การศึกษาประสิทธิภาพกากตะกอนน้ำประปา ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

A STUDY OF WATER SLUDGE EFFICIENCY IN THE PRODUCTION OF CONCRETE BLOCKS

นภามาศ ไพเราะ
ภัสรินทร์ วรุตม์โกเมน
อรทัย ประสานเชื้อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF WATER SLUDGE EFFICIENCY IN THE PRODUCTION OF CONCRETE BLOCKS

NAPAMAD PAIROEI
PHATSARIN WARUTKOMEN
ORATHAI PRASANCHUE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาประสิทธิภาพกากตะกอนน้ำประปาในการผลิตคอนกรีตบล็อก A study of water sludge efficiency in the production of concrete blocks
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนภามาศ ไพเราะ รหัสนักศึกษา 58050632 นางสาวภัสรินทร์ วรุตมโกเมน รหัสนักศึกษา 58050668 นางสาวอรทัย ประสานเชื้อ รหัสนักศึกษา 58050698
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาประสิทธิภาพกากตะกอนน้ำประปาในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสาน

ชื่อนักศึกษา นางสาวนภามาศ ไพเราะ รหัสนักศึกษา 58050632
นางสาวภัสรินทร์ วรุตม์โกเมน รหัสนักศึกษา 58050668
นางสาวอรทัย ประสานเชื้อ รหัสนักศึกษา 58050698

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้ามาทำเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก โดยนำมาเป็นวัสดุแทนที่ทรายและนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 827-2531 โดยใช้ ซีเมนต์ : ทราย : ตะกอน โดยอัตราส่วนผสมที่นำกากตะกอนมาแทนที่ทรายเป็น 5 10 15 และ 20% ทำการบ่มคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เพื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงอัด ค่าความชื้น ค่าการดูดซึมน้ำ และทดสอบการชะละลายโลหะหนัก ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โซเดียม (Na) แมงกานีส (Mn) และแมกนีเซียม (Mg) ด้วยวิธีทดสอบการสกัดของเสีย (Waste Extraction Test, WET) และวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) จากการศึกษาพบว่าค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนทุกอัตราส่วน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก.827-2531 ตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจึงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น แต่เหมาะที่จะนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ซึ่งคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนร้อยละ 15 อายุการบ่ม 14 วัน มีค่าความต้านแรงอัด 2.62 MPa เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำตะกอนมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีการใช้ปริมาณตะกอนผสมมาก ใช้ระยะเวลาบ่มน้อย เปอร์เซ็นต์ความชื้นและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละของตะกอนที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้นและเมื่อทดสอบค่าการชะละลายโลหะหนักทุกชนิดมีค่าผ่านมาตรฐานที่กำหนดหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 และมาตรฐานตามที่ US EPA กำหนด

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำประปา คอนกรีตบล็อก ซีเมนต์ โลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title A study of water sludge efficiency in the production of concrete blocks
Student Miss Napamad Paireoi Student ID 58050632
Miss Phatsarin Warutkomen Student ID 58050668
Miss Orathai Prasanchue Student ID 58050698
Degree Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department Chemistry
Faculty Science
University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year 2018
Advisor Dr. Glinsukol Suwannarat

Abstract

The objective of this special project was to study the use of sludge from the water production process of a power plant to make a mixture of concrete blocks. By using it as a material to replace sand and be compared with TIS 827-2531 by using cement: sand: sediment by mixing the ratio of the sludge to replace sand as 5, 10, 15 and 20%. Curing the concrete block at the curing age of 7, 14 and 28 days to test the compressive strength, moisture value, value Water absorption and heavy metal leaching test, including aluminum (Al), Arsenic (As), Copper (Cu), Zinc (Zn), Sodium (Na), Manganese (Mn) and Magnesium (Mg) with Waste Extraction Test and Toxicity Characteristic Leaching Procedure from the study. It was found that the compressive strength of concrete blocks that mixed sediment every ratio Is lower than the standard TIS 827-2531 standard. Sediment from the production process of water is not suitable to be used to produce concrete block interlocking flooring but suitable to produced weight- bearing concrete blocks according to the TIS 58-2533 standard, which blocks 15% of the sludge with 14 days of curing age apply due to the large amount of sediment used less curing time. The moisture content and the percentage of water absorption of the bricks were increased when the percentage of the sludge mixed into the concrete block was increased. All metal leaching abilities were less than those Notification and US EPA standard

Keywords : Sludge, Concrete block, Cement, Heavy Metals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่คอยให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงานพิเศษ อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ และ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการสอบโครงงานพิเศษที่ช่วยชี้แนะถึงข้อบกพร่อง ให้คำแนะนำและตรวจสอบโครงงานพิเศษเพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โรงไฟฟ้าบางปะกง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์นำตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาให้กับคณะผู้จัดทำมาศึกษาประสิทธิภาพตะกอนดินเพื่อนำมาผลิตคอนกรีตบล็อก

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า (Compression Machines) และยังให้คำแนะนำแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำความรู้และช่วยสนับสนุนโครงงานพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี พี่นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลองและอำนวยความสะดวกด้านเอกสาร ส่งผลให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่เป็นแรงผลักดัน ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนทางด้านการศึกษามาโดยตลอด

นภามาศ ไพเราะ

ภัสรินทร์ วรุตม์โกเมน

อรทัย ประสานเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง 3
2.1.1 Coagulation Tank 3
2.1.2 Flocculation Tank 3
2.1.3 Clarifier 3
2.1.4 Clarifier Well 4
2.1.5 Multi Media Filter (MMF) 4
2.1.6 Service Tank 4
2.2 ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา 4
2.2.1 อินทรียวัตถุ 5
2.2.2 สารเคมีช่วยตกตะกอน 6
2.3 คอนกรีตบล็อก 6
2.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 7
2.3.2 ทราย 10
2.4 โลหะหนัก 14
2.4.1 ทองแดง (Copper) 15
2.4.2 สังกะสี (Zing) 16
2.4.3 สารหนู (Arsenic) 16
2.4.4 แมงกานีส (Manganese) 17
2.5 การปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง 17
2.5.1 ข้อดีของการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2 เทคนิคการทำก้อนแข็ง..... 18
2.5.3 กลไกของการปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง..... 19
2.6 คุณลักษณะของคอนกรีตบล็อก..... 20
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังแรงอัด..... 20
2.7.1 คุณสมบัติของวัสดุผสม..... 20
2.7.2 การทำคอนกรีต..... 21
2.7.3 การบ่มคอนกรีต..... 21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 25
3.1 เครื่องมือและสารเคมี..... 25
3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน..... 26
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างตะกอน..... 26
3.2.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน..... 27
3.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติตะกอนดิน..... 28
3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปบล็อกคอนกรีตบล็อก..... 28
3.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก..... 28
3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก..... 28
3.3.3 ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก..... 30
3.3.4 การขึ้นรูปตัวอย่างคนกรีตบล็อก..... 31
3.3.5 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ..... 33
3.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์และเคมี..... 33
3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ..... 34
3.4.1.1 การวัดขนาด (Measurement of size) 34
3.4.1.2 การทดสอบหาความหนาแน่น (Density of Brick) 34
3.4.1.3การทดสอบหาค่าความชื้น (Moisture Content Test) 35
3.4.1.4 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption test) 35
3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกล..... 36
3.4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength Test) 36
3.4.3 **การทดสอบการชะละลายโลหะหนักออกจากคอนกรีตบล็อก**..... 37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล..... 38
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตะกอน..... 39
4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเครื่อง X-ray fluorescence..... 39
4.1.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตะกอน..... 40
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 ขนาดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 40
4.2.2 น้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 41
4.2.3 พื้นที่และปริมาตรเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 42
4.2.4 ความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 43
4.2.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 43
4.2.6 เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 44
4.2.7 การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศนอิเล็กตรอน
แบบส่องกราด..... 45
4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกล..... 45
4.4 การทดสอบการชะละลายโลหะหนักออกจากคอนกรีตบล็อก..... 49
4.4.1 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักโดยวิธี Waste Extraction Test..... 49
4.4.2 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักโดยวิธี
Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)..... 50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะ..... 53
5.1 สรุปผลวิจัย..... 53
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 53
เอกสารอ้างอิง..... 54
ภาคผนวก..... 57
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ตะกอนดินและซีเมนต์..... 58
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์..... 63
ภาคผนวก ค ค่ามาตรฐาน..... 105
ภาคผนวก ง พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของคอนกรีตบล็อกโดยการใช้
เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)..... 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณของสิ่งเจือปนในทรายที่ยอมรับได้ 11
2.2 ปริมาณการพองตัวของทรายที่มีขนาดไม่เท่ากัน 12
2.3 วัสดุผสมคอนกรีต..... 13
2.4 วัสดุเจือปนโดยแบ่งตามประเภทของสิ่งเจือปนผลกระทบต่อคอนกรีตและค่าสูงสุด ตามข้อกำหนด..... 13
2.5 เกณฑ์ข้อกำหนดส่วนขนาดคละของทราย 14
3.1 สัดส่วนการผสมขึ้นรูปบล็อกคอนกรีตบล็อก..... 30
3.2 จำนวนตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบเชิงฟิสิกส์..... 33
3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติบล็อกคอนกรีตบล็อก..... 33
4.1 ชุดการทดลองสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อก..... 38
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence 39
4.3 สมบัติทางเคมีของตะกอน..... 40
4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ระหว่างมอก.827-2531 และ มอก.58-2533 ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28วัน..... 47
4.5 ปริมาณแมงกานีสและแมกนีเซียมในคอนกรีตบล็อก (mg/Kg) 50
4.6 ปริมาณทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม อะลูมิเนียม และโซเดียม ในคอนกรีตบล็อก(mg/Kg) 52
ก-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการสกัดด้วยวิธี TCLP และวิธี WET..... 60
ก-2 การแปรผลระดับอินทรียวัตถุ..... 62
ข-1 ความชื้นของกากตะกอน..... 63
ข-2 ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนหลังการตากแห้ง..... 64
ข-3 องค์ประกอบในกากตะกอนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence 64
ข-4 อินทรียวัตถุในกากตะกอน..... 64
ข-5 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน..... 66
ข-6 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 68
ข-7 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 71
ข-8 ความชื้นของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน..... 74
ข-9 ความชื้นของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 75
ข-10 ความชื้นของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 76
ข-11 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน..... 77
ข-12 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข-13 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 79
ข-14 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน..... 80
ข-15 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 82
ข-16 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 84
ข-17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานทองแดง..... 87
ข-18 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานสังกะสี..... 88
ข-19 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส..... 89
ข-20 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม..... 90
ข-21 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ใน
คอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 7 วัน..... 91
ข-22 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ใน
คอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 92
ข-23 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ใน
คอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 94
ข-24 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ใน
คอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 7 วัน 95
ข-25 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ใน
คอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 97
ข-26 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ใน
คอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 98
ข-27 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์
ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 7 วัน..... 100
ข-28 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์
ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 14 วัน..... 101
ข-29 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์
ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 28 วัน..... 103
ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP 105
ค-2 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี WET 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง	3
2.2 ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา	4
3.1 ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง	25
3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราอินทรีย์เพชร	25
3.3 ทรายหยาบ	26
3.4 เครื่องบด By BOSCO ENGINEERING	26
3.5 ตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh	27
3.6 ตากตะกอนดินให้แห้งบนดาดฟ้าตึกจุฬาภรณ์ 1	27
3.7 ตะกอนดินหลังจากเตรียม	28
3.8 กระบะสำหรับคนส่วนผสม	28
3.9 แม่พิมพ์บล็อกขนาด 8 ×8 ×6 เซนติเมตร	29
3.10 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง	29
3.11 ถุงมือยางใช้ผสมวัตถุดิบ	29
3.12 เกียงแบบแหลมขนาด 6 นิ้ว	30
3.13 การชั่งส่วนผสมและนวดให้เข้ากัน	31
3.14 อัดส่วนผสมลงแม่พิมพ์	31
3.15 บ่มโดยการคลุมผ้าแล้วรดน้ำ	31
3.16 แผนภาพการผลิตคอนกรีตบล็อก	32
3.17 Vernier Caliper	34
3.18 เครื่องทดสอบรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า	36
4.1 ขนาดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก	40
4.2 น้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก	41
4.3 พื้นที่เฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก	42
4.4 ปริมาตรเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก	42
4.5 ความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก	43
4.6 เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก..... 44
4.8 ภาพถ่ายพื้นผิวของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนตะกอน 5% ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า..... 45
4.9 ค่าต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก..... 46
4.10 ปริมาณทองแดงในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี WET..... 49
4.11 ปริมาณสังกะสีในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี WET..... 50
4.12 ปริมาณอาร์เซนิกในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี TCLP..... 51
4.13 ปริมาณแมงกานีสในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี TCLP..... 51
ข.1 กราฟมาตรฐานสารละลายทองแดง..... 87
ข.2 กราฟมาตรฐานสารละลายสังกะสี..... 88
ข.3 กราฟมาตรฐานสารละลายแมงกานีส..... 89
ข.4 กราฟมาตรฐานสารละลายแมกนีเซียม..... 90
ง.1 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 7 วัน กำลังขยาย 10000 เท่า..... 112
ง.2 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 7 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า..... 112
ง.3 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 14 วัน กำลังขยาย 10000 เท่า..... 113
ง.4 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 14 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า.....113
ง.5 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 28 วัน กำลังขยาย 10000 เท่า.....114
ง.6 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 28 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า..... 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโทรโฟโตมิเตอร์
WET	วิธีทดสอบการสกัดของเสีย
TCLP	วิธีทดสอบการชะละลายโลหะหนัก
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
OM	อินทรียวัตถุในดิน
XRF	การวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/Kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
g/mm^3	กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร
g/cm^2	กรัมต่อตารางเซนติเมตร
µs/cm	โมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร
Mpa	เมกะปาสคาล
N	นิวตัน
W	น้ำหนักตัวอย่างตะกอน
W1	น้ำหนักคอนกรีต
W2	น้ำหนักคอนกรีตแห้ง
P	ค่าความต้านทานแรงอัด
BDS	Borium diphenylamin solfonate indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในการใช้น้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาผลิตเป็นน้ำประปา ทำให้มีตะกอนดินหรือโคลนจากแหล่งน้ำนั้นมีโอกาสปะปนมากับน้ำดิบ ทำให้กระบวนการผลิตน้ำประปามีวิธีการทำให้ตะกอนดินจับตัวกัน (Flocculation) และตกลงด้านล่างบ่อกักเก็บ โดยนิยมเติมสารเคมี ได้แก่ สารส้ม (Alum) เป็นการเร่งให้ตะกอนตกตัว (ธเนศ, 2546) หลังจากนั้นทำการฆ่าเชื้อโรคก่อนสูบน้ำประปาไปใช้ ทำให้กระบวนการผลิตน้ำประปานั้นเกิดของเสียที่เป็นการจับตัวของตะกอนดินและสารเคมีที่ใช้ในระบบการผลิต สำหรับการนำน้ำดิบมาผลิตเป็นน้ำประปามีสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเร่งทำให้ตะกอนจับตัวกันได้ดีขึ้น รวมถึงเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำในการลดความเป็นกรดเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในท่อส่งน้ำประปา ซึ่งสารเคมีที่ใช้เร่งในการตกตะกอน ประกอบด้วย Polyacrylamide Anion และ Poly Aluminum Chloride (PAC) ทำให้ในกระบวนการผลิตมีของเสียเกิดขึ้น คือ ตะกอนดินและสารเคมีที่ปะปนอยู่ในตะกอนดิน หลังกระบวนการผลิตน้ำประปามีการนำตะกอนดินออกมาโดยผ่านกระบวนการรีดน้ำออกก่อนที่จะนำไปตากให้แห้งและส่งหน่วยงานภายนอกกำจัดหรือทางโรงไฟฟ้านำไปกำจัดเอง ทั้งนี้การกำจัดตะดอนดินน้ำประปานั้นขึ้นอยู่กับค่ามาตรฐานของตะกอนดินถ้าหากค่าโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานทางโรงไฟฟ้าจะนำไปถมที่ภายในพื้นที่ของโรงไฟฟ้า แต่ถ้าหากค่าโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานจะส่งให้หน่วยงานภายนอกนำไปกำจัด ซึ่งค่าโลหะที่มีปริมาณไม่แน่นอนเกิดจากการพัดพาดินตะกอนจากแหล่งอื่นมาตามฤดูกาลต่าง ๆ ทำให้ทางโรงไฟฟ้าเองมีการตรวจค่าโลหะหนักในตะกอนดินอยู่เสมอก่อนที่จะนำกำจัด ซึ่งก่อนจะนำตะกอนดินไปกำจัดนั้นนอกจากจะมีกระบวนการรีดน้ำออกยังมีการนำตะกอนดินไปตากที่ลานกว้าง จากนั้นถึงนำตะกอนดินไปถมที่ซึ่งปริมาณที่นำไปถมที่นั้นมากเกินกว่าพื้นที่ภายในโรงไฟฟ้าจะเพียงพอ

การนำกากตะกอนดินน้ำประปาไปใช้ประโยชน์สามารถนำไปประยุกต์ได้หลายอย่าง รวมถึงการที่การประปานครหลวงศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของตะกอนดินน้ำประปา เช่น การนำกากตะกอนมาปรับปรุงเพื่อทำเป็นปุ๋ยหมัก และดินสำหรับเพาะปลูก เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับตะกอนดินน้ำประปา (การประปานครหลวง, 2548) แต่ทั้งนี้ต้องมีการเพิ่มสารอาหารให้กับดินเนื่องจากตะกอนดินน้ำประปานั้นมีสารอินทรีย์ไม่มากพอจึงทำให้ไม่เหมาะสมเท่าไหร่ที่จะนำไปต่อยอด และมีการใช้ประโยชน์จากตะกอนดินน้ำประปาในการผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา (ภานุ, 2551) ลักษณะของตะกอนดินน้ำประปานั้นคล้ายกับดิน (วิมัณฑนา, 2556) และคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน

โครงงานพิเศษนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินน้ำประปามาผลิตคอนกรีตบล็อกโดยนำมาเป็นวัสดุทดแทนทราย เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ตะกอนดินน้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินน้ำประปาจากโรงไฟฟ้าบางปะกง มาใช้เป็นวัสดุทดแทนทรายในการทำคอนกรีตบล็อก

1.2.2 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตะกอนน้ำประปากับวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของคอนกรีตบล็อกที่มีตะกอนดินจากโรงไฟฟ้าบางปะกงเป็นวัสดุผสม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ตะกอนดินน้ำประปาจากโรงไฟฟ้าบางประกง โดยทำการศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น, ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity), อินทรีวัตถุในตะกอนดิน (Organic Matter), วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence spectrometry)

1.3.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย และตะกอนดินน้ำประปา ในการทำคอนกรีตบล็อกทั้งหมด 5 อัตราส่วนดังนี้ 0, 5, 10, 15 และ 20 % ในระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตโดยใช้ตะกอนดินเป็นวัสดุทดแทนทราย โดยทำการศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนัก ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ ทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) การศึกษาเชิงกล ได้แก่ การทดสอบแรงอัด การศึกษาทางเคมี ได้แก่ โลหะหนัก โดยวิธีการชะละลาย Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ตามมาตรฐาน US EPA Method 1311 และวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ตะกอนดินน้ำประปาให้เกิดประโยชน์

1.4.2 สามารถนำมาเป็นทางเลือกในการกำจัดตะกอนดินน้ำประปาและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนดินน้ำประปา

1.4.3 คอนกรีตบล็อกที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง

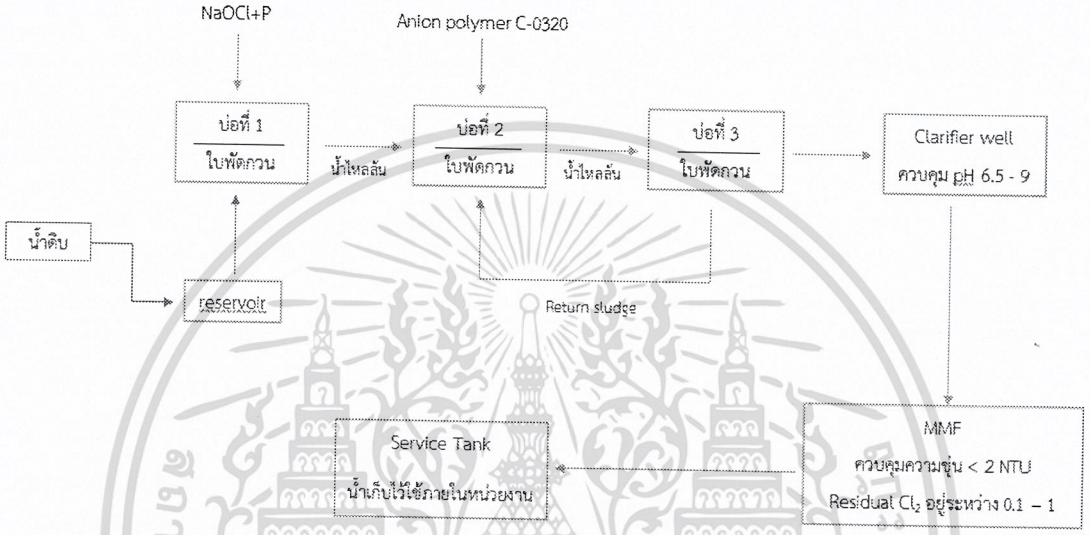
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง

การผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง เริ่มต้นจากการสูบน้ำดิบมาจากอ่างเก็บน้ำบางพระ ผ่านกระบวนการผลิตตามขั้นตอนดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง

2.1.1 Coagulation Tank

ทำการสูบน้ำจาก reservoir ซึ่งเป็นบ่อพักน้ำเข้าสู่บ่อที่ 1 จากนั้นเติม NaOCl (คลอรีนน้ำ) เพื่อกำจัดแบคทีเรีย และ polyaluminium chloride (PAC) เพื่อช่วยในการตกตะกอน โดยจะมีใบพัดกวนด้านล่างเพื่อสร้างความปั่นป่วน ซึ่งจะช่วยให้เกิดการรวมตัวกันของตะกอนได้ง่ายขึ้น

2.1.2 Flocculation Tank

บ่อที่ 2 จะรับน้ำที่ไหลล้นจากบ่อที่ 1 แล้วทำการเติม Anion Polymer C-0320 (Anionic Polyacrylamide) เพื่อทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่ายขึ้น มีใบพัดปั่นกวนเช่นเดียวกันกับบ่อที่ 1 โดยบ่อที่ 2 จะมีการรับ Return Sludge จากบ่อที่ 3 ซึ่งเป็นบ่อพักน้ำ มาทำหน้าที่เป็นหัวเชื้อให้เกิดการรวมตะกอน

2.1.3 Clarifier

บ่อที่ 3 จะเป็นส่วนของบ่อพักน้ำซึ่งรับน้ำล้นมาจากบ่อที่ 2 ผ่านทางท่อแนวนอนไหลมาชนกับท่อแนวตั้ง ซึ่งจะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการแยกตะกอนกับน้ำ โดยตะกอนที่หนักจะจมลงสู่พื้นด้านล่าง ที่มีใบพัดขนาดใหญ่คอยกวนน้ำอยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 Clarifier Well

จะเป็นบ่อพักน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว โดยรับน้ำล้นมาจากบ่อที่ 3 ซึ่งจะทำการควบคุมความสูงของระดับน้ำในบ่อให้อยู่ที่ 1.4 - 3.4 เมตร และมีค่า pH 6.5 – 9

2.1.5 Multi Media Filter (MMF)

น้ำจากบ่อ Clarifier Well จะถูกสูบเข้าสู่ถัง MMF ซึ่งทำหน้าที่กรองอนุภาคแขวนลอยที่เหลือจากขั้นตอนการตกตะกอน โดยภายในจะประปอบไปด้วย กรวด หิน ทราย และแอนทราไซต์ น้ำที่ผ่านการกรองด้วย MMF จะต้องมีค่าความขุ่นไม่เกิน 2 NTU และมี Residual Cl_2 อยู่ระหว่าง 0.1 - 1 ppm ถ้าค่าที่ได้เกินค่าควบคุมแสดงว่า ถัง MMF มีความสกปรกมาก ต้องทำการ Backwash เพื่อกำจัดตะกอนที่ติดค้างอยู่ในถังกรอง

2.1.6 Service Tank

น้ำที่ผ่านการกรองจากถัง MMF จะถูกเก็บเข้าสู่ service tank และเรียกว่า น้ำ service ซึ่งไว้ใช้ภายในหน่วยงาน รวมถึงเป็นแหล่งเก็บน้ำไว้ใช้ยามไฟไหม้ และยังนำไปใช้เป็นน้ำประปา (เติม NaOCl ก่อน) กับผลิตน้ำ Demin ต่อไป

2.2 ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

ตะกอนดินที่นำมาใช้ได้มาจากบ่อพักตะกอนที่ได้มาจากบ่อที่ 3 โดยมี Waste Sludge Pump คอยสูบตะกอนจากก้นบ่อมาเก็บไว้ จากนั้นตะกอนจะถูกสูบไปที่ Filter Press เพื่ออัดให้ตะกอนเป็นแผ่นและกำจัดน้ำออกจากตะกอน ซึ่งตะกอนดินที่ได้เป็นตะกอนดินจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ผ่านการเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน ทำให้ตะกอนมีการปนเปื้อนของอินทรียวัตถุและสารเคมีช่วยตกตะกอน

รูปที่ 2.2 ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 อินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุ (soil organic matter) หรือเรียกอีกอย่างว่า ฮิวมัส (humus) มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่ส่วนของซากพืชหรือสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายหรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ อินทรียวัตถุในดิน แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ(สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต11, 2560) คือ

1. สารฮิวมิก (humic substance)

- โครงสร้างซับซ้อน คงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มาก
- โครงสร้างหลักเป็น aromatic compound ทำให้สลายตัวยาก

2. ส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (nonhumic substance)

- โครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อน ย่อยสลายได้ง่ายกว่า
- สารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ พวกคาร์โบไฮเดรต, ลิปิด, โปรตีน, กรดอะมิโน, และกรดอินทรีย์ จะถูกจุลินทรีย์ย่อยได้ง่าย
- พบในปริมาณค่อนข้างมากในดิน เนื่องจากเข้าไปยึดเกาะกับอนุภาคดินเหนียว หรือทำปฏิกิริยากับแคตไอออนของโลหะบางชนิด เช่น Fe, Al หรือ Cu

โดยสมบัติโดยทั่วไปและบทบาทของอินทรียวัตถุในดิน มีดังนี้

สี

อินทรียวัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงดำ ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงก็มักมีสีคล้ำ สีที่เข้มขึ้นนี้อาจไปมีส่วนทำให้อุณหภูมิของดินโดยรวมสูงขึ้น เนื่องจากดินสีคล้ำดูดกลืน (absorb) รังสีความร้อนได้ดีกว่าดินสีจาง

การดูดซับน้ำ

อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถในการซับน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก คือประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ

การละลายน้ำ

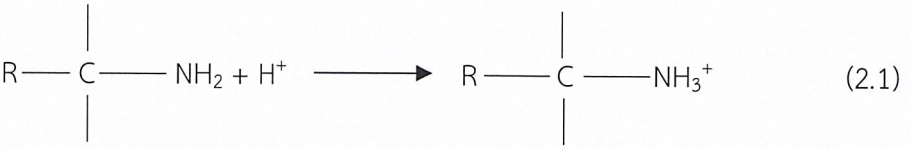
อินทรียวัตถุในดินที่ละลายน้ำได้มีจำนวนน้อยมาก ซึ่งมักจะมีค่าต่ำกว่า 1 % โดยอินทรียวัตถุส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลล์ของจุลินทรีย์, เซลลูโลส, ลิกนิน, ไคติน (chitin), สารฮิวมิก และสารอินทรีย์อื่นๆที่เกาะกับอนุภาคดินเหนียว หรือทำปฏิกิริยากับ multivalent cation ทำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ

ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออน

อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนได้สูง โดยจะสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ 2-30 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของแคตไอออนที่ดูดซับโดยอินทรียวัตถุในดินจะอยู่ในช่วงประมาณ 30-90 % ของปริมาณที่ดินดูดซับได้ทั้งหมด ความสามารถในการดูดซับเกิดจากประจุลบที่มีอยู่มากในอินทรียวัตถุ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการ dissociation ของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่ง carboxylic group และ phenolic OH group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของอินทรียวัตถุในดินมีประจุบวกอยู่บางส่วน ทำให้มีความสามารถในการดูดซับแอนไอออนด้วย ส่วนประจุบวกดังกล่าวเกิดจากกระบวนการเติมโปรตอน (protonation) ของ amine group บนอนุภาคอินทรียวัตถุดังนี้



$$R-\overset{|}{\underset{|}{C}}-NH_2 + H^+ \longrightarrow R-\overset{|}{\underset{|}{C}}-NH_3^+ \qquad (2.1)$$

2.2.2 สารเคมีช่วยตกตะกอน (พรศักดิ์, 2545)

1. Polyaluminium Chloride (PAC)

สารเคมีชนิดสารอนินทรีย์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์และสามารถรวมตัวกันเป็น floc ขนาดใหญ่ขึ้น มีสูตรเคมีคือ $Al_xOH_{3x-y}Cl_y$ เป็นสารเร่งการตกตะกอนมีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งสีขาวจนถึงสีเหลืองอ่อน มีฤทธิ์กัดกร่อน ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออ่อนและผิวหนังได้ PAC ละลายน้ำได้ดี และเมื่อละลายน้ำจะมีสภาพเป็นกรด โดยความเป็นกรดขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย การนำไปใช้งานมักเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายก่อน เพื่อให้ผสมเข้ากับน้ำที่นำมาบำบัดได้ง่ายและทั่วถึง ทั้งนี้มีข้อควรระวังในการเก็บรักษา เนื่องจากสารละลาย PAC ที่ความเข้มข้นสูงสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้บางชนิด โดยจะได้ผลลัพธ์เป็นไฮโดรเจน ซึ่งติดไฟได้ง่าย การเก็บรักษาจึงควรใช้ภาชนะที่เป็นพลาสติกหรือเคลือบด้วยพลาสติก

จุดเด่นของ PAC ที่ดีกว่าสารเคมีอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสีย(หรือน้ำขุ่น) คือ มีประสิทธิภาพในการเร่งการตกตะกอนได้เร็ว ใช้ในปริมาณน้อย และสามารถใช้งานในช่วงความเป็นกรด-ด่างของน้ำในช่วง pH 5.0-8.0 ตะกอนที่ตกโดยการใช้ PAC มีการเกาะตัวกันดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเป็นตัวเร่งการตกตะกอน ส่งผลให้ปริมาตรของตะกอนลดลง นอกจากนี้พบว่าน้ำที่ผ่านการตกตะกอนด้วย PAC มีการเพิ่มขึ้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไม่มาก เมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีชนิดอื่นที่มีซัลเฟตเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากซัลเฟตเป็นแหล่งในการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟต์ (H_2S) หรือแก๊สไข่เน่าที่ทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็น

จุดด้อยของ PAC มีอยู่ประการเดียวคือ ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ (DOC, Dissolved organic carbon) ไม่ดีนัก

2. Anionic Polyacrylamide

สารเคมีประเภทสารอินทรีย์ที่เติมลงในน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสาร Coagulant โดย Coagulant Aid จะต้องใช้ควบคู่กับ Coagulant ไม่สามารถใช้อย่างเดียวได้

2.3 คอนกรีตบล็อก

คำนิยามของคอนกรีตบล็อก หรือ อิฐบล็อก (Concrete Block) เป็นวัสดุก่อประเภทหนึ่ง มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ซึ่งลักษณะของการใช้งานก่ออิฐจะก่อเหมือนงานอิฐมอญ แต่มีข้อดีกว่าคือ สามารถที่จะก่อได้เร็วกว่า และมีขนาดที่มาตรฐานกว่า ทำให้สามารถที่จะทำการประมาณการจำนวนของวัสดุได้ง่ายกว่า และเมื่อรวมค่าแรงในงานก่อสร้างแล้วจะถูกกว่าการก่ออิฐมอญ คอนกรีตบล็อกมี 2 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกชนิดที่รับน้ำหนัก และคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยส่วนประกอบหลักของคอนกรีตบล็อกจะประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และมวลผสม (ทราย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ ก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้อย่างต่อเนื่อง มีสีตามธรรมชาติหรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าและจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้เหมาะสำหรับใช้ปูพื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้น ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

2.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ไฮดรอลิกแคลเซียมซิลิเกต ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเกิดจากการเผาส่วนต่างๆ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก หมายถึง ปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ ซึ่งปูนซีเมนต์แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท (มอก. 15 เล่ม1, 2547) ได้แก่

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนซัลเฟตปานกลางหรือเกิดความร้อนปานกลางขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการค่าความต้านแรงอัดสูงได้เร็ว

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความร้อนต่ำขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ที่ต้องการความทนซัลเฟตสูง

1. ประวัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัย, 2547)

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่นับได้ว่าเป็นต้นแบบสำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ได้คิดค้นขึ้นโดย แอล เจ ไวแคต (L. J. Vicat) ในปี พ.ศ. 2356 (ค.ศ. 1813) โดยการเผาส่วนผสมของหินชอล์ก (chalk) และดินเหนียวที่ผ่านการบดละเอียด ต่อมาโจเซฟ แอสพดิน (Joseph Aspdin) ช่างก่อสร้างชาวเมืองลีดส์ (Leeds) ได้จดสิทธิบัตรการผลิต “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)” ขึ้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2367 (ค.ศ. 1824) กระบวนการผลิตของเขาประกอบด้วยการใช้หินปูนที่ใช้ซ่อมถนนนำมาทุบให้แตกผสมร่วมกับปูนขาวและดินเหนียว บดให้ละเอียดในน้ำจนกลายเป็นน้ำโคลนข้น จากนั้นนำก้อนปูนขาวผสมดินเหนียวขนาดย่อมส่งเข้าไปในเตาเผา จนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไปหมดได้เป็นเม็ดปูนซีเมนต์ เม็ดปูนซีเมนต์ที่ได้จะนำไปบดละเอียดเพื่อนำไปใช้งานต่อไป โจเซฟ แอพสดิน ได้เรียกปูนซีเมนต์ของเขาว่า “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์” เนื่องจากสีของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วจะคล้ายกับสีของหินที่ได้มาจากเหมืองหินที่ดอร์เซต (Dorset) เมืองปอร์ตแลนด์ อย่างไรก็ตามคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ผลิตตามวิธีของโจเซฟ แอพสดิน ยังไม่ดีนัก เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผายังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับเผาปูนซีเมนต์ในกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยในปี พ.ศ. 2388 (ค.ศ. 1845) ไอแซค ชาลส์ จอห์นสัน (Isaac Charles Johnson) ได้สังเกตว่าปูนเม็ดที่เผาด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินกว่าอุณหภูมิปกติที่พบในเตาเผาปูนสมัยนั้น เมื่อนำมาบดให้ละเอียด จะมีการแข็งตัวที่ค่อนข้างช้าแต่มีคุณภาพที่ดีกว่า ดังนั้นเขาจึงได้พัฒนาต้นแบบของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในปัจจุบันขึ้น โดยการใช้อุณหภูมิที่สูง เผาส่วนผสมของหินชอล์กและดินเหนียวจนถึงจุดที่เกิดปฏิกิริยาจนวัสดุที่เปารวมตัวกันเป็นปูนเม็ด (clinker) ซึ่งเมื่อนำไปบดให้ละเอียดและผสมกับน้ำจะได้วัสดุประสานที่แข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S จะถูกกระทบโดยปริมาณยิบซัม ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีปริมาณร้อยละ 35-55

2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

C_2S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม มีคุณสมบัติเกาะ เมื่อผสมน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวนานจะได้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีปริมาณร้อยละ 15.35

3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนจำนวนมากปริมาณ 800 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิบซัมลงระหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดที่จะได้ค่อนค้างต่ำ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A ปริมาณร้อยละ 7-15

4. เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

C_4AF จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็ว และก่อตัวภายในเวลาไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิด 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF มีค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF ปริมาณร้อยละ 5-10

3. สารประกอบรองของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. ยิบซัม ($CaSO_4.2H_2O$)

ยิบซัมถูกใส่เข้าไประหว่างบดปูนเม็ดเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปริมาณยิบซัมที่ใส่ต้องเหมาะสมเพื่อให้ซีเมนต์เกิดกำลังอัดสูงสุดและเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ปริมาณยิบซัมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ

- อัลคาไลน์ออกไซด์ อันได้แก่ Na_2O และ K_2O
- ปริมาณ C_3A
- ความละเอียดของปูนซีเมนต์

2. Free Lime (CaO)

Free Lime เกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ เมื่อวัตถุดิบมี Lime มากเกินไป ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้กับ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้หมด ปริมาณ Lime มีไม่มากแต่ทำปฏิกิริยากับ Oxide ต่าง ๆ ไม่สมบูรณ์ โดย Free Lime นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นซีเมนต์แข็งตัวลง ซึ่งอาจก่อให้เกิดคอนกรีตการแตกร้าวได้ หรือที่เรียกว่าคอนกรีตไม่อยู่ตัวเนื่องจาก Lime

3. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ จะมี $MgCO_3$ ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะหลอมปูนเม็ด ที่เหลือจะอยู่ในรูปของ MgO และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดเดรชั่น จะเหมือนกับ CaO คือ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการไม่อยู่ตัว การขยายตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์
- ขนาดของ MgO ถ้าขนาดเล็กมาก ๆ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้เร็ว โดยจะไม่เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ที่แข็งตัว

4. อัลคาไลน์ออกไซด์ (Na_2O+K_2O)

อัลคาไลน์ออกไซด์ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสียในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่ทำปฏิกิริยาและอัลคาไลน์มาผสมเป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันคอนกรีตให้แตกร้าวเสียหาย ยากต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ ควรเลือกปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลน์ต่ำ

4. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. การเกิดปฏิกิริยาอาศัยสารละลาย

ปูนซีเมนต์จะละลายกับน้ำ ก่อให้เกิดไอออนในสารละลายและไอออนจะรวมกันทำให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า Solid State Reaction

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะโดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์แต่ละประเภท

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S)

แคลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน มีสมการการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (2.2)$$

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2 \quad (2.3)$$

จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

$Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น มีผลทำให้ซีเมนต์เพสท์มีคุณสมบัติเป็นด่าง มีค่า pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดี

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนียม (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสท์ ดังสมการ

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3 + 6H2O \quad (2.4)$$

$$\text{หรือ } C_2A + 6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ

$$C_3A + CaSO_4.2H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.3H_2O \text{ (Ettringite)} \quad (2.6)$$

ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจากการเพิ่มปริมาตรของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออกและจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite และ Monosulphate

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น C_4AF นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซัมและ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนของแข็ง Sulphoaluminate และ Sulphoferric ดังสมการ

$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + CaSO_4.2H_2O \longrightarrow 3CaO.(Al_2O_3,Fe_2O_3).3CaSO_4 \quad (2.7)$$

2.3.2 ทราย (วิชัย, 2542)

ทรายก่อสร้างมีเนื้อซิลิกาไม่สูงนัก มีแร่อื่นปะปนอยู่ในเม็ดทราย มักจะมีน้ำเหล็กเคลือบเม็ดทรายหรือแทรกอยู่เสมอทำให้ทรายมีสีไปในทางสีเหลืองหรือออกแดงของสีสนิมเหล็ก ทรายประเภทนี้ใช้สำหรับถมที่ ใช้ทำถนนและผสมคอนกรีตได้ดี ไม่ค่อยมีปัญหาในการพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีมากนัก ได้แก่ ทรายแม่น้ำ เป็นต้น ตามรายงานของ ธีรานี (2537) กล่าวไว้ว่าทรายประเภทนี้ยังมีการพิจารณาลักษณะและขนาดที่จะนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ของงานอีกด้วย โดยทรายก่อสร้างจะต้องมีลักษณะสะอาด เม็ดทรายเป็นเหลี่ยม ขนาดเม็ดหยาบต้องมีขนาดเล็กกว่า 10 เมซ (mesh) (10 เมซ เท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร) เม็ดเล็กต้องใหญ่กว่า 100 เมซ (100 เมซ เท่ากับ 0.149 มิลลิเมตร) และส่วนประกอบทางเคมีต้องไม่มีเกลือปะปนอยู่ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นเพียงแนวทางในการพิจารณานำไปใช้อย่างกว้างๆ ส่วนรายละเอียดทรายที่ใช้เพื่อการก่อสร้างจะต้องมีการพิจารณาคุณสมบัติให้เหมาะสม เพื่อให้สิ่งก่อสร้างมีความคงทน ตัวอย่างของทรายที่ใช้ในการก่อสร้างมีดังนี้

1. ทรายมีมลทินมากดินปนทรายหรือทรายขี้เป็ดใช้สำหรับถมที่
2. ทรายหยาบและปานกลางใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อทำโครงสร้างพื้นคอนกรีต
3. ทรายละเอียดใช้ในการผสมปูนฉาบหรือก่ออิฐก้อนผสมคอนกรีตแผ่นสำเร็จรูป

มาตรฐานทรายในการก่อสร้าง

ทรายที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องเลือกมาจากแหล่งที่ให้คุณสมบัติตรงกับข้อกำหนด หรือความต้องการ โดยทั่วไปทรายที่ได้มาจากแหล่งที่เคยใช้ได้ผลดีอยู่แล้วไม่มีปัญหาในด้านคุณสมบัติ นอกจากนำทรายมาจากแหล่งใหม่ที่ไม่เคยใช้จึงควรได้รับการตรวจสอบพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ (วีระพันธ์, 2540) ดังนี้

1. ความสะอาดถ้ามีสารที่ไม่ต้องการปนจะทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นควรให้มีการเจือปนอยู่ในทรายน้อยที่สุด สารเหล่านี้ ได้แก่ เปลือกหอย ถ่านหิน ถ่าน เศษไม้ ถุงพลาสติก ฝุ่น สิ่งเหล่านี้จะลดความทนทานและแรงยึดเหนี่ยว ทำให้คอนกรีตแตกร้าวมีกำลังต่ำแข็งตัวช้า ปริมาณของสิ่งเจือปนที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตต้องไม่มากกว่าที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของสิ่งเจือปนในทรายที่ยอมรับได้

สิ่งสกปรกที่เจือปน	เปอร์เซ็นต์สูงสุดโดยน้ำหนัก	หมายเหตุ
ก้อนดิน	1.00	ในกรณีของทรายที่ผลิตขึ้นถ้าไม่มีก้อนดินปนอยู่เลย
ผงละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200		ปริมาณผงละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 00
- คอนกรีตที่รับแรงเสียดสี	3.00	
- คอนกรีตทั่วไป	5.00	
ถ่านหินหรือลิกไนต์		สามารถเพิ่มขึ้นจาก 3% และ 5% เป็น
- ในงานที่อวดผิวหน้า	0.50	5% และ 7% ตามลำดับ
- คอนกรีตทั่วไป	1.00	
วัสดุอ่อน (เช่น รากไม้ เศษไม้)		

ที่มา : วีระพันธ์, 2540

การขัดสิ่งสกปรกที่เจือปนทำได้หลายวิธี เช่น ร่อนผ่านตะแกรง การล้างด้วยน้ำหรือลมเป่าหรือแยกด้วยแม่เหล็ก เป็นต้น

2. การคัดขนาดที่ดี (sorting) และไม่ให้มีขนาดที่แตกต่างกันมาปะปน

3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (chemical stability) ทรายที่ใช้ต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ ซึ่งก่อให้เกิดรอยร้าวโดยทั่วไปในคอนกรีต จนกรณีที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้จะต้องใช้กับปูนซีเมนต์ที่มีร้อยละของด่างต่ำ คือมีปริมาณของโซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์ในปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 0.6

4. ความแข็งแรง (strength) ทรายที่ใช้ต้องมีความแข็งแรงรับน้ำหนักแรงกดได้ดี

5. รูปร่างของเม็ดทราย ทรายที่จะนำมาใช้ควรมีลักษณะเป็นเหลี่ยมคม ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต และความสามารถเทได้ของคอนกรีต ทรายที่เป็นแผ่นแบนยาวไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำคอนกรีต เพราะต้องใส่น้ำในส่วนผสมมากกว่าก้อนกลมทำให้เปลือง ปูนซีเมนต์ลดแรงยึดเหนี่ยวภายในคอนกรีตโดยทั่วไปย่อมให้มีทรายที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาวปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของทรายที่ใช้

6. ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของทรายขึ้นอยู่กับแร่ต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมและช่องว่างระหว่างเม็ดทราย

7. การดูดซึมและความชื้นที่ผิวโครงสร้างภายในของทราย ประกอบด้วย มวลของแข็งและช่องว่าง ช่องว่างเหล่านั้นจะดูดความชื้นในอากาศเข้าไปเก็บไว้ การผสมคอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอปริมาณน้ำในส่วนผสมให้ได้ความข้นเหลวคงที่ อันจะทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอปริมาณน้ำในช่องว่างของทรายอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นคือ

- แห้งสนิท (oven dry) ไม่มีน้ำในช่องว่าง
- แห้ง (air dry) มีน้ำในช่องว่างบ้าง
- แห้งและอิ่มตัว (saturate surface dry) มีน้ำเต็มช่องว่างแต่ผิวแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปียกหรือชื้น (wet or moist) มีน้ำหุ้มก้อนอยู่ด้วย

ถ้าความชื้นของทรายอยู่ในสภาพ น้อยกว่า “แห้งและอิ่มตัว” จะสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้อีกแต่ถ้าอยู่ในสภาพ “เปียกหรือชื้น” จะไปเพิ่มปริมาณน้ำให้แก่ส่วนผสมคอนกรีต ในการตรวจส่วนผสมโดยปริมาณต้องคำนึงถึงปริมาตรที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกกันว่าทรายพองตัว ปริมาตรการพองตัวขึ้นอยู่กับร้อยละของความชื้นและขนาดของเม็ดทราย ทรายที่ละเอียดกว่าจะพองตัวมากกว่าเมื่อความชื้นเท่ากัน การตรวจส่วนผสมโดยปริมาตรนี้ควรหลีกเลี่ยง ถ้าทำได้เพราะทรายอาจเพิ่มปริมาตรได้ร้อยละหลายสิบเมื่อมีความชื้น เพื่อเป็นแนวทางได้แสดงค่าการทดสอบการพองตัวสูงสุดของทรายขนาดต่างๆดังนี้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการพองตัวของทรายที่มีขนาดไม่เท่ากัน

ชนิดของทราย	การพองตัวสูงสุดโดยปริมาตร %
ทรายหยาบ	18
ทรายกลาง	29
ทรายละเอียด	38

ที่มา : วีระพันธ์, 2540

ในบางกรณีเมื่อทรายชื้นอาจจะเพิ่มปริมาตรทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตอีกร้อยละ 25 สำหรับงานคอนกรีตทั่วไปที่ไม่สำคัญมากนัก

8. ขนาดคละ ทรายที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้างต้องมีความลดหลั่นของขนาด ซึ่งจะช่วยให้เรียงตัวกันได้แน่นและมีช่องว่างน้อย ช่วยให้ทำงานได้ง่าย ปริมาตรของปูนซีเมนต์ที่จะต้องใช้ก็น้อยลงไปด้วย คือเพียงพอที่จะเคลือบผิววัสดุทั้งหมดและเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่เพื่อเชื่อมให้วัสดุผสมยึดติดกันทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลง การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติข้อนี้ทำได้โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานและมีเกณฑ์กำหนดส่วนขนาดคละของทรายสามารถใช้เกณฑ์ข้อกำหนดคุณสมบัติของทรายตามมาตรฐาน ASTM C-33 และวัสดุผสมคอนกรีต (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2528) นอกจากนี้ประเทศไทยก็มีการกำหนดมาตรฐาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย คือ มอก.566-2528 โดยกำหนดคุณสมบัติของวัสดุผสมละเอียดตาม ASTM พร้อมทั้งให้คำนิยามมวลผสมละเอียด หมายถึง มวลผสมที่ส่วนใหญ่รอดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มิลลิเมตรได้ และอาจมีบางส่วนที่หยาบกว่าผสมอยู่ได้บ้าง ขนาดคละมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทยได้กำหนดเป็น 4 โซน ถ้าเป็นมวลผสมละเอียดที่ได้จากการบดหินให้เพิ่มขีดจำกัดที่กำหนดไว้สำหรับตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร เป็นร้อยละ 20 และไม่มีวัสดุเจือปนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 วัสดุผสมคอนกรีต

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ร้อยละผ่านโดยน้ำหนัก			
	โซน 1	โซน 2	โซน 3	โซน 4
9.5	100	100	100	100
4.75	90-100	90-100	90-100	90-100
2.38	60-95	75-100	65-100	95-100
1.18	30-70	55-90	75-100	90-100
ไมครอน				
600	15-34	35-59	60-79	80-100
300	5-20	8-30	12-40	15-50
150	0-10	0-10	0-10	0-15

ที่มา : มอก. 566/2528

ตารางที่ 2.4 วัสดุเจือปนโดยแบ่งตามประเภทของสิ่งเจือปน ผลกระทบต่อคอนกรีตและค่าสูงสุดตามข้อกำหนด

วัสดุเจือปน	วัสดุเจือปนร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	หมายเหตุ
1. ดินเหนียวหรือวัสดุอ่อน	3.0	มีผลต่อความสามารถเทได้ และการต้านแรงอัดต่อการขัดสี
2. วัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 ไมโครเมตร		ต้องใช้น้ำในส่วนผสมมากขึ้น
- คอนกรีตทนการขัดสี	3.0	
- คอนกรีตทั่วไป	5.0	
3. ถ่านหินและลิกไนต์	1.0	กระทบต่อความทนทานและทำให้เกิดรอยเปื้อนบนคอนกรีต
4. chert (ที่ ถ.พ. น้อยกว่า 2.4)	-	กระทบต่อความทนทาน
5. สารอินทรีย์เจือปนในทราย	ไม่เกิน Organic Plate No.3	อาจทำให้กำลังอัดลดลง

ที่มา : มอก. 566/2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์ข้อกำหนดส่วนขนาดคละของทราย

ขนาดตะแกรง	ค่าร้อยละสะสมที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ			
	สำหรับงานคอนกรีต		สำหรับงานปูนก่อ	
	ทรายธรรมชาติ	ทรายผลิตขึ้น	ทรายธรรมชาติ	ทรายผลิตขึ้น
3/8 นิ้ว (9.5 มม.)	100	100	100	100
เบอร์ 4 (4.75 มม.)	95-100	95-100	100	100
เบอร์ 8 (2.36 มม.)	80-100	80-100	95-100	95-100
เบอร์ 16 (1.18 มม.)	50-85	50-85	70-100	70-100
เบอร์ 30 (0.60 มม.)	25-60	25-60	40-75	40-75
เบอร์ 50 (0.300 มม.)	10-30	10-30	10-35	20-40
เบอร์ 100 (0.150 มม.)	2-10	2-10	2-15	10-25
เบอร์ 200 (0.75 มม.)	-	-	-	0-10

ที่มา : ASTM, 1996

9. น้ำหนักของทรายน้ำหนักของทรายในขณะที่แข็งและเปียกจะแตกต่างกันเนื่องจากขณะที่เปียกจะมีน้ำผสมอยู่โดยน้ำหนักของทรายจะเป็นดังนี้

- ทรายแห้งหนัก 1400 ถึง 1650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ทรายเปียกหนัก 1800 ถึง 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

10. ความอยู่ตัวเนื่องจากคอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติความคงทนต่อสภาพพูมิอากาศจึงต้องมีการทดสอบโดยนำตัวอย่างแช่ไว้ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตหรือสารละลายแมกนีเซียมสันเฟสตามเวลาที่กำหนดจากนั้นจะนำตัวอย่างมาอบแห้งและสลับกันเป็นวงจรจนครบห้ารอบแล้วหาร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปสำหรับค่าสูงสุดของข้อกำหนดเท่ากับร้อยละ 10

2.4 โลหะหนัก (ธิติพัฒน์, 2556)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ธาตุในตารางธาตุมีอยู่ 80 ธาตุที่เป็น โลหะแต่มีโลหะประมาณ 20 กว่าชนิดเท่านั้นที่มีรายงานว่าเป็นพิษต่อคน เช่น ปรอท ตะกั่ว และสารหนู เป็นต้น สารพิษเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงระดับหนึ่งก่อนจะแสดงอาการออกมาให้เห็น ซึ่งผลของความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์มี 5 แบบ คือ

1) ทำให้เซลล์ตาย
2) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
3) เป็นตัวการทำให้เกิดมะเร็ง
4) เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
5) ทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม

สำหรับการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีด้วยกันหลายรูปแบบ ตั้งแต่รูปแบบที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและเข้าไปสะสมอยู่ในตะกอนหรืออยู่ในสิ่งมีชีวิต ไปจนกระทั่งถึงรูปแบบที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรงและถูกปลดปล่อยออกมาได้ยาก สามารถแบ่งรูปแบบการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเรียงลา ดับจากง่ายไปยากได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โลหะหนักที่อยู่ในรูปของไอออน รูปสารประกอบอนินทรีย์ หรือสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำอยู่ จะเป็นรูปแบบที่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ง่ายที่สุด

- โลหะหนักที่อยู่ในรูปแลกเปลี่ยนไอออนได้ ที่อยู่ร่วมกับสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์และอนินทรีย์ จะเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ง่าย

- โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน หรือพวกคีเลตกับสารอินทรีย์ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้น้อย

- สารประกอบที่ตกตะกอนไม่ละลายและสารประกอบการตกตะกอนร่วมของโลหะบนพื้นผิวของของแข็งนั้น จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาสมเท่านั้น

- โลหะหนักที่อยู่ในรูปของของแข็งในองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต โลหะหนักในรูปแบบนี้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมี โดยมีการเน่าเปื่อยผุพังเสียก่อนจึงจะอยู่ในรูปที่นำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้

- โลหะหนักที่อยู่ในรูปผลึกแร่ทั้งแร่ปฐมภูมิ และแร่ทุติยภูมิ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ก็ต่อเมื่อมีการผุพังของแร่ธาตุด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยม ภายใต้ความร้อนและความดันร่วมกับกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ โดยกระบวนการนำโลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่สิ่งมีชีวิตนั้น จะมีการดูดซึมผ่านเข้าทางผิวหนังหรือดูดซึมเข้าสู่เซลล์หรือร่างกาย หากเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จะเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหาร ผ่านทางระบบทางเดินอาหาร และถูกดูดซึมเข้าไปยังเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และเมื่อสิ่งมีชีวิตขับถ่ายของเสียซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง หรือของเหลว หรือเกิดการล้มตายลง โลหะหนักในรูปแบบต่าง ๆ ก็จะถูกปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมย้อนกลับเข้าสู่วัฏจักรดังกล่าวอีกครั้ง

ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) และแมงกานีส (Mn)

2.4.1 ทองแดง (Copper)

ทองแดง (Copper) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Cu มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 63.546 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 °C เท่ากับ 8.96 g/cm^3 และมีเลขอะตอมเท่ากับ 29 ทองแดงมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1084.62 °C แร่ทองแดงที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองแดงส่วนมากจะเป็นแร่ประเภทซัลไฟด์ (Sulfide) ซึ่งมีสองชนิด คือ แร่ทองแดงแคลโคไซท์ (Chalcocite) (Cu_2S) มี Cu ประมาณ 79.8% และแร่ทองแดงแคลโคไพไรท์ (Chalcopyrite) ($CuFeS_2$) มี Cu ประมาณ 34.5% นอกนี้ยังมีแร่ทองแดงคาร์บอเนต $CuCO_3(OH_2)$ โดยเรียกกันว่า Malachite มีลักษณะสีเขียวสวยงามมากเนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง (Ductility) และการต้านทานไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นทองแดงจึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ ตลอดจนถึงเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องจักรกล และอาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของโลหะผสม (Alloy) อีกหลายชนิด เช่น ทองเหลือง (Brass) หรือ ทองบรอนซ์ (Bronze) ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน โดยซึมผ่านเข้าผนังลำไส้ไปที่ตับ จากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดี แล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ขับออกไปกับอุจจาระ หรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมจะมากที่ตับและสมอง เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ตับทำหน้าที่บกพร่องไม่สามารถขับทองแดงออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson Diseases คือ ร่างกายสั่นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2556)

2.4.2 สังกะสี (Zing)

สังกะสี (Zing) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Zn มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 65.409 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.14 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 30 สังกะสีมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 419.53 องศาเซลเซียส เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีพอสมควรกับออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา ประโยชน์ของสังกะสี ใช้เคลือบผิว (galvanizing) ของเหล็กกล้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิม ใช้ในรูปของโลหะเจือจางในการผลิตขึ้นรูปเป็นแผ่นสังกะสี ใช้เป็นส่วนผสมของสีและยาง ใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ ฟิวส์ไฟฟ้า ขั้วของถ่านไฟฉาย ใช้เตรียมสารเคมีของสังกะสี ความเป็นพิษ สังกะสีในรูปธาตุ ไม่ปรากฏความเป็นพิษ หากอยู่ในรูปสารประกอบมีความเป็นพิษอยู่หลายชนิดแต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี, 2553)

2.4.3 สารหนู (Arsenic)

สารหนู (Arsenic) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ As มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 74.92 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 5.727 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 33 สารหนูมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 615 องศาเซลเซียส สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ เป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงโลหะสีเทา มีมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบมากบนโลก สารหนูพบในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ตลอดจนพบในธรรมชาติ ได้แก่ ในพื้นดิน ทะเล มหาสมุทร และแหล่งน้ำต่างๆ สารหนูในธรรมชาติเหล่านี้มาจากการระเบิดของภูเขาไฟ การเผาถ่านหิน การถลุงแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืช และสารหนูซึ่งเป็นองค์ประกอบของดิน หิน ตามธรรมชาติ นอกจากนี้สารหนูยังออกมาสู่บรรยากาศโลกจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีการใช้สารชนิดนี้ เช่น การอบไม้ การผลิตสี และการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายคนเราได้โดยการสัมผัสผิวหนัง การหายใจและจากการรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของสารหนู โดยส่วนใหญ่แล้วสารหนูเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหารแล้วจะดูดซึมผ่านทางเดินอาหารมากกว่าวิธีอื่น สารหนูนี้เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกขจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว มีงานศึกษาวิจัยพบว่าประมาณ 80-90% ของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกายนั้นจะถูกขจัดออกจากร่างกายออกทางปัสสาวะภายใน 2 วัน พิษของสารหนูนั้นมีทั้งแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity) และเรื้อรัง (Chronic Toxicity) อาการพิษเฉียบพลันของสารหนูทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออวัยวะที่สัมผัสกับสารหนูและอาจทำให้คลื่นไส้ เป็นตะคริว กล้ามเนื้อเกร็ง อาการแทรกซ้อนเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจ และเสียชีวิตจากการทำงานล้มเหลวของหัวใจ อาการพิษเรื้อรังเกิดจากการได้รับสารหนูติดต่อกันเป็นเวลานาน สารนี้จะทำให้เกิดเป็นแผลหรือเป็นรูที่ช่องจมูก ผิวหนังหนาขึ้นมีรอยด่างดำที่ผิวหนัง อาจมีเส้นสีขาวบนเล็บ นอกจากนี้สารนี้ยังทำให้เกิดอาการชาตามปลายมือปลายเท้า มีความรู้สึกแสบร้อน มีอาการอ่อนเพลียของแขน ขา และอาจเป็นมะเร็งผิวหนังและปอด รวมทั้งมีผลต่อทารกในครรภ์ และมีฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์ (ขนิษฐ, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 แมงกานีส (Manganese)

แมงกานีส (Manganese) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Mn มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 54.938 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.21 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 25 แมงกานีสมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1246 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นโลหะมีสีขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะพบในธรรมชาติ แต่จะเกิดร่วมกับธาตุอื่นๆ ได้หลายรูป ชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมคือ MnO_2 หรือ Pyrolusit โดยส่วนใหญ่จะใช้ในทางโลหะกรรมและอุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย นอกจากนั้นแล้ว ได้แก่ การผลิตน้ำมันชักเงา อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตสาร hydroquinone และด่างทับทิม อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเซรามิกและการเคลือบภาชนะ พิษของแมงกานีสเฉียบพลันจากการหายใจฝุ่นหรือไอ ทำให้ระคายทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ รู้สึกรสโลหะในปาก (metallic taste) แน่นหน้าอก หายใจลำบาก หลอดลมอักเสบ ปอดอักเสบและความจุปอดลดลง หากเป็นการสัมผัสทางผิวหนังทำให้อักเสบและระคายเคือง พิษเรื้อรัง เกิดจากการสัมผัสตั้งแต่ 1 เดือนถึง 10 ปี ทา ให้เกิดผลต่างๆ แก่ร่างกาย โดยเฉพาะทำให้สมรรถภาพทางเพศเสื่อม มีบุตรยาก โดยเฉพาะในเพศชาย สำหรับพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระยะแรกมีอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร เฉื่อยชา ฉุนเฉียว มีอาการทางจิต ประสาทหลอน กรณีที่สัมผัสเรื้อรังและสัมผัสนาน ๆ ทำให้ปวดกล้ามเนื้อ ไม่มีแรง มือสั่น เคลื่อนไหวช้า พูดไม่มีเสียงสูงต่ำและเกิดภาวะพาร์กินสัน (Parkinsonism) (ฉันทนา, 2549)

2.5 การปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง

การปรับเสถียร (Stabilization) เป็นกระบวนการที่ใส่วัสดุหรือสารเพิ่มเติมที่ใช้ลดความอันตรายของของเสียลงทำให้ลดอัตราการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมและช่วยลดความเป็นพิษอีกด้วย เปรียบเสมือนเป็นกระบวนการบำบัดของเสีย เช่น น้ำเสียกับสลัดนำมาทำการปรับเสถียรให้เรียบร้อยก่อนนำไปทิ้งลงบนพื้นที่ฝังกลบ ในระหว่างการปรับเสถียรสารปนเปื้อนอาจจะถูกทำลายหรือเปลี่ยนสภาพไป เช่น มีการตรึงหรือ กำจัดคลอรีนออกจากสาร Chlorinated Hydrocarbons โดยการละเหยเป็นต้น บางครั้งเรียก Fixation การเติม additives เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของของเสีย ลดพื้นที่ผิวที่จัดส่งผ่านสารปนเปื้อนเป็นการจำกัดการละลายของสารปนเปื้อนในของเสียและลดความเป็นพิษของสารปนเปื้อน

การทำก้อนแข็ง (Soliddification) เป็นกระบวนการที่ใส่สารที่ทำให้วัสดุแข็งตัว โดยทำการใส่วัสดุก่อให้แข็งตัวผสมกับของเสียอันตราย ทำให้ได้ของแข็งที่สามารถทำให้มีความแข็งแรงรับแรงกดได้มากขึ้น และสามารถช่วยลดความสามารถของน้ำซึมผ่านได้วัสดุที่ช่วยก่อตัวให้แข็งตัว ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ส่งผลให้ของเสียอันตรายมีเสถียรภาพดีขึ้น

2.5.1 ข้อดีของการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง

การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งเป็นกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายให้หมดสิ้น ข้อดีของวิธีนี้คือช่วยป้องกันการละลายของสารปนเปื้อนออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ช่วยลดขนาดพื้นที่ผิวของของเสียและช่วยเสริมสภาพของของเสียด้านกายภาพให้อยู่ในสภาพดีมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เทคนิคการทำก้อนแข็ง

การหล่อแข็ง คือ กระบวนการที่นำกากของเสียอันตรายที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมาทำให้อยู่ในรูปของแข็ง โดยมีวัสดุประสานชนิดต่างๆ เป็นตัวยึดประสาน ซึ่งเป็นการตรึงสารอันตรายเหล่านั้นไว้ในโครงผลึกของของแข็ง โดยวิธีทางกายภาพและเคมี เพื่อลดการเคลื่อนที่ของสารอันตรายไม่ให้เกิดการสัมผัสหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ของเสียอันตรายที่สามารถนำมาหล่อแข็งได้ต้องไม่ละลายน้ำ ไม่ว่องไว้ต่อปฏิกิริยาเคมี และเมื่อถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างของก้อนหล่อแข็งแล้วไม่สามารถซึมผ่านออกมาภายนอกได้

จุดประสงค์ของการหล่อแข็งคือ เพื่อลดความเป็นพิษของสาร ลดอัตราการเคลื่อนตัวของสารอันตราย ลดอัตราการละลาย การชะละลายสารอันตรายออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง การรับแรงอัด และลดการซึมน้ำของของแข็งที่จะนำไปฝังกลบ นอกจากนี้การหล่อแข็งยังเป็นการลดพื้นที่ผิวที่ของเสียสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม เป็นการลดโอกาสที่ของเสียจะกระจายสู่สิ่งแวดล้อม โดยเทคนิคการหล่อแข็งกากของเสียอันตราย มีดังนี้ (Pojasek, 1980)

1) Cement-Based Techniques

เป็นการหล่อแข็งกากตะกอนที่ใช้ซีเมนต์เป็นตัวยึดประสาน เป็นกระบวนการตรึงกากของเสียทางเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของการหล่อแข็ง จึงเพิ่มสารที่มีคุณสมบัติปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบ ผสมร่วมกับซีเมนต์ เมื่อปูนซีเมนต์กับวัสดุปอซโซลานผสมกับน้ำจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนและมีค่าพีเอชสูง ทำให้โลหะหนักที่อยู่ในส่วนผสมอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์หรือเกลือคาร์บอเนตที่ไม่ละลายน้ำ อิออนของโลหะอาจเข้าไปเกาะอยู่ในโครงผลึกของผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีผลต่อการรั่วซึมโดยไปลดการซึมผ่านของสารละลายเข้าไปในเนื้อก้อนหล่อแข็ง

2) Lime-Based Techniques

เป็นการใช้ปูนขาวผสมกากตะกอนของเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก กลไกการทำให้คงตัวเป็นการเปลี่ยนรูปโลหะอิสระเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งสามารถสะเทินของเสียที่เป็นกรดได้ นอกจากการเติมปูนขาวโดยตรงแล้ว วัสดุอื่นที่สามารถใช้แทนปูนขาวได้ทั้งยังมีคุณสมบัติและกลไกในการทำปฏิกิริยาใกล้เคียงกันได้แก่ เถ้าลอย และเถ้าจากการเผาซีเมนต์ การใช้วัสดุนี้จึงเป็นการนำเอาของเสียจากเตาเผากลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง วิธีการนี้เป็นการใช้ปูนขาวผสมกากตะกอนของเสียโดยอาจเพิ่มสารผสมที่มีส่วนประกอบของซิลิกา เช่น เถ้าลอยหรือเถ้าแกลบ เมื่อเปรียบเทียบกับการหล่อแข็งด้วย Cement-Based พบว่าก้อนแข็งที่ได้จาก Lime-Based ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดีกว่าและมีความสามารถในการรับแรงอัดได้น้อยกว่า

3) Thermoplastic Techniques

เป็นการหล่อแข็งที่ใช้ บิทูเมน พาราฟิน หรือ โพลีเอธิลีน ผสมกับกากตะกอนของเสียที่แห้ง ณ อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ส่วนผสมหลอมเหลวเข้ากับกากตะกอน เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิลดลงจึงได้ก้อนหล่อแข็งซึ่งมีคุณสมบัติต้านทานต่อความชื้นได้ดี ปกติมักใช้กับกากกัมมันตรังสี ไม่สามารถใช้กับสารอินทรีย์หรือสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Organic polymer Techniques

เป็นการหล่อแข็งโดยการนำสารอินทรีย์โมโนเมอร์เติมลงไปในของเสียที่ต้องการทำให้คงตัว แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการรวมตัวของโมโนเมอร์กลายเป็นโพลิเมอร์อยู่ในรูปของแข็งซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ ของเสียจะถูกจับไว้ในโครงสร้างโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ของเสียที่นำมาทำให้คงตัวโดยวิธีนี้อาจอยู่ในรูปของแข็งหรือกึ่งของแข็งก็ได้ วิธีการนี้เหมาะสำหรับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์และไม่เหมาะสมสำหรับของเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะเนื่องจากโลหะละลายได้ดีในกรดแก่ ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น โลหะบางส่วนจึงไม่ถูกจับไว้ในโครงสร้างของโพลิเมอร์ แต่ละลายปนออกมากับตัวเร่งปฏิกิริยา

5) Encapsulation Techniques

เป็นการหล่อแข็งโดยทำให้กากตะกอนแห้งจับกันเป็นก้อนแล้วเคลือบด้วยสารโพลิเมอร์ สารที่ห่อหุ้มนี้มีความแข็งแรงทนทานต่อน้ำและสภาพแวดล้อมได้ดี

6) Self- Cementing Techniques

ใช้กับกากของเสียที่มีการปนเปื้อนของซัลเฟต ซัลไฟด์ และมีสารแคลไซน์ 8-10% ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์คล้ายปูนพลาสเตอร์

7) Glassification

เป็นการนำของเสียมาผสมกับซิลิกาหรือทรายแก้วแล้วให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงถึง 1600 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการหลอมตัวแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นโครงสร้างคล้ายแก้ว ซึ่งมีความคงตัวสูงมาก ของเสียอันตรายจะถูกจับอยู่ในผลึกแก้วและไม่สามารถถูกชะละลายสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องมือที่มีเทคนิคสูงมากและมีราคาแพง จึงเหมาะสำหรับการหล่อแข็งของเสียที่มีความเป็นอันตรายสูง เช่น ของเสียกัมมันตรังสีซึ่งมีระดับรังสีสูงมาก

2.5.3 กลไกของการปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง

กลไกของระบบการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง อาศัยกลไกทางกายภาพและเคมีที่ส่งผลให้ของเสียอันตรายถูกปกปิดหรือถูกยึดเกาะติดจนแน่นไม่สามารถหลุดออกมาได้กลไกต่างๆ ดังนี้

1. Microencapsulation ของเสียจะอยู่ในแคปซูลและจะถูกบรรจุไว้ภายในโครงสร้างผลึกในระดับเล็กมากหรือเรียกว่าระดับ microscopic ของเสียอันตรายจะถูกย่อยสลายจนได้ขนาดเล็กมากๆ ตัวอย่างของกลไกนี้เช่น เมื่อของเสียน้ำมันถูกผสมกับเถ้าลอยปูนขาวและซีเมนต์จะทำให้กากน้ำมันอยู่ภายในช่องว่างของแคปซูลนี้

2. Macroencapsulation ของเสียจะอยู่ในแคปซูลและจะถูกบรรจุไว้ภายในโครงสร้างในระดับใหญ่กว่าของ Microencapsulation พวกของเสีย อันตรายถูกบรรจุอยู่ภายในแคปซูลด้วยกลไกทางกายภาพมีการแตกสลายในเชิงกายภาพมีขนาดใหญ่แต่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ

3. Adsorption คือการดูดซับเป็นการดูดติดผิวของของแข็งซึ่งเป็นการดับทางกายภาพมีการยึดเกาะกันแบบเคมีไฟฟ้าโดยวัสดุหรือสารปรับเสถียรที่เกิดแรงยึดแบบ Hydrogen bonding หรือแบบ Van der waal ทำให้การรั่วไหลหรือหลุดออกจากผิวของแข็งมีกว่า Microencapsulation และ Macroencapsulation ซึ่งเป็นจุดเด่นของวิธีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Absorption คือการดูดซึมหรือการดูดกลืนของเสียอันตราย จะถูกดูดซึมเข้าไปภายในตัวดูดซึมคล้ายการดูดน้ำของฟองน้ำ วิธีนี้จะใช้สารหรือตัวดูดซึมชนิดต่างๆ ทำการดูดของเหลวออกจากของเสียอันตรายทำให้ของเสียอันตรายอยู่ในสภาพของแข็งมากขึ้น เป็นการเพิ่มค่าปริมาณของแข็ง

5. Precipitation การตกตะกอนผลึกเป็นการนำของเสียอันตรายซึ่งโดยมากเป็นของเสียอนินทรีย์ เช่น โลหะหนักมาผสมกับสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนผลึกโดยให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เช่น มีค่าความเป็นกรดด่างเหมาะสมซึ่งส่วนใหญ่ต้องปรับให้ค่าความเป็นกรดด่างสูง

6. Detoxification เป็นการลดความเป็นพิษของของเสียอันตราย เช่น การใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเพื่อทำให้โครเมียมวาเลนซีหกซึ่ง มีความเป็นพิษสูงมากกลายเป็นโครเมียมวาร์เรนซีสามซึ่งมีความเป็นพิษน้อย

2.6 คุณลักษณะของคอนกรีตบล็อก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531)

คุณลักษณะของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. 827-2531 ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป

บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าวและสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ

2. ความได้ฉาก

บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

3. ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดของบล็อกแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังแรงอัด

2.7.1 คุณสมบัติของวัสดุผสม

ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกัน อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วย คือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังแรงอัดสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

มวลรวม มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์ อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวกที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่าส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่นกัน

น้ำ น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่เกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

2.7.2 การทำคอนกรีต

การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราผสมคอนการีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้ อัตราส่วนผสมจะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

2.7.3 การบ่มคอนกรีต

ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์และนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์ และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลาถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที

อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้นทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตมีให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมบูรณ์ และ อดิสรณ์ (2552) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินมาเป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้น โดยมีปริมาณตะกอนดินร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักเทียบกับทรายและหินเกร็ด บ่มเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังต้านแรงอัดและค่าการดูดซึมน้ำ ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มตะกอนดินที่ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตบล็อกปูพื้น โดยมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ร้อยละ 10 อ้างอิงค่ากำลังอัดประลัยของบล็อกประสานปูพื้นตามมาตรฐาน มอก. 827-2531

เอกชัย (2553) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตอิฐตัวหนอนจากกากตะกอนน้ำเสีย ของบริษัท แวกซ์ กาเบ็จ รีไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด การผลิตอิฐตัวหนอน วัตถุดิบที่ใช้มี 3 ชนิดคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หินฝุ่นและกากตะกอนน้ำเสีย โดยมีอัตราส่วนแตกต่างกัน 3 อัตราส่วน ได้แก่ Control (1:5:0), S1 (1:4:1) และ S2 (1:3:2) ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนด้วยเครื่องมือ X-Ray Fluorescence Spectrometer พบว่ามี Al 10.10%, Fe 0.88%, Si 4.38% และ Ca 1.16% ส่วนการวิเคราะห์ค่าโลหะหนัก จะวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักด้วยวิธีหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน (Total Threshold Limit Concentration : TTLC) และวิธีหาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Waste Extraction Test : WET) ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีค่าโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐตัวหนอนตามมาตรฐาน มอก.2035-2543 พบว่าตัวอย่าง Control มีค่าความต้านทานแรงอัด 1,809.92 MPa ตัวอย่าง S1 มีค่าความต้านทานแรงอัด 976.64 MPa ตัวอย่าง S2 มีค่าความต้านทานแรงอัด 439.04 MPa ซึ่งอิฐตัวหนอนทั้งสามอัตราส่วนมีค่าความต้านทานแรงอัดมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 50 MPa

ปราโมทย์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร มาทำบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ การทำอิฐจะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือตัวฐาน(ชั้นที่ 1) โดยกำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ประเภทที่1: หินฝุ่น: แกลบ: ฟางข้าว: น้ำ เท่ากับ (1) 1:3:0:0:0.3 (2) 1:1:0:1:0.5 (3) 1:1:0.25:0.75:0.5 (4) 1:1:0.5:0.5:0.5 (5) 1:1:0.75:0.25:0.5 (6) 1:1:1:0:0.5 โดยน้ำหนัก ส่วนที่สองคือผิว ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ชนิดขาวผสมซิลิกา: หินเกล็ดสีเหลืองทองเบอร์4: น้ำ เท่ากับ 1:4:0.3 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการบ่มอิฐคือ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, กำลังอัดและอุณหภูมิที่ผิวหน้าเทียบกับหินทราย, คอนกรีตบล็อกประสาน, หินแกรนิต, หินอ่อนและศิลาแลง ผลการทดลองที่ได้พบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนที่ (5) คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ประเภทที่1: หินฝุ่น: แกลบ: ฟางข้าว: น้ำ เท่ากับ 1:1:0.75:0.25:0.5 มีค่าความหนาแน่น 1,939.43 กก./ลบ.ม. ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 14.97 และค่ากำลังอัด 284.69 กก./ตร.ซม. ส่วนอุณหภูมิผิวหน้ามีค่าต่ำกว่าวัสดุปูพื้นอื่นๆประมาณ 3-13 องศาเซลเซียส

วรนุช และคณะ (2559) ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของอิฐบล็อกมวลเบาที่ผสมเส้นใยกล้วย ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติด้วย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองกรณีคือ 1. ใช้เส้นใยกล้วยเป็นวัสดุผสมทดแทนปูนซีเมนต์ 2. ใช้เส้นใยกล้วยเป็นวัสดุผสมทดแทนทราย ผู้ศึกษาได้กำหนดอัตราส่วน (%) คือ ทราย: ปูนซีเมนต์: ปูนขาว: ยิปซั่ม: ผงอะลูมิเนียม: เส้นใยกล้วย เท่ากับ (Control) 50:30:9:9:2:0 (A) 50: 27. 5: 9: 9: 2: 2. 5 (B) 50: 25: 9: 9: 2: 5 (C) 50: 22. 5: 9: 9: 2: 7. 5 (D) 47. 5: 30: 9: 9: 2: 2. 5 (E) 45:30:9:9:2:5 (F) 42.5:30:9:9:2:7.5 จากนั้นทำการขึ้นรูปอิฐ แล้วนำไปบ่มในน้ำโดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 เวลา 7 วัน, ชุดที่ 2 เวลา 14 วัน และชุดที่ 3 เวลา 28 วัน ทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ,เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความยาว,ความหนาแน่นเชิงปริมาตร และค่าความต้านการอัด ผลการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วน(%) คือ ทราย: ปูนซีเมนต์: ปูนขาว: ยิปซั่ม: ผงอะลูมิเนียม: เส้นใยกล้วย เท่ากับ (A) 50:27.5:9:9:2:2.5 มีค่าความหนาแน่น 1,203 kg/m^3, ค่าการต้านทานแรงอัด 65.25 kg/cm^2, ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 18.65 และมีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ 0.08 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ มอก.1505-2541 กำหนดไว้

ปัญญา (2559) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินเหนียวที่มีแกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อย และเศษหญ้า เป็นสารเติมแต่ง โดยอิฐมอญจะมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันคือ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักของแต่ละสารเติมแต่ง จากนั้นทำการขึ้นรูปอิฐในแบบเหล็กขนาด 160×65×40 มิลลิเมตร ผึ่งในร่มให้แห้งประมาณ 5-7 วัน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ 900°C, 950°C และ 1000°C ซึ่งต้องทำการวิเคราะห์ค่าการหดตัวหลังการเผา, ค่าความพรุนตัว, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความหนาแน่น และค่าความต้านทานความเค้นอัด ผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า อิฐมอญผสมแกลบข้าว, อิฐมอญผสมขี้เลื่อย และอิฐมอญผสมกากกาแฟ มีอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77-2545 ที่อัตราส่วน 5% ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 101.14 kg/cm^2, 141.92 kg/cm^2 และ 134.23 kg/cm^2 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 17.97%, 17.25% และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17.72% ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.58 g/cm^3, 1.57 g/cm^3, และ 1.60 g/cm^3 ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วน 10% ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 45.26 kg/cm^2, 64.54 kg/cm^2 และ 72.78 kg/cm^2 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 23.56%, 22.17% และ 22.34% ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.45 g/cm^3, 1.38 g/cm^3, และ 1.36 g/cm^3 ตามลำดับ ส่วนอิฐมอญผสมชานอ้อยและอิฐมอญผสมเศษหญ้า มีอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77-2545 โดยมีค่าการรับกำลังอัดเท่ากับ 50.84 kg/cm^2 และ 52.88 kg/cm^2 ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 22.76% และ 21.20% ตามลำดับ

Abbas. *et al.* (2017) อิฐดินเผาเป็นหนึ่งในวัสดุก่อสร้างตั้งแต่สมัยอดีต การใช้วัสดุเหลือใช้เป็นส่วนประกอบในอิฐสามารถลดปริมาณการใช้ดินเหนียวและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการสะสมของขยะ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณวัสดุรีไซเคิลยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ การศึกษานี้ใช้เถ้าลอยในการผลิตอิฐซึ่งเป็นผลพลอยได้จากถ่านหิน และดิน เถ้าลอยได้มาจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน การผลิตอิฐตัวอย่างทำที่อุตสาหกรรมการผลิตอิฐของท้องถิ่น ตัวแปรหลักของการศึกษานี้คือ เปอร์เซ็นต์ของเถ้าลอย เช่น 0 – 25% ของดินเหนียว ผลการวิจัยพบว่ากำลังรับแรงอัดของอิฐที่ผสมด้วยเถ้าลอยมีค่าต่ำกว่าอิฐที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย กำลังรับแรงอัดของอิฐที่ผสมเถ้าลอย 20% ยังเป็นไปตามข้อกำหนดขั้นต่ำของหลักเกณฑ์งานก่อสร้างของปากีสถาน การลดลงของน้ำหนักอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจะทำให้น้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างลดลงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ามีขี้เกลือปูนเล็กน้อยในอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อิฐมอญที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มีประโยชน์ในการผลิตอิฐที่มีความคงทน ซึ่งเป็นแนวทางในการลดต้นทุน

Zhou (2018) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของอิฐที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีที่สุด โดยใช้เศษวัสดุทั่วไปสามชนิด ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ โคลน, เศษแก้ว, เครื่องกระเบื้องที่ถูกทิ้ง มาเป็นส่วนผสม โครงสร้างของอิฐที่น้ำสามารถซึมผ่านได้นั้น ประกอบไปด้วยช่องว่างขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อกัน ทำให้อิฐมีลักษณะทางกายภาพนั่นคือมีรูพรุนทั่วทั้งบริเวณของก้อนอิฐ ซึ่งรูพรุนเหล่านี้ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างการซึมผ่านของน้ำและกำลังรับแรงอัดของอิฐ ช่องว่างขนาดใหญ่เกิดจากการรวมตัวของเครื่องกระเบื้องที่ถูกทิ้งและรูพรุนต่างๆ เกิดจากการเผาไหม้อินทรียวัตถุในโคลน ผลการทดลองของขนาดคละของมวลรวม, ปริมาณมวลรวม, อัตราส่วนน้ำหนักโคลนต่อเศษแก้ว การขึ้นรูปด้วยแรงดันอากาศ การขึ้นรูปด้วยความร้อน การซึมผ่านและกำลังรับแรงอัดของอิฐที่น้ำซึมผ่านได้ที่เตรียมไว้ได้ถูกศึกษาอย่างเป็นระบบ จากการทดลองได้คุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดของอิฐดังนี้ ขนาดคละของมวลรวม = 2.675-3.530 มิลลิเมตร, เครื่องกระเบื้องที่ถูกทิ้ง 70% โดยน้ำหนัก, อัตราส่วนของโคลนต่อเศษแก้ว = 3:1, ขึ้นรูปด้วยแรงดันอากาศ = 15 MPa และขึ้นรูปด้วยความร้อนอุณหภูมิ = 1140°C อิฐที่น้ำมารถซึมผ่านได้สูงที่สุดมีค่าประมาณอยู่ที่ 0.15 เซนติเมตร/วินาที และความสามารถของการรับแรงอัดมากที่สุด มีค่าประมาณ 33 MPa รวมถึงค่าการชะล้างของโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม

Singh. *et al.* (2018) มีการใช้ประโยชน์จากตะกอนที่ได้จากการกำจัดหมึกของโรงงานกระดาษและดินตะกอนน้ำพา เพื่อใช้ทำเป็นอิฐสำหรับการก่อสร้าง โดยการเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของกากตะกอนที่อุณหภูมิการเผาที่แตกต่างกัน มีการเตรียมส่วนผสมที่มีสัดส่วนต่างกันดังนี้ 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ตามลำดับ ของตะกอนการกำจัดหมึกที่ได้จากโรงงานกระดาษรวมกับดินตะกอนน้ำพาโดยน้ำหนัก อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาคือ 900°C, 950°C และ 1000°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเชิงกลดังนี้ ค่าความหนาแน่น ค่าการหดตัวเมื่อเผา การดูดซึมน้ำ การเกิดรูพรุนของอิฐ ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าการนำความร้อนของอิฐ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ XRD และโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างอิฐ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาคือ 950°C ค่าการนำความร้อนจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของตะกอนจากการกำจัดหมึก พบว่าที่อัตราส่วนตะกอนจากการกำจัดหมึกที่ 15% อิฐมีความแข็งแรงสูงสุดที่อุณหภูมิการเผา 950°C อิฐที่ได้มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานอินเดีย ในเรื่องการเกิดรูพรุน กำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำ ผลของค่าการนำความร้อนแสดงให้เห็นว่าอิฐที่ทำการทดลองนั้นมีฉนวนกันความร้อนมากกว่าอิฐทั่วไป และสามารถใช้แทนอิฐทั่วไปได้ สิ่งนี้จะสามารถแก้ไขปัญหาการจัดการขยะและเป็นแนวทางที่ดีในเรื่องของการประหยัดงบประมาณในงานก่อสร้าง

Sarani. *et al.* (2018) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนโมเสคจากโรงงานอุตสาหกรรมโมเสคไปเป็นวัสดุก่อสร้าง การศึกษานี้มีประโยชน์อย่างมากต่อการจัดการขยะและอุตสาหกรรมที่เกิดของเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูง วิธีการกำจัดของเสียโดยลดความสามารถในการชะล้างของโลหะหนัก มีการคิดค้นสูตรที่มีราคาต่ำและเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิธีการกำจัดคือการรวมตัวของของเสียจากกระเบื้องโมเสค เช่น bodymill sludge และ polishing sludge ลงในอิฐมอญ อิฐมีกากตะกอนเป็นส่วนผสมที่มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างกัน ได้แก่ 0%, 1%, 5%, 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 1,050 °C โดยมีอัตราความร้อน 0.7°C/min ผลที่ดีที่สุดพบว่า การผสมตะกอนโมเสคสูงถึง 30% ในอิฐมอญ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการผสมกากตะกอนโมเสคลงในอิฐ ทำให้เกิดผลดีต่อค่าการหดตัวเมื่อเผา ความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด อย่างไรก็ตามมีการรายงานประสิทธิภาพที่ลดลงในบางแง่มุม ดังนั้นการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า BS และ PS เป็นทางเลือกที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของอิฐมอญ

Esmeray and Atıs (2018) ศึกษาการประเมินกากตะกอนน้ำเสียในเขตการก่อสร้าง พบว่ากากตะกอนน้ำเสียเป็นปัญหาร้ายแรงทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ เมื่อตรวจสอบการศึกษาเกี่ยวกับอิฐที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสียถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐ ดังนั้นควรแทนที่ดินเหนียวด้วยเถ้าลอยและตะกรันเตาอบ ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของปัญหาสิ่งแวดล้อมเหล่านั้น การศึกษาอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 900°C และ 1,050°C ผสมวัสดุเหลือทิ้งสำหรับทำอิฐในอัตรา 5%, 10% และ 15% ตามลำดับ ผลที่ได้คือจะได้อิฐที่มีส่วนผสมทั้งหมด 10 แบบซึ่งแตกต่างกันตามสัดส่วนของวัสดุเหลือทิ้ง ทำการวิเคราะห์ XRF, SEM และการทดสอบจุดเปลี่ยนสถานภาพ Atterberg กับวัสดุที่ใช้ ผลการทดลอง plasticity water, การหดตัวแบบแห้ง, glow loss, การดูดซึมน้ำ, ความพรุน, น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร, ความหนาแน่น, กำลังรับแรงอัด, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และการวิเคราะห์ SEM ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจวัดโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบภาพ SEM ของวัตถุดิบพบว่า กากตะกอนน้ำเสียมีการกระจายตัวของอนุภาคไปทั่ว ตะกรันเตาอบอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม ในส่วนของเถ้าลอยมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแท่งแก้วและยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและสารเคมี

1. ตะกอนดิน ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงไฟฟ้าบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

รูปที่ 3.1 ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราอินทรีย์เพชร

รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราอินทรีเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทรายหยาบ

รูปที่ 3.3 ทรายหยาบ

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

3.2.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างตะกอน

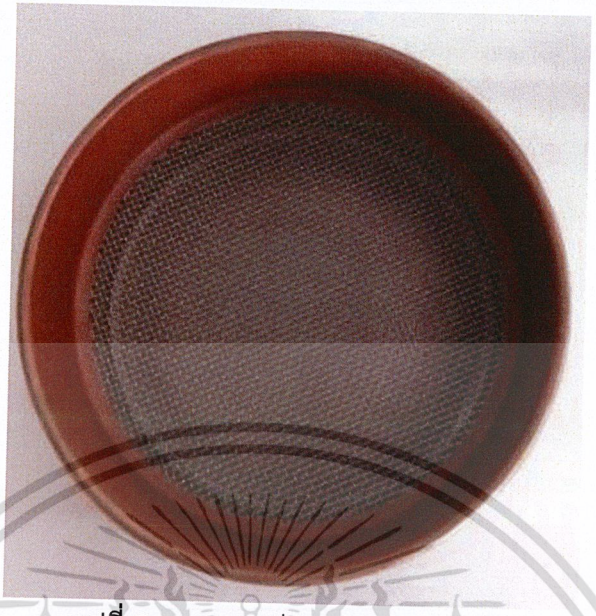
1. เครื่องบดตะกอน

รูปที่ 3.4 เครื่องบด บริษัท BOSCO ENGINEERING

2. ครก-สาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตะแกรงร่อน



รูปที่ 3.5 ตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

1.นำตะกอนดินไปตากให้แห้งเป็นเวลา 2-3 วัน

รูปที่ 3.6 ตากตะกอนดินให้แห้งบนดาดฟ้าตึกจุฬาภรณ์ 1

2. นำไปบดด้วยเครื่องบดตะกอนเพื่อทำให้ดินตะกอนมีขนาดเล็กลง

3. นำดินตะกอนที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดตะกอนไปบดให้ละเอียดอีกครั้งด้วยครก-สาก และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 mesh

4. เก็บตะกอนดินที่ผ่านรูตะแกรงขนาด 10 mesh ไว้ในกล่องพลาสติกหรือถุงซิปล็อคและเก็บในอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 ตะกอนดินหลังจากเตรียม

3.2.3. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติตะกอนดิน

1. ค่าความชื้น
2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
3. ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)
4. อนินทรียวัตถุในตะกอนดิน (Inorganic Matter) ใช้เทคนิค X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)
5. อินทรียวัตถุในตะกอนดิน (Organic Matter) วิธีของ Walkley และ Black,1947 (กรมพัฒนาที่ดิน,2547)

3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

3.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ดินตะกอน
3. ทรายละเอียด
4. น้ำประปา

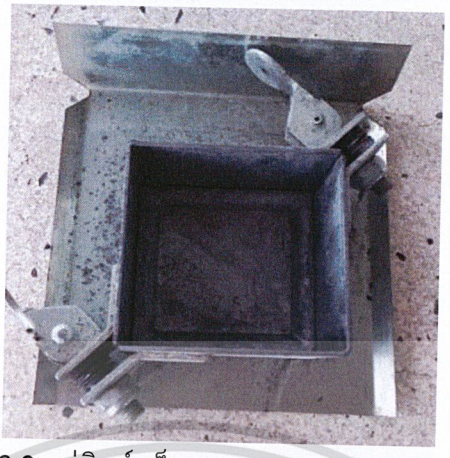
3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก

1.กระบะผสมปูน

รูปที่ 3.8 กระบะสำหรับคนส่วนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แม่พิมพ์บล็อก



รูปที่ 3.9 แม่พิมพ์บล็อกขนาด 8 ×8 ×6 เซนติเมตร

3. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
รุ่น MS3002TS ยี่ห้อ METTER TOLEDO

4. ถุงมือยาง

รูปที่ 3.11 ถุงมือยางใช้ผสมวัตถุดิบ
(3M Automotive and Industrial Products, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.เกียง

รูปที่ 3.12 เกียงแบบแหลมขนาด 6 นิ้ว
(Metalion Import Co.,Ltd.)

3.3.3 ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก

ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกได้แก่ ตะกอนดิน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ทราย และน้ำประปา ในอัตราส่วนร้อยละดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมขึ้นรูปบล็อกคอนกรีตบล็อก

ตัวอย่าง	อัตราส่วนกากตะกอนที่ใช้ทดแทนทราย (%)	ทราย (กรัม)	ตะกอน (กรัม)	ปูน (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
A	0	630	0	210	90
B	5	598.5	31.5	210	100
C	10	567	63	210	110
D	15	535.5	94.5	210	120
E	20	504	126	210	130

หมายเหตุ : โดย ตัวอย่าง A คือ ชุดควบคุม (ไม่มีดินตะกอนเป็นส่วนผสม)
ตัวอย่าง B คือ อัตราส่วนดินตะกอนที่ใช้แทนที่ทรายร้อยละ 5
ตัวอย่าง C คือ อัตราส่วนดินตะกอนที่ใช้แทนที่ทรายร้อยละ 10
ตัวอย่าง D คือ อัตราส่วนดินตะกอนที่ใช้แทนที่ทรายร้อยละ 15
ตัวอย่าง E คือ อัตราส่วนดินตะกอนที่ใช้แทนที่ทรายร้อยละ 20

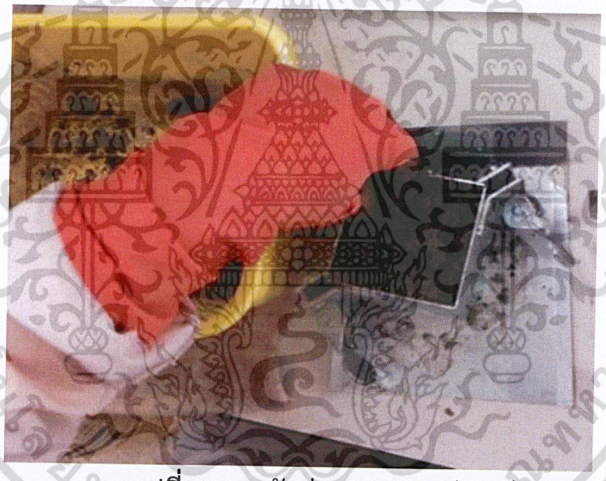
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การขึ้นรูปตัวอย่างคนกรีตบล็อก

1. ชั่งดินตะกอน ปูนซีเมนต์ ทราย ในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1 เทลงในกระบะแล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำประปาและผสมให้เข้ากัน

รูปที่ 3.13 การชั่งส่วนผสมและนวดให้เข้ากัน

2.นำส่วนผสมที่ได้อัดลงในแม่พิมพ์ให้แน่น



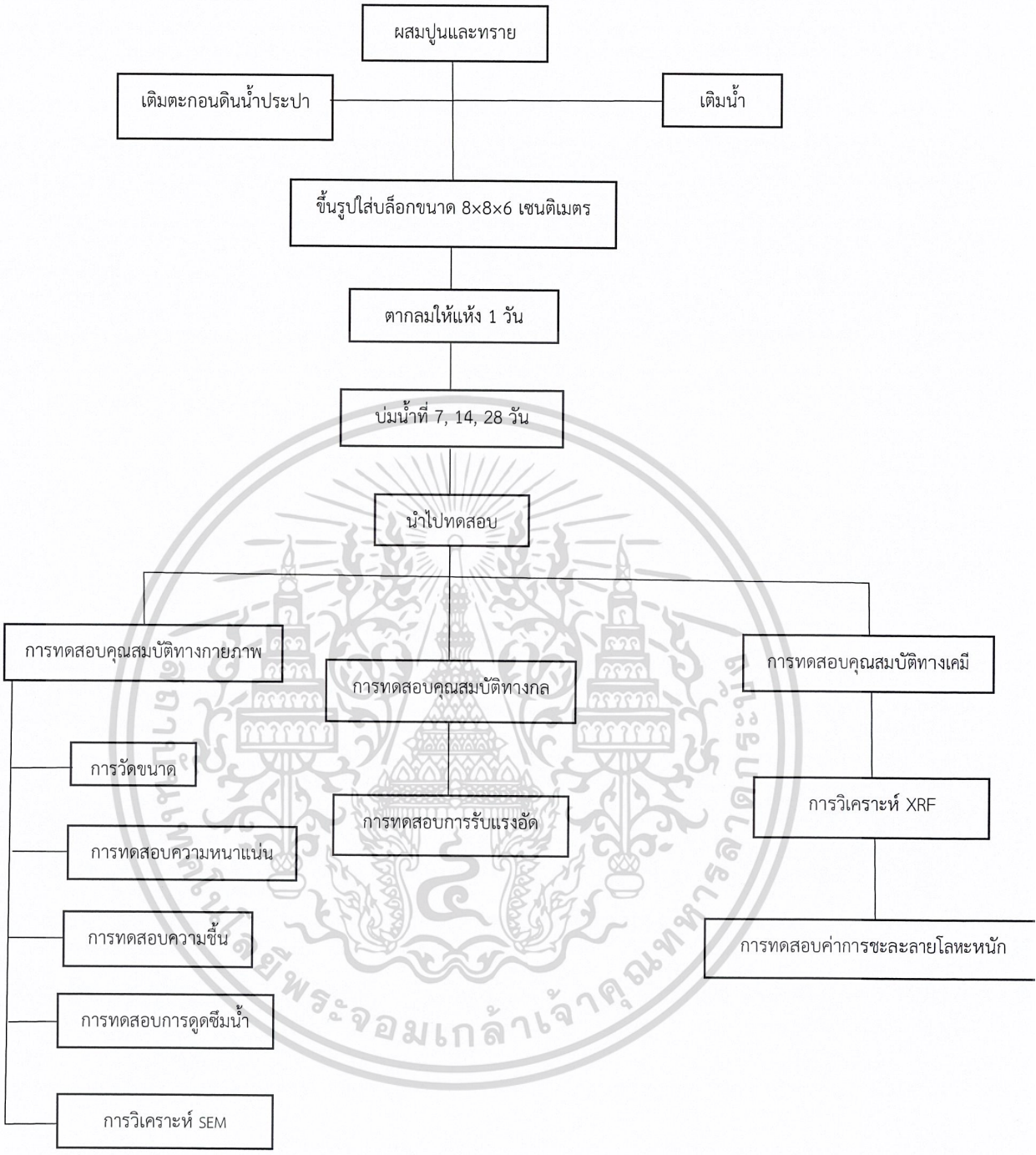
รูปที่ 3.14 อัดส่วนผสมลงแม่พิมพ์

3.ถอดแม่พิมพ์ออก และนำคอนกรีตบล็อกไปผึ่งลมเป็นเวลา 1 วัน

4.นำคอนกรีตบล็อกไปบ่มเป็นเวลา 7, 14 และ28 วัน

รูปที่ 3.15 บ่มโดยการคลุมผ้าแล้วรดน้ำทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แผนภาพการผลิตคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ในการวิเคราะห์หาขนาด ความหนาแน่น ความชื้น อัตราการดูดซึมน้ำ และการรับแรงอัด มีการชักตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์จำนวนก้อนดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกสำหรับทดสอบเชิงฟิสิกส์

รายการทดสอบ	จำนวนตัวอย่างทดสอบ				
	ร้อยละอัตราส่วนตะกอนดิน				
	0	5	10	15	20
การวัดขนาด	10	10	10	10	10
ความหนาแน่น	5	5	5	5	5
ความชื้น	5	5	5	5	5
อัตราการดูดซึมน้ำ	5	5	5	5	5
การรับแรงอัด	5	5	5	5	5

3.4การทดสอบคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์และเคมี

ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติบล็อกคอนกรีตบล็อก

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือ
ขนาด	Vernier Caliper
ความหนาแน่น	วิธีการชั่งน้ำหนัก
ความชื้น	วิธีการชั่งน้ำหนัก
การดูดซึมน้ำ	วิธีการชั่งน้ำหนัก
กำลังรับแรงอัด	ใช้เครื่องทดสอบแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า 500 KN
ลักษณะพื้นผิว	ใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)
การชะละลายโลหะหนัก (Heavy Metal) ทองแดง Cu, แมงกานีส Mn , แมกนีเซียม Mg, สังกะสี Zn, โซเดียม Na	Toxicity Characteristic Leaching Procedure (US EPA Method 1311) Waste Extraction Test (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม,2548)

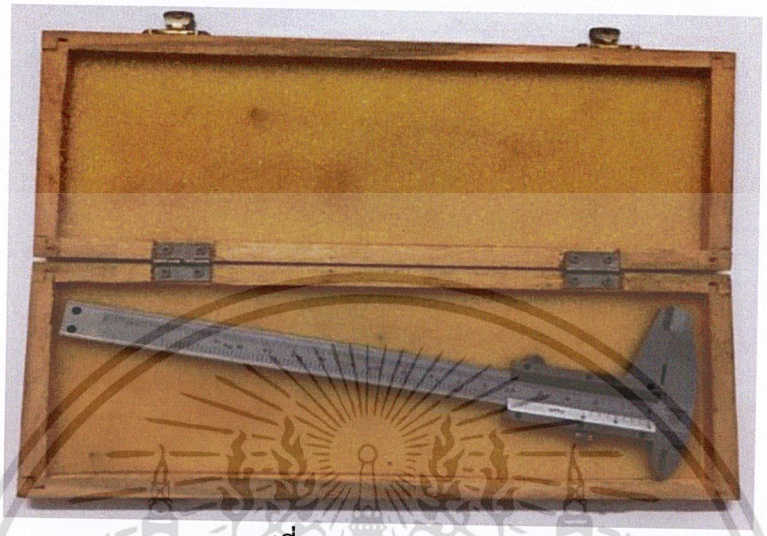
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.4.1.1 การวัดขนาด (Measurement of size)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องมือวัดขนาด Vernier Caliper ความละเอียด 0.2 mm



รูปที่ 3.17 Vernier Caliper

2. วิธีการทดลอง

1) นำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมาเขียนอัตราส่วน เช่น อัตราส่วนร้อยละ 5 เขียนเป็น B_1 อัตราส่วนร้อยละ 10 เขียนเป็น C_1 อัตราส่วนร้อยละ 15 เขียนเป็น D_1 อัตราส่วนร้อยละ 20 เขียนเป็น E_1

2) นำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมาวัดขนาดโดยวัด ความยาว ความกว้าง ความหนา โดยความหนาจะต้องวัดตัวอย่าง (รวมชั้นผิวหน้า) ทั้ง 4 ด้าน แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

3.4.1.2 การทดสอบหาความหนาแน่น (Density of Brick)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น MS3002TS ยี่ห้อ METTER TOLEDO

2. วิธีการทดลอง

1. นำค่าที่ได้จากการวัดขนาดจำนวน 25 ก้อน มาคำนวณหาปริมาตร
2. นำตัวอย่างที่เขียนสัญลักษณ์มาชั่งน้ำหนักทีละ 1 ตัวอย่าง และบันทึกค่า
3. คำนวณหาความหนาแน่นจากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก (g/cm^2)

m คือ น้ำหนักของคอนกรีตบล็อก (g)

v คือ ปริมาตรของคอนกรีตบล็อก (cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 การทดสอบหาค่าความชื้น (Moisture Content Test)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- ถาด
- ถุงมือกันความร้อน
- ตู้อบลมร้อน

2.วิธีการทดลอง

2.1 นำตัวอย่างที่เขียนสัญลักษณ์เรียบร้อยแล้วจำนวน 5 ก้อน ไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกผล (น้ำหนักคอนกรีตสภาพธรรมชาติ W1)

2.2 นำตัวอย่างทดสอบใส่ถาดและนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.3 เมื่อครบนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึก (น้ำหนักคอนกรีตอบแห้ง W_2)

2.4 คำนวณค่าความชื้นจากสมการ

$$\%\ \text{ความชื้น}(M) = \frac{W - D}{D} \times 100$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

D คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

M คือ ความชื้นของกากตะกอน (%)

3.4.1.4 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption test) (มอก.466-2527)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- กะละมัง
- ถุงมือ
- เตาอบ

2.วิธีการทดลอง

2.1 แช่คอนกรีตตัวอย่างในน้ำที่มีอุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิน้ำในห้อง โดยให้ผิวน้ำอยู่เหนือผิวบนคนอกรีตบล็อกตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร และไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เป็นเวลา 24±0.5 ชั่วโมง นำบล็อกตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าชื้นเช็ดน้ำที่ผืนภายนอกให้หมดโดยที่ภายในอิ่มตัว แล้วนำไปชั่ง(M_2) วางคอนกรีตบล็อกตัวอย่างในตู้อบโดยที่คอนกรีตบล็อกตัวอย่างต้องห่างจากผิวที่ได้รับความร้อนหรือคอนกรีตบล็อกตัวอย่างอื่นอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 65±1องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่ง (M_1)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ

$$\%\ \text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

เมื่อ M1 คือ มวลคอนกรีตบล็อกตัวอย่างอบแห้ง (g)

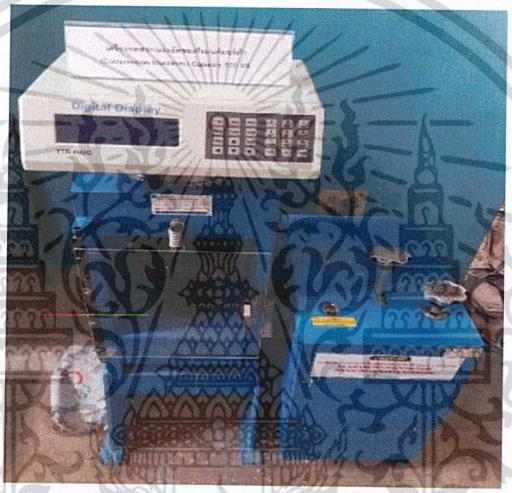
M2 คือ มวลคอนกรีตบล็อกตัวอย่างเมื่ออิ่มน้ำ (g)

3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

3.4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength Test)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องทดสอบรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า



รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า Capacity 500 KN รุ่น TTR-080G

2. วิธีการทดลอง

2.1 เตรียมคอนกรีตบล็อกที่เขียนสัญลักษณ์เรียบร้อย

2.2 นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างวางที่จุดกึ่งกลางของเครื่องรับแรงกดอัด

2.3 กดคอนกรีตบล็อกตัวอย่างโดยเพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนได้แรงกดประมาณครึ่งหนึ่งของแรงกดสูงสุดที่คาดว่าบล็อกตัวอย่างจะรับได้ เพิ่มแรงอัดในอัตราสม่ำเสมอจนถึงแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างจะรับได้ภายในเวลา1ถึง2นาที

2.4 บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้มาทำการคำนวณ จากสมการ

$$P = \frac{F \times C}{A}$$

เมื่อ P คือ ความต้านทานแรงอัด (MPa)

F คือ แรงกดสูงสุดที่ตัวอย่างรับได้ (N)

C คือ ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานแรงอัด

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การทดสอบการชะละลายโลหะหนักออกจากคอนกรีตบล็อก

1. ศึกษาการชะละลายโลหะหนักของคอนกรีตบล็อก โดยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) เป็นการทดสอบการชะละลายโลหะหนักที่ US EPA Method 1311 กำหนดขึ้นนในปี ค.ศ. 1986 ตามกฎหมาย HSWA (Hazardous and solid waste amendment) รายละเอียดการทดลองในภาคผนวก

2. ศึกษาการชะละลายโลหะหนักของคอนกรีตบล็อกโดยวิธี Waste Extraction Test (WET) เป็นการทดสอบการชะโลหะ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 รายละเอียดการทดลองแสดงในภาคผนวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้ามาใช้ในการเป็นวัสดุทดแทนทราย เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตะกอนดินกับวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก แม่พิมพ์ที่ใช้มีลักษณะเป็นบล็อกตำมือขนาด 8×8×6 cm ส่วนผสมประกอบไปด้วย ปูน ทราย และตะกอนดิน โดยกำหนดร้อยละของตะกอนดินแทนที่ทราย สำหรับผสมแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 กำหนดระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

กำหนด A คือ ไม่ผสมตะกอน
B คือ ผสมตะกอนร้อยละ 5
C คือ ผสมตะกอนร้อยละ 10
D คือ ผสมตะกอนร้อยละ 15
E คือ ผสมตะกอนร้อยละ 20

s คือ ระยะเวลาบ่ม 7 วัน
f คือ ระยะเวลาบ่ม 14 วัน
t คือ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

การผลิตคอนกรีตบล็อกสำหรับการทดลอง แบ่งเป็น 15 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชุดการทดลองสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อก

ชุดการทดลอง	ร้อยละของตะกอน	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)
กลุ่ม A (ชุดควบคุม)		
ชุด A_s	0	7
ชุด A_f	0	14
ชุด A_t	0	28
กลุ่ม B		
ชุด B_s	5	7
ชุด B_f	5	14
ชุด B_t	5	28
กลุ่ม C		
ชุด C_s	10	7
ชุด C_f	10	14
ชุด C_t	10	28
กลุ่ม D		
ชุด D_s	15	7
ชุด D_f	15	14
ชุด D_t	15	28
กลุ่ม E		
ชุด E_s	20	7
ชุด E_f	20	14
ชุด E_t	20	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตะกอน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบหลักมากถึง 32.1% รองลงมา คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 5.04% ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และพบว่ายังมีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) 1.57%, แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 0.586% และ ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) 0.511%

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence

สารประกอบ	Kcps	%	ppm
Al_2O_3	280.6	32.1	–
SiO_2	35.3	5.04	–
SO_3	26.9	1.57	–
CaO	20	0.586	–
Fe_2O_3	109.2	0.511	–
Cl	8.3	0.317	–
P_2O_5	3	0.311	–
MnO	19	0.114	–
Na_2O	0.2	–	697
MgO	0.6	–	659
BaO	1	–	534
ZnO	18.9	–	274
Br	39.9	–	273
K_2O	0.9	–	252
As_2O_3	19	–	175
TiO_2	0.4	–	101
SrO	21.6	–	94.6
CuO	1.9	–	35.7
Ga_2O_3	2.1	–	26.6
NiO	0.7	–	16.2
Rb_2O	2.7	–	0
ZrO_2	5.2	–	0

หมายเหตุ Kcps = Kilocounts per second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตะกอน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตะกอนดิน พบว่า ตะกอนดินมี pH 7.04 ± 0.04 ค่าการนำไฟฟ้าของตะกอนดินมีค่า 320 ± 2.00 µs/cm ส่วนค่าความชื้นของตะกอนดินก่อนตากแห้งและหลังตากแห้งมีค่า 87.39 ± 3.13 % และ 2.95 ± 0.50 % ตามลำดับ อินทรียวัตถุของตะกอนดินมีค่า 7.49 ± 0.39 % อยู่ระดับสูงมาก (แปรผลดังตารางที่ ก-2)

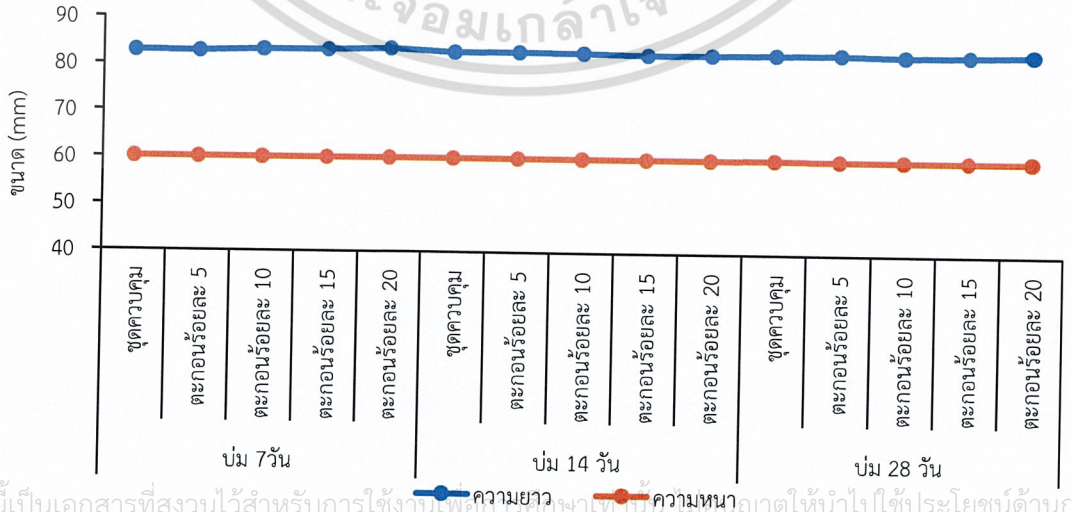
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางเคมีของตะกอน

พารามิเตอร์		ผลการวิเคราะห์
พีเอช		7.04 ± 0.04
ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm)		320 ± 2.00
ความชื้น (%)	ก่อนตากแห้ง	87.39 ± 3.13
	หลังตากแห้ง	2.95 ± 0.50
อินทรียวัตถุ (%)		7.49 ± 0.39

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก

4.2.1 ขนาดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก (mm)

จากมาตรฐาน มอก.827-2531 กำหนดให้การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกต้องมีขนาดความยาวไม่เกิน 295 mm ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ ± 2 mm ความหนาไม่เกิน 60 mm ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ ± 2 mm สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดขนาดของคอนกรีตบล็อกไว้ คือ 80×80×60 mm เมื่อวัดขนาดคอนกรีตบล็อกด้วย Vernier caliper ทั้ง 10 ก้อน ของแต่ละชุดการทดลอง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความยาวและความหนา พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ได้มีความยาว 82.62 – 83.55 mm และมีความหนา 60.12 – 60.18 mm (ดังตารางที่ ข-5, ข-6, และ ข-7) ซึ่งความยาวมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานแต่ความหนามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.827-2531

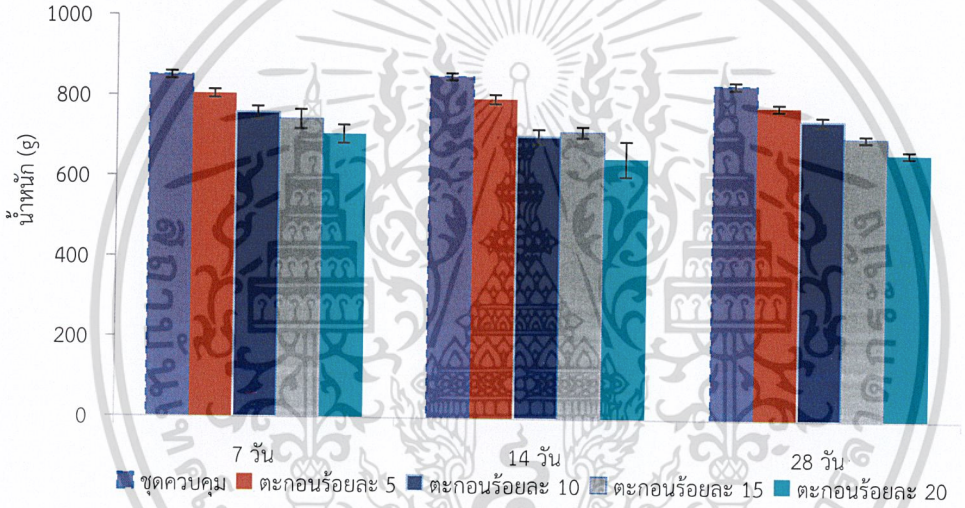


รูปที่ 4.1 ขนาดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 น้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก (g)

การชั่งน้ำหนักและหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้ง 10 ก้อน ของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า คอนกรีตบล็อก กลุ่ม A (ชุดควบคุม) มีน้ำหนักมากที่สุดทุกระยะเวลาบ่ม คือ 851.36, 851.95 และ 833.91 g ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ สำหรับคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมตะกอน น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกกลุ่ม B จะมีน้ำหนักมากที่สุด คือ 805.77, 796.70 และ 780.24 g ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ(ดังตารางที่ ข-5, ข-6, และ ข-7) จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ที่ทุกระยะเวลาบ่ม เมื่อผสมปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกจะลดลง ยกเว้นที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 15 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้อาจเกิดจากผลของการขึ้นรูป เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปใช้วิธีการอัดด้วยแรงคน จึงอาจทำให้มีแรงในการอัดไม่สม่ำเสมอในทุกอัตราส่วน

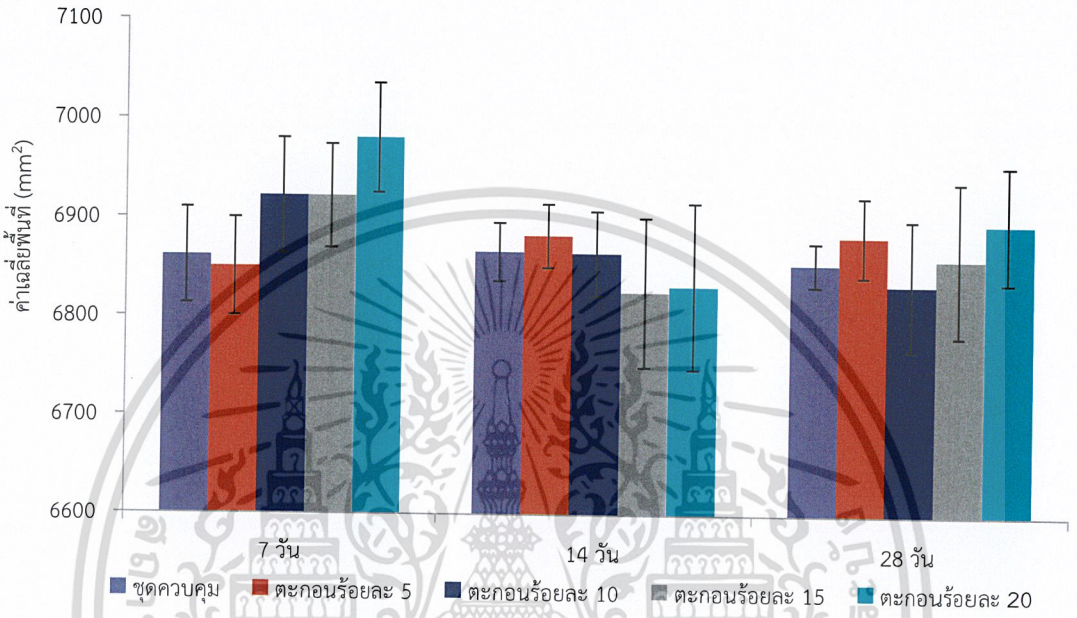


รูปที่ 4.2 น้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

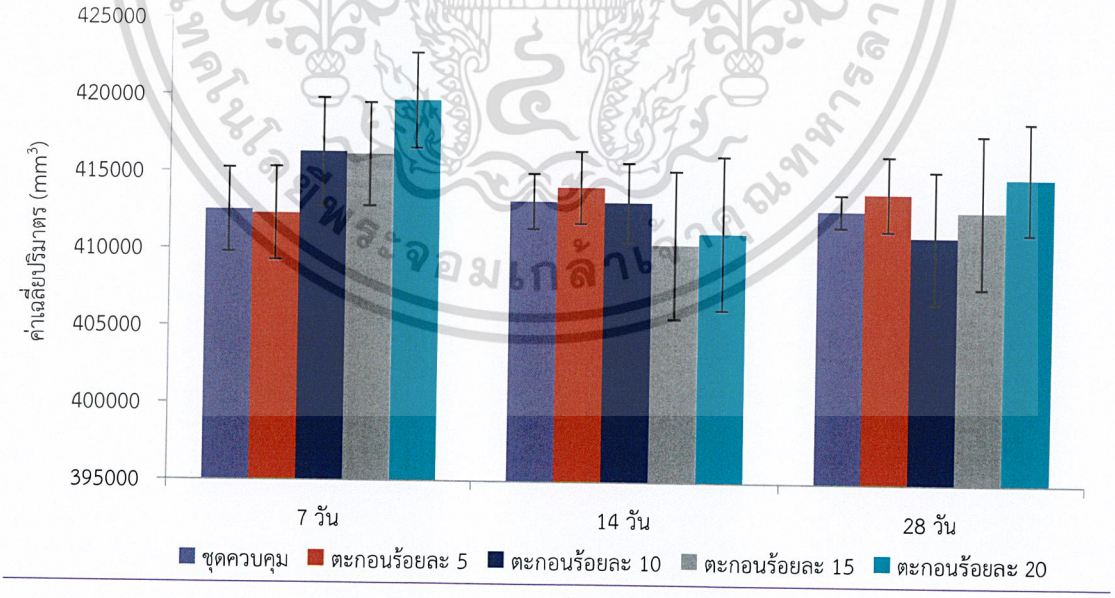
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 พื้นที่และปริมาตรเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

เมื่อนำคอนกรีตบล็อกทั้ง 10 ก้อน ของแต่ละชุดการทดลอง มาวัดขนาดด้วย Vernier caliper เพื่อคำนวณหาพื้นที่และปริมาตรเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก พบว่า คอนกรีตบล็อกมีพื้นที่เฉลี่ย 6825.59 – 6980.70 mm^2 และมีปริมาตรเฉลี่ย 410384.21 – 419663.58 mm^3 ดังตารางที่ ข-5, ข-6, และ ข-7



รูปที่ 4.3 พื้นที่เฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

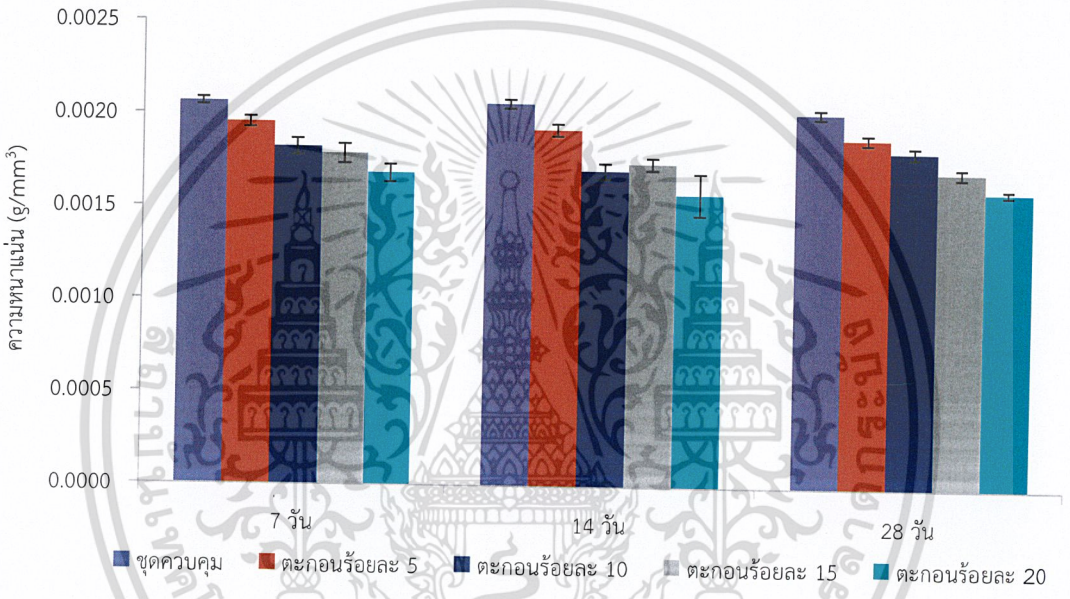


รูปที่ 4.4 ปริมาตรเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก (g/mm^3)

เมื่อคำนวณค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจากน้ำหนักและปริมาตร พบว่า ที่ทุกระยะเวลาบ่ม กลุ่ม A (ชุดควบคุม) มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ 2.064×10^{-3}, 2.062×10^{-3} และ 2.021×10^{-3} g/mm^3 ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ(ดังตารางที่ ข-5, ข-6, และ ข-7) จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ที่ทุกระยะเวลาบ่ม เมื่อผสมตะกอนเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจะลดลง โดยความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทราย ร้อยละ 5 >ร้อยละ 10 >ร้อยละ 15 >ร้อยละ 20 สอดคล้องกับงานวิจัยของพลวัต และคณะ (2559) ยกเว้นที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 10 มีค่าความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 15 อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

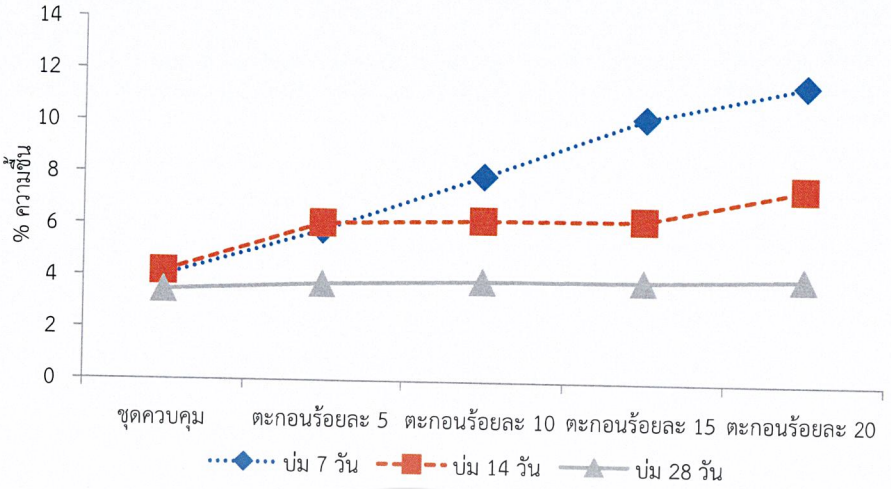


รูปที่ 4.5 ความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

4.2.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อหาน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในคอนกรีตบล็อกตามสภาพธรรมชาติ พบว่า คอนกรีตบล็อกกลุ่ม A (ชุดควบคุม) ทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำที่สุด คือ 4.02, 4.18 และ 3.46% (ดังตารางที่ ข-8, ข-9 และ ข-10) ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยทุกระยะเวลาบ่ม เมื่อร้อยละของตะกอนที่ผสมเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความชื้นของคอนกรีตบล็อกจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 4.6 สอดคล้องกับงานวิจัยของชนกนันท์ และคณะ (2555) เนื่องจากตะกอนสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ดี

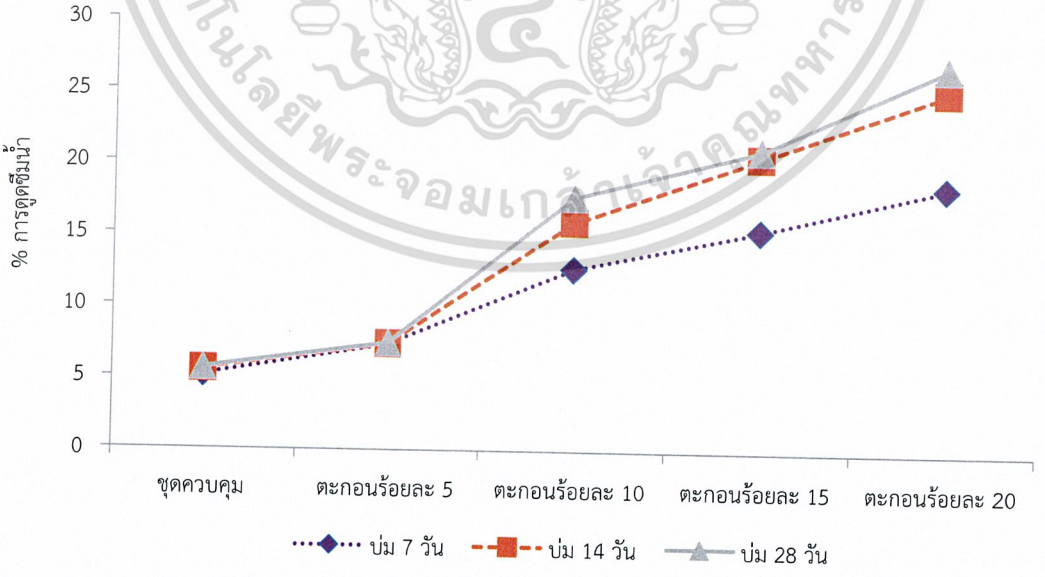
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

4.2.6 เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกในแต่ละชุดการทดลองเพื่อหาน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในคอนกรีตบล็อก พบว่า คอนกรีตบล็อก กลุ่ม A (ชุดควบคุม) ทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำที่สุด คือ 5.17, 5.56 และ 5.64% (ดังตารางที่ ข-11, ข-12 และ ข-13) โดยทุกอายุการบ่ม เมื่อร้อยละของตะกอนที่ผสมเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 4.7 สอดคล้องกับงานวิจัยของพลวัต และคณะ (2559) เนื่องจาก ในตะกอนมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก และอินทรียวัตถุในตะกอน มีความสามารถในการดูดซึมน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก คือประมาณ 6 - 20 เท่าของน้ำหนัก เพราะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก และมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ

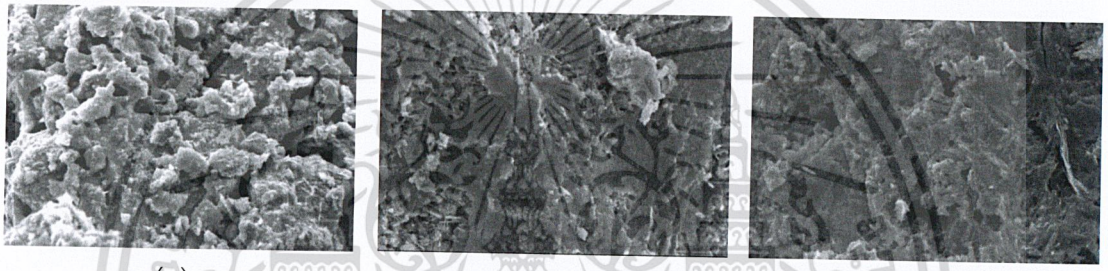


รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีต่อความพรุนของโครงสร้าง โดยใช้คอนกรีตบล็อกกลุ่ม B คือ คอนกรีตบล็อกผสมตะกอนร้อยละ 5 เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบค่าความต้านแรงอัด คอนกรีตบล็อกกลุ่ม B เป็นคอนกรีตบล็อกผสมตะกอนที่มีค่าความต้านแรงอัดสูงที่สุด(จากตารางที่ ข-14, ข-15 และ ข-16) ในการศึกษา พบว่าลักษณะโครงสร้าง B_s มีความพรุนมากกว่า B_f และลักษณะโครงสร้าง B_f มีความพรุนมากกว่า B_t ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจาก ระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันช่วยปิดช่องว่างภายในโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น (ประภัสสร, 2551)



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายพื้นผิวของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนตะกอน 5% ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
(ก) คอนกรีตบล็อกที่บ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน
(ข) คอนกรีตบล็อกที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน
(ค) คอนกรีตบล็อกที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

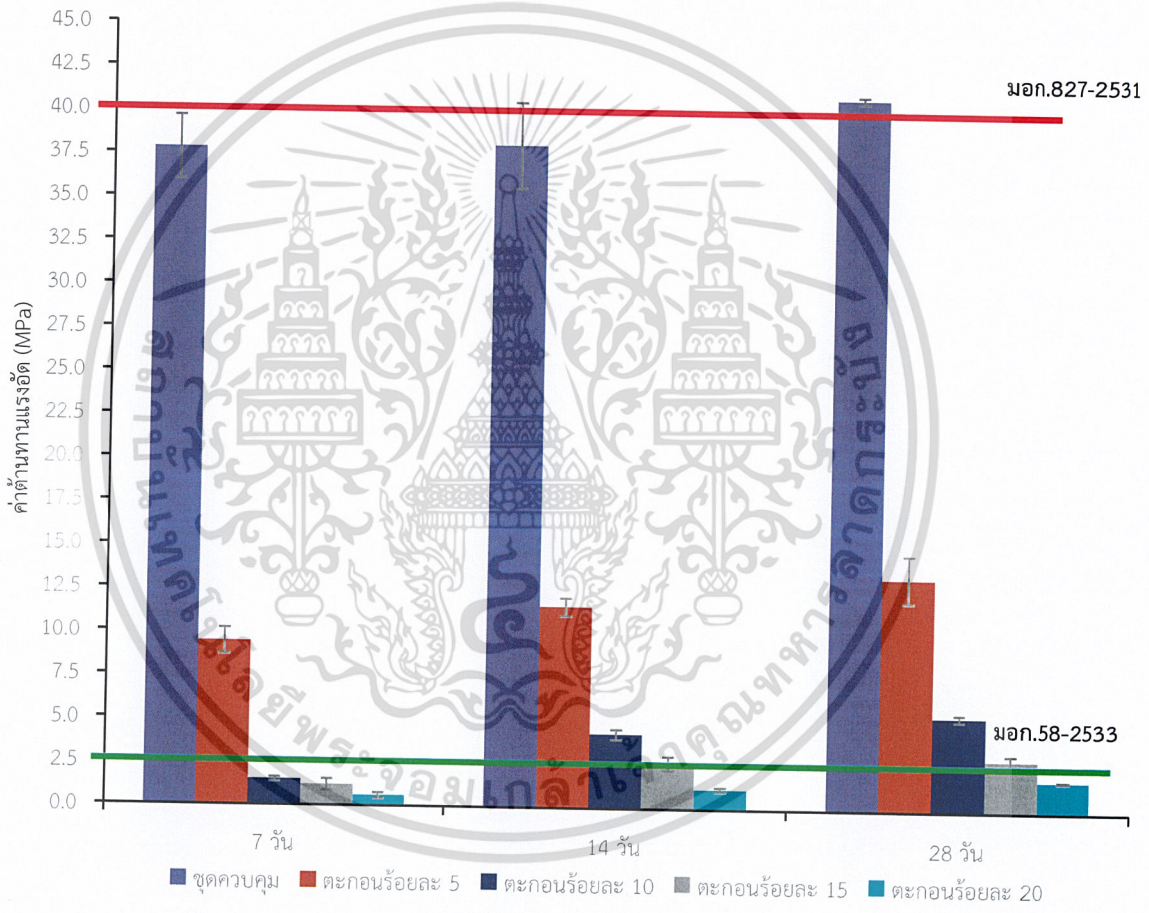
เมื่อทำการทดสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อก พบว่า เมื่อผสมตะกอนเพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงอัดจะลดลง(ดังรูปที่ 4.9) จากตารางที่ ข-14 จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน คอนกรีตบล็อกกลุ่ม A (ชุดควบคุม) มีค่าความต้านแรงอัดสูงสุด คือ 37.80 MPa รองลงมา คือ คอนกรีตบล็อกผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 5 มีค่าความต้านแรงอัดคือ 9.42 MPa ตามด้วย คอนกรีตบล็อกผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 10, 15 และ 20 มีค่าความต้านแรงอัด คือ 1.48 MPa, 1.19 MPa และ 0.60 MPa ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่ม ค่าความต้านแรงอัดก็จะเพิ่มมากขึ้น เช่น คอนกรีตบล็อกผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 5 ที่อายุการบ่ม 7 วัน ค่าความต้านแรงอัด 9.42 MPa และมีค่าความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นเป็น 11.55 MPa และ13.35 MPa ที่อายุการบ่ม 14 และ 28 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ ข-14, ข-15 และ ข-16)

เมื่อนำค่าความต้านแรงอัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 (คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น) ซึ่งกำหนดให้ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 35 MPa และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนทุกชุดการทดลอง มีค่าความต้านแรงอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.827-2531 เนื่องจากตะกอนดินมีองค์ประกอบของอินทรียวัตถุในปริมาณที่สูง จึงส่งผลกระทบต่อการแข็งตัวของคอนกรีตบล็อกและทำให้ค่าความต้านแรงอัดลดลง

แต่เมื่อนำค่าความต้านแรงอัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 (คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก) กำหนดให้ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 MPa และเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa จากผลการทดลอง พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 5 ทุกระยะเวลาบ่ม คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 10 และ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าความต้านแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533



รูปที่ 4.9 ค่าต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ระหว่างมอก.827-2531 และ มอก.58-2533 ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ร้อยละ	ระยะเวลาบ่ม	พารามิเตอร์	มอก.827-2531		มอก.58-2533	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
5	7 วัน	การวัดขนาด		√		√
	14 วัน			√		√
	28 วัน			√		√
5	7 วัน	ความหนาแน่น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
5	7 วัน	ความชื้น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
5	7 วัน	อัตราการดูดซึมน้ำ	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
5	7 วัน	การรับแรงอัด		√	√	
	14 วัน			√	√	
	28 วัน			√	√	
10	7 วัน	การวัดขนาด		√		√
	14 วัน			√		√
	28 วัน			√		√
10	7 วัน	ความหนาแน่น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
10	7 วัน	ความชื้น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
10	7 วัน	อัตราการดูดซึมน้ำ	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
10	7 วัน	การรับแรงอัด		√		√
	14 วัน			√	√	
	28 วัน			√	√	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ระหว่างมอก.827-2531 และ มอก.58-2533 ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน (ต่อ)

ร้อยละ	ระยะเวลาบ่ม	พารามิเตอร์	มอก.827-2531		มอก.58-2533	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
15	7 วัน	การวัดขนาด		√		√
	14 วัน			√		√
	28 วัน			√		√
15	7 วัน	ความหนาแน่น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
15	7 วัน	ความชื้น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
15	7 วัน	อัตราการดูดซึมน้ำ	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
15	7 วัน	การรับแรงอัด		√		√
	14 วัน			√	√	
	28 วัน			√	√	
20	7 วัน	การวัดขนาด		√		√
	14 วัน			√		√
	28 วัน			√		√
20	7 วัน	ความหนาแน่น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
20	7 วัน	ความชื้น	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
20	7 วัน	อัตราการดูดซึมน้ำ	มาตรฐานไม่ได้กำหนดไว้			
	14 วัน					
	28 วัน					
20	7 วัน	การรับแรงอัด		√		√
	14 วัน			√		√
	28 วัน			√		√

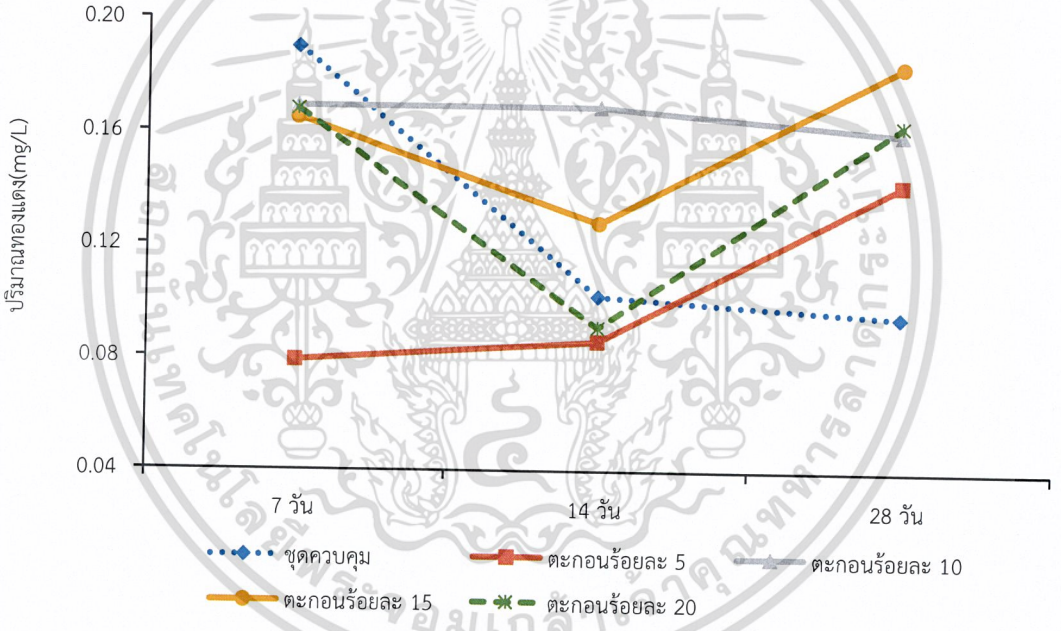
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบการชะละลายโลหะหนักออกจากคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่อง X-ray fluorescence พบว่า ในตะกอนมีปริมาณโลหะสะสมอยู่ด้วยกันหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ข้างต้น จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการชะละลายโลหะหนักออกจากคอนกรีตบล็อก โดยกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 กำหนดให้ทดสอบการชะละลายของทองแดงและสังกะสีด้วยวิธี WET ส่วน USEPA Test Method 1311 กำหนดให้ทดสอบการชะละลายของอาร์เซนิกและแมงกานีสด้วยวิธี TCLP

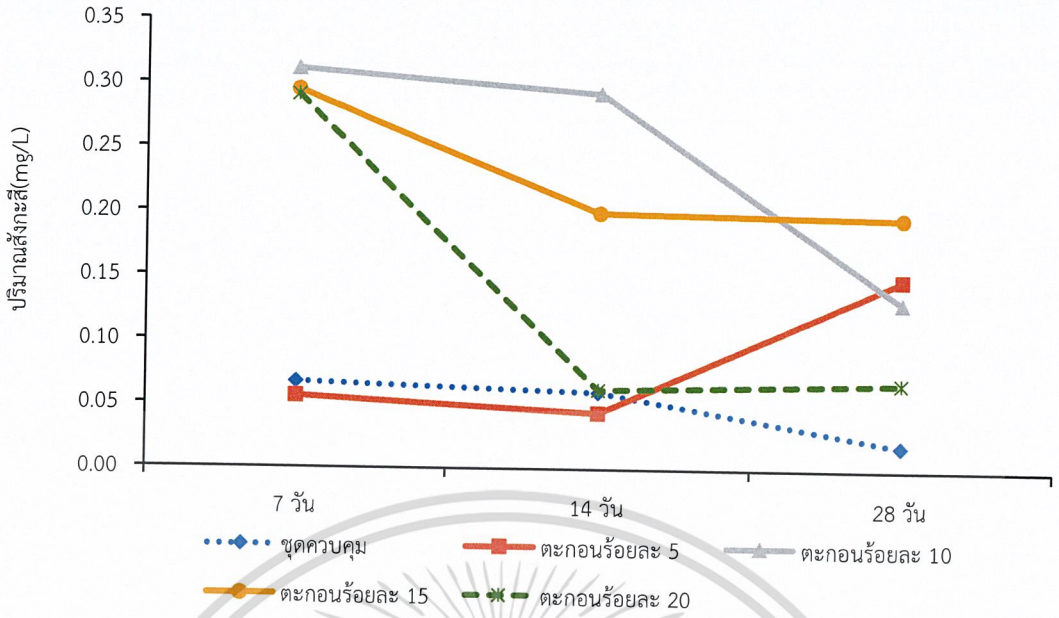
4.4.1 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักโดยวิธี Waste Extraction Test (WET)

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าปริมาณของทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.79 – 1.90 mg/Kg และปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.19 – 3.11 mg/Kg โดยโลหะหนักทั้งสองชนิดผ่านค่ามาตรฐานของสารอันตรายสำหรับการทดสอบด้วยวิธี WET ที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 (ตารางที่ ค-2) ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานของทองแดงและสังกะสีไว้ที่ 25 และ 250 mg/L ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ปริมาณทองแดงในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี WET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ปริมาณสังกะสีในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี WET

นอกเหนือจากการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด คือ ทองแดง และสังกะสี ยังได้มีการทดสอบการชะละลายของโลหะอื่นๆ ได้แก่ แมงกานีสและแมกนีเซียม ในคอนกรีตบล็อกด้วยวิธี WET เช่นกัน ซึ่งมีปริมาณดังตารางที่ 4.5

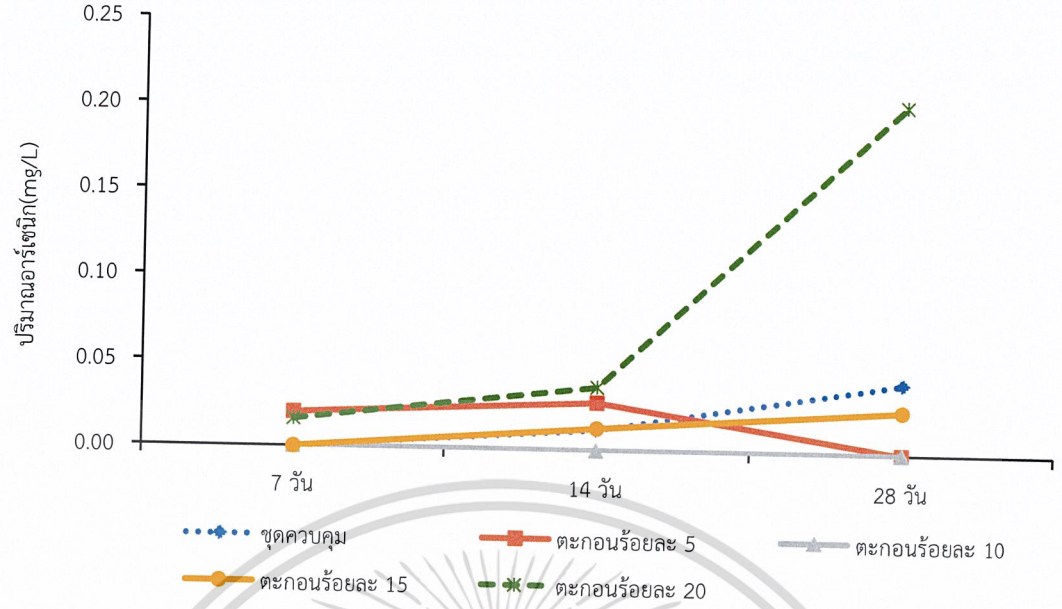
ตารางที่ 4.5 ปริมาณแมงกานีสและแมกนีเซียมในคอนกรีตบล็อก (mg/L)

ธาตุ	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ชุดควบคุม	ตะกอน ร้อยละ 5	ตะกอน ร้อยละ 10	ตะกอน ร้อยละ 15	ตะกอน ร้อยละ 20
Mn	7	0.190	0.079	0.169	0.165	0.168
	14	0.102	0.086	0.169	0.128	0.091
	28	0.095	0.142	0.160	0.184	0.163
Mg	7	0.114	0.096	0.656	0.652	0.696
	14	0.165	0.152	0.713	0.520	0.323
	28	0.173	0.567	0.484	0.791	0.653

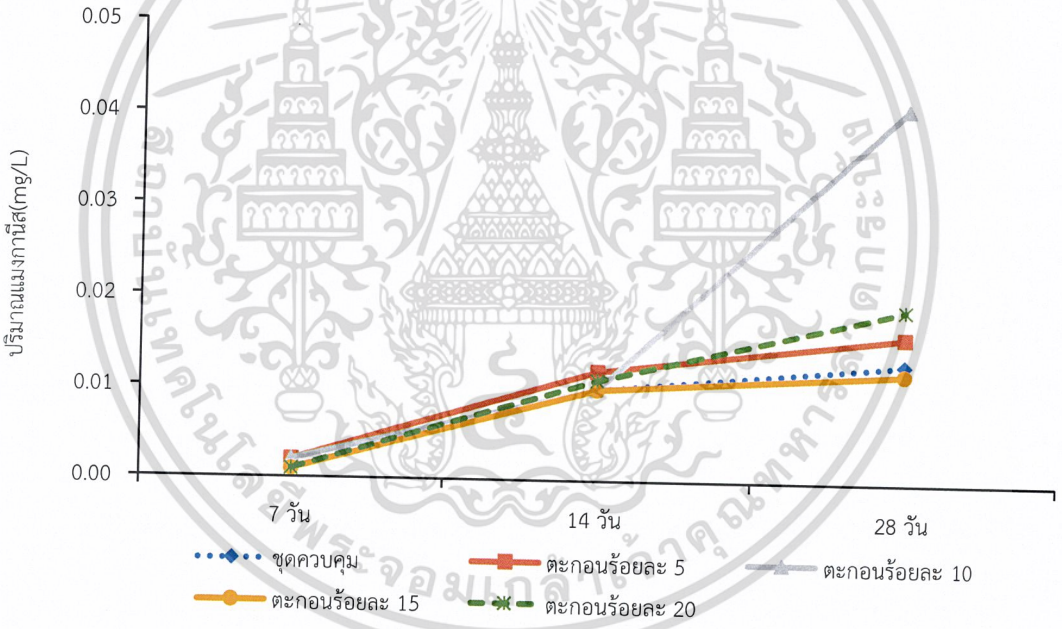
4.4.2 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักโดยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า ปริมาณของอาร์เซนิกมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 4.07 mg/Kg และปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 0.82 mg/Kg โดยโลหะหนักทั้งสองชนิดผ่านค่ามาตรฐานของสารอันตรายสำหรับการทดสอบด้วยวิธี TCLP ที่กำหนดโดย USEPA Test Method 1311 (ตารางที่ ค-1) ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานของอาร์เซนิกและแมงกานีสไว้ที่ 5 และ 10 mg/L ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ปริมาณอาร์เซนิกในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี TCLP



รูปที่ 4.13 ปริมาณแมงกานีสในคอนกรีตบล็อกที่สกัดด้วยวิธี TCLP

นอกจากการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด คือ อาร์เซนิกและแมงกานีส ยังได้มีการทดสอบการชะละลายของโลหะอื่นๆ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม อะลูมิเนียม และโซเดียม ในคอนกรีตบล็อกด้วยวิธี TCLP เช่นกัน ซึ่งมีปริมาณดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม อะลูมิเนียม และโซเดียม ในคอนกรีตบล็อก (mg/L)

ธาตุ	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ชุดควบคุม	ตะกอนร้อยละ 5	ตะกอนร้อยละ 10	ตะกอนร้อยละ 15	ตะกอนร้อยละ 20
Cu	7	0.09	0.20	0.14	0.12	0.13
	14	0.14	0.45	0.45	0.46	0.48
	28	0.17	0.55	0.46	0.52	0.45
Zn	7	0.13	0.05	0.04	ND	ND
	14	0.27	0.29	0.31	0.23	0.26
	28	0.27	0.33	0.34	0.35	0.36
Mg	7	2.39	4.26	7.11	8.75	9.67
	14	475.00	513.00	180.67	310.33	368.33
	28	525.33	556.33	657.33	624.33	687.00
Al	7	17.80	49.20	74.19	94.27	118.60
	14	0.20	ND	ND	0.06	0.18
	28	52.83	ND	ND	1.66	0.14
Na	7	944.67	969.33	1356.00	1420.00	1420.67
	14	890.67	814.00	765.33	676.00	862.67
	28	943.33	970.67	869.33	865.33	1172.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 87.39 ± 3.13% อินทรียวัตถุ 7.49 ± 0.39% อะลูมิเนียมออกไซด์ 32.1% ซิลิกอนไดออกไซด์ 5.04% และมีองค์ประกอบของสารประกอบโลหะออกไซด์อื่นๆเพียงเล็กน้อย

จากการนำตะกอนดินมาเป็นส่วนผสมแทนที่ทรายเพื่อขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกในสัดส่วนและระยะเวลาบ่มที่แตกต่างกัน พบว่า น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกจะลดลง เมื่อร้อยละของตะกอนที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกเพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความชื้นและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกจะเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของตะกอนที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกเพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.60 – 13.35 MPa ซึ่งค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนทุกอัตราส่วน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก.827-2531 ซึ่งกำหนดให้ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 35 MPa และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 MPa สรุปได้ว่า ตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแทนที่ทรายในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น แต่เมื่อนำค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานมอก.58-2533 ที่กำหนดให้ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 MPa และเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อกต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa จึงสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 5 ทุกระยะเวลาบ่มและคอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 10 และ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าความต้านแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแทนที่ทรายในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ คอนกรีตบล็อกที่ผสมตะกอนแทนทรายร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน มีค่าความต้านแรงอัด 2.62 MPa เพราะมีค่าความต้านแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 เป็นอัตราส่วนที่มีตะกอนผสมมากที่สุด และใช้ระยะเวลาบ่มน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรใช้เครื่องมือสำหรับอัดขึ้นรูปคอนกรีตโดยเฉพาะ เพราะการขึ้นรูปอิฐด้วยแม่พิมพ์บล็อกตำมือ อาจทำให้น้ำหนัก ขนาด ความแน่นของคอนกรีตบล็อกมีความไม่สม่ำเสมอ

5.2.2 ควรนำคอนกรีตบล็อกที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด มาทำการศึกษาคุณสมบัติเพื่อเปรียบเทียบผลกับคอนกรีตบล็อกที่มีตะกอนเป็นส่วนผสมแทนทราย

5.2.3 ควรควบคุมปัจจัยปริมาตรน้ำให้ท่ากันในการผลิตคอนกรีตบล็อกทุกอัตราส่วน เพื่อให้ส่วนผสมเท่ากันทุกชุดการทดลอง

5.2.4 ควรมีการศึกษาการนำตะกอนไปพัฒนาและปรับปรุงเพื่อใช้สำหรับปลูกพืช เพราะตะกอนมีประมาณของอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

การประปานครหลวง. 2548. "**โครงการแนวคิด การทำวิจัยการใช้ตะกอนจากการผลิตน้ำประปาให้เป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ**" กรุงเทพฯ.

ขนิษฐ พานชูวงศ์. 2550. **สารหนูโลหะหนักภัยใกล้ตัว.** นิตยสารหมอชาวบ้าน เล่มที่ 334 [online]. Available : http://www.doctor.or.th/article/detail/4102.

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี. 2553. [online]. Available : http://glasswarechemical.com/tag/ธาตุสังกะสี-ธาตุzn-ความรู้/.

ฉันทนา ผดุงทศ. 2549. **ข้อมูลโครเมี่ยมและแมงกานีสภัยสุขภาพจากโลหะหนัก.** วารสารคลินิก เล่มที่ 263 [online]. Available : http://www.doctor.or.th/clinic/detail/8323.

ชนกนันท์ บุญรอด, สุนิสา ทิวาพัฒน์ และอารดา อัศวานันท์. 2555. **"การใช้กากตะกอนจากโรงไฟฟ้าทดแทนปูนซีเมนต์"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชนัญญา หาวารี. 2549. **"การประเมินศักยภาพการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์โดยการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2547. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.** [Online]. Available : http://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue5/articles/article4.html.

ธนัญชนก ภารกุล. 2551. **"การชะละลายระยะยาวของโลหะหนักในมอร์ต้าที่ทำด้วยปูนซีเมนต์จากกระบวนการเผาร่วมที่มีกากอุตสาหกรรมปนโลหะหนัก"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรานี โชติกไกร. 2537. **"การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ของทรายแต่ละประเภท"** ฝ่ายวิเคราะห์วิจัยแร่หิน กองวิเคราะห์กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม 82 หน้า.

ธเนศ มุนีแนม 2546. **"คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่ได้จากโรงประปาในการนำมาใช้งานเป็นวัสดุปอซโซแลน"**ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธิติพัฒน์ หิรัญคำ. 2556. "**การวิเคราะห์ความเข้มข้นและจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา**" ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2548 **"เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว"**

ประภัสสร มณีรัตน์. 2551. **"การหล่อแข็งกากตะกอนโลหะโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และผงฝุ่นซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน"** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปราโมทย์ วีรานุกูล, จักรวัฒน์ เรืองแรงสกูล, สัจจะชาญ พรัดมะลิ, และประชุม คำพุฒ. 2554. **"การพัฒนาวัสดุอาคารจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อการประหยัดพลังงานและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร"** รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ปวรีน สุวรรณอินทร์. 2550. **"การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของดินที่ต่างชนิดกันและการกำหนดค่า correction factor ของวิธี Walkley-Black โดยใช้เทคนิคการเผาให้แห้ง"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ปัญญา พลมีเดช. 2559. **"การนำเศษวัสดุชีวมวลกลับมาใช้ใหม่สำหรับผลิตอิฐก่อสร้าง"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2545. **สารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาและการคำนวณ**. [Online]. Available : https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=592.

พลวัต คงสรรค์เสถียร, นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และอภิพงษ์ พุฒคำ. 2559. **"คุณสมบัติบล็อกประสานที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และกากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสีน้ำ"** สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 เดือนกรกฎาคม – สิงหาคม.

ภานุ ศิริพงศ์ไพโรจน์. 2551. **"การศึกษาพัฒนาดินตะกอนประปาเพื่อใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา"** วรสารเซลามิกส์ มกราคม-เมษายน 2551 : 92-95.

ภารดร ชุไชย์สงค์, สุพรรณ วงทอง. 2552. **"การศึกษาคุณสมบัติของอิฐมอญที่ผลิตในจังหวัดชลบุรี"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วรนุช ดีละมัน, กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล, และกิติยศ ตั้งสัจจวงศ์. 2559. **"การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ"** รายงานฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

วิชัย วรยศอำไพ. 2542. **"ทรัพยากรแร่ทรายในประเทศไทย"** ฝ่ายแร่และหินอุตสาหกรรม กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 137 หน้า.

วิมัณฑนา ถนอมกิจนุรักษ์ 2556. **"การปรับปรุงกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์ด้วยตะกอนดินจากระบบผลิตน้ำ"** ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระพันธ์ อุปถัมภากุล. 2540. "มาตรฐานและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทรายในการก่อสร้าง ในการจัดการทรัพยากรธรณีทรายของไทย" เอกสารสัมมนา กรมทรัพยากรธรณี.

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. **ความเป็นพิษของทองแดง** [online]. Available : http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=296.

สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ และอดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ. 2552.**"บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา"**รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 11. 2560. **อินทรียวัตถุ.** [Online]. Available : http://r11.ldd.go.th/r11/.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม **"มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มอก.827 – 2531"** กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม **"มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก. 58 – 2533"** กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม **"มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มอก.15 เล่ม1."** กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม **"มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต มอก.566-2538."** กรุงเทพมหานคร.

เอกชัย ลิ้มพัฒนสกุล. 2553. **"การศึกษาประสิทธิภาพในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาผลิตเป็นอิฐตัวหนอน กรณีศึกษา: บริษัท แวกซ์ กาเบ็จ รีไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด"** วิชาการค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

Abbas, Safeer Saleem, Muhammad A. Kazmi, Syed M.S. and Munir, Muhammad J 2017. **"Production of Sustainable Clay Bricks using Waste Fly Ash: Mechanical and Durability Properties."** *Journal of Building Engineering*. 14 : 7-14.

ASTM. 1996. **"Annual book of ASTM standard."** C33-93 v : 04.02.

Esmeray, Ertugrul and Atis, Mustafa. 2019. **"Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick production."** *Construction and Building Materials*. 194 : 110-121.

Sarani, Noor Amira Kadir, Aeslina Abdul Rahim, Ahmad Shayuti Abdul and Mohajerani, Abbas.2018. **"Properties and environmental impact of the mosaic sludge incorporated into fired clay bricks."** *Construction and Building Materials*. 183 : 300-310.

Singh, S.K. Kulkarni, Shilpa Kumar, Vivek and Vashistha, Prabhat. 2018. **"Sustainable Utilization of Deinking Paper Mill Sludge for the Manufacture of Building Bricks."** *Journal of Cleaner Production*. 204 : 321-333.

SW-846 Test Method 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure [Online] Available : https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-1311-toxicity-characteristic-leaching-procedure.

Zhou, Chaoqun. 2018. **"Production of eco-friendly permeable brick from debris."** *Construction and Building Materials*. 188 : 850-859.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ตะกอนดินและซีเมนต์

ก-1 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักในตะกอนดิน

1. การทดสอบด้วยวิธีการชะละลายโดยใช้วิธี Waste Extraction Test (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

การเตรียมตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

ชนิดที่ 1 สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่สามารถบดได้ จะต้องนำไปร่อนหรือไปบดเพื่อให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานก่อนนำไปวิเคราะห์หากตัวอย่างมีวัสดุที่ไม่สามารถบดได้และไม่สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานที่ใช้และเป็นวัสดุที่ปนเปื้อนมาที่ไม่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเดิมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ให้แยกออกแล้วทิ้ง ส่วนที่เหลือของตัวอย่างให้นำไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ก่อนจะนำไปรวมและผสมกันอย่างทั่วถึงกับส่วนของตัวอย่างที่ไม่ต้องผ่านการบด เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ชนิดที่ 2 สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะเป็นของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่สามารถนำไปกรองได้ โดยมีองค์ประกอบของของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะต้องทำการกรองตัวอย่างเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลวโดยกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน จากนั้นวัดปริมาณของส่วนที่กรองได้และเก็บไว้ โดยส่วนนี้จะถือว่าเป็น Initial Filtrate ส่วนของแข็งที่แยกได้จะนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (สิ่งแปลกปลอมจะถูกแยกทิ้งไป) และนำไปผสมกับของแข็งที่ผ่านตะแกรงโดยไม่ต้องบด ซึ่งส่วนที่เป็นของแข็งจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Waste Extraction Test (WET) โดยสัดส่วนของน้ำสกัด (extraction solution) ที่ใช้คือ 10 มิลลิลิตรของน้ำสกัดต่อ 1 กรัมของของแข็ง เมื่อเสร็จสิ้นการสกัดแล้ว สารละลายที่สกัดได้จะถูกนำไปกรองและผสมกับ Initial Filtrate อย่างทั่วถึงก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ชนิดที่ 3 สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะเป็นกากตะกอน (sludge) เลน (slurry) น้ำมัน (oily) น้ำมันดิน (tarry) หรือ resinous material ที่ไม่สามารถกรองหรือบดได้ หลังจากแยกสิ่งแปลกปลอมแล้ว ตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

การเตรียมสารสกัด

1. ใช้สารละลาย 0.2 M sodium citrate ที่ pH 5.0±0.1 เป็นน้ำสกัดที่ใช้ในวิธี WET เตรียมได้จากนำสารละลายกรดซิตริก (citric acid) ในปริมาณที่เหมาะสมมาปรับ pH ให้เท่ากับ 5.0 ด้วยสารละลาย 4.0 N NaOH โดยสารละลายกรดซิตริกเตรียมได้จากนำกรดซิตริกเกรดวิเคราะห์ไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (deionized water)

2. สำหรับการวิเคราะห์หาค่าเฮกซาวาเลนท์โครเมียม (chromium(VI)) ให้ใช้ deionized water เป็นน้ำสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดด้วยวิธีการชะละลายโดยใช้วิธี WET (Waste Extraction Test) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำ 50 กรัมของตัวอย่างใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกประเภทโพลีเอทธิลีน (ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้วเมื่อต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตราย) ภาชนะที่ใช้ในการสกัดควรผ่านการล้าง (rinsed) อย่างต่อเนื่องด้วยสารละลาย nitric acid ซึ่งสามารถเตรียมได้จากนำสารละลาย nitric acid ผสมกับน้ำปราศจากไอออน (deionized water) ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

2. เติม 500 มิลลิลิตรของน้ำสกัดลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไปและป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงไปในตัวอย่าง เมื่อเสร็จแล้วให้รีบปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็วและนำไปเขย่าโดยใช้ table shaker หรือ overhead stirrer หรือ rotary extractor ทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนอยู่ตลอดเวลา (vigorously agitated suspension) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3. นำของผสมไปกรองหรืออาจไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้ thick-walled suction flask ที่สะอาด สำหรับของแข็งขนาดหยาบสามารถใช้ Pressure filtration แทน vacuum filtration ได้ สำหรับของแข็งขนาดละเอียดต้องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000xG ก่อนนำไปกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน

4. ถ่ายสารละลายที่กรองได้ลงในขวดโพลีเอทธิลีนและปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริกจนความเข้มข้นของของกรดในสารละลายผสม(สารละลายที่กรองได้ผสมกับกรดไนตริก) เป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ให้ปรับสภาพเป็นกรดทันทีหลังผ่านการกรอง) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ยี่ห้อ Perkinlmer model รุ่น AAnalyst 200

2. การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure

การเตรียมการชะละลายด้วยวิธี TCLP (method 1311 US EPA, 1992) มีขั้นตอนดังนี้

1. สำหรับของเสียที่เป็นของเหลว นั่นคือมีวัสดุที่เป็นของแข็งน้อยกว่า 0.5 % หลังจากนั้นกรองของเสียด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (glass fiber filter) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6-0.8 μm

2. สำหรับของเสียที่มีของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 % กรองของเหลวออกจากของแข็งแล้วนำไปวิเคราะห์ ส่วนของแข็งทำการย่อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตะแกรงร่อนขนาดรูตะแกรง 9.5 มิลลิเมตร และนำมาทดสอบเพื่อเลือกสารสกัด มีสารสกัด 2 ชนิด ได้แก่

<u>สารสกัดชนิดที่ 1</u> สารที่เตรียมได้จาก 5.7 มิลลิลิตร ของกรดอะซิติกผสมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 11.4 มิลลิลิตร กับ 64.3 มิลลิลิตรของ 1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นผสมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 128.6 มิลลิลิตร นำสารทั้งสองผสมเข้าด้วยกันและเจือจางโดยการเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 2 ลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงจนกระทั่ง pH คงที่ ทำการตรวจสอบ pH ถ้าหากค่าสูงกว่า 93±0.05 ให้เติมกรดอะซิติก หาก pH ค่าต่ำกว่า 4.93±0.05 ให้เติม 1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารสกัดชนิดที่ 1

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเตรียมเสร็จแล้วถ้ายังไม่ใช้งานต้องเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดและต้องนำไปใช้งานภายในเวลา 48 ชั่วโมง

สารสกัดชนิดที่ 2 นำ 5.7 มิลลิลิตรของกรดอะซิติกผสมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 11.4 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางโดยการเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 2 ลิตร จากนั้นทำการตรวจสอบ pH ถ้าหากสูงกว่า 2.88±0.05 ให้เติมกรดอะซิติก ถ้า pH ต่ำกว่า 2.88±0.05 ให้เติมน้ำกลั่น สารสกัดชนิดที่2 เมื่อเตรียมเสร็จแล้วถ้ายังไม่ใช้งานต้องเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดและต้องนำไปใช้งานภายในเวลา 48 ชั่วโมง

การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี TCLP (method 1311 US EPA, 1992) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำของแข็งจำนวน 5 กรัม ที่ผ่านตะแกรงขนาดรูตะแกรง 9.5 มิลลิเมตร ผสมน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตร กวนอย่างแรงเป็นเวลา 5 นาที หาก pH น้อยกว่า 5 ให้ใช้สารสกัดชนิดที่ 1 หาก pH สูงกว่า 5 ให้เติม 3.5 มิลลิลิตร ของ 1 N กรดไฮโดรคลอกริกและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัด pH หาก pH น้อยกว่า 5 ให้ใช้สารสกัดชนิดที่ 1 หาก pH สูงกว่าใช้สารสกัดชนิดที่ 2 สำหรับของเสียที่เป็นสารระเหยได้ใช้สารสกัดชนิดที่ 1

2. นำตัวอย่าง 100 กรัม และใช้สารสกัดประมาณ 20 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ถ้ามีสารระเหยง่ายต้องใช้ภาชนะบรรจุพิเศษ นำตัวอย่างที่ใส่สารสกัดแล้วเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (rotary agitator) อัตรา 30±2 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18±2 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองตัวอย่างเพื่อแยกของเหลวออกจากของแข็งด้วยกระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ยี่ห้อ Perkinlmer model รุ่น AAnalyst 200

หมายเหตุ

1. ในการทดสอบการชะละลายโลหะหนักโดยวิธี TCLP ชั่งตะกอนดินมา 5 กรัม เติมน้ำสกัด 100 มิลลิลิตร
2. ในการทดสอบการชะละลายโลหะหนักโดยวิธี WET ชั่งตะกอนดินมา 5 กรัม เติมน้ำสกัด 50 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการสกัด 12 ชั่วโมง

ตารางที่ ก-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการสกัดด้วยวิธี TCLP และวิธี WET

หัวข้อ	วิธี TCLP	วิธี WET
วัตถุประสงค์	เพื่อตรวจสอบความเป็นอันตรายเพื่อประสิทธิผลที่ได้จากการขึ้นรูป	ตรวจสอบความอันตรายของสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้วว่ามีสารอันตรายปนเปื้อนหรือไม่
สารสกัด	Acetic acid	Sodium citrate
ปริมาณสารสกัด : ตัวอย่าง	20 : 1	10 : 1
เวลาในการสกัด	18 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การวิเคราะห์อินทรียวัตถุของดิน (Walkley Black modified acid-dichromate digestion, $FeSO_4$)

1. ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร (ปริมาณตัวอย่างอาจลดลงได้ตามความเหมาะสม ถ้าดินนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ซึ่งสังเกตุได้จากสีของดินถ้าเป็นดินสีดำหรือสีน้ำตาลเข้มต้องชั่งดินให้ลดลง ถ้าเป็นดินทรายต้องเพิ่มปริมาณดินให้มากขึ้น)

2. เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็นถ้าอุณหภูมิห้อง

4. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

5. หยดอินดิเคเตอร์ออร์โธฟีแนนโทรลีน 5 หยด

6. นำไปไทเทรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 N ที่จุดยุติ สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

7. ทำ blank โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6

หมายเหตุ

1. ในการทดลองใช้ปริมาณตะกอนดิน 0.13 กรัม
2. อินดิเคเตอร์ในการทดลองเปลี่ยนจากอินดิเคเตอร์ออร์โธฟีแนนโทรลีนเป็นอินดิเคเตอร์ BDS เพื่อมองเห็นสีของจุดยุติได้ง่ายขึ้น โดยสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากน้ำตาลแดงเป็นสีเขียว

คำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเป็นร้อยละโดยใช้สูตร

$$OM(\%) = \frac{(B-T)\times N}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{1000} \times \frac{100}{W} \times 10 \qquad \text{(ก-2)}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต (N)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์ (mL)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

W = น้ำหนักดิน (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 การแปรผลระดับอินทรียวัตถุ

ระดับ	พิสัย (ร้อยละ)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 - 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 - 1.5
ปานกลาง	1.5 - 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 - 3.5
สูง	3.5 - 4.5
สูงมาก	> 4.5

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์

ตารางที่ ข-1 ความชื้นของกากตะกอน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	เฉลี่ย	SD
กากตะกอนก่อนตากแห้ง	1	5.4	0.78	85.56	87.39	3.13
	2	5.45	0.49	91.01		
	3	5.56	0.8	85.61		
กากตะกอนหลังตากแห้ง	1	66.22	64.23	3.01	2.95	0.50
	2	52.38	50.59	3.42		
	3	80.74	78.79	2.42		

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

หาความชื้นของกากตะกอน (%) ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$M(\%) = \left(\frac{W-D}{D}\right) \times 100 \qquad \text{(ข-1)}$$

โดยที่ W = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

D = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

M = ความชื้นของกากตะกอน (%)

$$M(\%) = \left(\frac{66.22-64.23}{64.23}\right) \times 100$$

$$M(\%) = 3.01$$

หมายเหตุ ตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนหลังการตากแห้ง

ครั้งที่	pH	pH เฉลี่ย	SD	ครั้งที่	conductivity (µs/cm)	Conductivity (µs/cm) เฉลี่ย	SD
1	7.07	7.04	0.04	1	320	320	2.00
2	7			2	322		
3	7.06			3	318		

ตารางที่ ข-3 องค์ประกอบในกากตะกอนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF)

สารประกอบ	Kcps	%	ppm	สารประกอบ	Kcps	%	ppm
Al_2CO_3	280.6	32.1	–	ZnO	18.9	–	274
SiO_2	35.3	5.04	–	Br	39.9	–	273
SO_3	26.9	1.57	–	K_2O	0.9	–	252
CaO	20	0.586	–	As_2O_3	19	–	175
Fe_2O_3	109.2	0.511	–	TiO_2	0.4	–	101
Cl	8.3	0.317	–	SrO	21.6	–	94.6
P_2O_5	3	0.311	–	CuO	1.9	–	35.7
MnO	19	0.114	–	Ga_2O_3	2.1	–	26.6
Na_2O	0.2	–	697	NiO	0.7	–	16.2
MgO	0.6	–	659	Rb_2O	2.7	–	0
BaO	1	–	534	ZrO_2	5.2	–	0

หมายเหตุ Kcps = Kilocounts per second

ตารางที่ ข-4 อินทรียวัตถุในกากตะกอน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักกากตะกอน (g)	ปริมาตร FAS (mL)	อินทรียวัตถุ (%)	ค่าเฉลี่ย	SD
กากตะกอน	1	0.1332	14.5	7.87	7.49	0.39
	2	0.1315	14.8	7.08		
	3	0.1376	14.6	7.33		
	4	0.1321	14.5	7.93		
	5	0.1343	14.7	7.22		
แบลงค์		–	17.18	–		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

หาปริมาณอินทรียวัตถุ (%) ของกากตะกอนแห้ง ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$\mathrm{OM}(\%) = \frac{(\mathrm{B}-\mathrm{T})\times\mathrm{N}}{\mathrm{B}} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{1000} \times \frac{100}{\mathrm{W}} \times 10 \qquad \text{(ข-2)}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต (N)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์ (mL)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

W = น้ำหนักดิน (g)

$$\mathrm{OM}(\%) = \frac{(17.18 - 14.5) \times 1}{17.18} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{1000} \times \frac{100}{0.1332} \times 10$$

$$\mathrm{OM}(\%) = 7.87$$

หมายเหตุ ตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
A (Control)	1	845.03	82.70	60.01	6839.29	410425.79	0.002058911
	2	848.37	82.60	60.34	6822.76	411685.34	0.002060724
	3	851.97	82.54	60.21	6812.85	410201.79	0.002076953
	4	854.19	83.20	60.04	6922.24	415611.29	0.002055262
	5	834.64	83.00	60.11	6889.00	414097.79	0.002015563
	6	856.20	82.80	60.02	6855.84	411487.52	0.002080744
	7	845.74	82.60	60.08	6822.76	409911.42	0.002063226
	8	849.92	82.78	60.03	6852.53	411357.28	0.002066136
	9	871.20	83.44	60.10	6962.23	418430.24	0.002082067
	10	856.33	82.68	60.24	6835.98	411799.58	0.002079482
	ค่าเฉลี่ย	851.36	82.83	60.12	6861.55	412500.80	0.002063907
	SD	9.01	0.28	0.10	46.06	2591.73	0.000018651
B	1	809.38	83.00	60.17	6889	414511.13	0.001952613
	2	798.27	82.50	60.11	6806.25	409123.69	0.00195117
	3	790.81	83.00	60.02	6889	413477.78	0.001912582
	4	805.38	82.60	60.13	6822.76	410252.56	0.001963132
	5	798.66	82.70	60.36	6839.29	412819.54	0.001934647
	6	815.37	82.10	60.18	6740.41	405637.87	0.002010093
	7	795.28	82.90	60.15	6872.41	413375.46	0.001923868
	8	810.37	82.80	60.34	6855.84	413681.39	0.001958923
	9	810.69	83.04	60.16	6895.6416	414841.80	0.001954215
	10	823.52	83.02	60.22	6892.3204	415055.53	0.00198412
	ค่าเฉลี่ย	805.77	82.77	60.18	6850.29	412277.68	0.00195454
	SD	9.52	0.29	0.10	47.15	2869.23	0.00002677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
C	1	756.11	83.74	60.12	7012.3876	421584.74	0.001793495
	2	755.82	83.76	60.10	7015.7376	421645.83	0.001792547
	3	728.43	82.88	60.23	6869.0944	413725.56	0.00176066
	4	743.9	83.00	60.26	6889	415131.14	0.001791964
	5	747.03	83.30	60.12	6938.89	417166.07	0.001790726
	6	774.62	83.00	60.00	6889	413340.00	0.00187405
	7	768.79	82.70	60.08	6839.29	410904.54	0.00187097
	8	773.58	83.30	60.04	6938.89	416610.96	0.00185684
	9	780.93	83.00	60.16	6889	414442.24	0.001884292
	10	758.47	83.30	60.27	6938.89	418206.90	0.001813624
	ค่าเฉลี่ย	758.77	83.20	60.14	6922.02	416275.80	0.001822917
	SD	15.35	0.33	0.09	55.43	3321.17	0.00004194
D	1	722.67	82.78	60.01	6852.5284	411220.23	0.001757379
	2	719.87	83.10	60.34	6905.61	416684.51	0.001727614
	3	729.48	83.34	60.21	6945.5556	418191.90	0.001744367
	4	729.78	83.10	60.04	6905.61	414612.82	0.001760148
	5	710.16	82.96	60.11	6882.3616	413698.76	0.001716611
	6	765.71	82.80	60.02	6855.84	411487.52	0.001860834
	7	779.25	83.80	60.08	7022.44	421908.20	0.001846966
	8	766.68	83.40	60.03	6955.56	417542.27	0.001836173
	9	761.03	83.40	60.10	6955.56	418029.16	0.001820519
	10	753.54	83.30	60.24	6938.89	417998.73	0.001802733
	ค่าเฉลี่ย	743.82	83.20	60.12	6922.00	416137.41	0.001787334
	SD	22.81	0.30	0.10	49.49	3176.64	0.000049732

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
E	1	685.33	83.50	60.01	6972.25	418404.72	0.00163796
	2	689.55	83.54	60.34	6978.9316	421108.73	0.001637463
	3	684.76	82.94	60.21	6879.0436	414187.22	0.001653262
	4	683.56	83.30	60.04	6938.89	416610.96	0.001640763
	5	693.98	83.82	60.11	7025.7924	422320.38	0.001643255
	6	744.16	84.00	60.02	7056	423501.12	0.001757162
	7	731.7	84.00	60.08	7056	423924.48	0.001726015
	8	728.93	83.60	60.03	6988.96	419547.27	0.00173742
	9	714.05	83.50	60.10	6972.25	419032.23	0.001704046
	10	716.05	83.30	60.24	6938.89	417998.73	0.001713043
	ค่าเฉลี่ย	707.21	83.55	60.12	6980.70	419663.58	0.001685039
	SD	21.43	0.31	0.10	52.36	2934.39	0.000044683

ตารางที่ ข-6 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
A (Control)	1	857.94	83.02	60.12	6892.3204	414366.3024	0.002070487
	2	852.28	82.56	60.17	6816.1536	410127.9621	0.002078083
	3	835.65	83.00	60.23	6889	414924.47	0.002013981
	4	858.34	82.70	60.16	6839.29	411451.6864	0.002086126
	5	844.84	82.76	60.21	6849.2176	412391.3917	0.002048636
	6	861.75	82.80	60.09	6855.84	411967.4256	0.002091792
	7	844.23	83.06	60.08	6898.9636	414489.7331	0.002036794
	8	846.9	82.70	60.24	6839.29	411998.8296	0.002055588
	9	855.84	83.00	60.16	6889	414442.24	0.00206504
	10	861.7	83.02	60.29	6892.3204	415537.9969	0.002073697
	ค่าเฉลี่ย	851.95	82.86	60.18	6866.14	413169.80	0.002062022
	SD	8.27	0.17	0.06	27.98	1706.10	0.000022599

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
B	1	791.25	82.90	60.05	6872.41	412688.22	0.001917307
	2	779.96	83.00	60.31	6889.00	415475.59	0.00187727
	3	802.71	82.96	60.27	6882.36	414799.93	0.001935174
	4	797.4	82.70	60.04	6839.29	410630.97	0.00194189
	5	776.5	83.14	60.15	6912.26	415772.41	0.001867608
	6	807.41	82.70	60.02	6839.29	410494.19	0.001966922
	7	802.77	83.14	60.20	6912.26	416118.03	0.001929188
	8	805.82	83.28	60.17	6935.56	417312.55	0.001930975
	9	809.24	82.80	60.19	6855.84	412653.01	0.001961067
	10	793.92	83.00	60.25	6889.00	415062.25	0.001912773
	ค่าเฉลี่ย	796.70	82.96	60.17	6882.73	414100.72	0.001924017
	SD	10.74	0.18	0.10	30.36	2227.58	0.000030449
C	1	707.05	82.70	60.17	6839.29	411520.08	0.001718142
	2	708.95	82.60	60.32	6822.76	411548.88	0.001722639
	3	714.68	82.54	60.12	6812.85	409588.64	0.001744873
	4	719.09	83.20	60.24	6922.24	416995.74	0.001724454
	5	720.45	83.00	60.06	6889.00	413753.34	0.001741255
	6	673.1	82.80	60.18	6855.84	412584.45	0.001631424
	7	706.96	82.60	60.25	6822.76	411071.29	0.001719799
	8	673.68	82.90	60.11	6872.41	413100.57	0.001630789
	9	692.71	82.90	60.16	6872.41	413444.19	0.001675462
	10	723.73	83.30	60.20	6938.89	417721.18	0.001732567
	ค่าเฉลี่ย	704.04	82.85	60.18	6864.85	413132.83	0.001704140
	SD	17.45	0.24	0.07	40.56	2422.39	0.000040659

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
D	1	725.37	82.78	60.07	6852.53	411631.38	0.001762183
	2	732.57	83.44	60.14	6962.23	418708.73	0.001749593
	3	717.98	82.68	60.21	6835.98	411594.50	0.001744387
	4	691.5	83.00	60.13	6889.00	414235.57	0.00166934
	5	718.41	82.50	60.11	6806.25	409123.69	0.001755973
	6	729.9	82.70	60.18	6839.29	411588.47	0.001773373
	7	694.16	82.10	60.00	6740.41	404424.60	0.001716414
	8	714.81	82.08	60.03	6737.13	404429.70	0.001767452
	9	719.79	82.00	60.15	6724.00	404448.60	0.001779682
	10	713.66	82.88	60.22	6869.09	413656.86	0.001725246
	ค่าเฉลี่ย	715.82	82.62	60.12	6825.59	410384.21	0.001744364
	SD	12.90	0.43	0.07	71.68	4550.88	0.000031428
E	1	598.67	82.78	60.10	6852.53	411836.96	0.001453658
	2	638	83.10	60.21	6905.61	415786.78	0.00153444
	3	632.54	83.34	60.27	6945.56	418608.64	0.001511053
	4	625.65	83.10	60.12	6905.61	415165.27	0.00150699
	5	617.23	82.96	60.15	6882.36	413974.05	0.001490987
	6	722.45	82.70	60.04	6839.29	410630.97	0.001759366
	7	702.41	82.60	60.26	6822.76	411139.52	0.001708447
	8	621.28	81.90	60.17	6707.61	403596.89	0.001539358
	9	633.02	82.06	60.28	6733.84	405916.09	0.001559485
	10	707.76	82.00	60.23	6724.00	404986.52	0.001747614
	ค่าเฉลี่ย	649.90	82.65	60.18	6831.92	411164.17	0.001581140
	SD	41.47	0.48	0.08	79.75	4737.08	0.000107177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
A (Control)	1	821.07	82.90	60.19	6872.41	413650.36	0.001984937
	2	823.24	82.60	60.41	6822.76	412162.93	0.001997365
	3	825.8	82.80	60.23	6855.84	412927.24	0.001999868
	4	834.38	82.90	60.12	6872.41	413169.29	0.002019463
	5	831.3	82.70	60.25	6839.29	412067.22	0.002017389
	6	842.58	82.70	60.08	6839.29	410904.54	0.002050549
	7	848.49	82.76	60.25	6849.22	412665.36	0.002056121
	8	843.68	82.80	60.16	6855.84	412447.33	0.002045546
	9	833.63	83.06	60.13	6898.96	414834.68	0.002009548
	10	834.95	82.70	60.25	6839.29	412067.22	0.002026247
	ค่าเฉลี่ย	833.91	82.79	60.21	6854.53	412689.62	0.002020703
	SD	8.58	0.13	0.09	20.86	1005.43	0.000022777
B	1	781.45	82.90	60.00	6872.41	412344.60	0.001895138
	2	786.26	82.70	60.15	6839.29	411383.29	0.001911259
	3	781.65	83.00	60.24	6889.00	414993.36	0.001883524
	4	786.24	82.70	60.17	6839.29	411520.08	0.001910575
	5	786.89	83.00	60.03	6889.00	413546.67	0.001902784
	6	782.84	82.90	60.03	6872.41	412550.77	0.00189756
	7	783.65	82.90	60.22	6872.41	413856.53	0.001893531
	8	785.11	83.30	60.24	6938.89	417998.73	0.001878259
	9	762.35	82.78	60.16	6852.53	412248.11	0.00184925
	10	765.92	83.44	60.02	6962.23	417873.26	0.0018329
	ค่าเฉลี่ย	780.24	82.96	60.13	6882.75	413831.54	0.00188548
	SD	8.29	0.23	0.09	38.16	2298.43	0.00002456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
C	1	729.12	83.10	60.23	6905.61	415924.89	0.001753009
	2	743.6	82.90	60.27	6872.41	414200.15	0.001795267
	3	741.05	82.70	60.10	6839.29	411041.33	0.00180286
	4	757.65	83.00	60.11	6889.00	414097.79	0.00182964
	5	751.6	82.70	60.02	6839.29	410494.19	0.001830964
	6	763.4	83.00	60.24	6889.00	414993.36	0.001839548
	7	761.17	82.70	60.18	6839.29	411588.47	0.001849347
	8	741.53	82.60	60.13	6822.76	410252.56	0.00180750
	9	743.58	81.90	60.06	6707.61	402859.06	0.001845757
	10	734.11	82.06	60.13	6733.84	404906.02	0.001813038
	ค่าเฉลี่ย	746.68	82.67	61.05	6833.81	417176.26	0.001793161
	SD	10.85	0.38	2.70	62.34	4276.55	0.000078596
D	1	702.67	82.00	60.18	6724	404650.32	0.001736487
	2	700.62	83.30	60.31	6938.89	418484.46	0.001674184
	3	712.03	83.50	60.21	6972.25	419799.17	0.001696121
	4	698.97	82.90	60.19	6872.41	413650.36	0.00168976
	5	715.37	83.00	60.11	6889.00	414097.79	0.001727539
	6	711.14	82.70	60.21	6839.29	411793.65	0.001726933
	7	702.53	82.10	60.02	6740.41	404559.41	0.001736531
	8	715.2	82.90	60.06	6872.41	412756.94	0.001732739
	9	695.27	82.80	60.14	6855.84	412310.22	0.001686279
	10	691.87	83.04	60.14	6895.64	414703.89	0.001668347
	ค่าเฉลี่ย	704.57	82.82	60.16	6860.01	412680.62	0.001707492
	SD	7.94	0.45	0.08	73.82	4719.85	0.000025762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	พื้นที่ (mm^2)	ปริมาตร (mm^3)	ความหนาแน่น (g/mm^3)
E	1	660.46	82.70	60.24	6839.29	411998.83	0.001603063
	2	653.8	82.60	60.21	6822.76	410798.38	0.001591535
	3	662.83	82.54	60.09	6812.85	409384.25	0.00161909
	4	656.47	83.20	60.03	6922.24	415542.07	0.001579792
	5	658.86	83.10	60.14	6905.61	415303.39	0.001586455
	6	675.23	83.60	60.18	6988.96	420595.61	0.001605414
	7	673.61	83.40	60.23	6955.56	418933.38	0.001607917
	8	672.62	83.30	60.17	6938.89	417513.01	0.001611016
	9	670.32	83.10	60.22	6905.61	415855.83	0.001611905
	10	676.12	82.86	60.12	6865.78	412770.67	0.001638004
	ค่าเฉลี่ย	666.03	83.04	60.16	6895.76	414869.54	0.001605419
	SD	8.00	0.34	0.06	55.95	3423.64	0.000015947

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ความชื้นของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
A (*Control*)	1	856.2	822.23	3.97	4.02	0.21
	2	845.74	808.86	4.36		
	3	849.92	817.35	3.83		
	4	871.2	837.35	3.89		
	5	856.33	821.73	4.04		
B	1	815.37	768.13	5.79	5.82	0.09
	2	795.28	748.82	5.84		
	3	810.37	764.02	5.72		
	4	810.69	762.47	5.95		
	5	823.52	775.9	5.78		
C	1	774.62	708.63	8.52	7.96	0.63
	2	768.79	702.68	8.60		
	3	773.58	711.53	8.02		
	4	780.93	722.15	7.53		
	5	758.47	704.4	7.13		
D	1	765.71	679.76	11.22	10.24	0.79
	2	779.25	695.66	10.73		
	3	766.68	687.45	10.33		
	4	761.03	690.72	9.24		
	5	753.54	680.49	9.69		
E	1	744.16	648.92	12.80	11.56	0.85
	2	731.7	645.44	11.79		
	3	728.93	643.71	11.69		
	4	714.05	636.98	10.79		
	5	716.05	639.35	10.71		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ความชื้นของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
A (Control)	1	861.75	826.58	4.08	4.18	0.11
	2	844.23	809.28	4.14		
	3	846.9	812.4	4.07		
	4	855.84	819.16	4.29		
	5	861.7	824.65	4.30		
B	1	807.41	760.11	5.86	6.09	0.25
	2	802.77	750.81	6.47		
	3	805.82	755.96	6.19		
	4	809.24	760.18	6.06		
	5	793.92	747.27	5.88		
C	1	673.1	639.32	5.02	6.24	1.80
	2	706.96	667.58	5.57		
	3	673.68	617.87	8.28		
	4	692.71	637.07	8.03		
	5	723.73	692.49	4.32		
D	1	729.9	684.08	6.28	6.29	0.18
	2	694.16	651.22	6.19		
	3	714.81	670.46	6.20		
	4	719.79	672.19	6.61		
	5	713.66	669.52	6.19		
E	1	722.45	666.95	7.68	7.57	1.11
	2	702.41	660.2	6.01		
	3	621.28	572.49	7.85		
	4	633.02	575.48	9.09		
	5	707.76	656.54	7.24		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 ความชื้นของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
A (Control)	1	842.58	813.1	3.50	3.46	0.07
	2	848.49	818.84	3.49		
	3	843.68	815.38	3.35		
	4	833.63	804.11	3.54		
	5	834.95	806.33	3.43		
B	1	782.84	752.23	3.91	3.74	0.11
	2	783.65	754.05	3.78		
	3	785.11	756.23	3.68		
	4	762.35	733.79	3.75		
	5	765.92	738.26	3.61		
C	1	763.4	733.69	3.89	3.89	0.29
	2	761.17	729.39	4.18		
	3	741.53	714.14	3.69		
	4	743.58	712.63	4.16		
	5	734.11	708.22	3.53		
D	1	711.14	683.64	3.87	3.93	0.30
	2	702.53	671.97	4.35		
	3	715.2	689.87	3.54		
	4	695.27	668.57	3.84		
	5	691.87	663.94	4.04		
E	1	675.23	640.61	5.13	4.09	1.28
	2	673.61	656.53	2.54		
	3	672.62	639.97	4.85		
	4	670.32	636.37	5.06		
	5	676.12	656.87	2.85		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำ	ค่าเฉลี่ย	SD
A (Control)	1	822.23	864.37	5.13	5.17	0.10
	2	808.86	852.14	5.35		
	3	817.35	859.16	5.12		
	4	837.35	880.02	5.10		
	5	821.73	864.24	5.17		
B	1	768.13	822.95	7.14	7.37	0.22
	2	748.82	803.4	7.29		
	3	764.02	823.01	7.72		
	4	762.47	818.45	7.34		
	5	775.9	832.83	7.34		
C	1	708.63	798.52	12.69	12.69	0.37
	2	702.68	793.88	12.98		
	3	711.53	802.95	12.85		
	4	722.15	809.27	12.06		
	5	704.4	795.2	12.89		
D	1	679.76	783.84	15.31	15.43	0.22
	2	695.66	805.11	15.73		
	3	687.45	794.52	15.57		
	4	690.72	797.03	15.39		
	5	680.49	783.66	15.16		
E	1	648.92	768.42	18.42	18.55	0.66
	2	645.44	764.64	18.47		
	3	643.71	769.31	19.51		
	4	636.98	749.55	17.67		
	5	639.35	758.86	18.69		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-12 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
A (Control)	1	826.58	871.57	5.44	5.56	0.19
	2	809.28	853.94	5.52		
	3	812.4	860.33	5.90		
	4	819.16	864	5.47		
	5	824.65	869.68	5.46		
B	1	760.11	816.94	7.48	7.40	0.26
	2	750.81	808.02	7.62		
	3	755.96	811.66	7.37		
	4	760.18	813.2	6.97		
	5	747.27	803.75	7.56		
C	1	639.32	743.18	16.25	15.95	2.72
	2	667.58	767.56	14.98		
	3	617.87	719.61	16.47		
	4	637.07	763.13	19.79		
	5	692.49	777.51	12.28		
D	1	684.08	812.72	18.80	20.53	1.58
	2	651.22	801.49	23.08		
	3	670.46	808.32	20.56		
	4	672.19	809.26	20.39		
	5	669.52	802.13	19.81		
E	1	666.95	830.21	24.48	25.24	0.48
	2	660.2	826.15	25.14		
	3	572.49	717.59	25.35		
	4	575.48	723.49	25.72		
	5	656.54	824.2	25.54		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
A (Control)	1	813.1	858.96	5.64	5.64	0.12
	2	818.84	864.98	5.63		
	3	815.38	859.96	5.47		
	4	804.11	850.74	5.80		
	5	806.33	852.03	5.67		
B	1	752.23	797.72	6.05	7.46	1.06
	2	754.05	812.26	7.72		
	3	756.23	807.54	6.78		
	4	733.79	798.27	8.79		
	5	738.26	796.89	7.94		
C	1	733.69	863.88	17.74	17.69	0.76
	2	729.39	851.04	16.68		
	3	714.14	841	17.76		
	4	712.63	846.65	18.81		
	5	708.22	831.9	17.46		
D	1	683.64	819.18	19.83	21.05	1.04
	2	671.97	816.89	21.57		
	3	689.87	828.21	20.05		
	4	668.57	813.02	21.61		
	5	663.94	811.18	22.18		
E	1	640.61	819.51	27.93	26.93	0.95
	2	656.53	826.74	25.93		
	3	639.97	815.22	27.38		
	4	636.37	811.4	27.50		
	5	656.87	827.03	25.90		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-14 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	อายุบ่ม	น้ำหนัก(g)	แรงอัด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	ค่าต้านทานแรงอัด(Mpa)	ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (Mpa)	SD
A (Control)	1	7	845.03	148500	4028.68	37.97	37.80	1.82
	2	7	848.37	144150	4028.68	36.85		
	3	7	851.97	143880	4028.68	36.79		
	4	7	854.19	142800	4028.68	36.51		
	5	7	834.64	159980	4028.68	40.90		
B	1	7	809.38	40010	4028.68	10.23	9.42	0.74
	2	7	798.27	34370	4028.68	8.79		
	3	7	790.81	37240	4028.68	9.52		
	4	7	805.38	39190	4028.68	10.02		
	5	7	798.66	33400	4028.68	8.54		
C	1	7	756.11	6490	4028.68	1.66	1.48	0.12
	2	7	755.82	5690	4028.68	1.45		
	3	7	728.43	5670	4028.68	1.45		
	4	7	743.9	5970	4028.68	1.53		
	5	7	747.03	5220	4028.68	1.33		

ตารางที่ ข-14 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	อายุบ่ม	น้ำหนัก (g)	แรงอัด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	ค่าต้านทานแรงอัด (Mpa)	ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (Mpa)	SD
D	1	7	722.67	5320	4028.68	1.36	1.19	0.34
	2	7	719.87	6150	4028.68	1.57		
	3	7	729.48	3920	4028.68	1.00		
	4	7	729.78	2770	4028.68	0.71		
	5	7	710.16	5180	4028.68	1.32		
E	1	7	685.33	1650	4028.68	0.42	0.60	0.16
	2	7	689.55	2210	4028.68	0.57		
	3	7	684.76	1860	4028.68	0.48		
	4	7	683.56	3100	4028.68	0.79		
	5	7	693.98	2860	4028.68	0.73		

ตารางที่ ข-15 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	อายุบ่ม	น้ำหนัก (g)	แรงอัด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	ค่าต้านทานแรงอัด (Mpa)	ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (Mpa)	SD
A (Control)	1	14	857.94	145940	4028.68	37.31	38.05	2.46
	2	14	852.28	153280	4028.68	39.19		
	3	14	835.65	137470	4028.68	35.15		
	4	14	858.34	162750	4028.68	41.61		
	5	14	844.84	144600	4028.68	36.97		
B	1	14	791.25	42550	4028.68	10.88	11.55	0.50
	2	14	779.96	46360	4028.68	11.85		
	3	14	802.71	47290	4028.68	12.09		
	4	14	797.4	43800	4028.68	11.20		
	5	14	776.5	45890	4028.68	11.73		
C	1	14	707.05	17340	4028.68	4.43	4.26	0.28
	2	14	708.95	16590	4028.68	4.24		
	3	14	714.68	18110	4028.68	4.63		
	4	14	719.09	15290	4028.68	3.91		
	5	14	720.45	15960	4028.68	4.08		

ตารางที่ ข-15 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	อายุบ่ม	น้ำหนัก (g)	แรงอัด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	ค่าต้านทานแรงอัด (Mpa)	ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (Mpa)	SD
D	1	14	725.37	9470	4028.68	2.42	2.62	0.39
	2	14	732.57	9150	4028.68	2.34		
	3	14	717.98	12600	4028.68	3.22		
	4	14	691.5	11000	4028.68	2.81		
	5	14	718.41	8980	4028.68	2.30		
E	1	14	598.67	4100	4028.68	1.05	1.16	0.11
	2	14	638	5000	4028.68	1.28		
	3	14	632.54	4260	4028.68	1.09		
	4	14	625.65	4230	4028.68	1.08		
	5	14	617.23	5020	4028.68	1.28		

ตารางที่ ข-16 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	อายุบ่ม	น้ำหนัก (g)	แรงอัด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	ค่าต้านทานแรงอัด (Mpa)	ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (Mpa)	SD
A (Control)	1	28	821.07	158700	4028.68	40.57	40.85	0.18
	2	28	823.24	160520	4028.68	41.04		
	3	28	825.8	160250	4028.68	40.97		
	4	28	834.38	159870	4028.68	40.87		
	5	28	831.3	159600	4028.68	40.80		
B	1	28	781.45	48320	4028.68	12.35	13.35	1.35
	2	28	786.26	47100	4028.68	12.04		
	3	28	781.65	56590	4028.68	14.47		
	4	28	786.24	50000	4028.68	12.78		
	5	28	786.89	59000	4028.68	15.08		
C	1	28	729.12	21052	4028.68	5.38	5.40	0.18
	2	28	743.6	20860	4028.68	5.33		
	3	28	741.05	20150	4028.68	5.15		
	4	28	757.65	22010	4028.68	5.63		
	5	28	751.6	21480	4028.68	5.49		

ตารางที่ ข-16 ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	อายุบ่ม	น้ำหนัก (g)	แรงอัด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	ค่าต้านทานแรงอัด (Mpa)	ค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (Mpa)	SD
D	1	28	702.67	10059	4028.68	2.57	2.96	0.31
	2	28	700.62	11620	4028.68	2.97		
	3	28	712.03	13025	4028.68	3.33		
	4	28	698.97	12450	4028.68	3.18		
	5	28	715.37	10804	4028.68	2.76		
E	1	28	660.46	7015	4028.68	1.79	1.81	0.03
	2	28	653.8	7123	4028.68	1.82		
	3	28	662.83	7065	4028.68	1.81		
	4	28	656.47	7294	4028.68	1.86		
	5	28	658.86	6947	4028.68	1.78		

ตัวอย่างการคำนวณ

หาค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก ที่อายุการบ่ม 7 วัน ชุด A (Control) ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$P = \frac{F \times C}{A} \qquad (ข\text{-}3)$$

โดยที่ P = ค่าความต้านทางแรงอัด (MPa)

F = แรงอัดสูงสุดที่คอนกรีตบล็อกได้รับ (N)

C = ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานแรงอัด (ค่าคงที่ คือ 1.03)

A = พื้นที่ผิวหน้าคอนกรีตบล็อก (mm^2)

$$P = \frac{148500\ N \times 1.03}{4028.68\ mm2}$$

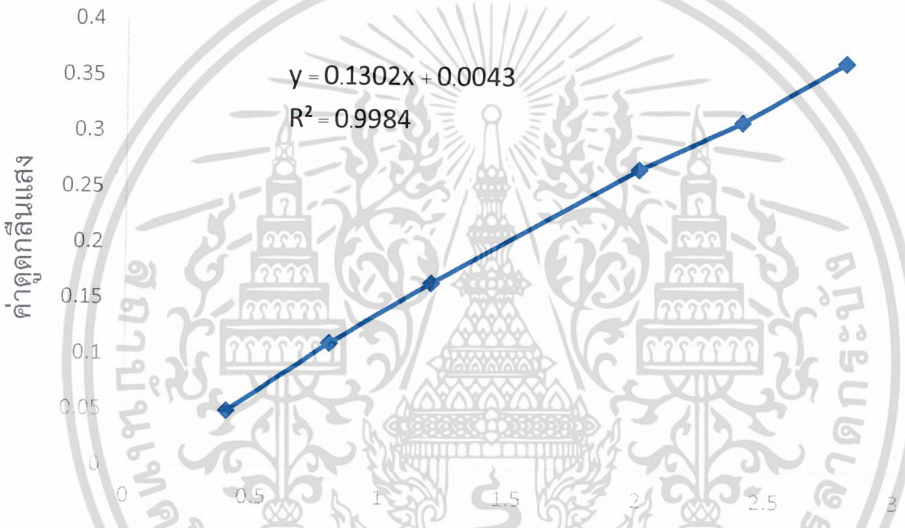
$$P = 37.97\ MPa$$

หมายเหตุ ตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานทองแดง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดง *(mg/L)*	ค่าการดูดกลืนแสง
0.4	0.0497
0.8	0.1112
1.2	0.1656
2	0.2695
2.4	0.3129
2.8	0.3667

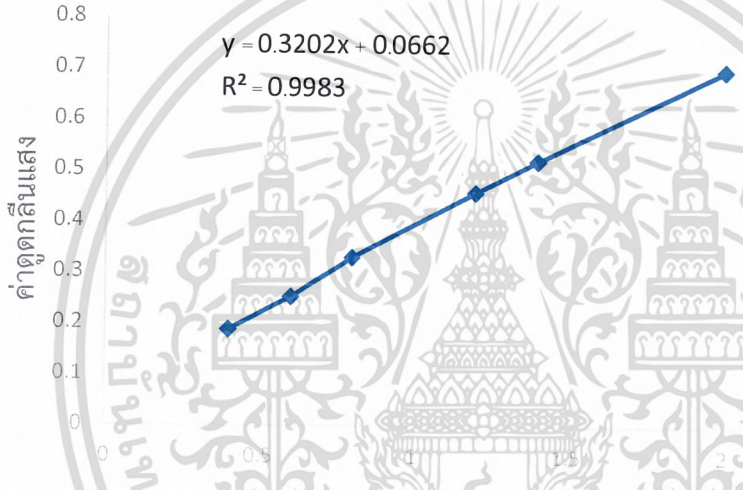


รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานสารละลายทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-18 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.4	0.188
0.6	0.252
0.8	0.33
1.2	0.458
1.4	0.52
2	0.698

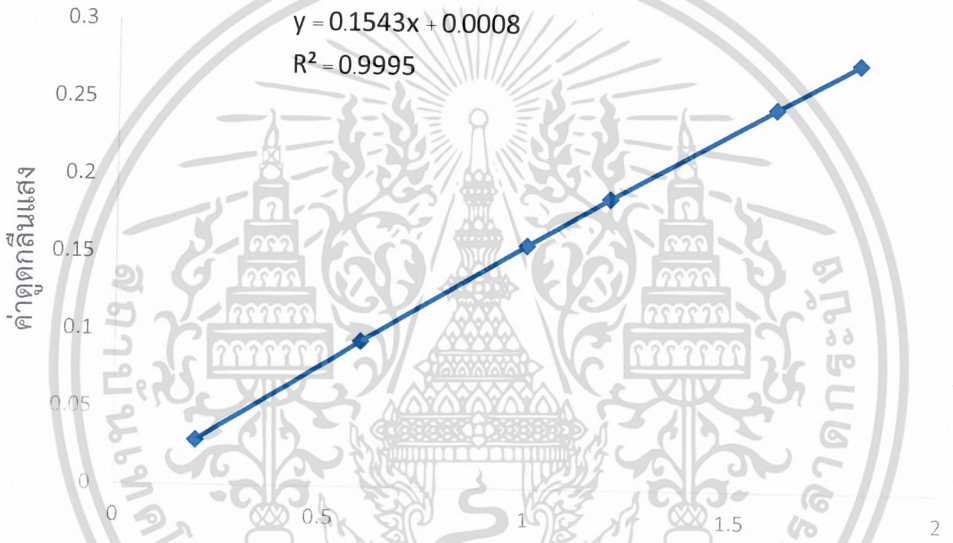


รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานสารละลายสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-19 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.2	0.0292
0.6	0.0941
1	0.1573
1.2	0.1882
1.6	0.2471
1.8	0.2764

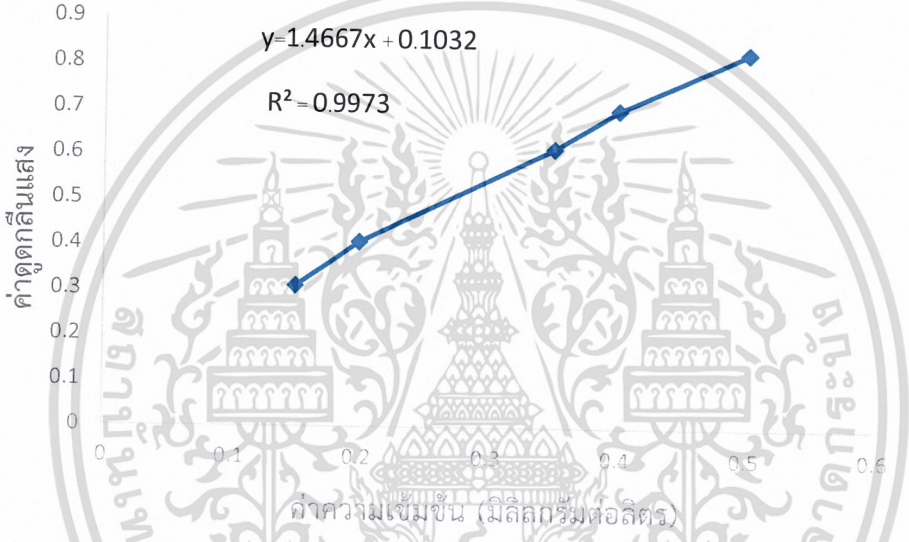


รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานสารละลายแมงกานีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-20 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.15	0.311
0.2	0.408
0.35	0.615
0.4	0.701
0.5	0.828



รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานสารละลายแมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-21 ปริมาณทองแดง (*Cu*) สังกะสี (*Zn*) แมงกานีส (*Mn*) แมกนีเซียม (*Mg*) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.008	0.08	0.08	0.042	0.42	0.41	0.008	0.08	0.08	0.599	5.99	6.00
น้ำบ่ม2	5	0.008	0.08		0.04	0.4		0.008	0.08		0.599	5.99	
น้ำบ่ม3	5	0.008	0.08		0.04	0.4		0.008	0.08		0.601	6.01	
A1	5	0.19	1.9	1.90	0.065	0.65	0.67	0.19	1.9	1.90	0.114	57	57.17
A2	5	0.19	1.9		0.07	0.7		0.19	1.9		0.114	57	
A3	5	0.19	1.9		0.065	0.65		0.19	1.9		0.115	57.5	
B1	5	0.079	0.79	0.79	0.057	0.57	0.56	0.079	0.79	0.79	0.097	48.5	48.17
B2	5	0.078	0.78		0.056	0.56		0.078	0.78		0.096	48	
B3	5	0.08	0.8		0.055	0.55		0.08	0.8		0.096	48	
C1	5	0.168	1.68	1.69	0.321	3.21	3.11	0.168	84	84.33	0.654	327	328.00
C2	5	0.169	1.69		0.315	3.15		0.169	84.5		0.656	328	
C3	5	0.169	1.69		0.297	2.97		0.169	84.5		0.658	329	
D1	5	0.166	1.66	1.65	0.291	2.91	2.95	0.166	83	82.50	0.668	334	325.83
D2	5	0.163	1.63		0.303	3.03		0.163	81.5		0.662	331	
D3	5	0.166	1.66		0.29	2.9		0.166	83		0.625	312.5	

ตารางที่ ข-21 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
E1	5	0.169	1.69	1.68	0.295	2.95	2.91	0.169	84.5	83.83	0.696	348	347.83
E2	5	0.163	1.63		0.291	2.91		0.163	81.5		0.695	347.5	
E3	5	0.171	1.71		0.286	2.86		0.171	85.5		0.696	348	

ตารางที่ ข-22 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.009	0.09	0.09	0.051	0.51	0.50	0.009	0.09	0.09	0.775	7.75	7.60
น้ำบ่ม2	5	0.008	0.08		0.049	0.49		0.008	0.08		0.755	7.55	
น้ำบ่ม3	5	0.009	0.09		0.049	0.49		0.009	0.09		0.749	7.49	
A1	5	0.102	1.02	1.02	0.06	0.6	0.60	0.102	51	50.83	0.165	82.5	82.67
A2	5	0.102	1.02		0.058	0.58		0.102	51		0.166	83	
A3	5	0.101	1.01		0.063	0.63		0.101	50.5		0.165	82.5	

ตารางที่ ข-22 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
B1	5	0.085	0.85	0.86	0.046	0.46	0.44	0.085	42.5	42.83	0.152	76	75.83
B2	5	0.084	0.84		0.042	0.42		0.084	42		0.152	76	
B3	5	0.088	0.88		0.045	0.45		0.088	44		0.151	75.5	
C1	5	0.17	1.7	1.69	0.301	3.01	2.93	0.17	85	84.33	0.712	356	356.50
C2	5	0.168	1.68		0.288	2.88		0.168	84		0.712	356	
C3	5	0.168	1.68		0.291	2.91		0.168	84		0.715	357.5	
D1	5	0.128	1.28	1.28	0.199	1.99	2.00	0.128	64	64.17	0.521	260.5	260.17
D2	5	0.129	1.29		0.202	2.02		0.129	64.5		0.522	261	
D3	5	0.128	1.28		0.2	2		0.128	64		0.518	259	
E1	5	0.09	0.9	0.91	0.068	0.68	0.62	0.09	45	45.33	0.322	161	161.33
E2	5	0.09	0.9		0.064	0.64		0.09	45		0.323	161.5	
E3	5	0.092	0.92		0.055	0.55		0.092	46		0.323	161.5	

ตารางที่ ข-23 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.01	0.1	0.10	0.047	0.47	0.47	0.01	0.1	0.10	0.681	6.81	6.82
น้ำบ่ม2	5	0.01	0.1		0.047	0.47		0.01	0.1		0.684	6.84	
น้ำบ่ม3	5	0.01	0.1		0.046	0.46		0.01	0.1		0.681	6.81	
A1	5	0.094	0.94	0.95	0.022	0.22	0.19	0.094	47	47.67	0.172	86	86.67
A2	5	0.096	0.96		0.016	0.16		0.096	48		0.174	87	
A3	5	0.096	0.96		0.018	0.18		0.096	48		0.174	87	
B1	5	0.144	1.44	1.40	0.155	1.55	1.49	0.144	72	71.17	0.567	283.5	283.50
B2	5	0.141	1.41		0.147	1.47		0.141	70.5		0.567	283.5	
B3	5	0.142	1.42		0.146	1.46		0.142	71		0.567	283.5	
C1	5	0.161	1.61	1.60	0.134	1.34	1.31	0.161	80.5	80.00	0.481	240.5	242.17
C2	5	0.157	1.57		0.129	1.29		0.157	78.5		0.484	242	
C3	5	0.162	1.62		0.13	1.3		0.162	81		0.488	244	
D1	5	0.184	1.84	1.84	0.193	1.93	1.97	0.184	92	91.83	0.789	394.5	395.67
D2	5	0.186	1.86		0.201	2.01		0.186	93		0.79	395	
D3	5	0.181	1.81		0.198	1.98		0.181	90.5		0.795	397.5	

ตารางที่ ข-23 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี WET ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
E1	5	0.162	1.62	1.63	0.071	0.71	0.68	0.162	81	81.50	0.65	325	326.33
E2	5	0.164	1.64		0.068	0.68		0.164	82		0.654	327	
E3	5	0.163	1.63		0.065	0.65		0.163	81.5		0.654	327	

ตารางที่ ข-24 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.006	0.12	0.10	0.011	0.22	0.27	-0.002	ND	ND	0.279	5.58	5.61
น้ำบ่ม2	5	0.005	0.1		0.015	0.3		0	ND		0.282	5.64	
น้ำบ่ม3	5	0.004	0.08		0.014	0.28		-0.001	ND		0.281	5.62	
A1	5	0.005	0.1	0.09	0.003	0.06	0.13	0.003	0.06	0.04	0.121	2.42	2.39
A2	5	0.004	0.08		0.011	0.22		0.001	0.02		0.118	2.36	
A3	5	0.004	0.08		0.006	0.12		0.002	0.04		0.119	2.38	

ตารางที่ ข-24 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
B1	5	0.01	0.2	0.20	0.001	0.02	0.05	0.002	0.04	0.04	0.214	4.28	4.26
B2	5	0.01	0.2		0.004	0.08		0.003	0.06		0.212	4.24	
B3	5	0.01	0.2		0.003	0.06		0.001	0.02		0.213	4.26	
C1	5	0.007	0.14	0.14	0.001	0.02	0.04	0.002	0.04	0.03	0.35	7	7.11
C2	5	0.007	0.14		0.003	0.06		0.001	0.02		0.359	7.18	
C3	5	0.007	0.14		0.002	0.04		0.002	0.04		0.357	7.14	
D1	5	0.006	0.12	0.12	ND	ND	ND	0.001	0.02	0.02	0.439	8.78	8.75
D2	5	0.006	0.12		ND	ND		0.001	0.02		0.435	8.7	
D3	5	0.006	0.12		ND	ND		0.001	0.02		0.438	8.76	
E1	5	0.006	0.12	0.13	ND	ND	ND	0	0	0.03	0.476	9.52	9.67
E2	5	0.007	0.14		ND	ND		0.003	0.06		0.49	9.8	
E3	5	0.006	0.12		ND	ND		0.001	0.02		0.484	9.68	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ข-25 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.003	0.06	0.06	0.015	0.3	0.31	ND	ND	ND	0.602	12.04	11.89
น้ำบ่ม2	5	0.003	0.06		0.018	0.36		ND	ND		0.599	11.98	
น้ำบ่ม3	5	0.003	0.06		0.014	0.28		ND	ND		0.583	11.66	
A1	5	0.007	0.14	0.14	0.013	0.26	0.27	0.01	0.2	0.21	0.482	482	475.00
A2	5	0.007	0.14		0.014	0.28		0.01	0.2		0.472	472	
A3	5	0.007	0.14		0.013	0.26		0.011	0.22		0.471	471	
B1	5	0.022	0.44	0.45	0.012	0.24	0.29	0.012	0.24	0.23	0.512	512	513.00
B2	5	0.023	0.46		0.015	0.3		0.011	0.22		0.506	506	
B3	5	0.023	0.46		0.016	0.32		0.012	0.24		0.521	521	
C1	5	0.023	0.46	0.45	0.016	0.32	0.31	0.011	0.22	0.20	0.181	181	180.67
C2	5	0.022	0.44		0.015	0.3		0.009	0.18		0.183	183	
C3	5	0.022	0.44		0.015	0.3		0.01	0.2		0.178	178	
D1	5	0.022	0.44	0.46	0.009	0.18	0.23	0.012	0.24	0.21	0.314	314	310.33
D2	5	0.024	0.48		0.01	0.2		0.01	0.2		0.31	310	
D3	5	0.023	0.46		0.015	0.3		0.009	0.18		0.307	307	

ตารางที่ ข-25 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
E1	5	0.024	0.48	0.48	0.013	0.26	0.26	0.011	0.22	0.21	0.367	367	368.33
E2	5	0.024	0.48		0.016	0.32		0.01	0.2		0.372	372	
E3	5	0.024	0.48		0.01	0.2		0.011	0.22		0.366	366	

ตารางที่ ข-26 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.004	0.08	0.07	0.004	0.08	0.15	ND	ND	ND	0.376	7.52	7.48
น้ำบ่ม2	5	0.003	0.06		0.01	0.2		ND	ND		0.368	7.36	
น้ำบ่ม3	5	0.004	0.08		0.009	0.18		ND	ND		0.378	7.56	
A1	5	0.009	0.18	0.17	0.014	0.28	0.27	0.012	0.24	0.25	0.518	518	525.33
A2	5	0.008	0.16		0.014	0.28		0.014	0.28		0.521	521	
A3	5	0.009	0.18		0.013	0.26		0.012	0.24		0.537	537	

ตารางที่ ข-26 ปริมาณทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Cu จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Cu (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Zn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Zn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mn จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mn (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Mg จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Mg (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
B1	5	0.028	0.56	0.55	0.014	0.28	0.33	0.016	0.32	0.31	0.558	558	556.33
B2	5	0.027	0.54		0.018	0.36		0.015	0.3		0.555	555	
B3	5	0.027	0.54		0.017	0.34		0.016	0.32		0.556	556	
C1	5	0.023	0.46	0.46	0.014	0.28	0.34	0.041	0.82	0.82	0.653	653	657.33
C2	5	0.022	0.44		0.016	0.32		0.04	0.8		0.67	670	
C3	5	0.024	0.48		0.021	0.42		0.042	0.84		0.649	649	
D1	5	0.026	0.52	0.52	0.015	0.3	0.35	0.012	0.24	0.24	0.634	634	624.33
D2	5	0.026	0.52		0.017	0.34		0.01	0.2		0.622	622	
D3	5	0.026	0.52		0.02	0.4		0.014	0.28		0.617	617	
E1	5	0.022	0.44	0.45	0.019	0.38	0.36	0.018	0.36	0.38	0.686	686	687.00
E2	5	0.023	0.46		0.019	0.38		0.019	0.38		0.686	686	
E3	5	0.022	0.44		0.016	0.32		0.02	0.4		0.689	689	

ตารางที่ ข-27 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Na จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Na (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Al จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Al (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	As จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ As (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.295	590	582.67	2.096	41.92	41.36	0.03	0.6	0.58
น้ำบ่ม2	5	0.291	582		2.006	40.12		0.028	0.56	
น้ำบ่ม3	5	0.288	576		2.102	42.04		0.029	0.58	
A1	5	0.467	934	944.67	0.84	16.8	17.80	ND	ND	ND
A2	5	0.472	944		0.902	18.04		ND	ND	
A3	5	0.478	956		0.928	18.56		ND	ND	
B1	5	0.483	966	969.33	2.42	48.4	49.20	0.017	0.34	0.40
B2	5	0.482	964		2.45	49		0.028	0.56	
B3	5	0.489	978		2.51	50.2		0.015	0.3	
C1	5	0.671	1342	1356.00	3.875	77.5	74.19	ND	ND	ND
C2	5	0.679	1358		3.332	66.64		ND	ND	
C3	5	0.684	1368		3.921	78.42		ND	ND	
D1	5	0.705	1410	1420.00	4.63	92.6	94.27	ND	ND	ND
D2	5	0.723	1446		4.79	95.8		ND	ND	
D3	5	0.702	1404		4.72	94.4		ND	ND	

ตารางที่ ข-27 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Na จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Na (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Al จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Al (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	As จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ As (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
E1	5	0.704	1408	1420.67	5.93	118.6	118.60	0.019	0.38	0.32
E2	5	0.71	1420		5.91	118.2		0.017	0.34	
E3	5	0.717	1434		5.95	119		0.012	0.24	

ตารางที่ ข-28 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 14 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Na จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Na (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Al จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Al (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	As จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ As (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.283	566	571.33	3.209	64.18	66.38	ND	ND	ND
น้ำบ่ม2	5	0.289	578		3.295	65.9		ND	ND	
น้ำบ่ม3	5	0.285	570		3.453	69.06		ND	ND	
A1	5	0.442	884	890.67	0.001	0.02	0.20	0.009	0.18	0.24
A2	5	0.451	902		0.009	0.18		0.015	0.3	
A3	5	0.443	886		0.02	0.4		0.012	0.24	

ตารางที่ ข-28 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Na จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Na (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Al จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Al (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	As จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ As (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
B1	5	0.404	808	814.00	ND	ND	ND	0.03	0.6	0.56
B2	5	0.407	814		ND	ND		0.025	0.5	
B3	5	0.41	820		ND	ND		0.029	0.58	
C1	5	0.383	766	765.33	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C2	5	0.38	760		ND	ND		ND	ND	
C3	5	0.385	770		ND	ND		ND	ND	
D1	5	0.345	690	676.00	0.002	0.04	0.06	0.01	0.2	0.26
D2	5	0.331	662		0.004	0.08		0.009	0.18	
D3	5	0.338	676		0.003	0.06		0.02	0.4	
E1	5	0.435	870	862.67	0.008	0.16	0.18	0.039	0.78	0.74
E2	5	0.429	858		0.009	0.18		0.038	0.76	
E3	5	0.43	860		0.01	0.2		0.034	0.68	

ตารางที่ ข-29 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Na จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Na (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Al จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Al (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	As จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ As (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
น้ำบ่ม1	5	0.514	1028	1035.33	0.168	3.36	3.38	0.1	2	2.11
น้ำบ่ม2	5	0.511	1022		0.17	3.4		0.112	2.24	
น้ำบ่ม3	5	0.528	1056		0.169	3.38		0.104	2.08	
A1	5	0.498	996	943.33	2.976	59.52	52.83	0.043	0.86	0.82
A2	5	0.458	916		2.845	56.9		0.041	0.82	
A3	5	0.459	918		2.104	42.08		0.039	0.78	
B1	5	0.483	966	970.67	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B2	5	0.485	970		ND	ND		ND	ND	
B3	5	0.488	976		ND	ND		ND	ND	
C1	5	0.434	868	869.33	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C2	5	0.435	870		ND	ND		ND	ND	
C3	5	0.435	870		ND	ND		ND	ND	
D1	5	0.488	976	865.33	0.082	1.64	1.66	0.025	0.5	0.50
D2	5	0.412	824		0.083	1.66		0.023	0.46	
D3	5	0.398	796		0.084	1.68		0.027	0.54	

ตารางที่ ข-29 ปริมาณโซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) ในคอนกรีตบล็อกที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธี TCLP ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	Na จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Na (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	Al จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ Al (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)	As จากกราฟ (mg/L)	ปริมาณ As (mg/Kg)	ค่าเฉลี่ย (mg/Kg)
E1	5	0.592	1184	1172.00	0.006	0.12	0.14	0.201	4.02	4.07
E2	5	0.582	1164		0.009	0.18		0.208	4.16	
E3	5	0.584	1168		0.006	0.12		0.201	4.02	

ภาคผนวก ค
ค่ามาตรฐาน

ตารางที่ ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP

สารอันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)	วิธีการวิเคราะห์
Arsenic	5.0	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
		AAS Method (APHA 3114 B; 2012)
Barium	100.0	AAS Method APHA 3111 B:2012
		AAS Method APHA 3120 B :2012
Cadmium	1.0	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
		AAS Method (APHA 3111 B:2012)
Chromium and/or Chromium (III) compounds	5.0	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
		AAS Method (APHA 3111 B:2012)
Lead	5.0	AAS Method (APHA 3111 B:2012)
		ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
Manganese	10.0	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
		AAS Method (APHA 3114 B; 2012)
Mercury	0.2	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
		AAS Method (APHA 3112 B; 2012)
Selenium	1.0	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
		AAS Method (APHA 3114 B; 2012)
Silver	5.0	ICP Method (APHA 3120 B; 2012)
Nitrate (as nitratenitrogen)	1000.0	UV-Vis Screening Method (APHA 4500-NO3- B :2012)
Sulphide (as H2S)	5.0	Iodometric Method (APHA 4500-S2- F :2012)
1,1-Dichloroethylene	0.7	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP (ต่อ)

สารอันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)	วิธีการวิเคราะห์
1,2-Dichloroethane	0.5	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
1,4-Dichlorobenzene	7.5	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
2,4,5-Trichlorophenol	400	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
2,4,6-Trichlorophenol	2.0	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
2,4-Dinitrotoluene	0.13	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
Benzene	0.5	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
Benzo (a) Pyrene	0.001	USEPA Method 8310: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons
Bromodicholromethane	6.0	USEPA Method 524.2 Measurement of Purgeable organic compounds in water by Capillary Column Gas chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS)
Bromoform	10.0	USEPA Method 524.2 Measurement of Purgeable organic compounds in water by Capillary Column Gas chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS)
Carbon tetrarchloride	0.5	USEPA Method 524.2 Measurement of Purgeable organic compounds in water by Capillary Column Gas chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP (ต่อ)

สารอันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)	วิธีการวิเคราะห์
Chlorobenzene	100	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
Chloroform	6.0	USEPA Method 524.2 Measurement of Purgeable organic compounds in water by Capillary Column Gas chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS)
Cresol (ortho+ meta+ para)	200	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
Dibromochloromethane	10.0	USEPA Method 524.2 Measurement of Purgeable organic compounds in water by Capillary Column Gas chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS)
Hexachlorobenzen	0.13	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Hexachlorobutadiene	0.5	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Hexachloroethane	3	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Methyl ethyl ketone	200	NIOSH Method 2500 by Gas Chromatography
Naphthalene	5.0	USEPA Method 8310: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons
Nitrobenzene	2.0	Gas Chromatography Mass Spectrometry Method (APHA 6410B : 2012)
Pentachlorophenol	2.0	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP (ต่อ)

สารอันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)	วิธีการวิเคราะห์
Tetrachloroethylene	0.7	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
Trichloroethylene	0.5	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
Vinyl Chloride	0.2	USEPA Method 8260 B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)
2,4,5-TP (Silvex)	1.0	USEPA Method 8321B Hebicides by High Pressure Liquid Chromatography (HPLC)
2,4Dichlorophenoxyaceti c acid	1.0	USEPA Method 8321B Hebicides by High Pressure Liquid Chromatography (HPLC)
Alachlor	2.0	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Alpha HCH	0.001	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Atrazine	0.2	Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP (ต่อ)

สารอันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)	วิธีการวิเคราะห์
Butachlor	12.5	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Chlordane	0.03	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Chlorpyriphos	9.0	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Delta HCH	0.004	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Endosulfan (alpha+ beta+ sulphate)	0.04	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Endrin	0.02	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Ethion	0.3	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Heptachlor (& its Epoxide)	0.008	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี TCLP (ต่อ)

สารอันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)	วิธีการวิเคราะห์
Lindane	0.4	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Malathion	19	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Methoxychlor	10	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography
Methyl parathion	0.7	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Monocrotophos	0.1	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Phorate	0.2	USEPA Method 8141B: Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography
Toxaphene	0.5	USEPA Method 8081B Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography

ที่มา: USEPA Test Method 1311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ค่ามาตรฐานของสารอันตรายในการทดสอบด้วยวิธี WET

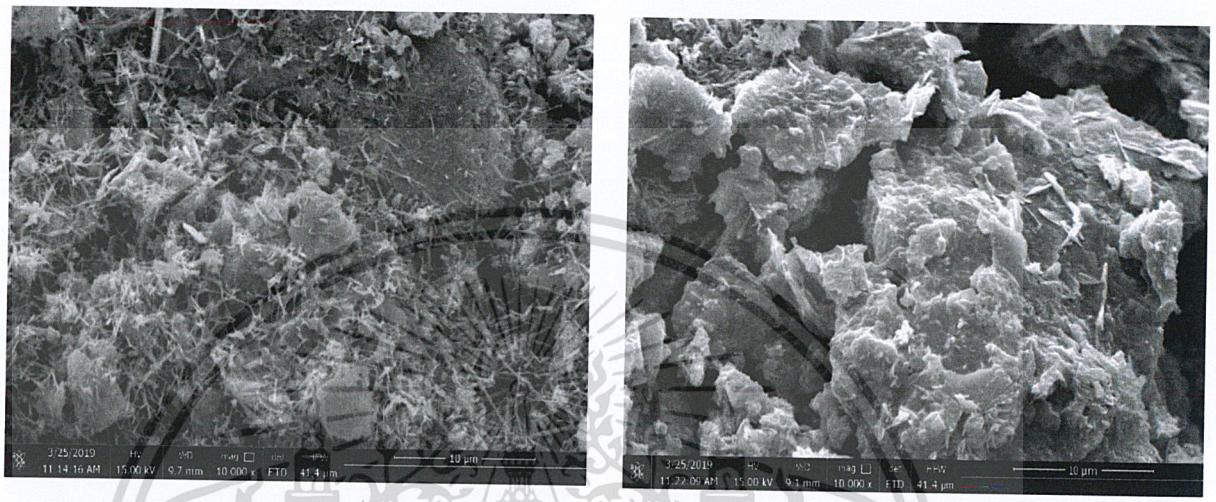
สารอนินทรีย์อันตราย	ค่ามาตรฐาน (mg/L)
สารหนูและ/หรือสารประกอบของสารหนู	5
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม	100
แคดเมียมและ/หรือสารประกอบแคดเมียม	1
สารประกอบของโครเมียมเฮกซาวาเลนท์	5
โครเมียมและ/หรือสารประกอบโครเมียม	5
โคบอลท์และ/หรือสารประกอบโคบอลท์	80
ทองแดงและ/หรือสารประกอบทองแดง	25
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์	180
ตะกั่วและ/หรือสารประกอบตะกั่ว	5
ปรอทและ/หรือสารประกอบปรอท	0.2
โมลิบดินัมและ/หรือสารประกอบโมลิบดินัม	350
นิเกิลและ/หรือสารประกอบนิเกิล	20
ซิลิเนียมและ/หรือสารประกอบซิลิเนียม	1
เงินและ/หรือสารประกอบของเงิน	5
ธาลเลียมและ/หรือสารประกอบธาลเลียม	7
วาเนเดียมและหรือสารประกอบวาเนเดียม	24
สังกะสีและ/หรือสารประกอบสังกะสี	250

ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2548)

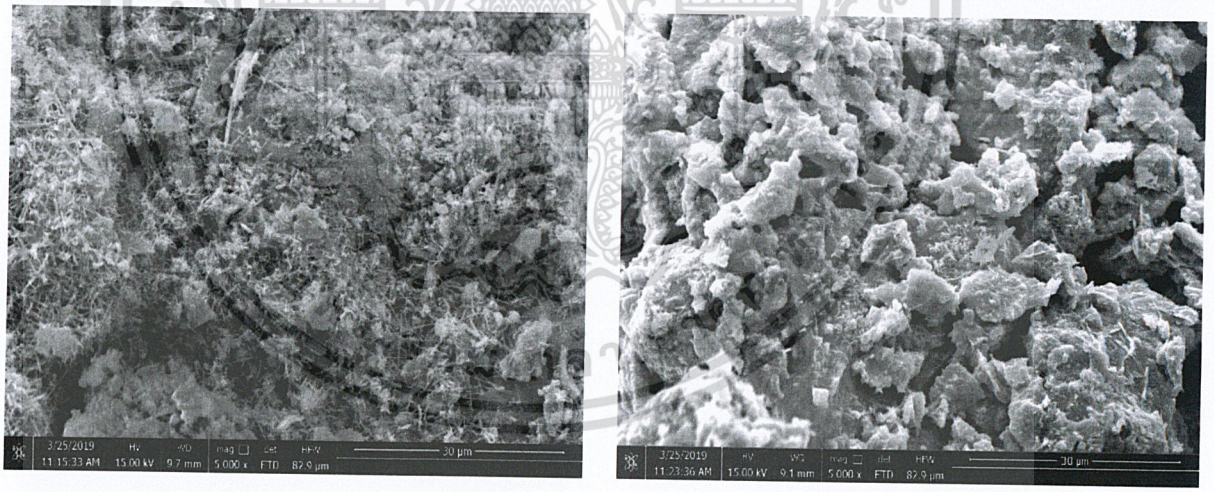
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของคอนกรีตบล็อก โดยการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



(ง.1)

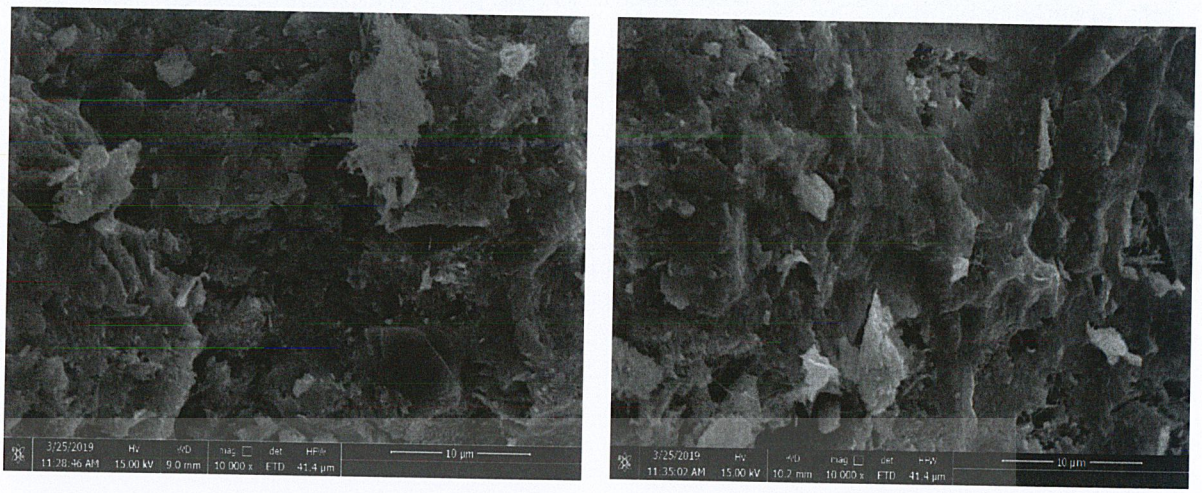


(ง.2)

รูปที่ ง.1 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกทอัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 7 วัน กำลังขยาย 10000 เท่า

รูปที่ ง.2 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 7 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



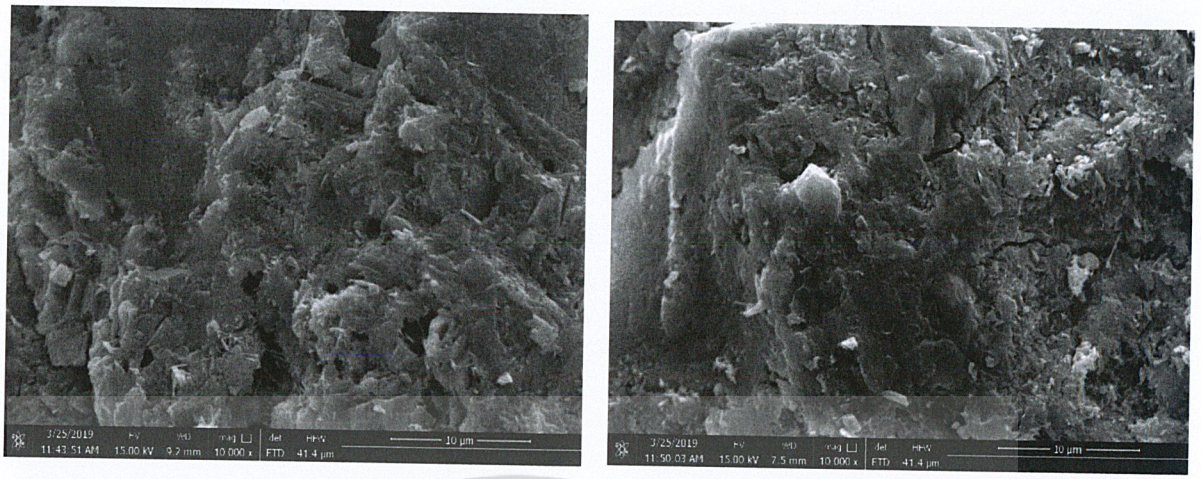
(ง.3)

(ง.4)

รูปที่ ง.3 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 14 วัน กำลังขยาย 10000 เท่า

รูปที่ ง.4 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 14 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง.5)

(ง.6)

รูปที่ ง.5 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 28 วัน กำลังขยาย 10000 เท่า

รูปที่ ง.6 ลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 5 % ที่วันบ่ม 28 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้