ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246293

การใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

นายณภัทร โชติมงคล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00251285

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246293

การใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

นาย ณภัทร โชติมงคล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5070685821

UTILIZATION OF ZINC-CONTAMINATED SLUDGE IN PRODUCTION OF LIGHT-WEIGHT CONCRETE

Mr. Napat Chotimongkol

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีในการผลิตคอนกรีตมวลเบา
โดย	นาย ณภัทร โชติมงคล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชนาธิป ผาริโน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์)

ณภัทร โชติมงคล :การใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีในการผลิตคอนกรีตมวลเบา
(Utilization of Zinc Contaminated Sludge in Production of Light-Weight Concrete)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาตราจารย์. ดร. มนัสกร ราชากรกิจ, 74 หน้า.

246293

สังกะสีเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นใยเรยอน ทำให้ของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอนโดยเฉพาะในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมีการความเข้มข้นของสังกะสีสูงมากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมทำให้กากของเสียชนิดนี้จัดเป็นของเสียอันตราย การจัดการกาของเสียอันตรายประเภทนี้ส่วนใหญ่นิยมการปรับเสถียรและหล่อก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ก่อนนำฝังกลบในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย โดยวิธีการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและพื้นที่หลุมฝังกลบมีจำกัด

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาพที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีการเติมกากตะกอนของเสียอันตรายที่ปนเปื้อนสังกะสีและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบา โดยทำการทดลองโดยหาค่า ระยะเวลาการอบไอน้ำ อัตราส่วนของน้ำต่อของแข็ง อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทราย อัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็ง และปริมาณกากของเสียที่สามารถเติมได้ วัดจาก กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น อัตราการดูดกลืนน้ำ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมวัดจากความเข้มข้นของสังกะสีจากน้ำชะละลายจาก Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ Waste Extraction Test โดยผลการทดลองที่ได้ สภาพที่เหมาะในการผลิตคอนกรีตมวลเบาคือ ระยะเวลาการอบไอน้ำ 16 ชั่วโมง อัตราส่วนของน้ำต่อของแข็ง 0.24:1 อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทราย 60:40 อัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็ง 0.003:1 อัตราส่วนของกากตะกอนที่เติมได้คือ 0.2-0.3:1 และผลจากการชะละลายที่ได้จากทั้งสองกระบวนการไม่เกินค่าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมคือไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ณภัทร โชติมงคล

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5070685821: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: SLUDGE/HAZARDOUS WASTE/LIGHTWEIGHT CONCRETE /STABLILIZATION AND SOLIDIFICATION / ZINC

NAPAT CHOTIMONGKOL: UTILIZATION OF ZINC CONTANINATED SLUDGE IN PRODUTION OF LIGHT-WIEGHT CONCRETE ADVISOR : ASSISTANT PROFESSR MANASKORN RACHAKORNKIJ, Ph.D., 74 pp.

246293

Zinc is one of the widely-used heavy metal in production of Rayon fiber that makes waste from Rayon fiber industrial especially sludge from wastewater treatment system that have high concentration of Zinc more than 5,000 mg/kg which consider as hazardous waste. To manage this hazardous waste, we mostly used stabilization and solidification method by cement and the place them inside secured landfill. This method is expensive and has limited area of landfill.

The purpose of this study is to find optimal condition for produce lightweight concrete with zinc contaminated sludge and its environmental impact. This experiment was carried out to find factor of condition for produce lightweight concrete such as time in autoclave water per total solid ratio cement per sand ration Aluminums per total solid ratio and amount of sludge that can be added to mixture by measuring sample for compressive strength density and water absorption ratio. To find out environmental impact of lightweight concrete we have to measure zinc concentration in leachate from Toxicity Characteristic Leaching Procedure and Waste extraction. From result of experiment we can conclude that optimal condition of produce light weight concrete is 16 hours in autoclave water per solid ration 0.24:1 cement per sand ratio 60:40 aluminum per solid ratio 0.003:1 and ratio of sludge per solid 0.2-0.3:1. And result of zinc concentration in leachate from both tests show that zinc concentrations are not exceed 250 mg/kg according to regulation of Department of Industrial Work

Department : Environmental Engineering Student's Signature Napat Chotimongkol

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2010 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา แนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจน อาจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ ที่ได้ให้คำชี้แนะ ปรึกษา และแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ดร.ธารทิพย์ พันธ์เมธาฤทธิ์ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละเวลาให้คำชี้แนะในการทำงานวิจัย และให้ความช่วยเหลือด้านอื่นๆ

เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยให้คำชี้แนะ ให้ความช่วยเหลืองานด้านเอกสาร และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเสมอมา

บริษัท ไทยเรยอน จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์ของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เพื่อใช้สำหรับงานวิจัยนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลกันและกันในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดาและ มารดา ซึ่งสนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1 คอนกรีตมวลเบา..... 4
2.1.1 คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ..... 5
2.1.2 วัตถุดิบ..... 6
2.1.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา..... 7
2.1.4 การทดสอบคุณภาพ..... 7
2.1.4.1 ขนาดของก้อนคอนกรีตมวลเบา..... 7
2.1.4.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร..... 8
2.1.4.3 ความต้านแรงอัด..... 9
2.1.4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว..... 10
2.1.4.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ..... 11
2.2 กากอุตสาหกรรม..... 11
2.2.1 ความหมายของกากของเสียอุตสาหกรรม..... 11
2.2.2 การกำหนดรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือ
วัสดุไม่ใช้แล้ว..... 11
2.2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
ที่เป็นของเสียอันตราย..... 13

หน้า

2.2.3.1 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นสารไวไฟ..... 13
2.2.3.2 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารกัดกร่อน..... 14
2.2.3.3 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย..... 14
2.2.3.4 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารพิษ..... 15
2.2.3.5 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน.16
2.2.4 การหาค่าความเข้มข้นทั้งหมด การสกัดสาร และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด.....16
2.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.....16
2.2.4.2 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)..... 18
2.2.4.3 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตราย..... 19
2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน.....20
2.3.1 กระบวนการผลิตหลัก/ผลิตเส้นใยเรยอน..... 20
2.3.2 กระบวนการผลิตเสริม/คาร์บอนไดซัลไฟด์.....20
2.3.3 กระบวนการผลิตเสริม/กรดซัลฟิวริก..... 21
2.3.4 บริเวณที่เกิดมลพิษ..... 22
2.4 สังกะสี.....22
2.5 กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัว (Stabilization and Solidification) 23
2.5.1 กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วยปูนซีเมนต์..... 24
2.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....26
2.6.1 การผลิตคอนกรีตมวลเบา.....26
2.6.2 การปรับเสถียรและทำให้แข็งตัวของกากของเสียโลหะหนักด้วยคอนกรีต..... 28
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....29
3.1 ตัวอย่างวัตถุดิบในการคอนกรีตมวลเบาและกากของเสียสังกะสีที่ใช้ในการวิจัย.....29
3.1.1 วัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบา..... 29
3.1.2 ตัวอย่างกากของเสียสังกะสี.....30
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....30

หน้า

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 30
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 31
3.2.3 การเตรียมสารเคมี..... 31
3.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอน
จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.....31
3.3.1 ความชื้น.....32
3.3.2 ชนิดและปริมาณโลหะหนักทั้งหมด..... 32
3.4 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม
ในการทำคอนกรีตมวลเบา.....33
3.4.1การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม
สำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา..... 33
3.4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา. 34
3.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ
ที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี..... 36
3.6 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบา
แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอน
จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี..... 38
3.6.1 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)..... 39
3.6.2การสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP)..... 40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล..... 42
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจาก
ระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี..... 42
4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม
ในการทำคอนกรีตมวลเบา..... 43
4.2.1 อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมดและระยะเวลาในการอบไอน้ำ
ที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา.....43
4.2.2 ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสม
ในการทำคอนกรีตมวลเบา.....46
4.2.3 ปริมาณผงอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสม
ในการทำคอนกรีตมวลเบา..... 48

หน้า

4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ
ที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี..... 50
4.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมี
ฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทน
กากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์..... 50
4.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมี
ฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่
ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรม..... 53
4.4 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมี
ฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.. 56
4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมี
ฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.. 58
บทที่ 5สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 60
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 60
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 61
รายการอ้างอิง..... 62
ภาคผนวก..... 64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ขนาดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ.....	8
2-2	การแบ่งชนิดและชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ....	9
2-3	กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา.....	10
2-4	ตัวเลขสองหลักแรกที่แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548).....	12
3-1	การศึกษาลักษณะทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี...	32
3-2	การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คอนกรีตมวลเบา.....	35
3-3	สรุปการศึกษาอัตราส่วนผสมของกากของเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม.....	37
3-4	สรุปการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมกากของเสีย.	41
4-1	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.	43
4-2	ผลการทดลองในการหาระยะเวลาในการอบไอน้ำและ อัตราส่วนของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด.....	45
4-3	ผลการทดลองอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสม.....	48
4-4	ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนต่อของแข็งทั้งหมด.....	50
4-5	ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์.....	53
4-6	ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์.....	56
4-7	การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์.....	58
4-8	การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.....	58
4-9	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.....	59

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ.....	6
2.2	แผนผังการผลิตคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2).....	21
3-1	ชนิดและปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (Total Heavy Metals).....	33
3-2	ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา.....	34
3-3	ขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา.....	36
3-4	ขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนผสมของกากของเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม.....	38
3-5	แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET).....	40
3-6	แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP)	41
4-1	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่แตกต่างกัน.....	45
4-2	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่แตกต่างกัน.....	45
4-3	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่แตกต่างกัน...	47
4-4	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่แตกต่างกัน...	47
4-5	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน.....	49
4-6	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน.....	49
4-7	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน..	51
4-8	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน..	52
4-9	อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	52
4-10	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	54
4-11	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	55

รูปที่		หน้า
4-12	อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน	55
4-13	ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายจากของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน	57
4-14	ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน	57