

การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบาผสมเถ้าลอย และแคลเซียมไฮดรอกไซด์

A Study of Properties on Light Weight Clay Brick Containing Fly Ash And Calcium Hydroxide

พฐิพัทธ์ ราชคำ* ชีรวัดน์ สินศิริ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Phutthiphat Ratchakam* Teerawat Sinsiri

Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000

Tel : 08-4428-7223 E-mail: struc_engineer_ap@windowslive.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบาให้สามารถใช้งานได้เทียบเท่าอิฐดินดิบจากดินเหนียวที่นิยมใช้ทั่วไป งานวิจัยนี้ใช้เถ้าลอยแทนที่ในดินเหนียวด้านเกวียนบดละเอียดอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักดินเหนียว ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุผสมเพิ่มอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักดินเหนียว ใช้อัตราส่วนน้ำต่อดินเหนียวที่เหมาะสมเท่ากับ 0.65 โดยน้ำหนักดินเหนียว และใช้สารเพิ่มฟองอากาศที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ บ่มตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ทำการทดสอบกำลังอัด การดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก การหดตัวเชิงปริมาตรรวม การซึมผ่านน้ำและการนำความร้อน ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า อิฐดินเหนียวมวลเบาจากการวิจัย มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 4.9-13.1 กก/ซม² และ 10.4-25.9 กก/ซม² ที่อายุ 28 และ 60 วัน ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำพบอยู่ในช่วง 19.9-29.1 ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้งพบอยู่ในช่วง 4.53-24.9 ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งพบอยู่ในช่วง 1110.4-1385.2 กก/ม³ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำพบอยู่ในช่วง 0.68×10^{-8} - 7.46×10^{-8} ม/วินาที และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนพบอยู่ในช่วง 0.18-0.27 วัตต์/ม.เคลวิน ที่อายุ 28 วัน ซึ่งจากผลการทดสอบยังพบว่าอิฐดินเหนียวมวลเบาจากการวิจัย มีคุณสมบัติเทียบเคียงกับวัสดุก่อชนิดอื่น สามารถนำไปใช้งานได้จริง

คำหลัก อิฐดินเหนียว ดินเหนียวด้านเกวียน การหดตัวเชิงปริมาตรรวม การซึมผ่านน้ำ การนำความร้อน

Abstract

This article presents a study of the properties of lightweight clay bricks to be equivalent to adobe bricks commonly used. This research used fly ash to replace dan kwian clay at the ratio of 0, 10, 20, 30, and 40 % by weight of clay and calcium hydroxide was added to the mixture at the ratio of 10 and 20 % by weight of clay. The appropriate ratio of water to clay was 0.65 by weight of clay and foaming agent was used at 0.5 % by weight of the calcium hydroxide. The samples were cured for 7, 28, and 60 days before being tested for their compressive strength, water absorption, unit weight, total volume shrinkage, water permeability, and thermal conductivity, respectively. The test results showed that lightweight clay bricks from this research had the compressive strength at 4.9 -13.1 kg/cm² and 10.4 - 25.9 kg/cm² at 28 and 60 days, respectively, water absorption at 19.9 - 29.1 %, total volume dry shrinkage at 4.53 - 24.9 %, dry unit weight at 1110.4 - 1385.2 kg/m³, water permeability coefficient at 0.68×10^{-8} - 7.46×10^{-8} m/sec, and the thermal conductivity coefficient at 0.18-0.27 W/m.°K

at the age of 28 days. The test results also showed that of the lightweight clay bricks from this research were comparable with the other building materials and can be used practically.

Keywords: clay bricks, dan kwian clay, total volume shrinkage, water permeability, thermal conductivity

1. บทนำ

อิฐดินดิบหรืออิฐดินเหนียว (adobe or clay brick) คือ อิฐที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผา หล่อขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ทำให้แข็งตัวเป็นก้อนด้วยวิธีตากแห้งพึ่งแดด วัสดุหลักที่ใช้จะเป็นดินเหนียวล้วน และถือว่าเป็นวัสดุก่อสร้างที่เก่าแก่ถูกนำมาใช้งานตั้งแต่อดีตกาลจนถึงปัจจุบัน [1] อิฐดินดิบจะถูกนำไปใช้อย่างมากในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยที่ใช้ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ อาทิเช่น การสร้างบ้านดินหรือ Earth Building เป็นการใช้วัสดุจากธรรมชาติมาสร้างเป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีปรากฏพบทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศเพราะบ้านที่สร้างจากดินจะช่วยลดการใช้วัสดุจากอุตสาหกรรมทั้งปูนซีเมนต์และเหล็ก และยังลดการใช้พลังงานในการผลิตวัตถุดิบได้เป็นอย่างมาก [2] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยพบว่า อิฐดินดิบมีคุณสมบัติที่ทนต่อการดูดซับความร้อน ทำให้อุณหภูมิผนังค่อนข้างคงที่ มีความเป็นฉนวนและทนต่อเสียงได้ดีลดได้ดี โดยปกติอิฐดินดิบจะมีความหนาแน่นคิดต่อลูกบาศก์เมตรจะมีความหนาแน่นอยู่ที่ $1600 - 1920 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของคอนกรีตโครงสร้าง ซึ่งถือว่ามีน้ำหนักค่อนข้างมาก [3] ถึงแม้ว่าอิฐดินดิบจะสร้างได้โดยง่ายและกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสียและข้อจำกัดหลายๆด้าน เช่น การควบคุมคุณภาพที่ทำได้ยาก กำลังและความแข็งแรงต่ำ การหดตัวสูง ส่วนผสมต้องใช้ดินเหนียวเป็นหลัก ทำให้ต้องผสมกับหรือวัสดุธรรมชาติประเภทเส้นใยทดแทนเพื่อลดการหดตัวและการแตกร้าวที่ผิวและที่สำคัญไม่ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมขัง ซึ่งทำให้อิฐดินเหนียวเปื่อยยุ่ย เป็นผลเสียโดยตรงต่อผนังดินที่เป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [3-4] พบว่า การใช้เถ้าลอยผสมทำอิฐในปริมาณสูงจะให้อยู่ที่ระหว่าง 20-80 % โดยปริมาตร แต่ใช้ผสมทำอิฐดินเหนียวอยู่ที่ 10-40 % ถ้าใช้

ผสมมากกว่า 40 % ขึ้นไป มีผลต่อกำลังที่ลดลงและปริมาณการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วน เมื่อผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุช่วยยึดประสานใช้ผสมเพิ่มอยู่ระหว่าง 10 - 60 % โดยปริมาตร แต่ใช้ผสมอยู่ที่ 10 - 30 % ถ้าใช้ผสมมากกว่า 30 % ขึ้นไป มีผลกับปริมาณความต้องการน้ำ ค่ากำลังอัดเฉลี่ยมีค่ามากกว่า 3.50 MPa.(เมื่อผสมเถ้าลอยระหว่าง 30 - 40 % โดยปริมาตร) การดูดซึมน้ำเฉลี่ยประมาณ 19.2 - 37.2 % ค่าหน่วยน้ำหนักลดลงประมาณ 20 - 40% ($1172 - 1230 \text{ kg/m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐดินเหนียวปกติ การใช้วัสดุแทรกและวัสดุผสมเพิ่มในปริมาณที่พอเหมาะยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลัง ความสามารถทำงานได้ ลดการดูดซึมน้ำ การหดตัว และรอยแตกร้าว จากงานวิจัย [5] พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อดินเหนียวที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 50 - 75 เมื่อผสมร่วมกับวัสดุปรับสภาพและร้อยละ 75 - 125 เมื่อผสมร่วมกับทรายและวัสดุปรับสภาพ และไม่ควรเกินขีดพิสัยความเหลวของดินเหนียว การใช้ปริมาณน้ำที่พอเหมาะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ และจากงานวิจัย [6] พบว่า การใช้เถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติเป็นวัสดุยึดประสานช่วยเพิ่มกำลังอัด ลดการแยกตัว หน่วยน้ำหนัก การนำความร้อนและเพิ่มการทึบน้ำ มีสัดส่วนที่พอเหมาะอยู่ที่ร้อยละ 35(CH):65(FA) โดยน้ำหนัก

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาสัดส่วนผสมของอิฐดินเหนียวมวลเบาที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติเทียบเท่าอิฐดินดิบจากดินเหนียวที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยใช้เถ้าลอยแทนที่ในดินเหนียวร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักดินเหนียว ผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักดินเหนียว ใช้อัตราส่วนน้ำต่อดินเหนียวที่เหมาะสมเท่ากับ 0.65 โดยน้ำหนักดินเหนียว และใช้สารเพิ่มฟองอากาศที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งหมด 11 อัตราส่วนผสม ปั่นตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ทดสอบกำลังอัด หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ การหดตัวเชิงปริมาตร การซึมผ่านน้ำ การนำความร้อน และเปรียบเทียบคุณสมบัติกับวัสดุก่อชนิดอื่น

2. การเตรียมวัสดุและการผสม

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

(1) ดินเหนียวดานเกวียนบดละเอียด (DCL) ร่อน

ผ่านตะแกรงมาตรฐาน No.16# จากแหล่งอุตสาหกรรม เครื่องปั้นดินเผา ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

(2) แก้วลอย (FA) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง

(3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาวไฮเดรต (CH) ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) จากบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งใน จ.สระบุรี

(4) สารเพิ่มฟองอากาศ (Foaming Agent) เป็นสารเพิ่มฟองอากาศเพื่อการผลิตอิฐมวลเบา สูตร SUT 1 เป็นสารชนิดสังเคราะห์ประจุลบ

(5) น้ำผสม ใช้น้ำประปา

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) แบบหล่อขึ้นรูปเป็นแบบเหล็กขนาดมาตรฐาน ขนาด 215 x 103 x 65 มม อ้างอิงตามมาตรฐาน BS : 3921 [7] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบหล่อก่อนตัวอย่างขนาดมาตรฐาน 215 x 103 x 65 มม

(2) เครื่องผลิตโฟมเหลว (foam generator)

(3) เครื่องผสมคอนกรีต

(4) เครื่องทดสอบกำลังอัดของอิฐ

(5) เครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำ

(6) เครื่องทดสอบการนำความร้อน

2.3 การเตรียมวัสดุทดสอบ

(1) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ, ชีตพิกต์เหลว, ชีตพิกต์พลาสติก และดัชนีความเป็นพลาสติกของดินเหนียวด่านเกวียน ตามมาตรฐาน ASTM D4318 [8]

(2) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความละเอียดด้วยวิธีของเบลน (Blaine method) ของแก้วลอย และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ตามมาตรฐาน ASTM C188 [9] และ ASTM C204 [10]

(3) ทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักของดินเหนียวด่านเกวียนบดละเอียด, แก้วลอย และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ตามมาตรฐาน ASTM C29 [11]

2.4 การเตรียมน้ำยาสร้างโฟมเหลว

การเตรียมน้ำยาเพิ่มฟองอากาศหรือโฟมเหลว ใช้

ปริมาณน้ำยาที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เจือจางน้ำที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40 ทดสอบหาความหนาแน่นของโฟมเหลว พบว่ามีค่าประมาณ $50\text{--}60\text{ kg/m}^3$

ตารางที่ 1 แสดงค่าคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวด่านเกวียน พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินมีค่าเท่ากับ 2.81 ชีตพิกต์เหลวมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.21 ชีตพิกต์พลาสติกมีค่าเท่ากับร้อยละ 39.22 และค่าดัชนีพลาสติกมีค่าเท่ากับร้อยละ 26.99 และประเภทของดินเหนียวตามระบบเอกภาพ (USCS) จัดเป็นดินเหนียวประเภทดินตะกอนที่มีความเป็นพลาสติกสูง (MH) ลักษณะของเม็ดดินเป็นสีน้ำตาลเข้ม

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวด่านเกวียน

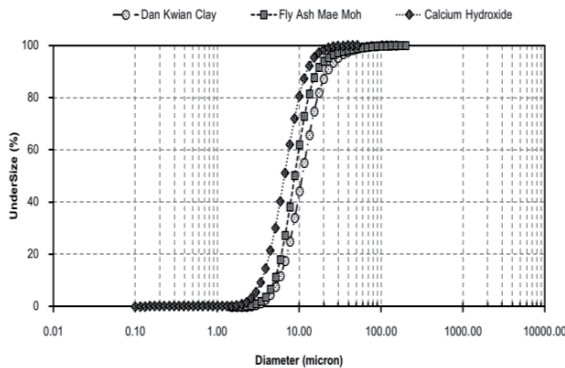
Properties	Dan kwian clay (DCL)
Classification	
USCS	MH
Atterberg Limit	
Liquid Limit, LL (%)	66.21
Plastic Limit, PL (%)	39.22
Plastic Index, PI (%)	26.99
Specific Gravity (Sp.gr)	2.81

ตารางที่ 2 องค์ประกอบหลักทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

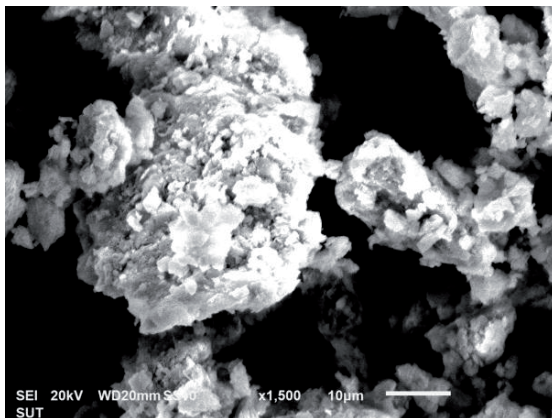
Materials Properties	(DCL)	(FA)	(CH)
Silicon Dioxide (SiO_2)	51.34	35.75	4.18
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	23.37	18.88	1.07
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	5.38	11.43	0.13
Calcium Oxide (CaO)	0.16	14.38	88.15
Magnesium Oxide (MgO)	3.82	6.03	6.32
Sulfur Trioxide (SO_3)	0.01	4.22	0.14
Loss On Ignition (LOI)	8.42	1.79	6.93
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	80.09	66.06	5.38
Specific gravity (Sp.gr)	2.81	2.34	2.02
Dry unit weight (kg/m^3)	1301.4	1299.6	495.2
Median particle size, $d_{50}(\mu)$	10.88	8.80	6.63
Blaine fineness (cm^2/g)	-	4310	5747

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุวิจัย พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าหน่วยน้ำหนักของดินเหนียวด่านเกวียน แก้วลอย และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าเท่ากับ 2.81 2.34 และ 2.02 ตามลำดับ และ 1301.4 1299.6 และ 495.2 กก/ม³ ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 2 และ 3 พบว่า ดินเหนียวด่านเกวียน มีลักษณะอนุภาคเป็นผลึกเปลือกแผ่นบางซ้อนตัวเรียงกันอยู่หนาแน่น ยึดเกาะกันเป็นกลุ่ม ขนาด

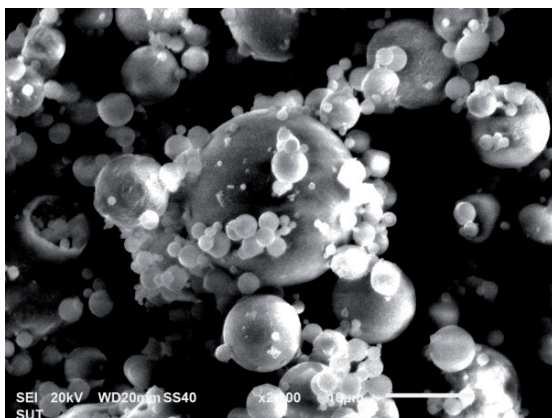
อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 10.88 ไมครอน แก้วลอยมีรูปร่างลักษณะของอนุภาคกลมมน เนื้อภายในแน่นและพื้นผิวเป็นผลึกเล็กๆคล้ายปุยขน จับเรียงตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.63 ไมครอน และอนุภาควัสดุตั้งที่กล่าวมีลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ



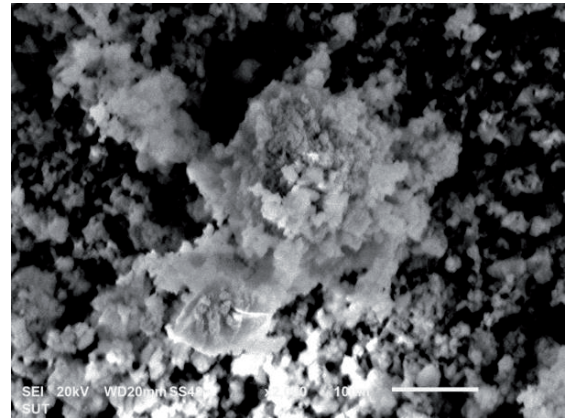
รูปที่ 2 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินเหนียวด่านเกวียน แก้วลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์



(ก) ดินเหนียวด่านเกวียน



(ข) แก้วลอยแม่เมาะ



(ค) แคลเซียมไฮดรอกไซด์

รูปที่ 3 SEM ของดินเหนียวด่านเกวียน แก้วลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์

2.5 อัตราส่วนผสมของอิฐดินเหนียวมวลเบา

อัตราส่วนผสมของอิฐดินเหนียวมวลเบาโดยเริ่มศึกษาการใช้แก้วลอยแทนที่ในดินเหนียวด่านเกวียนบางส่วนโดยแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักดินเหนียว ตามลำดับ (ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วัสดุปอชโซลาน(แก้วลอย)แทนที่ในดินเหนียวไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักดินเหนียว เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน) ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุผสมเพิ่มอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักดินเหนียว กำหนดใช้อัตราส่วนน้ำต่อดินเหนียวที่เหมาะสมเท่ากับ 0.65 โดยน้ำหนักดินเหนียว (โดยเลือกปริมาณน้ำที่ใช้ผสมไม่ให้ค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัดเหลวของดินเหนียว) และใช้สารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารเพิ่มฟองอากาศที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ บ่มตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน และอัตราส่วนผสมของอิฐดินเหนียวมวลเบาแสดงดังตารางที่ 3

สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมีความหมายดังนี้ 100DCL-Control. คือ ส่วนผสมควบคุมที่ใช้ดินเหนียวล้วนทั้งหมด ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์ในส่วนผสมอื่นๆ เช่น 80DCL20FA+10CHF หมายถึง ใช้ดินเหนียวบดละเอียดร้อยละ 80 แทนที่ด้วยแก้วลอยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดินเหนียว ผสมเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักดินเหนียวและผสมสารเพิ่มฟองอากาศหรือโฟมเหลว (foaming agent)

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของอิฐดินเหนียวมวลเบา

Mix No.	Mix ID.	Mix Proportion (kg/m ³)					W/CL
		Dan kwian clay (DCL)	Fly ash (FA)	Calcium hydroxide (CH)	Foaming agent	Water	
M-1	100DCL-Control	1301.0(100%)	-	-	-	845.7	0.65
M-2	100DCL0FA+10CHE	1301.0(100%)	-	130 (10%)	0.65	845.7	0.65
M-3	90DCL10FA+10CHE	1170.9 (90%)	129.9 (10%)	130 (10%)	0.65	845.5	0.65
M-4	80DCL20FA+10CHE	1040.8 (80%)	259.8 (20%)	130 (10%)	0.65	845.4	0.65
M-5	70DCL30FA+10CHE	910.7 (70%)	389.7 (30%)	130 (10%)	0.65	845.3	0.65
M-6	60DCL40FA+10CHE	780.6 (60%)	519.6 (40%)	130 (10%)	0.65	845.3	0.65
M-7	100DCL0FA+20CHE	1301.0(100%)	-	260 (20%)	1.30	845.7	0.65
M-8	90DCL10FA+20CHE	1170.9 (90%)	129.9 (10%)	260 (20%)	1.30	845.5	0.65
M-9	80DCL20FA+20CHE	1040.8 (80%)	259.8 (20%)	260 (20%)	1.30	845.4	0.65
M-10	70DCL30FA+20CHE	910.7 (70%)	389.7 (30%)	260 (20%)	1.30	845.3	0.65
M-11	60DCL40FA+20CHE	780.6 (60%)	519.6 (40%)	260 (20%)	1.30	845.3	0.65

หมายเหตุ : Cont. = Control mix, DCL = Dan kwian clay, FA = Fly ash, CH = Calcium hydroxide หรือ $\text{Ca}(\text{OH})_2$, w / cl = water-to-clay ratio

2.6 วิธีการผสมและบ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนการผสมและการทดสอบตัวอย่างมีดังนี้

- (1) เตรียมเครื่องผลิตโฟมเหลว โดยต่อเครื่องอัดอากาศให้เข้ากับถังรับแรงดัน เจือจางน้ำยาเพิ่มฟองอากาศกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 40 ใส่ลงในถังรับแรงดันและปรับแรงดันให้อยู่ในช่วงประมาณ 0.60 – 0.70 MPa. หรือ 6 – 7 Bar.
- (2) การผสมทำในอุณหภูมิห้องทดลองมีค่าระหว่าง 25 – 45 องศาเซลเซียส เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพอากาศประเทศไทย และเริ่มต้นผสมโดยใส่ดินเหนียวบดละเอียดกับเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงในโม่ผสมคอนกรีต ผสมให้เข้าจนเนื้อวัสดุคลุกเคล้าจนเป็นสีเดียวกันแล้วใส่น้ำผสม ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันดีเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วฉีดโฟมเหลวลงในโม่ผสม เดินเครื่องผสมประมาณ 1-2 นาที (การผสมในแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลาเกิน 5 นาที ถ้าผสมเกินเวลาอาจทำให้ฟองอากาศแตกตัว) จนเห็นว่าส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเทส่วนผสมลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปบ่ม
- (3) บ่มตัวอย่างอิฐดินเหนียวมวลเบาในสภาพชื้นโดยใช้แผ่นพลาสติกคลุมให้มิดชิดป้องกันความชื้นออก ให้ได้ตามตามอายุการบ่มที่ระบุไว้ ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพต่างๆ

3. วิธีการศึกษา

3.1 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดจะทำการหล่อก้อนตัวอย่างเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยมตัน ขนาด 215 x 103 x 65 มม ทดสอบกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ตำแหน่งด้านแบนราบ (Flat-wise) ด้านแนวขวาง (Edge-wise) และด้านแนวยาว (Length-wise) ตามลำดับ โดยวิธี Bearing Plate คำนวณหาค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ด้าน ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ใช้ตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 6 ตัวอย่างต่ออายุการบ่มทั้งหมด 132 ตัวอย่าง ซึ่งค่ากำลังอัดสูงสุด (f) คือ อัตราส่วนระหว่างแรงกด (P) ต่อพื้นที่หน้าตัดด้านรับแรงกด (A) มีหน่วยเป็น kg/cm^2 หรือ ksc การทดสอบกำลังอัดอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C67 [12]

3.2 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างทดสอบที่อายุ 28 วัน โดยนำก้อนตัวอย่าง ขนาด 215 x 103 x 65 มม ไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่างต่ออายุการบ่ม นำก้อนตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส นำไปแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง การทดสอบค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C67 [12]

3.3 การทดสอบหาค่าการหดตัวเชิงปริมาตรรวม

ทำการทดสอบโดยวัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนา และคำนวณหาปริมาตรของก้อนตัวอย่าง ที่

อายุ 28 วัน ใช้ตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 3 ก้อน ตัวอย่างต่ออายุการบ่ม ค่าร้อยละของการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ (1) [13]

$$T.S.V = \frac{V_M - V_F}{V_M} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $T.S.V$ คือ ร้อยละของการหดตัวรวมเชิงปริมาตร V_M คือ ปริมาตรเดิมของก้อนตัวอย่างเทียบกับขนาดแบบหล่อมาตรฐาน V_F คือ ปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่หดตัวในสภาพแห้ง

3.4 การทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนัก

การทดสอบเพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างอิฐดินเหนียวมวลเบา ที่อายุ 28 วัน โดยนำก้อนตัวอย่าง ขนาด $215 \times 103 \times 65$ มม จำนวน 3 ก้อน ตัวอย่าง เข้าตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส จากนั้น ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเพื่อหาปริมาตร ซึ่งหน่วยน้ำหนัก (ρ) คือ อัตราส่วนระหว่างมวล (m) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (V) มีหน่วยเป็น kg/m^3 อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C138 [14]

3.5 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ

ทำการทดสอบโดยนำตัวอย่างอิฐดินเหนียวมวลเบา ที่อายุ 28 วัน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความหนาเท่ากับ 5 ซม. จำนวน 2 ตัวอย่างต่ออายุการบ่ม ทำการหล่อเรซินแข็งให้หนาประมาณ 2.5 ซม. รอบๆ ผิวด้านข้างของตัวอย่าง ก่อนนำไปทดสอบ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้แรงดันของน้ำเท่ากับ 0.3 MPa. หรือ 3 Bar. ซึ่งเป็นความดันที่อยู่ระหว่าง 0.3 – 0.50 MPa. [15] ซึ่งได้แนะนำไว้ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำคำนวณโดยใช้สมการที่ (2) ซึ่งเป็นสมการที่มีนักวิจัยหลายท่านใช้กัน [16]

$$K = \frac{\rho \times L \times g \times Q}{P \times A} \quad (2)$$

โดยที่ K คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ (m/sec) ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/sec^2) Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/sec) L คือ ความหนาของตัวอย่างทดสอบ (m) P คือ ความดันน้ำสัมบูรณ์ ($\text{kg.m/m}^2/\text{sec}^2$) และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

3.6 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

นำตัวอย่างอิฐดินเหนียวมวลเบาที่อายุ 28 วัน ที่มี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม ขนาดความสูงเท่ากับ 10 ซม จำนวน 2 ตัวอย่างต่ออายุการบ่ม อบไล่ความชื้นให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ที่ 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น จากนั้นนำไปทดสอบการนำความร้อน โดยให้ความร้อน (Q) ด้วยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านขดลวดความร้อนบนผิวสัมผัสด้านหนึ่งที่อุณหภูมิมากกว่า 50°C และด้านผิวสัมผัสอีกด้านที่อยู่ตรงกันข้ามจะถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ทำการวัดค่าอุณหภูมิทั้งสองจุด โดยใช้เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิแบบ Data logger ค่าความละเอียด $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิมิระหว่างจุดที่วัดคือ ΔT นำค่าที่ได้แทนในสมการที่ (3) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E1225 [17]

$$k = \frac{Q \times L}{A \times \Delta T} \quad (3)$$

โดยที่ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W/m}^\circ\text{K}$ หรือ $\text{W/m}^\circ\text{C}$) Q คือ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านตัวอย่างทดสอบ (Watt หรือ W) L คือ ความหนาของตัวอย่างทดสอบ (m) A คือ พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2) ΔT คือ ผลต่างระหว่างจุดที่วัดอุณหภูมิ ($^\circ\text{K}$ หรือ $^\circ\text{C}$)

4 ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะทางกายภาพของอิฐดินเหนียวมวลเบา

จากรูปที่ 4 พบว่า สีพื้นผิวภายนอกมีสีที่เปลี่ยนไปตามการแทนที่ของเถ้าลอยในดินเหนียวและผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนผสมอิฐดินเหนียวชุดควบคุมมีสีผิวออกสีน้ำตาลเข้มแกมแดง และส่วนผสมที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณสัดส่วนที่สูงขึ้น สีผิวของก้อนตัวอย่างมีสีผิวออกไปทางสีเทาแก่ไปจนถึงสีเทาอ่อน ลักษณะพื้นผิวภายนอกโดยรวมมีลักษณะผิวของก้อนตัวอย่างเรียบเสมอกัน รูพรุน รอยแตกร้าว การหดตัวลดลงและมีน้ำหนักเบา



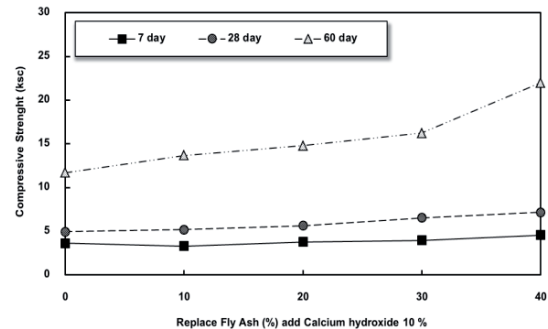
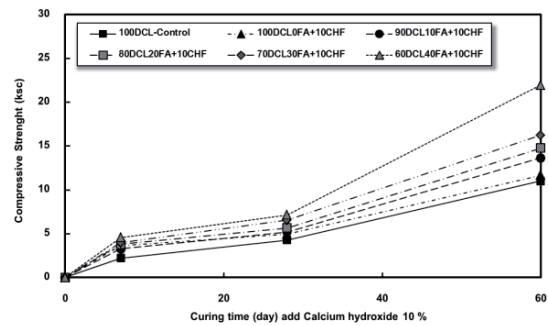
รูปที่ 4 ขนาดก้อนตัวอย่างอิฐดินเหนียวมวลเบาหลังการหล่อขึ้นรูป

4.2 ผลของกำลังอัด

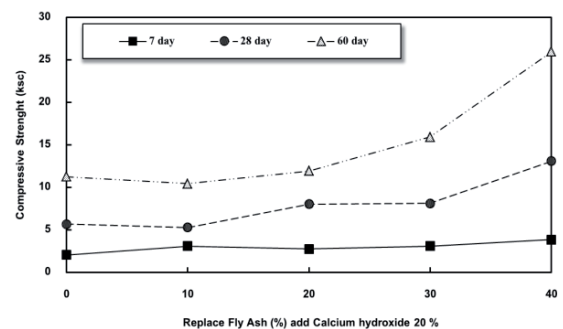
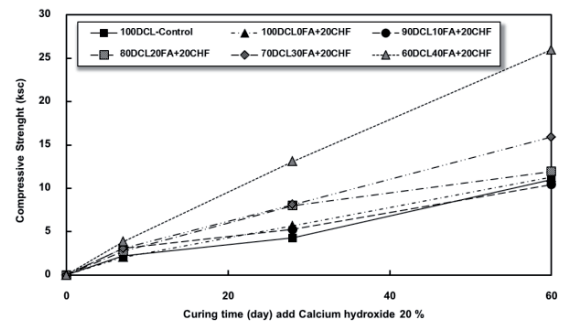
ตารางที่ 4 กำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของอิฐดินเหนียวมวลเบา

Mix No.	Mix ID.	กำลังอัด, กก/ซม ² (%)		
		7 วัน	28 วัน	60 วัน
M-1	100DCL-Control	2.21 (100)	4.28(100)	11.01 (100)
M-2	100DCL0FA+10CHF	3.63 (164)	4.9 4 (115)	11.69 (106)
M-3	90DCL10FA+10CHF	3.29 (149)	5.20 (122)	13.67 (124)
M-4	80DCL20FA+10CHF	3.78 (171)	5.65 (132)	14.79 (134)
M-5	70DCL30FA+10CHF	3.97 (180)	6.54 (153)	16.23 (147)
M-6	60DCL40FA+10CHF	4.57 (207)	7.17 (168)	21.99 (200)
M-7	100DCL0FA+20CHF	2.05 (93)	5.69 (133)	11.28 (102)
M-8	90DCL10FA+20CHF	3.08 (139)	5.28 (123)	10.44 (95)
M-9	80DCL20FA+20CHF	2.77 (125)	8.02 (188)	11.95 (109)
M-10	70DCL30FA+20CHF	3.08 (139)	8.14 (190)	15.92 (145)
M-11	60DCL40FA+20CHF	3.87 (175)	13.10 (306)	25.98 (236)

ตารางที่ 4 แสดงค่ากำลังอัดของอิฐดินเหนียวมวลเบา กับอิฐดินเหนียวชุดควบคุม พบว่า ค่ากำลังอัดของชุดควบคุม ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 2.21, 4.28 และ 11.01 กก/ซม² ตามลำดับ ส่วนกำลังอัดของอิฐดินเหนียวมวลเบาที่มีค่าสูงสุด ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน คือ อัตราส่วน 60DCL40FA+20CHF อายุ 7, 28 และ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 3.84, 13.10 และ 25.98 กก/ซม² ตามลำดับ โดยคิดเป็น 139%, 190% และ 145% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จากผลของกำลังอัดข้างต้นยังพบว่า เมื่อมีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโฟมเหลว ค่ากำลังอัดที่ได้ในระยะแรกมีค่ากำลังอัดที่ค่อนข้างน้อย เนื่องจากระยะแรกปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ยังไม่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระยะแรก และเริ่มต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น กำลังอัดเริ่มพัฒนามีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงอายุ 28 วันและ 60 วัน ค่ากำลังที่สูงขึ้นเป็นผลจากออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาที่มีอยู่ในดินเหนียวและเถ้าลอยทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์เกิดเป็น “ปฏิกิริยาปอซโซลานิก” อย่างสมบูรณ์ ผลที่ได้คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) เป็นสารที่ทำให้เกิดการพัฒนามากำลัง สอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [3-4],[6] และ [18]



รูปที่ 5 การพัฒนามากำลังอัดของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ตามลำดับอายุการบ่ม

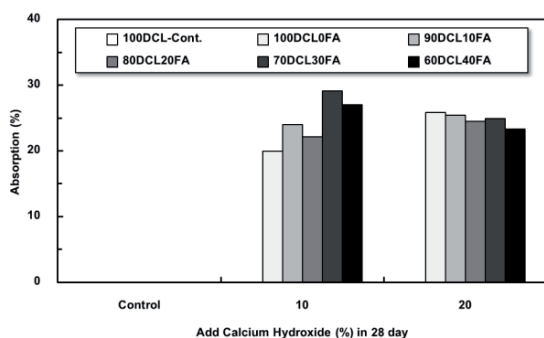


รูปที่ 6 การพัฒนามากำลังอัดของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ตามลำดับอายุการบ่ม

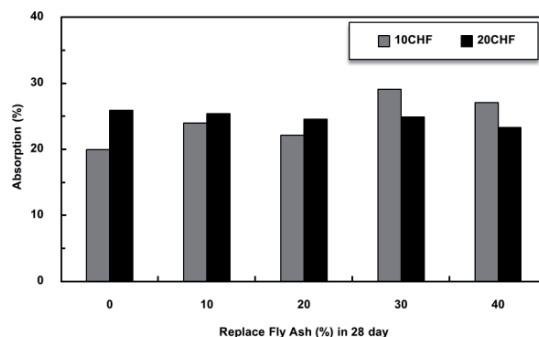
จากรูปที่ 5 และ 6 กราฟการพัฒนากำลังอัดของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และ 20 พบว่า กำลังอัดของอิฐดินเหนียวที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ร้อยละ 40 ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอิฐดินเหนียวชุดควบคุม แต่ค่ากำลังอัดเริ่มมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้ค่ากำลังอัดในช่วงแรก มีค่าที่ยังไม่สูงแต่จะเริ่มสูงขึ้นในระยะปลาย

4.3 ผลของการดูดซึมน้ำ

ผลของการดูดซึมน้ำ (Water Absorption, *W.A*) ของอิฐดินเหนียวมวลเบาและอิฐดินเหนียวชุดควบคุมที่แปรผันตามปริมาณวัสดุ ที่อายุ 28 วัน พิจารณาดังรูปที่ 7 และ 8 พบว่า การดูดซึมน้ำของอิฐดินเหนียวล้วนควบคุม 100DCL-Control. ไม่สามารถหาค่าการดูดซึมน้ำได้ เนื่องจากตัวอย่างทดสอบเปื่อยยุ่ยเมื่อแช่น้ำ ไม่สามารถทนน้ำได้ถึง 24 ชั่วโมง ซึ่งจะกลายเป็นกองดินสาเหตุที่ตัวอย่างเปื่อยยุ่ยขณะทดสอบเป็นผลเนื่องมาจากดินเหนียวล้วนไม่มีคุณสมบัติของการยึดประสานระหว่างเม็ดดิน เกิดการแยกตัวเวลาถูกน้ำ ในส่วนชุดอิฐดินเหนียวมวลเบา พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณการใช้วัสดุแทรก ค่าการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วงร้อยละ 20.0 - 29.6 มีค่าที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [3] และ [18] ซึ่งพบว่า การดูดซึมน้ำของอิฐดินเหนียวอัดก่อนผสมวัสดุแทรก มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 17 - 22 และช่วงร้อยละ 19.2 - 37.2



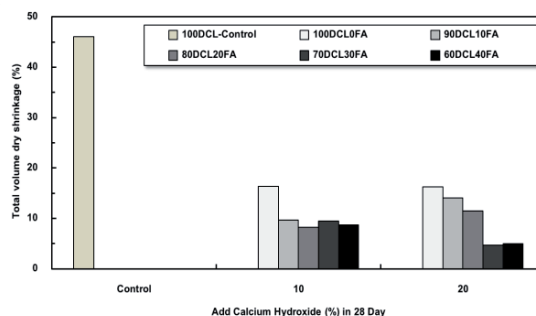
รูปที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำเทียบกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์



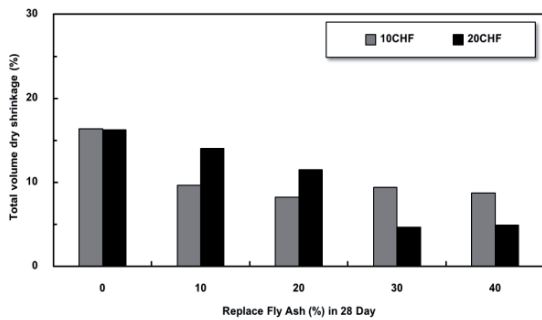
รูปที่ 8 ค่าการดูดซึมน้ำเทียบกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย

4.4 ผลของการหดตัวเชิงปริมาตรรวม

ผลการทดสอบร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้ง (Total volume dry shrinkage, *T.V.S*) ของอิฐดินเหนียวมวลเบาและอิฐดินเหนียวชุดควบคุมที่แปรผันตามปริมาณวัสดุ ที่อายุ 28 วัน พิจารณาดังรูปที่ 9 และ 10 พบว่า ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรแบบแห้งมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งข้อมูลจะสอดคล้องกับข้อมูลของกำลังอัดของอิฐดินเหนียวมวลเบา ค่าการหดตัวต่ำและค่ากำลังอัดมีค่าสูงขึ้นตามอายุการบ่ม ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้งที่อายุ 28 วัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.69 - 18.8 ส่วนค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้งต่ำสุดอยู่ที่ 60DCL40FA+20CHF มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.69 ที่อายุ 28 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [19] ที่พบว่า ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรของอิฐดินเหนียวผสมวัสดุแทรกมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5



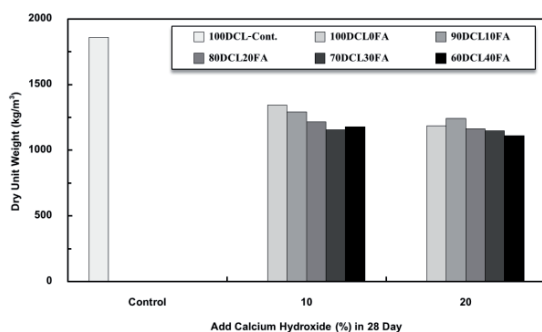
รูปที่ 9 ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้งกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์



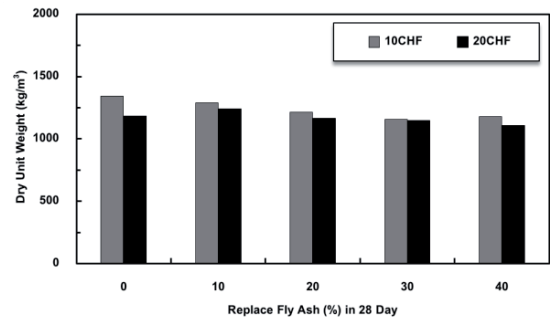
รูปที่ 10 ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้งกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย

4.5 ผลของหน่วยน้ำหนัก

ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry unit weight, ρ_{dry}) ของอิฐดินเหนียวมวลเบาและอิฐดินเหนียวชุดควบคุม ที่อายุ 28 วัน พิจารณาดังรูปที่ 11 และ 12 พบว่า ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยและผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กของวัสดุแทรกมีความหนาแน่นต่ำ ผลของการเติมโฟมเหลวลงในส่วนผสมส่งผลทำให้หน่วยน้ำหนักลดลง เพราะทำให้เกิดโพรงหรือช่องว่างของอากาศภายในเนื้อวัสดุ ทำให้น้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐดินเหนียวชุดควบคุมที่มีหน่วยน้ำหนักค่อนข้างสูง โดยมีค่าเท่ากับ 1859.6 กก/ม^3 ที่อายุ 28 วัน ซึ่งโดยปกติแล้วค่าหน่วยน้ำหนักแห้งของอิฐดินเหนียวล้วนมีค่าอยู่ในช่วง $1600 - 1920 \text{ กก/ม}^3$ [3] และอิฐดินเหนียวมวลเบาจากการวิจัย มีค่าอยู่ในช่วง $1110.4 - 1347.8 \text{ กก/ม}^3$ ที่อายุ 28 วัน ซึ่งได้ผลทดสอบที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [13] พบว่า อิฐดินเหนียวผสมวัสดุมวลรวมเบาหน่วยน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง $990 - 1900 \text{ กก/ม}^3$



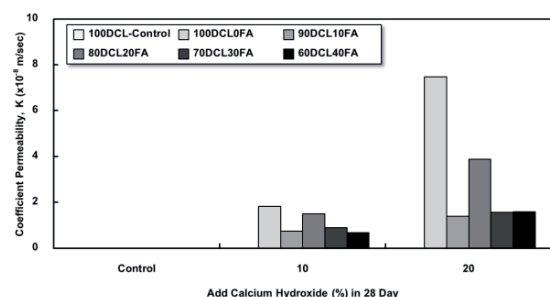
รูปที่ 11 ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์



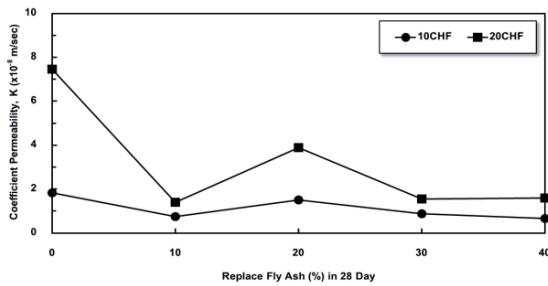
รูปที่ 12 ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย

4.6 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ

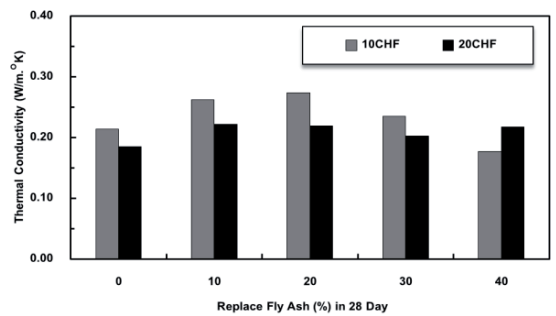
ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ (Water permeability coefficient, K) ของอิฐดินเหนียวมวลเบาและอิฐดินเหนียวชุดควบคุม ที่อายุ 28 วัน พิจารณาดังรูปที่ 13 และ 14 พบว่า อัตราส่วนอิฐดินเหนียวชุดควบคุมไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำได้ เนื่องจากตัวอย่างทดสอบพังทลายเมื่อถูกแรงดันน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีค่าลดลงโดยแปรผันตามปริมาณวัสดุแทรก(แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 ถึง 40) ผสมรวมวัสดุผสมเพิ่มที่มีความละเอียดสูงและปริมาณฟองอากาศจากโฟมเหลวที่ผสม ผลของความพรุนจากฟองอากาศภายในที่แปรผันตามปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ผสม(ร้อยละ 10 และ 20) มีผลทำให้อัตราการซึมผ่านน้ำมีค่าที่สูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของอัตราส่วนที่ผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 มีค่าอยู่ในช่วง $0.67 \times 10^{-8} - 1.83 \times 10^{-8}$ ม/วินาที และร้อยละ 20 มีค่าอยู่ในช่วง $1.40 \times 10^{-8} - 7.46 \times 10^{-8}$ ม/วินาที ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [15] และ [20] ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของอิฐดินเหนียวมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $3.35 \times 10^{-8} - 12.70 \times 10^{-8}$ ม/วินาที



รูปที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์



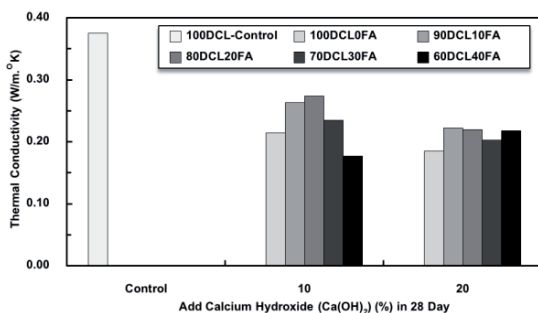
รูปที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย



รูปที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย

4.7 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity, k) ของอิฐดินเหนียวมวลเบาและอิฐดินเหนียวชุดควบคุม ที่อายุ 28 วัน พิจารณาดังรูปที่ 15 และ 16 พบว่า ค่าการนำความร้อนมีค่าลดลง การแทนที่ด้วยเถ้าลอยและผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นและเติมโพลีเมอร์ มีส่วนทำให้ค่าการนำความร้อนมีค่าลดลง เพราะเถ้าลอยมีคุณสมบัติการดูดซับความร้อนต่ำและฟองอากาศภายในที่เกิดขึ้นกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอในเนื้อวัสดุ เกิดรูพรุน กระแสความร้อนถ่ายเทผ่านเนื้อวัสดุได้ช้า ทำให้เกิดการต้านทานความร้อนส่งผลให้ค่าการนำความร้อนมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐดินเหนียวชุดควบคุม ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอิฐดินเหนียวมวลเบา มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.18 – 0.24 วัตต์/ม.เคลวิน และอิฐดินเหนียวควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.38 วัตต์/ม.เคลวิน ที่อายุ 28 วัน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [19] และ [21] ที่พบว่า คุณสมบัติการนำความร้อนของอิฐดินเหนียวอัดก้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.24 – 0.27 วัตต์/ม.เคลวิน

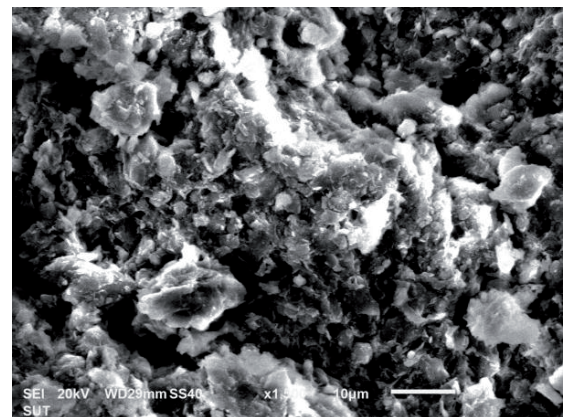


รูปที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์

4.8 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของอิฐดินเหนียวมวลเบา

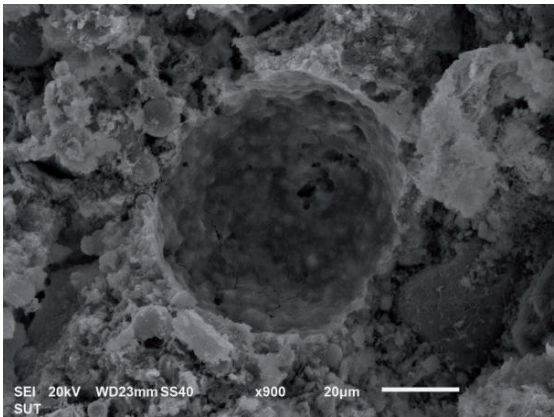
4.8.1 วิเคราะห์ภาพถ่าย SEM ของอิฐดินเหนียวควบคุม

จากรูปที่ 17 เป็นภาพถ่ายขยายของอิฐดินเหนียวชุดควบคุม(ดินเหนียวล้วน) ที่อายุ 28 วัน โดยใช้กล้อง SEM กำลังขยาย 1500 เท่า จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคของอิฐดินเหนียวล้วน มีโครงสร้างที่ค่อนข้างทึบ เกิดการซ้อนทับของอนุภาคดินเหนียวที่มีลักษณะเป็นแผ่นๆ ยึดเกาะเป็นกลุ่มใหญ่ และพบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นจำนวนมาก ขาดการยึดเกาะระหว่างอนุภาค ปฏิกริยาทางเคมีเกิดขึ้นเพียงสารซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) กับน้ำ (H_2O) เท่านั้น ทำให้เกิดการจับก้อน แต่ไม่มีการยึดประสาน เพราะสารแคลเซียมออกไซด์ที่อยู่ในดินเหนียวมีปริมาณน้อย



รูปที่ 17 ภาพ SEM ของอิฐดินเหนียวควบคุมที่อายุ 28 วัน

4.8.2 วิเคราะห์ภาพถ่าย SEM ของอิฐดินเหนียวมวลเบา



รูปที่ 18 ภาพ SEM ของอิฐดินเหนียวมวลเบาที่อายุ 28 วัน

รูปที่ 18 เป็นรูปถ่าย SEM กำลังขยาย 1500 เท่า ของอิฐดินเหนียวมวลเบาที่มีดินเหนียวผสมร่วมกับเถ้าลอย, แคลเซียมไฮดรอกไซด์และโพลีเมอร์ ที่อายุ 28 วัน จะเห็นว่าเอทิงไกต์หรือผลึกซีม จะเริ่มเกิดขึ้นรอบๆ รูพรุนฟองอากาศ มีลักษณะเป็นร่างแหเล็กๆเชื่อมติดกัน และเวลาเติวยกขึ้นก็จะเกิดสารแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เจล (C-S-H gel) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของดินเหนียวและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [18] นอกจากนี้ยังเกิดสารแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์กลายเป็นวัสดุยึดประสาน [3] และ [8] กับอนุภาคดินเหนียวซึ่งสารที่เกิดขึ้นทั้งสองเป็นสารช่วยพัฒนากำลังอัดให้เพิ่มขึ้นและช่วยลดค่าการซึมผ่านน้ำ

4.9 เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติกับวัสดุก่อชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบาจากงานวิจัยกับวัสดุก่อผนังประเภทอื่นๆ พบว่า คุณสมบัติด้านกำลังอัด หน่วยน้ำหนักแห้ง การหดตัวเชิงปริมาตร การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ระดับที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง ผลของกำลังอัดและการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับของมาตรฐานการทดสอบอิฐดินเหนียว ASTM C67 [12] ที่กำหนดค่าต้านทานกำลังอัดอยู่ในช่วง 15-40 กก/ซม² และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยกว่า 25 %

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติกับวัสดุก่อชนิดอื่นๆ

คุณสมบัติ	ชนิดวัสดุก่อผนัง			
	อิฐมอญตัน*	คอนกรีตมวลเบา*	อิฐดินดิบทั่วไป*	อิฐดินเหนียวมวลเบา
จำนวนต่อ ตร.ม. (ก้อน)	130-145	8.33	33	45
ขนาด (ก*ย*ส) (ซม)	7*16*3.5	7.5*20*60	10*20*30	22*10.3*6.5
ความหนาแน่น (กก/ม ³)	1615-1650	550-640	1693	1100-1200
น้ำหนักต่อ ตร.ม. (กก/ม ²)	130	46.5	335	78
ค่ากำลังอัด (กก/ซม ²)	10-24	35-80	17.6-21.1	13.5-25.9
ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	30-35	30-32	-	23.3-24.8
หดตัวแบบแห้ง (ร้อยละ)	1.8	0.2	< 1	0.49
ค่านำความร้อน (วัตต์/ม.เคลวิน)	1.15 – 1.32	0.11-0.18	< 0.90	0.22
การใช้งาน	ง่าย	เฉพาะทาง	ง่าย	ง่าย
การบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ไม่ทนน้ำ	ง่าย

หมายเหตุ: *เปรียบเทียบกับคุณสมบัติวัสดุอุตสาหกรรมของกรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน [22]

5. สรุป

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของอิฐดินเหนียวมวลเบา พอสรุปได้ว่า

- (1) ลักษณะทางกายภาพของอิฐดินเหนียวมวลเบาที่ผสมเถ้าลอยร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโพลีเมอร์ มีผลทำให้ผิวภายนอกมีผิวเรียบสม่ำเสมอ เนื้อแน่น ปราศจากรอยแตกร้าว การหดตัวต่ำ มีน้ำหนักเบา และสีผิวภายนอกเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีเทาอ่อน
- (2) ค่ากำลังอัดของอิฐดินเหนียวมวลเบาแปรผันตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นและอายุการบ่ม ค่ากำลังอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 4.9 - 13.1 กก/ซม² และ 10.4 - 25.9 กก/ซม² ที่อายุ 28 และ 60 วัน
- (3) ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน พบอยู่ในช่วงร้อยละ 19.9 – 29.1 ผลของปริมาณฟองอากาศจากโพลีเมอร์และอายุการบ่มมีผลทำให้เกิดความต้องการน้ำสูง

(4) ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้งของอิฐดินเหนียวมวลเบา มีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นและอายุการบ่ม ค่าร้อยละการหดตัวแบบแห้งที่อายุ 28 วัน พบอยู่ในช่วงร้อยละ 4.53 -24.9

(5) หน่วยน้ำหนักแห้งของอิฐดินเหนียวมวลเบาที่มีค่าแปรผันตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และปริมาณฟองอากาศจากโฟมเหลว ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งที่อายุ 28 วัน พบอยู่ในช่วง 1110.4 – 1385.2 กก/ม³

(6) การใช้เถ้าลอยแทนที่ดินเหนียว (ร้อยละ 10 ถึง 40) ผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณต่ำ (ร้อยละ 10) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนที่ผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณสูง (ร้อยละ 20) และผลของปริมาณฟองอากาศที่แปรผันตามปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีค่าที่ลดต่ำลงหรือสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่อายุ 28 วัน พบอยู่ในช่วง 0.67×10^{-8} – 7.46×10^{-8} มวินาที

(7) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าที่ลดลงตามปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยผสมร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และปริมาณฟองอากาศจากโฟมเหลว มีส่วนทำให้การซึมผ่านของกระแสความร้อนทำได้ช้าลง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่อายุ 28 วัน พบอยู่ในช่วง 0.18 – 0.27 วัตต์/ม.เคลวิน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความสะดวกด้านอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุสรณ์ อินทรังษี. การออกแบบโครงสร้างงานก่อ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 1-2. 2552.
- [2] ประชุม คำพุ่มและคณะ. การปรับปรุงคุณสมบัติของ

อิฐดินดิบด้วยน้ำยางธรรมชาติ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, พัทยา ชลบุรี, ประเทศไทย, 14-16 พฤษภาคม 2551:262 – 268.

- [3] Kumar, S. A perspective study on fly ash–lime–gypsum bricks and hollow blocks for low cost housing development. Construction and Building Materials. 2002; 16(8):519-525.
- [4] Lingling, X., Wei, G., Tao, W., Nanru, Y. Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. Construction and Building Materials. 2005; 19(3):243-247.
- [5] จิรฐิติ บรรจงศิริ, จักรี ดิยะวงศ์สุวรรณ. การทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบที่ใช้ก่อสร้างบ้านดิน .เอกสารงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์. 2546.
- [6] รุ่งโรจน์ ปิยะภานุวัฒน์, เอกรัตน์ รวยรวย. การใช้ปูนขาวผสมเถ้าลอยถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาจากฝุ่นอะลูมิเนียมและผงอะลูมิเนียมบริสุทธิ์. วิศวกรรมสาร มข. 2555; 39(2): 139-145.
- [7] British Standard Institute. BS : 3921 Specification for clay bricks, London. UK. 2003.
- [8] American Society for Testing and Materials. ASTM D4318 Standard test methods for liquid limit. Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standards. 2010; 4(10).
- [9] American Society for Testing and Materials. ASTM C188 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards. 2009; 4(9).
- [10] American Society for Testing and Materials. ASTM C204 Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air – Permeability Apparatus. Annual Book of ASTM Standards. 2011; 4(11).
- [11] American Society for Testing and Materials. 2007. ASTM C 29 Standard Test Method for Unit Weight of Aggregate. Annual Book of ASTM Standards. 2007; 4(1).
- [12] American Society for Testing and Materials.

- ASTM C67 Standard Test Methods For Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. Annual Book of ASTM Standards. 2011; 4(11).
- [13] วรินทร์ บัญชาพัฒนศักดิ์ตาและคณะ. พฤติกรรมการหดตัวและกำลังรับแรงอัดของอิฐดินเหนียวเมื่อผสมกากซีเมนต์. วิศวกรรมสาร มช. 2552; 36(4):283-292.
- [14] American Society for Testing and Materials. ASTM C138 Standard Test Method for density (unit weight) yield and air content (gravimetric) of concrete. Annual Book of ASTM Standards. 2012; 4(12).
- [15] Anand, K.B., Vasudevan, V., Ramamurthy, K. Water permeability assessment of alternative masonry systems. Building and Environment. 2003; 38(7):947-957.
- [16] รัฐพล สมณา, ชัย จตุรพิทักษ์กุล. การใช้เถาขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2554; 34(4):369 - 381.
- [17] American Society for Testing and Materials. ASTM E1225 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique Annual Book of ASTM Standards. 2004; 4(4).
- [18] Oti, J.E., Kinuthia, J.M., Bai, J. Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks. Engineering Geology. 2009; 109(3-4):230-240.
- [19] พานทอง อินทรชัย. คุณสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและยิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2553.
- [20] Dondi, M., Principi, P., Raimondo, M., Zanarini, G. Water vapour permeability of clay bricks. Construction and Building Materials. 2003; 17(4):253-258.
- [21] Oti, J.E., Kinuthia, J.M., Bai, J. Design thermal values for unfired clay bricks. Materials & Design. 2010; 31(1):104-112.
- [22] กรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. [อินเทอร์เน็ต]. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุอุตสาหกรรม 10 ชนิด. [เข้าถึงได้จาก]:<http://www2.dede.go.th/new-omesafe/webban/book/material%20table.htm>.