การพัฒนาอิฐอัดจากเถ้าชีวมวลและตะกอนน้ำประปา

A Development of compressed brick made from bio-mass ash and water supply sludge waste

เอกชัย แก่นวงศ์คำ[1], มีศักดิ์ พัวพิทยาธร[2], มณีรัตน์ องค์วรรณดี[3], สหลาภ หอมวุฒิวงศ์[3*]
Ekkachai Keanvongkham[1*], Meesak Powpitthayadhorn[2], Maneerat Ongwandee[3], Sahalaph Homwuttiworng[3*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุก่อผนังที่ผลิตจากการใช้เถ้าชีวมวลเป็นส่วนผสมหลัก โดยอิฐอัดตัวอย่างมีขนาดเท่ากันกับอิฐดินเหนียวเผา (อิฐมอญ) ที่ใช้กันโดยทั่วไป ส่วนผสมประกอบด้วยเถ้าชีวมวล ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 ทรายแม่น้ำ น้ำ และตะกอนน้ำประปา ส่วนผสมทั้งหมดถูกนำมาผสมและขึ้นรูปก้อนตัวอย่างด้วยแรงอัดจากเครื่องไฮดรอลิกส์ แล้วทำการบ่มชื้นในอากาศจนครบอายุการทดสอบ คุณสมบัติที่ทำการทดสอบได้แก่ กำลังอัด การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน จากผลการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม และการใช้ตะกอนน้ำประปาแทนที่น้ำในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้อิฐอัดเถ้าชีวมวลมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดประมาณ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิฐอัดเถ้าชีวมวลมีค่าการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 65 และมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณของตะกอนน้ำประปาในส่วนผสม ส่วนค่าการนำความร้อนของอิฐอัดนั้นต่ำกว่าของอิฐมอญ จากผลดังกล่าวอิฐอัดที่ผลิตจากเถ้าชีวมวลและตะกอนน้ำประปาสามารถพัฒนาใช้เป็นวัสดุก่อผนังได้

คำสำคัญ: วัสดุก่อผนัง เถ้าชีวมวล ตะกอนน้ำประปา กำลังอัด การดูดซึมน้ำ การนำความร้อน

Abstract

This research was to study of properties of masonry unit made from bio-mass ash and water supply sludge. Samples were cast in the same sizes of ordinary clay burned brick. The mixtures, namely, bio-mass ash, Portland cement type I, river sand and water supply sludge were mixed and cast by using pressure from the hydraulic compression machine. The compressed brick were moist cured in ambient

[1]นิสิตปริญญาโท, [2]วิศวกรโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, [3]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

[1]Graduate student, [2]Civil Engineer, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, [3]Lecturer, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai, Maha sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author: Sahalaph Homwuttiwong, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha sarakham 44150, Thailand. E-mail: sahalaph.h@msu.ac.ath

temperature until the testing age. Compressive strength, water absorption and heat conductivity were investigated. It was found that the compressive strength increased with age of curing time. The Using of water supply sludge replaced water at 40% by weight induced the highest compressive strength approximately 180 ksc at 28 days. The water absorption of compressed brick was 65% and tended to decrease as increase the amount of water sludge waste. The heat conductivity of compressed brick was lower than the clayed burned brick. From the results, compressed brick made from bio-mass ash and water supply sludge waste is able to develop for use as a masonry unit.

บทนำ

ปัจจุบันวัสดุก่อผนังเบานับได้ว่าเป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างแบบใหม่สำหรับวงการก่อสร้างของไทย ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูง และเป็นทางเลือกใหม่แก่วงการก่อสร้าง เนื่องจากวัสดุก่อผนังเบามีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากอิฐชนิดอื่นๆ คือ มีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถลดขนาดของโครงสร้างลงได้ นำไปใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียงได้ดี มีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่า 50 ปี สิทธิชัย แสงอาทิตย์[1] ซึ่งมีงานวิจัยทางด้านวัสดุก่อผนังในประเทศไทย และในสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันนี้การใช้วัสดุก่อสร้างของประเทศไทย จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านเศรษฐกิจเป็นสำคัญทั้งในด้านการลงทุนของวัสดุแรงงาน ฉะนั้นในการผลิตวัสดุก่อสร้างควรใช้วัสดุที่นำมาผลิตให้มีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นเพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตซึ่งจะทำให้ค่าวัสดุก่อสร้างมีราคาที่ถูกลง ศรัณย์ อนุกูลพันธ์[2] การทำวัสดุก่อผนังเบาจากชีวมวลจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ทางการเกษตรคือวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่เป็นชีวมวล (Bio-mass) โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ในการสร้างพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่นแกลบ โดยเถ้าที่เหลือจากการเผาเรียกว่า เถ้าชีวมวล (Blended Bio-mass Ash) เถ้าดังกล่าวจะมีน้ำหนักเบาและฟุ้งกระจายในอากาศได้ ส่วนใหญ่นำไปทิ้งไม่เกิดประโยชน์ทำให้เกิดปัญหาการกำจัดตามมา ซึ่งถ้าไม่มีการจัดการที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม อภิสิทธิ์ วันนา[3] และภายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้มีการตั้งโรงผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นโรงไฟฟ้าที่พัฒนาและส่งเสริมโครงการด้านพลังงานทดแทน โดยได้มีการใช้แกลบและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จึงส่งผลทำมีเศษวัสดุที่เหลือจากการนำไปทำเชื้อเพลิง ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางเคมีในเบื้องต้นพบว่าเถ้าแกลบและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถจำแนกเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่ง ชัย จาตุรพิทักษ์กุลและคณะ[4] สามารถนำมาใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้บางส่วนเพื่อลดต้นทุนของวัสดุลง

ตะกอนน้ำประปาที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปาปัจจุบันมีจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการจัดการและการกำจัดทั้งในด้านพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการกำจัด เช่นการใช้บ่อกักตะกอนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหากสามารถนำดินตะกอนเหล่านี้กลับไปใช้ประโยชน์ได้ย่อมเป็นการลดปัญหาของการจัดการตะกอนรวมทั้งลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาได้อีกส่วน กฤษดา นุ่มนวล[5] ซึ่ง

ตะกอนน้ำประปามีคุณสมบัติในการเป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี เป็นตัวที่ช่วยสามารถทำให้วัสดุมีการเชื่อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ชาติเกียรติ พลเสนา และคณะ[6] จึงเหมาะกับการนำมาเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างวัสดุต่างๆ ในการทำอิฐอัดที่ต้องการพัฒนาคุณภาพให้ดีขึ้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้เป็นสารซีเมนต์ในส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ส่วนเถ้าชีวมวลนั้นนำมาจากโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งเป็นเถ้าที่ได้จากการเผาแกลบข้าวร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เถ้าชีวมวลจากแหล่งโดยตรงถูกทำให้แห้งสนิทแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 แล้วเก็บไว้ในภาชนะ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวลมีการศึกษาพบว่ามี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีมากกว่าร้อยละ 70 สำหรับตะกอนน้ำประปานั้นนำมาจากโรงผลิตน้ำประปาจังหวัดมหาสารคาม ทำการควบคุมความข้นเหลวของน้ำประปาให้คงที่ สำหรับทรายแม่น้ำที่ใช้จะถูกนำมาล้างให้สะอาดแล้วนำมาอบเพื่อลดความชื้นและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

สัดส่วนผสมและวิธีการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำการหาส่วนผสมเบื้องต้นในหลายอัตราส่วนผสม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมต่ำที่สุด ทั้งนี้ กำลังรับแรงอัดของอิฐตัวอย่างต้องใกล้เคียงกับมาตรฐานอิฐมอญหรือประมาณ 35 กก/ซม^2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม[7]ซึ่งพบว่าอัตราส่วนระหว่างวัสดุหยาบได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 : ทรายแม่น้ำ : เถ้าชีวมวล เท่ากับ 3:3:17 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ มีศักดิ์ พัวพิทยาธร[8] เป็นส่วนผสมที่ทำให้คุณสมบัติของอิฐอัดในเบื้องต้นเหมาะสม กล่าวคือ ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด ซึ่งจะใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมเท่ากับน้ำหนักของเถ้าชีวมวล จากนั้นจะทำการทดลองแทนที่ตะกอนน้ำประปาในส่วนของน้ำ ตั้งแต่ร้อยละ 0-100 ดังแสดงใน Table 1 ทำการขึ้นรูปอิฐอัด ขนาด 40x65x140 มม. ซึ่งเป็นขนาดของอิฐทั่วไป ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบกระทะ (Pan mixed)

Table 1 Mixture proportions of bio-mass ash compressed brick.

water supply sludge waste (%)	Water (%)	Cement (%)	Sand (%)	Bio-mass ash (%)
0.0	42.5	7.5	7.5	42.5
8.5	34.0	7.5	7.5	42.5
17.0	25.5	7.5	7.5	42.5
25.5	17.0	7.5	7.5	42.5
34.0	8.5	7.5	7.5	42.5
42.5	0.0	7.5	7.5	42.5

โดยเริ่มจากนำเถ้าชีวมวลใส่ลงในเครื่องผสม จากนั้นเติมทรายและปูนซีเมนต์จนส่วนผสมเข้ากัน แล้วเติมน้ำและตะกอนน้ำประปาลงไป ปล่อยให้เครื่องผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5-10 นาทีจนส่วนผสมเข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมมาขึ้นรูปโดยควบคุมน้ำหนักของส่วนผสมในการหล่อแต่ละก้อนตัวอย่าง ทำการบรรจุส่วนผสมลงในแบบแล้วทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ขนาด 5 ตัน นำตัวอย่างที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วมาทำการบ่มไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มชื้นจนถึงอายุทดสอบ โดยทำการ

ทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัดแบบก้อนเดี่ยว การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบกำลังอัดของก้อนอิฐอัดแบบก้อนเดี่ยวในแนวนอน โดยใช้ตัวอย่างในการทดสอบจำนวนส่วนผสมละ 3 ก้อน ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ได้แสดงใน Table 2 และ Figure 1-2 พบว่า กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนน้ำประปา จนมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดที่อัตราส่วนที่ผสมตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 แต่เมื่อปริมาณการแทนที่มากกว่าร้อยละ 40 กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่การแทนที่น้ำด้วยตะกอนน้ำประปาร้อยละ40 เท่ากับ 171.61, 171.79 และ 180.32 กก./ซม.^{2} ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอายุกำลังรับแรงอัดตามอายุของการบ่ม พบว่าอิฐอัดมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพียงเล็กน้อยเมื่ออายุบ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนผสมของอิฐอัดมีปูนซีเมนต์ปริมาณต่ำ อายุของการบ่มจึงมีผลต่อกำลังรับแรงอัดน้อยและเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์มีน้อยและเถ้าชีวมวลก็มีลักษณะหยาบ มาจากแหล่งโดยตรง ไม่ได้มีการบดเพื่อเพิ่มความละเอียด ปฏิกิริยาปอซโซลานจึงไม่ได้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ไม่ได้แทนที่ตะกอนน้ำประปาที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เท่ากับ 100.82, 116.10 และ 116.62 กก./ซม.^{2} ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แสดงว่าการใช้ตะกอนน้ำประปาช่วยให้ก้อนตัวอย่างมีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ได้จากตะกอนน้ำประปาซึ่งมีลักษณะเหนียว และก้อนตัวอย่างอิฐอัดที่ไม่ได้ผสมตะกอนน้ำประปา จะสังเกตเห็นรอยร้าวขนาดเล็ก (Crack) อยู่ทั่วบริเวณขอบของก้อนอิฐอัด ซึ่งผลของรอยร้าวนี้ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดของอิฐลง

Table 2 Single unit compressive strength of bio-mass ash compressed brick.

replacement water supply sludge waste (%)	compressive strength (ksc)		
	7 days	14 days	28 days
0	100.82	116.10	116.12
20	102.64	103.50	124.15
40	171.67	171.79	180.32
60	62.20	79.00	99.31
80	50.16	52.36	77.17
100	50.91	61.37	78.75

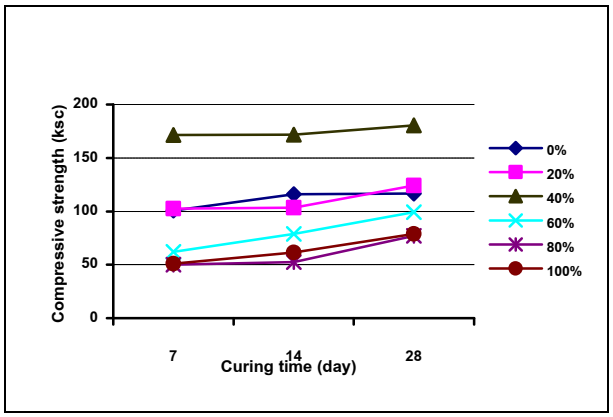

Figure 1 Single unit compressive strength of bio-mass ash compressed brick.

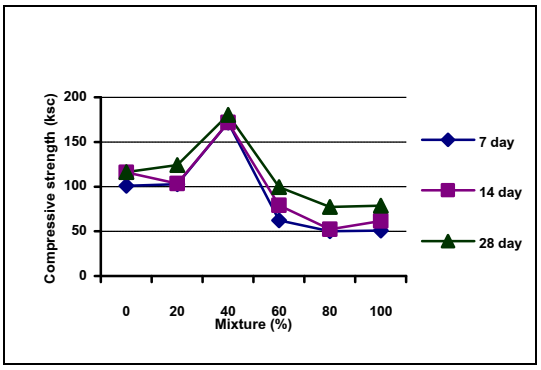

Figure 2 Single unit compressive strength of bio-mass ash compressed brick.

การดูดซึมน้ำ

นำวัสดุเข้าอบ โดยอบไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง น้ำหนักของอิฐจะคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 องศา-เซลเซียสแล้วปล่อยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงทำการชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักที่อบแห้งของชิ้นทดสอบ ให้นำวัสดุแช่ลงในน้ำกลั่นจนท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นยกออกใช้ ผ้าเปียกซับน้ำบนผิวทีละก้อนแล้วชั่งให้เสร็จภายใน 3 นาที และบันทึกน้ำหนักของวัสดุที่ดูดซึมน้ำ ใช้ตัวอย่างในการทดสอบ คือ อัตราส่วนที่ผสมตะกอนน้ำประปาร้อยละ 0, 40 และ 100 จำนวนอย่างละ 3 ก้อน พบว่าตัวอย่าง มีค่าการดูดซึมน้ำ เฉลี่ยร้อยละ 71.79, 64.97 และ 57.14 ตามลำดับ โดยมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 77-2545) กำหนดค่าการดูดซึมน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 25 ค่าการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนที่ผสมตะกอนน้ำประปาร้อยละ 0 อัตราส่วนที่ผสมตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 และอัตราส่วนที่ผสมตะกอนน้ำประปาร้อยละ 100 มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากก้อนตัวอย่างทำจากเถ้าชีวมวล ทำให้ก้อนตัวอย่างมีช่องว่างของอากาศมาก ทำให้สามารถรับน้ำที่ซึมผ่านเข้ามาได้มาก ซึ่งทำให้ก้อนตัวอย่างอุ้มน้ำ ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Absorption of bio-mass ash compressed brick.

replacement water supply sludge waste (%)	Absorption (%) Sample 1	Sample 2	Sample 3	Avg.
0	71.47	72.09	71.82	71.79
40	64.14	65.71	65.07	64.97
100	57.88	56.51	57.03	57.14

การดูดซึมน้ำที่มีค่าสูงเกินมาตรฐานนี้ เป็นข้อด้อยของอิฐอัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้งานในบริเวณที่สัมผัสกับความชื้นหรือมีน้ำอยู่ตลอดเวลา เช่นผนังห้องน้ำหรือผนังภายนอกอาคารที่โดนน้ำฝน ซึ่งจะทำให้ก้อนอิฐอัดหรือผนังดูดซับเอาน้ำไว้ภายใน ทำให้ก้อนอิฐอัดอาจเสื่อมสภาพได้ และเป็นอันตรายเนื่องจากน้ำหนักของผนังที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอิฐอัดจากวัสดุชีวมวลนี้จึงไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในสภาพดังกล่าว แต่ก็สามารถใช้เป็นผนังภายในอาคารได้

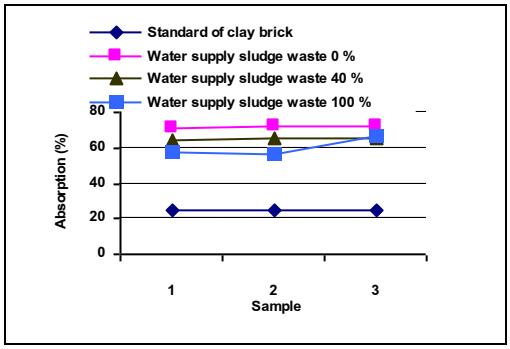

Figure 3 Absorption of bio-mass ash compressed brick.

การนำความร้อน

การทดสอบการนำความร้อนของวัสดุ เป็นการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนโดยการปล่อยรังสีความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุ หัวเซ็นเซอร์จะจับอุณหภูมิวัดค่า

ความต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านและนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดังแสดงใน Table 4 ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ตัวอย่างในการทดสอบ คือ อิฐอัดจากเถ้าชีวมวลร้อยละ 0 ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม อิฐอัดจากเถ้าชีวมวลผสมตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด และอิฐมอญ จำนวนอย่างละ 3 ก้อน จากการศึกษาพบว่าค่าการนำความร้อนของอิฐอัดจากเถ้าชีวมวล เฉลี่ย เท่ากับ 0.116 วัตต์/เมตร.เคลวิน ค่าการนำความร้อนของอิฐอัดจากเถ้าชีวมวลผสมตะกอนน้ำประปา เฉลี่ย เท่ากับ 0.207 วัตต์/เมตร.เคลวิน และค่าการนำความร้อนของอิฐมอญ เฉลี่ย เท่ากับ 0.547 วัตต์/เมตร.เคลวิน ตามลำดับ พบว่าก้อนอิฐอัดจากวัสดุชีวมวลผสมตะกอนน้ำประปามีการนำความร้อนที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐมอญ เนื่องจากอิฐอัดมีช่องว่างและมีความพรุนสูงกว่าอิฐมอญ มีผลทำให้สภาพการนำความร้อนของอิฐต่ำ ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อผนัง เพราะจะทำให้ปริมาณความร้อนจากภายนอกผนังส่งผ่านเข้าไปภายในห้องหรืออาคารได้ช้าและน้อยลง

Table 4 Heat conductivity of bio-mass ash compress brick.

Sample	Heat conductivity(K)			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Avg.
Bio-mass ash brick.	0.147	0.100	0.101	0.116
Bio-mass ash and water supply sludge waste brick.	0.225	0.200	0.195	0.207
Clay brick.	0.600	0.497	0.543	0.547

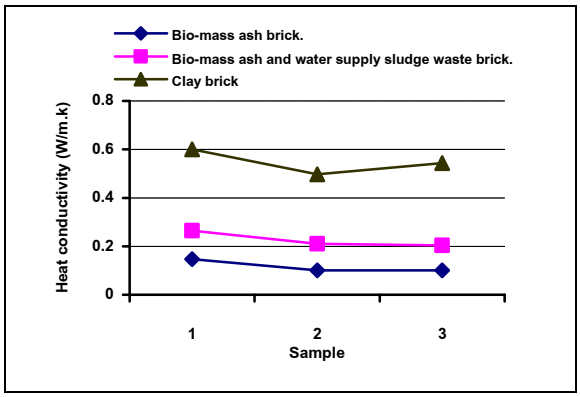

Figure 4 Heat conductivity of bio-mass ash compressed brick.

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- อิฐอัดที่ผสมเถ้าชีวมวลและแทนที่ตะกอนน้ำประปาในส่วนของน้ำ ร้อยละ 40 มีค่ากำลังรับแรงอัด แบบก้อนเดี่ยวเพิ่มขึ้นตามอายุการทดสอบ ให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าอิฐอัดที่ไม่ได้มีการผสมตะกอนน้ำประปา และมีกำลังรับแรงอัดเทียบเท่าอิฐมอญ
- ผลการทดลองค่าการดูดซึมน้ำ จะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตะกอนน้ำประปา แต่ไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 77-2545
- ค่าการนำความร้อน อิฐอัดจากเถ้าชีวมวลผสมตะกอนน้ำประปามีค่าน้อยกว่าอิฐมอญ
- เถ้าชีวมวลผสมตะกอนน้ำประปาสามารถใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตอิฐเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อผนังได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ห้องวิจัยคอนกรีตและห้องปฏิบัติการวัสดุก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัย โรงไฟฟ้าร้อยเอ็ดกรีน จังหวัดร้อยเอ็ด สำหรับวัสดุเถ้าชีวมวล

และโรงผลิตน้ำประปาจังหวัดมหาสารคาม สำหรับตะกอนน้ำประปาที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สิทธิชัย แสงอาทิตย์. การทดสอบและพัฒนาโครงสร้างอิฐ. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโลยีสุรนารี สาขาวิศวกรรมโยธา: สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโลยีสุรนารี; 2542.
2. ศรัณย์ อนุกูลพันธ์. การศึกษาการรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน. ปัญหาพิเศษ, ครุศาสตร์อุสาหกรรมมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2548.
3. อภิสิทธิ์ วันนา, ชาตรี ศรีเนตร และยุทธนา คันทะพรม. อิฐบล็อกมวลเบาที่ทำจากซีเมนต์ผสมเถ้า แกลบ. ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2546.
4. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ไกรวุฒิ เกียรติโกมล. การศึกษาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2549.
5. กฤษดา นุ่มนวล. การใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ. ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร; 2540.
6. ชาติเกียรติ พลเสนา และคณะ. การใช้ตะกอนน้ำประปาเป็นส่วนผสมในอิฐบล็อกประสาน ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2549.
7. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. อิฐก่อสร้างสามัญ,มอก.77-2545: เล่มที่ 120 กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2546
8. มีศักดิ์ พัวพิทยาธร. อิฐอัดผสมเถ้าชีวมวล. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2556.