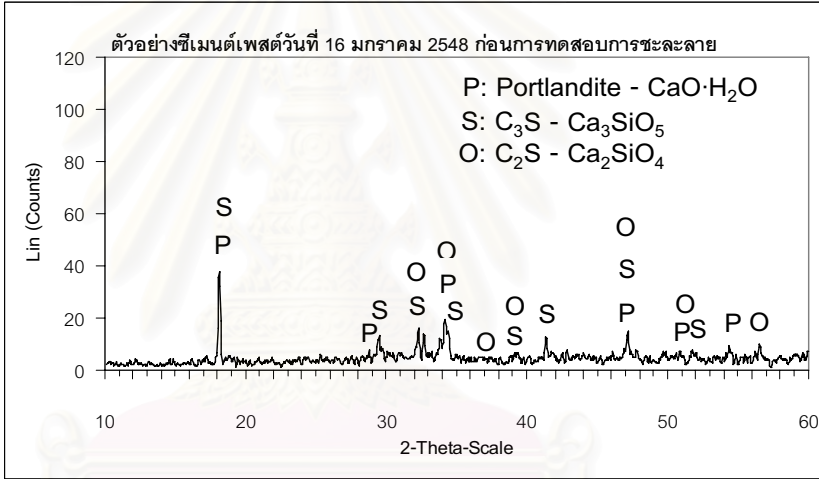
รูปที่ ง.5 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำประปา L/S 8 ระยะ 64 วัน



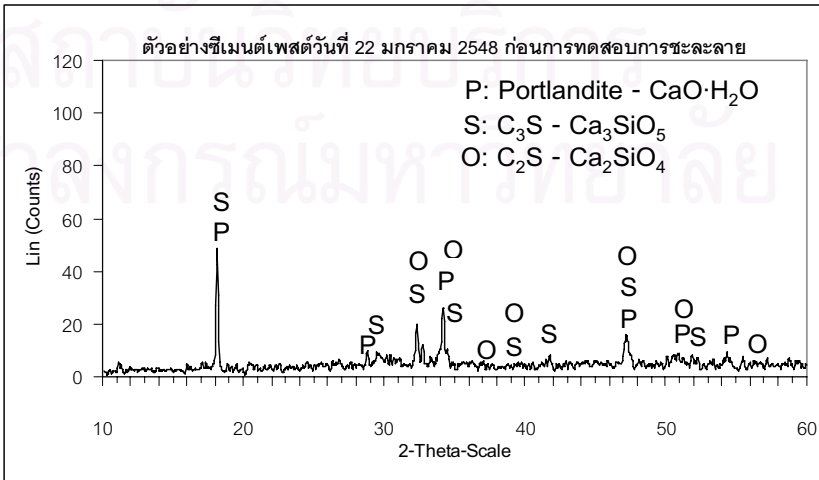
รูปที่ ง.6 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ (ปัตตานี) L/S 8 ระยะ 64 วัน



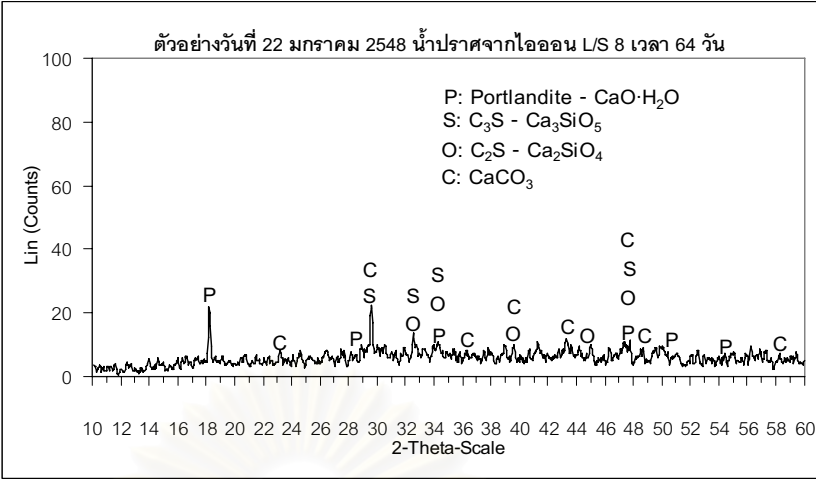
รูปที่ ง.7 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 6 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 8 ระยะ 64 วัน



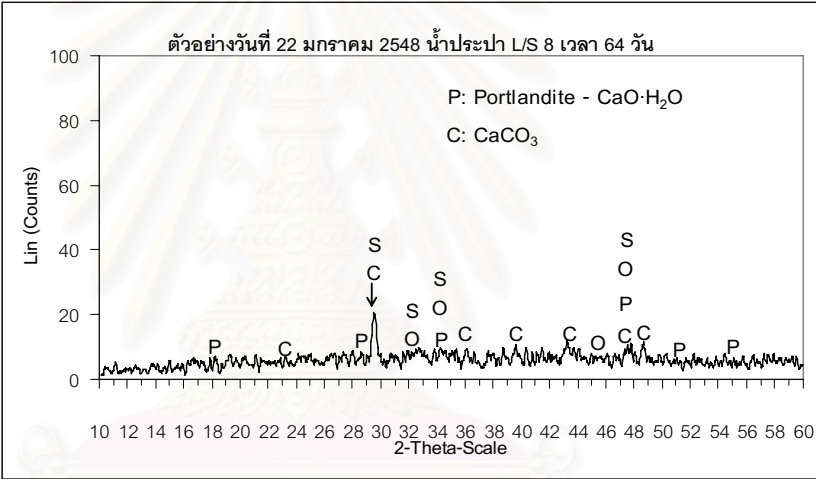
รูปที่ ง.8 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 16 มกราคม 2548 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



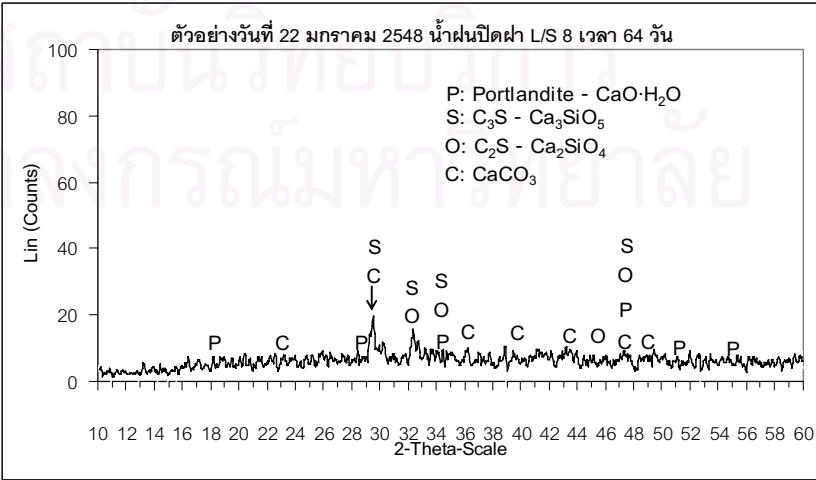
รูปที่ ง.9 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



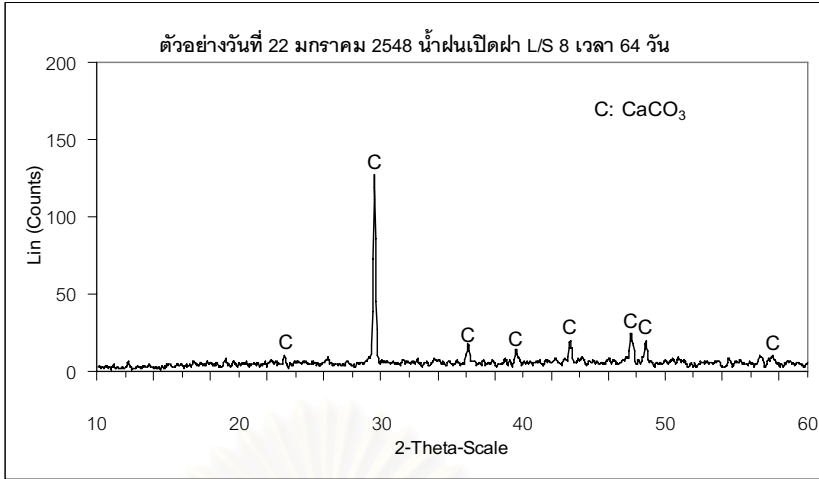
รูปที่ ง.10 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 ระยะ 64 วัน



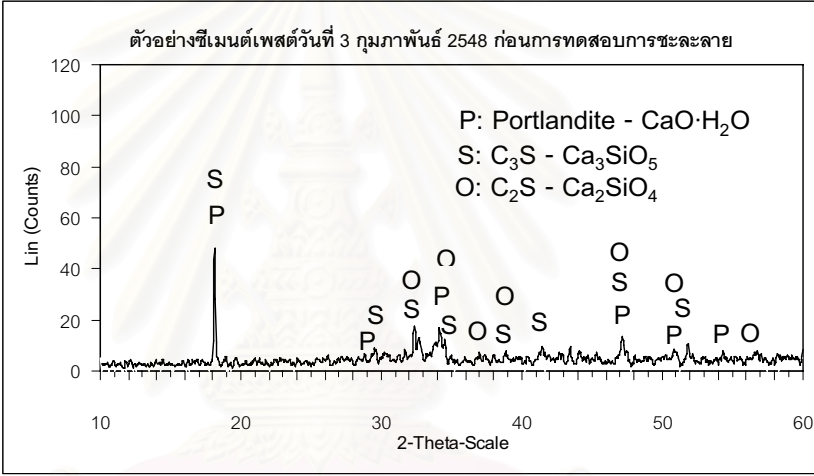
รูปที่ ง.11 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำประปา L/S 8 ระยะ 64 วัน



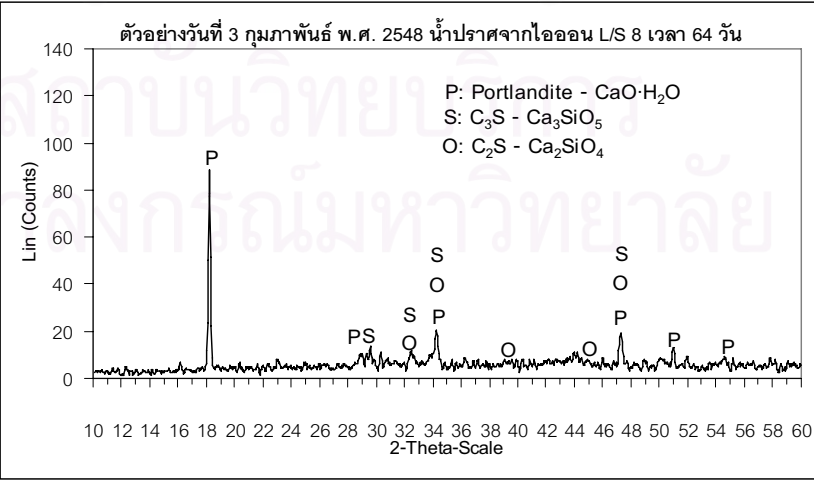
รูปที่ ง.12 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 8 ระยะ 64 วัน



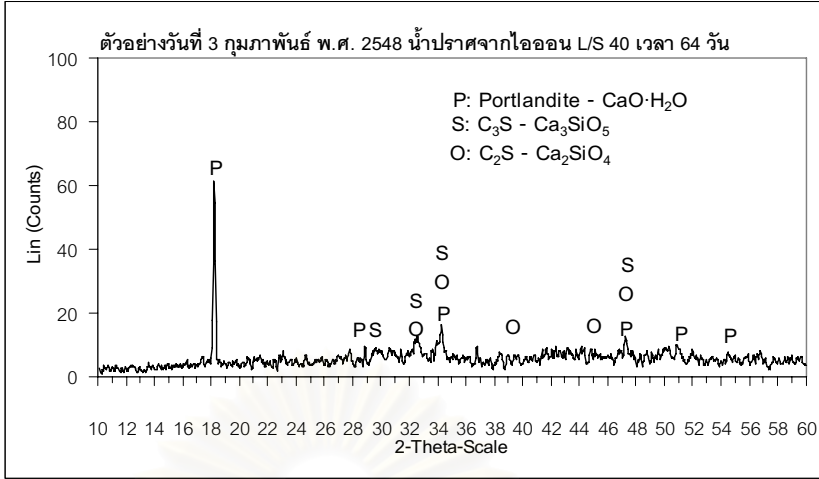
รูปที่ ง.13 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 22 มกราคม 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ (เปิด) L/S 8 ระยะ 64 วัน



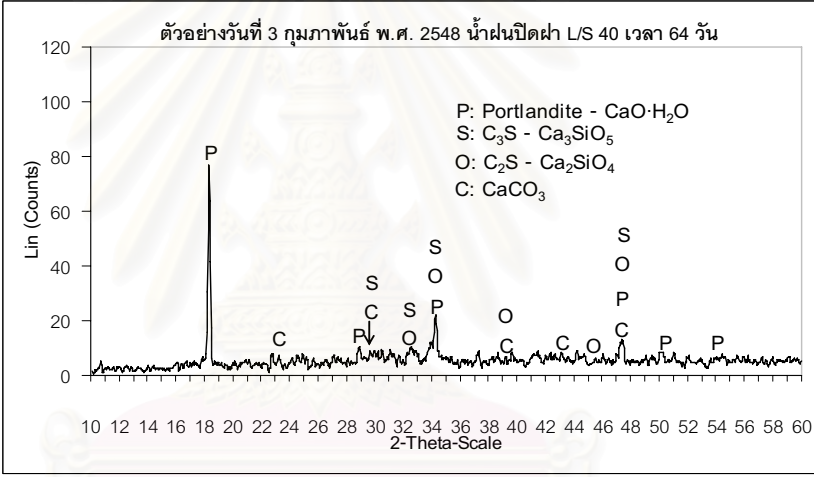
รูปที่ ง.14 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



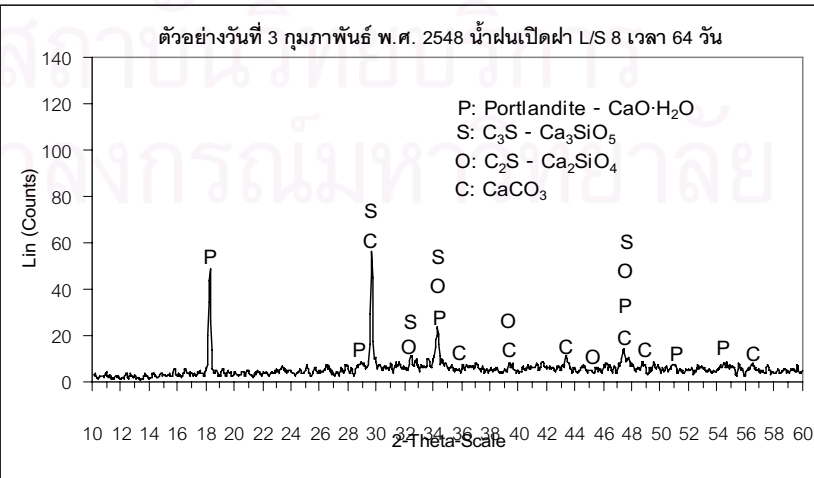
รูปที่ ง.15 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 ระยะ 64 วัน



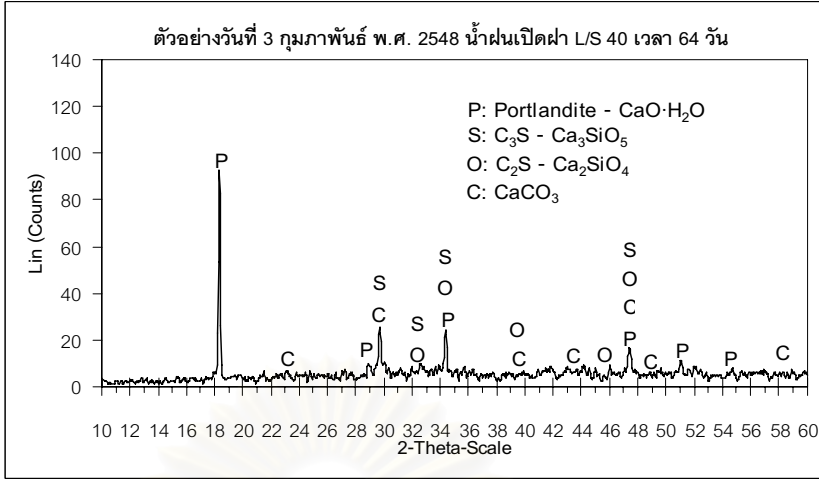
รูปที่ ง.16 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 40 ระยะ 64 วัน



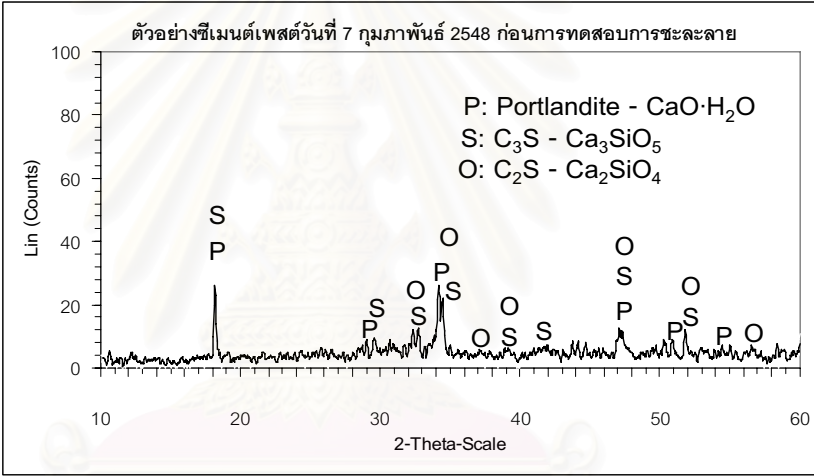
รูปที่ ง.17 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 40 ระยะ 64 วัน



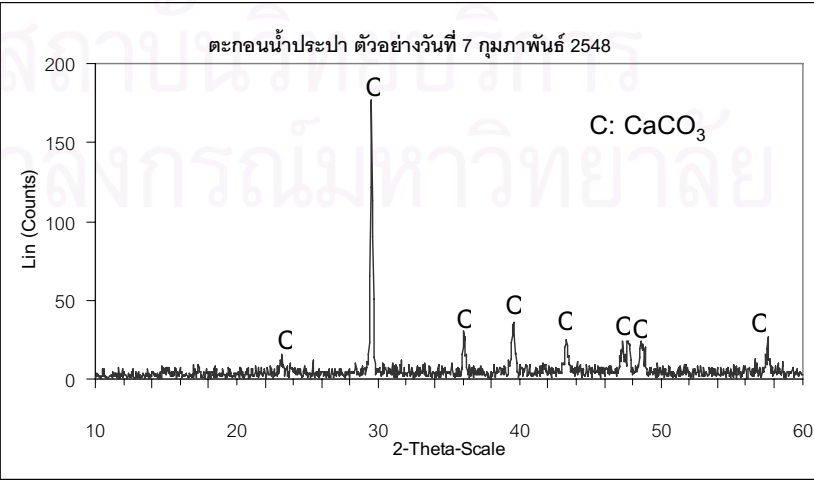
รูปที่ ง.18 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (เปิด) L/S 8 ระยะ 64 วัน



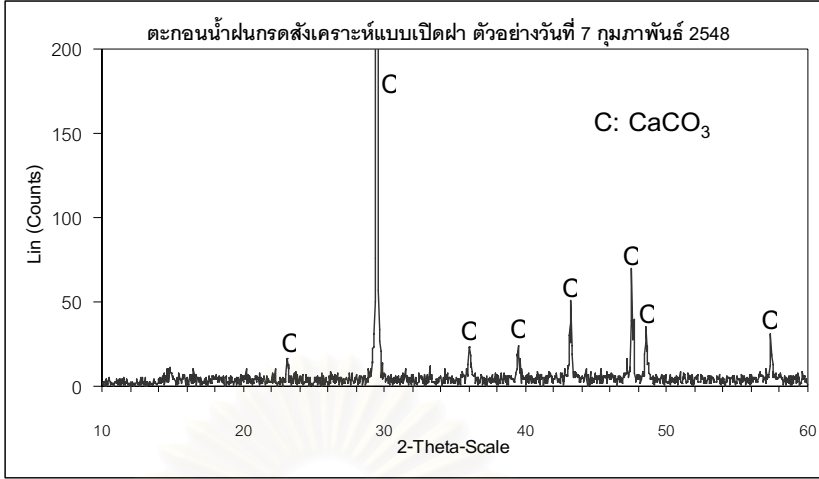
รูปที่ ง.19 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (เปิด) L/S 40 ระยะ 64 วัน



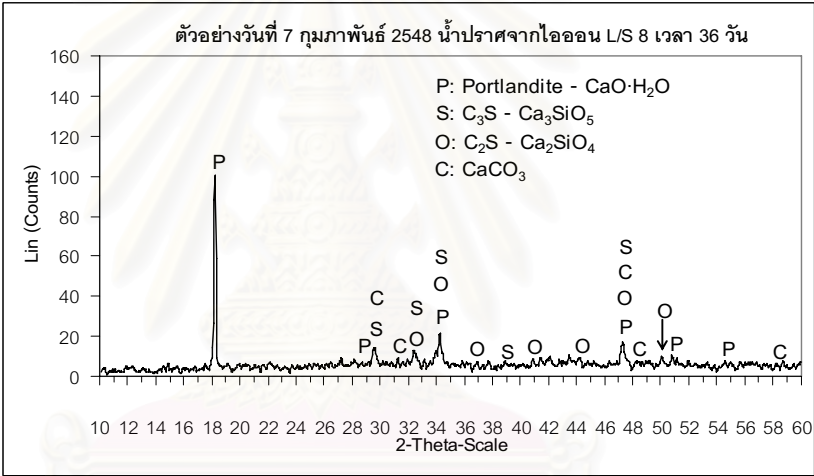
รูปที่ ง.20 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



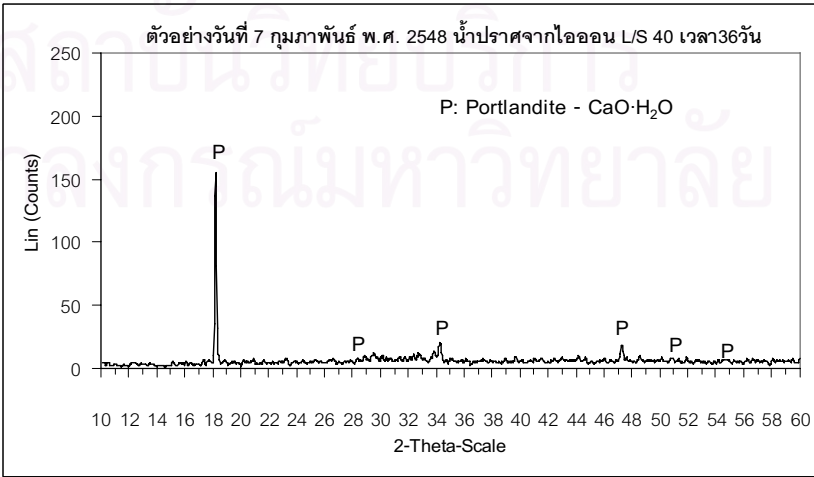
รูปที่ ง.21 ผล XRD ของตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ก่อนการทดสอบการชะละลาย



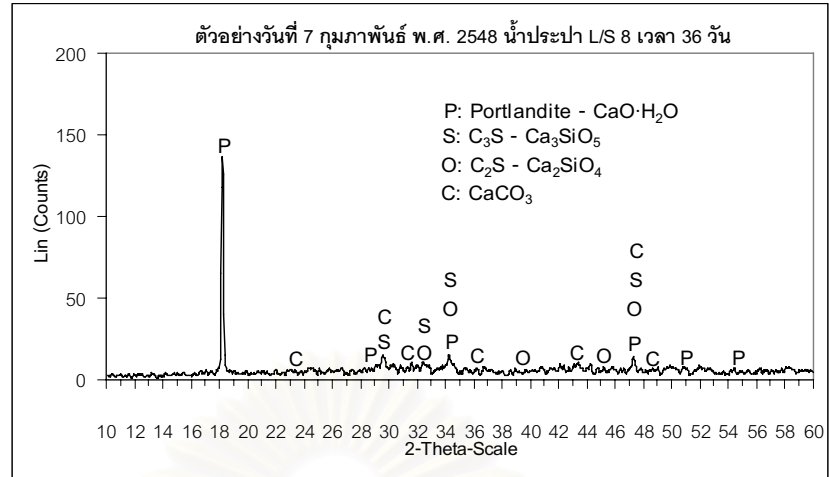
รูปที่ ง.22 ผล XRD ของตะกอนที่เกิดจากการทดสอบตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548



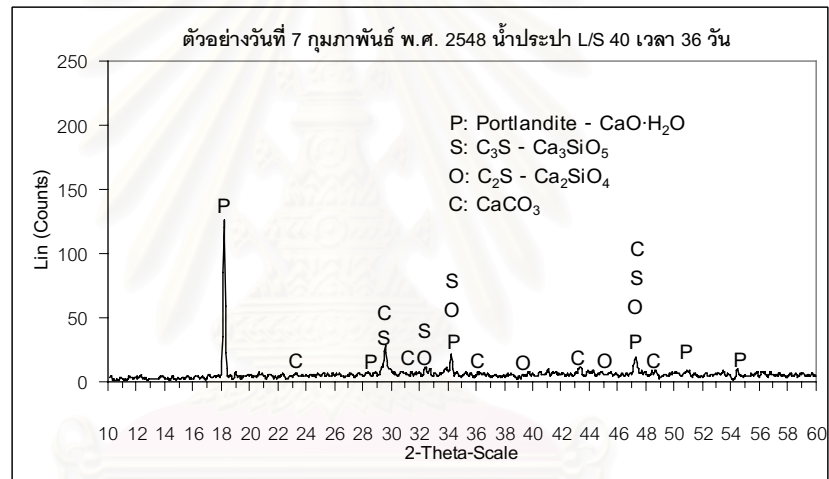
รูปที่ ง.23 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 ระยะเวลา 36 วัน



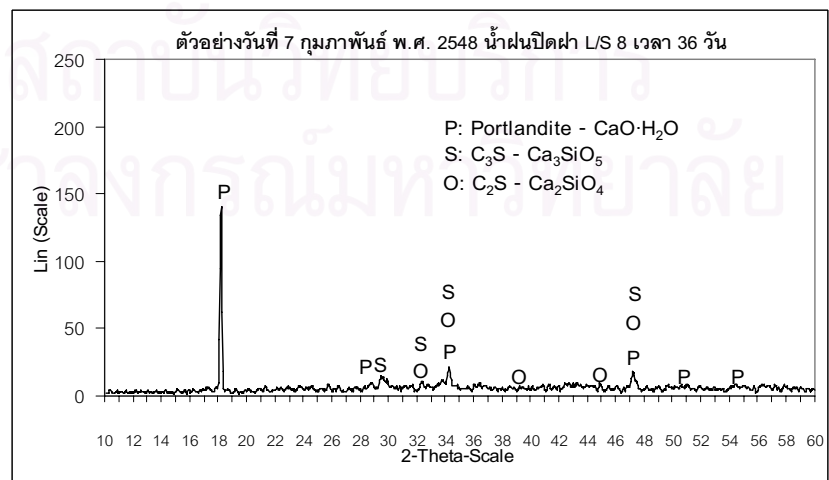
รูปที่ ง.24 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 40 ระยะเวลา 36 วัน



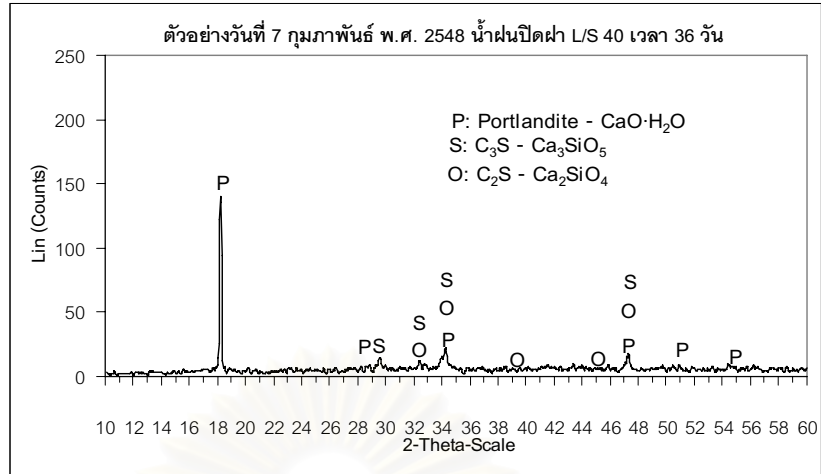
รูปที่ ง.25 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำประปา L/S 8 ระยะเวลา 36 วัน



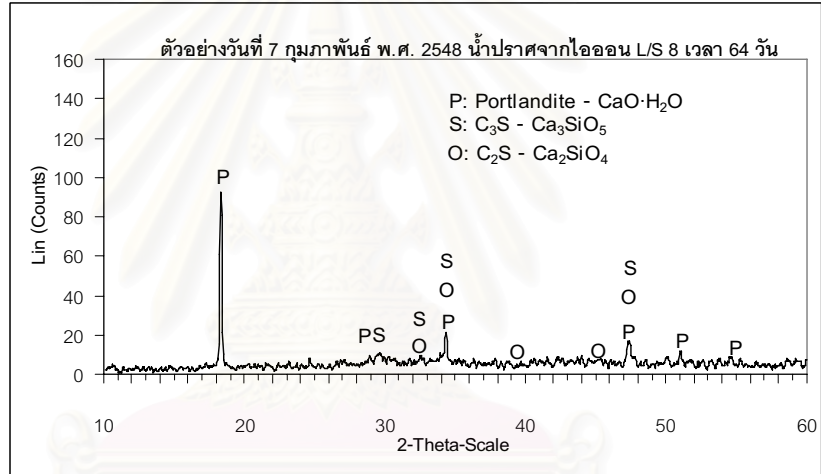
รูปที่ ง.26 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำประปา L/S 40 ระยะเวลา 36 วัน



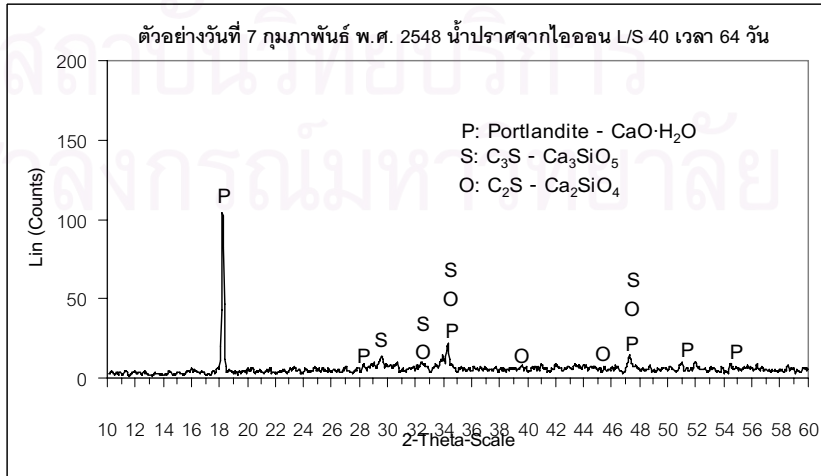
รูปที่ ง.27 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 8 ระยะเวลา 36 วัน



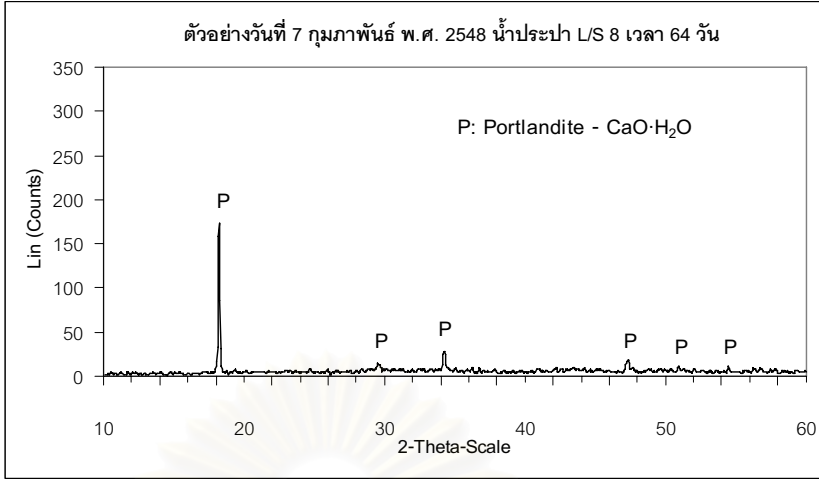
รูปที่ ง.28 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 40 ระยะเวลา 36 วัน



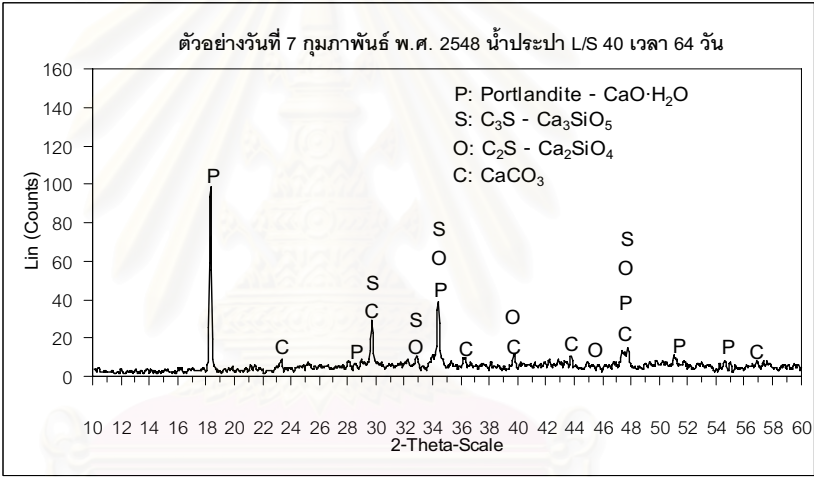
รูปที่ ง.29 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 ระยะเวลา 64 วัน



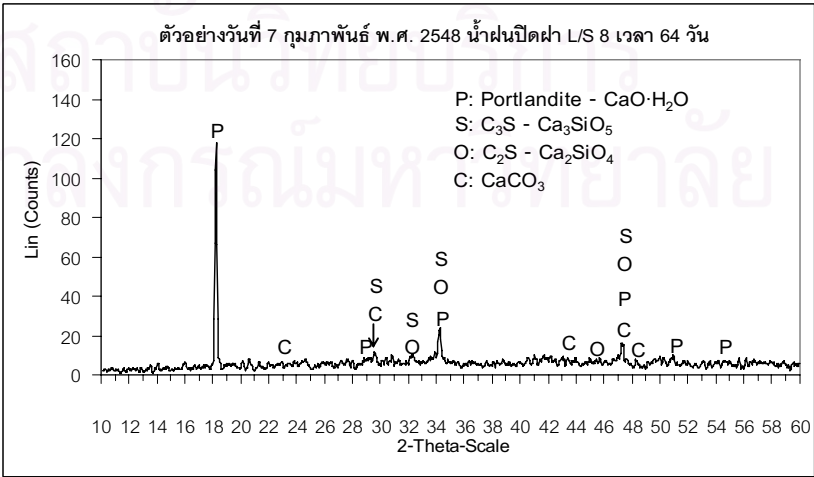
รูปที่ ง.30 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 40 ระยะเวลา 64 วัน



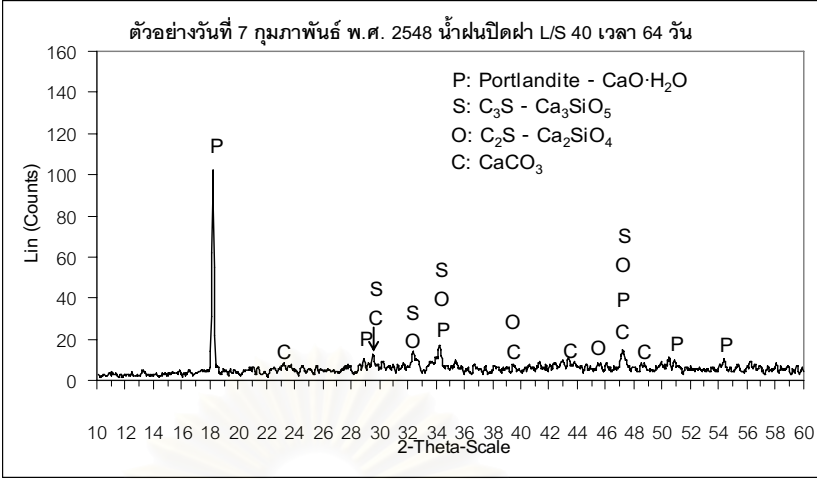
รูปที่ ง.31 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำประปา L/S 8 ระยะเวลา 64 วัน



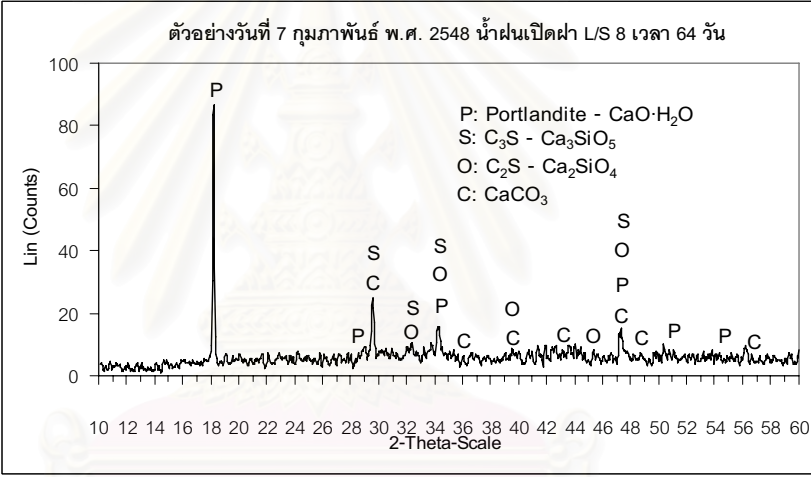
รูปที่ ง.32 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยน้ำประปา L/S 40 ระยะเวลา 64 วัน



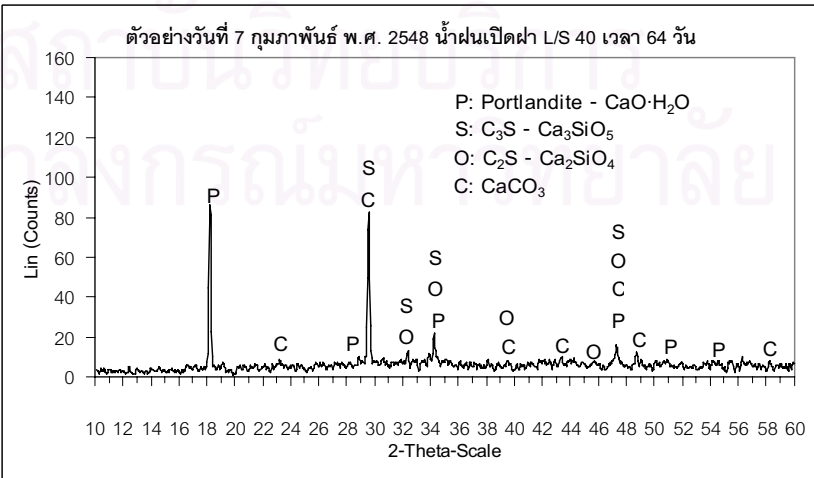
รูปที่ ง.33 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 8 ระยะเวลา 64 วัน



รูปที่ ง.34 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (ปิด) L/S 40 ระยะเวลา 64 วัน



รูปที่ ง.35 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (เปิด) L/S 8 ระยะเวลา 64 วัน



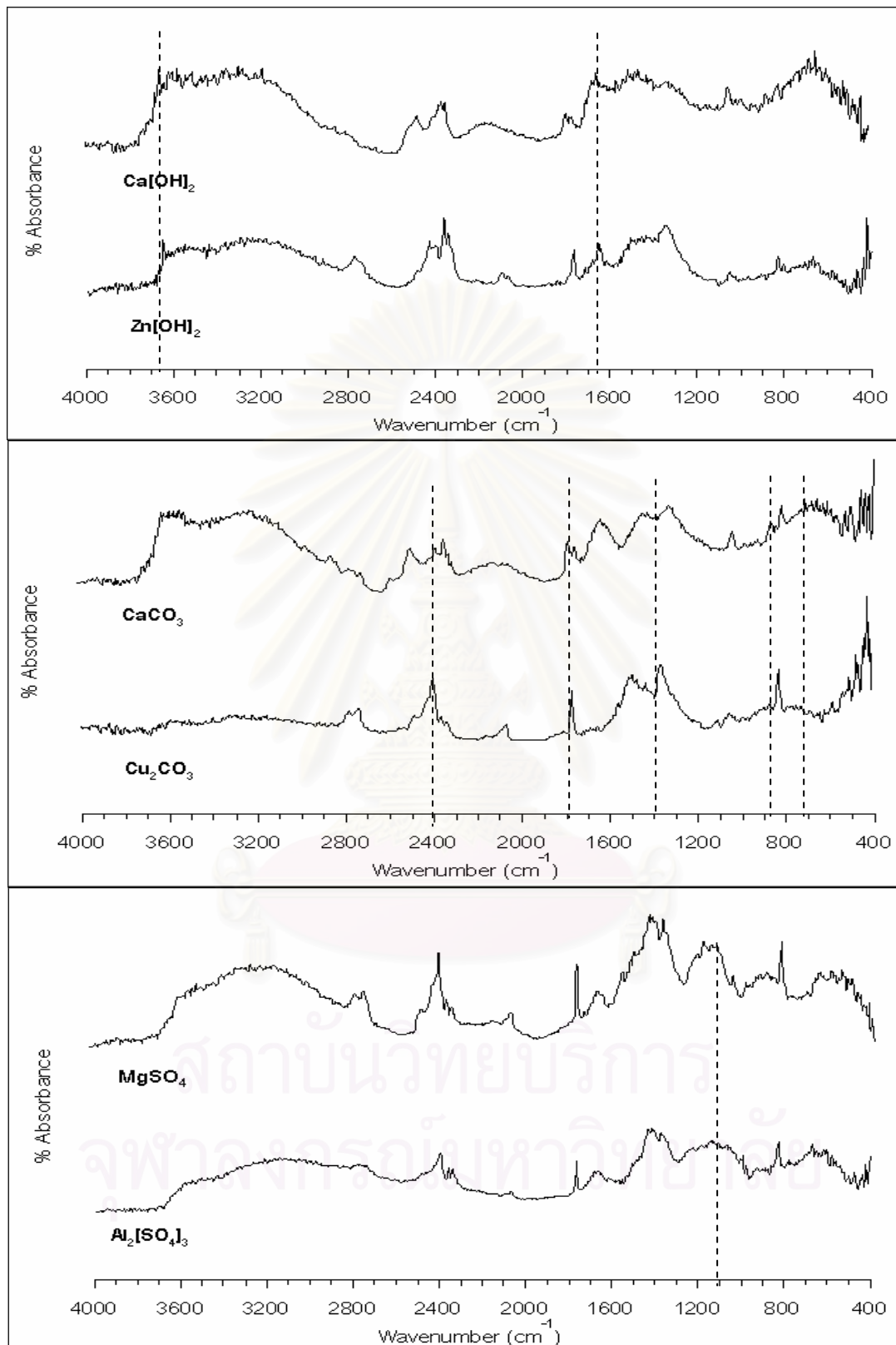
รูปที่ ง.36 ผล XRD ตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ชะละลายด้วยฝนสังเคราะห์ (เปิด) L/S 40 ระยะเวลา 64 วัน



ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์พันธะของสารประกอบโลหะหนัก
ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

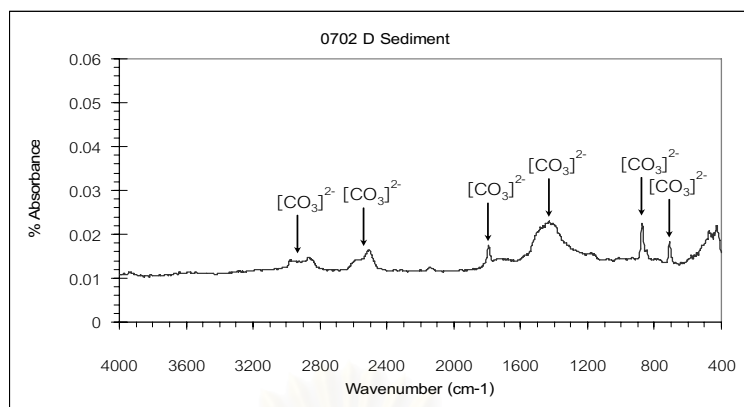
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



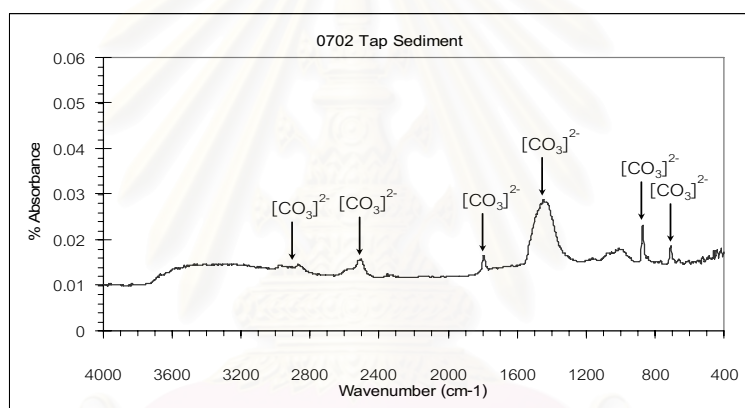
รูปที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์พื้นระของสาร Ca(OH)_2 Zn(OH)_2 และ CaCO_3 Cu_2CO_3 และ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ MgSO_4 ด้วยเครื่อง FT-IR

ตารางที่ จ.1 พันธะของสารประกอบที่เลขคลื่นต่างๆ

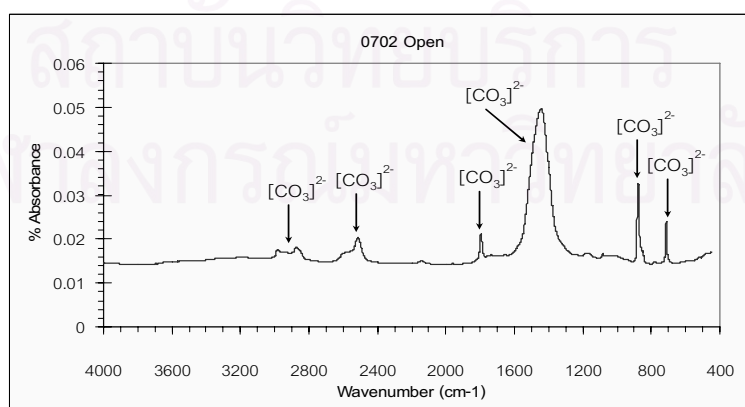
พันธะของ สารประกอบ	สาร	เลขคลื่น (Wavenumber, cm^{-1})				อ้างอิง
$(\text{OH})^-$		3637.4				Nakamoto, 1986
		3100-3700	1650			Spence, 1993
		36,463,696				Hughes และคณะ, 1995
		3645	1622			Mollah และคณะ, 2000
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	3652	1650			ผลการวิเคราะห์
	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	3650	1657			ผลการวิเคราะห์
$(\text{CO}_3)^{2-}$	(Calcite)		1429-1492	879	706	Nakamoto, 1986
		1504	1429-1492	866	711	Spence, 1993
			1458	876,849	714	Hughes และคณะ, 1995
	CaCO_3		2860-2959	2,509	1791	ผลการวิเคราะห์
			1485	871	713	
	Cu_2CO_3	1504	1496	867	719	ผลการวิเคราะห์
$(\text{SO}_4)^{2-}$		1105	983	611	450	Nakamoto, 1986
		1120, 1145				Spence, 1993
		1105, 1117		604		Hughes และคณะ, 1995
		1100-1150				Mollah และคณะ, 2000
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	11,181,145	987	605	451	ผลการวิเคราะห์
	MgSO_4	11,051,126	991	611	457	ผลการวิเคราะห์
$(\text{SiO}_4)^{4-}$	-	970	925			Spence, 1993
		956	813	527	340	Nakamoto, 1986
$(\text{FeO}_4)^{2-}$	-	832	790	340	322	Nakamoto, 1986
C_3S	-	952	525			Spence, 1993
		935	521			Hughes และคณะ, 1995
C_2S	-	991	879	847	509	Hughes และคณะ, 1995
Ettringite (AF_l)	-	3635	3420	1120		Spence, 1993
Monosulphate (AF_m)	-	3675, 3540 ,3100	3500	1100 ,1170		Spence, 1993



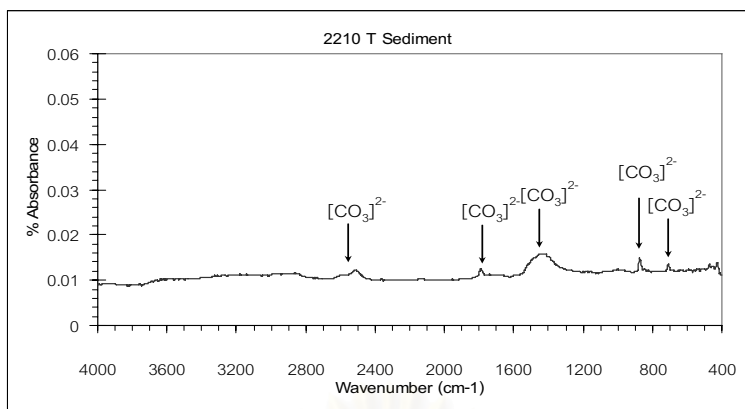
รูปที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR



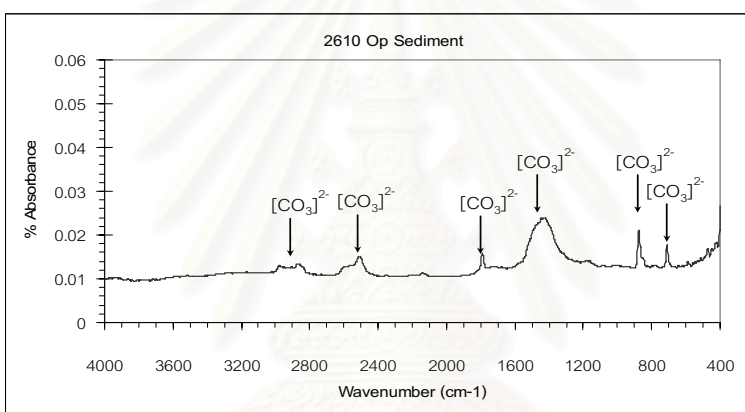
รูปที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้น้ำประปาเป็นสารละลายตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR



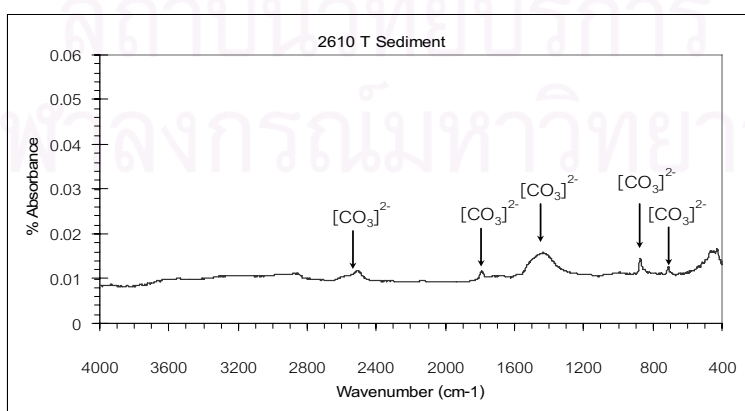
รูปที่ จ.4 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้น้ำฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝาเป็นสารละลายตัวอย่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR



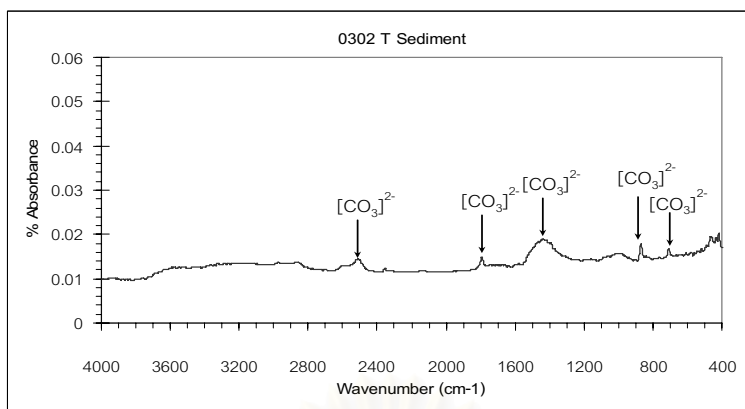
รูปที่ ๑.๕ ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้น้ำประปาเป็นสารละลาย ตัวอย่างวันที่ 22 ตุลาคม 2547 ด้วยเครื่อง FT-IR



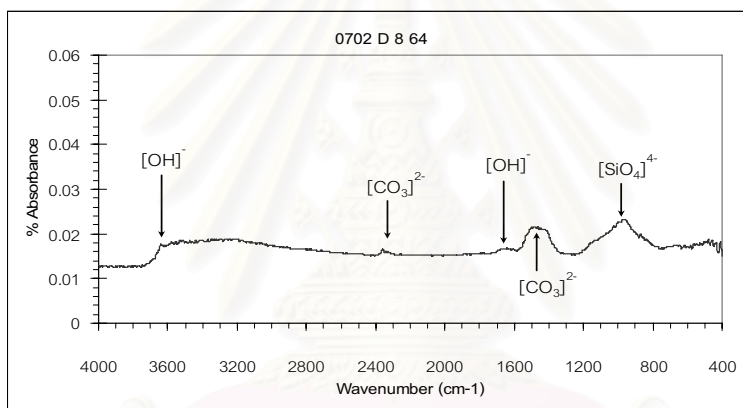
รูปที่ ๑.๖ ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้ฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา เป็นสารละลายตัวอย่างวันที่ 26 เดือน ตุลาคม 2547 ด้วยเครื่อง FT-IR



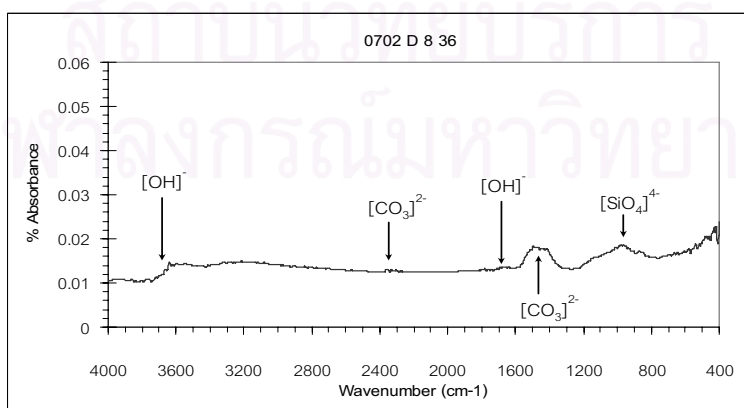
รูปที่ ๑.๗ ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้น้ำประปาเป็นสารละลาย ตัวอย่างวันที่ 26 เดือน ตุลาคม 2547 ด้วยเครื่อง FT-IR



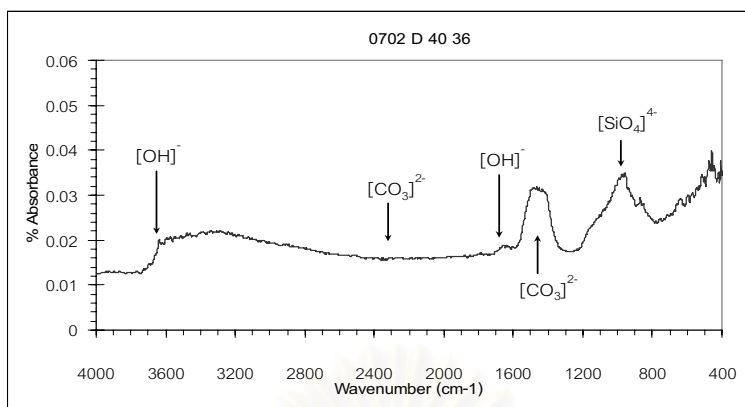
รูปที่ จ.8 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยใช้น้ำประปาเป็นสารละลาย ตัวอย่างวันที่ 3 เดือน กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR



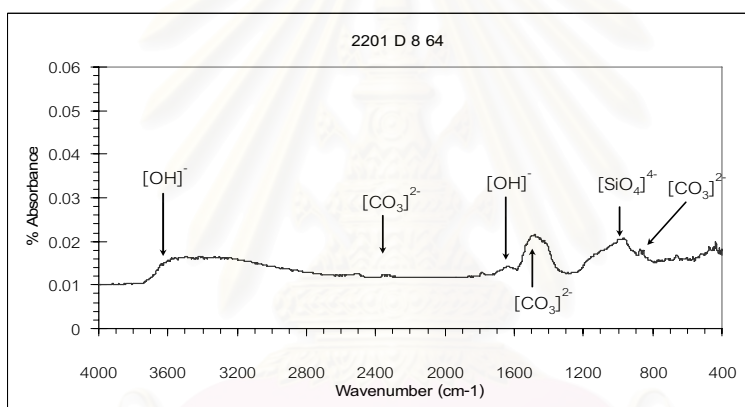
รูปที่ จ.9 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 เวลา 64 วัน



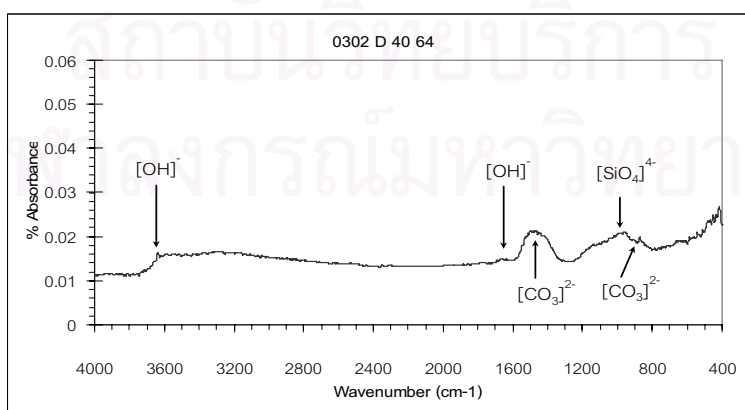
รูปที่ จ.10 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 เวลา 36 วัน



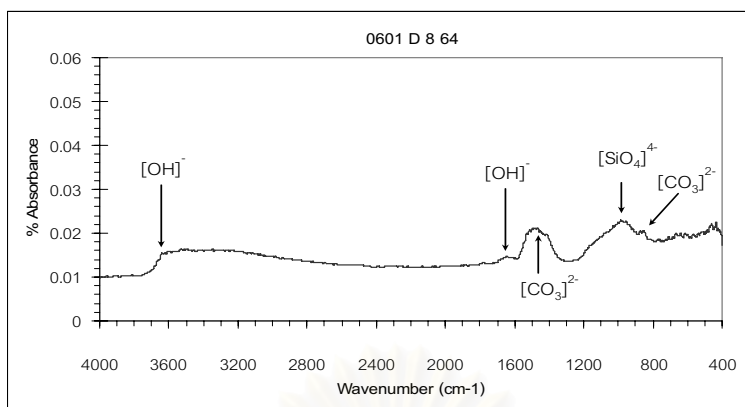
รูปที่ จ.11 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 40 เวลา 36 วัน



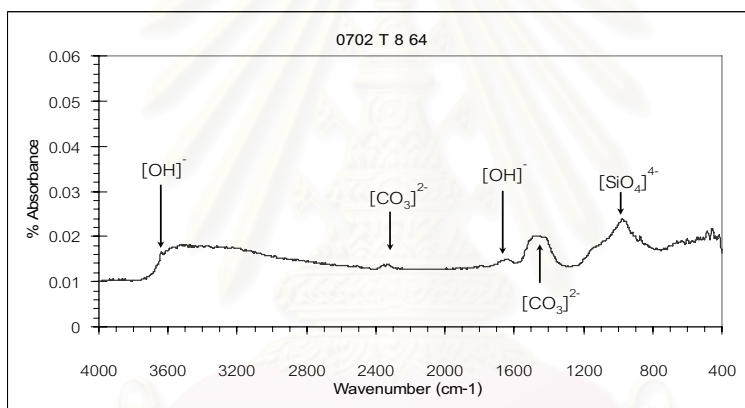
รูปที่ จ.12 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 เวลา 64 วัน



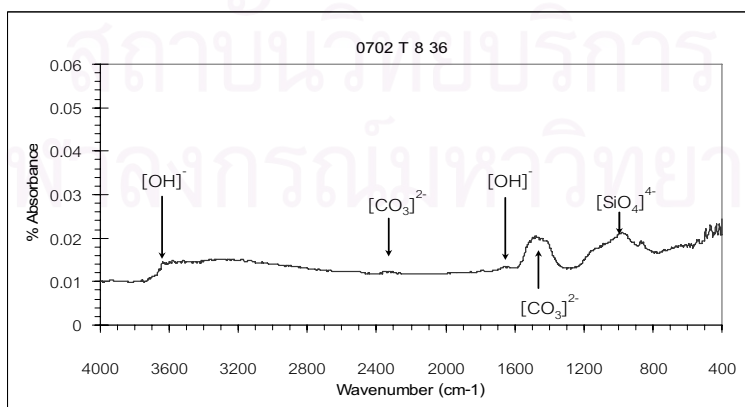
รูปที่ จ.13 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 40 เวลา 64 วัน



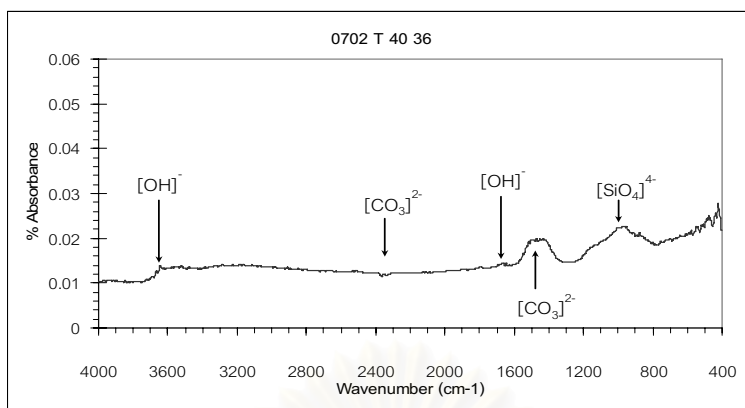
รูปที่ จ.14 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำปราศจากไอออน L/S 8 เวลา 64 วัน



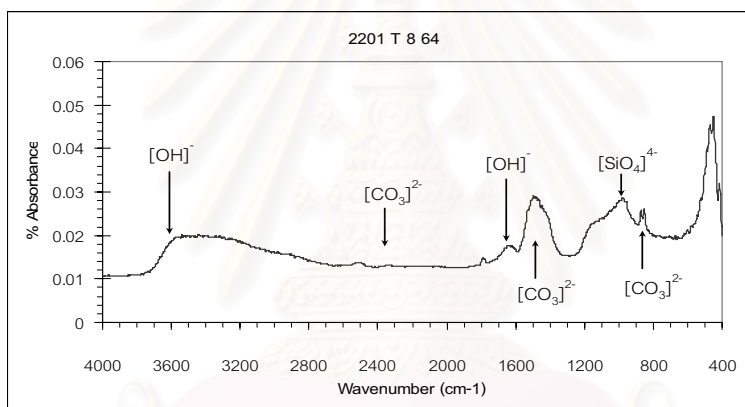
รูปที่ จ.15 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำประปา L/S 8 เวลา 64 วัน



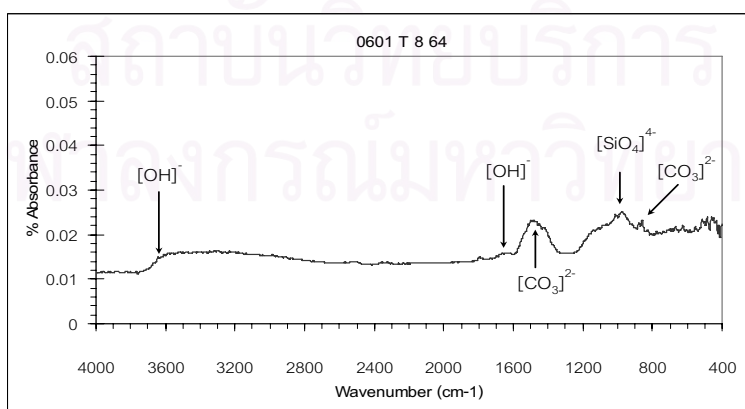
รูปที่ จ.16 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำประปา L/S 8 เวลา 36 วัน



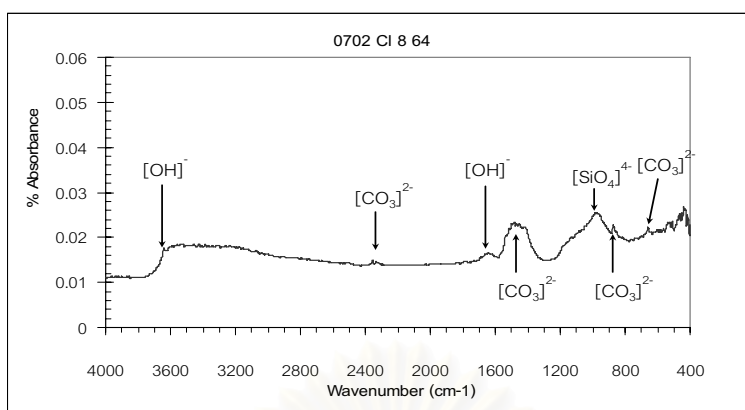
รูปที่ จ.17 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำประปา L/S 40 เวลา 36 วัน



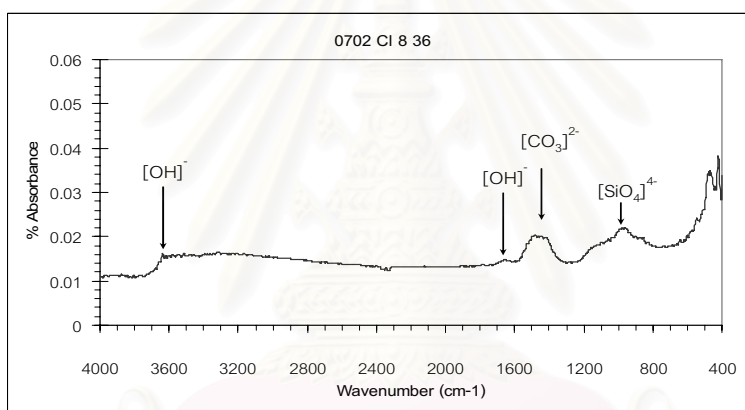
รูปที่ จ.18 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำประปา L/S 8 เวลา 64 วัน



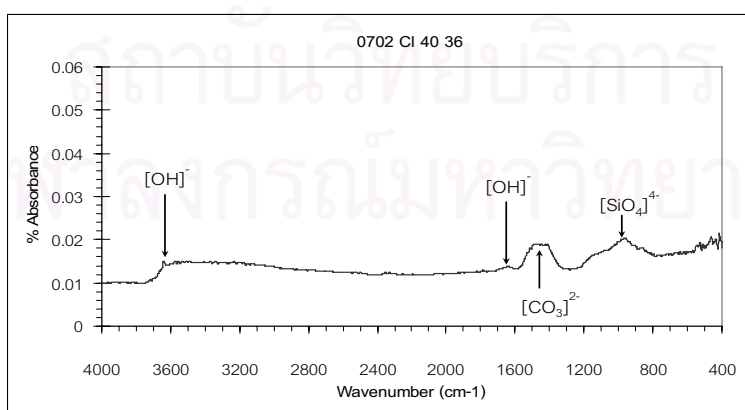
รูปที่ จ.19 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำประปา L/S 8 เวลา 64 วัน



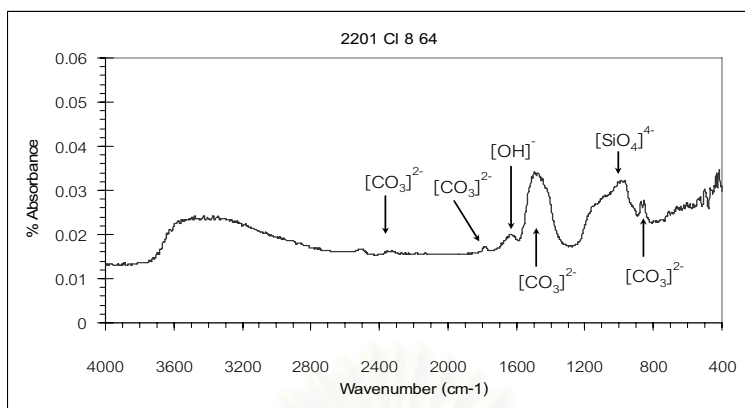
รูปที่ จ.20 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา L/S 8 เวลา 64 วัน



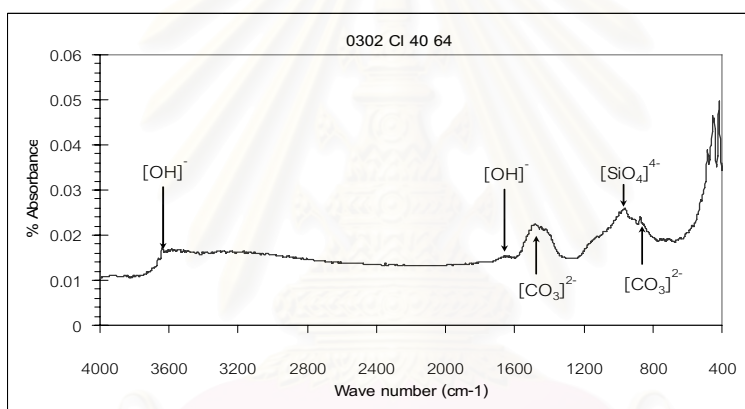
รูปที่ จ.21 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา L/S 8 เวลา 36 วัน



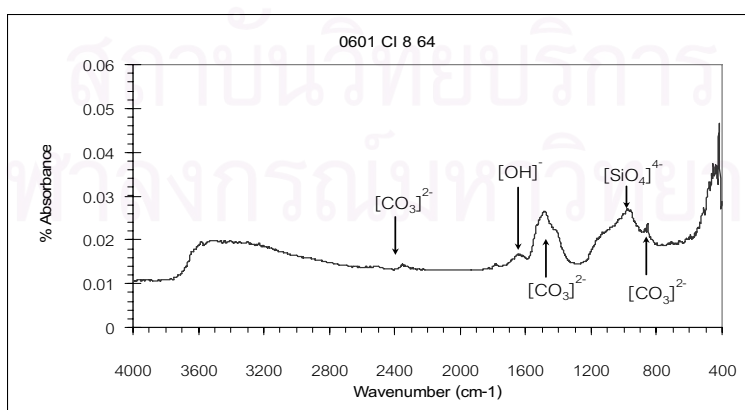
รูปที่ จ.22 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา L/S 40 เวลา 36 วัน



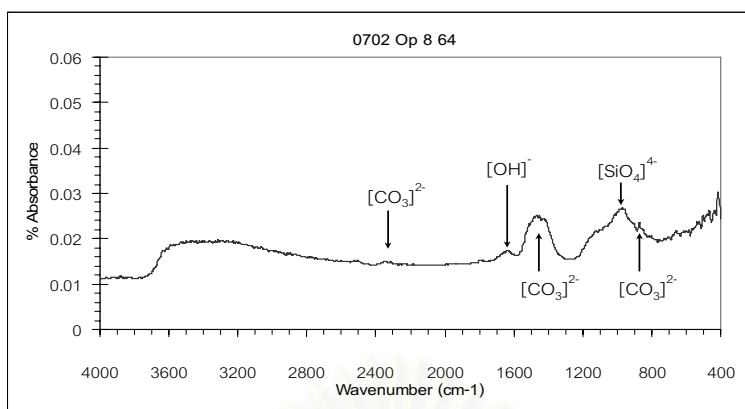
รูปที่ จ.23 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา L/S 8 เวลา 64 วัน



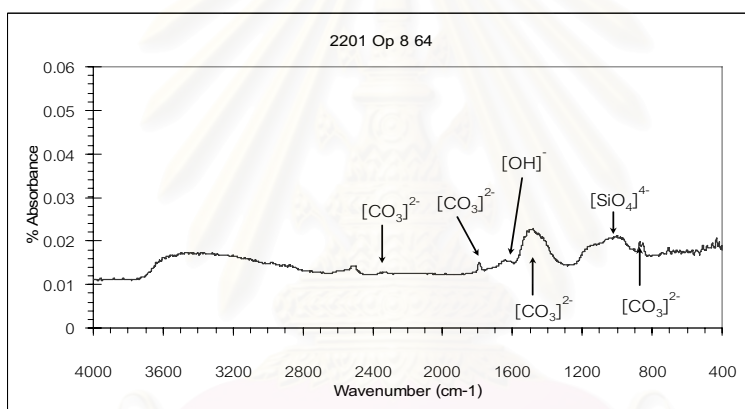
รูปที่ จ.24 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา L/S 40 เวลา 64 วัน



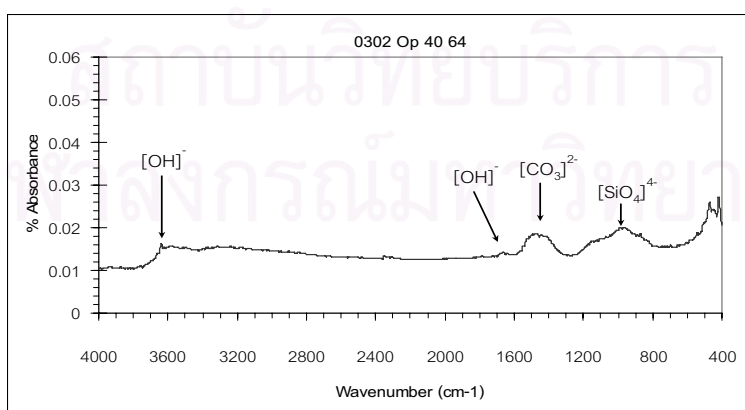
รูปที่ จ.25 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 6 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ชนิดปิดฝา L/S 8 เวลา 64 วัน



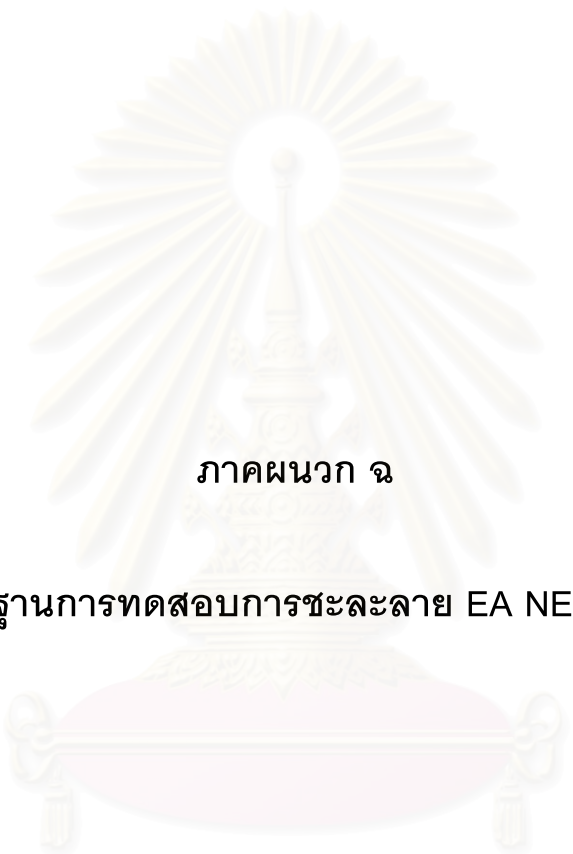
รูปที่ จ.26 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา L/S 8 เวลา 64 วัน



รูปที่ จ.27 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 22 มกราคม 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา L/S 8 เวลา 64 วัน



รูปที่ จ.28 ผลการวิเคราะห์สารประกอบในซีเมนต์วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ด้วยเครื่อง FT-IR ภายหลังการทดสอบด้วยน้ำฝนกรดสังเคราะห์ชนิดเปิดฝา L/S 40 เวลา 64 วัน



ภาคผนวก จ

มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย EA NEN 7375

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EA NEN 7375:2004

**LEACHING CHARACTERISTICS OF MOULDED OR MONOLITHIC
BUILDING AND WASTE MATERIALS**

**DETERMINATION OF LEACHING OF INORGANIC COMPONENTS
WITH THE DIFFUSION TEST**

'THE TANK TEST'

**Based on a translation of the
NETHERLANDS NORMALISATION INSTITUTE STANDARD**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Version 1.0

April 2005

Foreword

This standard is for use with the Environment Agency's guidance on sampling and testing of wastes to determine acceptance at landfill¹. It relates to the determination of the leaching of inorganic components from moulded or monolithic materials using the diffusion test. It is often referred to as the tank test.

The Environment Agency has issued a separate standard for the determination of the maximum potential for leaching of inorganic components from granular waste materials.

The purpose of this diffusion test is to determine the leaching of inorganic components from moulded and monolithic materials under aerobic conditions. Other parameters that can be deduced from the test include the extent of surface rinsing and the effective diffusion coefficient that can be used to estimate the leaching over longer periods.

The diffusion test is not suitable for materials that are soluble during the timescale of the test. Criteria are set out for this.

This standard is based on a translation of the Dutch leaching characterisation standard NEN 7375 (2004)². An earlier diffusion test for building materials and wastes was developed in 1995 as NEN 7345³. The most important differences between NEN 7375 and NEN 7345 are summarised in Annex B. European standards for the characterisation of wastes are being developed under the auspices of CEN Technical Committee 292⁴, and this standard will be superseded in time by one or more of the CEN/TC 292-derived standards.

Acknowledgements

The Environment Agency is very grateful to Anton van Santen for the translation of this standard from Dutch. It would also like to acknowledge the considerable technical advice received from Dr Kathy Lewin and her colleagues at WRc plc and assistance from David Hall and his colleagues at Golder Associates (UK) Ltd.

¹ See also Guidance on Sampling and Testing of Wastes to meet Landfill Waste Acceptance Procedures, 2005.

² Leaching characteristics – Determination of the leaching of inorganic components from moulded or monolithic materials with the diffusion test – Solid earthy and stony materials.

³ NEN 7345: 1995 Leaching characteristics of solid earthy and stony building and waste materials. Determination of the availability of inorganic components for leaching.

⁴ Comité Européen de Normalisation (European Standards Organisation).

Contents

Foreword

1. Scope
2. Related Standards
3. Terms and definitions
4. Principle
5. Samples for analysis
6. Reagents
7. Apparatus
8. Procedure
9. Calculation
10. Report

Annex A - Validation of the diffusion test.

Annex B – Differences between NEN 7375:2004 and NEN 7345: 1995.

Annex C - Commentary on the Prescribed Test Pieces and Determination of the Geometric Area.

Annex D - Assessment of a Diffusion Coefficient and Calculation of Derived Values.

Annex E - Graphical representation of diffusion controlled leaching in special cases.

Annex F - Explanation of the calculation of the upper limit for leaching in special cases.

1. Scope

This document provides a test for the determination of the leaching of inorganic components from moulded or monolithic materials using the diffusion test (the tank test).

A list of materials for which the applicability of the method has been tested, and for which the precision in terms of repeatability and reproducibility has been determined, is given in Annex A.

2. Related standards

Reference is made to the following standards (and, in brackets, UK 'Blue book' (Methods for the Examination of Waters and Associated Materials, HMSO) equivalent test methods) that should be adopted when using this interim guidance.

ISO 10523:1994	Water Quality – Determination of pH (The measurement of Electrical Conductivity and the Laboratory Determination of the pH value of Natural, Treated and Waste waters. Standing Committee of Analysts, HMSO, 1978).
ISO 7888:1985	Water Quality – Determination of electrical conductivity (The measurement of Electrical Conductivity and the Laboratory Determination of the pH value of Natural, Treated and Waste waters. Standing Committee of Analysts, HMSO, 1978).
ISO 5667-3:2003	Water Quality – Sampling – Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples.
BS EN 13370:2003	Characterisation of waste – Analysis of eluates – Determination of Ammonium, AOX, conductivity, Hg, phenol index, TOC, easily liberatable CN ⁻ and F ⁻ .
BS EN 12506:2003	Characterisation of waste – Analysis of eluates – Determination of pH, As, Ba, Cd, Cl ⁻ , Cr VI, Cu, Mo, Ni, NO ₂ ⁻ , Pb, total S, SO ₄ ²⁻ , V and Zn.
EA NEN 7371:2004	Environment Agency standard based on a translation of the Netherlands Normalisation Institute standard - Leaching characteristics of granular building

and waste materials. The determination of the availability of inorganic components for leaching. Available from Environment Agency website.

3. Principles

The purpose of this diffusion test is to simulate the leaching of inorganic components from moulded and monolithic materials under aerobic conditions as a function of time over a period of 64 days.

The test determines the nature and properties of the material matrix under investigation by placing a complete sample in a leaching fluid (demineralised, pH neutral water) and replenishing the eluate at specified times. The concentrations of the leached components in the successive eluate fractions are measured. The pH value at which leaching takes place is determined by the material itself.

On the basis of the diffusion test results, the leached quantity per unit area can be calculated for each component analysed. Parameters can be deduced from the development of the release of components over time, including the extent of surface rinsing and the effective diffusion coefficient that can be used to estimate the leaching over longer periods.

4. Test pieces

The diffusion test requires at least one test piece, the structure, homogeneity and composition of which are representative for the material or product to be tested. The smallest dimension of this test piece (P) must be greater than 40 mm and the volume (V_p) in litres must be known.

If the material to be tested is produced in a product format of which the smallest dimension is less than 40 mm, then this product may only be used as a test piece if one side has a geometric surface area A of at least 75 cm².

NOTES:

1. To increase the representivity of material under test, it is acceptable to aggregate a number of pieces from a batch for the diffusion test. The volume (V_p) and the geometric surface area A is then taken as the total volume and total geometric surface area of the collective pieces.
2. If the diffusion test is being undertaken to determine the effective diffusion coefficient and/or the emission per unit mass, an extra test piece is required for an availability test. The mass (m) in kg and the density (ρ) in kg/m³ of test piece must then be known.

5. Reagents

5.1 Demineralised Water

Demineralised water with a maximum conductivity of 1 μ S/cm.

5.2 Nitric acid

Nitric acid of analytically pure quality at a concentration $\alpha(\text{HNO}_3)$ of 1 ± 0.1 mol/l.

6. Apparatus and Equipment

The materials and equipment mentioned below must be checked before use to ensure their proper operation and absence of interferences that may affect the test results. They must not emit or absorb any of the components to be determined in the eluate.

The apparatus listed under 6.5 and 6.6 must be calibrated.

6.1 Sealable tank or bucket

Sealable tank or bucket of plastic without softening agents of volume between two and five times the volume V_p and of dimensions such that the test piece is surrounded by at least 2 cm of water on all sides.

NOTES:

1. The tank must contain a supporting construction of plastic such that the test piece is surrounded by liquid on all sides. The test piece can also be suspended on a plastic wire from the lid of the tank or bucket.
2. If the surface of the test piece is partly covered with an impervious layer, use a quantity of water (in l) between 50 and 200 times the area (in m²) of the uncovered part of the surface of the test piece.

6.2 Filtration equipment

Filtration equipment suitable for filtration at high or low pressure which is consecutively rinsed with nitric acid (5.2) and demineralised water (5.1).

6.3 Membrane filters

Membrane filters for the filtration equipment (6.2) which have not been previously used, with a pore size of 0.45 µm.

6.4 Storage bottles

Sealable plastic storage bottles.

6.5 pH meter

pH meter calibrated in accordance with ISO 10523, with a measurement accuracy better than ± 0.05 pH units.

6.6 Conductivity meter

Conductivity meter calibrated in accordance with ISO 7888, with a readout accuracy better than ± 1%.

6.7 Measuring beaker or balance

A measuring flask with a measurement capacity of at least six times the volume V_p of the test piece and a measurement accuracy better than ± 1%, or a balance with a capacity of at least three times the weight of the test piece and a measurement accuracy better than ± 0.1%.

7. Method

The diffusion test is undertaken by successively:

- establishing the requirements for the eluate samples to be analysed in accordance with 7.1;
- determining the geometric area of the test piece intended for the diffusion test in accordance with 7.2;
- performing the diffusion test according to 7.3;
- analysing the eluate according to 7.4.

7.1 Eluate samples

Determine the quantity of eluate needed to analyse the leached components and the way in which the eluate samples must be stored through the following steps:

- a) identify for what components, and by what methods, analyses are to be carried out;
- b) check for each component to be analysed whether the eluate will require preservation, and the requirements for this preservation;
- c) determine in the light of the above the minimum quantity of eluate necessary for each component to be analysed.

In undertaking the above, bear in mind that in order to determine whether the matrix is dissolving it may be necessary to analyse all eluate fractions for Ca, Cl and SO₄. Certainty over this is only achieved after completion of the entire test (see 7.4).

NOTE:

To prevent changes in the eluate through physical, chemical or biological reactions, the eluate samples must be preserved and stored as well as possible. Guidelines for surface water and wastewater samples have been developed in ISO 5667-3. It is recommended that these guidelines be followed for the conservation and storage of eluates.

7.2 Determination of geometric area A of the test piece

The area of the test piece is determined by measurement of the characteristic parameters of the geometric surface area.

A distinction is made between:

- a) test pieces with a regular, clearly determinable geometric area;
- b) test pieces with a completely or partly irregular geometric surface or test pieces that are thinner than 40 mm;
- c) test pieces where no regular side can be determined.

The geometric area of test pieces in a) must be determined according to 7.2.1 if these test pieces have a minimum dimension of more than 40 mm in all directions measured perpendicular at any point on the surface.

The geometric area of test pieces in b) must be determined according to 7.2.2.

The geometric surface area of test pieces c) must be determined in accordance with 7.2.3.

NOTE:

For accurate determination of the diffusion coefficient, it is necessary to determine the geometric area of a test piece precisely and clearly. For this, test pieces or parts of test pieces must be studied for which the geometric area is easy to determine. In most situations, suitable test pieces can be found. Section 7.2.1 describes the conditions and procedure for the determination of area. The procedure for selection and determination of usable areas of test pieces is more complex for test pieces with a (partly) irregular surface. The procedures for this are given in 7.2.2 and 7.2.3 respectively. For further information, see Annex C.

7.2.1 Regular test pieces for which the entire geometric area is determined

Determination of the geometric area of a regular test piece for which the geometric area of the entire test piece can be measured clearly.

1. Divide the surface of the test piece into a number of flat or curved parts (units) such that the area of each unit can be calculated geometrically from characteristic values measured such as length, width, height and radius.
2. The units specified under 1 must be selected such that the distance between the defined geometric areas and the material is never greater than 3 mm.
3. Determine the length of the characteristic values with an accuracy of better than 1 mm.
4. Using the characteristic units measured, calculate the geometric area of each of the units selected. The geometric area A expressed in m² is the sum of the areas calculated for each of the units.

7.2.2 Determination of the geometric area of test pieces with a partly covered surface

Determination of the geometric area of a test piece for which:

- a) the entire geometric area cannot be measured clearly;

- b) one or more sides have been produced by sawing or drilling the test piece from a larger element, and where these sides should not be subjected to leaching;
- c) one dimension is less than 40 mm.

1. Cover the parts of the surface:

- a) for which the geometric area cannot be clearly determined, using a waterproof layer;
- b) that have been produced as sawn or drilled surfaces, using a waterproof layer;
- c) of a thin test piece (with a thickness of 40 mm or less), using a waterproof layer such that the uncovered units of the geometric area never have a mutual distance of 40 mm or less measured perpendicular at any point on the geometrically described surface.

For covering, use a waterproof and good bonding material (for example acrylic resin or paraffin) applied to the surface of the test piece. Determine the remaining geometric area after hardening of the resin.

- 2. Divide the uncovered part of the surface of the test piece into a number of flat or curved parts (units) such that the area of each unit can be calculated geometrically from characteristic values measured such as length, width, height and radius.
- 3. The units specified under 2 must be selected such that the defined geometric areas coincide with the relevant area of the test piece, where the actual distance between the material and the defined area of the unit in the case of irregularities in the surface is never greater than 3 mm.
- 4. Determine the length of the characteristic values with an inaccuracy of less than 1 mm.
- 5. Using these, calculate the geometric area of each of the units selected. The geometric area A expressed in m^2 is the sum of the areas calculated for each of the units.

7.2.3 Heavily irregular test pieces with no discernible regular side

Determination of the geometric surface area of heavily irregular test pieces using the paper method.

- 1. Cover each surface of the test piece as tightly as possible with a piece of paper. Use for this a type of paper that has no obvious absorbent properties.
- 2. Fold the paper around the edges of each surface of the test piece and tear or cut the paper as accurately as possible along the folds. Also remove any pieces of paper that may protrude beyond the surface.
- 3. Determine the total weight of pieces of paper derived from step 2.
- 4. Determine the weight of sheet of paper of known area and similar properties to the paper used in step 1.
- 5. Determine the surface area of the test piece from the ratio of weights of paper derived in steps 3 and 4.
- 6. Repeat steps 1 to 5 if the diffusion test is to be based on four or more pieces aggregated together from a batch. Determine the average of the measurements obtained. This is the geometric surface area determined according to the paper method.

NOTES:

- 1. In the determination using the paper method, printer paper and paper for photocopiers (A4 sheets) can be used. It is important that the paper does not have any strongly water absorbent properties.
- 2. If the test piece is damp it may be necessary to dry the paper before weighing in step 3.

7.3 Performing the diffusion test

This diffusion test is carried out in eight stages at a temperature that may vary between 18 and 22°C.

Rinse the tank or bucket (6.1) before performance of the test with nitric acid (5.2) and then rinse with water (5.1). Then place the test piece in the tank or bucket. If more test pieces are placed in the tank (Section 4), the space between the test pieces must be a minimum of 2 cm.

7.3.1 Stage 1

Fill the tank with a quantity V determined to 1% accuracy (6.7) of water (5.1) such that:

- a) if no part of the surface is covered:

$$2 \times V_p \leq V \leq 5 \times V_p \quad (1)$$

or

- b) if parts of the surface are covered:

$$50 \times A \times f \leq V \leq 200 \times A \times f \quad (2)$$

where:

- V is the volume of leaching fluid in litres;
 V_p is the volume of test piece P in litres;
 A is the uncovered geometric area of the test piece P in m²;
 f is a conversion factor: 1 l/m².

The test piece must be placed such that it is in contact with the water on all sides and the uncovered part of the test piece is submerged by at least 2 cm.

Seal the tank or bucket.

After 6 ± 0.5 h, drain off all the eluate. This is the fraction from period 1. Do not dry or rinse the test piece.

Filter over a membrane filter according to the instructions in 7.1 the quantity of eluate required for analysis (6.2 and 6.3).

For the resulting eluate, measure the pH (± 0.05) (6.5) and conductivity K_{25} (± 1 %) (6.6).

NOTES:

1. The pH value and the conductivity are required to determine if the matrix has dissolving during the test (see 8.4 and 9.3.3.)
2. The pH value gives an indication of the alkalinity of the test piece, and the change in pH during the diffusion test gives an indication of the stability of the material being investigated. Large variations in the eluate pH points towards the material not yet being in equilibrium, i.e. is not yet stabilised.

Transfer the quantity of eluate intended for analysis to the bottles of suitable size (6.4), filling each bottle with at least 10 ml.

Store the eluate samples using the procedures described in 7.1. If more than 1 ml preservative is required per 250 ml eluate, the concentrations determined in 7.4 must be corrected for this.

7.3.2 Stages 2 to 8

Immediately after drainage in stage 1 (7.3.1), fill the tank or bucket again with water (5.1). Use the same quantity V (6.7), determined to ± 1 % accuracy, as used in stage 1.

Repeat the procedure described in stage 1 a further seven times as shown in Table 1 (the times apply from the immersion).

Table 1: Times at which the water must be replenished

Period (<i>n</i>)	Time (days)
1	0.25 ± 10%
2	1 ± 10%
3	2.25 ± 10%
4	4 ± 10%
5	9 ± 10%
6	16 ± 1
7	36 ± 1
8	64 ± 1

Determine the replenishment times (the time at which the tank has just been emptied) of each period *n*, to 15 minutes accuracy.

On completion of the test, weigh the solid material that may have fallen off the test piece(s) during the test and remains in the tank. This solid material must first be dried.

If during the replenishment it is found that a relatively large amount of material has fallen off the test piece(s), it is recommended not to wait until the end of the test but to remove the solid material during one or more of the replenishments, and to dry and weigh this.

Calculate the weight loss m_v (g/m²) of material that has fallen off the test piece during the test (g/A (m²)) where *A* is the (uncovered) area of the test piece) in two phases:

- 1) the weight loss m_{va} (g/m²) in Stages 1 to 2 of the test;
- 2) the weight loss m_{vb} (g/m²) in Stages 2 to 8 of the test.

NOTE:

These two parameters give insight into the characteristics of the material. A relatively large weight loss m_{va} compared with m_{vb} indicates that the loss is a consequence of the manner in which the test piece has been made or prepared (for example, loss from an inadequately cured test piece at the start of the test, or loss as the result of manner of sawing of the test piece). A relatively large weight loss m_{vb} compared with m_{va} indicates the long term integrity of the material (for example, the ongoing loss of material indicates moderate bonding in a composite material or loss of effectiveness of the binding agent under the influence of water).

7.4 Analysis of the eluates

Analyse the eluate fractions obtained in 7.3 from periods 1 to 8.

If the measured eluates pH values and conductivities indicate dissolution of the matrix during the test, then the following calculations must be undertaken, and assessment made whether criteria 1 and 2 are satisfied. If neither criteria are satisfied, then the components Ca, SO₄ and Cl must be determined to verify whether dissolution has occurred.

1. Calculate the average value of the measured conductivities in periods 5 and 6 (S_{5-6}) in µS/cm.
2. Calculate the average value of the measured conductivities in periods 7 and 8 (S_{7-8}) in µS/cm.
3. Calculate the average pH value in periods 7 and 8 (pH_{7-8}).

Criterion 1

Check if:

$$S_{7-8} > 1.5 \times V_p/V + 10^{(pH_{7-8} - 11.78)} + 10^{(2.5 - pH_{7-8})}$$

where:

V is the volume of leaching fluid, in l;

V_p is the volume of the test piece, in l.

If criterion 1 is not satisfied then the matrix is not soluble, and there is no need to analyse the components Ca, Cl and SO₄.

If criterion 1 is satisfied, continue to criterion 2.

Criterion 2

Check if:

$$S_{7-8} > 2 \times S_{5-6}$$

If criterion 2 is not satisfied then the material is not soluble, and there is no need to analyse the components Ca, Cl and SO₄.

If criterion 2 is satisfied, then analyse Ca, Cl and SO₄ in all eluates to verify whether dissolution has occurred (see 8.3.3).

NOTES:

1. A number of standards for chemical analyses of eluate components are available. The European Standards prEN 13370:2002 and ENV 12506 are intended to define the analytical methods to be used for eluates obtained from waste characterisation tests. UK 'Blue Book' methods (Methods for the Examination of Waters and Associated Materials, HMSO) would be expected to give similar analysis results.
2. Always analyse the eluate samples within the timescales given in the guidance in ISO 5667-3.

8. Calculation

The measured leaching per eluate fraction, the cumulative leached quantities, the leaching mechanism occurring, the cumulative leaching per unit area, the surface wash-off and the upper limit of the leaching of components, for which no diffusion controlled leaching can be determined, are determined for each component under investigation by successively:

- determining the leaching per eluate fraction as per 8.1;
- determining the measured and derived cumulative leaching respectively as per 8.2;
- establishing the leaching mechanism occurring as per 8.3;
- determining the cumulative leaching per unit area as per 8.4;
- determining the surface wash-off in combination with the diffusion controlled leaching as per 8.5;
- determining the upper limit of leaching for the components for which no diffusion controlled leaching can be established, as per 8.6.

The above mentioned quantities only have relevance and may only be used if the matrix of the material does not dissolve. In 8.3.3 a check is made whether this requirements is met.

8.1 Measured leaching of a component per fraction

For each component to be studied, calculate separately the measured leaching per fraction using the formula:

$$E_i^* = \frac{c_i \times V}{f \times A} \quad (3)$$

where:

E_i^* is the measured leaching of a component in fraction i , in mg/m²;

- c_i is the concentration of the component in fraction i in $\mu\text{g/l}$;
 V is the volume of the eluate in l;
 A is the surface area of the test piece in m^2 ;
 f is a conversion factor: 1000 $\mu\text{g/mg}$.

The concentration c_i specified in formula (3) is the concentration originally present in the eluate; the measured value determined according to Section 7.4 must be corrected for the quantity of preservative added in Section 7.3 if this is more than 1 ml per 250 ml eluate.

If the concentration of a component in a specified eluate fraction is below the lowest limit of analytical determination, two calculations must be carried out for the component. The upper limit of E_i^* is calculated by equating c_i in formula (3) with the lowest limit of determination; the lower limit of E_i^* is calculated by setting c_i in formula (3) to 0.

8.2 Measured and derived cumulative leaching of a component

8.2.1 Measured cumulative leaching

For each component to be analysed, calculate separately the measured cumulative leaching ε_n^* in each of the periods $n = 1$ to N , where the period $n=1$ lasts from the start of the test to the first replenishment time (comprises fraction $i=1$), period $n=2$ from the start of the test to the second replenishment time (comprises fractions 1 + 2), etc. Carry out this calculation as:

$$\varepsilon_n^* = \sum_{i=1}^n E_i^* \quad \text{for } n=1 \text{ to } N \quad (4)$$

where:

- ε_n^* is the measured cumulative leaching of a component for period n comprising fraction $i=1$ to n , in mg/m^2 ;
 E_i^* is the measured leaching of the component in fraction i in mg/m^2 ;
 N is the number of periods equal to the number of specified replenishment times ($N = 8$).

The calculation method is explained as in Figure 1 below.

8.2.2 Derived cumulative leaching of a component

For each component to be analysed, calculate separately the derived cumulative leaching ε_n in each of the periods $n=1$ to N , where a period n lasts from the start of the test to the n^{th} replenishment time (comprises fractions $i=1$ to n).

Carry out this calculation as follows:

$$\varepsilon_n = (E_i^* \times \sqrt{t_i}) / (\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}}) \quad \text{for } n=1 \text{ to } N \text{ (where } i=n) \quad (5)$$

where:

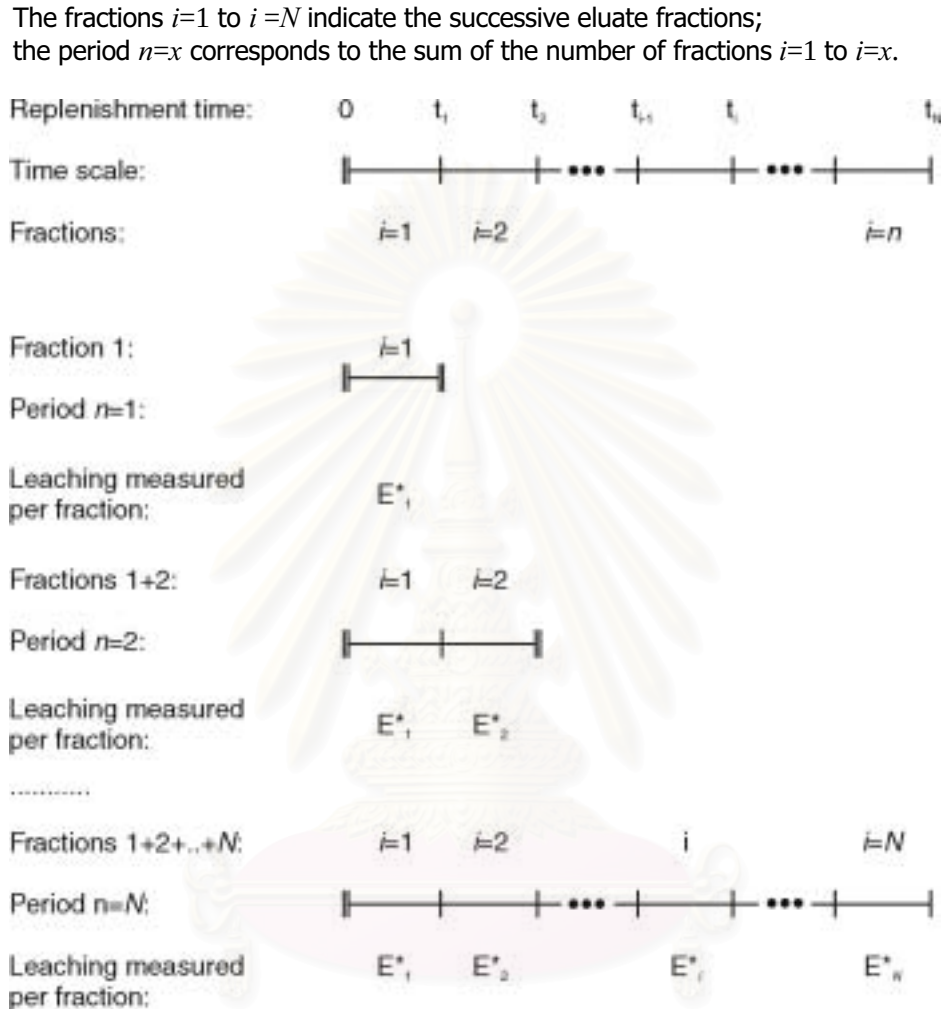
- ε_n is the derived cumulative leaching of a component for period n comprising fraction $i=1$ to n , in mg/m^2 ;
 E_i^* is the measured leaching of the component in fraction i , in mg/m^2 ;
 t_i is the replenishment time of fraction i , i.e. time at end of fraction i , in s;
 t_{i-1} is the replenishment time of fraction $i-1$, i.e. time at start of fraction i , in s.

NOTES:

1. The measured cumulative leaching ε_n^* always includes the measured leaching of previous periods. This means that any deviations in a period (for example wash-off effects) affect the following periods that can make interpretation difficult.

- 2 The derived cumulative leaching ε_n determines only the cumulative leaching up to and including period i on the basis of the measured leaching in period i . These values can be used to assess whether the leaching is determined by diffusion (see Section 8.3).

Figure 1: Diagrammatic overview of terms used in this standard in determining the leaching behaviour of a test piece.



8.3 Determination of the leaching mechanism(s) occurring in the diffusion test

Based on the leaching of components as set out in 7.4, establish whether the matrix of the test piece is dissolving during the conduct of the test. If this is not the case, then for all individual components determine whether leaching is diffusion controlled or whether other leaching mechanisms also contribute.

Carry out the procedure in this section for each of the components to be studied.

NOTE:

To support and monitor the further assessment and calculation of the leaching behaviour, it is recommended that the cumulative leaching determined in Sections 8.1 and 8.2 be shown graphically (see Annex E). For this, plot for each individual component the logarithm of the derived cumulative leaching ε_n against the logarithm of the time t_i for $n=1$ to N in order to allow a visual inspection of the measurement data. On the same graph also plot the logarithm of the measured cumulative leaching ε_n^* .

8.3.1 Definition of incremental periods

Group the eluate fractions collected in the periods 1 to 8 as follows:

<u>Order</u>	<u>Eluate fraction</u>	<u>Increment a-b</u>
1	Fractions 2 to 7	Increment 2-7 incl
2	Fractions 5 to 8	Increment 5-8 incl
3	Fractions 4 to 7	Increment 4-7 incl
4	Fractions 3 to 6	Increment 3-6 incl
5	Fractions 2 to 5	Increment 2-5 incl
6	Fractions 1 to 5	Increment 1-4 incl

Analyse the leachate values according to the procedure in 8.3.2, beginning with increment 2-7, followed by increment 5-8 and so on. Use this order for each component.

NOTES:

- 1 The method to establish whether the leaching mechanism is diffusion controlled is built up as follows:
 - a) Firstly, the eluate fractions obtained and analysed in periods 1 to 8 are divided into increments that are long enough to establish the leaching mechanism.
 - a) For all components to be determined, and for each of the divided increments in a), the concentration factor (CF), the slope (rc) of the linear regression line of $\log \varepsilon$ versus $\log t$ and the standard deviation of the slope (sd_{rc}) are determined and recorded in a table (see 8.3.2).
 - c) Subsequently, on the basis of these values, check that the matrix does not dissolve (see 8.3.3). If the test piece (the matrix) does dissolve, then the leaching from this test piece can not be determined with the diffusion test.
 - d) If the matrix does not dissolve, then for all components, per increment, a check is made whether the quantity of diffusion controlled leaching can be determined. The first increment in the order given in a) for which the quantity of diffusion controlled leaching can be determined is the "leaching mechanism determining increment".
 - e) Subsequently, it is determined whether, in addition to diffusion, other leaching mechanisms are involved.
 - f) If for certain components no diffusion controlled leaching can be established (and there is no suggestion of the matrix dissolving), then an estimate can be made of the upper limit of leaching.
- 2 Increment 2-7 is considered as a "total increment" for the entire diffusion test. The first fraction is not included in order to eliminate interpretative errors in the analysis due to wash-off effects. The last fraction is also not included in the total increment to eliminate as far as possible depletion of a certain component during the test.

8.3.2 Incremental analysis per component

For each component to be studied, undertake an incremental analysis as follows:

Step 1:

For each increment a-b determine the concentration factor CF_{a-b} :

$$CF_{a-b} = \frac{\text{mean concentration in the increment}}{\text{lowest limit of determination}} \quad (6)$$

If in all the fractions in the increment a-b, the measured concentrations for the component under investigation are all higher than the lowest limit of determination for that component, and $CF_{a-b} = 1.5$, then continue to Stage 2. If this is not the case, then for this component no leaching mechanism can be determined in this particular increment.

NOTE:

If for an increment the factor CF_{a-b} for the component under investigation is less than 1.5, the values measured in that increment are too low to allow determination of the leaching mechanism. Also, if in one of the fractions of the increment the concentration is lower than the lowest limit of determination, then it cannot be proved whether the leaching is diffusion controlled.

Step 2:

Using linear regression of the $\log \varepsilon_n - \log t_i$ relation (with $i = n$), determine for each increment the slope rc and the associated standard deviation, sd_{rc} calculated from the regression analysis.

The concentration factors, slopes and standard deviations can be given clearly as shown in Table 2 to support and simplify the assessment and further processing of the test results.

Table 2: Overview of concentration factors, slopes and standard deviations as determined in the following increments.

Increment a-b	CF_{a-b}	rc	Sd_{rc}
Increment 2-7			
Increment 5-8			
Increment 4-7			
Increment 3-6			
Increment 2-5			
Increment 1-4			

8.3.3 Determining whether the matrix dissolves

The determination of the leaching mechanism and the quantification of the leaching per component only have meaning if the matrix of the material does not dissolve. In 7.4, two criteria are used to examine whether, in principle, this could be the case.

If in 7.4 both criteria are not satisfied, then the material does not dissolve. In this case, proceed to 8.3.4.

If in 7.4 both criteria are satisfied, proceed then on the basis of the values for Ca, Cl and SO_4 determined in 8.3.2 to evaluate whether criterion 3 is satisfied.

Criterion 3:

For at least 2 of the 3 above mentioned components, check whether $CF_{5-8} > 3.0$ and $rc_{5-8} > 0.8$.

If criterion 3 is not satisfied, then the matrix does not dissolve. In this case, proceed to 8.3.4.

If criterion 3 is satisfied, then the matrix does dissolve. In this case the leaching from this test piece cannot be determined through the diffusion test.

NOTE:

This criterion will be satisfied principally by gypsum product and materials with a high salt concentration.

8.3.4 Determining whether the leaching of the different components is diffusion controlled or whether other leaching mechanisms are involved

On the basis of the concentration factors and slopes calculated in 8.3.2, it can be determined which leaching mechanism(s) are involved in the release of different components from the test piece. A precondition for this is that the standard deviation of the slope must meet certain requirements. With fully diffusion controlled leaching, the slope is exactly 0.5.

The significance of the slope of the different increments is summarised in Table 3.

Table 3: Significance of slopes of the different increments.

Increment a-b	Slope, rc		
	≤ 0.35	> 0.35 and ≤ 0.65	> 0.65
Increment 2-7	Surface wash-off	Diffusion	Dissolution
Increment 5-8	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 4-7	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 3-6	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 2-5	Depletion	Diffusion	Dissolution
Increment 1-4	Surface wash-off	Diffusion	Delayed diffusion or dissolution

Step 1:

Determine per component for all increments, in the order given in Table 3 beginning with increment 2-7, if the leaching mechanism is diffusion controlled on the basis of the following criteria. The first increment for a component for which the quantity of diffusion controlled leaching can be established is deemed the "leaching mechanism determining increment" for that component.

Criteria for diffusion controlled leaching in increment *a-b*

$$CF_{a-b} \geq 1.5$$

$$sd_{rc} \leq 0.5$$

$$0.35 < rc \leq 0.65$$

If the above criteria are satisfied, then the diffusion controlled leaching of the component concerned can be calculated using the formulas in 8.4.

If, as well as diffusion controlled leaching, there is also an indication of surface wash-off in increment 1-4, then this surface wash-off can be quantified using the formulas in 8.5.

Step 2:

If for certain components diffusion controlled leaching cannot be established in any of the increments (and the material does not dissolve according to the criteria in 8.3.3), then for that component an upper limit for leaching is determined. For this, proceed to 8.6, in which formulas are given for various situations dependent on the controlling leaching mechanism.

NOTE:

In Annex E graphical representations are given of each extreme case of leaching. Depletion events are indicated in Figure E2, surface wash-off in Figure E4 and chemical changes in the material in Figures E3, E5 and E6.

8.4 Calculation of the diffusion controlled leaching of a component per unit surface area

The calculation of leaching of a component per unit surface area must be undertaken in all cases, where the diffusion controlled leaching has been established by the increment analysis in 8.3.4.

The derived leaching of a component per unit surface area over an arbitrary time interval can be determined by the formula:

$$\varepsilon_{x,y} = \left\{ \sqrt{t_y} - \sqrt{t_x} \right\} \left\{ \prod_{i=a}^b \frac{E_i^*}{\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}}} \right\}^{\frac{1}{1+b-a}} \quad (7)$$

where:

$\varepsilon_{x,y}$ is the derived leaching of a component in the time period t_x and t_y , in m^2/s ;

- E_i^* is the measured leaching of the component in fraction i in mg/m^2 ;
 t_x is the start time of the interval measured from the start of the test, in days;
 t_y is the end time of the interval measured from the start of the test, in days;
 t_i is the end time of fraction i , which is part of the increment a - b , for which diffusion has been established, measured from the start of the test, in days;
 t_{i-1} is the start time of fraction i , measured from the start of the test, in days. This is part of the increment a - b , for which diffusion has been established..
 a, b are dimensionless indices by which an increment a - b is indicated for which a diffusion mechanism is established.

NOTES:

1. The product function in (7) is a measure for the average leaching rate, taking into account the diffusion controlled nature of the leaching process. The leaching is corrected by the square root of the times. In practice, this method of calculation leads to a calculated average negative logarithm of the effective diffusion coefficient (pD_e). For the determination of the average effective diffusion coefficient D_e , see Annex D1.
2. If, for example, a diffusion controlled mechanism is established in increment 2-7, then the product function takes the values $a=2$ and $b=7$:

$$\left\{ \prod_{i=1}^7 U_i \right\}^{\frac{1}{6}} = \{U_2 \times U_3 \times U_4 \times U_5 \times U_6 \times U_7\}^{\frac{1}{6}} \quad (8)$$

where:

$$U_i = \frac{E_i^*}{\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}}}$$

Calculate for each component under investigation separately the derived cumulative leaching per unit are over 64 days, ε_{64} , with the formula:

$$\varepsilon_{64} = \sqrt{64} \left\{ \prod_{i=a}^b \frac{E_i^*}{\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}}} \right\}^{\frac{1}{1+b-a}} \quad (9)$$

where:

- ε_{64} is the derived cumulative leaching for a component over 64 days, in mg/m^2 ;
 E_i^* is the measured leaching of the component in fraction i in mg/m^2 ;
 t_i is the end time of fraction i for which diffusion has been established, measured from the start of the test, in days;
 t_{i-1} is the start time of fraction i for which diffusion has been established, measured from the start of the test, in days;
 a, b are dimensionless indices by which an increment a - b is indicated for which a diffusion mechanism is established.

Calculate also for each component under investigation separately the measured cumulative leaching per unit surface area over 64 days ε_{64}^* using the formula:

$$\varepsilon_{64}^* = \sum_{i=1}^N E_i^* \quad (10)$$

where:

- ε_{64}^* is the measured cumulative leaching for a component per unit surface area over 64 days, in mg/m^2 ;
 E_i^* is the measured leaching of the component in fraction i , in mg/m^2 ;

N is the number of periods, equal to the number of prescribed refreshing intervals ($N=8$).

If the measured cumulative leaching over 64 days (ε_{64}^*), calculated using formula (10) is smaller than the derived cumulative leaching calculated using formula (9) and also the slope of increments 3-6 and 4-7 are both smaller than 0.35, then the measured cumulative emission over 64 days is considered to be the upper limit of leaching.

8.5 Quantifying the surface wash-off in combination with diffusion-controlled leaching

The surface wash-off of a component per unit surface area can only be determined where the incremental analysis in 8.3.4 has established that the leaching of that component is diffusion controlled.

If surface wash-off is indicated in the first two fractions of increment 1-4 ($rc \leq 0.35$) whilst in one or more of the following increments diffusion controlled loss is accepted, then the amount of surface wash-off ($\varepsilon_{wash,1-2}$) in mg/m² is given by:

$$\varepsilon_{wash,1-2} = E_1^* + E_2^* - \varepsilon_{64} \times \sqrt{1/64} \quad (11)$$

where:

$\varepsilon_{wash,1-2}$ is the washed-off quantity of the particular component, in mg/m²;
 E_1^* is the measured leaching of that component in fraction 1 (1/4 day), in mg/m²;
 E_2^* is the measured leaching of that component in fraction 2 (1 day), in mg/m²;
 ε_{64} is the calculated leached quantity of the particular component over 64 days, in mg/m² calculated from formula (9).

NOTE:

See Annex E, figure E4 for a graphical representation of this type of leaching.

8.6 Determination of the upper limit for leaching of components for which no diffusion can be established

The calculation of the upper limit for leaching of a component per unit surface area can only be undertaken when, according to 8.3.4, leaching of the particular component is not diffusion controlled and, according to 8.3.3, the matrix does not dissolve.

NOTE:

If the matrix does not dissolve, then for certain components for which diffusion cannot be established by the increment analysis, an estimate can still be made of the long term leaching by applying the formulas for diffusion controlled leaching.

The calculations must be considered in the order set out in the following paragraphs.

8.6.1 The concentration factor CF_{1-8} is less than 1.5

If the concentration factor CF_{1-8} is less than 1.5, then the upper limit of the cumulative emission over 64 days is calculated as follows:

$$\varepsilon_{64} = \varepsilon_{1-8}^* \quad (12)$$

where ε_{1-8}^* is calculated from 8.1 and 8.2.1, where c_i in Formula (3) is set equal to the lowest limit of determination.

NOTE:

If the concentration factor CF_{1-8} is less than 1.5 then the average concentration for the "total increment" is less than 1.5 times the lowest limit of determination.

The upper limit for leaching over a period T from the beginning of the leaching is calculated from:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{1-8}^* \times \sqrt{T/64} \quad (13)$$

where:

ε_T is the upper limit of the leaching of a component over a period T , in mg/m²;
 T is the duration of the period, in days.

8.6.2 Surface wash-off followed by low concentrations in the subsequent fractions

If through the increment analysis in 8.3.4 it is found that surface washing has occurred, followed by low concentrations on the subsequent fractions, then the upper limit for diffusion over a time period T from the start of leaching is calculated from:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{1-2}^* + \varepsilon_{3-8}^* \times \frac{\sqrt{T} - \sqrt{1}}{\sqrt{64} - \sqrt{1}} \quad (14)$$

where:

ε_T is the upper limit of the leaching of a component over a period T , in mg/m²;
 ε_{1-2}^* is the measured cumulative leaching over the increment 1-2, in mg/m²;
 ε_{3-8}^* is the measured cumulative leaching over the increment 3-8 (upper limit, see 8.1), in mg/m²;
 T is the duration of the period, in days.

NOTE:

Formula (14) for the wash-off applies if in increment 1-4 the slope is less than 0.35 and additionally that the concentrations are well measurable, whilst the concentrations in increment 5-8 are not so measurable. Extrapolation of the measured leaching according to a diffusion controlled leaching will overestimate the true leaching. It is also not correct to extrapolate the initial wash-off using the formula for diffusion controlled leaching; instead the wash-off should be added to the diffusion controlled leaching.

8.6.3 Possible depletion/changing chemical form

If the increment analysis in 8.3.4 reveals that for a component that in at least two of the increments 2-5 and/or 3-6 and/or 4-7 and/or 5-8 the slope is less than 0.35 and the concentration factor is greater than 1.5, then this indicates that depletion of this component may have occurred.

NOTE:

1. There are also indications of depletion if, after initial wash-off, significant concentrations are measured in the extracts in following the periods (as opposed to the situation described in 8.6.2). Extrapolation of the cumulative measured leaching will then overestimate the actual leaching. It is, however, not correct to include the initial wash-off in the formula for the diffusion controlled leaching.
2. Inert components are distinguishable by having the lowest pD_e values in the matrix under consideration, whilst the remaining components always have a higher pD_e value. This means that depletion always occurs earlier with inert components than with the other components. The appearance of an $rc < 0.35$ in such a case can be explained by the fact that chemical conditions change, as a result of which a step change occurs to, for example, a different diffusion level, or that a mobile chemical form becomes depleted whilst a different leachable form of that component remains (more strongly) bonded in the matrix.

The upper limit for leaching over a period T from the start of leaching can then be calculated by the formula:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{1-2}^* + \varepsilon_{3-8}^* \times \frac{\sqrt{T} - \sqrt{1}}{\sqrt{64} - \sqrt{1}} \quad (15)$$

where:

ε_T is the upper limit of the leaching of a component over a period T , in mg/m²;
 ε_{1-2}^* is the measured cumulative leaching over the increment 1-2, in mg/m²;
 ε_{3-8}^* is the measured cumulative leaching over the increment 3-8 (upper limit, see 8.1), in mg/m²;
 T is the duration of the period, in days.

8.6.4 Dissolution

If the slope for the a particular component for the total increment (2-7) is greater than 0.65 (see 8.3.4 Step 1), the leaching over 64 days is calculated as:

$$\varepsilon_{64} = \varepsilon_{1-8}^* \quad (16)$$

ε_{1-8}^* is determined as set out in 8.1 and 8.2.1, where c_i in formula (3) in 8.1 is given the value of the lowest limit of determination if the concentration of a component in a fraction is lower than the lowest limit of determination.

The upper limit of leaching over a period T from the start of leaching is then:

$$\varepsilon_T = 2 \times \varepsilon_{1-8}^* \times \sqrt{T/64} \quad (17)$$

NOTE:

If the slope is greater than 0.65 then there is a possibility of dissolution of the component. This appears contrary to the finding that the test piece is not dissolving. This, however, need not be the case. It can be concluded that, viewed from the leaching mechanism of the matrix, the dissolution of the particular component has no permanent character. It is even possible that dissolution is only occurring from the outer layer of the test piece. The slope can also be greater than 0.65 if at low concentrations the influence of other components is relatively large.

8.6.5 Large spread in measured concentrations

No determination of the slope is possible in 8.3.4 step 1 where the measured concentrations exhibit a wide spread ($sd_{rc} > 0.5$). In this case the leaching over 64 days is calculated by the formula:

$$\varepsilon_{64} = \varepsilon_{1-8}^* \quad (18)$$

ε_{1-8}^* is determined as set out in 8.1 and 8.2.1, where c_i in formula (3) in 8.1 is given the value of the lowest limit of determination if the concentration of a component in a fraction is lower than the lowest limit of determination.

The upper limit of leaching over a period T from the start of leaching is then:

$$\varepsilon_T = 5 \times \varepsilon_{1-8}^* \times \sqrt{T/64} \quad (19)$$

where:

ε_T is the upper limit of the leaching of a component over a period T , in mg/m^2 ;
 ε_{1-8}^* is the measured cumulative leaching over the total duration of the test, in mg/m^2 ;
 T is the duration of the period, in days.

NOTE:

Research has been conducted to investigate how large the error in the value of pD_e could be when $sd_{rc} > 0.5$. In that case the slope rc could rise to 1.5 so that the value of pD_e would be a whole 1 log (m^2/s) lower. This is equivalent to a 10 fold overestimate of the diffusion coefficient, which means at least a three fold overestimate of the leaching. Because the value of pD_e within the period of the diffusion test can decrease even further due to changes in the chemical conditions (for example, through the leaching of lead from a reducing material), a factor of 5 is introduced in the formula for ε_T to give the assumed upper limit.

Table 4: Calculation of the upper limit of leaching of a component in special circumstances

Description	Criteria ^a	Formula for calculating ε_T
1) Measured, average concentration in all fractions is	$CF_{1-8} < 1.5$	$\varepsilon_T = \varepsilon_{1-8}^* \times \sqrt{T/64}$ (13)

low		
2) Wash-off in the first two steps, after which measured concentrations are low	CF $\geq$ 1.5 and rc < 0.35 for increment 1-4, and CF < 1.5 for increment 5-8	$\varepsilon_T = \varepsilon_{1-2}^* + \varepsilon_{3-8}^* \times \frac{\sqrt{T} - \sqrt{1}}{\sqrt{64} - \sqrt{1}}$ (14)
3) Possible depletion of different chemical forms	rc < 0.35 and CF $\geq$ 1.5 for at least two of the increments 2-5 and/or 3-6 and/or 4-7 and/or 5-8	$\varepsilon_T = \varepsilon_{1-2}^* + \varepsilon_{3-8}^* \times \frac{\sqrt{T} - \sqrt{1}}{\sqrt{64} - \sqrt{1}}$ (15)
4) Dissolution during increment 2-7	rc > 0.65 for increment 2-7	$\varepsilon_T = 2 \times \varepsilon_{1-8}^* \times \sqrt{T/64}$ (17)
5) Large spread in all increments	sd _{rc} > 0.5 for increments 3-6, 4-7 and 5-8	$\varepsilon_T = 5 \times \varepsilon_{1-8}^* \times \sqrt{T/64}$ (19)
^a The parameters have the following meanings: CF _{a-b} is the concentration factor in increment a-b rc is the slope of the relevant increment sd _{rc} is the standard deviation of the slope of the relevant increment ε_T^* is the upper limit of leaching of a component over period T, in mg/m ² ε_{a-b}^* is the measured cumulative leaching over the relevant increment a-b, in mg/m ² T is the duration of the period, in days		

8.6.6 Summary of situations in which the upper limit of leaching can be determined

Table 4 provides a summary of the formulas used to calculate the upper limit of leaching where there is no possibility of diffusion and the matrix is not dissolving. Further information on the exceptional cases in Table 4 are given in Annex F.

9. Report

The report must contain the following data at least:

- a reference to this standard, indicating: "in accordance Environment Agency standard EA NEN 7375:2004";
- the data necessary for identification of the test piece(s);
- source and specifications of the test piece(s);
- the nature of the material studied;
- the temperature range within which the leaching test was performed;
- the pH of the eluates collected, rounded to 0.0.5 pH-unit;
- the conductivity of the eluates collected rounded to maximum 1 significant figure;
- the components analysed and the lowest limits of determination of the components in the eluate;
- the means by which the eluates have been preserved and stored until the time of analysis;
- all concentrations measured, rounded to maximum 2 significant figures;
- the quantity of preservative added in Section 7.3 if this is more than 1 ml per 250 ml eluate;
- the amount of material fallen off the test piece(s) during the test;
- the slopes and corresponding standard deviations of all increments;
- the start and end points of the leaching mechanism-determining increment, if the leaching of the relevant component is diffusion controlled;
- the quantity of the components tested available for leaching;
- the results of the investigation into the (non-) dissolution of the test piece(s);
- the calculated cumulative leaching of the components tested over 64 days (ε_{64}), in mg per m²;
- the measured cumulative leaching of the components tested over 64 days (ε_{64}^*), in mg per m²;
- the evaluated possible surface wash-off of the components tested, in mg/m²;

- the calculated upper limit in possible special circumstances of leaching of one or more components, in mg/m^2 ;
- the eventual weight loss during the test, in mg/m^2 ;
- the duration of the investigation.

If the diffusion test is not carried out fully in accordance with this standard, all deviations from the prescribed procedures must be indicated in the report, giving the reasons.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Annex A

Validation of the Diffusion Test

In developing the Dutch Standard, NEN 7375, a round-robin test was undertaken with 10 laboratories on 3 types of material to establish the precision of the diffusion test in terms of repeatability and reproducibility. The following is taken from the discussion presented in NEN 7375.

The error in the end result of a leaching test is composed of contributions from:

- The origin of the material (variations in the production process);
- The method of sample taking (differences in representativeness);
- The sample pre-treatment (variations in the preparation of the test piece for the leaching test);
- The leaching test itself;
- The chemical analysis (error in the determination of concentration in the eluates);

To establish the precision of the diffusion test, the contribution of these sources of error were minimized through the experimental design. Therefore, in the validation study the following starting points were used.

- Components that can be very inhomogeneous in certain materials were not included in determining the precision.
- The samples were all taken from one batch and the sample preparation was performed in one session.
- All chemical analyses were carried out by one laboratory.
- The precision was only determined for components for which the error in the chemical analysis was sufficiently small (relative standard deviation in repeatability nominal less than 5%). For larger errors in the concentration measurement the precision of the analysis would dominate the precision of the leaching test result too much.

The test pieces examined relate to three different types of moulded materials. The table below gives an overview of the materials used and the components tested:

Table A.1: Investigated materials and components

GRAIN SIZE CLASS	MATERIAL TESTED	COMPONENTS TESTED ¹⁾
Moulded	Fly ash/cement mix	Na, Ba, Mo, SO ₄ , V
Moulded	Sand lime brick with coal dust fly ash	Na, As, (Ni), Se*, SO ₄ , (V)
Moulded	Building brick	Na*, As, V

1) All elements in brackets and marked * in Table A.1 were measured but not included in determining the median and the range of the overall precision values, because:

- the error in the concentration measurement was too large (marked with brackets);
- for the determination of the repeatability less than 5 laboratories were found for which in both duplicate leaching tests using the procedure 8.3 clearly a leaching mechanism could be determined (marked *). For the determination of the reproducibility always the results of at least 8 laboratories could be used.

The round-robin on the above materials and components combinations have the following values for standard deviations for repeatability (S_r) and reproducibility (S_R) in the diffusion test.

	Median	Range
S_r in the determination of ε_{64}	13%	8% to 18%
S_R in the determination of ε_{64}	16%	10% to 42%
S_r in the determination of pD_e (unit: $-\log[\text{m}^2/\text{s}]$)	0.11	0.07 to 0.17
S_R in the determination of pD_e (unit: $-\log[\text{m}^2/\text{s}]$)	0.19	0.12 to 0.40

In general no clear dependency of S_r and S_R on the material type was found.

NOTES:

- 1 No correction is made for the contribution of the analytical error, because ε_{64} and pD_e are calculated using a diffusion model through a fitting procedure. In general, the influence of the analytical error is of minor importance in the above values of the precision.
- 2 The precision values for the diffusion test are corrected for the error in the availability test result.
- 3 The values for S_r and S_R shown are only appropriate for material-component combinations for which:
 - the contribution of the relative standard deviation in the concentration measurement is less than 5%.
 - at least 5 data sets are available for which clearly a diffusion controlled leaching mechanism could be determined.

All material-component combinations in table A.1 that are not marked with brackets or *, satisfy these two requirements.

The mentioned median values and ranges for S_r and S_R are indicative values of the attainable precision, if the diffusion test is performed according to this standard and also the requirements mentioned in note 3 above are met. In particular, a higher degree of uncertainty may apply to materials which are very heterogeneous and/or to components for which the concentration measurements in the eluate causes problems (due to e.g. low levels).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Annex B (Informative)

Differences between NEN 7375 and NEN 7345

The repeatability and reproducibility of the diffusion test according to NEN 7345, established in the round-robin validation test (see Annex A of this standard), proved less good than desired. For this reason, under the auspices of the Action Programme Normalisation and Validation of Environmental Measurement Methods a project *Improvement of the quality of three normalised leaching tests in the NEN-7340 series* (ANVM-216,) was undertaken. In that project, consideration was also given to the developments on European harmonisation under the auspices of the CEN committee TC 292. Most of the changes proposed in ANVM-216 for undertaken diffusion tests have been adopted by the standards committee 390 011 and recommended for adoption in the standard. The existing standard NEN 7345 will not be revised because at this time CEN/TC 292 diffusion tests for earthy and stony waste materials are being developed, so there is a "stand still" on the development of national standards on the same subject. At the same time, it is expected that NEN 7345 will be replaced by one or more of the CEN/TC 292 developed standards for diffusion tests. Because in the meantime there is still a need for a generally applicable diffusion test, in which the recommendations from project ANVM-216 are adopted, a new standard (NEN 7375) has been brought out with a wider applicability than CEN is considering, namely all earthy and stony materials.

The most important changes from NEN 7345 that have been brought forward in NEN 7375 are as follows:

1. The applicability is generalised to earthy and stony materials (as opposed to just earthy and stony building materials and wastes).
2. The diffusion test must in future be conducted with pH neutral instead of acidified water. The most important reason for this is that this will be incorporated in the standards being developed in CEN/TC 292.

An additional advantage of this is that the use of pH neutral water is that, in the case of materials with a low buffering capacity, large differences in the initial leaching by leaching fluid with an imposed pH=4 is overcome. This effect is much less with the use of pH neutral water. A separate literature and model study has considered the consequences of using neutral instead of acidified water. This has found that the difference in leaching results are possibly only observed in materials with a very low buffering capacity. Examples of this are vitrified slag, some industrial slags and sintered products, such as artificial gravel and brick. The differences in leaching for these types of material also appear to be very small (and only observed for metals); under normal laboratory conditions these are barely discernable.

3. The "paper method" has been introduced for the determination of the geometric surface area of highly irregular test pieces.
4. The determination of the leaching mechanism during the diffusion test is more systematically described and elaborated
5. The leaching volume is smaller, thus the required determination limit in testing to (regulatory) standards is easier to achieve analytically.
6. The "diffusion controls the leaching from the matrix" as criterion for applicability of the standard is replaced with the criterion "no dissolution of the matrix".
7. For the calculation of the cumulative leaching per unit surface area, it is no longer necessary to undertake the availability test according to EA NEN 7371, since the value of the diffusion coefficient derived from that test has been eliminated from formulas (7) and (9) for the arithmetic leaching of a component over a given interval ($\epsilon_{x,y}$) and over a period of 64 days (ϵ_{64}), respectively.

8. For the determination of the average negative logarithm of the effective diffusion coefficient per component, it is still necessary to undertake the availability test according to EA NEN 7371. This determination is set out in an informative annex (Annex D.1).
9. For the determination of the leaching per component, for which according to the procedure in 8.3.4 no diffusion controlled leaching can be established, whilst according to 8.3.3 it is established that the matrix does not dissolve, a calculation method is given to establish the upper limit of leaching.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Annex C

Commentary on the Prescribed Test Pieces and Determination of the Geometric Area

- C.1 It is recommended that at least three test pieces are available, two of which meet the dimensional requirements, as supplementary tests may be found necessary. The third test piece may be necessary for performance of an availability test according and is finely ground for this.
- C.2 In general, diffusion is determined on the basis of leaching from the entire test piece. This may be a sample of an original building element (e.g. a brick) or a test piece moulded in a special mould from the material to be tested (e.g. a Marshall slab of asphalt concrete).
- C.3 To prevent practical problems in the performance of the test, it is recommended that an upper limit of 300 mm be set for the largest dimension of the test piece.
- C.4 To prevent the leaching diminishing during the diffusion test due to depletion of a component, the smallest dimension of the test piece must be larger than 40 mm. For components with great mobility, during the test some depletion can occur if the smallest dimension lies in the area of the lower limit of 40 mm. Depletion of mobile components can then be prevented by using a slightly larger test piece.
- C.5 Certain building materials are produced as standard with a thickness of less than 40 mm such as slate roof covering, ceramic roof tiles, thin tiles, hollow bricks or garden tiles. Usually the required strength of these products implicitly leads to materials with such a high pD_e value that no depletion phenomena occur during the diffusion test. For an optimum result in the diffusion test, such thin test pieces must be covered on one side.
- C.6 For partial covering of a test piece with an impervious layer, material must be used that has no disruptive influence on the diffusion process by the release, absorption or (delayed) transmission of components to be studied. It has appeared that acrylic resin is a suitable impervious material for leaching tests on inorganic components with the diffusion test. The usability of other impervious materials is still being studied.
- C.7 The test piece can be prepared in the laboratory under conditions that correspond to those found in practice. Preference is however given to the product as used in practice. The test piece can also be part of the manufactured product unless surface treatment causes significant differences in the surface structure or the ground surface. The latter can be compensated by covering the surface concerned such that no rinsing or diffusion from the surface occurs during the test.
- C.8 If, after production, the product must harden for a specific period before reaching the strength required in practice, it is important for the interpretation of the results of the diffusion test to bear in mind that also the leaching behaviour can change during the period that hardening takes place.
- C.9 Some test pieces are sawn or drilled out of a larger whole, for example a drilling core from a road surface. The sides formed by the sawing or drilling may have leaching extent not shown by the unworked surfaces. The worked surfaces must be covered in accordance with the procedure in Section 7.2.2. For a number of materials, it has been found that the diffusion differs little or not at all from the diffusion from the unworked part. In these cases, the sawn or drilled surfaces can also be included in determining the diffusion.
- C.10 If the geometric area cannot be clearly and easily established for the entire surface, the test can often be carried out on part of the outer surface. Examples of materials where part of the surface must be covered are coarse slag and cobbles. Often one or more test pieces are selected from a representatively assembled sample of such slag or cobbles, for which large parts have an area that can be easily determined geometrically.

Partial covering may also be necessary for certain products with a regular and easily definable geometric area, for example roof tiles (with edges and rounded corners) or grass tiles (with gaps). Hollow building materials must have the holes filled with an impervious material.

Some building materials have different properties on different sides, e.g. if glazed layers or paint are applied. In these cases, the type of material surface to be studied is isolated by covering the other surfaces.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Annex D

Assessment of a Diffusion Coefficient and Calculation of Derived Values

D.1 Assessment of the effective diffusion coefficient of a component

The effective diffusion coefficient of a component can only be calculated when, through the procedure given in 8.3.3 and also the increment analysis in 8.3.2, it can be shown the leaching is diffusion controlled, and when for this material the available leaching quantity is known. For this the following procedure must be followed:

Calculate the average effective diffusion coefficient D_e of a component with the formula:

$$D_e = \left(\frac{\varepsilon_{64}}{2653 \times \rho \times U_{avail}} \right)^2 \times f \quad (D.1)$$

where:

- D_e is the average, effective diffusion coefficient for a given component, in m^2/s ;
- ε_{64} is the derived cumulative leaching of the component over 64 days determined with formula (9), in mg/m^2 ;
- ρ is the density of the test piece, in $\text{kg dry matter per m}^3$;
- U_{avail} is the leachable available quantity derived according to EA NEN 7371, in $\text{mg per kg dry matter}$
- f is a factor equal to 1 s^{-1} .

Also express the average value of the effective diffusion coefficient in the form of a negative logarithm:

$$pD_e = -\log D_e \quad (D.2)$$

D.2 Assessment of a diffusion coefficient

The value of pD_e indicates the rate of leaching. The minimum value of pD_e (maximum rate of leaching) for a component such as sodium is equal to 8.88 (free mobility of sodium in water).

The higher the pD_e value, the lower the speed of leaching of the component concerned with constant availability U_{avail} (this determines the concentration gradient which is the driving force for diffusion):

- $pD_e > 12.5$:component with low mobility;
- $11.0 < pD_e < 12.5$:component with average mobility;
- $pD_e < 11.0$:component with high mobility.

A pD_e value of less than 9.5 has no physical significance as the material to be studied has no further internal porosity (tortuosity). If such a low value is found in the calculation, it is advisable to check the availability measured.

D.3 Comparison of the mobility of a component in a moulded or monolithic material with the free mobility of sodium in water

Tortuosity is a measurement of physical retardation and gives an indication of the path length that a diffusing ion must cover in a porous matrix. It is a material property and therefore not ion-dependent. For calculation of the tortuosity, a component must be selected that has no chemical interaction with the matrix. This component will show the lowest pD_e value in the matrix concerned. In most cases, sodium is the best choice.

The tortuosity of a moulded or monolithic material can be calculated using the formula:

$$T = \frac{D_{Na}}{D_{e,Na}} \quad (D.3)$$

where:

- T is the tortuosity of the material;
- D_{Na} is the diffusion coefficient of sodium in water ($10^{-8.88}$) in m^2/s ;
- $D_{e,Na}$ is the effective diffusion coefficient of sodium in the material in m^2/s .

The retention factor is an indicator of the chemical retention of a component in a moulded or monolithic material. For a component that shows no interaction with the material matrix, this is equal to 1.

The retention factor (R) for the component concerned can be calculated using the formula:

$$R = \frac{D}{D_e \times T} \quad (D.4)$$

where:

- R is the retention factor;
- D is the diffusion coefficient for the component in water in m^2/s ;
- D_e is the effective diffusion coefficient for the component in the material in m^2/s ;
- T is the tortuosity of the material.

D.4 Determination of the leached quantity per unit mass in the diffusion test

The quantity of a component leached out per mass unit up to a time t can be calculated using the formula:

$$U_{dif,t} = \frac{2 \times A \times \rho \times U_{avail} \times \sqrt{\frac{D_e \times t}{\pi}}}{m} \quad (D.5)$$

where:

- $U_{dif,t}$ is the quantity of a component leached out in the diffusion test to time t in mg per kg dry matter;
- U_{avail} is the quantity of component available for leaching in mg per kg dry matter;
- D_e is the effective diffusion coefficient of the component in m^2/s ;
- t is the time duration of the leaching in s;
- A is the area of the test piece in m^2 ;
- ρ is the density of the test piece in kg dry matter per m^3 ;
- m is the mass of the test piece in kg dry matter.

From the leached quantities of a specific component as calculated in formula (17), and the content of the component available in the test piece, the extent of depletion can be approximated. For this, the relative leaching in the diffusion test must be calculated using the formula:

$$UP_{dif,t} = \frac{U_{dif,t}}{U_{avail}} \times 100\% \quad (D.6)$$

where:

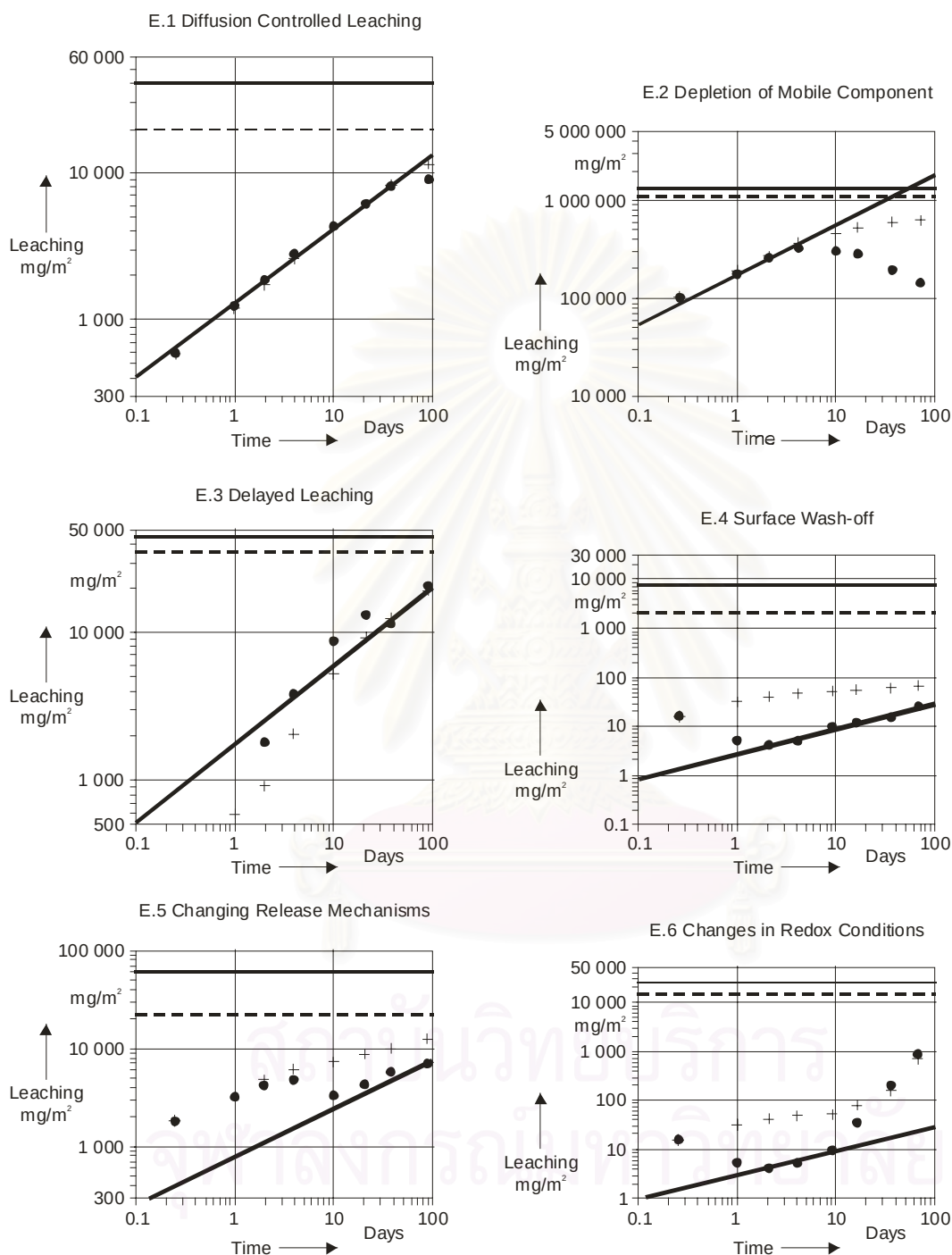
- $UP_{dif,t}$ is the percentage of leached component in time t of the diffusion test in relation to the available content in the test piece
- $U_{dif,t}$ is the leached quantity of the component in time t of the diffusion test in mg per kg dry matter;
- U_{avail} is the quantity of the component available for leaching in mg per kg dry matter.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Annex E (informative)

Graphical representation of diffusion controlled leaching in special cases.



KEY

- + Cumulative measured leaching, from 8.2.1 equation (4)
- Cumulative measured leaching, from 8.2.2 equation (5)
- Slope defined by $rc=0.5$
- Upper limit defined by total content of component
- - - Upper limit based on availability in accordance with NEN 7371

Annex F

Explanation of the calculation of the upper limit for leaching in special cases

If a material behaves as a porous matrix, it may be assumed that all components evenly distributed in the matrix basically leach diffusion controlled. Even for this type of material it is not always possible to demonstrate for each component a diffusion controlled release using procedure 8.3.4. This occurs mainly in components that only have a low availability and/or a high pD_e value. Also other factors like wash-off, dissolution of only the outer layer of the moulded or monolithic material, chemical specification, complex eluate compositions etc. can lead to no diffusion coefficient being determined for specific components.

In some cases also for components for which no diffusion coefficient could be determined according to 8.3.4, it is possible to give an indication of the cumulative release to be expected based on the results of the diffusion test. For 5 special cases formulas are given in 8.6 of this standard to estimate the upper limit of leaching after a time period of 64 days and for any given time period T (>64 days), respectively. The leaching ε_T after T days will always be calculated from the ε_{64} value using a factor $\sqrt{(T/64)}$. Partly caused by the restrictions of the one-dimensional diffusion model it can occur that the calculated upper limit in this way is substantially larger than the available amount for the object under investigation given by the formula:

$$\varepsilon_b = U_{avail} \times \rho \times d \quad (F.1)$$

where:

- ε_b is the calculated cumulative release of a component in the object under investigation, in mg dry matter per m^2 ;
- U_{avail} is the available amount for leaching in mg/kg dry matter;
- ρ is the density of the test piece in kg dry matter per m^3 ;
- d is the thickness of material under investigation in m.

If it is found that ε_b is smaller than ε_T then the value of ε_b should be taken as the best estimate of the upper limit.

If a more precise insight into the level of leaching is required than an indicative upper limit, the diffusion test must be carried out with more accurate analysis instruments, a longer test duration, longer periods between replacement or a lower fluid-volume ratio. This standard does not give instructions for this as the approach is not normally considered necessary.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรพล พิรุฬห์ทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 12 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2524 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย