

การใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีในการผลิตคอนกรีตมวลเบา



นาย ฌภัทร โชติมงคล

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

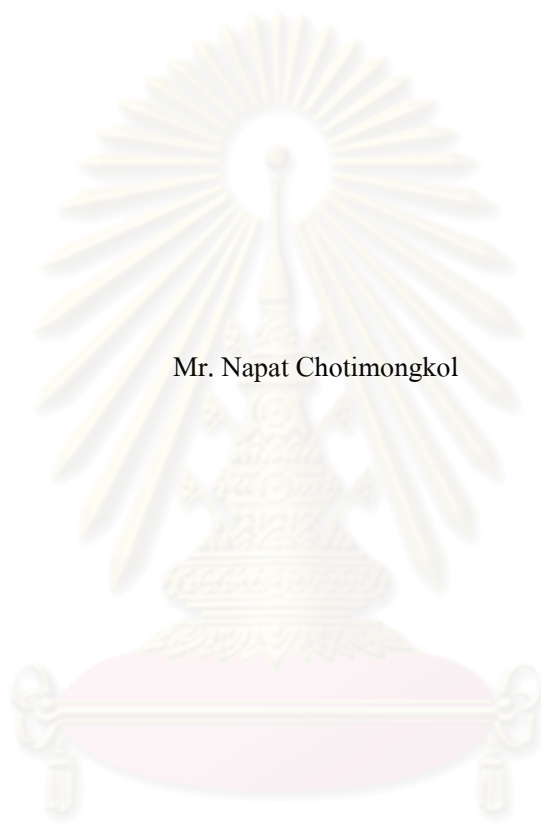
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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



Mr. Napat Chotimongkol

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

โดย

นาย ฌภัทร โชติมงคล

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



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

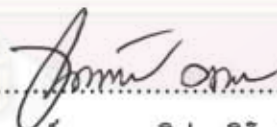
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชนาธิป ผาอีโน)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์)

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

สังกะสีเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นใยเรยอน ทำให้ของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอน โดยเฉพาะในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมีความเข้มข้นของสังกะสีสูงมากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมทำให้กากของเสียชนิดนี้จัดเป็นของเสียอันตราย การจัดการกากของเสียอันตรายประเภทนี้ส่วนใหญ่นิยมการปรับเสถียรและหล่อก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ก่อนนำฝังกลบในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย โดยวิธีการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและพื้นที่หลุมฝังกลบมีจำกัด

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

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิติศ สกวีรส โชติมงคล
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2553.....

50706858 1: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

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

NAPAT CHOTIMONGKOL: UTILIZATION OF ZINC CONTAMINATED SLUDGE IN PRODUCTION OF
LIGHT-WEIGHT CONCRETE ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR MANASKORN RACHAKORNKU,
Ph.D., 74 pp.

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 ratio Aluminum 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 ratio 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.

Field of Study : Environmental Engineering.

Academic Year : 2010.....

Student's Signature

Advisor's Signature

Napat Chotimongkol
[Signature]

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษาแนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเชิษฐ์ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนอาจารย์ ดร. ชนาธิป ศาริโน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ ที่ได้ให้คำชี้แนะปรึกษา และแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ดร.ชารทิพย์ พันธุ์เมธาฤทธิ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย 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.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
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 วัสดุดิบ.....	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 วัสดุไม่ใช่แล้ว.....	11
2.2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ที่เป็นของเสียอันตราย.....	13

2.2.3.1	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นสารไวไฟ.....	13
2.2.3.2	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารกัดกร่อน.....	14
2.2.3.3	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยา ได้ง่าย.....	14
2.2.3.4	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารพิษ.....	15
2.2.3.5	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน.....	16
2.2.4	การหาค่าความเข้มข้นทั้งหมด การสกัดสาร และการวิเคราะห์ หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด.....	16
2.2.4.1	การเตรียมตัวอย่างของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.....	16
2.2.4.2	การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET).....	18
2.2.4.3	การวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสาร อันตราย.....	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	การปรับเสถียรและทำให้แข็งตัวของ กากของเสียโลหะหนักด้วยคอนกรีต.....	28
บทที่ 3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
3.1	ตัวอย่างวัตถุประสงค์ในการคอนกรีตมวลเบาและกากของเสียสังกะสี ที่ใช้ในการวิจัย.....	29
3.1.1	วัตถุประสงค์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา.....	29
3.1.2	ตัวอย่างกากของเสียสังกะสี.....	30
3.2	เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	30
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
3.4.1	การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม 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
3.6.2	การสกัดด้วยวิธี 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
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 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	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 หรือชนิดของสิ่ง ปฏิภนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปฏิภนหรือ วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548).....	12
3-1	การศึกษาลักษณะทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี...	32
3-2	การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการ สังเคราะห์คอนกรีตมวลเบา.....	35
3-3	สรุปการศึกษ้อัตราส่วนผสมของกากของเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม.....	37
3-4	สรุปการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมกากของเสีย.	41
4-1	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.	43
4-2	ผลการทดลองในการหาระยะเวลาในการอบไอน้ำและ อัตราส่วนของน้ำต่อ ของแข็งทั้งหมด.....	45
4-3	ผลการทดลองอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสม.....	48
4-4	ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนต่อของแข็งทั้งหมด.....	50
4-5	ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์.....	53
4-6	ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์.....	56
4-7	การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบ ไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์.....	58
4-8	การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบ ไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.....	58
4-9	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบ ไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี.....	59

สารบัญญภาพ

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	ขั้นตอนการศึกษ้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา.....	36
3-4	ขั้นตอนการศึกษ้อัตราส่วนผสมของกากของเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม.....	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

4-12	อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	55
4-13	ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายจากของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	57
4-14	ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	57



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดของเสียอันตรายอยู่มากมาย และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต และโรงงานผลิตวัตถุดิบเส้นใยเรยอนก็เป็นหนึ่งในนั้น โดยส่วนใหญ่กระบวนการผลิตนั้นจะก่อให้เกิดกากของเสียที่มีสังกะสี (Zn) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งกากของเสียอันตรายเหล่านี้มีความเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยการจัดการของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่นิยม ได้แก่ การทำให้เสถียรร่วมกับการหล่อแข็ง ก่อนส่งไปยังหลุมฝังกลบ ของเสียอันตราย แต่เนื่องจากแนวโน้มในการผลิตเส้นใยเรยอนมีมากขึ้นส่งผลให้กากของเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่พื้นที่ในการฝังกลบมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการนำไปกำจัดมีราคาสูงมาก จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการนำกากของเสียดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

จากแนวคิดเรื่องการประยุกต์ใช้กากของเสียผสมในผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และคอนกรีต เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของการของเสียและลดต้นทุนในการกำจัดของเสียอันตรายนั้น การผลิตก้อนอิฐมวลเบาเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความแข็งแรงและมีน้ำหนักที่เบา เนื่องจากการเติมส่วนผสมสร้างรูพรุน (Pore Generating Admixture) และเร่งปฏิกิริยาด้วยการอบไอน้ำ จึงมีชื่อเรียกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Lightweight Concrete, AAC) จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการทำวิจัย

ดังนั้น การนำของเสียอันตรายมาใช้ในเป็นวัสดุทดแทนในการผลิตก้อนคอนกรีตมวลเบา จึงถือได้ว่าเป็นการจัดการของเสียอันตรายขั้นสุดท้าย โดยไม่ต้องมีการปรับเสถียรและการหล่อแข็ง อีกทั้งไม่ต้องนำไปฝังกลบ เป็นการลดพื้นที่ฝังกลบที่มีอยู่อย่างจำกัด เป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

ถึงแม้ว่าการนำกากอุตสาหกรรมมาใช้ในการผลิตก้อนคอนกรีตมวลเบาจะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็ยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ในการนำคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตได้มาใช้งานจริง ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเพื่อตอบคำถามที่ว่า โลหะหนักที่มีอยู่มีความเสถียรหรือไม่ โลหะหนักจะส่งผลต่อการนำคอนกรีตมวลเบาไปใช้งานจริงหรือไม่ อย่างไร

โดยในการวิจัยนี้จะหาค่าส่วนผสมต่างๆที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบา และอัตราส่วนของกากของเสียที่สามารถเติมได้ และ พิจารณาความเสี่ยงของก้อนอิฐมวลเบาที่ผสมกากของเสียแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน โครงการวิจัยการใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสียในการผลิตคอนกรีตมวลเบา คือ

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของของเสีย

1.2.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำและส่วนผสมต่างๆที่เหมาะสมต่อการทำก้อนอิฐมวลเบา

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่ของเสียอันตราย อันได้แก่ค่าการดูดกลืนน้ำกำลังรับแรงอัด และ ความหนาแน่น

1.2.4 ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการนำก้อนอิฐมวลเบาที่เติมกากของเสียแล้วไปใช้โดยใช้การชะละลาย (leaching test)

1.3 ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัย

1.4.1 ทำการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.2 ใช้กากของเสียจริงและกากของเสียสังเคราะห์ในการทำวิจัย

1.4.3 หาเวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำของก้อนอิฐมวลเบาในช่วงเวลา 10-16 ชั่วโมง

1.4.4 หาอัตราของส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมและซิลิกาที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบา ในช่วง 65:35 60:40 และ 55:45

1.4.5 หาอัตราของส่วนผสมของผงอลูมิเนียมที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาในช่วง ร้อยละ 0.3-0.5 ของน้ำหนักของของแข็งทั้งหมด

1.4.6 หาอัตราของกากของเสียที่สามารถเติมลงไปก้อนอิฐมวลเบาได้ในช่วง ร้อยละ 0-20 ของน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดก่อนการเติมกากของเสีย

1.4.7 หาอัตราของส่วนน้ำที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาในช่วง ร้อยละ 0.3-0.5 ของน้ำหนักของของแข็งทั้งหมด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 นำสัดส่วนของส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำมาทำคอนกรีตมวลเบาที่มีกากของเสียน

1.5.2 ทราบถึงปริมาณของกากของเสียที่สามารถเติมได้ในการผลิตปูนซีเมนต์

1.5.3 เพิ่มมูลค่าของกากของเสียและลดต้นทุนในการกำจัด

1.5.4 ทราบถึงผลกระทบของส่วนประกอบอื่นๆของกากของเสียนอกจากสังกะสีที่มีต่อการผลิตคอนกรีตมวลเบา



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานโครงการวิจัยการใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา นั้นจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาตามหลักการและ ทฤษฎีประกอบด้วย 6 หัวข้อที่สำคัญคือ

- 2.1 คอนกรีตมวลเบา
- 2.2 กากของเสียอันตราย
- 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน
- 2.4 สังกะสี
- 2.5 การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสีย
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete)

คอนกรีตมวลเบา มีมากมายหลายประเภท คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุดิบและกระบวนการผลิตที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแตกต่างกันด้วยคอนกรีตมวลเบา โดยทั่วไป อาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non - Autoclaved System) ซึ่ง จะแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบาที่มากกว่ามาทดแทนเช่น จี๊เลื่อย จี๊เถ่าซานอ้อย หรือเม็ดโฟม ทำให้ คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้นแต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สาร เหล่านี้จะเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟูและทิ้งให้ แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่ายไม่ค่อยแข็งแรง

2) ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) ซึ่งแบ่งตามวัสดุที่ใช้ในการ ผลิตได้เป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 Lime Base ใช้ปูนขาวซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยากมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอมีการดูดซึมน้ำมากกว่า

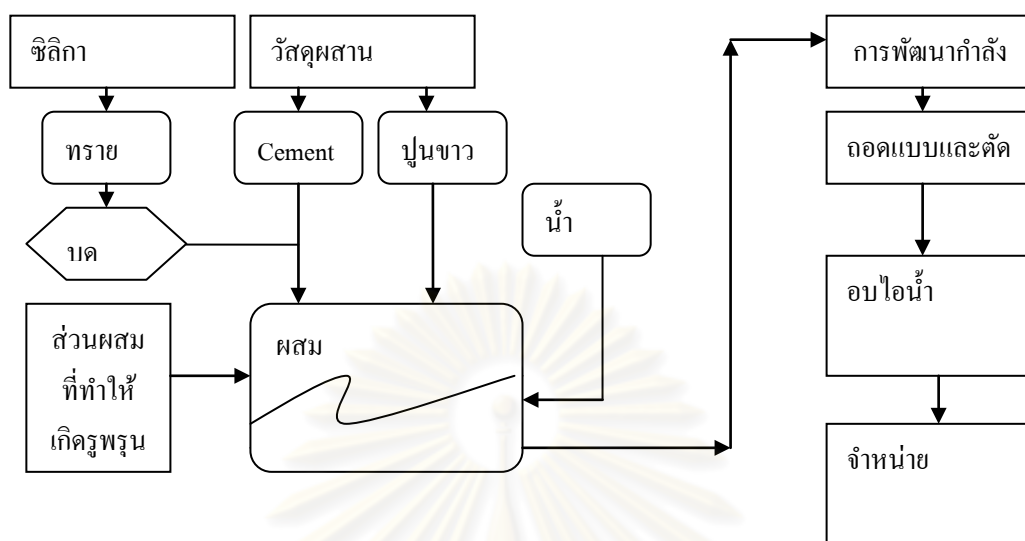
ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้อคอนกรีต มีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้วยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้อคอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าผลิตในระบบอื่นมาก

2.1.1 คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Lightweight Concrete, AAC)

คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete) มีการคิดค้นและพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1881 โดยนายไมร์ลแชร์ คริส ชาวสวีเดนเป็นผู้ริเริ่มการบ่มคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด และปูนขาวด้วยไอน้ำ ต่อมาในปีค.ศ. 1914 นายแอลสวอร์ธ ชาวอังกฤษได้พัฒนาต่อจากนายไมร์ลแชร์ ด้วยการเติมอากาศด้วยผงโลหะ เพื่อทำปฏิกิริยาเคมีให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในมอดาร์ เพื่อลดน้ำหนักในเนื้อมอดาร์ และในเวลาต่อมา ในปีค.ศ. 1923 นายจอร์น เอ อิริกสันท์ ชาวสวีเดนได้พัฒนาการเติมฟองอากาศ และการบ่มด้วยไอน้ำ เพื่อให้วัสดุมีความเบาขึ้น โดยการวิเคราะห์หาส่วนผสม และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด จนได้ข้อสรุปในที่สุดในปี ค.ศ. 1929 ในประเทศเยอรมันได้นำเอาแนวคิดนี้มาพัฒนาระบบการผลิตด้วยเครื่องจักรระบบอัตโนมัติ สำหรับผลิตเป็นคอนกรีตก่อผนังเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือนเสียหายจากสงครามโลกตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา และเป็นอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่ได้รับความนิยมแพร่หลายไปในหลายๆประเทศทั่วโลก เหตุที่คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำได้รับความนิยมแพร่หลายเนื่องจากคุณสมบัติต่างๆที่เหนือกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ได้แก่ น้ำหนักเบาทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย และสะดวกรวดเร็ว สามารถกัน เสียง และความร้อน ในปี ค.ศ. 2002 XellaNeuesBauen ได้รวบรวมบริษัทผู้เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์จาก Hebel, Ytong, Sika ภายใต้เทคโนโลยีการผลิตรูปแบบเดียวกันเข้าเป็นผู้ถือลิขสิทธิ์แต่เพียงผู้เดียวโดยใช้ชื่อ Xella ทั้งนี้ WEHRAHN 1892 ไม่ได้เข้าร่วมการควบคุมกิจการด้วย

การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มีองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ซิลิกา (Siliceous) ได้แก่ มวลรวมละเอียด หรือ

ทรายละเอียด วัสดุผสม (Calcareous) ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ ปูนขาว สุดท้ายคือการพัฒนากำลัง (Reinforcement)



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ทั้งสามส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กัน ตั้งแต่เริ่มการผสมวัตถุดิบลงในถังผสมไปจนถึงการถอดออกจากแบบหล่อเพื่อนำมอเตอร์ที่ได้ไปเข้าสู่อบไอน้ำ ซึ่งการอบด้วยไอน้ำเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ระหว่างออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) จากปูนซีเมนต์ และปูนขาว และน้ำ ที่อายุการบ่มประมาณ 12-14 ชั่วโมง จะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตในระยะเวลาสั้นๆ ดังกล่าว ดังที่แสดงไว้ใน แผนภาพที่ 1 จากแผนผังจะเห็นได้ว่า การพัฒนากำลังในช่วงแรกจะเกิดหลังจากเทวัสดุผสมลงในแบบหล่อเป็นการพัฒนากำลังระยะที่หนึ่ง ส่วนการพัฒนากำลังระยะที่สอง เกิดขึ้นหลังจากผ่านการอบด้วยไอน้ำซึ่งจะทำให้เกิด ผลึกเคนไฮดรัสซึ่งเป็นการทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยทั่วไปจากกระบวนการผลิตขั้นต้นจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถควบคุมระบบการผลิตได้ง่าย ใช้แรงงานที่ประจำแต่ละจุดน้อย สามารถเพิ่มผลผลิตได้ง่ายกว่า ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ 48 ของโลกที่เป็นผู้ผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ จากผลผลิตที่ได้จะใช้เวลาความหนาแน่นเป็นตัวกำหนดในการออกแบบส่วนผสมเพื่อใช้ในการผลิตเป็นรูปแบบของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ

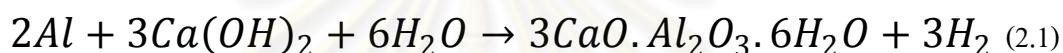
2.1.2 วัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

วัตถุดิบหลักในการในการผลิตคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนขาว มวลผสมประกอบด้วยวัสดุซิลิกาหรือทรายควอตซ์หรือตะกรันจาก

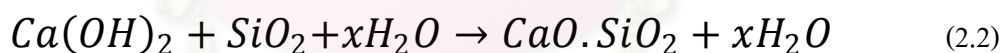
เตาถลุงแบบพ่นลมหรือถ้ำถ่านหินหรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสารเช่นโคลนฝุ่นสารอินทรีย์ในจำนวนที่อาจเป็นผลเสียนำมาบดละเอียดโดยให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร และสารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ซึ่งเป็นวัสดุกักกระจายฟองอากาศให้มีขนาดเสถียรภาพและควบคุมเวลาในการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์โดยต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

2.1.3 ปฏิริยาไฮเดรชันของกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ปฏิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตมวลเบาจะแตกต่างจากปฏิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ทั่วไป เนื่องจากมีอะลูมิเนียมในการเร่งการทำปฏิริยาไฮเดรชันด้วย ทั้งนี้ อะลูมิเนียมช่วยให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิริยากับหินปูน ส่งผลให้ภายในเนื้อคอนกรีตเกิดรูพรุนขนาดเล็กที่ช่วยทำให้น้ำหนักเบา ปฏิริยาดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (2.1)



ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะกระจายไปในบรรยากาศและให้อากาศเข้ามาแทนที่ หลังจากนั้น จะทำการบ่มเพื่อเสริมกำลังให้แก่คอนกรีตในขณะนี้ก่อนคอนกรีตจะยังไม่แข็งตัว สามารถนำไปตัดตามขนาดที่ต้องการได้ หลังจากการตัดแล้วจะนำไปอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 175 – 190 องศาเซลเซียส ที่ความดันไอน้ำ 125 -150 psi เป็นเวลา 12-14 ชั่วโมง โดยปฏิริยาระหว่างการอบไอน้ำนั้นมีความซับซ้อน จึงสรุปง่าย ๆ ได้ดังสมการที่ (2.2)



2.1.4 การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

2.1.4.1 ขนาดของก้อนคอนกรีตมวลเบา

ในการวัดขนาดของคอนกรีตมวลเบาใช้อุปกรณ์คือเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร เวอร์เนียที่วัดได้ถึง 200 มิลลิเมตร และเหล็กฉากที่มีความยาวแต่ละด้านไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร โดยทำการวัดที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้นๆ โดยขนาดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ขนาดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)
200	600	75
300		90
400		100
		125
		150
		175
		200
		250

การวัดความได้ฉาก วัดโดยทาบทเหล็กฉากที่ด้านสั้นของตัวอย่างจากนั้นวัดความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นที่ระยะประมาณ 300 มิลลิเมตรจากมุมของเหล็กฉาก โดยมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

2.1.4.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

ในการวัดความหนาแน่นเชิงปริมาตร มีอุปกรณ์ดังนี้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตรเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัมและตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตรโดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยให้วัดปริมาตรและมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้รายงานความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ยจากสมการที่ (2.3)

ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง = $\frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบปริมาตรของชิ้นทดสอบ}}{(2.3)}$

โดยค่ามาตรฐานของความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมีดังตาราง 2-2

ตารางที่ 2-2 การแบ่งชนิดและชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (เฉลี่ย) (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
2	2.5	2.0	0.4	0.31-0.4
			0.5	0.41-0.5
4	5.0	4.0	0.6	0.51-0.6
			0.7	0.61-0.7
			0.8	0.71-0.8
6	7.5	6.0	0.7	0.61-0.7
			0.8	0.71-0.8
8	10	8.0	0.8	0.71-0.8
			0.9	0.81-0.9
			1.0	0.91-1.0

2.1.4.3 ความต้านแรงอัด

ในการวัดความต้านแรงอัดมีอุปกรณ์ดังนี้ เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร เครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100 นิวตัน และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที และตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 75 องศาเซลเซียส สำหรับการอบหาปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 ก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบที่ตำแหน่งตอนบนตอนกลางและตอนล่างของคอนกรีตมวลเบาให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายแสดงด้านยาวของตัวอย่างทำการทดสอบเมื่อขึ้นทดสอบมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 กรณีขึ้นทดสอบมีความชื้นมากกว่าที่กำหนดให้อบขึ้นทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นตามที่ต้องการ กรณีขึ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนาเมื่อเตรียมขึ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยกดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุในมอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 2-3 ในแนวตั้งฉากกับด้านยาวของชิ้น

ตัวอย่างงานได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อขึ้นทดสอบแตกเสียหายแล้ววัดปริมาณความชื้นของขึ้นทดสอบ โดยค่ามาตรฐานของความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมีดังตาราง 2-3

ตารางที่ 2-3 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

ชั้นคุณภาพ	กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
2	0.05
4	0.10
6	0.15
8	0.20

2.1.4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

ในการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวมีอุปกรณ์ดังนี้ เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.005 มิลลิเมตร เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม อ่างน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส + 2 องศาเซลเซียส ห้องหรือภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส + 2 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 43 + ร้อยละ 2 ได้ และตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมขึ้นทดสอบ โดยตัดขึ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร x 160 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร และให้ด้านยาวของขึ้นทดสอบขนานกับด้านยาวของตัวอย่างเมื่อเตรียมขึ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยนำขึ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นซึ่งมวลและวัดความยาวของขึ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 แล้วนำขึ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำโดยผิวบนของขึ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นให้เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิดซึ่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของขึ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 หลังจากนั้นวัดความยาวและซึ่งมวลของขึ้นทดสอบทุก 3 วันจนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุลโดยขึ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร (2.4) โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวต้องไม่เกิน 0.05

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ (R)} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ l_1 คือความยาวของขึ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมตร

๒ คือความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุลเป็นมิลลิเมตร

2.1.4.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

ในการวัดอัตราการดูดกลืนมีอุปกรณ์ดังนี้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตรเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัมและตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียสก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตรกรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนาเมื่อเตรียมชิ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยอบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียสปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงจากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก้อน แล้วแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออกใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาทีน้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ กรณีตัวอย่างไม่ผ่านการทดสอบให้ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ตัวอย่างเดิมกับน้ำกลั่นอีก 1 ครั้งโดยค่ามาตรฐานของอัตราการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 กากอุตสาหกรรม

2.2.1 ความหมายของกากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรม หมายถึง ของที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต หรือสิ่งของที่เหลือสภาพจนใช้การไม่ได้ หรือไม่ต้องการใช้อีกต่อไป ซึ่งอาจมีคุณสมบัติหรือความเข้มข้นในระดับที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้โดยจะแบ่งของเสียอุตสาหกรรมตามที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.2 การกำหนดรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจะถูกแบ่งออกเป็น 19 หมวดหมู่ และมีการกำหนดรหัสเฉพาะของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยใช้รหัสเลข 6 หลัก *ตัวเลขสองหลักแรก* แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วแสดงดังตารางที่ 3.4 *ตัวเลขสองหลักกลาง* แสดงถึงกระบวนการเฉพาะในการประกอบกิจการนั้นๆ ที่ทำให้เกิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หรือเป็นชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว *ตัวเลขสองหลักสุดท้าย*

แสดงถึงลักษณะเฉพาะของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น เช่นรหัส 05 07 01 หมายถึง สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (05) จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ (07) ที่ปนเปื้อนด้วยสารปรอท (01) เป็นต้น ในการกำหนดรหัสที่เหมาะสมกับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ให้พิจารณาตามขั้นตอนต่อไปนี้ คือ

1. พิจารณาว่าสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เกิดขึ้น มาจากกระบวนการที่สอดคล้องกับหมวด 01 ถึง หมวด 12 หรือ หมวด 17 ถึง หมวด 19 หรือไม่ โดยให้หารหัสเลข 6 หลักที่เหมาะสมในหมวดเหล่านี้ ยกเว้นรหัสที่มีเลข 2 หลักสุดท้ายเป็น 99
2. หากไม่สามารถหารหัสที่เหมาะสมตามขั้นตอนแรกได้ ให้ตรวจสอบรหัสตามชนิดของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ในหมวด 13 ถึง 15
3. ถ้ายังไม่สามารถระบุได้ ให้ตรวจสอบรหัสสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วในหมวด 1
4. หากยังไม่สามารถระบุรหัสเลข 6 หลัก จากหมวด 16 ได้ ให้กลับไปใช้รหัสที่มีเลข 2 หลักสุดท้ายเป็น 99 ในหมวดที่เกี่ยวข้องในข้อแรก

ตารางที่ 2-4 ตัวเลขสองหลักแรกที่แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปฏิภูลหรือ วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ.

2548)

หมวด 01	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการสำรวจ การทำเหมืองแร่ การทำเหมืองหิน และการปรับสภาพแร่ธาตุ โดยวิธีกายภาพและเคมี
หมวด 02	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการเกษตรกรรม การเพาะปลูกพืชสวน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำป่าไม้ การล่าสัตว์ การประมง การแปรรูปอาหารต่างๆ
หมวด 03	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการแปรรูปไม้ และการผลิตแผ่นไม้เครื่องเรือน เชื้อกระดาษ กระดาษ หรือกระดาษแข็ง
หมวด 04	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมเครื่องหนัง ขนสัตว์ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ
หมวด 05	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม การแยกก๊าซธรรมชาติ และกระบวนการบำบัดถ่านหิน โดยการเผาแบบไม่ใช้ออกซิเจน
หมวด 06	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการผลิตสารอินทรีย์ต่างๆ
หมวด 07	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการผลิตสารอินทรีย์ต่างๆ
หมวด 08	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการผลิต การผสมตามสูตร การจัดส่ง และการใช้งานของสี สารเคลือบเงา สารเคลือบผิว กาว สารติดผนัง และหมึกพิมพ์

ตารางที่ 2-4 ตัวเลขสองหลักแรกที่แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปฏิกูลหรือ วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548)(ต่อ)

หมวด 09	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการถ่ายภาพ
หมวด 10	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการใช้ความร้อน
หมวด 11	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการปรับสภาพผิวโลหะและวัสดุต่างๆ ด้วยวิธีเคมี รวมทั้งการชุบเคลือบผิว และของเสียจากกระบวนการ non-ferrous hydro-metallurgy
หมวด 12	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการตัดแต่ง และปรับสภาพผิว โลหะพลาสติก ด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือเชิงกล
หมวด 13	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภท น้ำมันและเชื้อเพลิงเหลว ไม่รวมน้ำมันที่บริโภคนได้
หมวด 14	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทตัวทำละลายอินทรีย์ สารทำความเย็น สารขับเคลื่อน ที่ไม่รวมไว้ในหมวด 07 และหมวด 08
หมวด 15	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทบรรจุภัณฑ์ วัสดุดูดซับ ผ้าสำหรับเช็ดวัสดุตัวกรอง และชุดป้องกันที่ไม่ได้ระบุไว้ในหมวดอื่น
หมวด 16	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทต่างๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในหมวดอื่น
หมวด 17	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากงานก่อสร้างและการรื้อทำลายสิ่งก่อสร้างรวมถึงดินที่ขุดจากพื้นที่ปนเปื้อน
หมวด 18	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการสาธารณสุขสำหรับมนุษย์และสัตว์ รวมถึงการวิจัยทางด้านสาธารณสุข
หมวด 19	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากโรงปรับคุณภาพของเสีย โรงบำบัด น้ำเสีย โรงผลิตน้ำประปา และโรงผลิตน้ำใช้อุตสาหกรรม

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีรหัสเลข 6 หลักที่กำกับด้วยตัวอักษร HA (Hazardous waste Absolute entry) หรือ HM (Hazardous waste – Mirror entry) ให้ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีคุณสมบัติเป็นของเสียอันตราย ตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้ สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีรหัสกำกับด้วย HM ผู้ประกอบการต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด ในกรณีที่ต้องการโต้แย้งว่าสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วดังกล่าวไม่เข้าข่ายเป็นของเสียอันตราย ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้รหัสเลข 6 หลักของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วตามประกาศกระทรวงเรื่องการจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

2.2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย

2.2.3.1 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นสารไวไฟ (Ignitable Substance)

1. เป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่ไม่รวมถึง สารละลายที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่น้อยกว่า 24% โดยปริมาตร วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำโดย

การวัดด้วยเครื่องมือ Pensky-Martens Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM Standard D-93-79 หรือ D-93-80 หรือการวัดโดยเครื่องมือ Setaflash Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM Standard D-3278-78

2. เป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถลุกเป็นไฟได้ เมื่อมีการเสียดสี หรือเมื่อมีการดูดความชื้น หรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเองภายในสารนั้น และเมื่อเกิดลุกเป็นไฟจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและอย่างต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส)

3. เป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้ (Ignitable compressed gas) ซึ่งก๊าซอัดนี้จะหมายถึง วัสดุหรือของผสมใดๆ ที่บรรจุในถังที่มีความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure) มากกว่า 2.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส หรือมีความดันสมบูรณ์มากกว่า 7.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์จะทำตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D-323

4. เป็นสารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) โดยสามารถไปกระตุ้นให้สารอินทรีย์เกิดการเผาไหม้ได้ ได้แก่สารประกอบจำพวก Chlorate permanganate inorganic peroxide และ Nitrate

2.2.3.2 สิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารกัดกร่อน (Corrosive substances)

1. เป็นสารละลาย (Aqueous solution) ที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า และค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า วิธีทดสอบหรือวิเคราะห์ทำโดยวัดด้วย pH-meter ตามวิธีทดสอบของ USEPA Method 9040

2. เป็นของเหลวที่กัดกร่อนเหล็กกล้าชั้น SAE 1020 ได้ในอัตราสูงกว่า 6.35 มิลลิเมตรต่อปี ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิเคราะห์ทำโดยวิธีทดสอบของ NACE (National Association of Corrosion Engineers) Standard TM-01-69

2.2.3.3 สิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances)

1. เป็นสารที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว รุนแรง และโดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น

2. เป็นสารที่ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ

3. เป็นสารที่รวมกับน้ำแล้วได้ของผสมที่เกิดการระเบิดได้

4. เป็นสารที่ผสมกับน้ำแล้วก่อให้เกิดก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้นในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้

5. เป็นสารที่มีองค์ประกอบของไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ระหว่าง 2 ถึง 11.5 แล้ว สามารถก่อให้เกิด ก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้นในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้

6. เป็นสารที่เมื่อถูกทำให้ร้อนในพื้นที่ที่จำกัดจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาระเบิดรุนแรง

7. เป็นสารที่สามารถระเบิดได้ทันที หรือเกิดปฏิกิริยาระเบิดได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) และมีปฏิกิริยารุนแรง

2.2.3.4 สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารพิษ (Toxic substances)

1. เป็นสารที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม เพราะมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นพิษแบบเฉียบพลัน เป็นพิษแบบเรื้อรัง มีคุณสมบัติสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม

2. เป็นสารที่มีความเป็นพิษ คือ เป็นสารที่มีค่า Acute oral LD₅₀ น้อยกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมเมื่อใช้หนูเป็นสัตว์ทดลอง หรือมีค่า Acute inhalation LC₅₀ น้อยกว่า 10,000 ส่วนในล้านส่วนในสภาพของไอหรือก๊าซ หรือเมื่อใช้กระด่ำยเป็นสัตว์ทดลอง มีค่า Acute dermal LD₅₀ น้อยกว่า 4,300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ ค่า LD₅₀ หมายถึง ค่า(ปริมาณ)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal dosage) ที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD₅₀ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LC₅₀ หมายถึง ค่า(ความเข้มข้น)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LC₅₀ มีหน่วยเป็นล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของสารพิษต่อล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

3. เป็นสารที่มีค่า Acute aquatic 96-hour LC₅₀ น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อวัดในน้ำอ่อน (ความกระด้างทั้งหมด เท่ากับ 40-48 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) กับปลา fathead minnows (Pimephales promelas) ปลา rainbow trout (Salmo gairdneri) หรือปลา golden shiners (Notemigonus crysoleucas) ตามที่กำหนดใน Part 800 ของ the "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (16th Edition)," American Public Health Association, 1985

4. เป็นสารที่มีองค์ประกอบของสารที่ระเหยไว้ในปริมาณความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่ง หรือปริมาณรวมของสารทั้งหมด มากกว่าหรือเท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนักสารนั้น ได้แก่ 2-

Acetylaminofluorene (2-AAF), Acrylonitrile, 4- Aminodiphenyl, Benzeidine and its salts, bis (Chloromethyl) ether (BCME), Methyl chloromthyl ether, 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP), 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts (DCB), 4-Dimethylaminoazobenzene (DAB), Ethyleneimine (EL), alpha-Naphthylamine(1-NA), beta-Naphthylamine (2-NA), 4-Nitrobiphenyl (4-NBP), N-Nitrosodimethylamine (DMN), beta-Propiolactone (BPL) และ Vinyl chloride (VCM)

2.2.3.5 สิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน

1. เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (มก./กก. โดยน้ำหนัก) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548

2. เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (มก./ล.) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (SPLC) ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548

3. การทดสอบสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ที่นำมาสกัดโดยวิธี Waste Extraction Test (WET) จะทำขึ้นเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Concentration) ของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกินค่า TTLC แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดไว้ หรือเมื่อต้องการนำสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

2.2.4 การหาค่าความเข้มข้นทั้งหมด การสกัดสาร และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด

2.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างของสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

การเตรียมตัวอย่างของสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ต้องการจะหาค่าความเข้มข้นของสารอันตรายทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Total Concentration) หรือปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (Extractable Concentration) ให้ใช้วิธีต่อไปนี้

1. ชนิดที่ 1 – สำหรับสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่สามารถบดได้ จะต้องนำไปร่อน หรือไปบดเพื่อให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานก่อนที่จะนำไป

วิเคราะห์ หากตัวอย่างมีวัสดุที่ไม่สามารถบดได้ และร้อนไม่ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่กำหนด และเป็นวัสดุที่ปนเปื้อนมาไม่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเดิมของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ให้แยกออกไปแล้วทิ้ง ส่วนที่เหลือให้นำมาร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ก่อนจะนำไปรวมและผสมกับตัวอย่างที่ไม่ต้องบด แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2. ชนิดที่ 2 - สำหรับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่สามารถนำไปกรองได้ และมีองค์ประกอบของของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะต้องทำการกรองตัวอย่างเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลวโดยการกรองผ่านเมมเบรน (membrane filter) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน ทำการวัดปริมาณของส่วนที่กรองได้และเก็บไว้ ส่วนนี้จะถือว่าเป็น Initial Filtrate ส่วนของแข็งที่แยกได้ก็จะนำไปบดแล้วร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (สิ่งแปลกปลอมจะถูกแยกทิ้งไป) และนำไปผสมกับของแข็งที่ร้อนผ่านตะแกรง โดยไม่ต้องบดซึ่งส่วนที่เป็นของแข็งนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Waste Extraction Test (WET) โดยสัดส่วนของน้ำสกัดที่ใช้คือ 10 มิลลิลิตรของน้ำสกัดต่อหนึ่งกรัมของของแข็ง จากนั้นสารละลายที่สกัดได้จะถูกกรองและนำไปผสมกับ Initial Filtrate แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3. ชนิดที่ 3 - สำหรับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นกากตะกอน (Sludge) เกลน (Slurry) หรือเป็นน้ำมัน (Oily) น้ำมันดิน (Tarry) หรือมีลักษณะที่ไม่สามารถกรองหรือบดได้ หลีกจากแยกสิ่งแปลกปลอมแล้ว ตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4. หากจำเป็นที่จะต้องมีการตากแห้งตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือองค์ประกอบของแข็งก่อนทำการบด ร้อน หรือแยกสิ่งแปลกปลอมออก หรือได้มีการทำให้ของเสียนั้นแห้งก่อนทำการวิเคราะห์ จะต้องทำการบันทึกน้ำหนักที่หายไป และต้องบันทึกสภาพของการทำแห้งไว้ด้วย

5. ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ในการหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นในกรณีที่เป็นการหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 มิลลิเมตร

6. สำหรับสิ่งปฏิภูลหรือหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของเหลว หรือมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะไม่ต้องนำมาสกัด ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าของสารต่างๆ ได้โดยตรง และจะถือว่าเป็น

ของเสียอันตรายก็ต่อเมื่อ ค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารใดๆ มีค่ามากกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้สำหรับสารนั้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารนั้น มีค่าน้อยกว่าค่า TTLC แต่มากกว่าค่า SPLC เมื่อคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องนำตัวอย่างของเหลวนั้นมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาค่าของสารนั้น โดยจะถือว่าเป็นของเสียอันตราย ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในของเหลวที่ผ่านการกรองมีค่ามากกว่าค่า SPLC ที่ระบุไว้สำหรับสารนั้น

2.2.4.2 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

1. นำสกัดให้ใช้สารละลาย 0.2 โมลาร์ โซเดียมซิเตรท ที่มี pH 5.0 ± 0.1 โดยเตรียมจากการนำสารละลายกรดซิตริก ในปริมาณที่เหมาะสมมาปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วยสารละลาย 4.0 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายกรดซิตริก สามารถเตรียมได้โดยนำเอา analytical grade citric acid ไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) สำหรับการวิเคราะห์หาค่าเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (chromium (VI)) ให้ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นน้ำสกัด
2. นำตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกประเภท โพลีเอทิลีน (ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้วเมื่อต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตราย) ภาชนะที่ใช้ในการสกัด ควรผ่านการล้างอย่างต่อเนืองด้วยสารละลายกรดไนตริก ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการนำเอาสารละลายกรดไนตริกมาผสมกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร
3. เติมน้ำสกัด 500 มิลลิตรลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไป และป้องกันไม่ให้ออกซิเจนละลายลงไปในตัวอย่างไม่ให้เสร็จแล้วให้ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ Table shaker หรือ Overhead stirrer หรือ Rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์หาค่าสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น Trichloroethylene จะต้องทำการไล่อากาศและออกซิเจนออกจากน้ำสกัด ก่อนที่จะเติมลงในตัวอย่าง เพื่อหลีกเลี่ยงการระเหยของสารนั้น
4. จากนั้นนำของผสมไปกรอง หรืออาจไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน

5. ชนิดของแผ่นกรองที่ใช้ ควรมีองค์ประกอบของโลหะหนัก ฟลูออไรด์และสารอินทรีย์ที่สามารถชะออกมาได้ในปริมาณน้อยมาก
6. อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็น ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน method 1310 ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Method, SW-846, 3rd edition, U.S. Environmental Protection Agency, 1986
7. ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส
8. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จากข้อ (4) ลงในขวดโพลีเอทิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก จนความเข้มข้นของกรดในสารละลายผสมเป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)
9. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายด้วย หรือต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จากข้อ (4) ลงในขวดแก้ว ยกเว้นถ้าเป็นการวิเคราะห์หาฟลูออไรด์ ควรใช้ขวดโพลีเอทิลีน ห้ามทำการปรับสภาพให้เป็นกรด แต่ต้องนำไปแช่แข็งทันที จนกว่าจะมีการนำไปวิเคราะห์ ยกเว้นว่าจะทำการวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง
10. ก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารเป้าหมาย เพื่อที่จะหาว่าปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (Extractable Concentration, EC) ในตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า STLC ของสารนั้นหรือไม่ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ได้ระบุไว้ในหัวข้อถัดไป

2.2.4.3 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตราย (Total Concentration)

1. สำหรับโลหะและสารประกอบให้ใช้วิธีสกัดที่กำหนดไว้ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846, 2nd edition, U.S. Environmental Protection Agency, 1982 ดังนี้ คือ
 - Method 3050 สำหรับโลหะและสารประกอบทุกตัวยกเว้นโครเมียมเฮกซะวาเลนต์
 - Method 3060 สำหรับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์
2. สำหรับสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆ ยกเว้นสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic Lead Compounds) ให้ใช้วิธีที่กำหนดไว้ใน Chapter Two, “Choosing the Correct Procedure” ใน “Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods”, SW-846, 3rd edition and Update

3. สำหรับสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic Lead Compounds) ให้ใช้วิธีของ California Code of Regulation, Title 22 Social Security, Division 4.5 Environmental Health Standards for the Management of Hazardous Waste, Chapter 11 Identification and Listing of Hazardous Waste

2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน

2.3.1 กระบวนการผลิตหลัก/ผลิตเส้นใยเรยอน

นำเชื้อเซลลูโลสซึ่งอยู่ในรูปแผ่นกระดาษมาผสมกับด่างโซดาไฟในถังกวนเพื่อทำเป็นเชื้อด่าง (Alkali Cellulose) แล้วส่งไปยังเครื่องรีดโซดาไฟส่วนเกินออก เพื่อให้ได้เชื้อด่างที่มีอัตราส่วนของด่างโซดาไฟที่เหมาะสมตามต้องการ เชื้อด่างนี้จะถูกส่งต่อไปยังถังหมักที่มีการควบคุมเวลาและอุณหภูมิเพื่อให้โมเลกุลของเซลลูโลสสั้นลงตามที่ต้องการโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

หลังจากหมักแล้วเชื้อด่างจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ภายใต้สภาวะสูญญากาศเพื่อเปลี่ยนเป็นเซลลูโลสแซนเทส (Cellulose Xanthate) ซึ่งจะถูกนำไปทำละลายด้วยสารละลายด่างโซดาไฟ เกิดเป็นสารละลายที่เรียกว่า “วิสโคส” (Viscose)

สารละลายวิสโคสจะถูกนำไปกรองเพื่อนำส่วนที่ไม่ละลายออก พร้อมทั้งผ่านกระบวนการดูดฟองอากาศออกด้วย เพื่อให้ได้สารละลายที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปทำเป็นเส้นใยต่อไป

สารละลายวิสโคสที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจะถูกปั๊มไปยังหัวฉีดเส้นใย ซึ่งแต่ละหัวจะมีรูขนาดเล็กมากมายจุ่มอยู่ในสารละลายผสมของกรดกำมะถัน โซเดียมซัลเฟต และสังกะสีซัลเฟต วิสโคสที่ผ่านหัวฉีดแต่ละรูจะทำปฏิกิริยากับสารดังกล่าวแล้วเปลี่ยนรูปเป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องจำนวนมาก

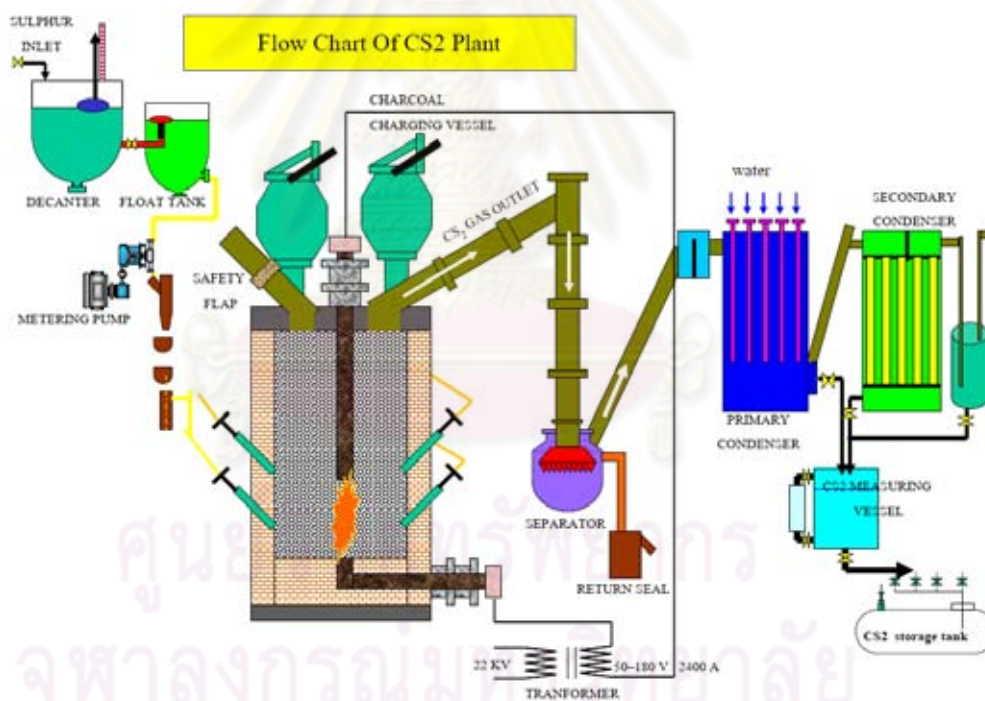
ขั้นตอนสุดท้าย เส้นใยที่ได้จะถูกส่งเข้าไปตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ เส้นใยที่ตัดแล้วจะถูกล้างสารเคมีออก ฟอกขาว ฟอกมัน จากนั้นจะนำเข้าสู่การอบแห้งและอัดเป็นก้อน (Bale) เพื่อส่งจำหน่ายต่อไป

2.3.1.1 กระบวนการผลิตเสริม/คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2)

กระบวนการผลิตเริ่มจากการนำถ่านมาเผาเพื่อไล่ความชื้นและสารระเหยออก หลังจากนั้นนำมาเติมลงในเตาผลิตซีเอสทู (CS_2) ถ่านที่อยู่ในเตาผลิตซีเอสทู จะถูกให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยการอาร์คของขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว จากนั้นกำมะถันเหลวจะถูกฉีดเข้าไปในเตาผลิตซีเอสทู กำมะถันจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีอยู่ในถ่าน เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนได

ซัลไฟด์ (CS_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเข้าไปในถัง Sulfur separator เพื่อแยกเอาไอรระเหยกำมะถันออกจากก๊าซ ส่วนที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกส่งผ่านเข้าระบบควบแน่น ก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์จะถูกควบแน่นเป็นคาร์บอนไดซัลไฟด์เหลว และจะถูกนำไปเก็บในถังเก็บ Crude CS_2 ในส่วนของ Crude CS_2 จะถูกนำมากลั่นให้เป็นคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่บริสุทธิ์ จากนั้นถึงจะส่งไปใช้ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ก๊าซที่ผ่านระบบควบแน่นแล้วจะถูกส่งผ่านเข้าระบบ Oil Scrubber เพื่อจะดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ออกให้หมด และจะได้คาร์บอนไดซัลไฟด์กลับคืนมา จากนั้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกส่งผ่านเข้าถังก๊าซไฮลเดอร์ และถูกนำไปเผากับออกซิเจนที่เตา Claus kiln เมื่อผ่านระบบ Converter จะได้เป็นกำมะถันเหลวกลับคืนมา ก๊าซส่วนที่ผ่าน Converter แล้วจะถูกบำบัดด้วยน้ำ จากนั้นจะถูกส่งผ่านเข้าไปเข้าระบบบำบัดก๊าซที่ H_2S Scrubber ต่อไป



รูปที่ 2-2แผนผังการผลิตคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2)

2.3.2 กระบวนการผลิตเสริม/กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

กำมะถันเหลวจะถูกปั๊มไปเข้าสู่เตาเผากำมะถันโดยใช้ลมจากพัดลม (Blower) ในการเผาไหม้ให้เกิดเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่อุณหภูมิ 950 – 970 ° C ก๊าซร้อนที่ได้จะถูกลดอุณหภูมิโดยส่งผ่านหม้อไอน้ำ ก๊าซที่ลดอุณหภูมิแล้วจะถูกส่งเข้าไปในถัง Converter เพื่อให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) โดยมีสารเร่ง

ปฏิกิริยา ก๊าซซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจาก Converter จะถูกลดอุณหภูมิก่อนจะส่งเข้าหอจับก๊าซ (Absorption tower) เพื่อจับก๊าซซัลเฟอร์ไดรอกไซด์เปลี่ยนเป็นกรดกำมะถัน ก๊าซที่เหลือจากหอจับก๊าซ จะถูกส่งเข้าหอบำบัดด้วยน้ำ (Water Scrubber) เพื่อบำบัดก๊าซชั้นที่ 1 หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าหอบำบัดด้วยสารละลายด่าง (Caustic Scrubber) ก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

ไอน้ำที่ได้จากกระบวนการผลิตสามารถนำไปหลอมละลายกำมะถัน ส่วนลมร้อนและน้ำร้อน ส่งไปให้แผนกออกซิลารี และแผนกสปinningตามลำดับ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

2.3.3 บริเวณที่เกิดมลพิษ

มลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตมี 3 ประเภท คือ อากาศเสีย น้ำเสีย และกากอุตสาหกรรม

1) มลพิษทางอากาศ ที่สำคัญ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีจุดที่เกิด 2 แห่ง คือ ที่เครื่องจักร Spinning machine เป็นผลจาก Side reaction ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารละลายวิสโคสให้กลายเป็นเส้นใยและที่ถังเก็บสารละลาย Spin bath ซึ่งใช้หมุนเวียนสารละลายและมลพิษอีกอย่างคือ ฝุ่นเขม่าจาก Boiler โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

2) น้ำเสีย มี 2 ประเภท คือ น้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดและมีสารโลหะหนักสังกะสี มีจุดกำเนิดที่ขั้นตอนกระบวนการล้างเส้นใยกับน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกลางหรือด่างและไม่มีสารโลหะหนักสังกะสี เป็นน้ำเสียที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ภายในโรงงาน

3) กากของเสียอุตสาหกรรม มี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ กากตะกอนของเสียสังกะสีซึ่งจัดเป็นกากของเสียอันตรายและ กากตะกอนชีวภาพ ซึ่งไม่จัดว่าเป็นกากของเสียอันตราย กากทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ โดยว่าจ้างบริษัท โพรเฟสชั่นแนลเวสต์เทคโนโลยี (1999) จำกัด (มหาชน)และบริษัท เบตเตอร์เวิลด์กรีน จำกัด (มหาชน)เป็นผู้ดำเนินการ

2.4 สังกะสี

สังกะสีหรือ Zinc (Zn) เป็นธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 30 ถือเป็นโลหะทรานซิชัน มีลักษณะทางกายภาพคือ มีสีเทาอ่อนแกมน้ำเงินมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวที่ 419.53 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 907 องศาเซลเซียส สังกะสีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เคลือบผิวของเหล็กกล้าเพื่อป้องกันสนิมใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ ใช้ผสมวัตถุระเบิด ใช้เป็นส่วนผสมของโลหะทองเหลืองและไฟฟ้า และยังเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต

การที่มีการผลิตและใช้สังกะสีอย่างแพร่หลายทำให้สังกะสีที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมมีมาก เป็นเงาตามตัวซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศน์ น้ำและดินในบริเวณที่มีการทำเหมือง สังกะสีจะมีค่าสังกะสีปนเปื้อนอยู่มาก ซึ่งระดับสังกะสีในแหล่งน้ำบางแห่งสูงถึง 50 ppm และมีการบันทึกว่าในดินมีสังกะสีปนเปื้อนอยู่ถึง 2000 ppm ถึง 180000 ppm ซึ่งสังกะสีเพียง 2 ppm ในน้ำจะมีผลต่อปริมาณออกซิเจนในเลือดของปลา ส่วนในดินนั้นระดับของสังกะสี 500 ppm จะมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช และในช่วง 50 ปีที่ผ่านมาที่มีอัตราการปล่อยสังกะสีสู่อากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก ร่างกายมีโอกาสดูดซับและสะสมโลหะสังกะสีเข้าไปในร่างกาย ซึ่งสังกะสีจะเข้าสู่ร่างกายได้จากการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีสังกะสีสามารถละลายปนในอาหารได้เร็วมาก สังกะสียังเข้าสู่ร่างกายได้ทางจุก จากการสูดหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสี ถ้าหากร่างกายได้รับสังกะสีเข้าไปมากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ อันตรายที่เกิดจากสังกะสีคือ ถ้ารับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสังกะสีปนอยู่จะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ส่วนใหญ่แล้วจะได้รับสังกะสีในรูปแบบของสังกะสีออกไซด์ ทางจุกได้จากการสูดหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสี จะมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ จะทำให้ระบบทางเดินหายใจอุดตัน ปอดอักเสบและถ้าหายใจเอาสังกะสีออกไซด์ มาก ๆ จะทำให้มีอาการอ่อนเพลียหน้าวสัน ปวดตามแขนขา และปวดศีรษะอย่างรุนแรงได้

2.5 กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัว (Stabilization and Solidification)

การปรับเสถียรของเสียคือการเติมสารเพื่อลดความอันตรายของของเสียโดยการเปลี่ยนของเสียและสภาพที่ก่อให้เกิดอันตรายให้อยู่ในรูปแบบที่แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยที่สุด หรือลดระดับความเป็นพิษ สามารถทำได้โดยการเติมสารที่มีสมบัติต่อไปนี้

- ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและช่วยให้การจัดการขยะง่ายขึ้น
- ลดพื้นที่ผิวของของเสียที่เกิดถ่ายเทสารปนเปื้อนออกไป
- จำกัดการละลายของมลพิษที่มีอยู่ในของเสีย
- ลดความเป็นพิษของสารปนเปื้อน

ส่วนการทำให้แข็งตัวคือกระบวนการเติมสารช่วยให้แข็งตัวลงสู่ของเสียอันตรายโดยจะทำให้ได้มวลรวมที่เป็นก้อนแข็ง ซึ่งทำได้โดยการเติมสารที่เพิ่มความแข็งแรง ลดความสามารถในการถูกบีบอัด และลดการรั่วซึมของของเสียได้ โดยความสามารถของของเสียที่ถูกปรับเสถียรแล้วในการสูญเสียสารปนเปื้อนถูกวัดด้วยการชะละลาย ซึ่งคือการที่สารปนเปื้อนถูกย้ายจากของเสียที่ถูก

ปรับเสถียรแล้วสู่ตัวกลางของเหลว เช่น น้ำกลไกของการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวนั้นถูกแบ่งออกเป็น 6 แบบโดยการปรับสภาพของเสียจะสำเร็จได้ต้องเกิดกระบวนการต่อไปนี้อย่างน้อยหนึ่งกระบวนการ

- มาโครเอนแคปซูลชัน (Macroencapsulation) คือการที่ส่วนประกอบของของเสียถูกกักในโครงสร้างที่ใหญ่กว่า ซึ่งในรูปพูนนี้ของเสียสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ ในกรณีนี้ของเสียที่ถูกปรับเสถียรแล้วเกิดการสลายส่วนประกอบเหล่านั้นจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้
- ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) คือการที่ส่วนประกอบของของเสียถูกยึดไว้โครงสร้างผลึกแข็งที่เล็กมาก ซึ่งทำให้เมื่อโครงสร้างบางส่วนสลายไปส่วนประกอบเหล่านั้นก็ยังถูกยึดเอาไว้แต่เนื่องจากไม่ได้ยึดไว้ด้วยพันธะทางเคมีทำให้เมื่อโครงสร้างส่วนใหญ่ถูกสลายไปส่วนประกอบของของเสียจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้
- การดูดซึม (Absorption) คือการที่ของเสียถูกดูดซึมเข้าไปในตัวกลาง ในการปรับสภาพของเสียต้องให้ตัวกลางทำการดูดซับของเหลวออกจากของเสียเพื่อให้ของเสียง่ายต่อการจัดการและให้ของเสียมีความเป็นของแข็งเพิ่มขึ้น
- การดูดติดผิว (Adsorption) คือ การที่สารปนเปื้อนถูกตรึงเข้ากับตัวกลางโดยแรงของพันธะไฟฟ้าเคมี เช่น พันธะวานเดอร์วาลส์หรือพันธะไฮโดรเจน สารปนเปื้อนที่ถูกยึดด้วยพันธะเคมีจะมีโอกาสรั่วไหลออกไปได้น้อยกว่าการยึดเกาะทางกายภาพ
- การตกตะกอน (Precipitation) คือการกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนส่วนประกอบของของเสียให้อยู่ในรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น กระบวนการนี้มักใช้กับการปรับเสถียรของเสียอนินทรีย์ เช่น การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะ การรั่วซึมของโลหะนั้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (pH) เมื่อค่าพีเอชต่ำโลหะจะมีโอกาสละลายออกไปได้สูง
- การลดความเป็นพิษ (Detoxification) การกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนส่วนประกอบของของเสียให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษที่น้อยลงหรือไม่เป็นพิษเลย

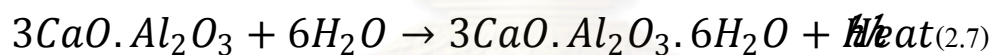
2.5.1 กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วยปูนซีเมนต์

การทำ การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสียอันตรายส่วนใหญ่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลัก โดยปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดที่ได้จากการเผาวัตถุดิบต่างๆ (หินปูนหรือดินปูนขาว กับดินเหนียวหรือดินดาน) จนรวมตัวกันผสมกันสุกพอดี โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญทางเคมีได้แก่ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวในที่นี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) โดยสารประกอบที่สำคัญที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์หลังจากการเผา ได้แก่ ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) ไตรแคลเซียมซิลิเกต ในการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของเสี้ยวผสมของเสี้ยวเข้ากับปูนซีเมนต์แล้วเติมน้ำในกรณีที่ของเสี้ยวมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดโครงสร้างผลึกของ แคลเซียมอะลูมิโนซิลิเกต (Calcium aluminosilicate) หรือ คอนกรีต โดยปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกตมีดังสมการที่ 2.5 และปฏิกิริยาของไดแคลเซียมซิลิเกตมีดังสมการที่ 2.6



โดยมีปฏิกิริยาอื่น ๆ อีกที่ทำให้เกิดเจลซิลิเกตซึ่งเรียกว่า โทโบโมไรต์ (tobomorite) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นช้าเป็นผลให้การบ่มตัวของคอนกรีตมีระยะเวลานาน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดคือสมการที่ 2.7



การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสี้ยวโดยใช้ปูนซีเมนต์ เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับของเสี้ยวประเภทอินทรีย์โดยพาของเสี้ยวที่มีโลหะหนักผสมอยู่ เนื่องด้วยความเป็นด่างที่สูงของปูนซีเมนต์ทำให้โลหะหนักถูกจับอยู่ในรูปของสารประกอบเกลือหรือสารไฮดรอกไซด์ที่ละลายน้ำไม่ได้และสารประกอบเหล่านี้จะจับไว้ในเนื้อปูนอีกที จากการศึกษาพบว่าโลหะหนักประเภท ตะกั่ว, ทองแดง, สังกะสี, ดีบุกและแคดเมียมจะถูกตรึงด้วยพันธะเคมีและก่อตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำไม่ได้ในขณะที่ ปรอทจะถูกกักโดยกระบวนการไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) เป็นส่วนใหญ่

ส่วนของเสี้ยวประเภทสารอินทรีย์นั้นจะรบกวนปฏิกิริยาไฮเดรชัน ลดความแข็งแรงของคอนกรีตและการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นไปได้ยาก นอกจากนั้นยังลดการจับตัวของโครงสร้างผลึกทำให้คอนกรีตไม่สามารถคงรูปได้ การเพิ่มสารปรับปรุงคุณภาพได้แก่ ดินเหนียว

เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) ช่วยลดการรบกวนที่เกิดขึ้นกับปฏิกิริยาไฮเดรชันและเสริมความสามารถในการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วย

การเจาะจงจุดที่ของเสี่ยจะยึดกับโครงสร้างของปูนซีเมนต์นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีการศึกษาเกี่ยวกับพันธะเคมีของของเสี่ยอันตรายในปูนซีเมนต์ โดยพบว่าตะกั่วจะเกาะอยู่บริเวณรอบนอกของอนุภาคซีเมนต์ ในขณะที่แคลเซียมจะกระจายตัวอยู่ทั่วอนุภาคของซีเมนต์

การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสี่ยด้วยปูนซีเมนต์ใช้กับของเสี่ยอนินทรีย์เช่น กากตะกอนของสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะหรือดินที่ปนเปื้อนโลหะ การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสี่ยอนินทรีย์ด้วยปูนซีเมนต์เป็นที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจาก 1. ขาดทางเลือกที่ดีกว่า เพราะโลหะไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยขบวนการชีวภาพและโครงสร้างอะตอมจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในการเผา 2. เป็นกระบวนการที่ใช้งานได้ง่าย และหลักการของกระบวนการเป็นที่เข้าใจ

มีข้อได้เปรียบอยู่มากในการใช้การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วยซีเมนต์ เนื่องจากเทคโนโลยีของซีเมนต์เป็นที่รู้จักตั้งแต่ การควบคุม การผสม การขึ้นรูปและการแข็งตัว อีกระทั่งซีเมนต์ยังมีการใช้อย่างกว้างขวางในงานก่อสร้างทำให้มีราคาค่อนข้างต่ำ รวมถึงมีอุปกรณ์และบุคลากรพร้อมใช้งาน ไม่จำเป็นต้องรีดน้ำออกจากกากตะกอนหรือของเสี่ย เนื่องจากน้ำจำเป็นต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และสุดท้ายความเป็นต่างของปูนซีเมนต์สามารถหักความเป็นกรดในของเสี่ยบางชนิดได้ ข้อเสียหลักของกระบวนการนี้คือเมื่อพบกับของเสี่ยที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ และส่งผลถึงการขึ้นรูปและการแข็งตัวของคอนกรีต

2.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การผลิตคอนกรีตมวลเบา

Gunawan A. (2006) กล่าวว่า วัฏว่า aerated concrete หรือ cellular concrete สามารถผลิตโดยใช้ซีเมนต์ หรือ ปูนขาวเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตก็ได้แต่จะไม่มีการใช้วัสดุผสมอย่างหยาบ ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกว่า cellular mortar ซึ่งมีอากาศอยู่ภายในเนื้อของคอนกรีตโดยชนิดที่มีการอบด้วยไอน้ำเริ่มมีการผลิตครั้งแรกในประเทศสวีเดนในปี ค.ศ. 1919

กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 1505-2541 ได้กำหนดนิยามว่า “ชิ้นส่วนมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ” หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มี

ขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็ก ๆ แทรกกระจายตัวในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งแรงด้วยการอบไอน้ำและไม่เสริมเหล็ก

CEB (1997) วิธีการทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อของคอนกรีตเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศสามารถกระทำได้ 2 ทางด้วยกัน อันได้แก่ ทางกายภาพ คือ การผสมด้วยสารก่อโฟม และวิธีการทางเคมี คือ การเติมสารเคมีในขณะที่มวลสารอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว หรือ กึ่งเหลว (plastic stage) เพื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี

Laukaitis A. and Fiks B. (2005) คอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำมีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ gas cement concrete, gas concrete with combined binder, และ foam concrete โดยที่ทั้งสองชนิดแรกจะมีกลไกการทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตด้วยวิธีการทางเคมี คือ การใช้ผงอะลูมิเนียมที่อัตราส่วน 0.1% -0.25 % ของแข็ง แต่แตกต่างกันที่ปริมาณของอัตราส่วนของวัสดุซิลิกา (siliceous materials) ซึ่งหมายถึง ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และปูนขาว ส่วน foam concrete จะมีการใช้สารก่อโฟมที่ทำให้เกิดโฟมที่มีความเสถียรภาพ โดยในงานศึกษานี้ใช้ 0.2 % sulfonol ผสมกับ 0.15 % bone glue (ที่เป็นตัวทำให้เกิดความเสถียรภาพในเนื้อโฟม) โดยที่ทั้ง 3 ชนิด ต้องบ่มด้วยกัน 2 ระยะคือ 40°C ที่ระยะเริ่มต้น และที่ 180 °C ภายใต้อิอน้ำที่ความดัน 0.8 MPa 8 ชั่วโมง

Ungsungkhun (2005), ศึกษาการทำคอนกรีตมวลเบาแบบ gas cement ด้วยอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุผสม 0.5-0.6 ผงอะลูมิเนียม 0.4% ของมวลวัสดุผสม ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 55% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ทราช 45% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดโดย 10% ของซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ถูกแทนที่โดย ปูนขาว โดยอบไอน้ำที่ 160 °C นาน 8 ชั่วโมง

Phuythamajitt (2006), ศึกษาการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำโดยใช้ส่วนผสมต่อไปนี้ อัตราส่วนน้ำต่อของแข็ง 60% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ผงอะลูมิเนียม 0.4% ของมวลวัสดุผสม หรือ 0.27% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดทราช 70% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดซีเมนต์ 30% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดโดย 33% ของซีเมนต์ เป็นปูนขาวโดยอบไอน้ำที่ 180°C นาน 12-14 ชั่วโมง

ชาตรีสาวทรัพย์ (2551) ได้หาระยะเวลาและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยมีช่วงระยะเวลาที่ 10 12 14 และ 16 ชั่วโมง มีอัตราส่วนของวัสดุประสานต่อวัสดุมวลรวม 60:40 55:45 และ 50:50 อัตราส่วนผงอะลูมิเนียมร้อยละ 0.20 , 0.25, และ 0.30 โดยน้ำหนักของแข็งรวม มีการใช้น้ำในอัตราส่วนต่อของแข็ง 0.26, 0.29, 0.32 พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 14 ชั่วโมง และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนของวัสดุประสานต่อวัสดุมวลรวม

60:40 อัตราส่วนผงอะลูมิเนียมร้อยละ 0.30 โดยน้ำหนักของของแข็งรวม และอัตราส่วนน้ำต่อของแข็ง 0.26

2.6.2 การปรับเสถียรและทำให้แข็งตัวของกากของเสียโลหะหนักด้วยคอนกรีต

Katsioti M., และคณะ (2008) ศึกษาเรื่องผลของการใช้ซีเมนต์หรือ เบนโทไนต์ในการทำ Stabilization/Solidification ของ สลัดจ์น้ำเสียชุมชนที่มีโลหะหนัก โดยใช้สลัดจ์ ร้อยละ 50 ซีเมนต์ร้อยละ 30 และ เบนโทไนต์ร้อยละ 20 แสดงถึงกำลังรับแรงอัดมากกว่าค่าต่ำสุด 350 กิโลปาสคาล ที่ 28 วัน จากเครื่อง FT-IR แสดงถึงการดูดซับที่ไม่มีการจับตัวกันทางพันธะเคมีในกระบวนการ S/S และกระบวนการไฮเดรชันจะตัวกันเป็นอย่างดีจากวิเคราะห์ด้วย SEM และ XRD และการชะละลายก่อนมอร์ตาร์โดยวิธีการ TCLP มีปริมาณโลหะหนักถูกชะออกมาน้อยกว่าค่ามาตรฐานขั้นต่ำ และซีเมนต์และเบนโทไนต์ยังช่วยลดความเป็นพิษและความสามารถในการถูกชะล้างของโลหะหนักอีกด้วย

Chen Quanyuan และคณะ (2008) ศึกษาการใช้สารละลาย Na_2CO_3 และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปรับปรุงคุณภาพของการทำ Stabilization/Solidification ของสลัดจ์จากโลหะหนัก พบว่าสารทั้งสองจะช่วยลดผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยการลดความเป็นรูพรุนและความสามารถในการดูดกน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องการในเกิด S/S

Zbigniew Giergiczny และ Anna Król (2008) การใช้วัสดุทดแทนเช่น ถ้ำลอยมาผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วไปใช้ในการทำ Stabilization/Solidification สามารถโลหะหนักที่อยู่ในรูปของสารประกอบได้ โดยความสามารถในการยึดจับนั้นจะขึ้นกับส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่ม และในการทดลองพบว่าสังกะสีและ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ จะชะลอกกระบวนการไฮเดรชัน ผลผลิตที่ได้ไม่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมสามารถนำไปกักเก็บหรือใช้ทำงานก่อสร้างเช่นการทำถนนได้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

- 3.1 ตัวอย่างวัตถุประสงค์ในการคอนกรีตมวลเบาและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปน
สังกะสีที่ใช้ในการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปน
สังกะสี
- 3.4 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบ ใอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีต
มวลเบา
- 3.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบ ใอน้ำที่มีการ
ใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี
- 3.6 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบ ใอน้ำที่
มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

3.1 ตัวอย่างวัตถุประสงค์ในการคอนกรีตมวลเบาและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีที่ใช้ ในการวิจัย

สำหรับวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิต
คอนกรีตมวลเบา และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

3.1.1 วัตถุประสงค์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ในการวิจัยครั้งนี้วัตถุประสงค์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วย ปูนปอร์ต
แลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement) เนื่องจากมีความเหมาะสมกับงานคอนกรีต
ทั่วไป ทราษแม่น้ำที่ผ่านการล้างจนสะอาดก่อนที่นำมาบดด้วยเครื่องบดทราษ (Ball Mill) จนมีขนาด
ที่สามารถผ่านกระแกรงร่อนเบอร์ 65 ปูนขาว (Quick lime) และผงอะลูมิเนียม เป็นผงอะลูมิเนียมที่
เหลือใช้งานกระบวนการกลึงและตะไบชิ้นงานจากโรงงานกลึงโลหะ

3.1.2 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ในส่วนของตัวเองกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี แบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและกากตะกอนสังเคราะห์จากระบบบำบัดน้ำเสียขึ้น โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารเคมีเป็นตัวแทนสำหรับการทดลอง สำหรับกากตะกอนในส่วนที่ 1 ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีของ บริษัท ไทยเรยอน จำกัด โดยทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนหลังจากผ่านเครื่องรีดน้ำและแบ่งส่วนหนึ่งไว้วิเคราะห์สมบัติและที่เหลือนำไปอบแห้งและบด และส่วนที่ 2 ใช้สารเคมี $ZnSO_4$ (Analytical Grade) แทนกากตะกอนสังเคราะห์จากระบบบำบัดน้ำเสีย

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ได้แก่

1. เตาเผาอุณหภูมิสูง
2. ถ้วยใส่ตัวอย่างสำหรับเผา (Crucible)
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ทศนิยม
4. เครื่องวัด pH
5. แผ่นกรองขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
6. หลอดทดลอง
7. หม้ออบไอน้ำความดันสูง
8. เครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator)
9. เครื่องย่อยสลายสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Digester)
10. เครื่อง ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometer)
11. แบบสำหรับหล่อซีเมนต์
12. เครื่องแก้วสำหรับวัดตวง
13. สว่าน และหัวปั่นผสม
14. เครื่องวัดความสามารถในการต้านแรงอัด
15. ตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 200 และ 230

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองได้แก่

1. กรดไนตริก (HNO_3)
2. กรดไฮโดรฟลูออริก (HF)
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
4. กรดบอริก (H_3BO_3)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
6. กรดอะเซติก (CH_3COOH)
7. ซิงค์ซัลเฟต ZnSO_4

3.2.3 การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายกรดบอริก

ชั่งผงกรดบอริก 53.4647 กรัม ละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 0.87M

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรท

นำสารละลายกรด Citric ในปริมาณที่เหมาะสมมาปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 N

3. การเตรียมน้ำสกัด 1 ของ TCLP

เติมกรด Acetic 5.7 มิลลิลิตร ลงในน้ำ 500 มิลลิลิตร แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N 64.3 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร โดยสารละลายจะมีค่า pH ประมาณ 5

4. การเตรียมน้ำสกัดชนิดที่ 2 ของ TCLP

เติมกรด Acetic 5.7 มิลลิลิตร ลงในน้ำ 1 ลิตร โดยสารละลายจะมีค่า pH ประมาณ 3

3.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีประกอบด้วย พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การศึกษาลักษณะทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ป็นสังกะสี

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	มาตรฐาน/วิธีการวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
พารามิเตอร์ทางกายภาพ	
ความชื้น (Moisture Content)	ASTM D 2216-98
พารามิเตอร์ทางเคมี	
ชนิดและปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (Total Heavy Metals)	US EPA SW-846 Method 3051A และ Inductively Coupled Plasma with Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES)

3.3.1 ความชื้น (Moisture Content)

ความชื้นแสดงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุใช้เพื่อแปลงค่าโลหะหนักที่ได้เป็นหน่วยต่อน้ำหนักเปียกดำเนินการโดย นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักก่อนอบ (น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าตัวอย่างจะแห้งแล้ว ทำการทิ้งตัวอย่างให้เย็นในตู้ดูดความชื้น (Desiccators) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วหาอัตราส่วนของน้ำที่หายไปต่อปริมาณของน้ำทั้งหมด การทดสอบนี้ทำตามมาตรฐาน ASTM D 2216-98 หลักการในการคำนวณแสดงดังสมการที่ 3.1

$$\text{ความชื้น (Moisture Content)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำตัวอย่างก่อนอบ}} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำตัวอย่างก่อนอบ}} \quad (3.1)$$

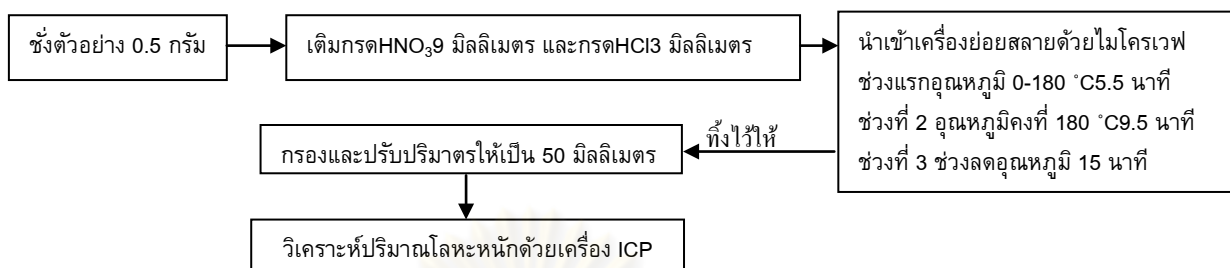
3.3.2 ชนิดและปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (Total Heavy Metals)

ทำการย่อยสลายตัวอย่างโดยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave Digester) โดยวิธีมาตรฐานของ US EPA SW-846 Method 3051A โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอด Vessel
2. เติมกรดไนตริก 9±0.1 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริก 3±0.1 มิลลิลิตร
3. ปิดฝาหลอด Vessel จากนั้นนำเข้าเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกอุณหภูมิ 0-180 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5.5 นาที ช่วงที่ 2 อุณหภูมิคงที่ 180 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 9.5 นาที และช่วงที่ 3 ช่วงลดอุณหภูมิ ใช้เวลา 5-15 นาที
4. เมื่อถึงเวลาที่กำหนด นำหลอด Vessel ออกจากเครื่อง ทิ้งให้เย็น

5. นำสารละลายมากรองและปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

6. นำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP



รูปที่ 3-1 ชนิดและปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (Total Heavy Metals)

3.4 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

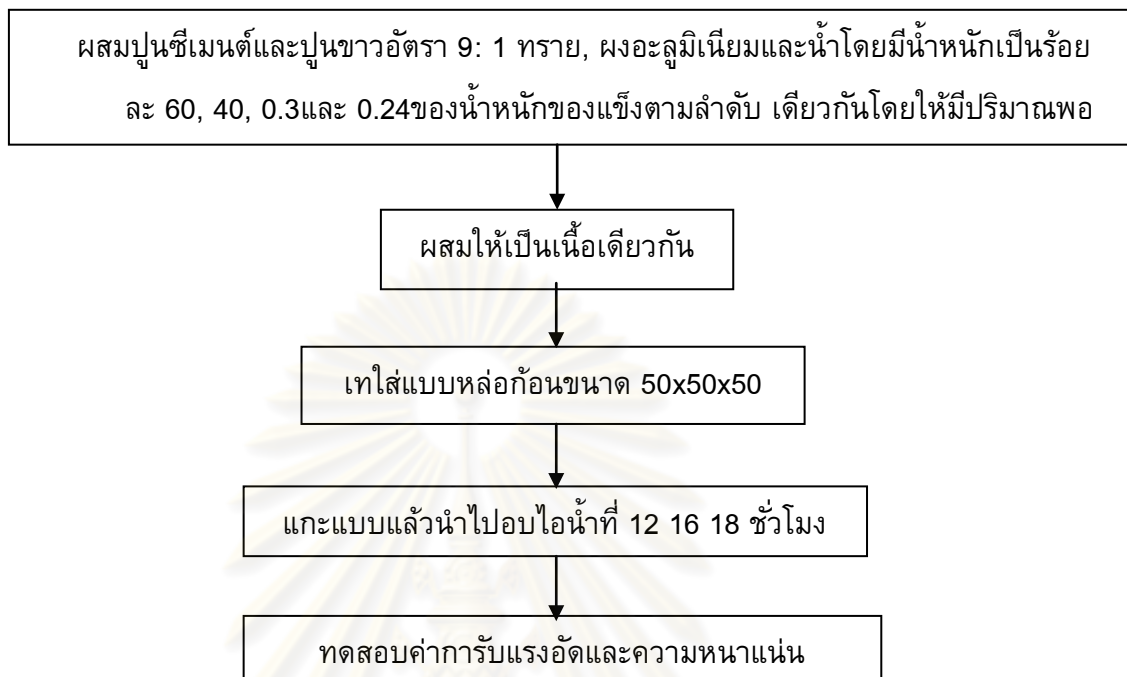
วัตถุประสงค์ของการศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำของการผลิตอิฐมวลเบา คือ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอิฐมวลที่จะใช้เป็นสภาวะเดียวกันตลอดการศึกษาทดลอง โดยแบ่งการศึกษาดังกล่าวออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา และการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบาในการศึกษาทั้งสองส่วนนี้จะใช้พารามิเตอร์ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมคือ กำลังรับแรงอัด(Compressive Strength) และความหนาแน่น(Bulk Density)

3.4.1 การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ในการศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา ทำการศึกษาโดยใช้ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่ 12 16 และ 18 ชั่วโมง ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาดังรายละเอียดด้านล่างและสรุปได้ดังแผนผังในรูปที่ 3-2

1. ผสมปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 :1, ทราช, ผงอะลูมิเนียมและน้ำโดยมีน้ำหนักเป็นร้อยละ 60, 40, 0.3 และ 0.24 ของน้ำหนักของแข็งตามลำดับ ผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้ปริมาณพอทำก้อนมอร์ตาร์ 18 ก้อน
2. เทลงแบบ 50 x50 x50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน ถอดก้อนมอร์ตาร์ออกจากแบบแล้วนำไปอบในตู้อบไอน้ำแรงดันสูงที่เวลา 12, 16 และ 18 ชั่วโมง โดยอบจำนวน 6 ก้อนต่อช่วงเวลา
3. นำก้อนมอร์ตาร์ไปทดสอบค่าความสามารถในกำลังรับแรงอัด โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่มีขนาดที่มิขนาดไม่เกิน 10 เซนติเมตร หากก้อนตัวอย่างมีความชื้นมากเกินไป

ละ 10 ให้นำไปอบที่ 75 องศาเซลเซียส กดขึ้นตัวอย่างในแนวตั้งฉากกับด้านยาวของขึ้นตัวอย่างจน
ได้กำลังรับแรงอัดสูงสุดเมื่อขึ้นทดสอบเกิดการแตกเสียหาย



รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา

3.4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ในการศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ทำการศึกษาโดยอัตราส่วนของ ปูนซีเมนต์ต่อทราย 55:45 60:40 และ 65:35 ผงอะลูมิเนียมร้อยละ 0.3-0.5 และ น้ำ 0.24-0.3 ของน้ำหนักของแข็ง

1. ผสมอัตราส่วนน้ำหนักของปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 : 1 ปูนซีเมนต์ต่อทราย 60 :40, ผงอะลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมด 0.3และน้ำโดยมีน้ำหนักเป็นร้อยละ 0.24 , 0.266, 0.3ของน้ำหนักของแข็ง ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้แต่ละส่วนผสมมีปริมาณพอทำก้อนมอร์ต้าร์ 6 ก้อน
2. ผสมอัตราส่วนน้ำหนักของปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 : 1 ปูนซีเมนต์ต่อทราย 55 :65, 60:40 65:35 ผงอะลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมด 0.3และน้ำ โดยมื่อน้ำหนักเป็นร้อยละ 0.24 ของน้ำหนักของแข็ง ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้แต่ละส่วนผสมมีปริมาณพอทำก้อนมอร์ต้าร์ 6 ก้อน

3. ผสมอัตราส่วนน้ำหนักของปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 :1, ปูนซีเมนต์ต่อทราย 60 :40, ผงอะลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมด 0.3 , 0.4, 0.5 และน้ำโดยมีน้ำหนักเป็นร้อยละ 0.24ของน้ำหนักของแข็ง ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้แต่ละส่วนผสมมีปริมาณพอทำก้อนมอร์ตาร์ 6 ก้อน

4. เทลงแบบ 50 x50x50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา1วัน ถอดก้อนมอร์ตาร์ออกจากแบบแล้วนำไปอบในตู้อบไอน้ำแรงดันสูงที่เวลา ที่ได้จากการทดลอง 3.4.1

5. นำก้อนมอร์ตาร์ที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติต่างๆดังนี้

ก. ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

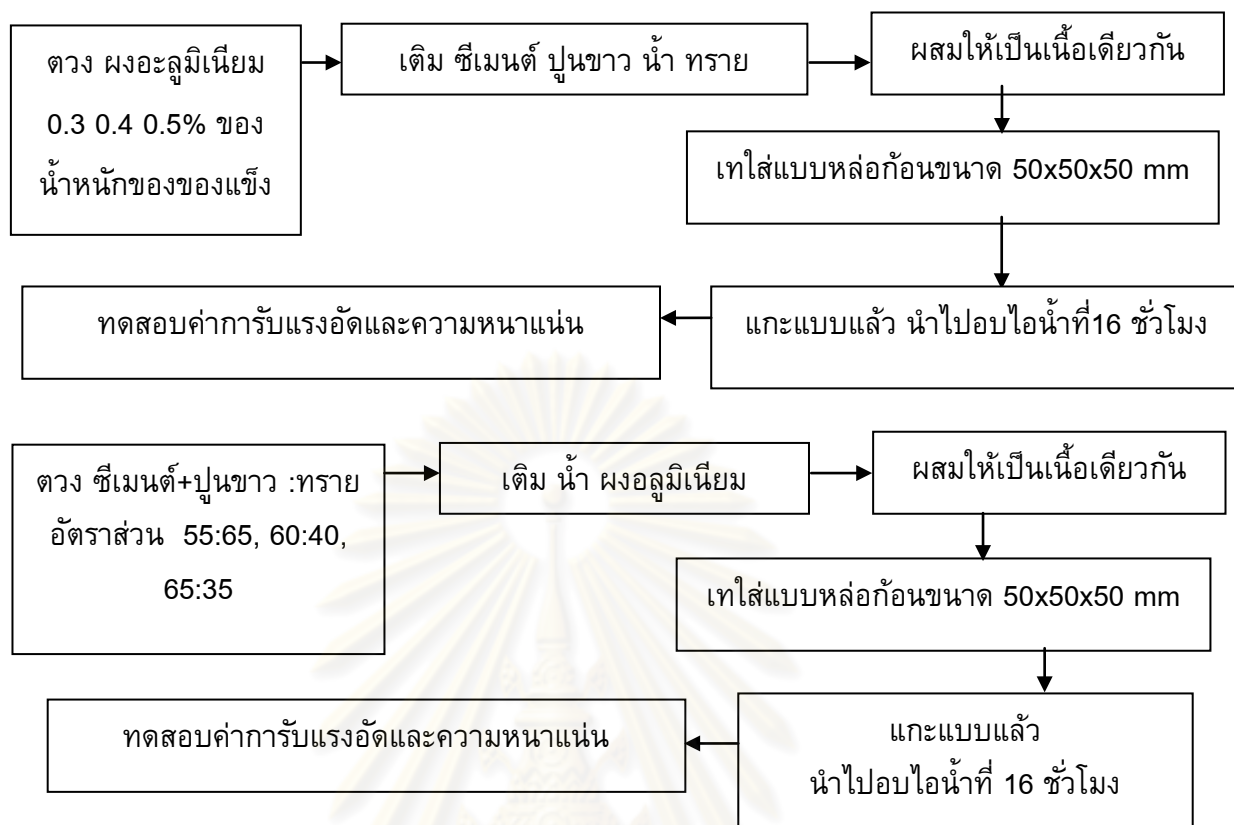
นำตัวอย่างขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตรเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงวัดปริมาตรและมวลของชิ้นทดสอบ

ข. ความต้านแรงอัด

นำตัวอย่างขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร ไปทำการทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุในมอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 4 ในแนวตั้งฉาก กับด้านยาวของชิ้นตัวอย่างจนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหายแล้ววัดปริมาตรความชื้นของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 3-2การศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คอนกรีตมวลเบา

หัวข้อที่ศึกษา	มาตรฐาน/วิธี/เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. เวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำของคอนกรีตมวลเบา	อบไอน้ำตัวอย่างที่เวลา 10 12 14 และ 16 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ กำลังรับแรงอัด
2. ส่วนผสมที่เหมาะสมในการอบไอน้ำของคอนกรีตมวลเบา	อบไอน้ำตัวอย่างด้วยเวลาที่ได้จากข้อ 1 โดยมี ส่วนผสมเป็นปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 :1, ทราย, ผงอะลูมิเนียมและน้ำโดยมีน้ำหนักเป็นร้อยละ 50-60 , 40-50, 0.3-0.5 และ 0.26-0.32 ของ น้ำหนักของแข็งตามลำดับ แล้วนำไปวิเคราะห์ ค่าต้านแรงอัด และ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร



รูปที่ 3-3 ขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา

3.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีทำการศึกษาโดยมีการใช้ตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี แบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจริงและกากตะกอนสังเคราะห์จากระบบบำบัดน้ำเสียขึ้น โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารเคมี $ZnSO_4$ (Analytical Grade) แทนกากตะกอนสังเคราะห์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ในการศึกษาทำโดยใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานในอัตราส่วน ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 ของวัตถุดิบทั้งหมดและกากของเสียสังเคราะห์หรือผง $ZnSO_4$ วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ เพื่อหาปริมาณของกากของเสียที่สามารถใส่ลงในคอนกรีตมวลเบาได้และยังสามารถ

นำคอนกรีตมวลเบาไปใช้งานจริงได้ ขั้นตอนในการดำเนินงานศึกษาแสดงผังรายละเอียดด้านล่าง และสรุปในตารางที่ 3-3

1. ผสมปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 :1, ทราย, ผงอะลูมิเนียมและน้ำโดยมีอัตราส่วนของ ส่วนผสมที่ได้จากการทดลองส่วนที่3 แล้วเติมผง $ZnSO_4$ มีน้ำหนัก 0,5.51,11.07,16.68,22.34 และ 28.05กรัม ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยให้แต่ละส่วนผสมมีปริมาณพอทำก้อนมอร์ต้าร์ 6 ก้อน

2. ผสมปูนซีเมนต์และปูนขาวอัตรา 9 :1, ทราย, ผงอะลูมิเนียมและน้ำโดยมีอัตราส่วนของ ส่วนผสมที่ได้จากการทดลองส่วนที่3 แล้วเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีแบบ แห้งโดยมีน้ำหนักเป็นร้อยละ 0 ,10,20,30,40 และ 50 ของน้ำหนักของแข็งก่อนการเติมกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี ทำการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยให้แต่ละส่วนผสมมี ปริมาณพอทำก้อนมอร์ต้าร์ 6 ก้อน

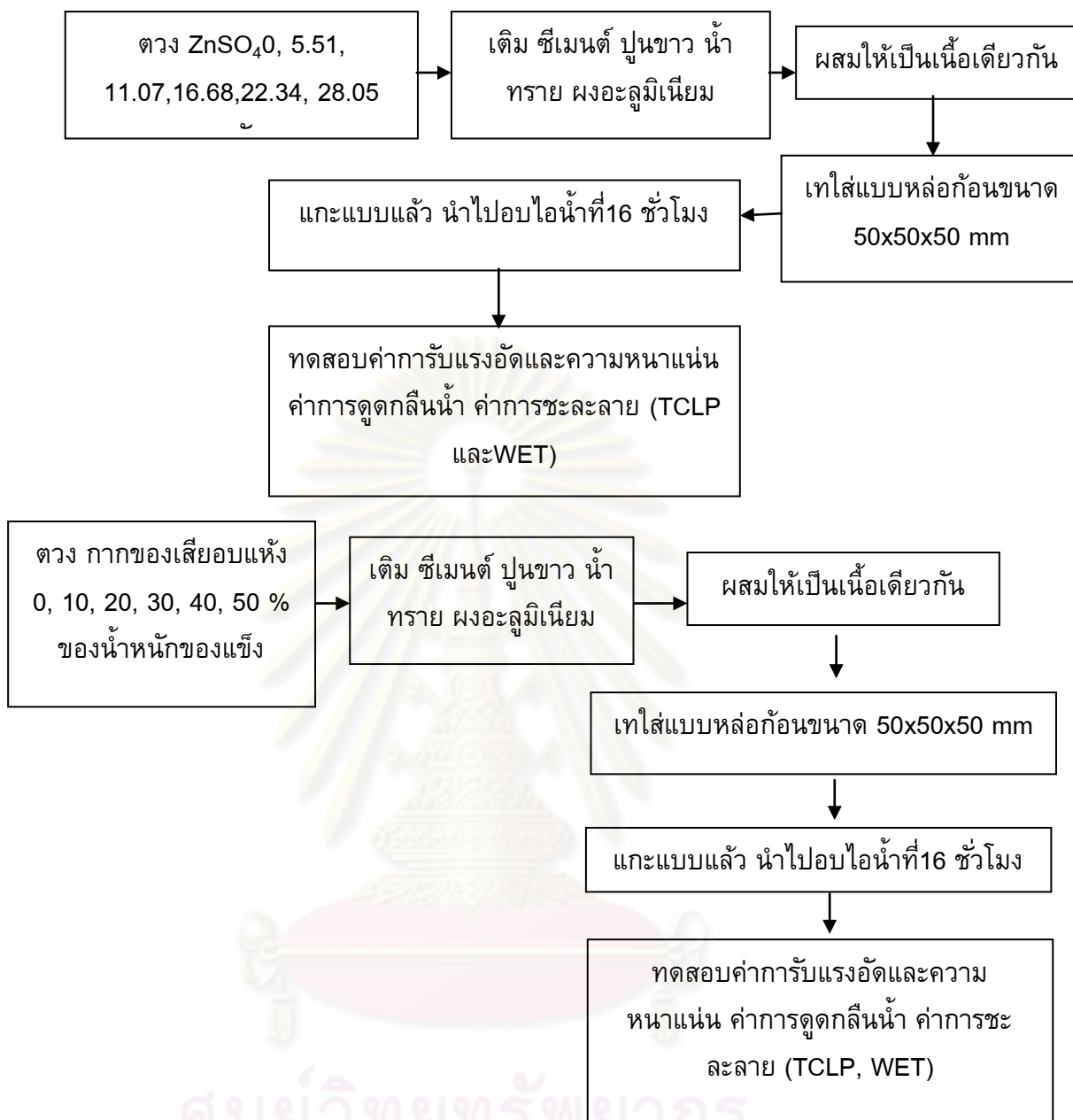
3. เทลงแบบ 50x50x50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา1 วัน ถอดก้อนมอร์ต้าร์ออกจากแบบแล้ว นำไปอบในตู้อบไอน้ำแรงดันสูงตามเวลาที่ได้จากการทดลองส่วนที่2

4. นำก้อนมอร์ต้าร์ที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติต่างๆดัง 4.4.2 ข้อที่3และการดูคลิ่นน้ำ อัตราการดูคลิ่นน้ำ

5. นำตัวอย่างขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตรไปอบในตู้อบให้แห้ง จนได้น้ำหนักคงที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสปล่อยให้เย็นที่ อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงจากนั้นวัดมวล และมิติของแต่ละก้อนแล้วแช่ขึ้นทดสอบในน้ำ สะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออกใช้ผ้าชุมน้ำ เช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จ ภายใน 3 นาทีน้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีต มวลเบาที่ดูคลิ่นน้ำ

ตารางที่ 3-3 สรุปการศึกษาอัตราส่วนผสมของกากของเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม

หัวข้อที่ศึกษา	มาตรฐาน/วิธี/เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ส่วนผสมที่เหมาะสมของกากของเสีย ในการอบไอน้ำของคอนกรีตมวลเบา	อบไอน้ำตัวอย่างโดยมีส่วนผสมตาม4.4.2 โดยมี ส่วนผสมของกากของเสียร้อยละ 0-20 ของวัตถุดิบ
2. ผลกระทบของกากของเสียจริงที่มีต่อ คอนกรีตมวลเบา	ทั้งหมด แล้วนำไปวิเคราะห์ ค่าด้านแรงอัด การ ดูคลิ่นน้ำ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร



รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนผสมของกากของเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม

3.6 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี จะนำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาจากข้อ 3.5 มาหาปริมาณโลหะหนักที่สามารถชะละลายออกมาจากตัวอย่างได้โดยทำการศึกษาด้วยวิธีการสกัด 2

วิธี คือ การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และการสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP)

3.6.1 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีขั้นตอนดังนี้

1) นำตัวอย่างมาบดและร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 10 แล้ว นำตัวอย่าง 50 กรัมใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้ว

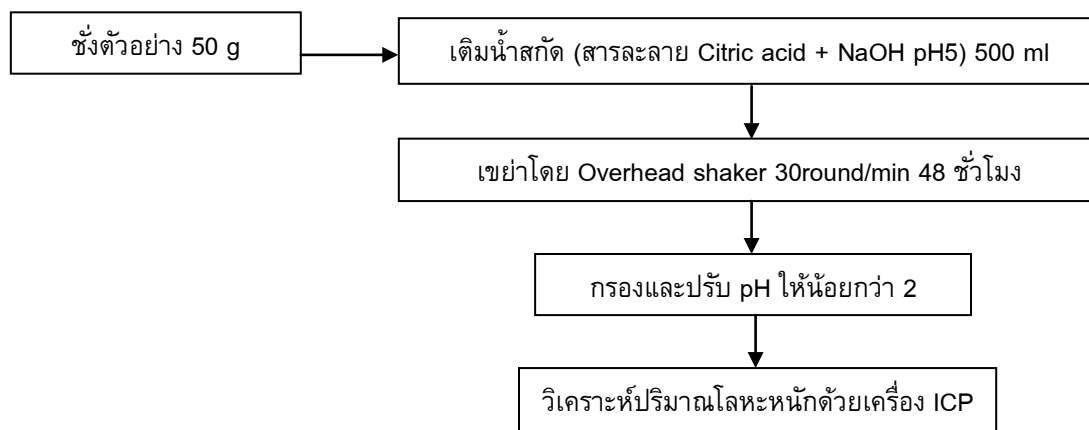
2) เติม 500 มิลลิลิตรของน้ำสกัดลงในตัวอย่างจากนั้นนำของผสมไปไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาทีเพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไปและป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงไปในตัวอย่างและนำไปเขย่าโดยใช้ table shaker หรือ overhead stirrer หรือ rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลา (vigorously agitated suspension) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3) จากนั้นนำเอาของผสมไปกรองหรืออาจไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (Membrane Filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอนโดยใช้ thick-walled suction flask ปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส

4) นำสารละลายมากรองและนำไปปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริกจนความเข้มข้นของกรดในสารละลายผสม (สารละลายที่กรองได้จากข้อ 3 ผสมกับกรดไนตริก) เป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ให้ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)นำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP

แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) สรุปลงได้ดังรูปที่ 3-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-5 แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

3.6.2 การสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP)

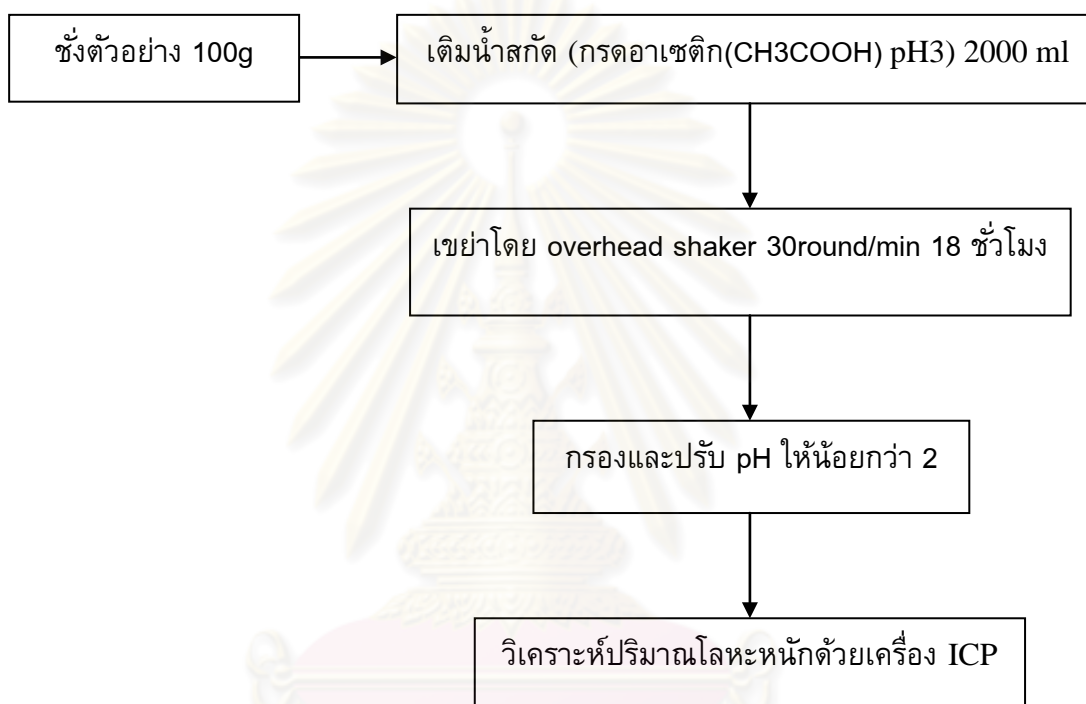
การสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาดตัวอย่างน้ำสกัดที่เหมาะสมกับการชะละลายในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำสกัดเบอร์ 2
 - a) นำตัวอย่างมาบดและร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 10 แล้ว นำตัวอย่าง 5 กรัมใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้ว
 - b) เติมน้ำ 96.5 มิลลิลิตรเขย่าเป็นเวลา 1 นาที วัดค่า pH ถ้าค่า pH น้อยกว่า 5 ให้ใช้น้ำสกัด 1
 - c) ถ้าค่า pH มากกว่า 5 ให้เติมกรดไฮโดรคลอริก 1 N 3.5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วปิดด้วยกระจกนาฬิกาอุณหภูมิ 50 °C และคงไว้ 10 นาที
 - d) ทิ้งให้สารละลายเย็นแล้ววัดค่า pH ถ้าค่า pH น้อยกว่า 5 ให้ใช้น้ำสกัด 1 ถ้าค่า pH มากกว่า 5 ให้ใช้น้ำสกัด 2
- 2) นำตัวอย่างมาบดและร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 10 แล้ว นำตัวอย่าง 100 กรัมใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้ว
- 3) เติม 2000 มิลลิลิตรของน้ำสกัดลงในตัวอย่างและนำไปเขย่าโดยใช้ Table shaker หรือ Overhead stirrer หรือ Rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลา (vigorously agitated suspension) เป็นเวลา 18 ชั่วโมงควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส
- 4) นำสารละลายมากรองและนำไปปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริกจนมีค่า pH น้อยกว่า 2
- 5) นำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP

แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP) สรุปลงได้
 ดังรูปที่ 3-6

ตารางที่ 3-4 สรุปการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมกากของเสีย

หัวข้อที่ศึกษา	มาตรฐาน/วิธี/เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	วิธีการชะละลาย แบบ WET และ TCLP



รูปที่ 3-6 แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Process (TCLP)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปน
สังกะสี

4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีต
มวลเบา

4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการ
เติมจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.4 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่
มีการเติมจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมี
ฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

จากผลการวิเคราะห์ความชื้นและความเข้มข้นของสังกะสีในจากตะกอนแสดงในตารางที่ 4-

1 พบว่าปริมาณความชื้นในจากตะกอนอยู่ในช่วงร้อยละ 55-61 ของน้ำหนักโดยรวม จัดว่ามีค่า

ความชื้นต่ำเมื่อเทียบกับค่าความชื้นในจากตะกอนทั่วไปที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 แสดงให้เห็นว่า

ระบบการทำงานของเครื่องรีดน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเสถียรภาพในการทำงาน

เนื่องด้วยค่าความชื้นมีค่าคงที่ไม่แตกต่างกันมาก สำหรับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสังกะสีที่อยู่

ในจากตะกอนพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5,000 ถึง 7,500 mg/kg ซึ่งเกินกว่าค่าที่กำหนดในประกาศ

กระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 คือ ของเสียที่มีค่า

สังกะสีปนเปื้อนอยู่เกิน 5000 mg/kg ให้ถือเป็นของเสียอันตราย โดยระบบตกตะกอนทางเคมีค่อนข้าง

มีความสม่ำเสมอในการทำงานเพราะค่าสังกะสีที่พบมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6,197g/kg

ตารางที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของ خاکตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

วันที่	ความชื้น (%)	ความเข้มข้นของสังกะสีในกากตะกอน (mg/kg dry-weight)
17 พ.ย. 09	58	6,708
19 พ.ย. 09	55	7,435
24 พ.ย. 09	60	6,632
26 พ.ย. 09	59	6,061
3 ธ.ค. 09	58	6,404
8 ธ.ค. 09	60	6,133
15 ธ.ค. 09	56	6,004
17 ธ.ค. 09	59	6,922
22 ธ.ค. 09	58	5,557
24 ธ.ค. 09	57	5,312
29 ธ.ค. 09	59	5,010
5 ม.ค. 10	61	6,183

4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

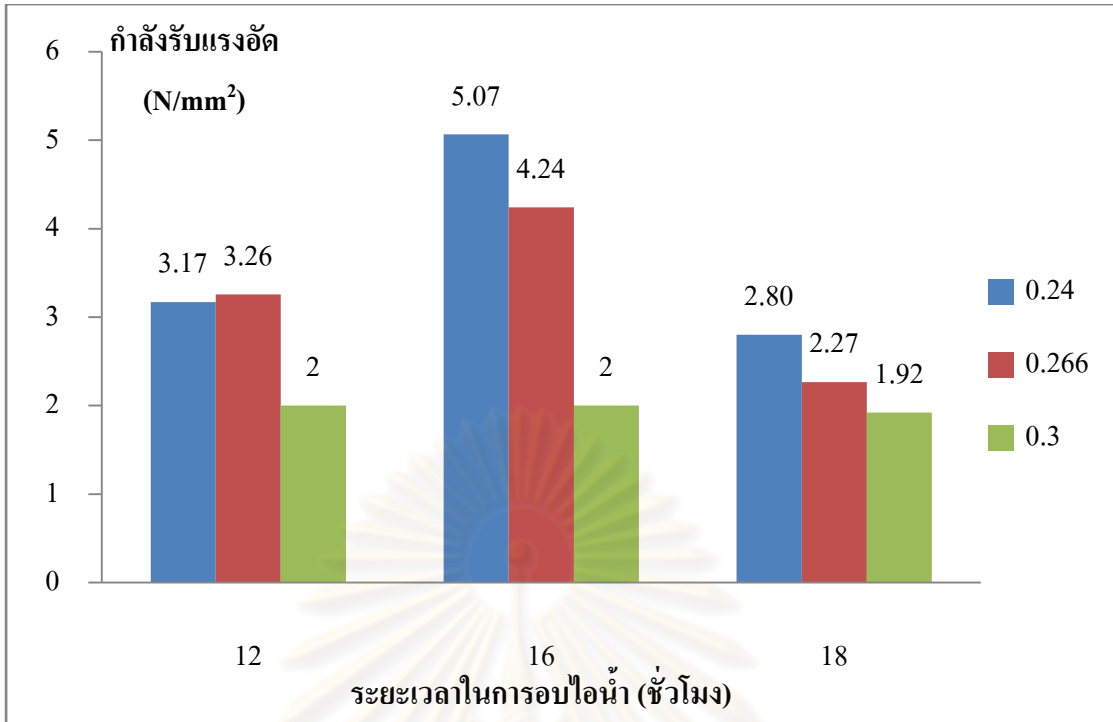
4.2.1 อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมดและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

ในการศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา จะทำการศึกษาเริ่มต้นที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบไอน้ำเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น โดยจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซิลิกาในทรายกับปูนขาวจากปูนซีเมนต์และปูนขาว ทำให้เกิดผลึก $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของชาตรี สาททรัพย์และคณะ (2550) และ Topcu I., Uygunog T. (2550) ขณะที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน จนถึงระยะเวลาหนึ่งกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นจะลดลง เนื่องจากการอบไอน้ำที่ระยะเวลานานเกินไปทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันอื่นที่เราไม่ต้องการขึ้นซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียกำลังรับแรงอัดและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จากเหตุผลข้างต้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษา

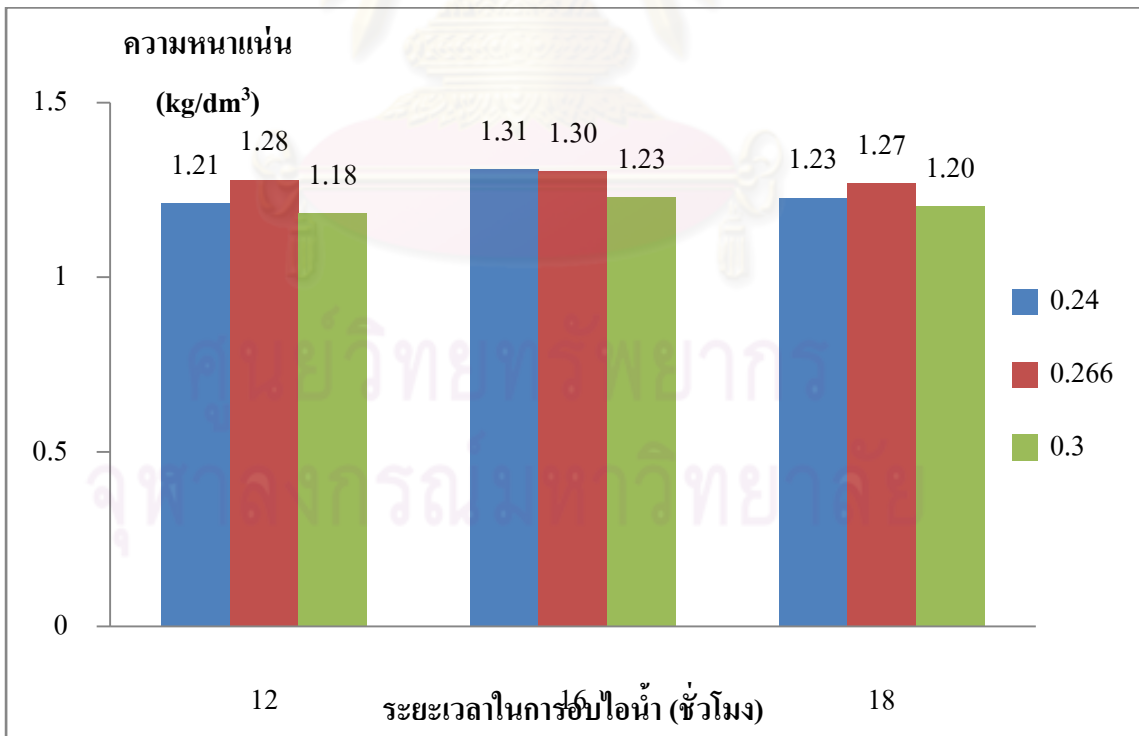
หาค่าระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม สำหรับการ การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาในการวิจัยครั้งนี้จะใช้เวลาในการอบไอน้ำที่ 16 ชั่วโมง

ปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตมวลเบา คือ การเพิ่มอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด Stamen and Bluefield (2002) ศึกษาว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อมีความพรุนในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยความพรุนจะเกิดขึ้นได้จากปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อปฏิกิริยาของอูมิเนียมให้มีมากขึ้นและทำให้เนื้อปูนมีความเหลวมากขึ้นจึงทำให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นมีจำนวนมากขึ้นและสามารถรวมตัวให้มีขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้นเป็นเหตุให้รูพรุนในเนื้อคอนกรีตมีจำนวนมากและขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตและกำลังรับแรงอัดที่ลดลง ในการศึกษาอัตราส่วนผสมในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา ที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เวลา 16 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.24 มีความหนาแน่นประมาณ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรและกำลังรับแรงอัดประมาณ 5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรสำหรับอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด ที่ 0.266 มีความหนาแน่นประมาณ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรซึ่งเท่ากับอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.24 และกำลังรับแรงอัดประมาณ 4 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในขณะที่อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.30 มีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรและกำลังรับแรงอัดประมาณ 3 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งอัตราส่วนที่มีกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นน้อยที่สุด จากงานวิจัยของ ชาตรี สาททรัพย์ (2550) เลือกอัตราส่วนของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.26 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมดได้ทั้งที่ 0.24 และที่ 0.26 เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ค่าผลการทดสอบของทั้งสองอัตราส่วนอยู่ในช่วงเดียวกัน ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ที่อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่ 0.24

สรุปได้ว่า เวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำคือ 16 ชั่วโมงเพราะให้กำลังรับแรงอัดได้มากที่สุด และอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำที่เหมาะสมคือ 0.24 ต่อของแข็งทั้งหมด ด้วยเหตุผลเดียวกัน



รูปที่ 4-1 กําลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-2 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองในการหาระยะเวลาในการอบไอน้ำและ อัตราส่วนของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด

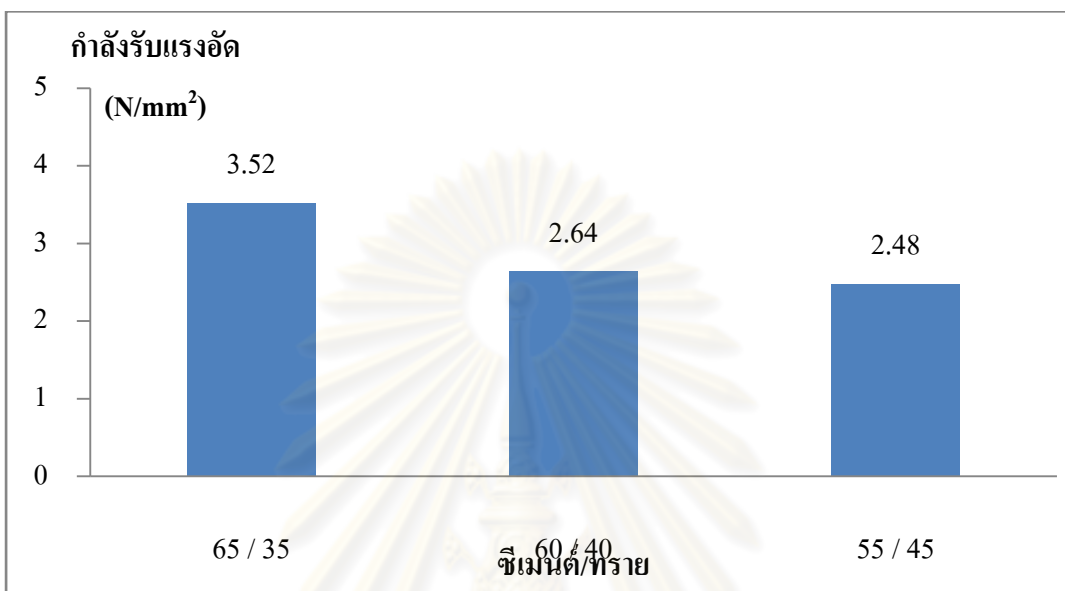
ระยะเวลาในการอบไอน้ำ	อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมด	กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength, N/mm ²)		ความหนาแน่น (kg/dm ³)	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
12	0.24	3.17	0.41	1.21	0.02
	0.266	3.26	0.43	1.28	0.02
	0.3	2	0.2	1.18	0.11
16	0.24	5.07	0.33	1.31	0.01
	0.266	4.24	0.33	1.3	0.03
	0.3	2	0	1.23	0.01
18	0.24	2.8	0.46	1.23	0.04
	0.266	2.27	0.33	1.27	0.05
	0.3	1.92	0.18	1.2	0.04

4.2.2 ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทราย ที่เหมาะสมในการทำ

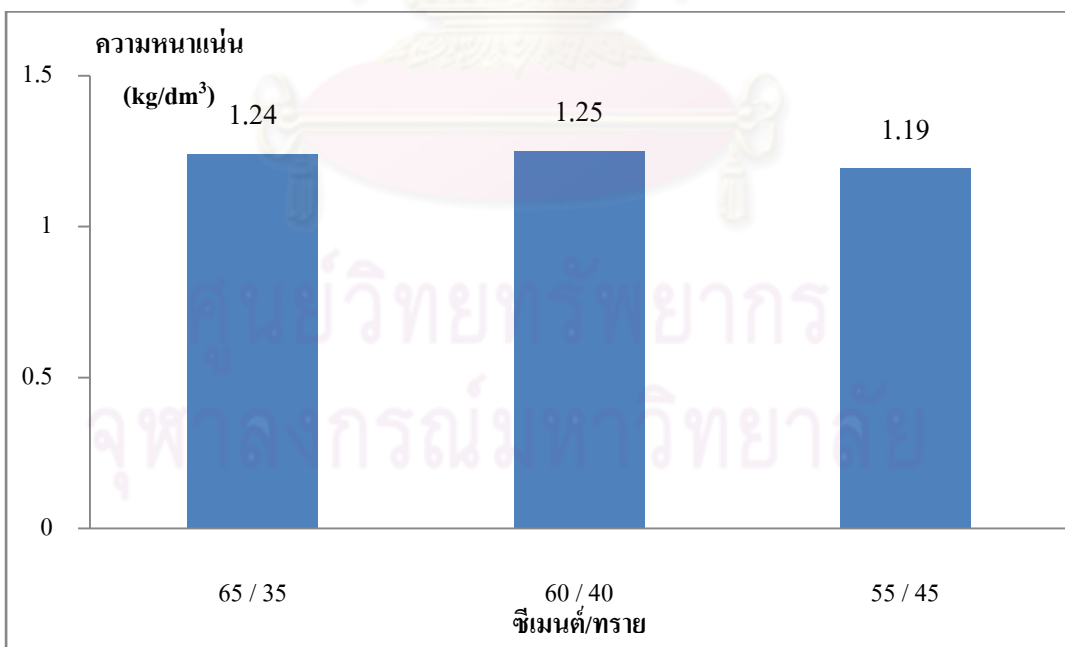
คอนกรีตมวลเบา

จากการทดลองในการหาอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา แสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายก่อนคอนกรีตมวลเบาจะทำให้มีปริมาณปูนขาวจากปูนซีเมนต์และปูนขาวมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซิลิกาและปูนขาวได้มากขึ้นระหว่างการอบไอน้ำเป็นผลให้มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยโดยที่อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทราย 65 :35 ให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด คือ 3.52 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร กำลังรับแรงอัดรองลงมา คือ อัตราส่วนที่ 60:40 และน้อยที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 55:45 เนื่องจากปริมาณปูนขาวน้อยกว่าทุกตัวอย่างการทดลองทำให้การเกิด $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ น้อยตามไปด้วย ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่าทุกอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากอย่างไม่แตกต่างกัน มีค่าประมาณที่ 1.2 กิโลกรัมต่อตารางเดซิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ชาตรี สาททรัพย์ (2550) และ Panyakapo P., Panyakapo M. (2008) พบว่างานวิจัยมีความสอดคล้องกัน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณทรายในคอนกรีตมวลเบาจะทำให้ความ

หนาแน่นมากขึ้น จากการทดลองสรุปได้ว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่ 60:40 เนื่องจากกำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมและยังประหยัดปริมาณซีเมนต์ที่ใช้อีกด้วย



รูปที่ 4-3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-4 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่แตกต่างกัน

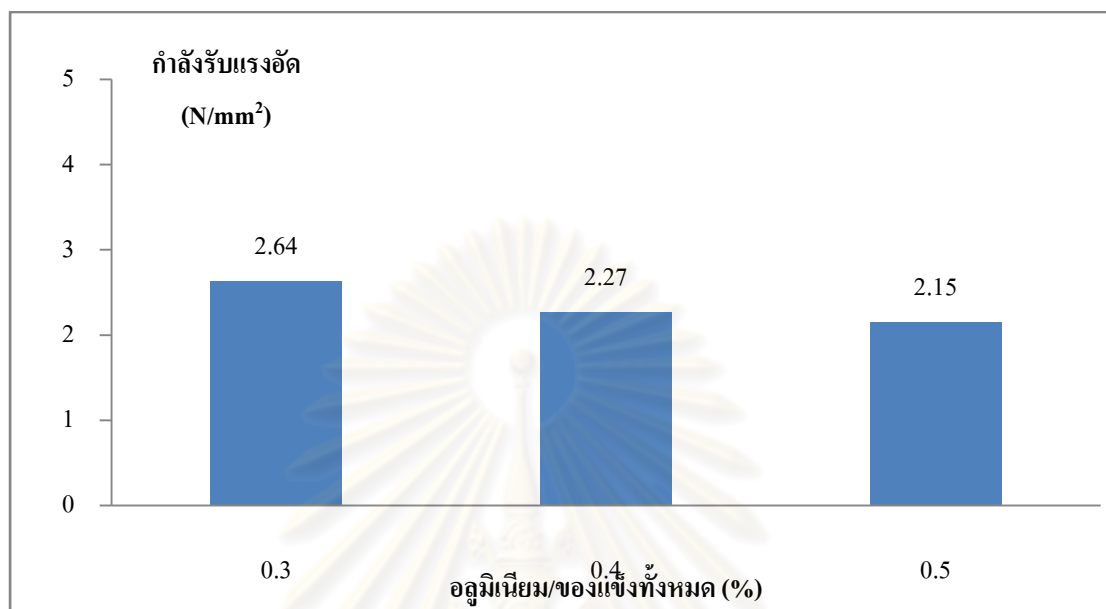
ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสม

อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย (Cement/Sand Ratio)	กำลังรับแรงอัด (N/mm ²)		ความหนาแน่น (kg/dm ³)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
65:35	3.52	0.33	1.24	0.03
60:40	2.64	0.46	1.25	0.03
55:45	2.48	0.33	1.19	0.02

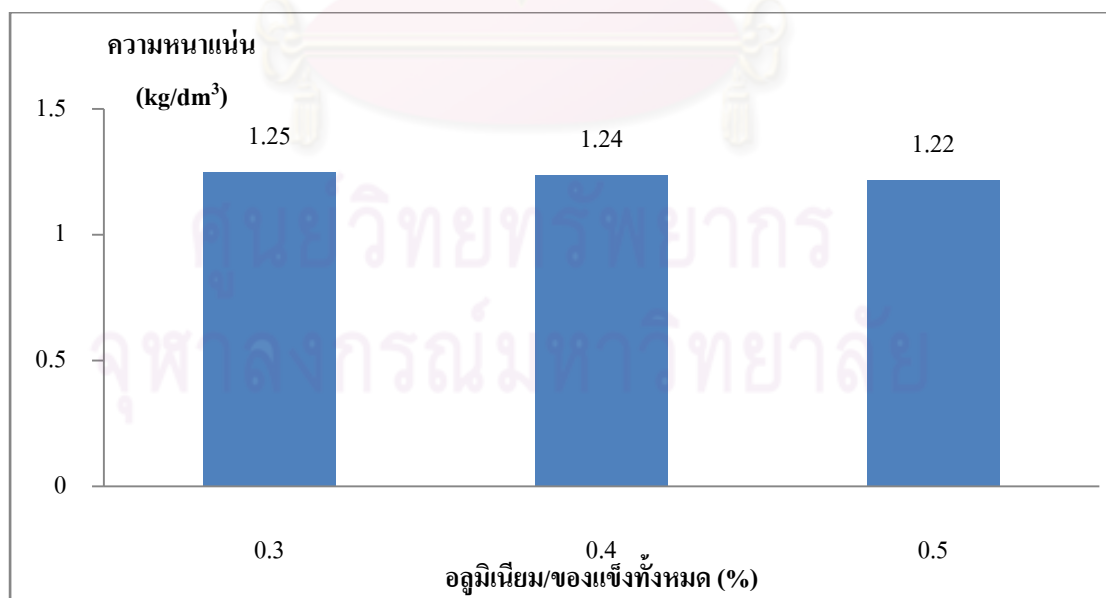
4.2.3 ปริมาณผงอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

ในการศึกษา ปริมาณผงอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมด ที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่าปริมาณอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นจะเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนขาวมากขึ้นเนื่องจากมีสารตั้งต้นมากขึ้นทำให้เกิดก๊าซในเนื้อคอนกรีตมากขึ้นและทำให้เนื้อคอนกรีตมีรูพรุนมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลงและกำลังรับแรงอัดลดลงด้วยและยังส่งผลให้ปูนขาวที่จะไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับซิลิกาตกลงเป็นผลให้เกิด $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ลดลงจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงด้วย ปริมาณอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.3 ให้กำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดคือ 2.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร รองลงมา คือปริมาณอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.5 ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาแน่นของทุกตัวอย่างในการทดลองนี้มีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อตารางลูกบาศก์เดซิเมตร จากการทดลองนี้พบว่าเมื่อปริมาณการใช้ผงอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงอัดทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง สาเหตุคือปริมาณผงอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีโอกาสนในการทำปฏิกิริยากับน้ำที่อยู่ในตัวอย่างมากขึ้นทำให้เกิดฟองจำนวนมากอย่างรวดเร็ว เมื่อฟองอากาศที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะรวมตัวกันทำให้เกิดช่องว่างอากาศขนาดใหญ่หรือรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ แตกต่างกับการใช้ปริมาณผงอลูมิเนียมที่น้อย การเกิดปฏิกิริยาจะค่อยๆ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเล็กและปฏิกิริยาที่เกิดแบบช้ำนี้ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดสม่ำเสมอกัน จากผลการศึกษาพบว่ามีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาตรี สาททรัพย์ (2550) Ungsongkun (2005) และ Phuythamajitt (2006) ที่พบว่ากำลังรับแรงอัดมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณอะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นจะลดความหนาแน่นลง และงานวิจัยของ Gunawan (2006) ที่กล่าวว่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จากการ

ทดลองสรุปได้ว่าปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา คือ ปริมาณผงอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.3 ต่อของแข็งทั้งหมดเนื่องด้วยให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด



รูปที่ 4-5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-6 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนของแข็งทั้งหมด

ปริมาณผงอลูมิเนียม (ร้อยละ) (Al powder/Total (%))	กำลังรับแรงอัด (N/mm ²)		ความหนาแน่น (kg/dm ³)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.3	2.64	0.46	1.25	0.03
0.4	2.27	0.23	1.24	0.01
0.5	2.15	0.38	1.22	0.02

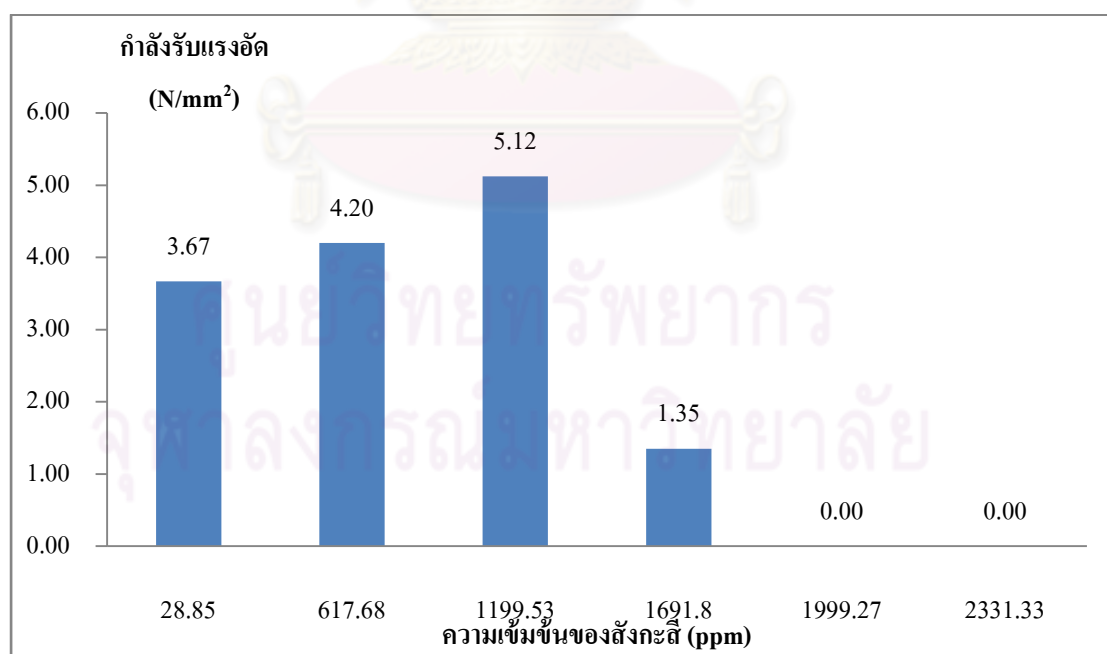
4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

หลังจากที่ได้ผล อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาแล้วจะนำค่าที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีในการทดลองส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ และ การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

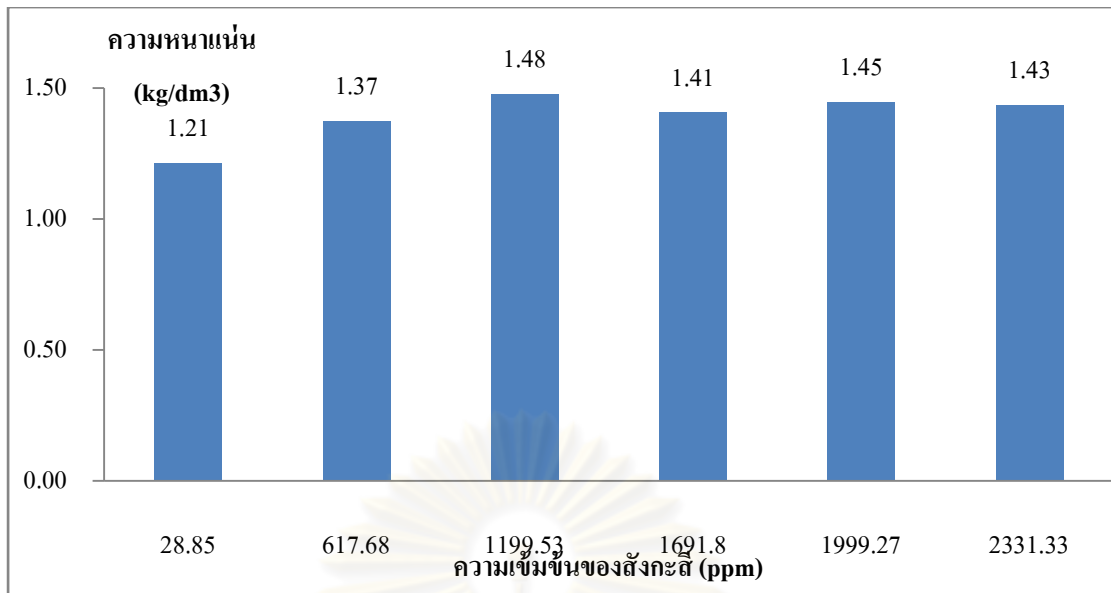
4.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

ในการศึกษา สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ โดยสารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ สังกะสีซัลเฟต (ZnSO₄) ในการทดลองได้ทำการทดลองแบบ triplicate sample และ ผลการทดลองที่ได้นำเสนอในตารางที่ 4-5 ปริมาณสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความสามารถในการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้นในส่วนของกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความเข้มข้นที่ประมาณ 1199 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มเข้าไปจะดูดน้ำทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของอลูมิเนียมลดลงทำให้ก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยาน้อยลงด้วยความพรุนในเนื้อคอนกรีตลดลงเป็นผลให้กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณของ

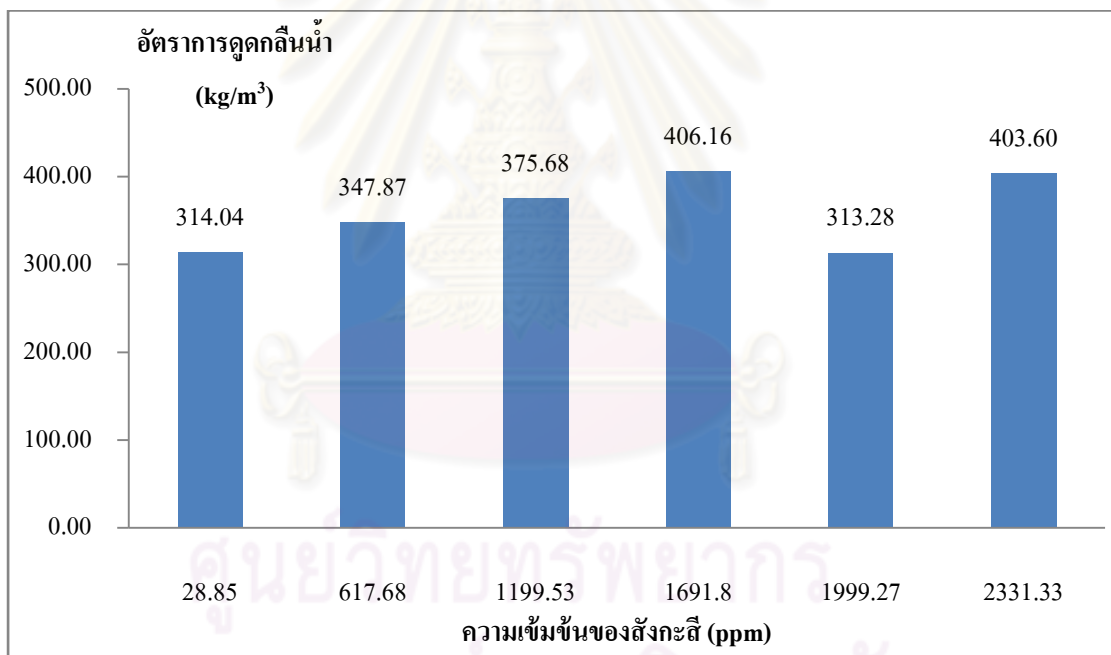
สังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงจนไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะจากความสามารถในการดูดความชื้นของสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมลดลงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มกำลังรับแรงอัดเกิดขึ้นได้น้อยเป็นผลให้กำลังรับแรงอัดที่ได้น้อยมากในสองตัวอย่างสุดท้าย ทั้งนี้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสามารถวัดค่าได้ถึงที่การเติมสารสังกะสีซัลเฟตได้ประมาณไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบผลการทดลองกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ต้องมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 8-10 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนความหนาแน่นที่วัดได้มีค่ามากกว่าที่ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ต้องมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.81-1 กิโลกรัมต่อตารางเดซิเมตร ในขณะที่ค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าน้อยกว่าที่ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ต้องมีค่าไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สาเหตุหนึ่งที่มีค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากสารเคมี $ZnSO_4$ เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดความชื้น แต่ที่กำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยกว่าที่เกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดเนื่องจากสาร SO_4 เป็นสารที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดโดยตรงนั่นเองดังนั้นในภาคตะกอนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบจะมีผลต่อการลดลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบานั้นเอง



รูปที่ 4-7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-8 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน



รูปที่ 4-9 อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน

ตารางที่ 4-5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

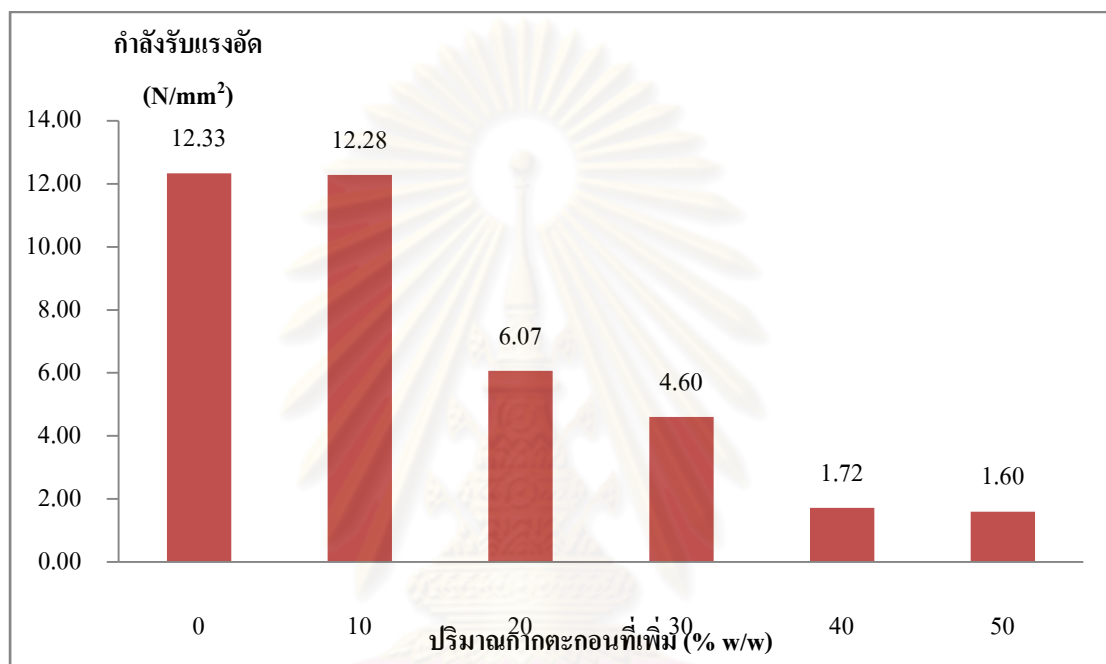
น้ำหนักของ ZnSO ₄ ที่ทำการเติมลงไป ในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา (กรัม)	ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อตารางเดซิเมตร)		ความสามารถในการดูดกลืนน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	28.85	0.79	3.67	0.53	1.21	0.1	314.04	6.52
5.51	617.68	11.52	4.2	0.22	1.37	0.02	347.87	16.07
11.07	1199.53	23.59	5.12	0.46	1.48	0.02	375.68	4.09
16.68	1791.80	16.74	1.35	0.19	1.41	0.01	406.16	1.84
22.34	1999.27	31.12	-	-	1.45	0.01	313.28	9.07
28.05	2331.33	69.4	-	-	1.43	0.03	403.60	5.61
มาตรฐานอุตสาหกรรม class 8	-	-	8-10	-	0.81-1	-	<500	-

4.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการ

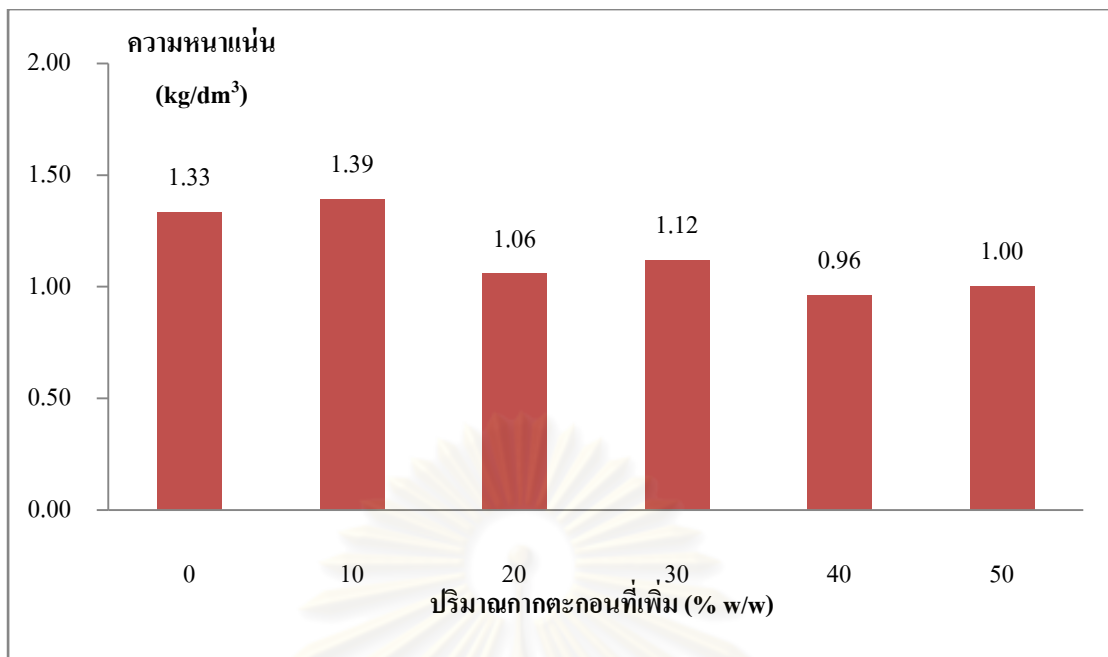
เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในการศึกษา สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี จากโรงงานอุตสาหกรรมการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6 เมื่อพิจารณาที่กำลังรับแรงอัดของ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี จากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าเมื่อปริมาณของกากตะกอนเพิ่มมากขึ้น เนื้อคอนกรีตที่ผสมแล้วจะมีลักษณะร่วนไม่เหลวเหมือนคอนกรีตที่ไม่ผสมกากของเสียจึงต้องมีการเติมน้ำเพื่อให้เนื้อคอนกรีตก่อนที่เทลงแบบมีความเหลวเท่าๆกัน และสีของคอนกรีตมวลเบาหลังจากการอบไอน้ำจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะลดลง ความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าลดลง เนื่องจากการที่เติมกากของเสียจะไปลดปริมาณปูนซีเมนต์ ปูนขาวและทราย ทำให้สารตั้งต้นในปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ทำให้เกิด $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panyakapo P., Panyakapo M. (2008) ที่เมื่อเพิ่มพลาสติกกลงในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาจะมีค่ารับแรงอัดน้อยลง และความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ทั้งนี้ปริมาณของกากตะกอนที่เติมลงไปในการบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้ออยู่ในช่วงร้อยละ 10-20

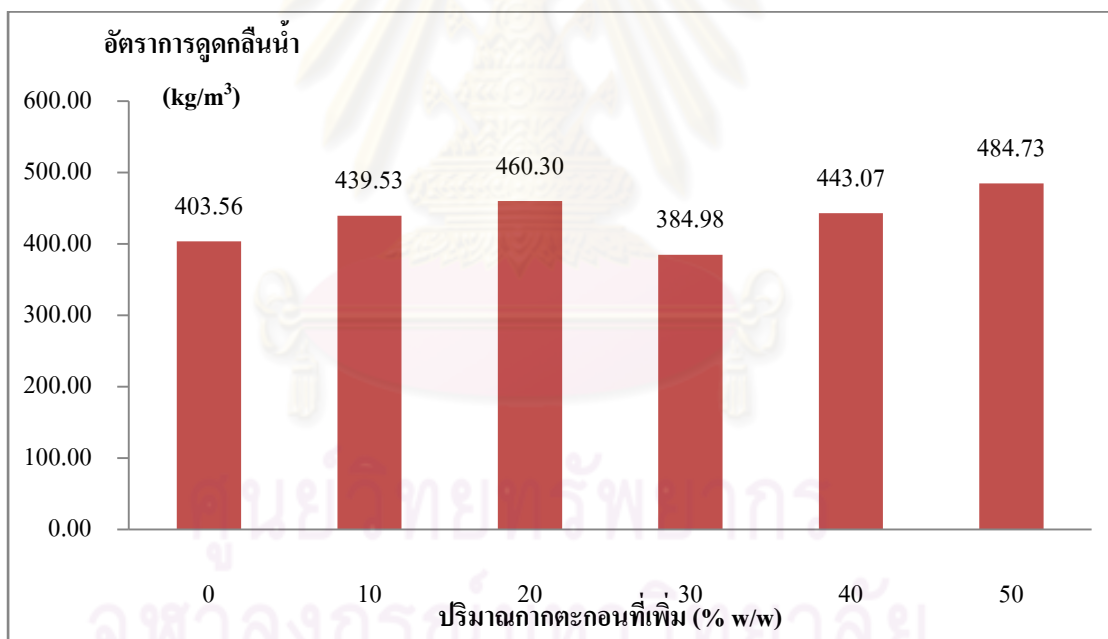
เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดเทียบกับผลการทดลองในข้อที่ 4.3.1 แสดงให้เห็นว่า กากตะกอนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสียนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างจากสารเคมี ทั้งนี้การใช้กากตะกอนในการบำบัดน้ำเสียในการผลิตอิฐมวลรวมสามารถที่จะวัดค่ากำลังรับแรงอัดได้ถึงแม้จะมีการเติมลงไปมากถึง 50% และยังคงมีคุณสมบัติของการดูความชื้นเช่นเดียวกับสารเคมีเนื่องจากค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำยังมีน้อยกว่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม



รูปที่ 4-10 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-11 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน



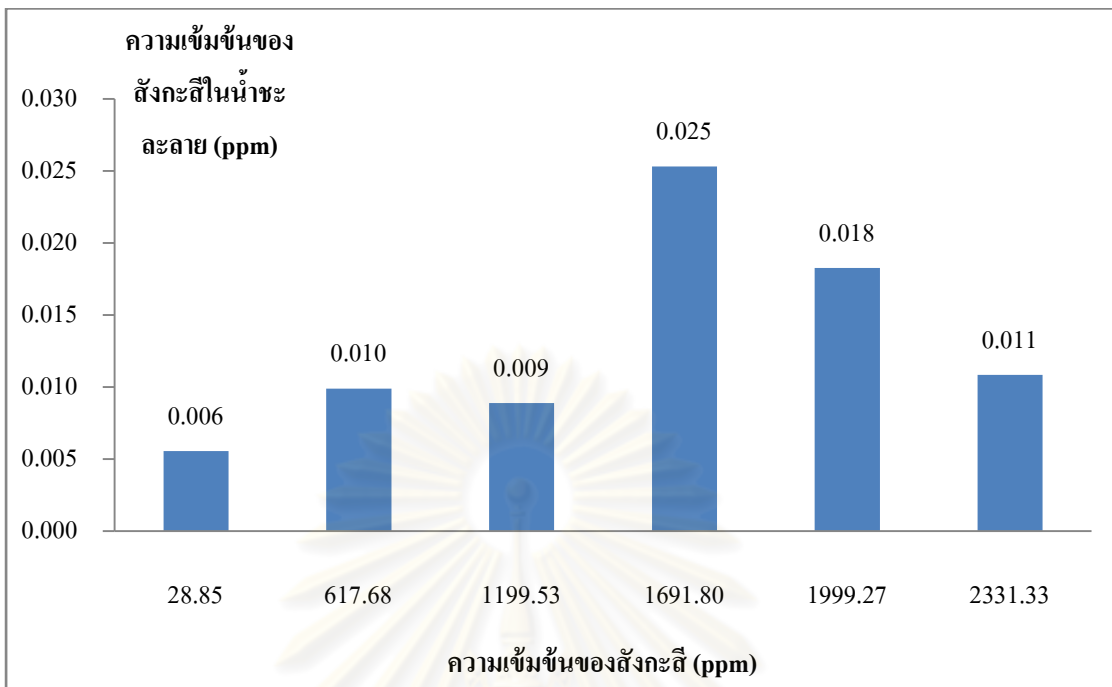
รูปที่ 4-12 อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-6 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

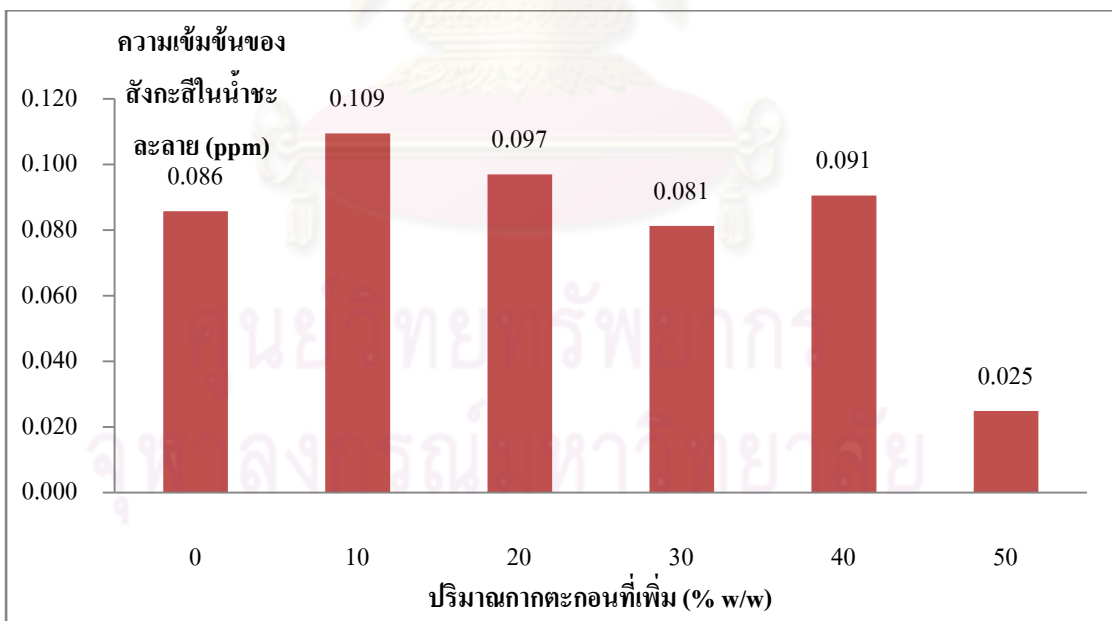
ร้อยละกากตะกอนที่ทำการเติมลงไป กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา	ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อตารางเดซิเมตร)		ความสามารถในการดูดกลืนน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	153	17.98	12.33	0.37	1.33	0.02	404.56	6.82
10	1703	41.63	12.28	0.63	1.39	0.02	439.53	47.79
20	2597	15.27	6.07	0.78	1.06	0.01	460.3	27.34
30	3127	15.27	4.6	0.53	1.12	0.02	384.98	10.02
40	3255	20.82	1.72	0.18	0.96	0.02	443.07	3.93
50	3605	76.38	1.6	0	1	0.01	484.73	11.55
มาตรฐานอุตสาหกรรม class 8	-	-	8-10	-	0.81-1	-	<500	-

4.4 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4-7 และผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี แสดงดังตารางที่ 4-8 พบว่าน้ำชะที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 แบบของตัวอย่างที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีมีสีน้ำตาลปนอยู่ เมื่อตัวอย่างทั้งแบบสารเคมีและแบบเติมกากของเสียไปตรวจสอบปริมาณสังกะสีพบว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ชะละลายออกมาได้จากทั้งกระบวนการ WET และ TCLP นั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสังกะสีที่มีอยู่ก่อนคอนกรีตมวลเบาเนื่องจากสังกะสีจะจับตัวได้ดีกับของแข็งและแทบจะไม่ละลายออกมาเลยในช่วงค่า pH 7-13 ซึ่งเป็นผลจากปูนซีเมนต์ที่มีค่า pH สูงอยู่แล้วในการชะละลายแบบ WET น้ำชะที่ได้มีฟองและจะขุ่นขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากของเสีย โดยค่าการชะละลายที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรดังนั้นการนำกากตะกอน



รูปที่ 4-13 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายจากของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน



รูปที่ 4-14 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกาสะกอนของเสียนในปริมาณที่ต่างกัน

ตารางที่ 4-7 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มี การเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		ปริมาณสังกะสีในน้ำชะแบบ TCLP (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
28.85	0.79	0.006	0.0007
617.68	11.52	0.010	0.0007
1199.53	23.59	0.009	0.0003
1791.8	116.74	0.025	0.001
1999.27	31.12	0.018	0.0005
2331.33	69.40	0.011	0.0004

ตารางที่ 4-8 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มี การใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ร้อยละกากตะกอนที่ทำ การเติมลงไป กระบวนการผลิตคอนกรีต มวลเบา	ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		ปริมาณสังกะสีในน้ำชะแบบ TCLP (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ปริมาณสังกะสีในน้ำชะแบบ WET (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย
0	153	17.98	0.086	0.005	0.69
10	1703	41.63	0.109	0.05	8.88
20	2597	15.27	0.097	0.003	4.30
30	3127	15.27	0.081	0.004	5.11
40	3255	20.82	0.091	0.05	7.30
50	3605	76.38	0.025	0.01	0.34

4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองในข้อที่ 4.3.2 นำมาคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหนึ่งหน่วย
ผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ พบว่าต้นทุนการผลิตมีค่าลดลง
และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียด้วยวิธีการฝังกลบได้

ตารางที่ 4-9 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ก่อนกริถมวลงเบมเบมมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ
ที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ป็นสังกะสี

ร้อยละกาก ตะกอน	ราคา (บาท)							ราคาต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	ผงอลูมิเนียม	น้ำ	กากตะกอน	ไฟฟ้า	
0	4182.76	586.95	823.23	0	0.77	0	1050	6643
10	3812.94	535.06	750.44	0	0.91	-77.97	1050	6071
20	2507.28	351.84	493.47	0	0.77	-115.36	1050	4288
30	2250.69	315.83	442.97	0	0.89	-177.52	1050	3883
40	1562.32	219.23	307.49	0	0.88	-191.68	1050	2948
50	1319.94	185.22	259.78	0	0.97	-242.92	1050	2573

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัย โครงการวิจัยการใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานผลิตเส้นใยเรยอนมีค่าความเข้มข้นของสังกะสีสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ทำให้จัดเป็นกากของเสียอันตราย
2. ในการศึกษาระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาคือ ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่ 16 ชั่วโมง
3. ในการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อของแข็ง ที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาคืออัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่ 0.24
4. ในการศึกษา อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่ 60:40
5. ในการศึกษา ปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา คือ ปริมาณผงอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.3 ต่อของแข็งทั้งหมดเนื่องด้วยให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด
6. ปริมาณของสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัด เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ 1199 mg/kg กำลังรับแรงอัดจะลดลงจนไม่สามารถวัดค่าได้
7. ความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากสารเคมี $ZnSO_4$ เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดความชื้น
8. กากตะกอนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบจะมีผลต่อการลดลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบานั้นเอง
9. ปริมาณของกากตะกอนเพิ่มมากขึ้นกำลังรับแรงอัดจะลดลง ความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าลดลง และความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด
10. ปริมาณของกากตะกอน ที่เติมลงไปในการบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา ใด้อยู่ในช่วงร้อยละ 20-30
11. ตัวอย่างทั้งแบบสารเคมีและแบบเติมกากของเสียไปตรวจสอบปริมาณสังกะสีพบว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ชะละลายออกมาได้จากทั้งกระบวนการ WET และ TCLP นั้นมีค่า

น้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสังกะสีที่มีอยู่ก่อนคอนกรีตมวลเบาเนื่องจากสังกะสีจะจับตัวได้ดีกับของแข็งและแทบจะไม่ละลายออกมาเลยในช่วงค่า pH 7-13 โดยค่าการชะละลายที่ได้นั้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

12. การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอนสามารถที่จะนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเติมในการกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาได้ จัดเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการกากของเสียจากอุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับหลักการจัดการกากของเสีย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัย โครงการวิจัยการใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสียในการผลิตคอนกรีตมวลเบา มีข้อเสนอแนะ คือ ควรมีการศึกษาวิจัยการนำกากของเสียสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไปศึกษาการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอิฐมอญเพิ่มเติมและควรมีการศึกษา การเพิ่มสารเพื่อช่วยในการกระจายตัวของฟองอากาศในตัวผลิตภัณฑ์เพื่อให้ฟองอากาศเกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและได้คอนกรีตที่เบาและมีกำลังรับแรงอัดมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 2548 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws/00180774.pdf [2549,มกราคม 25]

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.รายงานพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา จังหวัดอ่างทอง. โครงการสร้างความเข้มแข็งในการเฝ้าระวังเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษจากโรงงานในพื้นที่ที่มีความเปราะบางด้านสิ่งแวดล้อม. 2551. หน้า 82-120.

ชาตรีสาวทรัพย์. การใช้ประโยชน์แก๊สลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลในการผลิตคอนกรีตมวลเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 1505 2541 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2541.

ภาษาอังกฤษ

Bave, G., et al. Autoclaved Aerated Concrete CEB Manual of Design and Technology. 1st ed. England: The construction Press, 1978.

Chen, Q., et al. 2009. Application of accelerated carbonation with a combination of Na₂CO₃ and CO₂ in cement-based solidification/stabilization of heavy metal-bearing sediment. Journal of Hazardous Materials. 166: 421–427.

Cord, J. R. 1974. The manufacture and application of lightweight concrete., Building in South East Asia

Environmental Protection Agency (EPA). Method 1311. Toxicity Characteristic Leaching Proceder.1-38, 1992

Environmental Protection Agency (EPA). Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils.1-30, 1995

- Giergiczny, Z., and Król, A. 2008. Immobilization of heavy metals (Pb, Cu, Cr, Zn, Cd, Mn) in the mineral additions containing concrete composites. Journal of Hazardous Materials. 160: 247–255.
- Gunawan, A. Appropriate Technology Development of Autoclaved Lightweight Mortars Using Pulverized Fly Ash and Bottom Ash. Master's Thesis, School of Civil Engineering Asian Institute of Technology, 2006.
- Katsioti, M., and Katsiotis, N. 2008. The effect of bentonite/cement mortar for the stabilization/solidification of sewage sludge containing heavy metals. Cement & Concrete Composites. 30:1013–1019.
- Kurama, H., Topçu, İ.B. and Karakurt, C. 2009. Properties of the autoclaved aerated concrete produced from coal bottom ash. Journal of Materials Processing Technology. 209: 767-773.
- Laukaitis, A., and Fiks, B. A coustical properties of aerated autoclaved concrete. Applied Acoustic. 67 (2006): 284-296.
- LaGreaga, M. D. 2001. Hazardous Waste Management. 2nd edition. McGraw-Hill. Publication SP 29. 1971. Lightweight Concrete. American Concrete Institute. 147-158.
- Ungsongkhun, T. 2005. Production of aerated and autoclaved lightweight mortar containing pulverized flyash and bottom ash. Asian institute of technology, Thailand
- Phuythamajitt, C. 2006. The effect of using flyash replacing Portland cement in autoclaved aerated lightweight concrete. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
- IlkerBekirTopcu, andTayfun U. 2007. Properties of autoclaved lightweight aggregate concrete. Building and Environment 42: 4108–4116
- Phaiboon, P., andMallika, P. 2008. Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. Waste Management 28: 1581–1588

ภาคผนวก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-1 โลหะหนักชนิดต่างๆที่อยู่ในกากของเสีย

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Al (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	K (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
17-พ.ย.-09	7213.94	2971.36	1.38	67.04	10.02	4732.16	1076.3	246.29	46.23	79.89	6708.92
19-พ.ย.-09	12345.04	2851	1.91	102.29	15.46	7718.18	1763.61	351.76	60.02	104.96	7133.91
24-พ.ย.-09	9233.53	3018.78	1.9	95.47	14.16	6633.62	1410.6	296.58	51.9	87.55	6632.14
26-พ.ย.-09	3483	2815.69	1.43	50.81	5.61	2936.55	423.73	184.22	46.33	55.5	6061.25
3-ธ.ค.-09	13050.62	2932.97	2.23	109.57	14.99	7854.12	1964.41	355.21	60.28	85.99	6403.81
8-ธ.ค.-09	3656.38	2895.45	1.21	56.98	7.46	2746.66	592.85	169.02	33.47	59.13	6132.64
15-ธ.ค.-09	2554.1	2752.65	1.47	38.69	4.75	2148.25	320.5	133.11	32.83	51.63	6004.39
17-ธ.ค.-09	8759.42	2858.95	2.34	147.19	22.29	6801.58	1042.51	318.39	69.33	86.87	6921.94
22-ธ.ค.-09	1631.6	3014.29	1.36	47.35	5.88	2008.87	303.63	154.54	26.82	48.82	5556.87
24-ธ.ค.-09	404.84	2962.81	0.64	20.94	2.33	614.37	121.17	78.05	17.16	39.6	5312.47
29-ธ.ค.-09	1075.78	3113.63	1.36	27.75	2.63	1198.64	292.88	113.25	16.95	40.81	5010.06
5-ม.ค.-10	4093.31	2936.67	1.67	91.04	9.72	3950.2	556.19	263.8	41.98	64.89	6183.09
Minimum	404.84	2752.65	0.64	20.94	2.33	614.37	121.17	78.05	16.95	39.6	5010.06
Maximum	13050.62	3113.63	2.34	147.19	22.29	7854.12	1964.41	355.21	69.33	104.96	7133.91
SD	4367.26	99.29	0.47	37.98	6.07	2580.65	619.72	95.83	16.98	21.29	643.20
Average	5625.13	2927.02	1.58	71.26	9.61	4111.93	822.37	222.02	41.94	67.14	6171.79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง

Sample	Compressive strength (N/mm ²)								Average	SD
time 12	0.24	3	3.2	3.2	3.2	3.6	3.6	2.4	3.17	0.41
	0.26	3	3.2	3	3.6	3.8	3.6	3.6	3.40	0.33
	0.3	2	1.8	2.2					2.00	0.20
time 16	0.24	4.8	4.8	5.2	5.6	4.8	5.2		5.07	0.33
	0.26	4	4.2	4.8	4.2	4			4.24	0.33
	0.3	2	2						2.00	0.00
time 18	0.24	2	3.2	3.2	2.4	3.2	2.8	2.8	2.80	0.46
	0.26	2	2.8	2.4	2.4	2	2		2.27	0.33
	0.3	2	2	2	1.6	2			1.92	0.18
cement/sand 65/35	3.6	3.2	4	3.6	3.2				3.52	0.33
cement/sand 60/40	3.2	2.8	2	2.4	2.8				2.64	0.46
cement/sand 55/45	2	2.4	2.8	2.8	2.4				2.48	0.33
AI 0.3%	3.2	2.8	2.4	2	2.8				2.64	0.46
AI 0.4%	2.4	2.4	2						2.27	0.23
AI 0.5%	1.6	2.2	2.4	2.4					2.15	0.38
Mixture 0	4.4	4	4	3.2	3.2	3.2			3.67	0.53
Mixture 1	4	4.4	4	4	4.4	4.4			4.20	0.22
Mixture 2	5.2	4.8	5.8	4.6	5.2				5.12	0.46
Mixture 3	1.2	1.6	1.2	1.4					1.35	0.19
Mixture 4	NA	NA	NA	NA	NA				NA	NA
Mixture 5	NA	NA	NA	NA	NA	NA			NA	NA
Add sludge 0%	12	12	12.6	12.8	12	12.6			12.33	0.37
Add sludge 10%	11.6	13.2	12	12.6	12				12.28	0.63
Add sludge 20%	6.8	6.8	4.8	6.4	5.6	6			6.07	0.78
Add sludge 30%	4.4	4	4.8	5.4	4.4				4.60	0.53
Add sludge 40%	1.6	2	1.8	1.6	1.6				1.72	0.18
Add sludge 50%	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6				1.60	0.00

ตารางที่ ก-3ค่าการดูดกลืนน้ำของตัวอย่าง

Sample	Water Absorption (kg/m ³)						Average	SD
Mixture 0	308	309.84	326.24	315.12	313.84	311.2	314.04	6.52
Mixture 1	358.32	355.04	353.12	319.36	353.52		347.87	16.07
Mixture 2	378.8	379.12	370	377.76	372.72		375.68	4.09
Mixture 3	406.64	407.04	403.2	408.08	405.84		406.16	1.84
Mixture 4	312.32	306.24	309.12	309.68	329.04		313.28	9.07
Mixture 5	406.64	403.92	408	393.92	405.52		403.60	5.61
Add sludge 0%	411.98	403.15	398.56				404.56	6.82
Add sludge 10%	428.24	467.2	425.92	433.36	456.4	426.08	439.53	17.79
Add sludge 20%	515.22	448.91	458.61	448.11	444.92	446.02	460.30	27.34
Add sludge 30%	400	371.76	383.92	384.64	384.56		384.98	10.02
Add sludge 40%	435.2	443.68	445.2	443.84	445.76	444.72	443.07	3.93
Add sludge 50%	503.6	469.28	485.76	484.8	488	476.96	484.73	11.55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ความหนาแน่นของตัวอย่าง

Sample	Density (kg/dm ³)											Average	SD	
time 12	0.24	1.19	1.24	1.18	1.22	1.2	1.23	1.22					1.21	0.02
	0.26	1.29	1.28	1.29	1.29	1.26	1.26	1.29					1.28	0.01
	0.3	1.24	1.05	1.26									1.18	0.12
time 16	0.24	1.3	1.31	1.29	1.31	1.32	1.31						1.31	0.01
	0.26	1.31	1.32	1.34	1.27	1.28							1.30	0.03
	0.3	1.23	1.23										1.23	0.00
time 18	0.24	1.22	1.22	1.23	1.25	1.15	1.27	1.25					1.23	0.04
	0.26	1.3	1.31	1.17	1.28	1.27	1.29						1.27	0.05
	0.3	1.21	1.13	1.22	1.23	1.23							1.20	0.04
cement/sand 65/35	1.27	1.26	1.25	1.21	1.23	1.23							1.24	0.02
cement/sand 60/40	1.26	1.28	1.25	1.21									1.25	0.03
cement/sand 55/45	1.23	1.17	1.2	1.2	1.17								1.19	0.03
A1 0.3%	1.26	1.28	1.25	1.21									1.25	0.03
A1 0.4%	1.23	1.25	1.24										1.24	0.01
A1 0.5%	1.23	1.22	1.22	1.23	1.23	1.18							1.22	0.02
Mixture 0	1.13	1.32	1.11	1.19	1.10	1.29	1.18	1.13	1.37	1.32	1.20		1.21	0.10
Mixture 1	1.39	1.38	1.35										1.37	0.02
Mixture 2	1.49	1.48	1.45										1.47	0.02
Mixture 3	1.41	1.42	1.39	1.40									1.41	0.01
Mixture 4	1.44	1.45											1.45	0.01
Mixture 5	1.42	1.44	1.42	1.39	1.45	1.40	1.43	1.47	1.48	1.43	1.43		1.43	0.03
Add sludge 0%	1.34	1.30	1.35	1.34	1.32	1.34							1.33	0.02
Add sludge 10%	1.41	1.40	1.39	1.37	1.38								1.39	0.02
Add sludge 20%	1.06	1.06	1.03	1.07	1.07	1.06							1.06	0.01
Add sludge 30%	1.13	1.15	1.13	1.10	1.10	1.10							1.12	0.02
Add sludge 40%	0.94	0.98	0.99	0.95									0.97	0.02
Add sludge 50%	1.01	1.02	0.99	1.01	0.99								1.00	0.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในตัวอย่าง

Sample	Method	Zn concentration (ppm)			Average	SD
Mixture 0	TCLP	0.0063	0.0048	0.0056	0.0056	0.0008
Mixture 1	TCLP	0.0106	0.0098	0.0093	0.0099	0.0007
Mixture 2	TCLP	0.0089	0.0092	0.0086	0.0089	0.0003
Mixture 3	TCLP	0.0263	0.0243	0.0253	0.0253	0.0010
Mixture 4	TCLP	0.0188	0.0182	0.0178	0.0183	0.0005
Mixture 5	TCLP	0.0107	0.0113	0.0105	0.0108	0.0004
Add sludge 0%	TCLP	0.09056	0.08013	0.08646	0.0857	0.0053
Add sludge 10%	TCLP	0.1624	0.0837	0.08228	0.1095	0.0459
Add sludge 20%	TCLP	0.09984	0.09778	0.0934	0.0970	0.0033
Add sludge 30%	TCLP	0.08609	0.07667	0.08111	0.0813	0.0047
Add sludge 40%	TCLP	0.09379	0.1424	0.0355	0.0906	0.0535
Add sludge 50%	TCLP	0.00991	0.02685	0.03798	0.0249	0.0141
Mixture 0	Microwave	29.65	28.07	28.83	28.85	0.79
Mixture 1	Microwave	624.74	623.91	604.38	617.68	11.52
Mixture 2	Microwave	1208.9	1172.7	1217	1199.53	23.59
Mixture 3	Microwave	1823.1	1652.6	1599.7	1691.80	116.74
Mixture 4	Microwave	1981.8	2035.2	1980.8	1999.27	31.12
Mixture 5	Microwave	2370.4	2251.2	2372.4	2331.33	69.40
Add sludge 0%	Microwave	122	151	154	142.33	17.67
Add sludge 10%	Microwave	1560	1610	1650	1606.67	45.09
Add sludge 20%	Microwave	2580	2610	2600	2596.67	15.28
Add sludge 30%	Microwave	3130	3110	3140	3126.67	15.28
Add sludge 40%	Microwave	3260	3250	3290	3266.67	20.82
Add sludge 50%	Microwave	3630	3580	3480	3563.33	76.38
Add sludge 0%	WET	0.691				
Add sludge 10%	WET	8.88				
Add sludge 20%	WET	4.3				
Add sludge 30%	WET	5.11				
Add sludge 40%	WET	7.3				
Add sludge 50%	WET	0.335				
17 พ.ย. 09	Microwave	6425	6671	7030	6708.67	304.25
19 พ.ย. 09	Microwave	6530	7467	7403	7133.33	523.48
24 พ.ย. 09	Microwave	6484	6757	6653	6631.33	137.78
26 พ.ย. 09	Microwave	5820	6156	6206	6060.67	209.92
3 ธ.ค. 09	Microwave	6150	6376	6683	6403.00	267.52
8 ธ.ค. 09	Microwave	6211	6018	6167	6132.00	101.15
15 ธ.ค. 09	Microwave	5778	6052	6182	6004.00	206.23
17 ธ.ค. 09	Microwave	6897	6993	6875	6921.67	62.75
22 ธ.ค. 09	Microwave	5502	5537	5631	5556.67	66.71
24 ธ.ค. 09	Microwave	5002	5347	5587	5312.00	294.07
29 ธ.ค. 09	Microwave	4986	5015	5029	5010.00	21.93
5 ม.ก. 10	Microwave	6123	6200	6225	6182.67	53.16



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณหาค่าใช้จ่ายจากการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 1 ลูกบาศก์เมตร โดยผสม
กากของเสีย 0%

Material	Used (unit)	Bulk	Weight (kg)	Volume (m ³)	used in fresh concrete	Value/unit	Value (baht)
Cement	1350	3.15	0.428571	4.2525	1818.59	2.3	4182.764
Lime	150	3.05	0.04918	0.4575	195.65	3	586.9534
Sand	1000	2.75	0.363636	2.75	1176.05	0.7	823.2315
Aluminum powder	10	1.5	0.006667	0.015	6.41	0	0
Water	600	1	0.6	0.6	256.59	0.003	0.769775
Sludge	0	0.6	0	0	0.00	0	0
Electricity					1	1050	1050
Total	3110		1.448055				6643.719

ตารางที่ ข-2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 1 ลูกบาศก์เมตร โดยผสม
กากของเสีย 10%

Material	Used (unit)	Bulk	Weight (kg)	Volume (m ³)	used in fresh concrete	Value/unit	Value (baht)
Cement	1215	3.15	0.385714	3.82725	1657.80	2.3	3812.938
Lime	135	3.05	0.044262	0.41175	178.35	3	535.0569
Sand	900	2.75	0.327273	2.475	1072.06	0.7	750.4441
Aluminum powder	9	1.5	0.006	0.0135	5.85	0	0
Water	700	1	0.7	0.7	303.21	0.003	0.909629
Sludge	250	0.6	0.416667	0.15	64.97	-1.2	-77.9682
Electricity					1	1050	1050
Total	3209		1.879916				6071.38

ตารางที่ ข-3 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 1 ลูกบาศก์เมตร โดยผสม
กากของเสีย 20%

Material	Used (unit)	Bulk	Weight (kg)	Volume (m ³)	used in fresh concrete	Value/unit	Value (baht)
Cement	1080	3.15	0.342857	3.402	1090.12	2.3	2507.278
Lime	120	3.05	0.039344	0.366	117.28	3	351.838
Sand	800	2.75	0.290909	2.2	704.96	0.7	493.4704
Aluminum powder	8	1.5	0.005333	0.012	3.85	0	0
Water	800	1	0.8	0.8	256.35	0.003	0.769045
Sludge	500	0.6	0.833333	0.3	96.13	-1.2	-115.357
Electricity					1	1050	1050
Total	3308		2.311777				4287.999

ตารางที่ ข-4 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 1 ลูกบาศก์เมตร โดยผสม
กากของเสีย 30%

Material	Used (unit)	Bulk	Weight (kg)	Volume (m ³)	used in fresh concrete	Value/unit	Value (baht)
Cement	945	3.15	0.3	2.97675	978.56	2.3	2250.692
Lime	105	3.05	0.034426	0.32025	105.28	3	315.8321
Sand	700	2.75	0.254545	1.925	632.81	0.7	442.9704
Aluminum powder	7	1.5	0.004667	0.0105	3.45	0	0
Water	900	1	0.9	0.9	295.86	0.003	0.887584
Sludge	750	0.6	1.25	0.45	147.93	-1.2	-177.517
Electricity					1	1050	1050
Total	3407		2.743638				3882.865

ตารางที่ ข-5 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 1 ลูกบาศก์เมตร โดยผสม
กากของเสีย 40%

Material	Used (unit)	Bulk	Weight (kg)	Volume (m ³)	used in fresh concrete	Value/unit	Value (baht)
Cement	810	3.15	0.257143	2.5515	679.27	2.3	1562.316
Lime	90	3.05	0.029508	0.2745	73.08	3	219.2346
Sand	600	2.75	0.218182	1.65	439.27	0.7	307.4875
Aluminum powder	6	1.5	0.004	0.009	2.40	0	0
Water	1100	1	1.1	1.1	292.85	0.003	0.878536
Sludge	1000	0.6	1.666667	0.6	159.73	-1.2	-191.681
Electricity					1.00	1050	1050
Total	3606		3.2755				2948.236

ตารางที่ ข-6 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 1 ลูกบาศก์เมตร โดยผสม
กากของเสีย 50%

Material	Used (unit)	Bulk	Weight (kg)	Volume (m ³)	used in fresh concrete	Value/unit	Value (baht)
Cement	675	3.15	0.214286	2.12625	573.89	2.3	1319.939
Lime	75	3.05	0.02459	0.22875	61.74	3	185.2227
Sand	500	2.75	0.181818	1.375	371.12	0.7	259.7841
Aluminum powder	5	1.5	0.003333	0.0075	2.02	0	0
Water	1200	1	1.2	1.2	323.89	0.003	0.97166
Sludge	1250	0.6	2.083333	0.75	202.43	-1.2	-242.915
Electricity					1	1050	1050
Total	3705		3.707361				2573.003

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ฌภัทร โชติมงคล เกิดวันที่ 2 ตุลาคม พุทธศักราช 2526 สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย เมื่อปี พุทธศักราช 2548 ปัจจุบันอาศัยอยู่ที่ บ้านเลขที่ 72 แยก 2 ซอยโชคชัย4 36 ถนน
โชคชัย 4 เขต ลาดพร้าว กรุงเทพฯ ได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย