

การพัฒนาก่อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยและขุยมะพร้าวเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับบ้านดิน Development of Adobe Bricks mixed with Banana Leaves Fiber and Coir as Construction Materials for Earthen House

ชูศักดิ์ ศิริรัตน์^{1*} และสุธน รุ่งเรือง²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนเพชรเกษม อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนพุมณฑล สาย 5 อำเภอพุมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

Chusak Kererat^{1*} and Suthon Rungruang²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Petchkesem Road, HuaHin, Prachuap Khiri Khan, Thailand, 77110

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Phutthamonthon Sai 5 Road, Phutthamonthon, Nakhon Pathom, Thailand, 73170

*ผู้รับผิดชอบบทความ: chusak.k@rmutr.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-3261-8542

Received: 15 August 2018, Revised: 23 September 2018, Accepted: 19 October 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาก่อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรได้แก่ ใบกล้วยและขุยมะพร้าว การศึกษาครั้งนี้ควบคุมร้อยละส่วนผสมของดินและทราย เท่ากับ 85:15 ปริมาณน้ำร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแห้งของดินผสมทราย ใช้สัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตรแทนที่ปริมาณดินผสมทราย ร้อยละ 0 3 5 8 และ 10 โดยน้ำหนักแห้ง ขึ้นรูปและนำไปตากแดดเป็นเวลา 20 วัน หลังจากนั้นนำไปทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น และการหดตัว เปรียบเทียบกับก่อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของแกลบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม แสดงให้เห็นว่าก่อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของใบกล้วย ร้อยละ 3 มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับก่อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งมากที่สุด กำลังต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.02 และกำลังต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนก่อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งได้ และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับบ้านดิน

คำสำคัญ ก่อนอิฐดินดิบ ขุยมะพร้าว ใบกล้วย บ้านดิน วัสดุทางการเกษตร

Abstract

The purpose of this research is to develop the adobe bricks mixed with the agricultural materials which are the banana leaves fiber and the coir. The proportion of the soil and sand was controlled at 85:15 and the water proportion was 20% by dry weight of the soil-sand mixture. This research used the agricultural materials to replace the soil-sand mixture at the ratio of 0, 3, 5, 8 and 10% by dry weight. The samples were dried in the sun for 20 days and then they were tested for their compressive strength, flexural strength, density, and drying shrinkage. These properties were compared to that of the adobe bricks containing rice husk made by the Sufficiency Economy Learning Center, Khao Kling Temporary Prison. According to the test results, the appropriated proportion of the agricultural mixture is banana leaves fiber of 3%. The density of the adobe brick is close to that made by the Sufficiency Economy Learning Center, Khao Kling Temporary Prison. The compressive strength and the flexural strength increase by 8.02% and 50%, respectively. Therefore, they can use to substitute the adobe bricks made by the Sufficiency Economy Learning Center, Khao Kling Temporary Prison and use as a building material for earth houses.

Keywords: adobe bricks, coir, banana leaves fiber, earthen house, agricultural materials.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีผู้ที่ให้ความสนใจในการสร้างบ้านดินเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และได้พัฒนามาเป็นสถาปัตยกรรมทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่มีรายได้น้อย เนื่องจาก เล็งเห็นว่าบ้านดินสามารถสร้างได้ด้วยตนเองและใช้งบประมาณในการก่อสร้างไม่สูงมากนัก และสิ่งที่สำคัญคือวัสดุที่ใช้ในการสร้างบ้านดินนั้นไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม [1],[2] แต่เนื่องจากการก่อสร้างบ้านดินพัฒนาขึ้นจากภูมิปัญญาของชาวบ้านที่มีการถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่นมาโดยการปฏิบัติแบบลองผิดลองถูก ซึ่งวิธีการก่อสร้างเหล่านี้ไม่ได้ผ่านการวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมหรือออกแบบตามหลักสถาปัตยกรรม จึงส่งผลให้เกิดปัญหาในการก่อสร้าง เช่น การพังทลายของโครงสร้างและปัญหาระยะยาวของอาคารหลังจากสร้างเสร็จแล้ว ซึ่งทำให้อาคารไม่สามารถคงอยู่ได้นานตามที่ควรจะเป็น หรือต้องมีการซ่อมแซมบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาเพื่อแก้ไขในส่วนต่างๆ เพื่อให้ประชาชนในท้องถิ่นสามารถนำไปสร้างด้วยตัวเองได้ โดยวัสดุที่นำมาใช้สร้างบ้านเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ ดินเหนียว ทราย และวัสดุทางการเกษตร

การพัฒนาการก่อสร้างบ้านดินด้วยวิธีการใช้ก้อนอิฐดินดิบจึงเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการสร้างบ้านดินด้วยตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การผลิตก้อนอิฐดินดิบนั้นต้องใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุหลักซึ่งมีข้อจำกัดตามธรรมชาติหลายประการคือ เมื่อนำมาผลิตเป็นก้อนอิฐแล้วมักเกิดการแตกร้าวและเกิดการหดตัวของวัสดุ โดยทั่วไปจึงมีผู้นิยมใช้วัสดุทางการเกษตรมาเป็นส่วนผสมเพื่อช่วยในการยึดเกาะตัวของดินเหนียว และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของก้อนอิฐดินดิบ [3],[4] เช่น การเพิ่มความแข็งแรง การลดการหดตัว เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการหาสัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ใบกล้วย และขุยมะพร้าว สำหรับใช้เป็นส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบ และศึกษาคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และการลดการหดตัว เนื่องจากปัจจุบันการทำการอิฐดินดิบยังไม่มีมีการกำหนดสัดส่วนผสมวัสดุทางการเกษตรที่เหมาะสม แต่ใช้วิธีประมาณการจากความคุ้นเคยของผู้ผลิต ซึ่งส่งผลให้ก้อนอิฐดินดิบมีคุณสมบัติในการรับแรงได้ไม่แน่นอนอีกด้วย

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บ้านดินส่วนใหญ่ที่ทำในประเทศไทย มักจะใช้วิธีการก่อด้วยอิฐดินดิบ เนื่องจากการก่อสร้างอิฐดินดิบเป็นโครงสร้างผนังรับน้ำหนักจึงไม่จำเป็นต้องมีเสาแต่การทำช่องเปิดที่มีขนาดกว้าง จะต้องใช้การก่ออิฐให้มีลักษณะเป็นโดมโค้งหรือโดมยอดแหลมเพื่อรับน้ำ หรือใช้ไม้ท่อน และไม้แผ่นทำเป็นคานทับหลังเพื่อรับน้ำหนักอิฐจากด้านบนบ้านดินส่วนใหญ่ที่

ทำในประเทศไทยมักจะใช้วิธีนี้ในการก่อสร้างซึ่งข้อดีของการสร้างด้วยอิฐดินดิบสามารถทยอยทำอิฐเก็บรวบรวมไว้ได้เมื่อถึงเวลาที่จะเริ่มสร้างหรือมีจำนวนอิฐดินดิบที่เพียงพอแล้วจะสามารถสร้างได้เร็ว ผนังแห้งเร็ว เมื่อก่อเสร็จแล้วสามารถฉาบได้ทันที แต่มีข้อจำกัดในเรื่องการก่อสร้างผนังที่มีความโค้งมากไม่ได้ ต้องมีพื้นที่ในการตาก และเก็บอิฐดินพอสมควรสำหรับ สัดส่วนผสมก้อนอิฐดินดิบขึ้นอยู่กับสภาพของดินแต่ละพื้นที่ แต่ส่วนผสมหลักของก้อนอิฐดินดิบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ดินเหนียว ซึ่งโดยธรรมชาติของดินเหนียวจะเกิดการหดตัวเมื่อแห้ง ถ้าอิฐดินดิบมีการแตกร้าว แสดงว่ามีส่วนผสมของดินเหนียวมากเกินไป (2) ทราย เป็นส่วนผสมที่ช่วยลดการหดตัวและลดการแตกร้าวของดินเหนียว ทรายช่วยให้อิฐดินดิบมีความแข็งแรงขึ้น แต่หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไม่แข็งแรง และอิฐดินดิบถูกน้ำฝนชะล้างได้ง่าย และ (3) แกลบหรือเส้นใยที่มีความเหนียว เป็นส่วนที่ช่วยยึดเนื้อดินเข้าด้วยกัน ลดการแตกร้าวเมื่อแห้ง และยังช่วยเพิ่มกำลังอัดของก้อนอิฐดินดิบ [5]

การศึกษาในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้นำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้ในการทำก้อนอิฐดินดิบ โดยเมื่อนำดินเหนียวมาผสมกับแกลบและขุยมะพร้าว พบว่าช่วยเพิ่มกำลังอัดและลดการหดตัวของอิฐดินดิบ แต่ในส่วนผสมที่มีแกลบเกินกว่าร้อยละ 3 จะทำให้กำลังอัดลดลง ส่วนการอบก้อนอิฐในตูอบนั้นทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น และพบว่าส่วนผสมที่มีปริมาณแกลบปนอยู่จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ค่าการนำความร้อนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขุยมะพร้าวเป็นส่วนผสม [6] นอกจากนี้ผลจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝกและฟางข้าว เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างบ้านต้นทุนต่ำ โดยหญ้าแฝกและฟางข้าวทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงและดินเหนียวทำหน้าที่เป็นตัวประสาน พบว่าสัดส่วนผสมที่ให้ค่าคุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุดคือ 30:55:15 (ดินเหนียว : หญ้าแฝก : ทราย) โดยส่วนผสมดังกล่าวมีค่ากำลังอัด และกำลังดัดสูงที่สุด เมื่อพิจารณาสัดส่วนผสมเดียวกันอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝกให้ค่าคุณสมบัติทางกลสูงที่สุด และยังพบว่าที่สัดส่วนผสมเดียวกันอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝก ให้ค่าคุณสมบัติทางกลสูงกว่าอิฐดินดิบผสมฟางข้าว [7] สำหรับการใช้หญ้าแฝกเป็นส่วนผสมของอิฐดินดิบ โดยผันแปรสัดส่วนของปริมาณหญ้าแฝกที่ใช้แทนที่ดินต่อปริมาตรตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 80 พบว่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงแบกทานของก้อนอิฐแปรผกผันกับปริมาณหญ้าแฝกที่แทนที่ อย่างไรก็ตามการแทนที่ด้วยหญ้าแฝกในปริมาณที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงความสามารถในการรับแรงดัดของอิฐได้ เป็นผลจากความสามารถในการรับแรงดึงของหญ้าแฝก การใช้ปริมาณหญ้าแฝกมากขึ้นสามารถลดความหนาแน่นของก้อนอิฐลงได้ และจากผลการทดสอบวัดค่าความเป็นฉนวนพบว่าอิฐดินดิบ

ผสมหญ้าแฝกสามารถลดผลกระทบจากอุณหภูมิดีเป็นอย่าง ดีตามปริมาณการแทนที่ของหญ้าแฝกที่มากขึ้น [8] จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของก้อน อิฐดินดิบผสมแกลบและกากอ้อย เพื่อก่อสร้างบ้านดินที่มีผล ต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของก้อนอิฐดินดิบ ได้แก่ กำลังรับ น้ำหนัก การดูดน้ำและการนำความร้อนของก้อนอิฐดินดิบ โดยใช้วัสดุทางการเกษตรแทนที่ดินเหนียวในสัดส่วนร้อยละ 0 1 2 3 และ 6 พบว่าการแทนที่ดินเหนียวด้วยแกลบและ กากอ้อย สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัด และช่วยลดการหดตัว ของก้อนอิฐดินดิบได้ แต่การใช้แกลบเกินกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนักส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบมีค่า ลดลงและก้อนอิฐดินดิบผสมกากอ้อยมีค่ากำลังรับแรงอัด มากกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมแกลบในทุกสัดส่วนผสม สำหรับการนำความร้อนของก้อนอิฐดินดิบพบว่าเมื่อสัดส่วนของวัสดุ ทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ทำให้ก้อนอิฐดินดิบมี ความสามารถในการนำความร้อนต่ำลง ซึ่งก้อนอิฐดินดิบผสม กากอ้อยมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมแกลบ [9] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [10] ที่ใช้กากอ้อยเป็น ส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบ โดยพบว่าช่วยเพิ่มความคงทน กำลังรับแรงอัด และลดการหดตัว นอกจากนี้การปรับปรุง คุณภาพก้อนอิฐดินดิบด้วยซีเมนต์และน้ำยางพารายังช่วยให้ เพิ่มความทนทาน กำลังรับแรงอัด และลดการดูดซึมน้ำ [11]

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำก้อนอิฐดินดิบ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่

1) ดินสภาพแห้งที่มีร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 56.01 มีค่าขีดจำกัดเหลว ขีดจำกัดพลาสติก ขีดจำกัด หดตัว และค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ ร้อยละ 34.5 ร้อยละ 19.87 ร้อยละ 14.45 และ 2.71 ตามลำดับ

2) ทรายละเอียดสภาพแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 40



รูปที่ 1 วัสดุที่ใช้ทำก้อนอิฐดินดิบ (ก) ดิน (ข) ทรายละเอียด (ค) ใบกล้วยบด (ง) ขุยมะพร้าว

3) ใบกล้วยตากแห้ง ผ่านการย่อยด้วยเครื่องบดย่อย มีลักษณะเป็นเส้นความยาวประมาณ 1-6 เซนติเมตร

4) ขุยมะพร้าว มีลักษณะเป็นขุยมะผสมเส้นใย

2.2.2 สัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตร

สัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตร กำหนดสัดส่วนผสม ของใบกล้วย และขุยมะพร้าว แทนที่ปริมาณดินผสมทราย ร้อยละ 0 3 5 8 และ 10 โดยน้ำหนักแห้ง โดยกำหนดสัดส่วน ผสมระหว่างดินต่อทรายเท่ากับ ร้อยละ 85:15 (เป็นสัดส่วนที่ ได้จากการทดสอบนำทรายกับดินผสมกันหลายสัดส่วน โดยทดสอบทำเป็นก้อนอิฐดินดิบขนาด 5x5x5 เซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ ทรายมากขึ้นจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณ ทรายเกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐ ดินดิบจะมีค่าลดลง) และสัดส่วนผสมระหว่างดินผสมทรายต่อ น้ำเท่ากับ ร้อยละ 100:20 (เป็นสัดส่วนที่ได้จากการทดสอบ โดยนำน้ำกับดินผสมกันหลายสัดส่วน ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สามารถทำให้การขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบ ง่ายและเหมาะสมที่สุด) และเพื่อไม่ให้ผลจากการดูดซึมน้ำ ของใบกล้วยและขุยมะพร้าวทำให้ส่วนผสมแห้งไม่สามารถขึ้น รูปได้ จึงเติมน้ำเพิ่มตามร้อยละการดูดซึมน้ำโดยน้ำหนักของ วัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ร้อยละ 79.02 สำหรับใบกล้วย และร้อยละ 210.42 สำหรับขุยมะพร้าว (ได้จากการทดสอบ หาร้อยละการดูดซึมน้ำ) ซึ่งปริมาณสัดส่วนผสม ดังแสดงใน ตารางที่ 1 จำนวนของก้อนอิฐดินดิบสำหรับแต่ละสัดส่วนผสม เท่ากับ 15 ก้อน โดยใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดจำนวน 5 ก้อน ทดสอบกำลังรับแรงดัดจำนวน 5 ก้อน และทดสอบการหดตัว จำนวน 5 ก้อน

ตารางที่ 1 ปริมาณสัดส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบ

สัดส่วนของ ดินกับทราย (85:15) (ร้อยละ)	วัสดุทางการเกษตร	ปริมาณการแทน ที่ดินผสมทราย (ร้อยละ)
100	ใบกล้วย	0
97		3
95		5
92		8
90		10
100	ขุยมะพร้าว	0
97		3
95		5
92		8
90		10

2.2.3 ขั้นตอนการทำการก่อนอิฐดินดิบ

การจัดทำการก่อนอิฐดินดิบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) นำดินใส่กระบะ แล้วใช้ก้อนยางทุบให้แตกออกจากกัน ไม่ให้ดินจับตัวกันเป็นก้อน เพื่อช่วยให้ดินดูดซึมน้ำได้ดีและเร็วขึ้น
- 2) เติมน้ำในกระบะผสมคอนกรีต แล้วจึงใส่ดิน (ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้) ถ้าหากใส่ดินลงไปก่อนจะทำให้ น้ำซึมลงไปข้างล่างได้ยาก แฉดินทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง โดยประมาณ เพื่อให้ น้ำซึมลงไปเนื้อดินได้เต็มที่
- 3) นำดินที่แช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง ไปผสมกับทรายละเอียด ในเครื่องไม่ปูนฉาบผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นใส่น้ำลงไปเพิ่มในปริมาณร้อยละ 79.02 ของน้ำหนักใบกล้วย สำหรับก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วย และร้อยละ 210.42 ของ น้ำหนักขุยมะพร้าวสำหรับก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว แล้วจึงใส่ใบกล้วย หรือขุยมะพร้าวตามสัดส่วนที่กำหนดลงไป ผสมกับดินผสมทรายในเครื่องไม่ปูนฉาบทำการผสมจน ส่วนผสมเข้ากัน
- 4) นำอุปกรณ์ขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบ หรือไม้แบบขนาด 20×40×10 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้ ห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติก ใส่โดยรอบ ยกเว้นบริเวณมือจับ จากนั้นวางให้ได้รับแสงแดดใน พื้นที่ ที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง และมีลมพัดผ่านตลอดเวลา

5) นำดินที่ผสมเสร็จแล้วมาใส่ลงในอุปกรณ์ขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบ หรือไม้แบบที่เตรียมไว้ แล้วใช้มือกดดินบริเวณตามมุมและขอบลงไปให้แน่น ใช้เกียงฉาบปาดผิวหน้าให้เรียบ พอประมาณแล้วยกพิมพ์ออกทันทีโดยไม่ต้องรอให้ดินแห้งแล้วตากทิ้งไว้ ทำการพลิกกลับด้านก้อนอิฐดินดิบทุก ๆ 3-7 วัน จนครบ 20 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2

6) นำตัวอย่างก้อนอิฐดินดิบไปทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM C67 [12] ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM C138 [13] และการทดสอบการหดตัว ซึ่งเป็นการหาค่าร้อยละของการหดตัวเชิงปริมาตรรวมแบบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ (1) [14]

$$T.S.V. = [(V_M - V_F) / V_M] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ T.S.V. คือ ร้อยละของการหดตัวรวมเชิงปริมาตร

V_M คือ ปริมาตรเดิมของก้อนตัวอย่างเทียบกับขนาดแบบหล่อ

V_F คือ ปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่หดตัวในสภาพแห้ง



รูปที่ 2 การขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

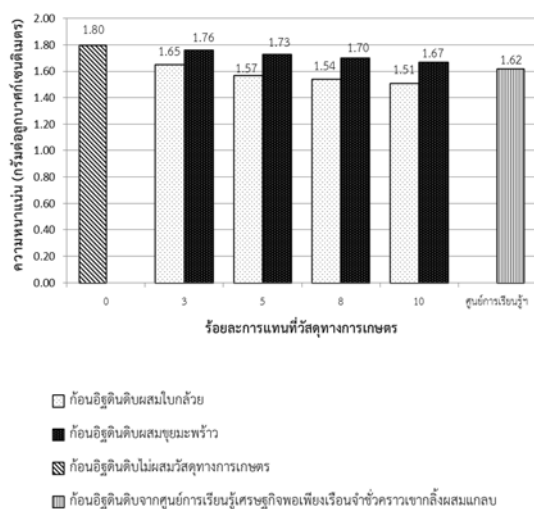
ผลการศึกษาของก้อนอิฐดินดิบในงานวิจัยครั้งนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างบ้านดินอยู่แล้ว

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

1) ผลการทดสอบโดยการตรวจพินิจด้วยสายตาก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร มีผิวภายนอกเรียบ เมื่อก้อนอิฐดินดิบเริ่มแห้งจะเกิดการแตกร้าวแบบแตกกระแหงเป็นร่องลึกที่บริเวณช่วงล่างของก้อนอิฐ สำหรับก้อนอิฐดินดิบผสม

วัสดุทางการเกษตรนั้นมีผิวภายนอกหยาบ เมื่อมีปริมาณ สัดส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น บริเวณผิวก่อนอัดดินสามารถ มองเห็นเป็นเนื้อวัสดุทางการเกษตรได้ชัด จะเกิดการหดตัว และแตกร้าวน้อยมากสามารถรักษารูปทรงของก้อนอัดดินดิบ ได้ดีกว่าก้อนอัดดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ส่วนก้อนอัด ดินดิบที่ได้จากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราว เขากลิ้ง มีผิวภายนอกหยาบ มองเห็นเป็นเนื้อแกลบโดยส่วน ใหญ่ มีรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของก้อนอัดดินดิบ

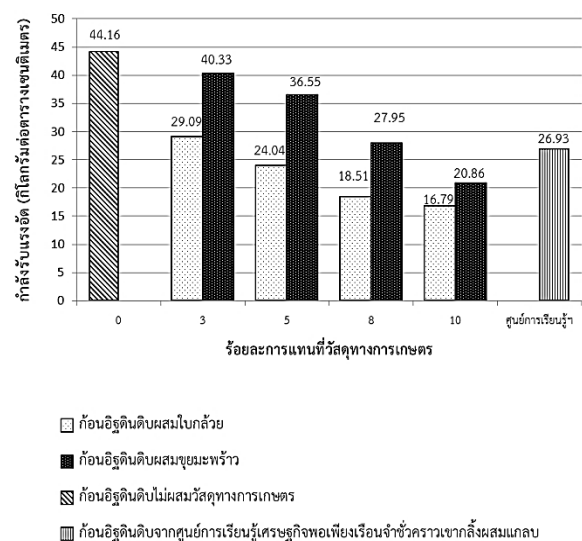
2) ผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนอัดดินดิบที่ไม่ ผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอัดดินดิบผสมวัสดุทาง การเกษตร และก้อนอัดดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจ พอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง หลังจากผ่านระยะเวลาการ ตาก 20 วัน ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ก้อนอัดดินดิบไม่ผสม วัสดุทางการเกษตรมีค่าความหนาแน่นมากที่สุด และค่าความ หนาแน่นของก้อนอัดดินดิบที่มีส่วนผสมของวัสดุทาง การเกษตรมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีส่วนผสมทางการเกษตรเพิ่ม มากขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของก้อนอัด ดินดิบผสมใบกล้วย และขุยมะพร้าวแล้ว พบว่าก้อนอัดดินดิบ ผสมขุยมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากกว่าก้อนอัดดินดิบ ผสมใบกล้วยในทุกอัตราส่วน ค่าความหนาแน่นก้อนอัดดินดิบ ที่มีส่วนผสมของแกลบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง เรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง มีค่าความหนาแน่นมากกว่าก้อนอัด ดินดิบผสมใบกล้วยที่สัดส่วนผสมร้อยละ 5 8 และ 10 ซึ่งความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันนั้น เป็นผลมาจากชนิดของวัสดุ ทางทางการเกษตร และปริมาณในการใช้ผสมในดิน จากลักษณะ ทางกายภาพของขุยมะพร้าวนั้นสามารถแทรกตัวเข้ากับเม็ด ดินได้ดีกว่าใบกล้วย จึงทำให้มีค่าความหนาแน่นมากกว่า ใบกล้วย



รูปที่ 3 ความหนาแน่นของก้อนอัดดินดิบ

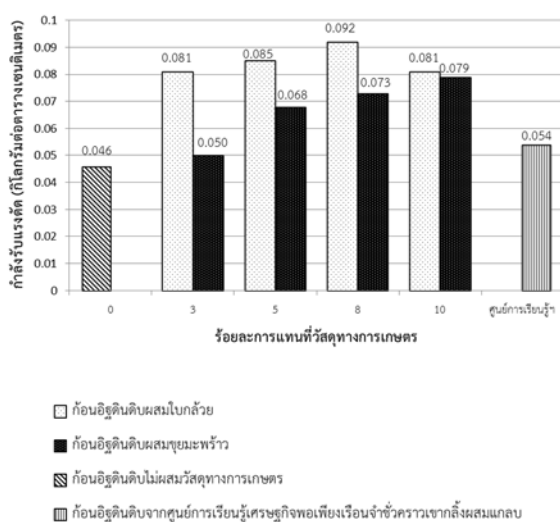
3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

1) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของก้อนอัดดินดิบไม่ ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอัดดินดิบที่มีส่วนผสมวัสดุทาง การเกษตร และก้อนอัดดินดิบที่มีส่วนผสมของแกลบ จากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ที่ระยะเวลาการตาก 20 วัน ดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ก้อนอัดดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรสามารถรับกำลัง แรงอัดได้ดีที่สุด คือ 44.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีความมากกว่าก้อนอัดดินดิบที่ผสมวัสดุทางการเกษตรในทุก สัดส่วน ส่วนก้อนอัดดินดิบผสมขุยมะพร้าวสามารถรับกำลัง แรงอัดได้ดีกว่าก้อนอัดดินดิบผสมใบกล้วยในทุกๆสัดส่วนผสม ก้อนอัดดินดิบที่มีสัดส่วนการแทนที่ของใบกล้วยร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงสุด 29.09 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่ก้อนอัดดินดิบที่มีการแทนที่ ด้วยขุยมะพร้าวร้อยละ 3 สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงสุด 40.33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งแสดงว่า การผสมขุยมะพร้าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังแรงอัดให้ก้อน อัดดินดิบได้ดีกว่าการผสมใบกล้วยในทุกๆสัดส่วน การผสมขุยมะพร้าวที่สัดส่วนผสมร้อยละ 3 และร้อยละ 5 รวมทั้งการ ผสมใบกล้วยที่สัดส่วนผสมร้อยละ 3 ทำให้ก้อนอัดดินดิบ สามารถรับแรงอัดได้ดีกว่าก้อนอัดดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้ เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ซึ่งสามารถรับกำลัง แรงอัดได้เพียง 26.93 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ เนื่องจากเม็ดดินในก้อนอัดดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร มีผิวสัมผัสระหว่างเม็ดดินมากกว่า จึงมีความสามารถยึดเกาะ กันได้ดี ทำให้มีกำลังในการรับแรงได้สูงกว่าก้อนอัดดินดิบที่ ผสมวัสดุทางการเกษตร



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของก้อนอัดดินดิบ

2) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง โดยใช้ระยะเวลาการตาก 20 วัน ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรสามารถรับกำลังแรงดัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร โดยก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยสามารถรับแรงดัดได้มากกว่าก้อนอิฐดินดิบที่ผสมขุยมะพร้าวในทุก ๆ ส่วน และมากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง สำหรับก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนผสมการแทนที่ของใบกล้วยร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห้ง สามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด คือ 0.092 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่หากสัดส่วนผสมเกินกว่าร้อยละ 10 จะมีค่ากำลังรับแรงดัดลดลง ในขณะที่ก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนการแทนที่ด้วยขุยมะพร้าว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง สามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด คือ 0.079 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง สามารถรับกำลังแรงดัดได้ 0.054 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรมีวัสดุทางการเกษตรช่วยเสริมการรับแรงดึงในก้อนอิฐดินดิบ ประกอบกับมีปริมาณดินมากพอที่จะทำให้ผิวสัมผัสของเม็ดดินยึดเกาะกันได้ดี เมื่อเสริมวัสดุทางการเกษตรเข้าไปก็ยิ่งทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้เพิ่มขึ้น ส่วนก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรมีผิวสัมผัสของเม็ดดินเหนียวมาก แต่โดยธรรมชาติของดินเหนียวเมื่อแห้งจะเปราะจึงทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย ดังนั้นการผสมใบกล้วยจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังแรงดัดให้ก้อนอิฐดินดิบได้ดีกว่าการผสมขุยมะพร้าว และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง



รูปที่ 5 กำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินดิบ

3) ผลการทดสอบการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอิฐดินดิบที่มีวัสดุทางการเกษตรเป็นส่วนผสม และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ซึ่งผ่านระยะเวลาการตาก 20 วัน ดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ก้อนอิฐดินดิบมีร้อยละการหดตัวลดลง เมื่อผสมวัสดุทางการเกษตรในสัดส่วนที่มากขึ้นทั้งใบกล้วยและขุยมะพร้าว ส่วนก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง จะมีร้อยละการหดตัวใกล้เคียงกับก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยที่สัดส่วนร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการหดตัวระหว่างก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยและก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว พบว่าก้อนอิฐดินดิบที่ผสมใบกล้วยมีร้อยละการหดตัวน้อยกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว

ตารางที่ 2 ร้อยละการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบ

ร้อยละวัสดุทางการเกษตร	ร้อยละการหดตัว	
	อิฐดินดิบผสมใบกล้วย	อิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว
3	22.95	27.64
5	19.03	26.48
8	17.30	25.03
10	15.67	23.52
ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร	28.97	
ศูนย์การเรียนรู้ฯ	15.71	

3.3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพของก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งผสมแกลบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าก้อนอิฐดินดิบที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดิน มากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ได้แก่ ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยร้อยละ 3 ก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว ร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เนื่องจากก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนผสมดังกล่าวสามารถรับแรงอัด และแรงดัดได้มากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของก้อนอิฐดินดิบ

ก้อนอิฐดินดิบ	การทดสอบ				หมายเหตุ
	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร)	กำลังรับแรงดัด (กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร)	ร้อยละการหดตัวเชิง ปริมาตร	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)	
ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร	44.16	0.046	28.97	1.80	*
ผสมใบกล้วยร้อยละ 3	29.09	0.081	22.95	1.65	*/**
ผสมใบกล้วยร้อยละ 5	24.04	0.085	19.03	1.57	**
ผสมใบกล้วยร้อยละ 8	18.51	0.092	17.30	1.54	**
ผสมใบกล้วยร้อยละ 10	16.79	0.081	15.67	1.51	**
ผสมขุยมะพร้าวร้อยละ 3	40.33	0.050	27.64	1.76	*
ผสมขุยมะพร้าวร้อยละ 5	36.55	0.068	26.48	1.73	*/**
ผสมขุยมะพร้าวร้อยละ 8	27.95	0.073	25.03	1.70	*/**
ผสมขุยมะพร้าวร้อยละ 10	20.86	0.079	23.52	1.67	**
จากศูนย์การเรียนรู้	26.93	0.054	15.71	1.62	

หมายเหตุ * ก้อนอิฐดินดิบที่มีกำลังรับแรงอัดมากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง

** ก้อนอิฐดินดิบที่มีกำลังรับแรงดัดมากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง

4. บทสรุป

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยมีการหดตัวน้อยกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว และเมื่อเพิ่มวัสดุทางการเกษตรแทนที่ดินมากขึ้น ทำให้ก้อนอิฐดินดิบมีร้อยละการหดตัวน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อนำไปใช้สำหรับการสร้างบ้านดิน สามารถคงรูปร่างของบ้านดินได้ดี

2) ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยมีความหนาแน่นน้อยกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว และเมื่อเพิ่มปริมาณของวัสดุทางการเกษตรมากขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นของก้อนอิฐดินดิบลดลง เมื่อนำไปใช้สำหรับสร้างบ้านดิน สามารถลดน้ำหนักของบ้านดินได้ เป็นผลให้ขนาดของฐานรากเล็กลง

3) ก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรสามารถรับกำลังอัดได้มากกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรสำหรับก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรที่รับกำลังอัดได้ดีที่สุดคือ ก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว ซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยในทุกสัดส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบในสัดส่วนผสมเดียวกัน ส่วนผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินดิบ พบว่า ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยสามารถรับกำลังแรงดัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าวในทุกสัดส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบในสัดส่วนผสมเดียวกันและมากกว่าก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรด้วย

4) เมื่อพิจารณาค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินดิบที่สัดส่วนผสมต่าง ๆ พบว่าก้อนอิฐดินดิบมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดิน มากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งผสมแกลบ ได้แก่ ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยแทนที่ปริมาณดินและทรายร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดกับกำลังรับแรงดัด มากที่สุด แล้วยังมีค่าการหดตัวเหมาะสมที่สุดด้วย และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งมากที่สุด อีกทั้งค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงกว่าคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของอิฐดินดิบทั่วไป คือ 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อีกด้วย [15]

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เจ้าของไร่กล้วย และเจ้าของร้านขายต้นไม้ในอำเภอปรางบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใบกล้วยและขุยมะพร้าวสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และ ขอขอบคุณ ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ก้อนอิฐดินดิบสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุเปรียบเทียบกับก้อนอิฐดินดิบในงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขต
วังไกลกังวล ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับใช้
ในการทดสอบงานวิจัยสำเร็จ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Taylor CR. Building for free with alternative natural materials. Available from: <http://www.countrysidemag.com> [Accessed 10th August 2018].
- [2] Benghida D. Adobe bricks: the besteco-friendly building material. *Advanced Materials Research*. 2015;1005:386-390.
- [3] Lertwattanak P, Tungsirisakul J. Effect of natural materials on properties of adobe brick for earth construction. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*. 2007;5(1):187-199.
- [4] Lertwattanak P, Choksiriwanna J. The physical and thermal properties of adobe brick containing bagasse for earth construction. *Built*. 2011;1(1):54-61.
- [5] เสริมชัย กรตระกูล. บ้านดินล้ำยุค. กรุงเทพมหานคร: พงษ์สาส์น; 2554.
- [6] จตุพร ตั้งศิริสกุล. การประยุกต์ใช้วัตถุดิบทางธรรมชาติในการเพิ่มประสิทธิภาพของก้อนอิฐดินดิบเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านดิน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2550.
- [7] เสน่ห์ รัตนปัญญาเจริญ, ชัยวัฒน์ ตั้งใจ และฤกษ์ชัย สว่างสินธุ์. การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝกและฟางข้าวเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างบ้านต้นทุนต่ำ. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2550.
- [8] ทรงกลด ศรีวัฒนารัตน. การพัฒนาอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝกเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างบ้านต้นทุนต่ำ. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2551.
- [9] จริญญา ชัยศิริวรรณ. คุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของก้อนอิฐดินดิบผสมกากอ้อยเพื่อการก่อสร้างบ้านดิน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2553.
- [10] Hyeng CB, Bell EY. Mechanical properties of sustainable adobe bricks stabilized with recycled sugarcane fiber waste. *Int. Journal of Engineering Research and Application*. 2016;6(9):50-59.
- [11] Begum R, Habib A, Begum HA. Adobe bricks stabilized with cement and natural rubber latex. *Int. Journal of Emerging Science and Engineering*. 2014;2(4):36-38.
- [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.
- [13] 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.
- [14] พุฒิพัทธ์ ราชคำ และธีรวัฒน์ สิ้นศิริ. การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบาผสมเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*. 2559;9(1):70-82.
- [15] กรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุอุตสาหกรรม 10 ชนิด. [เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม 2561]. ที่มา: www2.dede.go.th/newomesafe/webbar/book/material%20table.htm.