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

ชูศักดิ์ คีรีรัตน์[1 *] และสุธน รุ่งเรือง[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ถนนเพชรเกษม อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ถนนพุธมณฑล สาย 5 อำเภอพุธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
Chusak Kererat[1 *] and Suthon Rungruang[2]
[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

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรได้แก่ ใบกล้วยและขุยมะพร้าว การศึกษาครั้งนี้ควบคุมร้อยละส่วนผสมของดินและทราย เท่ากับ 85:15 ปริมาณน้ำร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแห้งของดินผสมทราย ใช้สัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตรแทนที่ปริมาณดินผสมทราย ร้อยละ 0, 3, 5, 8 และ 10 โดยน้ำหนักแห้ง ขึ้นรูปและนำไปตากแดดเป็นเวลา 20 วัน หลังจากนั้นนำไปทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น และการหดตัว เปรียบเทียบกับก้อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของแกลบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม แสดงให้เห็นว่าก้อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของใบกล้วย ร้อยละ 3 มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งมากที่สุด กำลังต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.02 และกำลังต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งได้ และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับบ้านดิน
คำสำคัญ ก้อนอิฐดินดิบ 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 ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาเพื่อแก้ไขในส่วนต่างๆเพื่อให้ประชาชนในท้องถิ่นสามารถนำไปสร้างด้วยตัวเองได้ 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 เนื่องจากปัจจุบันการทำก้อนอิฐดินดิบยังไม่มีการกำหนดสัดส่วนผสมวัสดุทางการเกษตรที่เหมาะสม แต่ใช้วิธีประมาณการจากความคุ้นเคยของผู้ผลิต ซึ่งส่งผลให้ก้อนอิฐดินดิบมีคุณสมบัติในการรับแรงได้ไม่แน่นอนอีกด้วย

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บ้านดินส่วนใหญ่ที่ทำในประเทศไทย มักจะใช้วิธีการก่อด้วยอิฐดินดิบ เนื่องจากการก่อสร้างอิฐดินดิบเป็นโครงสร้างผนังรับน้ำหนักจึงไม่จำเป็นต้องมีเสาแต่การทำช่องเปิดที่มีขนาดกว้าง จะต้องใช้การก่ออิฐให้มีลักษณะเป็นโดมโค้งหรือโดมยอดแหลมเพื่อรับน้ำ หรือใช้ไม้ท่อน และไม้แผ่นทำเป็นคานทับหลังเพื่อรับน้ำหนักอิฐจากด้านบนบ้านดินส่วนใหญ่ที่ทำในประเทศไทยมักจะใช้วิธีนี้ในการก่อสร้างซึ่งข้อดีของการสร้างด้วยอิฐดินดิบสามารถทยอยทำอิฐเก็บรวบรวมไว้ได้ เมื่อถึงเวลาที่จะเริ่มสร้างหรือมีจำนวนอิฐดินดิบที่เพียงพอแล้วจะสามารถสร้างได้เร็ว ผนังแห้งเร็ว เมื่อก่อเสร็จแล้วสามารถฉาบได้ทันที แต่มีข้อจำกัดในเรื่องการก่อสร้างผนังที่มีความโค้งมากไม่ได้ ต้องมีพื้นที่ในการตาก และเก็บอิฐดินพอสมควร สำหรับ สัดส่วนผสมก้อนอิฐดินดิบขึ้นอยู่กับสภาพของดินแต่ละพื้นที่ แต่ส่วนผสมหลักของก้อนอิฐดินดิบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ดินเหนียว ซึ่งโดยธรรมชาติของดินเหนียวจะเกิดการหดตัวเมื่อแห้ง ถ้าอิฐดินดิบมีการแตกร้าว แสดงว่า มีส่วนผสมของดินเหนียวมากเกินไป (2) ทราย เป็นส่วนผสมที่ช่วยลดการหดตัวและลดการแตกร้าวของดินเหนียว ทรายช่วยให้อิฐดินดิบมีความแกร่งขึ้น แต่หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไม่แข็งแรง และอิฐดินดิบถูกน้ำฝนชะล้างได้ง่าย และ (3) แกลบหรือเส้นใยที่มีความเหนียว เป็นส่วนที่ช่วยยึดเนื้อดินเข้าด้วยกัน ลดการแตกร้าวเมื่อแห้ง และยังช่วยเพิ่มกำลังอัดของก้อนอิฐดินดิบ [5]

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

ผสมหญ้าแฝกสามารถลดผลกระทบจากอุณหภูมิได้เป็นอย่างดีตามปริมาณการแทนที่ของหญ้าแฝกที่มากขึ้น [8] จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของก้อนอิฐดินดิบผสมแกลบและกากอ้อย เพื่อก่อสร้างบ้านดินที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของก้อนอิฐดินดิบ ได้แก่ กำลังรับน้ำหนัก การดูดน้ำและการนำความร้อนของก้อนอิฐดินดิบ โดยใช้วัสดุทางการเกษตรแทนที่ดินเหนียวในสัดส่วนร้อยละ 0, 1, 2, 3 และ 6 พบว่าการแทนที่ดินเหนียวด้วยแกลบและกากอ้อยสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัด และช่วยลดการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบได้ แต่การใช้แกลบเกินกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนักส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบมีค่าลดลงและก้อนอิฐดินดิบผสมกากอ้อยมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมแกลบในทุกสัดส่วนผสม สำหรับการนำความร้อนของก้อนอิฐดินดิบพบว่าเมื่อสัดส่วนของวัสดุทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ทำให้ก้อนอิฐดินดิบมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำลง ซึ่งก้อนอิฐดินดิบผสมกากอ้อยมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมแกลบ [9] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [10] ที่ใช้กากอ้อยเป็นส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบ โดยพบว่าช่วยเพิ่มความคงทน กำลังรับแรงอัด และลดการหดตัว นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพก้อนอิฐดินดิบด้วยซีเมนต์และน้ำยางพารายังช่วยให้เพิ่มความทนทาน กำลังรับแรงอัด และลดการดูดซึมน้ำ [11]

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำก้อนอิฐดินดิบ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่

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

2) ทรายละเอียดสภาพแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40

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

3) ใบกล้วยตากแห้ง ผ่านการย่อยด้วยเครื่องบดย่อย มีลักษณะเป็นเส้นความยาวประมาณ 1-6 เซนติเมตร

4) ขุยมะพร้าว มีลักษณะเป็นขุยผสมเส้นใย

2.2.2 สัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตร

สัดส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตร กำหนดสัดส่วนผสมของใบกล้วย และขุยมะพร้าว แทนที่ปริมาณดินผสมทรายร้อยละ 0, 3, 5, 8 และ10 โดยน้ำหนักแห้ง โดยกำหนดสัดส่วนผสมระหว่างดินต่อทรายเท่ากับ ร้อยละ 85:15 (เป็นสัดส่วนที่ได้จากการทดสอบนำทรายกับดินผสมกันหลายสัดส่วน โดยทดสอบทำเป็นก้อนอิฐดินดิบขนาด 5×5×5 เซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณทรายมากขึ้นจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณทรายเกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบจะมีค่าลดลง) และสัดส่วนผสมระหว่างดินผสมทรายต่อน้ำเท่ากับ ร้อยละ 100:20 (เป็นสัดส่วนที่ได้จากการทดสอบโดยนำน้ำกับดินผสมกันหลายสัดส่วน ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สามารถทำให้การขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบง่ายและเหมาะสมที่สุด) และเพื่อไม่ให้ผลจากการดูดซึมน้ำของใบกล้วยและขุยมะพร้าวทำให้ส่วนผสมแห้งไม่สามารถขึ้นรูปได้ จึงเติมน้ำเพิ่มตามร้อยละการดูดซึมน้ำโดยน้ำหนักของวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ร้อยละ 79.02 สำหรับใบกล้วย และร้อยละ 210.42 สำหรับขุยมะพร้าว (ได้จากการทดสอบหาร้อยละการดูดซึมน้ำ) ซึ่งปริมาณสัดส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 1 จำนวนของก้อนอิฐดินดิบสำหรับแต่ละสัดส่วนผสมเท่ากับ 15 ก้อน โดยใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดจำนวน 5 ก้อน ทดสอบกำลังรับแรงดัดจำนวน 5 ก้อน และทดสอบการหดตัวจำนวน 5 ก้อน

ตารางที่ 1 ปริมาณสัดส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบ

สัดส่วนของดินกับทราย (85:15) (ร้อยละ)	วัสดุทางการเกษตร	ปริมาณการแทนที่ดินผสมทราย (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 ขั้นตอนการทำก้อนอิฐดินดิบ

การจัดทำก้อนอิฐดินดิบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำดินใส่กระบะ แล้วใช้ค้อนยางทุบให้แตกออกจากกัน ไม่ให้ดินจับตัวกันเป็นก้อน เพื่อช่วยให้ดินดูดซึมน้ำได้ดีและเร็วขึ้น

2) เติมน้ำในกระบะผสมคอนกรีต แล้วจึงใส่ดิน (ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้) ถ้าหากใส่ดินลงไปก่อนจะทำให้น้ำซึมลงไปข้างล่างได้ยาก แช่ดินทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง โดยประมาณ เพื่อให้น้ำซึมลงไปในเนื้อดินได้เต็มที่

3) นำดินที่แช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง ไปผสมกับทรายละเอียดในเครื่องโม่ปูนฉาบผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นใส่น้ำลงไปเพิ่มในปริมาณร้อยละ 79.02 ของน้ำหนักใบกล้วยสำหรับก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วย และร้อยละ 210.42 ของน้ำหนักขุยมะพร้าวสำหรับก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว แล้วจึงใส่ใบกล้วย หรือขุยมะพร้าวตามสัดส่วนที่กำหนดลงไปผสมกับดินผสมทรายในเครื่องโม่ปูนฉาบทำการผสมจนส่วนผสมเข้ากัน

4) นำอุปกรณ์ขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบ หรือไม้แบบขนาด 20×40×10 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้ ห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกใสโดยรอบ ยกเว้นบริเวณมือจับ จากนั้นวางให้ได้ระดับในพื้นที่ ที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง และมีลมพัดผ่านตลอดเวลา

5) นำดินที่ผสมเสร็จแล้วมาใส่ลงในอุปกรณ์ขึ้นรูปก้อนอิฐดินดิบ หรือไม้แบบที่เตรียมไว้ แล้วใช้มือกดดินบริเวณตามมุมและขอบลงไปให้แน่น ใช้เกียงฉาบปาดผิวหน้าให้เรียบพอประมาณแล้วยกพิมพ์ออกทันทีโดยไม่ต้องรอให้ดินแห้งแล้วตากทิ้งไว้ ทำการพลิกกลับด้านก้อนอิฐดินดิบทุกๆ 3-7 วัน จนครบ 20 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2

6) นำตัวอย่างก้อนอิฐดินดิบไปทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด 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

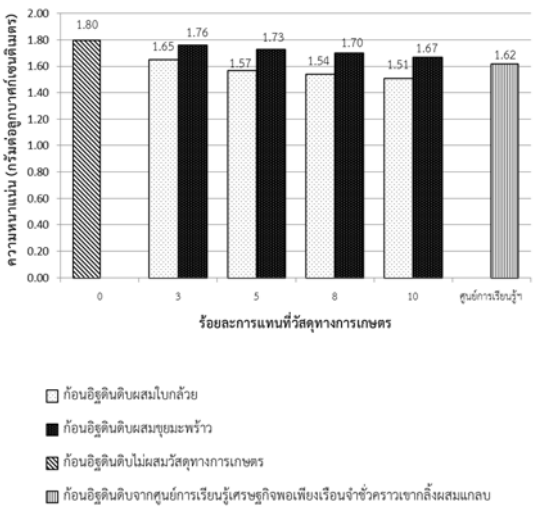
ผลการศึกษาของก้อนอิฐดินดิบในงานวิจัยครั้งนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างบ้านดินอยู่แล้ว

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

1) ผลการทดสอบโดยการตรวจพินิจด้วยสายตาก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร มีผิวภายนอกเรียบ เมื่อก้อนอิฐดินดิบเริ่มแห้งจะเกิดการแตกร้าวแบบแตกระแหงเป็นร่องลึกที่บริเวณช่วงล่างของก้อนอิฐ สำหรับก้อนอิฐดินดิบผสม

วัสดุทางการเกษตรนั้นมีผิวภายนอกหยาบ เมื่อมีปริมาณสัดส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น บริเวณผิวก้อนอิฐดินดิบสามารถมองเห็นเป็นเนื้อวัสดุทางการเกษตรได้ชัด จะเกิดการหดตัวและแตกร้าวน้อยมากสามารถรักษารูปทรงของก้อนอิฐดินดิบได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ส่วนก้อนอิฐดิบที่ได้จากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง มีผิวภายนอกหยาบ มองเห็นเป็นเนื้อแกลบโดยส่วนใหญ่ มีรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบ

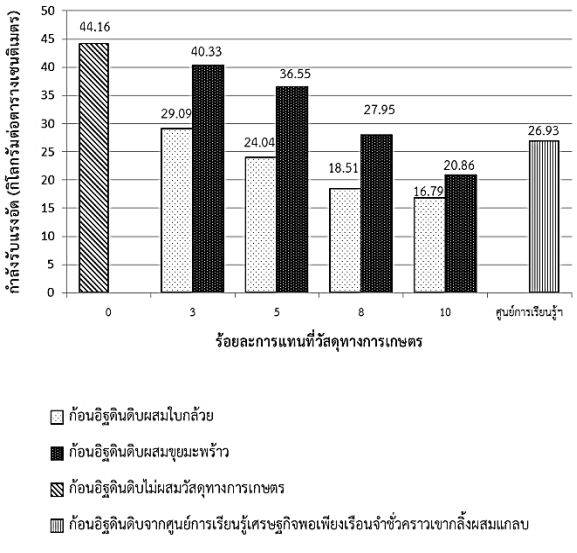
2) ผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนอิฐดินดิบที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง หลังจากผ่านระยะเวลาการตาก 20 วัน ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรมีค่าความหนาแน่นมากที่สุด และค่าความหนาแน่นของก้อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของวัสดุทางการเกษตรมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีส่วนผสมทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วย และขุยมะพร้าวแล้ว พบว่าก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยในทุกอัตราส่วน ค่าความหนาแน่นก้อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของแกลบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง มีค่าความหนาแน่นมากกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยที่สัดส่วนผสมร้อยละ 5, 8 และ 10 ซึ่งความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันนั้น เป็นผลมาจากชนิดของวัสดุทางการเกษตร และปริมาณในการใช้ผสมในดิน จากลักษณะทางกายภาพของขุยมะพร้าวนั้นสามารถแทรกตัวเข้ากับเม็ดดินได้ดีกว่าใบกล้วย จึงทำให้มีค่าความหนาแน่นมากกว่าใบกล้วย



รูปที่ 3 ความหนาแน่นของก้อนอิฐดินดิบ

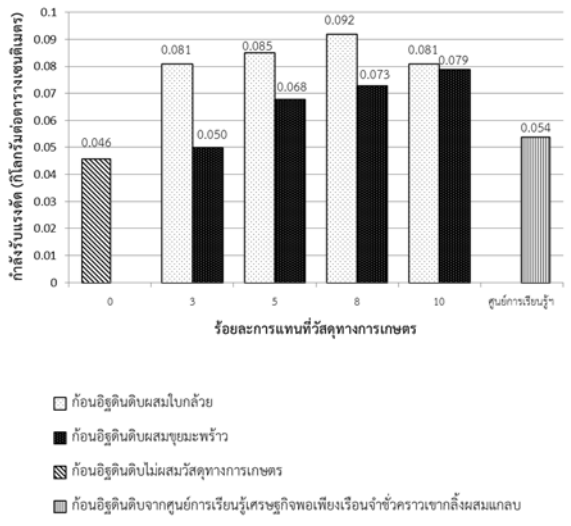
3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

1) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบที่มีส่วนผสมของแกลบ จากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ที่ระยะเวลาการตาก 20 วัน ดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรสามารถรับกำลังแรงอัดได้ดีที่สุด คือ 44.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีค่ามากกว่าก้อนอิฐดินดิบที่ผสมวัสดุทางการเกษตรในทุกสัดส่วน ส่วนก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าวสามารถรับกำลังแรงอัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยในทุกๆสัดส่วนผสม ก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนการแทนที่ของใบกล้วยร้อยละ 3 โดยน้ำหนักสามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงสุด 29.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่ก้อนอิฐดินดิบที่มีการแทนที่ด้วยขุยมะพร้าวร้อยละ 3 สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงสุด 40.33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งแสดงว่า การผสมขุยมะพร้าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังแรงอัดให้ก้อนอิฐดินดิบได้ดีกว่าการผสมใบกล้วยในทุกๆสัดส่วน การผสมขุยมะพร้าวที่สัดส่วนผสมร้อยละ 3 และร้อยละ 5 รวมทั้งการผสมใบกล้วยที่สัดส่วนผสมร้อยละ 3 ทำให้ก้อนอิฐดินดิบสามารถรับแรงอัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ซึ่งสามารถรับกำลังแรงอัดได้เพียง 26.93 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดดินในก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร มีผิวสัมผัสระหว่างเม็ดดินมากกว่า จึงมีความสามารถยึดเกาะกันได้ดี ทำให้มีกำลังในการรับแรงได้สูงกว่าก้อนอิฐดินดิบที่ผสมวัสดุทางการเกษตร



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบ

2) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง โดยใช้ระยะเวลาการตาก 20 วัน ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรสามารถรับกำลังแรงดัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร โดยก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยสามารถรับแรงดัดได้มากกว่าก้อนอิฐดินดิบที่ผสมขุยมะพร้าวในทุกๆ สัดส่วน และมากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง สำหรับก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนผสมการแทนที่ของใบกล้วยร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห้ง สามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด คือ 0.092 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่หากสัดส่วนผสมเกินกว่าร้อยละ 10 จะมีค่ากำลังรับแรงดัดลดลง ในขณะที่ก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนการแทนที่ด้วยขุยมะพร้าวร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้งสามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด 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 จะมีร้อยละการหดตัวใกล้เคียงกับก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยที่สัดส่วนร้อยละ10 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
ไม่ผสมวัสดุทางเกษตร	28.97	
ศูนย์การเรียนรู้ฯ	15.71	

3.3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพของก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร ก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตร และก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้งผสมแกลบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าก้อนอิฐดินดิบที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดิน มากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ได้แก่ ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยร้อยละ 3 ก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าวร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เนื่องจาก ก้อนอิฐดินดิบที่มีสัดส่วนผสมดังกล่าวสามารถรับแรงอัด และแรงดัด ได้มากกว่าก้อนอิฐดินดิบจากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของก้อนอิฐดินดิบ

ก้อนอิฐดินดิบ	การทดสอบ				หมายเหตุ
	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	กำลังรับแรงดัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตร	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
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	**
จากศูนย์การเรียนรู้ฯ	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) ก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรสามารถรับกำลังอัดได้มากกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตร สำหรับก้อนอิฐดินดิบผสมวัสดุทางการเกษตรที่รับกำลังอัดได้ดีที่สุดคือ ก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าว ซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยในทุกสัดส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบในสัดส่วนผสมเดียวกัน ส่วนผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของก้อนอิฐดินดิบ พบว่า ก้อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยสามารถรับกำลังแรงดัดได้ดีกว่าก้อนอิฐดินดิบผสมขุยมะพร้าวในทุกสัดส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบในสัดส่วนผสมเดียวกัน และมากกว่าก้อนอิฐดินดิบไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรด้วย

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

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เจ้าของไร่กล้วย และเจ้าของร้านขายต้นไม้ในอำเภอปราณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใบกล้วยและขุยมะพร้าวสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และ ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงเรือนจำชั่วคราวเขากลิ้ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ก้อนอิฐดินดิบสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุเปรียบเทียบกับก้อนอิฐดินดิบในงานวิจัย รวมทั้งขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวลที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบจนงานวิจัยสำเร็จ

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] Lertwattanaruk 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] Lertwattanaruk 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. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2550.

[7] เสน่ห์ รัตนปัญญาเจริญ, ชัยวัฒน์ ตั้งใจ และฤกษ์ชัย สว่างสินธุ์. การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝกและฟางข้าวเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างบ้านต้นทุนต่ำ. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2550.

[8] ทรงกลด ศรีวัฒนวรัญญู. การพัฒนาอิฐดินดิบผสมหญ้าแฝกเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างบ้านต้นทุนต่ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2551.

[9] จรุญศรี โชคศิริวรรณา. คุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของก้อนอิฐดินดิบผสมกากอ้อยเพื่อการก่อสร้างบ้านดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2553.

[10] Hyeng CB and 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 สินศิริ. การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวมวลเบาผสมเถ้าลอยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2559;9(1):70-82.

[15] กรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุอุตสาหกรรม 10 ชนิด. Available from: www2.dede.go.th/newomesafe/webban/book/material%20table.htm. [Accessed 1st August 2018].