- 3 มี.ค. 2562

รายงานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินประปาทดแทนดินลูกรัง สำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

The Feasibility Study of Using Sludge from Tap Water to Substitute Lateritic Soil for Non-Load-Bearing Brick Block

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชาญวิทย์ ชุ่มชื่น
รอซูล สุวรรณนะ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
2561

ใบรับรองงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่องงานวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินประปาทดแทนดินลูกรัง สำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

The Feasibility Study of Using Sludge from Tap Water to Substitute Lateritic Soil for Non-Load-Bearing Brick Block

ชื่อผู้ทำงานวิจัย ชาญวิทย์ ชุ่มชื่น และรอซูล สุวรรณนะ

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์นัดดา โปดำ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....ประธานกรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สายสิริ ไชยชนะ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์นัดดา โปดำ)

.....ประธานหลักสูตร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุมัติ เดชนะ)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เมื่อวันที่ 28 ธ.ค. 2561 เดือน.....พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อเรื่อง	การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินประปาทดแทนดินลูกรัง สำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก
ชื่อผู้ทำงานวิจัย	นายชาญวิทย์ ชุ่มชื่น รหัสนักศึกษา 544291008
	นายรอซูล สุวรรณนะ รหัสนักศึกษา 544291029
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นัดดา โปดำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต	สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำตะกอนดินประปาซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำประปามาทดแทนดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก เนื่องจากตะกอนดินประปามีองค์ประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสาน โดยมีอัตราส่วนของอิฐบล็อกที่ใช้ศึกษา คือ ปูนซีเมนต์:ทราย:ดินลูกรัง 1:1.5:4.5 กำหนดอัตราส่วน มีสูตรควบคุม 1 สูตร คือ B0 (100:0) เป็นสูตรที่ไม่เติมตะกอนดินประปา และอัตราส่วนของดินลูกรังต่อตะกอนดินประปา คือ BS1 (95:5) BS2 (90:10) BS3 (85:15) BS4 (80:20) BS5 (75:25) และ BS6 (70:30)

จากการศึกษา พบว่า สูตร BS1 BS2 BS3 และ BS4 การทดลองที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541 เฉพาะด้านการเปลี่ยนแปลงความยาว เมื่อเปรียบเทียบด้วยสถิติแบบ T-test โดยนำ BS3 และ BS4 เทียบสูตรควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ดังนั้นจึงเลือกสูตร BS3 (85:15) เป็นสูตรที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าการดูดกลืนน้ำ 197.33±31.46 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวมีค่าร้อยละ 0.0010±0.00 และค่าความต้านแรงอัด 21.99±4.57 เมกะพาสคัล (MPa) ซึ่งมีน้ำหนักเบาและยังเป็นสูตรที่มีการใช้ตะกอนดินประปาทดแทนดินลูกรังในปริมาณสูง เป็นผลให้มีต้นทุนการผลิตเบื้องต้นต่ำกว่าสูตรควบคุม 0.07 บาท/ก้อน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์ปริมาณมาก สามารถประหยัดต้นทุนให้ผู้ผลิตและเป็นการส่งเสริมให้นำของเสียมาใช้ประโยชน์

เลข Bibw 1143097
วันที่ 2562

Title	The Feasibility Study of Using Sludge from Tap Water to Substitute Lateritic Soil for Non-Load-Bearing Brick Block
Authors	Mr.Chanwit Chumchuen student code 544291008
	Mr.Rosoon Suwanna student code 544291029
Main Advisor	Miss Nadda Podam
Co-advisor	Miss Hirunwadee Suviboon
Bachelor of Science degree	Environmental Science
Institute	Songkhla Rajabhat University
Academic year	2018

Abstract

The purpose of this research was to study on sludge from tap water production, used for lateritic soil replacement in non-load-bearing brick block production. Tap water sediment qualified for cementitious material because SiO_2 and Al_2O_3 were component of the sediment. In this research, proportion of brick block was determined cement powder: sand: lateritic soil as 1: 1.5: 4.5. There was one control formula for this research that was B0 (100:0) in which the sediment was not filled. Moreover, There were also other proportions of the formulas; BS1 (95:5) BS2 (90:10) BS3 (85:15) BS4 (80:20) (BS5 (75:25), and BS6 (70:30).

The research found that formula BS1 BS2 BS3 and BS4 passed the standard for community product standard 602/2547, and industrial product standard 1505-2541 for length change value when the statistical analysis was done with t-test comparison for BS3, BS4, and controlled formula, after that there was the difference at the statistic significance 0.95 ($P<0.05$). Therefore, BS3 (85: 15) was considered as the best formula because the water absorption value was 197.33±31.46 kg/m^3, length change value 0.0010±0.00, and compressive strength equal 21.99±4.57 MPa. The sediment brick derived from the research had light weight and also used for lateritic soil replacement in brick block production so initial production cost reduced 0.07 THB per piece, when compare with control formula, and there was possibility for

commercial and mass production led to save cost for manufacturer, and also encourage to change waste material to be higher value products as well.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วง และสมบูรณ์ลงด้วยดี โดยการชี้แนะแนวทาง คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย จากอาจารย์นัดดา โปดำ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้งคณาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านจน งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก และให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตะกอนดินประปามาใช้เป็นวัสดุในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก และร้านหาดใหญ่แซนบล็อกของนายมนัส หมัดสมาน ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่และเครื่องอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่อุปถัมภ์กำลังทรัพย์ และให้กำลังใจเพื่อให้ทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้จากงานวิจัยฉบับนี้ ขอมอบเป็นรางวัลแห่งความภาคภูมิใจแด่บิดา มารดา รวมทั้งผู้สนับสนุนทุกท่าน และสุดท้ายนี้หากงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ชาญวิทย์ ชุ่มชื่น
รอซูล สุวรรณนะ
ธันวาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ตัวแปร	2
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 สมมติฐาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก	5
2.2 ลักษณะของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก	11
2.3 วัสดุปอซโซลาน	12
2.4 ตะกอนดินประปา	14
2.5 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาและระบบกำจัดตะกอนประปา	16
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 กรอบแนวความคิดในการศึกษา	25
3.2 ขอบเขตการวิจัย	26
3.3 วัสดุและอุปกรณ์	26
3.4 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินประปา	27
3.5 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทั่วไป สี มิติ และน้ำหนัก 31

4.2 ผลการศึกษาการดูดกลืนน้ำ 33

4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาว 34

4.4 ผลการศึกษาความต้านแรงอัด 35

4.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตเบื้องต้น 36

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 39

5.2 ข้อเสนอแนะ 40

บรรณานุกรม 41

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง ผก-1

ภาคผนวก ข รูปประกอบการวิจัย ผข-1

ภาคผนวก ค มาตรฐานที่ใช้สำหรับอิฐบล็อกประสาน ผค-1

ภาคผนวก ง วิธีทดสอบสมบัติอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก ผง-1

ภาคผนวก จ ผลการทดสอบอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก ผจ-1

ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ ผฉ-1

ภาคผนวก ช ตารางวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น ผช-1

ภาคผนวก ซ ประวัติผู้วิจัย ผซ-1

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.7-1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	4
2.2-1	ค่ามาตรฐานการดูดกลืนน้ำ	12
2.2-2	ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัด	12
2.4-1	องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินประปา	15
2.6-1	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการผลิตอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก	21
3.4-1	อัตราส่วนตะกอนดินประปาในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก	28
3.4-2	การทดสอบประสิทธิภาพของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก	30
4.1-1	ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก	31
4.1-2	ผลการศึกษามิติและน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก	32
4.6-1	ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประสานจากการผสมตะกอนดินประปา	37

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1-1	บล็อกตรงหรืออิฐบล็อกประสานสี่เหลี่ยม	5
2.1-2	อิฐบล็อกประสานโค้ง	6
2.1-3	เครื่องอัดบล็อกประสานเครื่องอัดด้วยแรงคน	6
2.1-4	เครื่องอัดอิฐประสานแบบไฮดรอลิก	7
2.1-5	การเตรียมดิน	9
2.1-6	การผสมดิน	10
2.1-7	การอัดอิฐด้วยเครื่องไฮดรอลิก	10
2.1-8	อิฐบล็อกประสานที่อัดเสร็จแล้ว	10
2.1-9	การห่อเพื่อใช้บ่มอิฐบล็อกประสาน	11
2.5-1	การสูบน้ำ	16
2.5-2	การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ	17
2.5-3	การตกตะกอน	17
2.5-4	การกรอง	18
2.5-5	การฆ่าเชื้อโรค	18
2.5-6	การสูบจ่ายน้ำประปา	18
2.5-7	การควบคุมคุณภาพน้ำ	19
2.5-8	ถังควบคุมสมดุลตะกอนประปา	19
2.5-9	ถังปรับปรุงน้ำล้างย้อน	20
2.5-10	ระบบรีดน้ำตะกอนประปา	20
3.1-1	กรอบแนวคิด	25
4.1-1	ลักษณะทั่วไป และสีของอิฐบล็อกประสาน	32
4.2-1	ผลการศึกษาการดูดกลืนน้ำ	33
4.3-1	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาว	34
4.4-1	ผลการศึกษาความต้านแรงอัด	35

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) ปัจจุบันมีโรงกรองทั้งหมด 4 โรงกรอง ใช้น้ำดิบจากคลองอู่ตะเภา สามารถผลิตและจ่ายน้ำได้ทั้งสิ้นประมาณ 150,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งในกระบวนการผลิตจะนำน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภามาผ่านกระบวนการรวมตะกอนให้มีขนาดใหญ่ แล้วจึงนำไปตกตะตอน (sedimentation) หลังจากนั้นจะแยกส่วนของตะกอนดินประปาประปาออก จากน้ำที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกรอง ซึ่งการประปาส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) มีตะกอนดินประปาที่เหลือจากถังตกตะกอนประมาณ 4-5 ตัน/สัปดาห์ บางส่วนของตะกอนดิน ประปาที่เกิดขึ้นมีการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น นำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา นำไปถมที่ นำไปเป็นปุ๋ย สวนปาล์ม เป็นต้น ทั้งนี้จากแนวโน้มปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการ ขยายตัวของเศรษฐกิจและปริมาณประชากรที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีตะกอนดินประปาเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่, 2560)

จากข้อมูลการศึกษาวิจัยพบว่าตะกอนดินประปามีปริมาณซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) สูงสุด ประมาณร้อยละ 40-70 (วิษณุกร สมิงทอง, 2556 และเกียรติสุดา สมนา, 2555) รองลงมาเป็น อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณร้อยละ 20-40 (พิมศิลป์ จันทร์ประเสริฐ, 2556; วิมัณฑนา ถนอมกิจนุรักษ์, 2556 และนายอัซรี ตือเงาะ, 2557) ซึ่งซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียม ออกไซด์ (Al_2O_3) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) โดยที่ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา ปอซโซลานของซิลิกอนไดออกไซด์ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2\ 3H_2O$) ในขณะที่ ปฏิกิริยาปอซโซลานของอะลูมินาออกไซด์ ได้แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2O_3\ 3H_2O$) สามารถเพิ่มความแข็งแรงและยังช่วยลดน้ำหนักของอิฐบล็อก จากการศึกษา พบว่า การทดสอบทำให้ ทราบว่ายิ่งเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของตะกอนประปายิ่งทำให้รับแรงอัดได้น้อย แต่มีข้อสังเกตว่ายิ่งตะกอน ประปามากเท่าไรน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก็จะเบาลง (ยุทธนา อินต๊ะทอง, 2551) ผลการศึกษาที่ได้ทำ ให้ทราบว่ากากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในงานก่อและฉาบได้ และการใช้กากตะกอนในอิฐประสานที่ร้อยละ 10-30 มีความเป็นไปได้อย่างมากในการนำไปใช้จริง (ณิชาดา ฉัตรสถาปตยกุล และคณะ, 2555)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำตะกอนดินประปา ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สูงสุดประมาณร้อยละ 42.92 และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) สูงสุด

ประมาณร้อยละ 21.35 ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน (อัซรี ตือเงาะ และคณะ, 2557) มาเป็นวัสดุทดแทนดินลูกรังในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 และเป็นการเสริมแนวความคิดในการดึงประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติมาให้ใช้คุ้มค่ามากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนดินประปาต่อดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปากับสูตรควบคุม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น : อัตราส่วนของตะกอนดินประปาต่อดินลูกรัง

ตัวแปรตาม : ลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านแรงอัด

ตัวแปรควบคุม : ปูนซีเมนต์และน้ำ

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ตะกอนดินประปา (sludge from tap water) หมายถึง ของแข็งที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสียและจมสะสมตัวอยู่เบื้องล่างของแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมีและตกตะกอน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2560)

1.4.2 อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐบล็อกประสาน 602/2547, 2547)

1.4.3 อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารที่มีส่วนผสมของตะกอนดินประปา

1.4.4 เครื่องอัดแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อม หมายถึง แท่นพิมพ์อัดอิฐไฮดรอลิค กำลังผลิตอิฐขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร บล็อกพื้นตัวหนอน ผลิตได้ครั้งละ 2 ก้อน/ครั้ง 1,000-1,500 ก้อน/8 ชั่วโมง

1.5 สมมติฐาน

ตะกอนดินประปาผสมดินลูกรังสามารถนำมาผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนดินประปาต่อดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้

1.6.2 เป็นการนำตะกอนดินประปาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้

1.6.3 เป็นแนวทางให้ผู้ผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความแข็งแรง และลดต้นทุนการผลิตได้

1.7 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินการระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2561 ดังแสดงไว้**ในตารางที่ 1.7-1** แนวทางดำเนินการเป็นไปตามโครงร่างวิจัย (**ภาคผนวก ก**)

ตารางที่ 1.7-1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

การดำเนินการ	พ.ศ. 2560							พ.ศ. 2561										
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษารวบรวมข้อมูล	▬	▬	▬											┅	┅	┅	┅	┅	
2. สอบโครงร่างวิจัย			▲																
3. การทำการทดสอบ				▬	▬	▬	▬												
4. การวิเคราะห์ข้อมูล						▬	▬	▬	▬	▬	▬								
5. การสอบความก้าวหน้าวิจัย										▲									
6. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา											▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	
7. การสอบวิจัยฉบับสมบูรณ์																	▲		
8. การจัดทำเล่มรายงานวิจัย/ แก้ไขเล่ม															▬	▬	▬	▬	
9. ส่งเล่มวิจัย ฉบับสมบูรณ์																			▬

หมายเหตุ : ▲ หมายถึง ช่วงดำเนินการสอบวิจัย

▬ หมายถึง ช่วงระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

┅ หมายถึง อาจจะมีการขยายช่วงระยะเวลาในการดำเนินการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

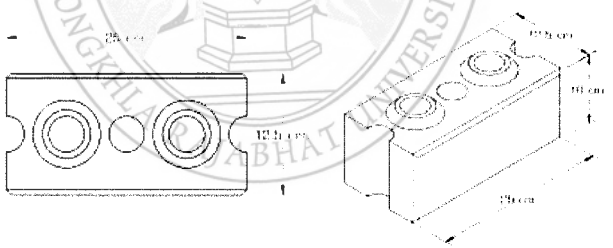
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก คือ วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม จะได้อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีความแข็งแกร่ง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ

2.1.1 อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non-Load Interlocking Brick)

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก เป็นอิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้อง หรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักแบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน คือ

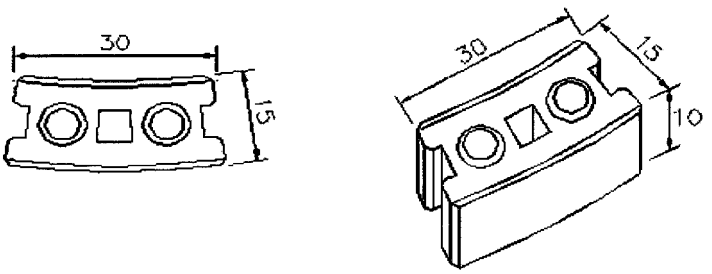
1) บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร (**ภาพที่ 2.1-1**)



ภาพที่ 2.1-1 บล็อกตรงหรืออิฐบล็อกประสานสี่เหลี่ยม ขนาดเต็มก้อน 12.5x25x10 เซนติเมตร

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2) บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ (**ภาพที่ 2.1-2**)



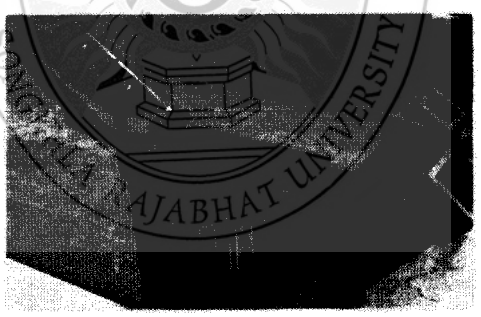
ภาพที่ 2.1-2 อิฐบล็อกประสานโค้งขนาด 15 x 30 x 10 เซนติเมตร

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2.1.2 เครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

เครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) เครื่องอัดด้วยแรงคน เป็นเครื่องอัดแบบใช้แรงคนโดยการโยกอัดดิน ด้วยหลักการทดแทนแรงแบบคานงัดคานดีด ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.1-3** สามารถผลิตได้ประมาณวันละ 400-800 ก้อน ขึ้นอยู่กับจำนวนแรงคนและความชำนาญ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมชุมชน



ภาพที่ 2.1-3 เครื่องอัดบล็อกประสานเครื่องอัดด้วยแรงคน

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2) เครื่องอัดแบบอุตสาหกรรม เป็นเครื่องอัดแบบใช้มอเตอร์เป็นตัวขับน้ำมันสร้างแรงดันในท่อไฮดรอลิก ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.1-4** สามารถผลิตได้ประมาณวันละ 1,000-4,000 ก้อน ในการกดอัด 1 ครั้ง จะสามารถอัดได้ 2-4 ก้อน นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อม

ภาพที่ 2.1-4 เครื่องอัดอิฐประสานแบบไฮดรอลิก

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

สำหรับวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักเพื่อการค้า วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมควรมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร (mm) ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น และทราย โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวมสำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282; 2015) มีฝุ่นดินไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ส่วนปูนซีเมนต์สำหรับงานบล็อกประสานใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปูนโครงสร้าง) จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแกร่ง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี โดยส่วนผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสมควรทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1:6 ถึง 1:7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก (อลิสรา คูประสิทธ์, 2554) ได้แก่

1) ดินลูกรัง

ดินลูกรัง หมายถึง ดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมในปริมาณที่สูงอันเป็นผลมาจากการเกิดกระบวนการ Laterization ของดินดังกล่าวมีคุณสมบัติที่แข็งตัวได้เองและมีเม็ดลูกรังหรือเม็ดกรวดประเภท ศิลาแลงหรือหินกรวดทรายขาวผสมปนอยู่ ดินลูกรังในประเทศไทย ได้แก่ สภาวะแร่เหล็กหรืออลูมินัมที่สะสมในปริมาณสูงอย่างน้อยร้อยละ 1-2 สภาวะที่ดินมีการระบายน้ำดี สภาวะที่มีออกซิเจนในน้ำใต้ดินสูง และสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรด รวมทั้งสภาวะที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่จะก่อให้เกิดการชะล้างในดินได้ดี ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอาจจะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุด การที่ดินลูกรังได้ตากแดดจะทำให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศ วงจรเปียกสลับกับแห้งจะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปในเม็ดลูกรังและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้ดินลูกรังแข็งแรงมาก (ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย,.2556)

2) หินฝุ่น

หินฝุ่น หมายถึง หินปูนบดหยาบๆ เป็นผลพลอยได้จากการโม่หินปูน มีองค์ประกอบหลากหลายขึ้นอยู่กับแหล่งของหินว่ามีสิ่งเจือปนมากน้อยเท่าใด ในการศึกษาตัวอย่างหินฝุ่นจากโรงโม่หิน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พบว่ามีองค์ประกอบสำคัญ คือ แคลเซียมประมาณร้อยละ 30–35 แมกนีเซียมประมาณร้อยละ 3–5 และธาตุอื่นๆ ปะปนในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ ฟอสฟอรัส กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

3) ทราย

ทราย หมายถึง หินแข็งที่แตกแยกออกมาจากก้อนหินใหญ่ โดยทรายจะแยกตัวออกมาได้เองตามธรรมชาติ ทรายมีขนาดระหว่าง 1/12 นิ้วถึง 1/400 นิ้ว ถ้ามีขนาดเล็กกว่าจะมีสภาพเป็นฝุ่นทราย จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์หรือหินบะซอลต์ ทรายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ทรายบก และทรายแม่น้ำ

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็น 5 ประเภท คือ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (normal portland cement) ใช้สำหรับลักษณะงานธรรมดาที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว

2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modifird portland cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการลดอุณหภูมิ เนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง งานคอนกรีตเหลาหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินหนาๆ หรือท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ๆ ตอหม้อ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความแข็งแรงสูง (high-early-strength-portland Cement) ปูนซีเมนต์ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีประโยชน์สำหรับคอนกรีตที่จะต้องใช้งานเร็วหรือรื้อแบบได้เร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น และคานที่ต้องถอนแบบเร็ว เป็นต้น ได้แก่ ปูนตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ (low-heat portland cement) สามารถลดปริมาณความร้อนเนื่องจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งจะสามารถลดการขยายตัวและหดตัวของคอนกรีตภายหลังการแข็งตัว ใช้มากในงานก่อสร้างเขื่อน เนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่างานชนิดอื่น ไม่เหมาะสำหรับงานโครงสร้างทั่วไปเพราะแข็งตัวช้า

5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัตเฟตได้สูง (sulfate-resistant portland cement) ใช้ในบริเวณที่น้ำหรือดินมีค่าความด่างสูง มีระยะการแข็งตัวช้า และมีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 ชนิด คือ CaO SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในสัดส่วนที่พอเหมาะ แต่เนื่องจากไม่สามารถหาวัตถุดิบที่มีสารประกอบดังกล่าวในสัดส่วนที่เหมาะสมได้ จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบมากกว่าหนึ่งชนิด มาผสมรวมกันในปริมาณที่ต่างกัน เพื่อให้ได้สัดส่วนรวมของออกไซด์ตามที่ต้องการ (วชิรวิทย์ สาราญรมย์, 2553)

2.1.4 การผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

สำหรับขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักประกอบด้วยการเตรียมดิน การผสม การอัดขึ้นรูป การผึ่ง และบ่ม ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเตรียมดิน ถ้าดินมีความชื้นมาก ควรนำไปตากให้แห้งและกองเก็บวัตถุดิบในที่ร่มให้มากเพียงพอที่จะทำการผลิตตลอดเวลา หากดินเป็นก้อนหรือมีมวลหยาบน้อยควรร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2-4 มิลลิเมตร ไม่ควรใช้ตาละเอียดมากเกินไป เพราะจะทำให้ได้แต่เนื้อฝุ่นดินทำให้ก้อนอิฐบล็อกไม่มีความแข็งแรง ถ้าเนื้อดินมีก้อนใหญ่หรือมวลหยาบมาก ควรใช้เครื่องบดร่อน แล้วกองเก็บในที่ร่มเพื่อรอผลิต (**ภาพที่ 2.1-5**)

ภาพที่ 2.1-5 การเตรียมดินสำหรับการผสมวัสดุ

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2) การผสมดิน ควรผสมดินแห้งหรือมวลรวมกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน แล้วค่อยๆ เติมน้ำโดยใช้ฝักบัวหรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้าง น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาด ใช้ผสมหลังจากผสมดินลูกรัง และปูนซีเมนต์เข้ากันแล้วในปริมาณที่พอเหมาะ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ดีที่สุด (**ภาพที่ 2.1-6**)

ภาพที่ 2.1-6 การผสมวัสดุผลิตอิฐบล็อกด้วยเครื่องโม่ผสมอัตโนมัติ

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

3) การอัดขึ้นรูป โดยตวงวัดหน่วยเป็นน้ำหนัก เติมส่วนผสมลงในแบบอัดโดยใช้น้ำหนักมากที่สุดที่สามารถทำงานได้สะดวก ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที หลังจากผสมน้ำ เพื่อป้องกันปูนก่อตัวก่อนอัดขึ้นรูป (**ภาพที่ 2.1-7**)

ภาพที่ 2.1-7 การอัดอิฐด้วยเครื่องไฮดรอลิก

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

4) บล็อกประสานที่อัดเป็นก้อนแล้วควรผึ่งในที่ร่มอย่างน้อย 1 วัน จึงเริ่มบ่มจนอายุครบ 7 วัน (**ภาพที่ 2.1-8**)

ภาพที่ 2.1-8 อิฐบล็อกประสานที่อัดเสร็จแล้ว

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

5) ตัวอย่างการบ่มหลังจากนำบล็อกออกจากเครื่องอัดแล้วนำมาจัดเรียงในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มโดยการรดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่มแล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออกหรือให้ระเหยออกช้าๆ ทิ้งไว้จนมีอายุครบ 7 วัน จนมีความแข็งแรงพร้อมส่งออก

จำหน่ายหรือใช้งานได้ไม่ควรเคลื่อนย้ายก่อนกำหนดเพราะจะทำให้ก้อนบิ่น หรือเกิดการแตกร้าวได้ง่าย การบ่มไม่ควรให้น้ำมากเกินเพราะอาจทำให้มีปัญหาคราบขาวได้ ควรบ่มด้วยปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพียงแค่ให้มีความชื้นก็เพียงพอ (**ภาพที่ 2.1-9**)

ภาพที่ 2.1-9 การห่อเพื่อใช้บ่มอิฐบล็อกประสาน

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2.2 ลักษณะของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร โดยอิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรังผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่นทรายกวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรู ร่อง และเดือย อัดเป็นก้อนแล้วบ่มให้แข็งตัว

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

1) ลักษณะทั่วไป ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

2) มิติต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตร

2.2.2 การดูดกลืนน้ำ

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมการดูดกลืนน้ำ ดังแสดงใน **ตารางที่** 2.2-1

ตารางที่ 2.2-1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนน้ำ

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง (กิโลกรัม)	การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
1680 และ น้อยกว่า	288
1681 ถึง 1760	272
1761 ถึง 1840	256
1841 ถึง 1920	240
1921 ถึง 2000	224
มากกว่า 2000	208

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (2547)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงความยาว

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.0050 (มาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม 1505/2541, 2541)

2.2.4 ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัด

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก มีค่ามาตรฐานความต้านแรงอัด ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.2-2**

ตารางที่ 2.2-2 ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดต่ำสุด (เมกะพาสคัล) เฉลี่ยจากพื้นที่รวม	
อิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก	**อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก**
7.0 เมกะพาสคัล	2.5 เมกะพาสคัล

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (2547)

2.3 วัสดุปอซโซลาน

2.3.1 ความหมายของสารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือวัสดุปอซโซลาน

สารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือวัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (SiO_2) หรือซิลิกาและอลูมินา (SiO_2 Al_2O_3) มีคุณสมบัติในการยึดประสาน

เล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทาปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิปกติ ร่วมกับความชื้น ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน นั่นคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2$ $3H_2O$) เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน” (Pozzolanic Reaction) (ปิยนุช ม่วงทอง และคณะ, 2557)

2.3.2 ปฏิกิริยาปอซโซลานิกของสารปอซโซลาน

ปฏิกิริยาปอซโซลานิก เกิดจากการทำปฏิกิริยาของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) โดยที่ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาปอซโซลานของซิลิกอนไดออกไซด์ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ในขณะที่ปฏิกิริยาปอซโซลานของอะลูมินาออกไซด์ ได้แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$2SiO_2 + 3Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} 3CaO.2SiO_2\ 3H_2O \qquad (2.1)$$

$$2Al_2O_3 + 3Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} 3CaO.2Al_2O_3\ 3H_2O \qquad (2.2)$$

2.3.3 กลไกของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่มีสารปอซโซลาน

กลไกของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในระบบซึ่งมีทั้งไตรแคลเซียมซิลเกต (C_3S) และสารปอซโซลานเริ่มขึ้นจากไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) จะละลายออกจากสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) อย่างอิสระลงไปในของเหลว แต่ไอออนดังกล่าวจะถูกดักจับด้วยอนุภาคที่มีประจุลบจากสารปอซโซลาน โดยอาศัยการชนกันและถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคปอซโซลานแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จะเกิดการตกตะกอนที่อัตราส่วนแคลเซียมออกไซด์ต่อซิลิกอนออกไซด์ (CaO/SiO_2) สูง ในขณะที่บนผิวของสารปอซโซลานจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน แต่จะได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่มีอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมออกไซด์ต่อซิลิกอนออกไซด์ต่ำ และมีความพรุนสูง โดยปกติเมื่ออนุภาคปอซโซลานสัมผัสกับน้ำ ผิวของสารปอซโซลานจะมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก อันเนื่องมาจากการดึงดูดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำไว้และจะทำให้มีการแตกตัวของโซเดียมไอออน (Na^+) และโพแทสเซียมไอออน (K^+) และไอออนอื่นๆ ทีละน้อยตามมา เป็นผลให้เกิดชั้นที่ผิวของอนุภาคปอซโซลานซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกอน หรืออะลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ การละลายของโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนจะช่วยเร่งการแตกตัวของน้ำให้มีปริมาณของไฮโดรเนียมไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเร่งการแตกตัวของซิลิเกตไอออน (SiO_4^{4-}) และอะลูมิเนียมไอออน (AlO_2^-) ด้วย และเมื่อรวมกับผลของแคลเซียมไอออนจึงทำให้ความหนาของชั้นบนอนุภาคปอซโซลานเพิ่มขึ้นและแตกออกในที่สุด

2.4 ตะกอนดินประปา (sludge from tap water)

2.4.1 คุณสมบัติของตะกอนดินประปา

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

ก) ลักษณะทั่วไปของตะกอนดินประปาจะมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดินเหนียวเปียกชื้น เมื่อตากให้แห้งมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดิน เนื้อตะกอนมีความสม่ำเสมอค่อนข้างสูงเป็นดินตะกอนดินเหนียวผสมทรายแป้ง (silty clay sediments)

ข) ตะกอนดินประปาสามารถยึดตัวได้แน่นมากเมื่อชื้น และเหนียวปานกลางถึงเหนียวมากเมื่อเปียกและมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างได้มาก แสดงถึงการมีแรงยึดภายในระดับดีทำให้มีศักยภาพในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งต้องการการเกาะตัวเพื่อการขึ้นรูปของงานปั้น

2) คุณสมบัติทางเคมี

ก) ตะกอนดินประปามีธาตุอาหารพืชโดยทั่วไปอยู่ในระดับปานกลางถึงดี ไม่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ทางการเกษตร และการมีอินทรียวัตถุปริมาณสูง ทำให้มีศักยภาพในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม

ข) ตะกอนดินประมีความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงและมีธาตุอาหารรองซึ่งเป็นไอออนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงเป็นส่วนใหญ่ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

ค) ตะกอนดินประปาจะมีไอออนส่วนเกินหลงเหลืออยู่โดยเฉพาะอะลูมิเนียมไอออนและอนุมูลคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลมาจากสารส้มที่เติมลงในน้ำดิบเพื่อการตกตะตอนรวดเร็วขึ้น

ง) องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินประปา ประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งมีค่าสูงมากอยู่ประมาณร้อยละ 41.78-67.33 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณร้อยละ 20.33-37.45 ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) ประมาณร้อยละ 0.70-25.28 และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ประมาณร้อยละ 0.9-6.03 ตามลำดับ ดังแสดง**ตารางที่ 2.4-1**

ตารางที่ 2.4-1 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินประปา

องค์ประกอบทางเคมี	ตะกอนดินประปา (%)				
	งานวิจัย 1	งานวิจัย 2	งานวิจัย 3	งานวิจัย 4	งานวิจัย 5
SiO_2	67.33	56.76	48.57	41.78	42.92
Al_2O_3	22.47	20.33	25.97	37.45	21.35
Fe_2O_3	6.15	0.70	5.63	7.38	25.28
CaO	0.68	6.03	0.71	4.06	0.19
MgO	-	-	1.02	1.16	-
SO_3	1.04	0.47	0.07	-	-
Na_2O	-	4.63	1.23	0.14	-
K_2O	1.26	1.51	1.88	1.34	0.43
อื่นๆ	1.26	9.57	14.92	6.69	9.83

ที่มา: งานวิจัย 1 วิษณุกร สมิงทอง (2556) เรื่องอิทธิพลของสภาวะเปียกสลัลด์แห้งต่อกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.

งานวิจัย 2 เกียรติสุดา สมนา (2555) การใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุประสาน.

งานวิจัย 3 พิมศิลป์ จันทร์ประเสริฐ (2556) เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังอัดของตะกอนดินประปา–เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.

งานวิจัย 4 วิมัณฑนา ถนอมกิจนุรักษ์ (2556) เรื่อง การปรับปรุงกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์ด้วยตะกอนดินจากระบบผลิตน้ำ.

งานวิจัย 5 นายอัซรี ตือเงาะ (2556) การนำตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำมาทดแทนดินลูกรังเพื่อผลิตบล็อกประสาน วว.

2.4.2 การจัดการตะกอนดินประปา

ตะกอนดินที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา มีการกำจัดตะกอนดินที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่จะนำไปถมที่หรือสามารถนำตะกอนดินมาเป็นวัตถุดิบ โดยใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก กระถางสำหรับปลูกพืช เซรามิค เครื่องปั้นดินเผาและอิฐ เป็นต้น

2.4.3 การใช้ประโยชน์ของตะกอนดินประปา

ตะกอนดินประปาสามารถทำประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้ 3 ลักษณะ คือ

1) ปรุงแต่งด้วยอินทรีย์สารหรือปุ๋ยในกลุ่มปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มปริมาณกากใย (fiber) และแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช กลายเป็นดินวิทยาศาสตร์ที่มีความต้องการของตลาด โดยเฉพาะตลาดปลูกไม้ดอกไม้ประดับ

2) นำมาเป็นสารเติมแต่งในการปรับปรุงของเสีย (waste) หรือของเสียจากชุมชน หรือโรงงานน้ำตาล เนื่องจากกากของเสียที่ผ่านการบำบัดของน้ำเสียชุมชนหรือโรงงานน้ำตาล จะมีปริมาณสารอินทรีย์สูงเกินไป และบางครั้งส่งกลิ่นเหม็น เนื่องจากผ่านขบวนการหมักที่ไม่สมบูรณ์ การนำกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปามารวมกับกากของเสียจากชุมชนหรือโรงงานน้ำตาล จึงเป็นอีกทางเลือก

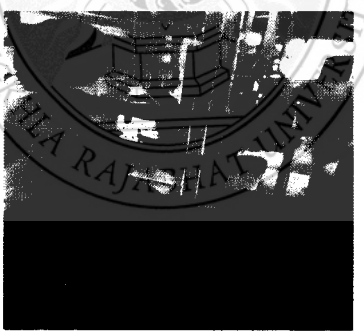
3) คุณสมบัติของตะกอนดินที่ขาดสารกลุ่มกากใย (fiber) และขาดสารอินทรีย์ จึงมีความเหมาะสม ในการนำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา ตะกอนดินประปามีปริมาณของมวลสารอลูมิเนียมผสมอยู่ เครื่องปั้นดินเผาที่ได้ก็จะมีความเฉพาะตัวของมันเอง ซึ่งไม่เหมือนการทำเครื่องปั้นดินเผาจากที่อื่นๆ (ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ์, 2555)

2.5 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาและระบบกำจัดตะกอนประปา

2.5.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

1) การสูบน้ำ

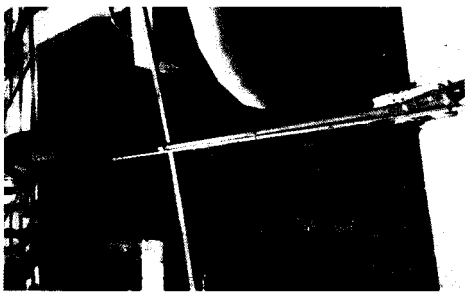
การผลิตน้ำประปาเริ่มจากการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งจะมีการตรวจสอบวิเคราะห์ และควบคุมคุณภาพของน้ำดิบอย่างสม่ำเสมอ



ภาพที่ 2.5-1 การสูบน้ำ

2) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

น้ำดิบจากการสูบน้ำจะถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอนจะมีการเติมสารเคมี คือ สารส้มและปูนขาว การเติมปูนขาวเพื่อปรับความเป็นด่างในน้ำดิบช่วยให้สารส้มทำปฏิกิริยาดีขึ้น หรือบางทีมีการเติมคลอรีนในขั้นแรก เรียกว่า การเติมคลอรีนก่อนบำบัด (Pre-chlorination) เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะปนเปื้อนมากับน้ำในขั้นตอนเบื้องต้น



ภาพที่ 2.5-2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

3) การตกตะกอน

เมื่อเติมสารส้มและปูนขาวแล้ว น้ำดิบจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (Clarifier) ในขั้นตอนนี้สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำ จับเป็นก้อนเล็กๆ แล้วค่อยๆ มีขนาดโตขึ้นตกลงสู่ก้นถัง เหลือแต่น้ำใสไหลไปยังบ่อกรอง (Filter) ความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนจะมีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 หน่วยความขุ่น (Nephelometric Turbidity Unit, NTU) นอกจากนี้ยังมีการเติมสารส้มในท่อแยกเข้าสู่ถังตกตะกอนในอัตราส่วนที่เหมาะพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล ซึ่งฤดูน้ำหลากที่น้ำดิบมีความขุ่นสูง อาจจะมีการเติมสารช่วยเร่งการตกตะกอน (Poly-electrolyte) อีกด้วย ซึ่งตะกอนดินที่เกิดจากการผลิตน้ำประปาจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้

ภาพที่ 2.5-3 การตกตะกอน

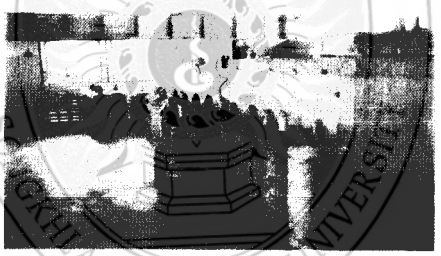
4) การกรอง

น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะไหลมายังบ่อกรองน้ำ ซึ่งมีผงถ่านแอนทราไซด์ (Anthracite) และทรายเป็นสารกรอง มีหัวกรอง (Filter nozzle) เพื่อกรองตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะใสมาก มีความขุ่นไม่เกิน 2 หน่วยความขุ่น ถังกรองที่ใช้เป็นแบบชนิดกรองเร็ว เมื่อใช้งานได้ประมาณ 48 ชั่วโมง จะต้องมีการล้างกลับ (Back wash) โดยการพ่นลมและน้ำขึ้นมาจากใต้บ่อกรอง เพื่อให้ทรายขยายตัวและให้ตะกอนที่อยู่ติดหน้าผิวทรายไหลตามน้ำออก ใช้เวลาในการล้างประมาณ 15 นาทีต่อบ่อ

ภาพที่ 2.5-4 การกรอง

5) การฆ่าเชื้อโรค

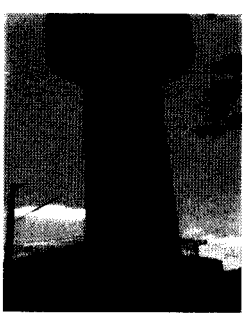
น้ำที่ได้นี้อาจยังมีแบคทีเรียหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการฆ่าเชื้อโรค เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อการบริโภค ตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) โดยจะเติมคลอรีนเป็นการฆ่าเชื้อโรค (Post-chlorination) ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด และจะทำลายสารอินทรีย์ ที่สำคัญยังมีคลอรีนลงเหลือ (Free residual chlorine) ติดไปกับน้ำ เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนเข้ามาภายหลังได้ จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค



ภาพที่ 2.5-5 การฆ่าเชื้อโรค

6) การสูบจ่ายน้ำประปา

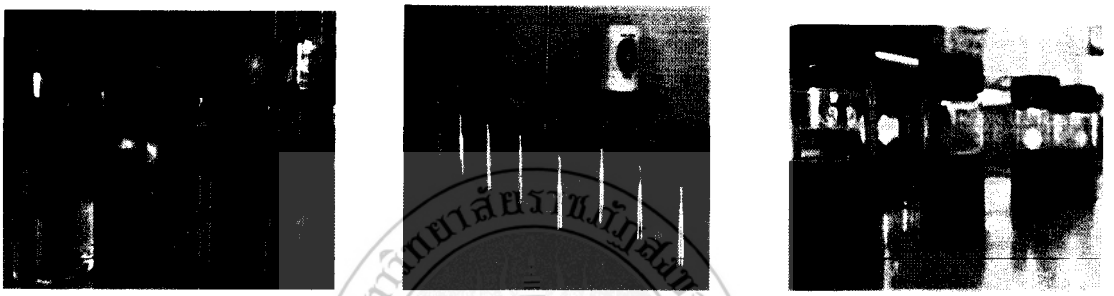
น้ำประปาที่ผลิตได้จะถูกสูบส่งเข้าอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำขนาดใหญ่ไปยังสถานีสูบน้ำตามย่านชุมชนต่างๆ แล้วสูบจ่ายเข้าเส้นท่อหลักและเส้นท่อจ่ายน้ำ เพื่อบริการประชาชนต่อไป



ภาพที่ 2.5-6 การสูบจ่ายน้ำประปา

7) การควบคุมคุณภาพน้ำ

น้ำจากคลองส่งน้ำดิบ น้ำในระบบผลิตน้ำประปาในระบบจ่าย จะได้รับการตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพโดยละเอียดถี่ถ้วนอย่างสม่ำเสมอจากนักวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะมาตรฐานด้านกายภาพ เคมี และปริมาณแบคทีเรีย เพื่อควบคุมให้ได้มาตรฐานน้ำประปาก่อนที่จะสูบจ่ายบริการประชาชน นอกจากนี้มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบเส้นท่อประปาตามจุดต่างๆ ภายในเขตบริการตลอดเวลา หากพบว่ามีข้อบกพร่องหรือคุณภาพน้ำตอนไหนเปลี่ยนไป จะได้ทำการตรวจสอบหาสาเหตุและแก้ไขทันที



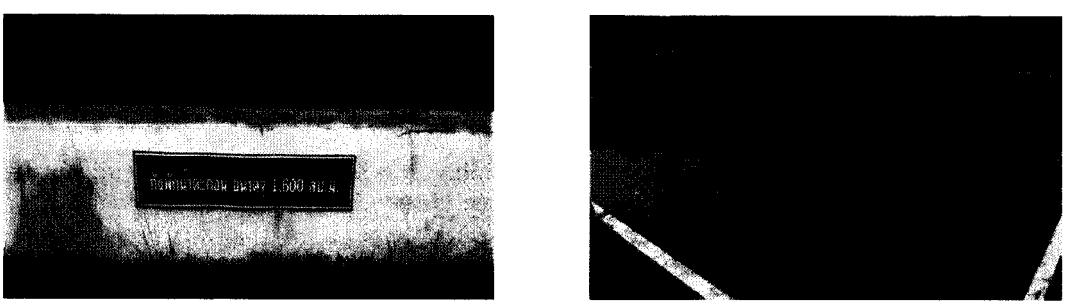
ภาพที่ 2.5-7 การควบคุมคุณภาพน้ำ

2.5.2 ระบบกำจัดตะกอนประปา

ระบบกำจัดตะกอนประปา (Sludge treatment) ประกอบด้วย

1) ถังควบคุมสมดุลตะกอนประปา (Sludge balancing tank)

ถังคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 2 ชุด ติดตั้งอยู่ต่ำกว่าระดับดิน ซึ่งจะรับน้ำตะกอน (Sludge) ที่เกิดขึ้นจากระบบถังตกตะกอน (Clarifier) ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ตะกอนที่รวบรวมได้ภายในบ่อจะถูกสูบผ่านเครื่องสูบตะกอนแบบหอยโข่ง (Centrifugal submersible pump) สู่ถังเพิ่มความข้นตะกอน (Sludge thickener tank) ต่อไป โดยเครื่องสูบตะกอนจะทำงานโดยอัตโนมัติควบคุมระดับตะกอน โดยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ (SCADA) จากห้องควบคุม



ภาพที่ 2.5-8 ถังควบคุมสมดุลตะกอนประปา (Sludge balancing tank)

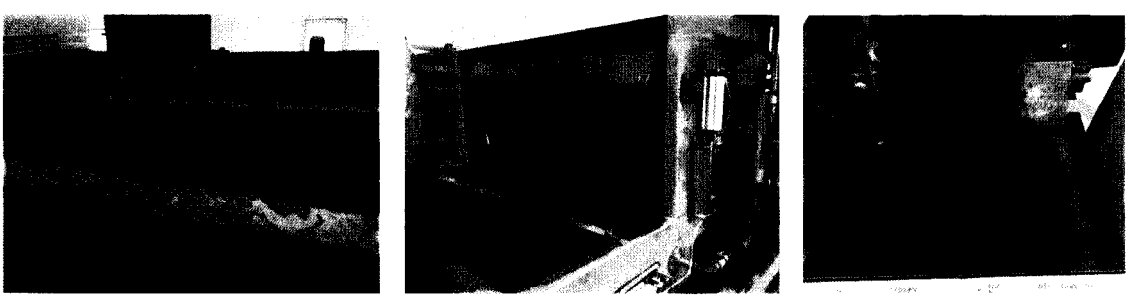
2) ถังปรับปรุงน้ำล้างย้อน (Water recovery tank)

โครงสร้างถังคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 2 ชุด ซึ่งจะรับน้ำและตะกอนที่ได้จากการล้างย้อน (Back wash) ของระบบกรอง ที่ส่วนนี้จะมีน้ำใสส่วนหนึ่งซึ่งถูกแยกออกจากตะกอนจะถูกสูบกลับเข้าสู่ระบบผลิตเพื่อเป็นการนำน้ำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ซึ่งเรียกว่า Recovery water ส่วนตะกอนที่ข้นขึ้นจะถูกสูบผ่านเครื่องสูบตะกอนสู่ถังเพิ่มความข้นตะกอนเช่นกัน ซึ่งการทำงานของเครื่องสูบตะกอนทั้งหมดจะทำงานโดยอัตโนมัติควบคุมโดยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ (SCADA) จากห้องควบคุม

ภาพที่ 2.5-9 ถังปรับปรุงน้ำล้างย้อน (Water recovery tank)

3) ระบบรีดน้ำตะกอนประปา (Dewatering unit)

ระบบขั้นสุดท้ายในการรีดน้ำออกจากตะกอนประปา (Sludge) เพื่อทำให้ตะกอนมีความแห้งมากที่สุดอีกทั้งเป็นการนำน้ำที่รีดได้ (Recovery water) กลับมาผลิตใหม่ ระบบประกอบด้วยชุดเครื่องจักรรีดตะกอนแบบแผ่นผ้า (Belt press) จำนวน 2 เครื่อง ทำหน้าที่รีดน้ำออกจากตะกอนโดยปล่อยให้ตะกอนผ่านแผ่นกรอง (Belt) ขนาดยาวซึ่งม้วนไปมาภายในเครื่อง การทำงานของเครื่องจักรรีดตะกอนนี้จะทำงานโดยอัตโนมัติ ควบคุมโดยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ (SCADA) เช่นเดียวกัน (อัชรี ตือเงาะ และคณะ, 2557)



ภาพที่ 2.5-10 ระบบรีดน้ำตะกอนประปา (Dewatering unit)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตะกอนจากระบบการบำบัดน้ำประปา หรือตะกอนดินประปามาผลิตอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก มีรายละเอียดดังแสดงใน**ตารางที่ 2.6-1**

ตารางที่ 2.6-1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการผลิตอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ชื่อเรื่องวิจัย	ผลการศึกษา	การใช้ตะกอนในอิฐบล็อกฯ	ชนิดของตะกอน	ชื่อผู้วิจัย
ความเป็นไปได้ของการใช้กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาร่วมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน	พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าสูงขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนของกากตะกอนเคมี อิฐบล็อกประสานที่ผสมกากตะกอนเคมีร้อยละ 10 - 30 ผ่านมาตรฐานของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (TISTR) ชั้นคุณภาพ ก ที่มีความแข็งแรงและทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี ส่วนอิฐบล็อกประสานที่ผสมกากตะกอนเคมีร้อยละ 40-50 ผ่านมาตรฐานชั้นคุณภาพ ข ที่มีความแข็งแรงและทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดีปานกลาง อิฐบล็อกประสานที่ผสมกากตะกอนเคมีร้อยละ 70 ผ่านมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก	ทดแทนปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน	กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปา	ณิชาดา ฉัตรสถาปตยกุล และคณะ (2555)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ตารางที่ 2.6-1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการผลิตอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ชื่อเรื่องวิจัย	ผลการศึกษา	การใช้ตะกอนในอิฐบล็อกฯ	ชนิดของตะกอน	ชื่อผู้วิจัย
ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดของตะกอนประปาเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์	จากการทดสอบทำให้ทราบว่ายิ่งเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของตะกอนประปายิ่งทำให้รับแรงอัดได้น้อย แต่มีข้อสังเกตว่ายิ่งตะกอนประปามากเท่าไรน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก็จะเบาลง เมื่อคำนวณหาค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยต่อ cm^2 แล้วซึ่งมีขนาด 5x5x5 cm ของส่วนผสมของตะกอนประปา 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 179.89, 156.50, 148.49, 108.58 49.12 24.09 และ 5.20 kg/cm^2 แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาด้านการรับกำลังอัดของตะกอนประปาที่ผสมกับปูนซีเมนต์นั้นสามารถที่จะนำไปพัฒนาต่อได้ เช่น การทำบล็อกสำหรับก่อผนัง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่รับกำลังไม่มากนัก	ทดแทนปูนซีเมนต์	ตะกอนประปา	ยุทธนา อินต๊ะทอง (2551)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ตารางที่ 2.6-1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการผลิตอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ชื่อเรื่องวิจัย	ผลการศึกษา	การใช้ตะกอนในอิฐบล็อกฯ	ชนิดของตะกอน	ชื่อผู้วิจัย
การนำตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำมาทดแทนดินลูกรังเพื่อผลิตอิฐบล็อกประสานสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)	จากผลศึกษา พบว่า ตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังในอัตราส่วนของตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่ากำลังอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน วว. ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก (มผช. 602/2547) นอกจากนี้อัตราส่วนของตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก ค่ากำลังอัดและค่าการกลืนน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) และผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน วว. ชนิดรับไม่รับน้ำหนัก (มผช. 602/2547)) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมของตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับการเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร	ทดแทนดินลูกรัง	ตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำ	อัซรี ตือเงาะ และคณะ (2557)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า ตะกอนดินประปาที่นำมาทดสอบในการทำอิฐบล็อกประสาน โดยมีหลายอัตราส่วนและมีการบ่มเป็นเวลานาน ผลการทดสอบทราบว่ายิ่งเพิ่มเปอร์เซ็นต์ตะกอนดินประปามากยิ่งขึ้นจะทำให้ความต้านแรงอัดน้อยลง แต่ยิ่งเพิ่มตะกอนประปามากเท่าไรจะทำให้น้ำหนักของอิฐบล็อกมีน้ำหนักน้อยลงไปด้วย เมื่อพิจารณาแล้วตะกอนดินประปาเหมาะสมกับการทำอิฐบล็อกสำหรับก่อผนังซึ่งเป็นโครงสร้างชนิดไม่รับน้ำหนักได้

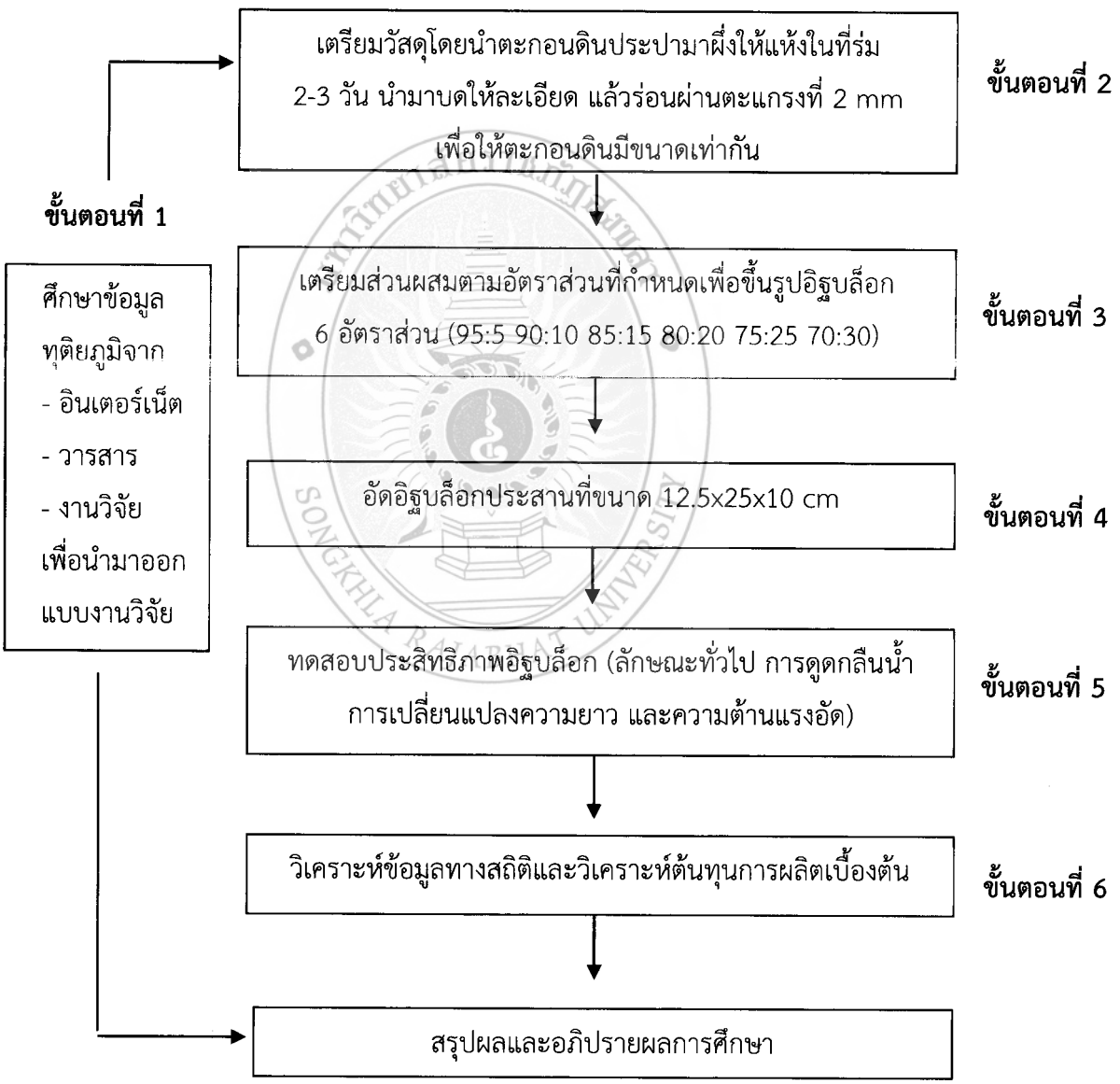
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 กรอบแนวความคิดในการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินประปามาทดแทนดินลูกรังในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก กรอบแนวคิดแสดงรายละเอียดใน**ภาพที่ 3.1-1**



ภาพที่ 3.1-1 กรอบแนวคิดการศึกษา

620.1A

3.2 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนดินประปาสำหรับอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักด้วยการแทนที่ดินลูกรังด้วยตะกอนดินประปา ในอัตราส่วน 95:5 90:10 85:15 80:20 75:25 และ 70:30 โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านแรงอัด

3.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ตะกอนดินประปา ได้รับความอนุเคราะห์ จากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) 243 ถนนพลพิชัย ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 โดยเก็บตัวอย่างวันที่ 13 กรกฎาคม. 2560 จำนวนตะกอนดินประปาทั้งหมดประมาณ 200 กิโลกรัม (kg)

3.2.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

การผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร (cm) ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านหาดใหญ่แซ็นบล็อก ตำบลคลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 ซึ่งเป็นเครื่องอัดที่ใช้สำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อม ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับน้ำมันสร้างแรงดันในท่อไฮดรอลิก กำลังผลิตอิฐขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร สามารถผลิตได้วันละประมาณ 2 ก้อน/ครั้ง 1,000-1,500 ก้อน/8 ชั่วโมง

3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพ

1) ศึกษาลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความยาว ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2) ศึกษาความต้านแรงอัด ณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

3.3 วัสดุและอุปกรณ์

3.3.1 วัสดุ

1) ดินลูกรังบดละเอียด

2) น้ำสะอาด

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

4) ตะกอนดินประปา

5) ทราย

3.3.2 อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ mettle Toledo รุ่น Al 204

2) เครื่องทดสอบความต้านแรงอัด

3) อากาศร้อน ยี่ห้อ memmert รุ่น UFE 500

4) เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานตู้อบ

5) ตะแกรงร่อน ขนาด 2 ไมโครเมตร

6) กระบะปูนพลาสติก

7) เครื่องชั่งกิโลกรัม

8) ตลับเมตร

9) จอบ

10) ถังน้ำ

11) อ่างน้ำ

12) พลั่ว

3.4 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินประปา

3.4.1 การเตรียมตะกอนดินประปา

1) ตะกอนดินประปา ได้รับความอนุเคราะห์ จากการประปาส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) โดยการใช้จอบตักใส่กระสอบปุ๋ย 4 กระสอบ ทั้งหมดจำนวน 200 กิโลกรัม แล้วนำตะกอนดินประปาที่ได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเป็นเวลา 5-7 วัน หรือจนกระทั่งตะกอนดินประปาแห้งสนิท

2) นำตะกอนดินประปาที่แห้งสนิทมาบดให้ละเอียดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุประสาน หลังจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ตะกอนดินประปามีขนาดเท่ากัน แล้วมาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำไปใส่ในถุงซิปใสเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.4.2 การกำหนดอัตราส่วนผสมอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปา

กำหนดอัตราส่วนผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ใช้ในการศึกษา คือ ปูนซีเมนต์:ทราย:ดินลูกรัง 1:1.5:4.5 (อัตราส่วนตามคำแนะนำของร้านหาดใหญ่แซนบล็อก ผู้ผลิตอิฐบล็อกผสานชนิดไม่รับน้ำหนัก) แล้วออกแบบส่วนผสมโดนแทนที่ดินลูกรังด้วยทั้งหมด 6 อัตราส่วน และกำหนดให้มีสูตรควบคุม 1 สูตร เป็นสูตรที่ไม่เติมตะกอนดินประปา คือ อัตราส่วน B0 (100:0) และอัตราส่วนของดินลูกรังต่อตะกอนดินประปา BS1(95:5) BS2(90:10) BS3(85:15) BS4(80:20) BS5(75:25) BS6(70:30) ดังแสดง**ในตารางที่ 3.4-1**

ตารางที่ 3.4-1 อัตราส่วนตะกอนดินประปาในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

สูตร	อัตราส่วนผสม ปูน:ทราย:(ดินลูกรัง: ตะกอนดินประปา)	ปริมาณที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน 1 ก้อน			
		ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ทราย (กรัม)	ดินลูกรัง (กรัม)	ตะกอนดินประปา (กรัม)
B0	1:1.5:4.5 (100:0)	743	1114	3343	0
BS1	1:1.5:4.5 (95:5)	743	1114	3176	167
BS2	1:1.5:4.5 (90:10)	743	1114	3009	334
BS3	1:1.5:4.5 (85:15)	743	1114	2842	501
BS4	1:1.5:4.5 (80:20)	743	1114	2675	668
BS5	1:1.5:4.5 (75:25)	743	1114	2508	835
BS6	1:1.5:4.5 (70:30)	743	1114	2340	1003

หมายเหตุ: BS คือ สูตรการทดลองของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักโดยอิฐบล็อก 1 ก้อน มีน้ำหนักประมาณ 5200 กรัม (g)

การใส่น้ำ ใส่น้ำจนสามารถกำเป็นก้อนและไม่ติดมือ

3.4.3 การขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

1) เตรียมส่วนผสมตาม**ตารางที่ 3.4-1** ตัวอย่างเช่น ต้องการผสมสูตรที่ 1 ทั้งหมด 5200 กรัม (g) จะต้องใส่วัสดุดังนี้ ปูนซีเมนต์ = 743 กรัม ตะกอนดินประปา = 167 กรัม ทราย = 1114 กรัม และดินลูกรัง = 3176 กรัม ยกเว้นน้ำ ใส่ลงในเครื่องผสมดินแล้วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยเมื่อผสมแล้วนำมากำเป็นก้อนจะไม่ติดมือ แต่ละสูตรทำเหมือนกันทุกสูตร

2) ใส่น้ำที่เตรียมไว้ลงไปในกระบะปูน การใส่น้ำควรใส่น้ำลงไปทีละนิด โดยทำการกวนตะกอนดินประปา ทราย และปูนซีเมนต์ ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำจนสามารถกำเป็นก้อนและไม่ติดมือ

3) นำส่วนผสมที่ผสมจนเข้ากันดีแล้วไปอัดในเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบไฮดรอลิก โดยใช้บล็อกของอิฐขนาด 12.5×25×10 เซนติเมตร แต่ละก้อนใส่ส่วนผสมให้เท่าๆ กัน โดยใส่จนเต็มแม่พิมพ์แล้วจึงทำการอัดแบบอัตโนมัติ

4) ข้อเสนอแนะก่อนที่จะใส่ส่วนผสมลงในเครื่องอัดอิฐบล็อกประสาน ควรทาน้ำมันก่อนเพื่อไม่ให้ส่วนผสมติดกับเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานและป้องกันการสึกกร่อนของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสาน

5) เมื่อทำการอัดเสร็จแล้วให้ยกอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ได้ออกจากเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานและนำไปวางให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

6) นำอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนักที่ได้จากข้อที่ 5 มาทำการบ่มเป็นเวลา 7 วัน โดยปกคลุมผิวมิให้ถูกแดดหรือลมร้อน และมิให้ถูกรบกวนหรือสะเทือน เพื่อให้อิฐบล็อกประสานมีสมบัติในการรับแรงและความทนทานตามความต้องการ ห้ามนำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปาไปตากแดด เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ และมีผลต่อความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน หลังจากนั้นเมื่อครบ 7 วันก็นำอิฐบล็อกประสานไปทำการทดสอบประสิทธิภาพ

สำหรับภาพประกอบการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก แสดงไว้ใน**ภาคผนวก ข**

3.4.4 การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ดังแสดงใน**ตารางที่ 3.4-2** (สำหรับค่ามาตรฐานของอิฐบล็อกแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ค** และวิธีการทดสอบแสดงใน **ภาคผนวก ง)**

ตารางที่ 3.4-2 การทดสอบประสิทธิภาพของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

พารามิเตอร์	วิธีการทดสอบ	สถานที่ทดสอบ
ลักษณะทั่วไป	มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
การดูดกลืนน้ำ	ดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 109-2517	
การเปลี่ยนแปลงความยาว	ดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541	
ความต้านแรง	ดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 109-2517	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา เลขที่ 1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น มีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) การวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน เพื่อนำเสนอผลการศึกษา

2) การวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบอ้างอิงด้วยสถิติแบบ T-Test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผสมตะกอนดินประปากับอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักสูตรควบคุม

3.5.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นจะใช้ศึกษาจากค่าวัสดุและค่าดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบราคาของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปากับราคาอิฐบล็อกประสานที่ขายในร้านวัสดุก่อสร้าง

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปาเพื่อทดแทนดินลูกรัง โดยการศึกษาทั้งหมด 6 อัตราส่วน และกำหนดให้มีสูตรควบคุม 1 สูตร เป็นสูตรที่ไม่เติมตะกอนดินประปา คือ อัตราส่วน B0 (100:0) และอัตราส่วนของดินลูกรังต่อตะกอนดินประปา BS1 (95:5) BS2 (90:10) BS3 (85:15) BS4 (80:20) BS5 (75:25) และ BS6 (70:30) โดยทำการทดสอบสมบัติด้านลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านแรงอัด สำหรับผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทั่วไป สี มิติ และน้ำหนัก

4.1.1 ลักษณะทั่วไป และสีของอิฐบล็อกประสาน

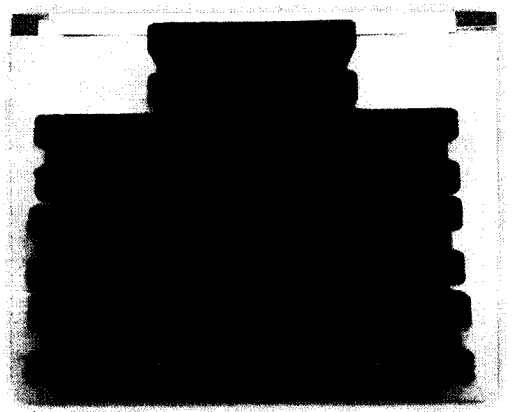
ผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนักทุกสูตรไม่มีรอยแตกร้าว และบิ่น ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 ส่วนสีของอิฐบล็อกโดยทั่วไปจะมีสีน้ำตาลแดงเข้มตามสูตร B0 แต่เมื่อผสมตะกอนดินประปามากขึ้นจะทำให้สีของอิฐบล็อกคล้ำลงแบบเดียวกับสีตะกอนตามปริมาณของตะกอนดินประปาที่เพิ่มขึ้น โดยมีสีคล้ำสุดที่สูตร BS6

ตารางที่ 4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะทั่วไปของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

สูตร	อัตราส่วนดินลูกรัง : ตะกอนดินประปา	ลักษณะทั่วไปอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักจากตะกอนดินประปา	
		รอยแตกร้าว	บิ่น
B0	100:0	✓	✓
BS1	95:5	✓	✓
BS2	90:10	✓	✓
BS3	85:15	✓	✓
BS4	80:20	✓	✓
BS5	75:25	✓	✓
BS6	70:30	✓	✓

หมายเหตุ: B0 หมายถึง อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ไม่ผสมตะกอนดินประปา

BS หมายถึง อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา



ภาพที่ 4.1-1 ลักษณะสีของอิฐบล็อกประสาน

4.1.2 มิติ และน้ำหนักอิฐบล็อกประสาน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 กำหนดว่ามิติของบล็อกอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±0.2 มิลลิเมตร (mm) ซึ่งพบว่าอิฐบล็อกที่ใช้การศึกษาทุกสูตรเป็นไปตามมาตรฐาน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากขนาดของบล็อกที่ใช้ในการผลิต ส่วนน้ำหนักพบว่า เมื่อเพิ่มตะกอนดินประปาแทนดินลูกรังมากขึ้น อาจเนื่องมาจากตะกอนดินประปามีรูพรุนทำให้อิฐบล็อกประสานมีน้ำหนักลดลง ซึ่งเป็นการลดข้อด้อยเรื่องน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานได้

ตารางที่ 4.1.2 ผลการศึกษามิติและน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

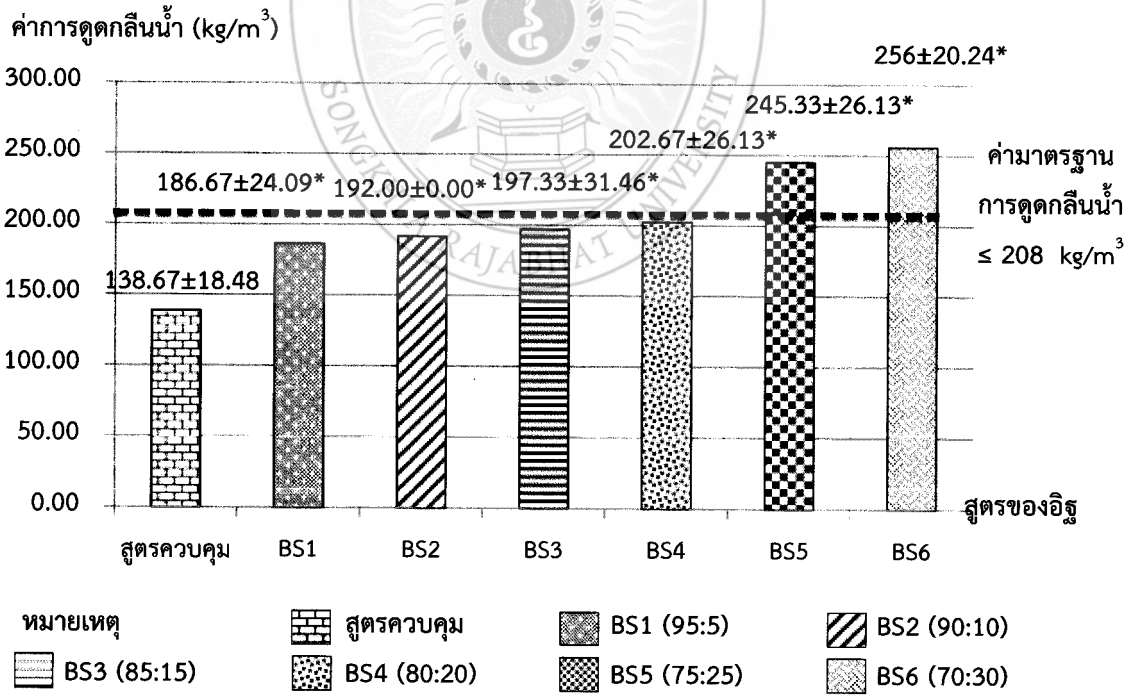
สูตร	อัตราส่วนดินลูกรังด้วยตะกอนดินประปา	มิติและน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักจากตะกอนดินประปา			
		กว้างเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	สูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)
B0	100:0	12.5	25	10	5.35±0.06
BS1	95:5	12.5	25	10	5.33±0.06
BS2	90:10	12.5	25	10	5.20±0.10
BS3	85:15	12.5	25	10	5.07±0.06
BS4	80:20	12.5	25	10	5.03±0.15
BS5	75:25	12.5	25	10	5.03±0.06
BS6	70:30	12.5	25	10	4.90±0.17

หมายเหตุ: B0 หมายถึง อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ไม่ผสมตะกอนดินประปา

BS หมายถึง อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา

4.2 ผลการศึกษาการดูดกลืนน้ำ

ผลการศึกษาการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปาเพื่อทดแทนดินลูกรัง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดกลืนน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของอิฐบล็อกจะสูงสุดในสูตร BS6 มีค่าเท่ากับ 256.00±20.24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) และรองลงมาคือ สูตร BS5 BS4 BS3 BS2 และ BS1 มีค่าเท่ากับ 245.33±26.13 202.67±26.13 197.33±31.46 192.00±0.00 และ 186.67±24.09 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.2-1** และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า ทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำสูงกว่าสูตรควบคุม โดยทุกสูตรแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (**ภาคผนวก ฉ**) แสดงให้เห็นว่าหากเพิ่มปริมาณตะกอนดินประปาจะทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากการบดตะกอนดินประปาให้ละเอียดจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสตรงช่องว่างทำให้สามารถกักเก็บน้ำโดยการดูดกลืนน้ำเข้าไปแทนที่ในเนื้อวัสดุ ส่งผลต่อโครงสร้างเสื่อมคุณภาพได้เร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของยุทธนา อินต๊ะทอง (2551) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 พบว่า อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก สูตร BS1 BS2 BS3 และ BS4 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ยกเว้นสูตร BS5 และ BS6

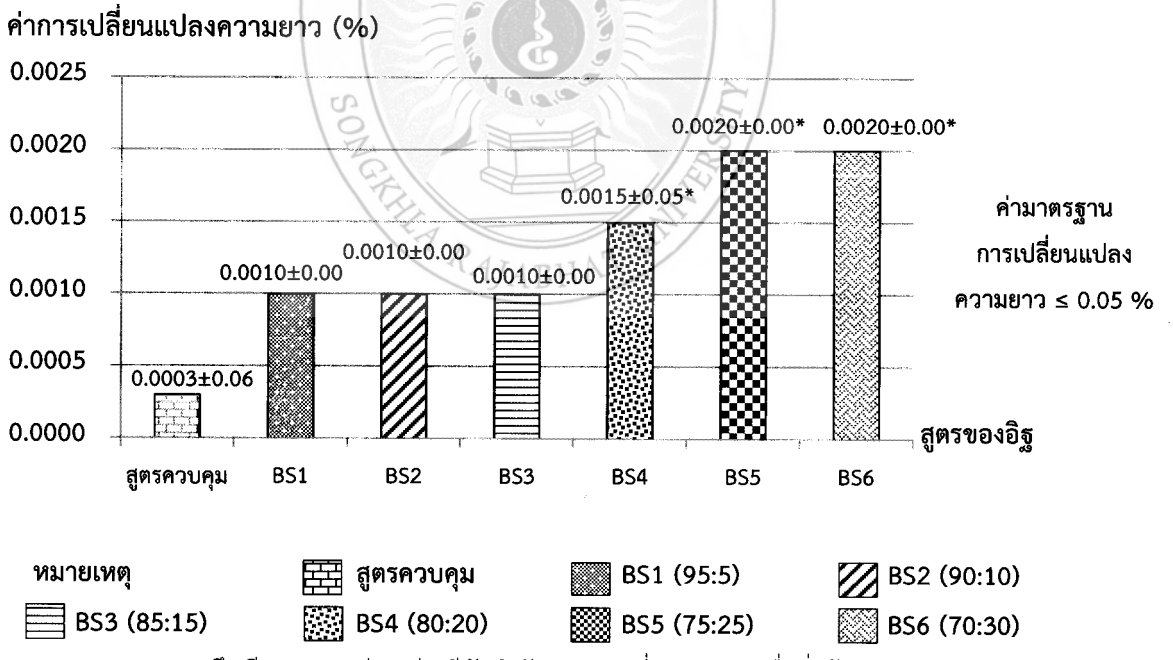


* P-Value หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) กับชุดควบคุม

ภาพที่ 4.2-1 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาว

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปาเพื่อทดแทนดินลูกรัง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยืดหดตัวสูง ผลการศึกษาพบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวเฉลี่ยของอิฐบล็อกจะสูงสุดในสูตร BS6 และ BS5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.0020±0.00 และ 0.0020±0.00 รองลงมาคือสูตร BS4 BS3 BS2 และ BS1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.0015±0.05 0.0010±0.00 0.0010±0.00 และ 0.0010±0.00 ตามลำดับ ดังแสดงใน **ภาพที่ 4.3-1** และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่าทุกสูตรมีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวเพิ่มขึ้นทุกสูตร โดยทุกสูตรแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (**ภาคผนวก ฉ**) ยกเว้น สูตร BS1 BS2 และ BS3 โดยมีแนวโน้มว่าการเพิ่มปริมาณตะกอนดินประปาทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวมีการยืดหดตัวสูง อาจเนื่องจากวัสดุที่นำมาผสมปอซโซลานนั้น ต้องการการบ่มที่นานกว่า เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดได้ช้า ดังนั้นควรบ่มอิฐบล็อกประสานให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตามการบ่มอิฐบล็อกประสานที่นานมากเกินไปจะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการบ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541 พบว่า อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักมีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานทุกสูตรโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

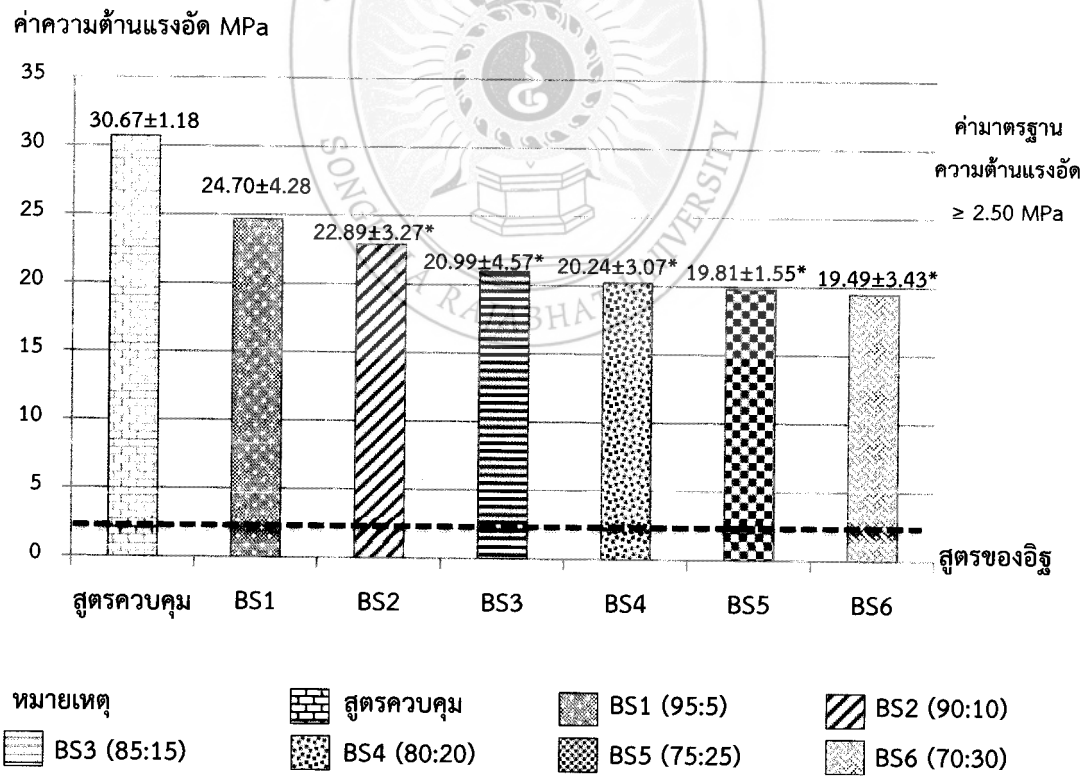


* **P-Value** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) กับชุดควบคุม

ภาพที่ 4.3.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

4.4 ผลการศึกษาความต้านแรงอัด

ผลการศึกษาความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปาเพื่อทดแทนดินลูกรัง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงกระแทกได้สูง ผลการศึกษาพบว่าค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของอิฐบล็อกจะสูงสุดในสูตร BS1 มีค่าเท่ากับ 24.70±4.28 เมกะพาสคัล (MPa) และรองลงมาคือสูตร BS2 BS3 BS4 BS5 และ BS6 มีค่าเท่ากับ 22.89±3.27 20.99±4.57 20.24±3.07 19.81±1.55 และ 19.49±3.43 เมกะพาสคัล (MPa) ตามลำดับดังแสดงใน**ภาพที่ 4.4-1** และทุกสูตรมีความต้านแรงอัดต่ำกว่าสูตรควบคุม โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ยกเว้น สูตร BS1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (**ภาคผนวก ฉ**) เนื่องจากการทดสอบหาความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกในแต่ละอัตราส่วนมีการผสมตะกอนดินประปาเพิ่มขึ้น ทำให้ไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ มีแนวโน้มทำให้ความต้านแรงอัดน้อยลง แสดงให้เห็นว่ากำลังรับความต้านแรงอัดเกิดจากซีเมนต์เป็นตัวสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุทธนา อินต๊ะทอง (2551) เมื่อเปรียบเทียบกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 พบว่าอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักมีทุกสูตรผ่านเกณฑ์มาตรฐาน



* P-Value หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) กับชุดควบคุม

ภาพที่ 4.4.1 ค่าความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

4.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตเบื้องต้น

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินประปาทดแทนดินลูกรังสำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก โดยใช้ตะกอนดินประปาทดแทนดินลูกรัง ในอัตราส่วน 95:5 90:10 85:15 80:20 75:25 และ 70:30 พบว่าสูตร BS1 BS2 BS3 และ BS4 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541 (เฉพาะการเปลี่ยนแปลงความยาว) โดยเมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิตจากค่าวัสดุ พบว่าอิฐบล็อกสูตร BS4 มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด 3.02 บาท/ก้อน และต้นทุนการผลิตสูงสุดในสูตร BS1 3.10 บาท/ก้อน ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.6-1** ซึ่งผู้วิจัยแนะนำให้ใช้อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา จากสูตร BS4 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 ด้านการดูดกลืนน้ำ และความต้านแรงอัด ทั้งยังผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541 ด้านการเปลี่ยนแปลงความยาว น้ำหนักเบา และยังราคาถูกกว่าสูตรควบคุม 0.10 บาท/ก้อน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์ ปริมาณมากจะช่วยประหยัดต้นทุนให้ผู้ผลิตและเป็นการส่งเสริมให้นำของเสียมาใช้ประโยชน์

4.5.1 ต้นทุนการผลิตคงที่

1) ปูนซีเมนต์ ราคาปูนต่อ 1 กิโลกรัม (kg) เท่ากับ 3.18 บาท ใช้ปูนในการผลิตอิฐบล็อกประสานฯ 0.743 กิโลกรัม (kg) ราคาปูนเท่ากับ 2.37 บาท

2) ทราย ราคาทรายต่อ 1 กิโลกรัม (kg) เท่ากับ 0.10 บาท ใช้ทรายในการผลิตอิฐบล็อกประสานฯ 1.114 กิโลกรัม (kg) ราคาทรายเท่ากับ 0.1114 บาท

3) น้ำ ราคาน้ำต่อ 1 ลิตร (L) เท่ากับ 0.007 บาท ใช้น้ำในการผลิตอิฐบล็อกประสานฯ 0.04 ราคาน้ำเท่ากับ 0.02 บาท

4) ค่าไฟฟ้า ต่อก้อน เท่ากับ 0.12 บาท

ราคาวัสดุคงที่ = ราคา ปูน+ทราย+น้ำ+ค่าไฟฟ้า

= 2.37+0.1114+0.02+0.12

ราคาวัสดุคงที่ = 2.62 บาท/ก้อน

ตารางที่ 4.6-1 ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประสานจากการผสมตะกอนดินประปา

สูตร	ส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน	kg/ก้อน	ราคา (บาท)	ราคา/ก้อน	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (บาท)
B0 (ชุดควบคุม)	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.12
	ตะกอนดินประปา (kg)	-	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	3.343	0.15	0.50	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS1	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.10
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.167	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	3.176	0.15	0.48	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS2	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.07
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.334	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	3.009	0.15	0.45	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS3	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.05
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.501	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.842	0.15	0.43	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	

ตารางที่ 4.6-1 ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประสานจากการผสมตะกอนดินประปา (ต่อ)

สูตร	ส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน	kg/ก้อน	ราคา (บาท)	ราคา/ก้อน	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (บาท)
BS4	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.02
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.668	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.675	0.15	0.40	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS5	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.00
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.835	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.508	0.15	0.38	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS6	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.5743	3.18	2.37	2.97
	ตะกอนดินประปา (kg)	1.003	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.340	0.15	0.35	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	

หมายเหตุ - ค่าไฟฟ้า คือ เครื่องอัดอิฐบล็อกใช้มอเตอร์ ขนาด 3 แรงม้า 2.2 kW
กำลังการผลิตเครื่อง 110±10 ก้อน/ชั่วโมง และใช้ไฟฟ้าไปชั่วโมงละ 2.2 หน่วย

- ไฟฟ้าประเภทที่ 2 หน่วยละ 2.98 บาท อ้างอิง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดสงขลา
- น้ำประปา หน่วยละ 14.28 บาท อ้างอิง การประปาส่วนภูมิภาค จังหวัดสงขลา
- ทราย ตันละ 100 บาท
- ดินลูกรัง ตันละ 150 บาท
- ปูนซีเมนต์ ตราช้างสีแดง น้ำหนัก 50 กิโลกรัม/กระสอบ ราคากระสอบละ 159 บาท

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำตะกอนดินประปา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำประปามาทดแทนดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก เนื่องจากตะกอนดินประปามีองค์ประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสาน โดยมีอัตราส่วนของอิฐบล็อกที่ใช้ศึกษา คือ ปูนซีเมนต์:ทราย:ดินลูกรัง 1:1.5:4.5 กำหนดอัตราส่วน มีสูตรควบคุม 1 สูตร คือ B0 (100:0) เป็นสูตรที่ไม่เติมตะกอนดินประปา และอัตราส่วนของดินลูกรังต่อตะกอนดินประปา คือ BS1 (95:5) BS2 (90:10) BS3 (85:15) BS4 (80:20) BS5 (75:25) และ BS6 (70:30) โดยทำการทดสอบสมบัติด้านลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านแรงอัด สำหรับผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

จากผลการศึกษา พบว่า มี 4 สูตร ที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 และมาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม 1505/2541 คือ BS1 BS2 BS3 และ BS4 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับ 186.67±24.09 192.00±0.00 197.33±31.46 และ 202.67±26.13 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่มตะกอนดินประปาทำให้การดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละเท่ากับ 0.0010±0.00 0.0010±0.00 0.0010±0.00 และ 0.0015±0.05 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่มตะกอนดินประปาทำให้การเปลี่ยนแปลงความยาวเพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงอัดเท่ากับ 24.70±4.28 22.89±3.27 20.99±4.57 และ 20.24±3.07 เมกะพาสคัล (MPa) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่มตะกอนดินประปา ทำให้ค่าความต้านแรงอัดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบด้วยสถิติแบบ T-test โดยนำ BS3 BS4 เปรียบเทียบสูตรควบคุม พบว่า BS3 ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมแต่ BS4 แตกต่างจากชุดควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) แนะนำให้ใช้สูตร BS3 ดีที่สุด เพราะลดการใช้ปริมาณดินลูกรัง น้ำหนักของอิฐบล็อกประสานลดน้อยลงและยังมีราคาต้นทุนการผลิตต่ำ 0.07 บาทต่อก้อน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์ปริมาณมาก สามารถประหยัดต้นทุนให้ผู้ผลิตและเป็นการส่งเสริมให้นำของเสียมาใช้ประโยชน์

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะการศึกษาครั้งต่อไป ดังนี้

5.2.1 ควรศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการเปลี่ยนแปลงความยาว

5.2.2 ควรมีการศึกษาวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์

5.2.3 ควรมีการศึกษาการใช้ตะกอนดินประปาในแนวทางต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ). 2500. **ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค.** (ออนไลน์). https://www.pwa.co.th/contents/service/treatment, 07 พฤษภาคม 2560

เกียรติสุดา สมนา. 2555. เรื่องการใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุประสาน. **วารสารคอนกรีต**. 14(1): 11-29.

ชาคริส วราหะ. 2555. **อิฐบล็อกประสาน**. (ออนไลน์). http://110m.blogspot.com/, 28 พฤษภาคม 2560.

ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ์. 2555. **การทำวิจัยการใช้ตะกอนจากการผลิตน้ำประปาให้เป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ.** (ออนไลน์). http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=469, 05 มิถุนายน 2560

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2560. **สลัดจ์** (ออนไลน์). https://dict.longdo.com/search/สลัดจ์#top, 12 สิงหาคม 2560.

ณิชาดา ฉัตรสถาปตยกุล, มณฑล วังเวียง และ ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. 2555. **ความเป็นไปได้ของการใช้กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปารวมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน**. คณะสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย, อาทิตย์ ปัณณราช และ ณัฐพร เอมเจริญ. 2556. **การศึกษาคณุสมบัติทางด้านกำลังของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา.** สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ปิยนุช ม่วงทอง, ธีรินทร์ คงพันธุ์ และ บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์. 2557 **อิทธิพลของวัสดุปอซโซลานประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์**. รายงานการวิจัยปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

พิมพ์ศิลป์ จันทร์ประเสริฐ. 2556. **การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ยุทธนา อินต๊ะทอง, วัลลภ เพ็งเอี่ยม และ สมภพ สิงหบุตร. 2551. **การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดของตะกอนประปาเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์.** สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ตาก.

วชิรวิทย์ สาราญรมย์. 2553. **สมบัติเชิงกลและความทนทานของซีเมนต์มอร์ต้าร์ผสม ผงหินปูนและเถ้าแกลบดำบด**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิมัณฑนา ถนอมกิจนุรักษ์. 2556. **การปรับปรุงกำลังของจีโอโพลิเมอร์ด้วยตะกอนดินจากระบบผลิตน้ำ**. สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษณุกร สมิงทอง. 2556 **เรื่องอิทธิพลของสภาวะเปียกสลัลด์แห้งต่อกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.** สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2542. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน 602/2547**

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2542. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. มอก. 1505-2541**

อลิสรา คูประสิทธิ์. 2554. **การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ.** (ออนไลน์). http://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=1042, 18 พฤษภาคม 60.

อัซรี ตือเงาะ และ ฮาฟีส สะและ. 2557 **การนำตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำมาทดแทนดินลูกรังเพื่อผลิตอิฐบล็อกประสาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).** สาขาวิศวกรรมโยธา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภาคผนวก ก

โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

โครงร่างวิจัยวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

1. **ชื่อโครงการ** การศึกษาความเป็นไปได้ในตะกอนดินประปามาทดแทนดินลูกรังสำหรับผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก
   The Feasibility Study of Using Sludge from Tap Water to Substitute Lateritic Soil for Non-Load-Bearing Brick Block
2. **สาขาวิชา** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
3. **ชื่อผู้วิจัย** นายชาญวิทย์ ชุ่มชื่น รหัสนักศึกษา 544291008
   นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

   นายรอซูล สุวรรณนะ รหัสนักศึกษา 544291029
   นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
4. **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง**

   อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์นัดดา โปดำ
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

   อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

5. ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) ปัจจุบันมีโรงกรองทั้งหมด 4 โรงกรอง ใช้น้ำดิบจากคลองอู่ตะเภา สามารถผลิตและจ่ายน้ำได้ทั้งสิ้นประมาณ 150,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งในกระบวนการผลิตจะนำน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภามาผ่านกระบวนการรวมตะกอนให้มีขนาดใหญ่ แล้วจึงนำไปตกตะตอน (sedimentation) หลังจากนั้นจะแยกส่วนของตะกอนดินประปาประปาออก จากน้ำที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกรอง ซึ่งการประปาส่วนภูมิภาคสาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) มีตะกอนดินประปาที่เหลือจากถังตกตะกอนประมาณ 4-5 ตัน/สัปดาห์ บางส่วนของตะกอนดิน ประปาที่เกิดขึ้นมีการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น นำมาผลิตเป็นเครื่องปันดินเผา นำไปถมที่ นำไปเป็นปุ๋ย สวนปาล์ม เป็นต้น ทั้งนี้จากแนวโน้มปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการ ขยายตัวของเศรษฐกิจและปริมาณประชากรที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีตะกอนดินประปาเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่, 2560)

จากข้อมูลการศึกษาวิจัยพบว่าตะกอนดินประปามีปริมาณ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) สูงสุด ประมาณร้อยละ 40-70 (วิษณุกร สมิงทอง, 2556 และเกียรติสุดา สมนา, 2555) รองลงมาเป็น อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณร้อยละ 20-40 (พิมศิลป์ จันทร์ประเสริฐ, 2556 ; วิมัณฑนา ถนอมกิจนุรักษ์, 2556 และนายอัซรี ตือเงาะ, 2557) ซึ่งซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียม ออกไซด์ (Al_2O_3) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH2)) โดยที่ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา ปอซโซลานของซิลิกอนไดออกไซด์ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2\ 3H_2O$) ในขณะที่ ปฏิกิริยาปอซโซลานของอะลูมินาออกไซด์ ได้แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2O_3\ 3H_2O$) สามารถเพิ่มความแข็งแรงและยังช่วยลดน้ำหนักของอิฐบล็อกจากการศึกษาพบว่า การทดสอบทำให้ ทราบว่ายิ่งเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของตะกอนประปายิ่งทำให้รับแรงอัดได้น้อย แต่มีข้อสังเกตว่ายิ่งตะกอน ประปามากเท่าไรน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก็จะเบาลง (ยุทธนา อินต๊ะทอง, 2551) ผลการศึกษาที่ได้ทำ ให้ทราบว่ากากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในงานก่อและฉาบได้ และการใช้กากตะกอนในอิฐประสานที่ร้อยละ 10-30 มีความเป็นไปได้อย่างมากในการนำไปใช้จริง (ณิชาดา ฉัตรสถาปตยกุล และคณะ, 2555)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำตะกอนดินประปา ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 42.92% และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 21.35% ที่มีคุณสมบัติ เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน (อัซรี ตือเงาะ และคณะ, 2557) มาเป็นวัสดุทดแทนดิน ลูกรังในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 และเป็นการเสริมแนวความคิดในการดึงประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติมาให้ใช้คุ้มค่า มากที่สุด

6. วัตถุประสงค์

6.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนดินประปาต่อดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

6.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปากับสูตรควบคุม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547

7. สมมติฐาน

ตะกอนดินประปาผสมดินลูกรังสามารถนำมาผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547

8. ตัวแปร

ตัวแปรต้น : อัตราส่วนของตะกอนดินประปาต่อดินลูกรัง

ตัวแปรตาม : ลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านแรงอัด

ตัวแปรควบคุม : ปูนซีเมนต์ และน้ำ

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนดินประปาต่อดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้

9.2 เป็นการนำตะกอนดินประปาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของน้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้

9.3 เป็นแนวทางให้ผู้ผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความแข็งแรง และลดต้นทุนการผลิตได้

10. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

10.1 กลุ่มตัวอย่าง

ตะกอนดินประปาที่ผ่านการรีด

10.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

10.2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างตะกอนดินประปา

ได้รับความอนุเคราะห์ จากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) 243 ถ.พลพิชัย ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

10.1.2 พื้นที่อัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

ได้รับความอนุเคราะห์จาก นายมนัส หมัดสมาน ร้านหาดใหญ่แซนบล็อก ตำบลคลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

10.1.3 พื้นที่ทดสอบประสิทธิภาพ

ลักษณะทั่วไป การดูดกลืนน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความยาว ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ความต้านแรงอัด ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

11. คำนิยามหรือศัพท์เฉพาะ

11.1 ตะกอนดินประปา (sludge from tap water) หมายถึง ของแข็งที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสียและจมสะสมตัวอยู่เบื้องล่าง ของแข็งซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมีและตกตะกอน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2560)

11.2 อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐบล็อกประสาน. 602/2547, 2547)

11.3 อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร ซึ่งมีส่วนผสมของตะกอนดินประปา

11.4 เครื่องอัดแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อม หมายถึง แท่นพิมพ์อัดอิฐไฮดรอลิค กำลังผลิตอิฐขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร บล็อกพื้นตัวหนอน ผลิตได้ครั้งละ 2 ก้อน/ครั้ง 1,000-1,500 ก้อน/8 ชั่วโมง

12. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

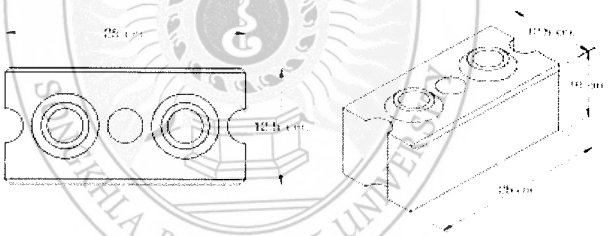
12.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

อิฐบล็อกประสาน*ชนิด*ไม่รับน้ำหนัก คือ วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม จะได้อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีความแข็งแกร่ง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ

2.1.1 อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non-Load Inter locking Brick)

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก เป็นอิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักแบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน คือ

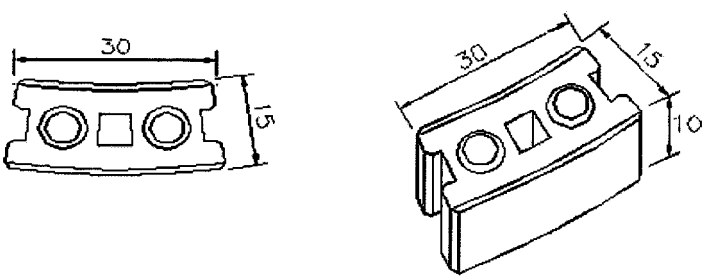
1) บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร (**ภาพที่** 2.1-1)



ภาพที่ 2.1-1 บล็อกตรงหรืออิฐบล็อกประสานสี่เหลี่ยม ขนาดเต็มก้อน 12.5x25x10 เซนติเมตร

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2) บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ (**ภาพที่** 2.1-2)



ภาพที่ 2.1-2 อิฐบล็อกประสานโค้งขนาด 15 x 30 x 10 เซนติเมตร

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2.1.2 เครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

เครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) เครื่องอัดด้วยแรงคน เป็นเครื่องอัดแบบใช้แรงคนโดยการโยกอัดดิน ด้วยหลักการทดแทนแรงแบบคานงัดคานดีด ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.1-3** สามารถผลิตได้ประมาณวันละ 400-800 ก้อน ขึ้นอยู่กับจำนวนแรงคนและความชำนาญ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมชุมชน

ภาพที่ 2.1-3 เครื่องอัดบล็อกประสานเครื่องอัดด้วยแรงคน

ที่มา. ชาคริส วราหะ (2555)

2) เครื่องอัดแบบอุตสาหกรรม เป็นเครื่องอัดแบบใช้มอเตอร์เป็นตัวขับน้ำมันสร้างแรงดันในท่อไฮดรอลิก ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.1-4** สามารถผลิตได้ประมาณวันละ 1,000-4,000 ก้อน ในการกดอัด 1 ครั้ง จะสามารถอัดได้ 2-4 ก้อน นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อม

ภาพที่ 2.1-4 เครื่องอัดอิฐประสานแบบไฮดรอลิก

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

สำหรับวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักเพื่อการค้า วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมควรมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร (mm) ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น และทราย โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวม

สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282; 2015) มีฝุ่นดินไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ส่วนปูนซีเมนต์สำหรับงานบล็อกประสานใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปูนโครงสร้าง) จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแกร่ง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี โดยส่วนผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสมควรทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1:6 ถึง 1:7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก (อลิสรา คูประสิทธ์, 2554) ได้แก่

12.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง หมายถึง ดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมในปริมาณที่สูงอันเป็นผลมาจากการเกิดกระบวนการ Laterization ของดินดังกล่าวมีคุณสมบัติที่แข็งตัวได้เองและมีเม็ดลูกรังหรือเม็ดกรวดประเภท ศิลาแลงหรือหินกรวดทรายขาวผสมปนอยู่

ประเทศไทยมีอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีฤดูร้อนและฤดูฝนสลับกันเป็นระยะเวลายาวนาน เหมาะแก่การก่อกำเนิดดินลูกรังเป็นอย่างยิ่งจะพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือ หินต้นกำเนิดดินลูกรังส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินบะซอลท์และหินดินดานมักพบในลักษณะของกรวด ทราย ดินตะกอน และดินเหนียวที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูง ลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันผสมกองเป็น คลังสินค้า (Stockpile) อันประกอบไปด้วยดินตะกอนและดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ปริมาณสูงผสมรวมอยู่กับเม็ดลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ดินลูกรังที่เกิดขึ้นเป็นก้อนใหญ่หรือเป็นพืดแข็งติดต่อกัน จะไม่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทางหลวง สภาวะที่เหมาะสมที่จะก่อให้เกิดดินลูกรังในประเทศไทย ได้แก่ สภาวะแร่เหล็กหรืออลูมินัมที่สะสมในปริมาณสูงอย่างน้อยร้อยละ 1-2 สภาวะที่ดินมีการระบายน้ำดี สภาวะที่มีออกซิเจนในน้ำใต้ดินสูง และสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรด รวมทั้งสภาวะที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่จะก่อให้เกิดการชะล้างในดินได้ดี ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอาจจะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุด การที่ดินลูกรังได้ตากแดดจะทำให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศ วงจรเปียกสลับกับแห้งจะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปในเม็ดลูกรังและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้ดินลูกรังแข็งแรงมากซึ่งดินลูกรังในประเทศไทยมีปริมาณเหล็กออกไซด์และอลูมินัมค่อนข้างสูง (ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย,.2556)

12.3 หินฝุ่น

หินฝุ่น หมายถึง หินปูนบดหยาบๆ เป็นผลพลอยได้จากการโม่หินปูน มีองค์ประกอบหลากหลายขึ้นอยู่กับแหล่งของหินว่ามีสิ่งเจือปนมากน้อยเท่าใด ในการศึกษาตัวอย่างหินฝุ่นจากโรงโม่หิน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พบว่ามีองค์ประกอบสำคัญ คือ แคลเซียมประมาณร้อยละ 30–35 แมกนีเซียมประมาณร้อยละ 3–5 และธาตุอื่นๆ ปะปนในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ ฟอสฟอรัส กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

12.4 ทราย

ทราย หมายถึง หินแข็งที่แตกแยกออกมาจากก้อนหินใหญ่ โดยทรายจะแยกตัวออกมาได้เองตามธรรมชาติ ทรายมีขนาดระหว่าง 1/12 นิ้วถึง 1/400 นิ้ว ถ้ามีขนาดเล็กกว่าจะมีสภาพเป็นฝุ่นทราย จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์หรือหินบะซอลต์ ทรายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ทรายบก และทรายแม่น้ำ

12.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็น 5 ประเภท คือ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (normal portland cement) ใช้สำหรับลักษณะงานธรรมดาที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว

2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modifird portland cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการลดอุณหภูมิ เนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง งานคอนกรีตเหลาหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินหนาๆ หรือท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ๆ ตอหม้อ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความแข็งแรงสูง (high-early-strength-portland Cement) ปูนซีเมนต์ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีประโยชน์สำหรับคอนกรีตที่จะต้องใช้งานเร็วหรือรื้อแบบได้เร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น และคานที่ต้องถอนแบบเร็ว เป็นต้น ได้แก่ ปูนตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ (low-heat portland cement) สามารถลดปริมาณความร้อนเนื่องจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งจะสามารถลดการขยายตัวและหดตัวของคอนกรีตภายหลังการแข็งตัว ใช้มากในงานก่อสร้างเขื่อน เนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่างานชนิดอื่น ไม่เหมาะสำหรับงานโครงสร้างทั่วไปเพราะแข็งตัวช้า

5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัลเฟตได้สูง (sulfate-resistant portland cement) ใช้ในบริเวณที่น้ำหรือดินมีค่าความด่างสูง มีระยะการแข็งตัวช้า และมีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 ชนิด คือ CaO SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในสัดส่วนที่พอเหมาะ แต่เนื่องจากไม่สามารถหาวัตถุดิบที่มีสารประกอบดังกล่าวในสัดส่วนที่เหมาะสมได้ จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบมากกว่าหนึ่งชนิด มาผสมรวมกันในปริมาณที่ต่างกัน เพื่อให้ได้สัดส่วนรวมของออกไซด์ตามที่ต้องการ (วชิรวิทย์ สาราญรมย์, 2553)

12.6 อิฐบล็อกประสาน

12.6.1 อิฐบล็อกประสาน

อิฐบล็อกประสาน หมายถึง อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรังผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่น ทราย กวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่อง และเดือย อัดเป็นก้อน แล้วบ่มให้แข็งตัว

(1) อิฐบล็อกประสาน ชนิดรับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้เช่น ก่อเสา ก่อผนัง

(2) อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

คุณลักษณะที่ต้องการ

(1) ลักษณะทั่วไป ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

(2) มิติ ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร (mm)

(3) การดูดกลืนน้ำ (เฉพาะชนิดรับน้ำหนัก) ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 การดูดกลืนน้ำ

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้งกิโลกรัม	การดูดกลืนน้ำสูงสุดเฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อนกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
1680 และ น้อยกว่า	288
1681 ถึง 1760	272
1761 ถึง 1840	256
1841 ถึง 1920	240
1921 ถึง 2000	224
มากกว่า 2000	208

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (2547)

(4) การเปลี่ยนแปลงความยาว

อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.050 (มาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม 1505/2541)

(5) ค่ามาตรฐานความต้านแรงอัด

ตารางที่ 1 ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดต่ำสุด (เมกะพาสคัล) เฉลี่ยจากพื้นที่รวม	
อิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก	**อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก**
7.0 เมกะพาลคัส	2.5 เมกะพาลคัส

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (2547)

12.7 วัสดุปอซโซลาน

สารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือวัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินา มีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลยแต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทาปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้าที่อุณหภูมิปกติ ร่วมกับความชื้น ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน นั่นคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เพิ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) (ปิยนุช ม่วงทอง และคณะ,2557)

ปฏิกิริยาปอซโซลานิก เกิดจากการทำปฏิกิริยาของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) โดยที่ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาปอซโซลานของซิลิกอนไดออกไซด์ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ในขณะที่ปฏิกิริยาปอซโซลานของอะลูมินาออกไซด์ ได้แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ดังสมการดังนี้

$$2SiO_2+3Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} 3CaO.2SiO_2 .3H_2O$$

$$2Al_2O_3 +3Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} 3CaO. 2Al_2O_3. .3H_2O$$

12.8 ตะกอนดินประปา

12.8.1 คุณสมบัติของตะกอนดินประปา มีดังนี้

1) ลักษณะทั่วไปของดินตะกอนประปาจะมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดินเหนียวเปียกชื้น เมื่อตากให้แห้งมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดิน เนื้อตะกอนมีความสม่ำเสมอค่อนข้างสูงเป็นดินตะกอนดินเหนียวผสมทรายแป้ง (silty clay sediments)

2) ตะกอนสามารถยึดตัวได้แน่นมากเมื่อชื้นและเหนียวปานกลางถึงเหนียวมากเมื่อเปียกและมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างได้มาก แสดงถึงการมีแรงยึดภายในระดับดีทำให้มีศักยภาพในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งต้องการการเกาะตัวหรือตัวกันเพื่อการขึ้นรูปของงานปั้น

3) ตะกอนมีธาตุอาหารพืชโดยทั่วไปอยู่ในระดับปานกลางถึงดีไม่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ทางการเกษตรและการมีอินทรียวัตถุปริมาณสูง ทำให้มีศักยภาพในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม

4) ตะกอนมีความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงและมีธาตุอาหารรองซึ่งเป็นไอออนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงเป็นส่วนใหญ่ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

5) ตะกอนจะมีไอออนส่วนเกินหลงเหลืออยู่โดยเฉพาะอะลูมิเนียมไอออนและอนุมูลคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลมาจากสารที่เติมลงในน้ำดิบเพื่อการตกตะตอนรวดเร็วขึ้น

12.8.2 การจัดการตัวอย่างตะกอนดินประปาในปันจุบัน

ตะกอนดินที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา มีการจำกัดตะกอนดินที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่จะนำไปถมที่หรือสามารถนำตะกอนดินมาเป็นวัตถุดินโดยใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักกระถางสำหรับปลูกพืช เซรามิค การผลิตเครื่องปั้นดินเผา อิฐ เป็นต้น

12.8.3 การใช้ประโยชน์ของดินตะกอนประปาในปัจจุบัน

ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปานี้สามารถทำประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้ 3 ลักษณะ คือ

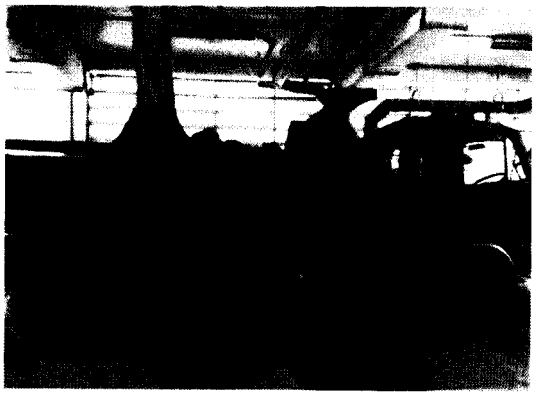
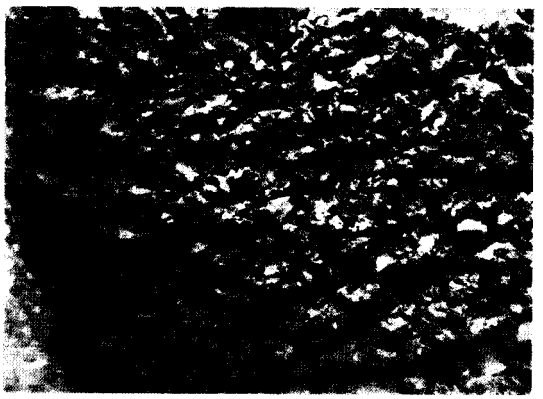
1) ปรุงแต่งด้วยอินทรีย์สารหรือปุ๋ยในกลุ่มปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มปริมาณกากใย (fiber) และแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช กลายเป็นดินวิทยาศาสตร์ที่มีความต้องการของตลาด โดยเฉพาะตลาดปลูกไม้ดอกไม้ประดับ

2) นำมาเป็นสารเติมแต่งในการปรับปรุงของเสีย (waste) หรือของเสียจากชุมชนหรือโรงงานน้ำตาล เนื่องจากกากของเสียที่ผ่านการบำบัดของน้ำเสียชุมชนหรือโรงงานน้ำตาล จะมีปริมาณสารอินทรีย์สูงเกินไป และบางครั้งส่งกลิ่นเหม็น เนื่องจากผ่านขบวนการหมักที่ไม่สมบูรณ์ การนำกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปามารวมกับกากของเสียจากชุมชนหรือโรงงานน้ำตาล จึงเป็นอีกทางเลือก

3) คุณสมบัติของตะกอนดินที่ขาดสารกลุ่มกากใย (fiber) และขาดสารอินทรีย์ จึงมีความเหมาะสม ในการนำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา ตะกอนดินประปามีปริมาณของมวลสารอลูมิเนียมผสมอยู่ เครื่องปั้นดินเผาที่ได้ก็จะมีความเฉพาะตัวของมันเอง ซึ่งไม่เหมือนการทำเครื่องปั้นดินเผาจากที่อื่นๆ (ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ์, 2555)

12.8.4 ตัวอย่างตะกอนดินประปาจากประปาหาดใหญ่

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) สามารถผลิตน้ำประปาได้ 194,400 ลูกบาศก์เมตร/วัน และสิ่งที่ตามมาหลังจากการกระบวนผลิตน้ำประปาคือตะกอนดินประปาที่เหลือทิ้งวันละ 1 ตัน/วัน

ภาพที่ 12.4-1 ตะกอนดินประปา

12.8.5 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาและระบบกำจัดตะกอนประปา

ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

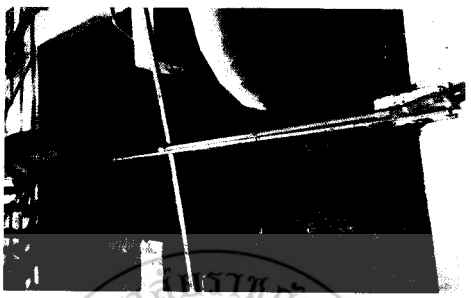
1) การสูบน้ำ

การผลิตน้ำประปาเริ่มจากการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งจะมีการตรวจสอบวิเคราะห์ และควบคุมคุณภาพของน้ำดิบอย่างสม่ำเสมอ

ภาพที่ 2.1-10 การสูบน้ำ

2) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

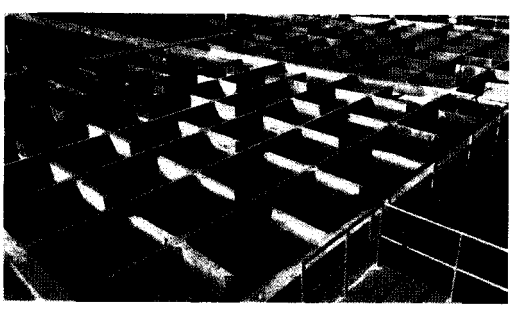
น้ำดิบจากการสูบน้ำจะถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอนจะมีการเติมสารเคมี คือ สารส้มและปูนขาว การเติมปูนขาวเพื่อปรับความเป็นด่างในน้ำดิบช่วยให้สารส้มทำปฏิกิริยาดีขึ้น หรือบางทีมีการเติมคลอรีนในขั้นแรก เรียกว่า การเติมคลอรีนก่อนบำบัด (Pre-chlorination) เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะปนเปื้อนมากับน้ำในขั้นตอนเบื้องต้น



ภาพที่ 2.1-11 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

3) การตกตะกอน

เมื่อเติมสารส้มและปูนขาวแล้ว น้ำดิบจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (Clarifier) ในขั้นตอนนี้สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำจับเป็นก้อนเล็กๆ แล้วค่อยๆ มีขนาดโตขึ้นตกลงสู่ก้นถัง เหลือแต่น้ำใสไหลไปยังบ่อกรอง (Filter) ความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนจะมีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 หน่วยความขุ่น (Nephelometric Turbidity Unit, NTU) นอกจากนี้ยังมีการเติมสารส้มในท่อแยกเข้าสู่ถังตกตะกอนในอัตราส่วนที่เหมาะพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล ซึ่งฤดูน้ำหลากที่น้ำดิบมีความขุ่นสูงอาจจะมีการเติมสารช่วยเร่งการตกตะกอน (Poly-electrolyte) อีกด้วย ซึ่งตะกอนดินที่เกิดจากการผลิตน้ำประปาจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้



ภาพที่ 2.1-12 การตกตะกอน

4) การกรอง

น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะไหลมายังบ่อกรองน้ำ ซึ่งมีผงถ่านแอนทราไซด์ (Anthracite) และทรายเป็นสารกรอง มีหัวกรอง (Filter nozzle) เพื่อกรองตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะใสมาก มีความขุ่นไม่เกิน 2 หน่วยความขุ่น ถังกรองที่ใช้เป็นแบบชนิดกรองเร็ว เมื่อใช้งานได้ประมาณ 48 ชั่วโมง จะต้องมีการล้างกลับ (Back wash) โดยการพ่นลมและน้ำขึ้นมาจากใต้บ่อกรอง เพื่อให้ทรายขยายตัวและให้ตะกอนที่อยู่ติดหน้าผิวทรายไหลตามน้ำออก ใช้เวลาในการล้างประมาณ 15 นาทีต่อบ่อ

ภาพที่ 2.1-13 การกรอง

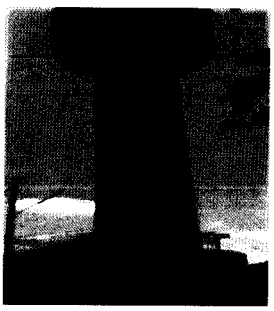
5) การฆ่าเชื้อโรค

น้ำที่ได้นี้อาจยังมีแบคทีเรียหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการฆ่าเชื้อโรคเพื่อให้มีความปลอดภัยต่อการบริโภค ตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) โดยจะเติมคลอรีนเป็นการฆ่าเชื้อโรค (Post-chlorination) ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด และจะทำลายสารอินทรีย์ ที่สำคัญยังมีคลอรีนลงเหลือ (Free residual chlorine) ติดไปกับน้ำ เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนเข้ามาภายหลังได้ จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจากนักวิทยาศาสตร์และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาดปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

ภาพที่ 2.1-14 การฆ่าเชื้อโรค

6) การสูบจ่ายน้ำประปา

น้ำประปาที่ผลิตได้จะถูกสูบส่งเข้าอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำขนาดใหญ่ไปยังสถานีสูบน้ำตามย่านชุมชนต่างๆ แล้วสูบจ่ายเข้าเส้นท่อหลักและเส้นท่อจ่ายน้ำ เพื่อบริการประชาชนต่อไป



ภาพที่ 2.1-15 การสูบจ่ายน้ำประปา

7) การควบคุมคุณภาพน้ำ

น้ำจากคลองส่งน้ำดิบ น้ำในระบบผลิตน้ำประปาในระบบจ่าย จะได้รับการตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพโดยละเอียดถี่ถ้วนอย่างสม่ำเสมอจากนักวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะมาตรฐานด้านกายภาพ เคมี และปริมาณแบคทีเรีย เพื่อควบคุมให้ได้มาตรฐานน้ำประปาก่อนที่จะสูบจ่ายบริการประชาชน นอกจากนี้มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบเส้นท่อประปาตามจุดต่างๆ ภายในเขตบริการตลอดเวลา หากพบว่ามีข้อบกพร่องหรือคุณภาพน้ำตอนไหนเปลี่ยนไป จะได้ทำการตรวจสอบหาสาเหตุและแก้ไขทันที

ภาพที่ 2.1-16 การควบคุมคุณภาพน้ำ

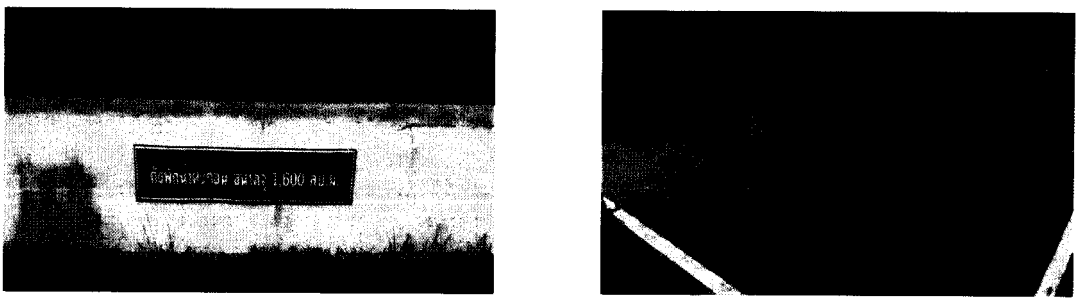
ระบบกำจัดตะกอนประปา

ระบบกำจัดตะกอนประปา (Sludge treatment) ประกอบด้วย

1) ถังควบคุมสมดุลตะกอนประปา (Sludge balancing tank)

ถังคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 2 ชุด ติดตั้งอยู่ต่ำกว่าระดับดิน ซึ่งจะรับน้ำตะกอน (Sludge) ที่เกิดขึ้นจากระบบถังตกตะกอน (Clarifier) ในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ตะกอนที่รวบรวมได้ภายในบ่อจะถูกสูบผ่านเครื่องสูบตะกอนแบบหอยโข่ง (Centrifugal submersible pump) สู่ถังเพิ่มความข้นตะกอน (Sludge thickener tank) ต่อไป โดยเครื่องสูบตะกอนจะทำงานโดยอัตโนมัติควบคุมระดับตะกอน โดยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ (SCADA) จากห้องควบคุม



ภาพที่ 2.1-17 ถังควบคุมสมดุลตะกอนประปา (Sludge balancing tank)

2) ถังปรับปรุงน้ำล้างย้อน (Water recovery tank)

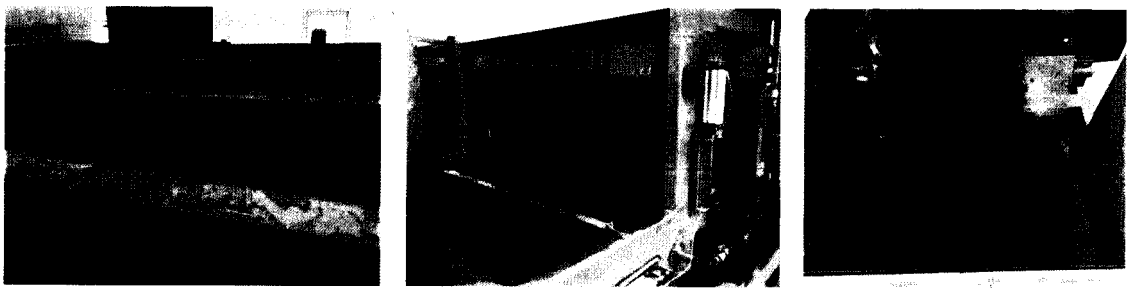
โครงสร้างถังคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 2 ชุด ซึ่งจะรับน้ำและตะกอนที่ได้จากการล้างย้อน (Back wash) ของระบบกรอง ที่ส่วนนี้จะมีน้ำใสส่วนหนึ่งซึ่งถูกแยกออกจากตะกอนจะถูกสูบกลับเข้าสู่ระบบผลิตเพื่อเป็นการนำน้ำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ซึ่งเรียกว่า "Recovery water" ส่วนตะกอนที่ข้นขึ้นจะถูกสูบผ่านเครื่องสูบตะกอนสู่ถังเพิ่มความข้นตะกอน (Sludge thickener tank) เช่นกัน ซึ่งการทำงานของเครื่องสูบตะกอนทั้งหมดจะทำงานโดยอัตโนมัติควบคุมโดยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ (SCADA) จากห้องควบคุม

ภาพที่ 2.1-18 ถังปรับปรุงน้ำล้างย้อน (Water recovery tank)

3) ระบบรีดน้ำตะกอนประปา (Dewatering unit)

ระบบขั้นสุดท้ายในการรีดน้ำออกจากตะกอนประปา (Sludge) เพื่อทำให้ตะกอนมีความแห้งมากที่สุดอีกทั้งเป็นการนำน้ำที่รีดได้ (Recovery water) กลับมาผลิตใหม่ ระบบประกอบด้วยชุดเครื่องจักรรีดตะกอนแบบแผ่นผ้า (Belt press) จำนวน 2 เครื่อง ทำหน้าที่รีดน้ำออกจากตะกอนโดยปล่อยให้ตะกอนผ่านแผ่นกรอง (Belt) ขนาดยาวซึ่งม้วนไปมาภายในเครื่อง

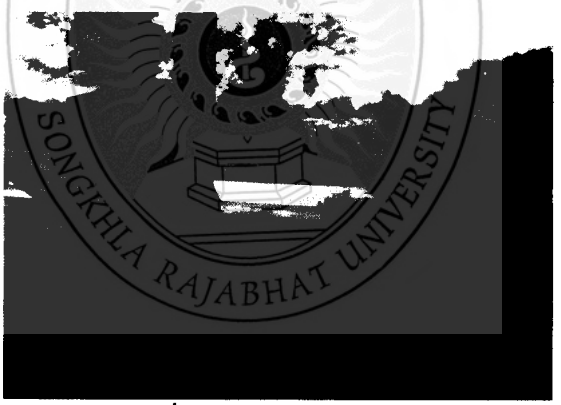
การทำงานของเครื่องจักรรีดตะกอนนี้จะทำงานโดยอัตโนมัติ ควบคุมโดยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ (SCADA) เช่นเดียวกัน (อัชรี ตือเงาะ และคณะ, 2557)



ภาพที่ 2.1-19 ระบบรีดน้ำตะกอนประปา (Dewatering unit)

12.9 ขั้นตอนการทำบล็อกประสาน

(1) เตรียมวัตถุดิบ ถ้าดินมีความชื้นมากควรนำไปตากให้แห้งและกองเก็บวัตถุดิบในที่ร่มให้มากเพียงพอที่จะทำการผลิตตลอดเวลา หากดินเป็นก้อนหรือมีมวลหยาบน้อย ควรร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 – 4 mm ไม่ควรใช้ตาละเอียดมากเกินไป เพราะจะทำให้ได้แต่เนื้อฝุ่นดิน ทำให้ก้อนบล็อกไม่มีความแข็งแรง ถ้าเนื้อดินมีก้อนใหญ่หรือมวลหยาบมากควรใช้เครื่องบดร่อนแล้วกองเก็บในที่ร่มเพื่อรอผลิต **ดังแสดงในภาพที่** 12.6-1



ภาพที่ 12.6-1 การเตรียมดิน

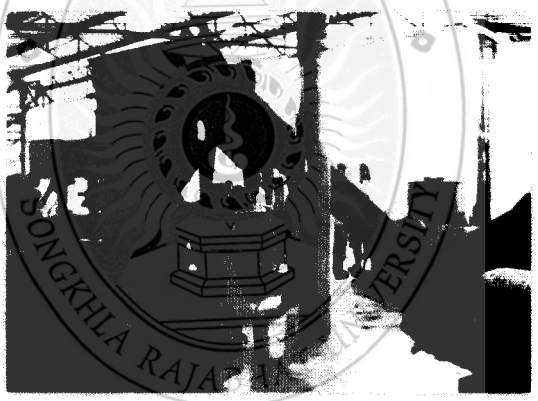
ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

(2) ในการผสม ควรผสมดินแห้งหรือมวลรวมกับซีเมนต์ให้เข้ากันก่อนแล้วค่อยๆเติมน้ำโดยใช้ฝักบัวหรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้าง น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาดใช้ผสมหลังจากผสมดินและซีเมนต์เข้ากันแล้วในปริมาณที่พอเหมาะ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ดีที่สุด **ดังแสดงในภาพที่ 12.6-2**

ภาพที่ 12.6-2 การผสมดิน

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

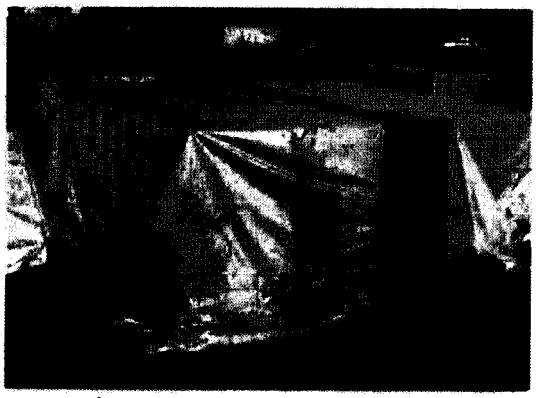
(3) หลังจากนั้นจึงนำดินที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัด โดยตวงวัดหน่วยเป็นน้ำหนักเติมส่วนผสมลงในแบบอัดโดยใช้น้ำหนักมากที่สุดที่สามารถทำงานได้สะดวก ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที.หลังจากผสมน้ำ เพื่อป้องกันปูนก่อตัวก่อนอัดขึ้นรูป**ดังแสดงในภาพที่ 12.6-3**



ภาพที่ 12.6-3 การอัดอิฐด้วยเครื่องอิฐประสานแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อม

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

(4) บล็อกประสานที่อัดเป็นก้อนแล้วควรผึ่งในที่ร่มอย่างน้อย 1 วันจึงเริ่มบ่มจนอายุครบ 7 วัน **ดังแสดงในภาพที่ 12.6-4**



ภาพที่ 12.6-4 การบ่มอิฐบล็อกประสาน

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

(5) วิธีการบ่ม หลังจากนำบล็อกออกจากเครื่องอัดแล้วนำมาจัดเรียงในที่ร่ม จนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มโดยการรดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่ม แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออก ทิ้งไว้จนมีอายุครบ 14 วันจนมีความแข็งแรงพร้อมส่งออกจำหน่ายหรือใช้งานได้ ไม่ควรเคลื่อนย้ายก่อนกำหนดเพราะจะทำให้ก้อนบิ่น หรือเกิดการแตกร้าวได้ง่ายการบ่มไม่ควรให้น้ำมากเกินเพราะอาจทำให้มีปัญหาคราบขาวได้ ควรบ่มด้วยปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ คือเพียงแค่ให้มีความชื้นก็เพียงพอ

12.10 งานวิจัย

ยุทธนา อินต๊ะทอง (2551) การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดของตะกอนประปาเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำตะกอนประปามาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ โดยการทดลองนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต การนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ทำการทดลองที่อัตราส่วนตะกอนประปา : ปูนซีเมนต์ และได้กำหนดอัตราส่วนของตะกอนประปา:ปูนซีเมนต์ที่แตกต่างกัน ใช้ตะกอนประปาที่ร้อยละ 10 20 30 40 50 60 และ 70 โดยน้ำหนักเทียบกับปูนซีเมนต์ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน จากการทดสอบทำให้ทราบว่ายิ่งเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของตะกอนประปายิ่งทำให้รับแรงอัดได้น้อย แต่มีข้อสังเกตว่ายิ่งตะกอนประปามากเท่าไรน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก็จะเบาลง การเปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน เมื่อคำนวณหาค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยต่อตารางเซนติเมตรแล้วซึ่งมีขนาด 5x5x5 เซนติเมตรของส่วนผสมของตะกอนประปา 10 20 30 40 50 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 179.89 156.50 148.49 108.58 49.12 24.09 และ 5.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาด้านการรับกำลังอัดของตะกอนประปาที่ผสมกับปูนซีเมนต์นั้นสามารถที่จะนำไปพัฒนาต่อได้ เช่น การทำบล็อกสำหรับก่อผนัง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่รับกำลังไม่มากนัก

ณิชาดา ฉัตรสถาปตยกุล และคณะ (2555) ความเป็นไปได้ของการใช้กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาร่วมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนเคมีจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกากตะกอนเคมีที่ใช้ คือ SiO2 และ Al2O3 ซึ่งคล้ายกับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ผลศึกษาพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าสูงขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนของกากตะกอนเคมี อิฐบล็อกประสานที่ผสมกากตะกอนเคมีร้อยละ 10 - 30 ผ่านมาตรฐานของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (TISTR) ชั้นคุณภาพ ก ที่มีความแข็งแรงและทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี ส่วนอิฐบล็อกประสานที่ผสมกากตะกอนเคมีร้อยละ 40 - 50 ผ่านมาตรฐานชั้นคุณภาพ ข ที่มีความแข็งแรงและทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดีปานกลาง อิฐบล็อกประสานที่ผสมกากตะกอนเคมีร้อยละ 70 ผ่านมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ผลการศึกษาที่ได้ทำให้ทราบว่ากากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในงานก่อและฉาบได้ และการใช้กากตะกอนในอิฐประสานที่ร้อยละ 10 - 30 มีความเป็นไปได้อย่างมากในการนำไปใช้จริงต่อไป

อัซรี ตือเงาะ และคณะ (2557) การนำตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำมาทดแทนดินลูกรังเพื่อผลิตอิฐบล็อกประสาน วว.โครงงานนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ของตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อเป็นวัสดุทดแทนดินลูกรังผลิตบล็อกประสาน วว. ตะกอนประปารีดน้ำเป็นของเหลือจากการผลิตน้ำประปาส่วนภูมิภาคหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปารีดน้ำมีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรัง อีกทั้งค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนประปารีดน้ำมีค่าน้อยกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง เมื่อขึ้นรูปอิฐบล็อกประสาน วว. ที่มีส่วนผสมของตะกอนประปารีดน้ำจะมีน้ำหนักเบากว่าอิฐบล็อกประสาน วว. ที่ผลิตจากดินลูกรัง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาค่ากำลังอัดและค่าการดูดกลืนน้ำ ของตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน มีอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรัง คือ 1:7 1:8 1:9 และ 1:10 โดยน้ำหนัก จากนั้นเลือกอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่เหมาะสมเพื่อทดลองในชุดการทดลองต่อไป โดยการนำตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสาน วว. จากผลศึกษาพบว่าตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังในอัตราส่วนของตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่ากำลังอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน วว. ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก

(มผช. 602/2547) นอกจากนี้อัตราส่วนของตะกอนประปารีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก ค่ากำลังอัดและค่าการกลืนน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) และผ่านมาตรฐาผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน วว. ชนิดรับไม่รับน้ำหนัก (มผช. 602/2547) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอิฐบล็อกประสาน วว.ที่อัตราส่วนผสมของตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับการเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร เช่น ก่อเสา และก่อผนัง เป็นต้น และอิฐบล็อกประสานที่อัตราส่วนของตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำแทนที่ดินลูกรังร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเหมาะสำหรับการก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

13. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินตะกอนประปามาทดแทนดินสำหรับทำอิฐบล็อกประสาน

13.1 วัสดุ

1) ดินลูกรังบดละเอียด
2) น้ำสะอาด
3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
4) ตะกอนดินประปา
5) ทราย

13.2 อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง mettle Toledo /al204
2) เครื่องทดสอบความต้านแรงอัด
3) อากาศร้อน (OVEN) memmert /ufe500
4) เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานตู้อบ
5) ตะแกรงร่อน ขนาด 2 ไมโครเมตร
6) กระบะปูนพลาสติก
7) เครื่องชั่งกิโลกรัม
8) ตลับเมตร
9) จอม

10) ถังน้ำ

11) อ่างน้ำ

12) พลั่ว

13.3 การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิจาก

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

- สมบัติของตะกอนดินประปา
- การเกิดกระบวนการปอซโซลาน
- วิธีการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก
- มาตรฐานอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

โดยศึกษาสืบค้นข้อมูลจาก อินเตอร์เน็ต ห้องสมุด การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

13.4 การเตรียมวัสดุตะกอนดินประปา

1) ตะกอนดินประปา ได้รับความอนุเคราะห์ จากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ) โดยการใช้จอบตักใส่กระสอบปุ๋ย 4 กระสอบ ทั้งหมดจำนวน 200 kg แล้วนำตะกอนดินประปาที่ได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเป็นเวลา 5 - 7 วัน หรือจนกระทั่งตะกอนดินประปาแห้งสนิท หลังจากนั้นนำตะกอนดินประปาที่แห้งสนิทมาบดให้ละเอียดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุประสาน หลังจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm เพื่อให้ตะกอนดินประปามีขนาดเท่ากัน แล้วมาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำไปใส่ในถุงซิปใสเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

กำหนดอัตราส่วนผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ใช้ในการศึกษา คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : ดินลูกรัง 1:1.5:4.5 (อัตราส่วนตามคำแนะนำของร้านหาดใหญ่แซนบล็อก ผู้ผลิตอิฐบล็อกผสานชนิดไม่รับน้ำหนัก) แล้วออกแบบส่วนผสมโดนแทนที่ดินลูกรังด้วยทั้งหมด 6 อัตราส่วน และกำหนดให้มีสูตรควบคุม 1 สูตร เป็นสูตรที่ไม่เติมตะกอนดินประปาคือ อัตราส่วน B0 (100:0) และอัตราส่วนของดินลูกรังต่อตะกอนดินประปา BS1(95:5) BS2(90:10) BS3(85:15) BS4(80:20) BS5(75:25) BS6(70:30) ดังแสดงใน**ตารางที่ 13.4-1**

ตารางที่ 13.4-1 อัตราส่วนตะกอนดินประปาในการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

สูตร	อัตราส่วนผสม ปูน:ทราย:(ดินลูกรัง: ตะกอนดินประปา)	ปริมาณที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน 1 ก้อน			
		ปูนซีเมนต์ (g)	ทราย (g)	ดินลูกรัง (g)	ตะกอนดินประปา (g)
B0	1:1.5:4.5 (100:0)	743	1114	3343	0
BS1	1:1.5:4.5 (95:5)	743	1114	3176	167
BS2	1:1.5:4.5 (90:10)	743	1114	3009	334
BS3	1:1.5:4.5 (85:15)	743	1114	2842	501
BS4	1:1.5:4.5 (80:20)	743	1114	2675	668
BS5	1:1.5:4.5 (75:25)	743	1114	2508	835
BS6	1:1.5:4.5 (70:30)	743	1114	2340	1003

หมายเหตุ : BS คือ สูตรการทดลองของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักโดยอิฐบล็อก 1 ก้อน มีน้ำหนักประมาณ 5200 g

การใส่น้ำ ใส่น้ำจนสามารถกำเป็นก้อนและไม่ติดมือ

13.5 การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักของตะกอนดินประปาผสมกับดินลูกรัง ดังแสดงใน**ตารางที่ 13.5-1**

ตารางที่ 13.5-1 พารามิเตอร์และวิธีการทดสอบสมบัติ

พารามิเตอร์	วิธีการทดสอบ	สถานที่ทดสอบ
ลักษณะทั่วไป	มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช 602/2547)	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวดสงขลา 90000
การดูดกลืนน้ำ	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 109-2517)	
การเปลี่ยนแปลงความยาว	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1505-2542)	
ความต้านแรงอัด	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 109-2517)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา เลขที่ 1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

สำหรับวิธีการทดสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มีรายละเอียดดังนี้

13.5.1 ทดสอบลักษณะทั่วไป

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 อิฐบล็อกประสานสี่เหลี่ยมชนิดไม่รับน้ำหนัก ขนาดเต็มก้อน 12.5 x 25 x 10 ซ.ม. ดังแสดงใน**ภาพที่ 13.5-1**

ภาพที่ 13.5-1 อิฐบล็อกประสาน

ที่มา: ชาคริส วราหะ (2555)

13.5.2 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปา ทำโดยชักตัวอย่างอิฐบล็อกแห้งที่มีอายุ 7 วัน มา 6 ก้อนต่อ 1 สูตร (เป็นไปตามการชักตัวอย่าง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 109-2517) โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

(1) นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปาที่เตรียมไว้ทดสอบมาวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) ของก้อนตัวอย่าง

(2) นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปาที่ทำการทดสอบไปแช่ให้จมอยู่ในน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำอิฐบล็อกขึ้นมา ทิ้งไว้ให้ระบายน้ำออกเป็นเวลา 1 นาที ใช้ผ้าซับหยดน้ำบนผิวอิฐบล็อกที่มองเห็นด้วยตาเปล่าทีละก้อน แล้วทำการชั่งน้ำหนักทันที จดบันทึกค่าน้ำหนักอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักจากตะกอนดินประปาที่ดูดซึมน้ำ

(3) หลังจากการอิ่มน้ำ ทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปาให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักทีละก้อน โดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม จดบันทึกค่าน้ำหนักอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่แห้ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.109)

(4) ทำการคำนวณหาค่าการดูดกลืนน้ำตามสูตรดังนี้

$$\text{การดูดกลืนน้ำ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์} = \frac{A-B}{A-C} \times 1000$$

$$\text{การดูดกลืนน้ำ ร้อยละ} = \frac{A-B}{B} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักอิฐบล็อกตัวอย่างเมื่อเปียก เป็นกิโลกรัม

B = น้ำหนักอิฐบล็อกเมื่อแห้ง

C = น้ำหนักอิฐบล็อกเมื่อเปียก เป็นกิโลกรัม

13.5.3 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว

การทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปา ทำโดยชักตัวอย่างอิฐบล็อกประสานที่แห้งที่มีอายุ 7 วัน มา 6 ก้อน ต่อ 1 สูตร (เป็นไปตามการชักตัวอย่าง ดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541) โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

(1) นำอิฐที่ทำการทดลองที่เตรียมไว้ทดสอบวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) ของก้อนตัวอย่าง

(2) นำอิฐบล็อกที่ทำการทดลองเข้าตู้อบโดยใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น แล้วชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้งทีละก้อน คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40

(3) นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ทำการทดลองไปแช่ในน้ำโดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่า ผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วัน

(4) เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิด ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวัน จนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่ามวลที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 2

(5) วัดความยาวและชั่งมวลของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักดินตะกอนประปาต้องมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

(6) รายงานผลปริมาณการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกแต่ละค่า

(7) คำนวณหาค่าเฉลี่ยอิฐบล็อกแต่ละอัตราส่วนผสม

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความยาว} = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \times 100$$

เมื่อ L_1 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบในการวัดครั้งแรก (มิลลิเมตร)

L_2 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุล (มิลลิเมตร)

13.5.4 การทดสอบความต้านแรงอัด

โดยกำหนดอายุวันที่ใช้ทดสอบที่ 7 วัน มา 6 ก้อนต่อ 1 สูตร การทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดโดยการกดชิ้นทดสอบในด้านยาวของชิ้นทดสอบจนได้แรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกหัก นำมาค่ากำลังต้านแรงอัด ซึ่งมีหน่วยเป็น kg/m^3 (เป็นไปตามการชักตัวอย่างดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 109-2517) โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) วัดขนาดอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักตะกอนดินประปาเป็นมิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x หนา) แล้วชั่งน้ำหนักโดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.5 กรัม

(2) นำเข้าเครื่องทดสอบเพื่อหาค่ากำลังต้านแรงอัด โดยใช้อัตราการเพิ่มแรงอัดประมาณ 100 กก./ตร.ซม. จนกระทั่งอิฐพังทลายแล้วบันทึกค่าแรงอัดสูงสุด

(3) คำนวณค่ากำลังต้านแรงอัดโดยสูตรที่ใช้คำนวณ คือ

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ = กำลังต้านแรงอัด (กก./ตร.ซม.)

P = แรงกดที่ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการวิบัติ (กก.)

A = พื้นที่รับแรงอัด (ตร.ซม.)

13.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

13.6.1 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

(1) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอ้างอิงอ้างอิง แบบมีพารามิเตอร์ (Parametric inference) ด้วยสถิติแบบ t-test เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอิฐบล็อกประสานจากตะกอนดินประปากับค่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547

13.6.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประประสาน โดยคำนวณจากค่าวัสดุ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง ตะกอนดินประปา น้ำ ทราย ค่าแรง ซึ่งเทียบกับราคาจริงในท้องตลาด ร่วมกับค่าดำเนินการโดยการคำนวณจากราคาอิฐบล็อก

14. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

การดำเนินการ	พ.ศ. 2560							พ.ศ. 2561										
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษารวบรวมข้อมูล	———	———	———	———										····	····	····	····	····	
2. สอบโครงร่างวิจัย			△																
3. การทำการทดสอบ			———	———	———	———	———	———											
4. การวิเคราะห์ข้อมูล						———	———	———	———	———									
5. การสอบความก้าวหน้าวิจัย									△										
6. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา								———	———	———	———	———	———	———	———				
7. การสอบวิจัยฉบับสมบูรณ์																	△		
8. การจัดทำเล่มรายงานวิจัย/ แก้ไขเล่ม																———	———	———	———
9. ส่งเล่มวิจัย ฉบับสมบูรณ์																			———

หมายเหตุ : △ หมายถึง ช่วงดำเนินการสอบวิจัย

——— หมายถึง ช่วงระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

···· หมายถึง อาจจะมีการขยายช่วงระยะเวลาในการดำเนินการ

15. งบประมาณ

รายการ	งบประมาณตลอดโครงการ
ค่าใช้สอย	
ค่ายานพาหนะ	500
ค่าวัสดุ	
ค่าเอกสารในการเก็บรวบรวมข้อมูล	200
ค่าอุปกรณ์และค่าผลิตอิฐบล็อกที่ใช้ในการวิจัย	1500
ค่าจัดทำรายงาน	1000
รวม	**3,200**

16. บรรณานุกรม

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (ชั้นพิเศษ). 2500. **ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค.** (ออนไลน์). https://www.pwa.co.th/contents/service/treatment, 07 พฤษภาคม 2560

เกียรติสุดา สมนา. 2555. เรื่องการใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุประสาน. **วารสารคอนกรีต**. 14(1): 11-29.

ชาคริส วราหะ. 2555. **อิฐบล็อกประสาน**. (ออนไลน์). http://110m.blogspot.com/, 28 พฤษภาคม 2560.

ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ์. 2555. **การทำวิจัยการใช้ตะกอนจากการผลิตน้ำประปาให้เป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ.** (ออนไลน์). http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=469, 05 มิถุนายน 2560

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2560. **สลัดจ์** (ออนไลน์). https://dict.longdo.com/search/สลัดจ์#top, 12 สิงหาคม 2560.

ณิชาดา ฉัตรสถาปตยกุล, มณฑล วังเวียง และ ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. 2555. **ความเป็นไปได้ของการใช้กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปารวมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน**. คณะสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย, อาทิตย์ ปัณณราช และ ณัฐพร เอมเจริญ. 2556. **การศึกษาคณุสมบัติทางด้านกำลังของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา.** สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ปิยนุช ม่วงทอง, ธีรินทร์ คงพันธุ์ และ บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์. 2557 **อิทธิพลของวัสดุปอซโซลานประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์**. รายงานการวิจัยปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

พิมพ์ศิลป์ จันทร์ประเสริฐ. 2556. **การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ยุทธนา อินต๊ะทอง, วัลลภ เพ็งเอี่ยม และ สมภพ สิงหบุตร. 2551. **การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดของตะกอนประปาเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์.** สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ตาก.

วชิรวิทย์ สาราญรมย์. 2553. **สมบัติเชิงกลและความทนทานของซีเมนต์มอร์ต้าร์ผสม ผงหินปูนและเถ้าแกลบดำบด**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิมัณฑนา ถนอมกิจนุรักษ์. 2556. **การปรับปรุงกำลังของจีโอโพลิเมอร์ด้วยตะกอนดินจากระบบผลิตน้ำ**. สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษณุกร สมิงทอง. 2556 **เรื่องอิทธิพลของสภาวะเปียกสลัลด์แห้งต่อกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.** สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2542. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน 602/2547**

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2542. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. มอก. 1505-2541**

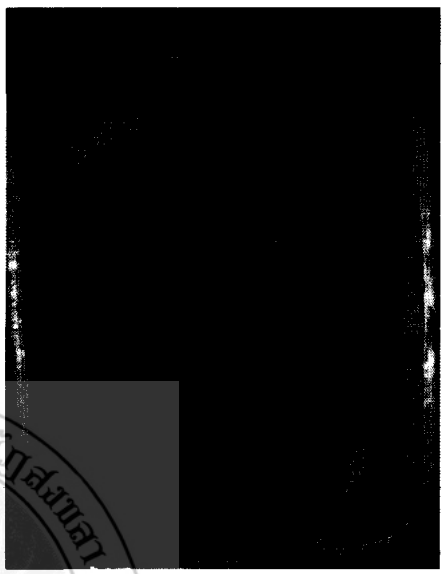
อลิสรา คูประสิทธิ์. 2554. **การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ.** (ออนไลน์). http://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=1042, 18 พฤษภาคม 60.

อัชรี ตือเงาะ และ ฮาฟีส สะและ. 2557 **การนำตะกอนประปาผ่านการรีดน้ำมาทดแทนดินลูกรังเพื่อผลิตอิฐบล็อกประสาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).** สาขาวิศวกรรมโยธา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รูปประกอบการทำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักจากตะกอนดินประปา

1. การเตรียมตะกอนดินประปา

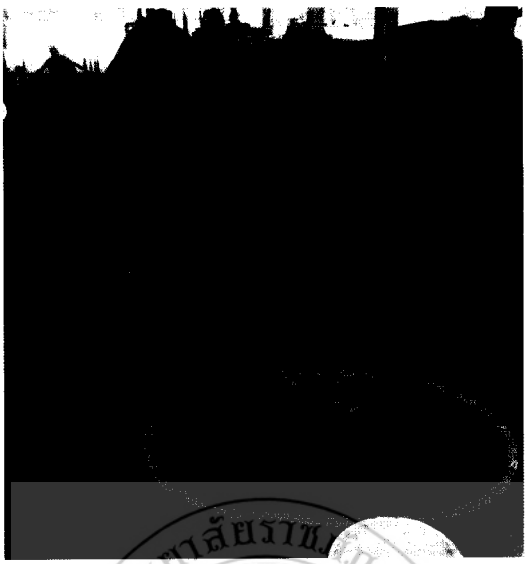


นำตะกอนดินประปามาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเป็นเวลา 5-7 วัน นำมาบดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่ 2 mm เพื่อให้ตะกอนดินมีขนาดเท่ากัน

2. การชั่งอัตราส่วน

การชั่งตะกอนดินประปาตามสูตรที่กำหนด นำตะกอนดินประปามาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำไปใส่ในถุงซิปใสเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3. **การผสมอัตราส่วน**

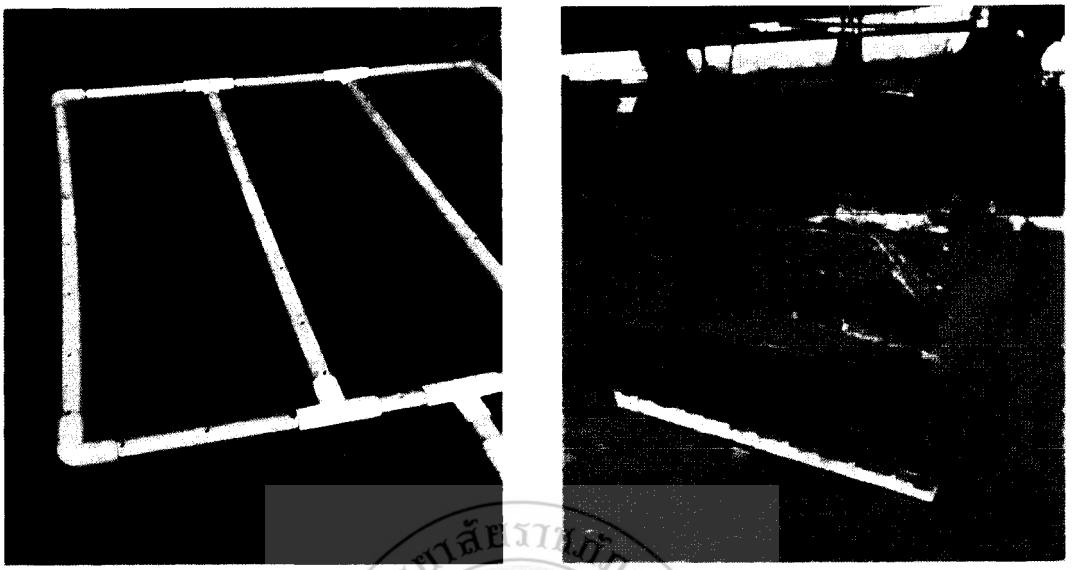


การผสมอัตราส่วนตามสูตรที่กำหนด

4. **การอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก**

นำไปเข้าเครื่องขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกตามลักษณะที่ต้องการ
แล้วจัดเรียงในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน ก่อนขนย้าย

5. บ่มอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก



การบ่มอิฐบล็อกประสานด้วยการคลุมด้วยผ้าพลาสติก เพื่อไม่ให้น้ำระเหยออก

6. การทดสอบอิฐบล็อกประสาน

6.1. การลักษณะทั่วไป

วัด กว้างxยาวxสูง

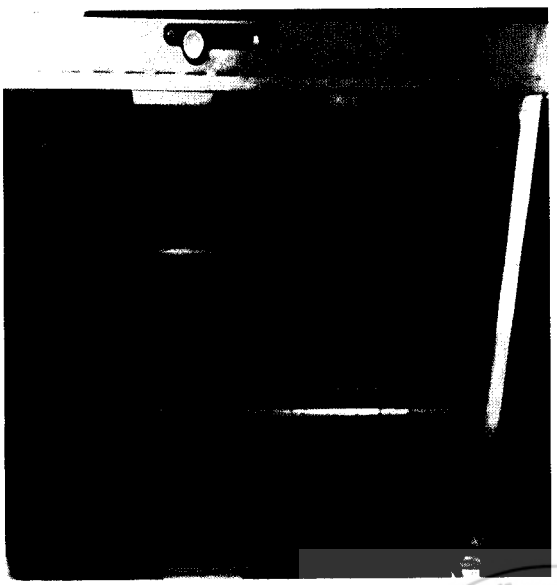
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

6.2 ทดสอบการดูดกลืนน้ำ

วัดขนาดและชั่งน้ำหนัก

แช่น้ำ 24 ชม.และยกอิฐบล็อกทิ้งไว้ 1 นาทีแล้วใช้ผ้าซับหยดน้ำแล้วชั่งน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

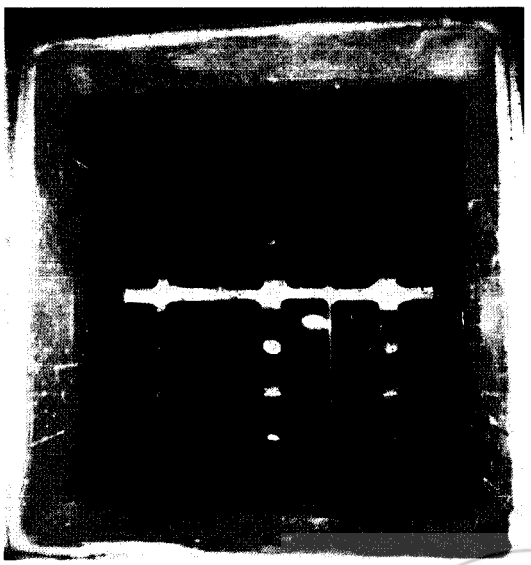


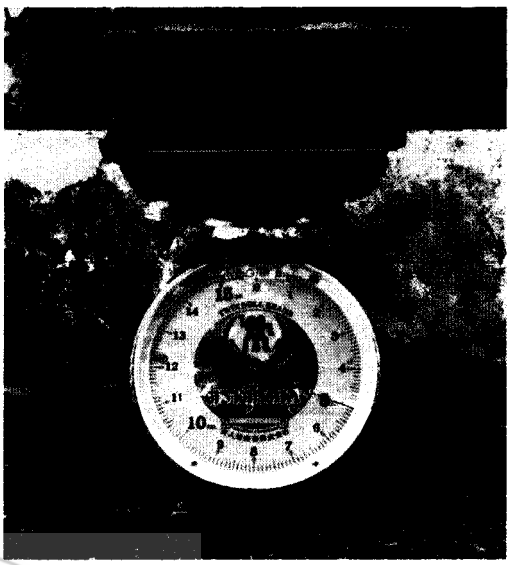
นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 – 115 °C เป็นเวลา 24 ชม.แล้วชั่งน้ำหนักแล้วนำไปคำนวณ

6.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว

วัดความยาวอิฐ นำไปอบ 24 ชม. แล้วทิ้งให้เย็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

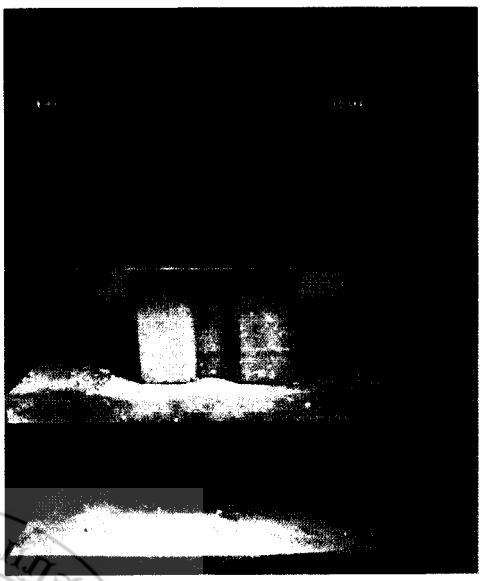




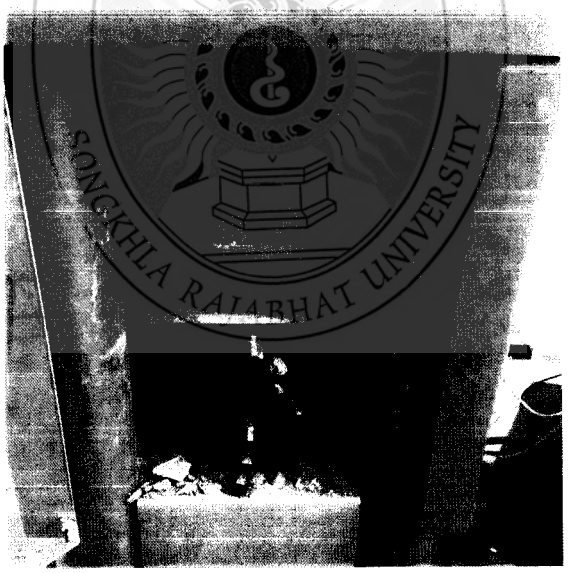
นำไปแช่น้ำ โดยให้ชิ้นส่วนทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 ซม. และชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทั้ง 3 วัน วันละ 1 ครั้ง แล้วชั่งน้ำหนัก

วัดความยาวแล้วนำไปคำนวณ

6.4 ทดสอบความต้านแรงอัด



นำเข้าเครื่องทดสอบอัดจนอิฐพังทลาย



จดบันทึกค่าและนำไปคำนวณผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

มาตรฐานที่ใช้สำหรับอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนักตาม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602/2547)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (1505/2541, 2541)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602/2547)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะอิฐบล็อกประสานที่มีดินลูกรังและปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 อิฐบล็อกประสาน หมายถึง อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรัง ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่น ทราย กวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่อง และเดือย อัดเป็นก้อน แล้วบ่มให้แข็งตัว

2.2 อิฐบล็อกประสาน ชนิดรับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้เช่น ก่อเสา ก่อผนัง

2.3 อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

3. ชนิด

3.1 อิฐบล็อกประสาน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดรับน้ำหนัก

3.1.2 ชนิดไม่รับน้ำหนัก

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

4.2 มิติ

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± ๒ มิลลิเมตร

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.3 ความต้านแรงอัด

4.3.1 ชนิดรับน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า ๗.๐ เมกะพาสคัล

4.3.2 ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า ๒.๕ เมกะพาสคัล เป็นไปตาม**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดต่ำสุด (เมกะพาสคัล) เฉลี่ ยจากพื้นที่รวม	
อิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก	**อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก**
7.0 เมกะพาสคัล	2.5 เมกะพาสคัล

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (2547)

4.4 การดูดกลืนน้ำ (เฉพาะชนิดรับน้ำหนัก) ต้องเป็นไปตาม**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 การดูดกลืนน้ำ

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง (กิโลกรัม)	**การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)**
1680 และ น้อยกว่า	288
1681 ถึง 1760	272
1761 ถึง 1840	256
1841 ถึง 1920	240
1921 ถึง 2000	224
มากกว่า 2000	208

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (2547)

5. การบรรจุ

5.1 หากมีการบรรจุ ให้บรรจุอิฐบล็อกประสานในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอิฐบล็อกประสานได้

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุอิฐบล็อกประสาน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

6.1.1 ชื่อผลิตภัณฑ์

6.1.2 มิติ

6.1.3 เดือน ปีที่ทำ

6.1.4 ข้อแนะนำในการใช้และการดูแลรักษา

6.1.5 ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนใน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป มิติ การบรรจุและเครื่องหมาย และฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.1 ข้อ 4.2 ข้อ 5. และข้อ 6. จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.3 จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.3 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ สำหรับการทดสอบการดูดกลืนน้ำ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.4 จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน ตัวอย่างอิฐบล็อกประสานต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ข้อ 7.2.2 และข้อ 7.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่า อิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

8. การทดสอบ

8.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

8.2 การทดสอบมิติ ให้ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสม

8.3 การทดสอบความต้านทานแรงอัด และการดูดกลืนน้ำ ให้ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. ๕๗ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. ๕๘

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (1505/2541, 2541)

1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 40 มิลลิเมตร × 40 มิลลิเมตร × 160 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร และให้ด้านความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับด้านยาวของตัวอย่าง

1.2 เครื่องมือ

1.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.005 มิลลิเมตร

1.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

1.2.3 อ่างน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส

1.2.4 ห้องหรือภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 43 ± ร้อยละ 2 ได้

1.2.5 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

1.3 วิธีทดสอบ

1.3.1 นำชิ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40

1.3.2 นำชิ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำตามข้อ 1.2.3 โดยผิวของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นให้เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิดตามข้อ 1.2.4 ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 1.3.1

1.3.3 วัดความยาวและชั่งมวลของชิ้นทดสอบทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุล โดยชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่า ร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

หมายเหตุ การรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีใช้ภาชนะปิด ให้ทำโดยเก็บชิ้นทดสอบไว้เหนือสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต ที่ละลายอยู่ในภาชนะสมดุลกับน้ำในภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ และต้องมีการกวนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการก่อตัวของเกลือโพแทสเซียม หรือฝ้าที่ผิว

1.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ (R)} = \frac{L_1 L_2}{L_1} \times 100$$

เมื่อ L_1 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมต

L_2 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ เมื่อเข้าสู่สภาพสมดุล เป็นมิลลิเมตร

หมายเหตุ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 หาโดยการประมาณค่าจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความยาวที่ได้จากการทดสอบตามข้อ 1.3.1 กับข้อ 1.3.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

วิธีทดสอบสมบัติอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

วิธีทดสอบสมบัติอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

1) ทดสอบลักษณะทั่วไป ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักขนาดเต็มก้อน 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร (cm) โดยแต่ละก้อนมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตร (mm)

2) ทดสอบการดูดกลืนน้ำ ดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 109-2517

2.1 นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่เตรียมไว้ทดสอบมาวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) ของก้อนตัวอย่าง

2.2 นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ทำการทดสอบไปแช่ให้จมอยู่ในน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.3 จากนั้นนำอิฐบล็อกขึ้นมา ทิ้งไว้ให้ระบายน้ำออกเป็นเวลา 1 นาที ใช้ผ้าซับหยดน้ำบนผิวอิฐบล็อกที่มองเห็นด้วยตาเปล่าทีละก้อน แล้วทำการชั่งน้ำหนักทันที

2.4 จดบันทึกค่าน้ำหนักของอิฐ

2.5 หลังจากการอิ่มน้ำ นำอิฐไปอบตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 24 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง

2.6 ชั่งน้ำหนักทีละก้อน โดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม (g) แล้วจดบันทึกค่าน้ำหนักอิฐ

2.7 คำนวณหาปริมาณการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก โดยใช้สูตร

$$\text{ค่าการดูดกลืนน้ำ} = \frac{\text{มวลชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ} - \text{มวลชิ้นทดสอบหลังอบ}}{\text{ปริมาตรชิ้นทดสอบ}} \quad kg/cm^3$$

3) ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว ดัดแปลงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541

3.1 นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ทำการทดลองที่เตรียมไว้ทดสอบวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) ของก้อนตัวอย่าง

3.2 นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ทำการทดลองเข้าตู้อบโดยใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น

3.3 ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้งทีละก้อน

3.4 นำอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ทำการทดลองไปแช่ในน้ำโดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 มิลลิเมตร (cm) เป็นเวลา 3 วัน

3.5 เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิด ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวัน จนความยาวเข้าสู่สภาวะสมดุล

3.6 คำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความยาวโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงความยาว} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

4) ทดสอบความต้านแรงอัด ดัดแปลงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 109-2517

4.1 วัดขนาดอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักเป็นมิลลิเมตร (กว้าง x ยาวx หนา) แล้วชั่งน้ำหนักโดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.5 g

4.2 นำเข้าเครื่องทดสอบเพื่อหาค่ากำลังต้านแรงอัด โดยใช้อัตราการเพิ่มแรงอัดประมาณ 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (กก./ตร.ซม). จนกระทั่งอิฐพังทลายแล้วบันทึกค่าแรงอัดสูงสุด

4.3 คำนวณค่ากำลังต้านแรงอัดโดยสูตรคำนวณ

$$\text{ค่าความต้านการอัด} = \frac{\text{แรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตก}}{\text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบ}} \quad kg/cm^2$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ผลการทดสอบอิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

พารามิเตอร์	สูตรควบคุม	อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา						ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานที่ใช้
	B0	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6		
ลักษณะทั่วไป (กว้างxยาวxสูง)	12.5x25x10	12.5x25x10	12.5x25x10	12.5x25x10	12.5x25x10	12.5x25x10	12.5x25x10	±2 mm.	มผช. 602/2547
มิติ	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	-	-
น้ำหนัก (kg)	5.33±0.06	5.33±0.06	5.20±0.10	5.07±0.06	5.03±0.15	5.03±0.06	4.90±0.17	-	-
การดูดกลืนน้ำ	138.67±18.48	186.67±24.09	192.00±0.00	197.33±31.46	202.67±26.13	245.33±26.13	256.00±20.24	≤208 kg/m³	มผช. 602/2547
การเปลี่ยนแปลงความยาว	0.0003±0.06	0.0010±0.00	0.0010±0.00	0.0010±0.00	0.0015±0.05	0.0020±0.00	0.0020±0.00	≤0.0050	มอก. 1505-2541
ความต้านแรงอัด	30.67±1.18	24.70±4.28	22.89±3.27	21.99±4.57	20.24±3.07	19.81±1.55	19.49±3.43	≥2.5 Mpa	มผช. 602/2547

หมายเหตุ B0 หมายถึง อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่ไม่ผสมตะกอนดินประปา

BS หมายถึง อิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักผสมตะกอนดินประปา

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 (มผช.602/2547)

มาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม 1505/2541 (มอก 1505-2541)

ภาคผนวก ฉ

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ด้วยสถิติแบบ Independent-Sample T Test

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักด้วยสถิติแบบ Independent-Sample T Test

สถิติ SPSS ของการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานโดยใช้ Independent-Sample T Test

	B0	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6
B0	1	0.020	0.038*	0.022	0.007	0.000	0.000
BS1	0.020	1	0.611*	0.525	0.296	0.002	0.000
BS2	0.038*	0.611*	1	0.695*	0.363*	0.004*	0.000
BS3	0.022	0.525	0.695*	1	0.756	0.017	0.003
BS4	0.007	0.296	0.363*	0.756	1	0.018	0.003
BS5	0.000	0.002	0.004*	0.017	0.018	1	0.448
BS6	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.448	1

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สถิติ SPSS ของการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกประสานโดยใช้ Independent-Sample T Test

	B0	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6
B0	1	0.184*	0.184*	0.027*	0.000	0.012*	0.007*
BS1	0.184*	1	0.000	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
BS2	0.184*	0.000	1	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
BS3	0.027*	0.000*	0.000*	1	0.000*	0.000*	0.000*
BS4	0.000	0.000*	0.000*	0.000*	1	0.000*	0.000*
BS5	0.012*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1	0.000*
BS6	0.007*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	1

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สถิติ SPSS ของความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานโดยใช้ Independent-Sample T Test

	B0	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6
B0	1	0.550	0.006	0.010	0.000*	0.000	0.000*
BS1	0.550	1	0.430	0.177	0.065	0.025	0.043
BS2	0.006	0.430	1	0.426	0.178	0.064	0.110
BS3	0.010	0.177	0.426	1	0.746	0.571*	0.536
BS4	0.000*	0.065	0.178	0.746	1	0.767*	0.699
BS5	0.000	0.025	0.064	0.571*	0.767*	1	0.843*
BS6	0.000*	0.043	0.110	0.536	0.699	0.843*	1

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สถิติ SPSS ของน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานโดยใช้ Independent-Sample T Test

	B0	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6
B0	1	0.519	0.001*	0.003*	0.024*	0.002*	0.016*
BS1	0.519	1	0.001*	0.005*	0.033*	0.003*	0.200
BS2	0.001*	0.001*	1	0.047*	0.349	0.101	0.621
BS3	0.003*	0.005*	0.047*	1	0.742	0.519	0.184
BS4	0.024*	0.033*	0.349	0.742	1	0.742	0.326
BS5	0.002*	0.003*	0.101	0.519	0.742	1	0.252
BS6	0.016*	0.200	0.621	0.184	0.326	0.252	1

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ภาคผนวก ช
การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น

ต้นทุนการผลิตคงที่

1) ปูนซีเมนต์ ราคาปูนต่อ 1 กิโลกรัม (kg) เท่ากับ 3.18 บาท ใช้ปูนในการผลิตอิฐบล็อกประสานฯ 0.743 กิโลกรัม ราคาปูนเท่ากับ 2.37 บาท

2) ทราย ราคาทรายต่อ 1 กิโลกรัม (kg) เท่ากับ 0.10 บาท ใช้ทรายในการผลิตอิฐบล็อกประสานฯ 1.114 กิโลกรัม (kg) ราคาทรายเท่ากับ 0.1114 บาท

3) น้ำ ราคาน้ำต่อ 1 ลิตร (L) เท่ากับ 0.007 บาท ใช้น้ำในการผลิตอิฐบล็อกประสานฯ 0.04 ราคาน้ำเท่ากับ 0.02 บาท

4) ค่าไฟฟ้า ต่อก้อน เท่ากับ 0.12 บาท

ราคาวัสดุคงที่ = ราคา ปูน+ทราย+น้ำ+ค่าไฟฟ้า

= 2.37+0.1114+0.02+0.12

ราคาวัสดุคงที่ = 2.62 บาท/ก้อน

ตารางที่ 1 ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประสานจากการผสมตะกอนดินประปา

สูตร	ส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน	kg/ก้อน	ราคา (บาท)	ราคา/ก้อน	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (บาท)
B0 (ชุดควบคุม)	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.12
	ตะกอนดินประปา (kg)	-	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	3.343	0.15	0.50	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS1	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.10
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.167	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	3.176	0.15	0.48	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	

ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประสานจากการผสมตะกอนดินประปา (ต่อ)

สูตร	ส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน	kg/ก้อน	ราคา (บาท)	ราคา/ก้อน	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (บาท)
BS2	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.07
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.334	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	3.009	0.15	0.45	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS3	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.05
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.501	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.842	0.15	0.43	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS4	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.02
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.668	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.675	0.15	0.40	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	

ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของอิฐบล็อกประสานจากการผสมตะกอนดินประปา (ต่อ)

สูตร	ส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน	kg/ก้อน	ราคา (บาท)	ราคา/ก้อน	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (บาท)
BS5	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.743	3.18	2.37	3.00
	ตะกอนดินประปา (kg)	0.835	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.508	0.15	0.38	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	
BS6	ปูนซีเมนต์ (kg)	0.5743	3.18	2.37	2.97
	ตะกอนดินประปา (kg)	1.003	-	-	
	ดินลูกรัง (kg)	2.340	0.15	0.35	
	ทราย (kg)	1.114	0.1	0.1114	
	น้ำ (L)	0.04 (L)	0.007	0.02	
	ค่าไฟฟ้า			0.12	

หมายเหตุ - ค่าไฟฟ้า คือ เครื่องอัดอิฐบล็อกใช้มอเตอร์ ขนาด 3 แรงม้า 2.2 kW กำลังการผลิตของเครื่อง110±10 ก้อน/ชั่วโมง และใช้ไฟฟ้าไปชั่วโมงละ 2.2 หน่วย

- ไฟฟ้าประเภทที่ 2 หน่วยละ 2.98 บาท อ้างอิง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- น้ำประปา หน่วยละ 14.28 บาท อ้างอิง การประปาส่วนภูมิภาค
- ทราย ตันละ 100 บาท
- ดินลูกรัง ตันละ 150 บาท
- ปูนซีเมนต์ ตราช้างสีแดง น้ำหนัก 50 กิโลกรัม/กระสอบ ราคากระสอบละ 159 บาท

ภาคผนวก ซ

ประวัติผู้ทำวิจัย

ประวัติผู้วิจัย

(1) ชื่อผู้ทำวิจัย นาย ชาญวิทย์ ชุ่มชื่น

วันเดือนปีเกิด 8 พฤศจิกายน 2535

ที่อยู่ 105/3 หมู่ 3 ตำบลควนชะลิก อำเภอหัวไทร
จังหวัด นครศรีธรรมราช 80170

การศึกษานักศึกษา โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

(2) ชื่อผู้ทำวิจัย นาย รอซูล สุวรรณนะ

วันเดือนปีเกิด 1 พฤษภาคม 2535

ที่อยู่ 187 หมู่ 11 ตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล 91130

การศึกษานักศึกษา โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY