

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของการบ่มโดยใช้สารลดแรงตึงผิวต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในสภาวะการบ่มต่างๆ
นักศึกษา	นายรุ่งโรจน์ หนูรัตน์
รหัสนักศึกษา	48061505
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการบ่มในเงื่อนไขและสภาวะการบ่มที่แตกต่างกัน โดยใช้สารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในน้ำทำให้น้ำมีแรงตึงผิวลดลง โดยพิจารณาถึงความสามารถในการซึมผ่าน ปฏิริยาไฮเดรชัน การหดตัวทางเคมี การหดตัว ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และการตรวจสอบอนุภาคของซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) โดยทำการเปรียบเทียบการบ่มแบบปล่อยไว้ในสภาวะปกติ บ่มโดยแช่น้ำ บ่มโดยการแช่น้ำผสมสารลดแรงตึงผิว และบ่มโดยวิธีป้องกันการสูญเสียน้ำ ซึ่งทำการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลา และทำการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องกัน คือทำการทิ้งไว้ในห้องทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % จนได้อายุที่ 1, 3, 7 และ 14 วัน หลังจากนั้นทำการบ่มด้วยน้ำและน้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิว จนกระทั่งขึ้นตัวอย่างมีอายุที่ 28 วัน จึงทำการทดสอบและเปรียบเทียบระหว่างวิธีการและระยะเวลาในการบ่ม ที่ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.25, 0.30 และ 0.44

จากผลการวิจัยพบว่าน้ำที่มีแรงตึงผิวต่ำมีคุณสมบัติในการซึมผ่านได้ดีกว่าน้ำธรรมดา โดยเฉพาะที่อายุของซีเมนต์เพสต์ที่มากขึ้น อีกทั้งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านจากผิวนอกที่ทำการบ่มได้ลึกกว่าน้ำธรรมดา โดยปฏิริยาไฮเดรชันที่ทุกระดับความลึกมีค่ามากกว่าการบ่มด้วยน้ำธรรมดา และทำให้การรับกำลังของคอนกรีตมีเพิ่มขึ้น

Thesis Title	A Study on Influence of Low Surface Tension Water Curing in any Curing Conditions on Properties of Cementitious Materials
Student	Mr.Rungrote Noonurat
Student ID.	48061505
Degree	Master of Engineer
Program	Civil Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Dr.Komsan MALEESEE

ABSTRACT

This report is about a test for studying on effects of admixtures in concrete curing conditions. Considering of capability on permeability Absorption, Hydration reaction, Autogenous Shrinkage, Compressive Strength and Scanning Electron Microscope (SEM) by using Air-Entraining agent mixed with water to be low surface tension water curing. The comparisons of the change condition usual curing method, Water curing, Low surface tension water curing and Wrapping. With to perform curing consecutively the time at 1, 3, 7, 14, 28 and 60 day at cement paste ages. And to perform curing inconsecutively to perform control of temperature room at 25 °C hydrometric 50 % In the age 1, 3, 7 and 14 day maintain the specimen in the control room and after that curing in water and AE-water. Until sample to be at the age of 28 and 60, therefore test and to compare between a periods of time curing at varied water/cement ratios (W/C) is 0.25, 0.30 and 0.44 respectively.

This report expresses use of admixtures in concrete curing, at curing consecutively and curing inconsecutively, to check capability on permeability by water and low surface tension water. by to perform analyses and to compare properties of concrete. With admixtures type low surface tension to assist capability on permeability reaction of cement everywhere, and to capability concrete at curing consecutively and inconsecutively properties in the vicinity curing consecutively ordinarily. Consequence capability to take to be a use to construct by capability curing method periods of time curing to choose admixture to assist curing and may be compressive strength to increase

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร. คมสัน มาลีสี ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวรวมทั้งผู้ใกล้ชิดของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รุ่งโรจน์ หนูรัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 นิยามและความหมายของคำต่างๆ.....	5
2.1.1 สารผสมเพิ่ม.....	5
2.1.2 สารกักกระจายฟองอากาศ.....	6
2.1.3 การบ่มคอนกรีต.....	6
2.2 ปฏิกริยาไฮเดรชันของซีเมนต์.....	7
2.2.1 ปฏิกริยาไฮเดรชันของคัลเซียมซิลิเกต (C_3S และ C_2S).....	7
2.2.2 ปฏิกริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A).....	8
2.2.3 ปฏิกริยาไฮเดรชันของเตตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF).....	9
2.3 การหดตัวทางเคมีของซีเมนต์เพสต์.....	9
2.3.1 ส่วนประกอบในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัว.....	10
2.4 พลังงานของแรงดึงผิวของน้ำ.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	การออกแบบปฏิกิริยาส่วนผสม.....	13
2.6	กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด.....	13
2.6.1	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	13
2.6.2	หลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	14
2.6.3	ลักษณะของสัญญาณชนิดต่างๆ.....	14
2.6.4	ระบบการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	14
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	17
3.1	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3.1.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มอก. 15-2532.....	17
3.1.2	สารเคมี (Admixtures).....	17
3.1.3	น้ำ (Water).....	18
3.1.4	เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์.....	18
3.1.5	ชุดอุปกรณ์การหาความสามารถการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็ง.....	18
3.1.6	ชุดอุปกรณ์ทดสอบปฏิกิริยาไฮเดรชัน.....	19
3.1.7	ชุดอุปกรณ์ทดสอบการหดตัวของซีเมนต์เพสต์.....	20
3.1.8	ชุดอุปกรณ์ทดสอบการหดตัวของซีเมนต์เพสต์.....	22
3.1.9	ชุดอุปกรณ์ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต.....	22
3.1.10	เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	24
3.2	วิธีการทดสอบ.....	24
3.2.1	การทดสอบสำหรับการหาความสามารถการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ตัวอ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 1585-04.....	24
3.2.2	การทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัวใน แต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ อ้างอิง JSCE. No. 767 / V-64, pp. 301-312.....	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 การทดลองสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่า การหดตัวทางเคมี อ้างอิง JSCE. No. 767 / V-64, pp. 301-312.....	26
3.2.4 การทดลองสำหรับการทดลองการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ ตามมาตรฐาน JIS A 1129.....	28
3.2.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 1881 Part 108.....	29
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	31
4.1 กล่าวนำ.....	31
4.2 การทดสอบสำหรับการหาความสามารถการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็งตัว.....	32
4.3 ผลการทดสอบการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ.....	38
4.4 ผลการทดลองสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี.....	45
4.5 การทดสอบการหดตัวในซีเมนต์เพสต์.....	48
4.6 การทดลองสำหรับการทดสอบกำลังอัด.....	52
4.7 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM).....	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม.....	70
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	90

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติทั่วไปของซีเมนต์ประเภทที่ 1.....	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับระยะเวลาการบ่ม.....	2
1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความลึกของตัวอย่าง W/C 0.25.....	2
1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวกับความเข้มข้นของสารกักกระจายฟองอากาศต่างๆ.....	3
2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน.....	10
2.2 ผลกระทบหลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน.....	10
2.3 แรงยึดเหนี่ยวของอะตอม.....	11
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ.....	17
3.2 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์.....	18
3.3 แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร.....	19
3.4 แบบหล่อขึ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร.....	19
3.5 เตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C.....	20
3.6 เตาอบที่อุณหภูมิ 950 °C.....	20
3.7 ขวดแก้วปากกว้าง 2.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร.....	21
3.8 จุกยาง.....	21
3.9 หลอดปิเปต.....	21
3.10 แบบหล่อขึ้นตัวอย่าง ขนาด กว้าง 4 สูง 4 ยาว 16 เซนติเมตร.....	22
3.11 เครื่องวัดการหดตัว.....	22
3.12 อุปกรณ์ทดสอบกำลังอัดคอนกรีต.....	23
3.13 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต.....	23
3.14 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม.....	24
3.15 ตัวอย่างในการทดสอบหาความสามารถการซึมผ่าน.....	25
3.16 ตัวอย่างในการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัวในแต่ละระดับชั้น ความลึกต่างๆ.....	26
3.17 ตัวอย่างในการทดสอบการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี.....	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 ตัวอย่างในการทดสอบหาความหดตัว.....	29
3.19 การวัดขนาดตัวอย่างทดสอบกำลังอัด.....	30
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ ที่อายุ 28 วัน.....	32
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการบ่มแบบ Wrapping ที่อายุ 28 วัน.....	32
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการบ่มด้วยน้ำ ที่อายุ 28 วัน.....	33
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % ที่ทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ.....	33
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มแบบ Wrapping.....	34
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มด้วยน้ำ.....	34
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % ที่ทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ.....	35
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มแบบ Wrapping.....	35
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการ ทดสอบโดยทดสอบด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มด้วยน้ำ.....	36
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการ ทดสอบโดยน้ำ ที่ทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ.....	36
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการ ทดสอบโดยน้ำ โดยทำการบ่มแบบ Wrapping.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยน้ำ โดยทำการบ่มด้วยน้ำ.....	37
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เพิ่มขึ้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 28 วัน W/C 0.25.....	39
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เพิ่มขึ้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 28 วัน W/C 0.30.....	39
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เพิ่มขึ้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 28 วัน W/C 0.44.....	40
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Micro air เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.25.....	40
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Darex AEA เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.25...	41
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.25.....	41
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Micro air เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.30.....	42
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Darex AEA เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.30...	42
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.30.....	43
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Micro air เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.44.....	43
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Darex AEA เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.44...	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่ม ด้วยน้ำ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.44.....	44
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีกับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบ ด้วยน้ำ.....	46
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำ.....	46
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีกับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ ทดสอบด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %	47
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบ ด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %.....	47
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ที่ทดสอบด้วยน้ำ ที่ W/C 0.25.....	48
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ที่ทดสอบด้วยน้ำ ผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ W/C 0.25.....	49
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่ม แบบต่อเนื่องเปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25.....	49
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่ม แบบไม่ต่อเนื่องที่ 3 วัน เปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25.....	50
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่ม แบบไม่ต่อเนื่องที่ 7 วัน เปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25.....	50
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่ม แบบไม่ต่อเนื่องที่ 14 วัน เปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25.....	51
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Strength) กับค่ากำลังที่ออกแบบ โดยการบ่มแบบ ต่อเนื่องตลอดเวลาด้วย Wrapping น้ำ และ AE เข้มข้น 1 % ที่อายุ 28 วัน.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Strength) กับค่ากำลังออกแบบที่ 250 ksc. โดยบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %.....	53
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Strength) กับค่ากำลังออกแบบที่ 450 ksc. โดยบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %.....	53
4.38 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบต่อเนื่อง.....	55
4.39 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.38 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	55
4.40 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบต่อเนื่องด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %.....	56
4.41 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.40 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	56
4.42 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบต่อเนื่องด้วย Wrapping.....	57
4.43 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.42 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	57
4.44 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบไม่ต่อเนื่องที่ 3 วัน.....	58
4.45 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.44 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	58
4.46 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบไม่ต่อเนื่องที่ 7 วัน.....	59
4.47 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.46 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	59
4.48 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบไม่ต่อเนื่องที่ 14 วัน.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.49 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.48 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	60
4.50 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ 3 วัน.....	61
4.51 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.50 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	61
4.52 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ 7 วัน.....	62
4.53 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.52 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	62
4.54 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ 14 วัน.....	63