

การเพิ่มมูลค่ากากมูลโคด้วยการใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน

ประชุม คำพูน^{1*}

Received : October 26, 2023

Revised : May 22, 2025

Accepted : August 27, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำกากมูลโคในฟาร์มโคนมมาเพิ่มมูลค่า ด้วยการผลิตเป็นอิฐบล็อกประสาน โดยใช้กากมูลโคที่ได้จากเครื่องแยกกากไปตากแห้งแล้วเข้าเครื่องบดละเอียดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดินลูกรังบางส่วน กำหนดส่วนผสมโดยน้ำหนัก คือ ปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 5 จากนั้นใช้กากมูลโคแทนที่ดินลูกรังด้วยอัตราส่วน 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ทำการผสมและขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานขนาด 22.5 x 11.5 x 6 ซม. นำตัวอย่างไปบ่มในสภาพอากาศปกติ ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน และทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลการวิจัย พบว่าการผสมกากมูลโคแทนที่ดินลูกรังในอัตราส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดและความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มพข.602-2547 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกากมูลโค เท่ากับ 1 : 4.8 : 0.2 จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนัก (สามารถผสมกากมูลโคได้มากที่สุด) นำไปใช้ก่อผนังรับแรง และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกากมูลโค เท่ากับ 1 : 4.4 : 0.6 จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทไม่รับน้ำหนัก สามารถนำไปใช้งานในการก่อสร้างอาคารโรงเรือน และงานตกแต่งอาคาร จัดสวน หรือทำขอบแปลงปลูกผักได้

คำสำคัญ: กากมูลโค ความต้านทานแรงอัด ดินลูกรัง อิฐบล็อกประสาน

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อีเมล: prachoom_k@mutt.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: prachoom_k@mutt.ac.th

ENHANCING THE VALUE OF COW DUNG AS AN INGREDIENT FOR PRODUCING INTERLOCKING BLOCKS

Prachoom Khamput ^{1*}

Abstract

This study aimed to enhance the value of cow dung residue from dairy farms by using it as an ingredient in the production of interlocking bricks. Cow dung obtained from a waste separator was dried and sieved through a No. 4 sieve. The processed cow dung was then mixed with laterite soil as a partial replacement for the soil. The mixture proportions were determined by weight, with a cement-to-laterite ratio of 1:5, and the laterite soil was replaced with cow dung at levels of 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, and 0.7 parts by weight. The water-to-cement ratio was maintained at 0.5. The mixtures were molded into interlocking brick samples with dimensions of 22.5 × 11.5 × 6 cm and cured under room temperature conditions. Water absorption and density were evaluated at 28 days, while compressive strength was tested at 7, 14, 21, and 28 days. The results indicated that water absorption increased with the addition of cow dung. Based on the 602-2547 standard, a cement-to-laterite-to-cow dung ratio of 1 : 4.8 : 0.2 was classified as a load-bearing interlocking block (suitable for mixing with the highest amount of cow dung). Additionally, a cement-to-laterite-to-cow dung ratio of 1 : 4.4 : 0.6 was classified as non-load-bearing interlocking bricks. These products have potential applications in building construction, residential housing, building decoration, landscaping, and garden edging.

Keywords: Cow dung, Compressive strength, Laterite soil, Interlocking bricks

¹ Assistant professor, Environmental Friendly Materials Research Unit, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, e-mail: prachoom_k@rmutt.ac.th

* Corresponding author, e-mail: prachoom_k@rmutt.ac.th

บทนำ

จากข้อมูลของกรมปศุสัตว์ ในปี 2563 ประเทศไทยมีจำนวนโคนมทั้งหมด 681,100 ตัว เป็นแม่โครีดนมจำนวน 312,800 ตัว มีนํ้านมดิบที่ผลิตได้ 3,547 ตันต่อวัน (สำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์, 2564) โดยโคนม 1 ตัวถ่ายมูลประมาณ 6 กก. ต่อวัน ดังนั้นจะมีมูลโคทั่วประเทศประมาณ 4,000 ตันต่อวัน ราคาขายตันละ 600 บาท มูลโคส่วนใหญ่เป็นของแข็งประกอบไปด้วยเศษของพืชและสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา (ภาพที่ 1) โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร มูลโคส่วนมากนำไปทำเป็นปุ๋ยหรือเลี้ยงไส้เดือน (ศรีฐิต์สพล หนูพรม และคณะ, 2560) และจากปริมาณมูลโคที่มีอยู่เป็นจำนวนมากหากทำการแยกกากออกแล้วจะมีความสะอาดและมีเส้นใยเป็นจำนวนมาก จึงสามารถนำไปเพิ่มมูลค่าได้ เช่น ทำเป็นกระดาด ทำเป็นกระถางต้นไม้ที่ย่อยสลายได้ (Surtia et al., 2014) เป็นต้น



ภาพที่ 1 กองมูลโคภายในฟาร์มโคนม อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (ที่มา: ดัดแปลงจาก ประชุม คำพุฒ, 2566)

อัฐบล็อกประสานเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรง รูปทรงสวยงาม มีกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก ใช้เครื่องจักรต้นทุนต่ำที่เหมาะสมสำหรับชุมชน ใช้พลังงานในการผลิตน้อย ซึ่งจุดเด่นของอัฐบล็อกประสาน คือ สามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งมาเป็นส่วนผสมเพื่อเสริมแรงหรือลดต้นทุนในการผลิตได้ ทั้งวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมจำพวกขี้เถ้าเหลือทิ้งต่าง ๆ (ประชุม คำพุฒ, 2561; จริญญา เจริญเนตรกุล, 2557) หรือเศษหินฝุ่นที่เหลือทิ้งจากเหมืองแร่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ (ประชุม คำพุฒ และคณะ, 2558; ประชุม คำพุฒ, 2560; ประชุม คำพุฒ และสัจจะชาญ พรตมะลิ, 2561) ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่าส่วนผสมที่พอเหมาะจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงและผ่านมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอัฐบล็อกประสาน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) นอกจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีการนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรจำพวกเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำอัฐบล็อกประสาน อาทิ การนำเส้นใยมะพร้าวมาผสมในอัฐบล็อก

ประสาน (Khedari. et al., 2005) การใช้ฟางข้าวผสมในอิฐบล็อกประสาน (ปิยะพล สีหาบุตร และคณะ, 2559) อิฐบล็อกประสานที่ผสมแกนกัญชง (ประชุม คำพูด, 2562ก) อิฐบล็อกประสานที่ผสมเศษก้านใบยาสูบ เป็นต้น (ประชุม คำพูด, 2562ข) การใช้จากกากมะพร้าวมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก (วันปิติ ธรรมศรี และคณะ, 2565) และงานวิจัยที่ใกล้เคียงกับบทความนี้ คือ การใช้กากมูลโคเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางผลิตอิฐบล็อกประสาน (ประชุม คำพูด, 2566) ซึ่งผลการวิจัยที่ผ่านมากล่าวโดยสรุปได้ว่าเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ ที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในอิฐบล็อกประสานส่งผลให้การรับแรงอัดและความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงจึงมีคุณสมบัติด้านการเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นใยธรรมชาติมีส่วนช่วยในการรับแรงดึง การรับแรงดัด และช่วยลดการแตกร้าวที่ผิวหน้าได้

ดังนั้นการนำกากมูลโคมาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดินลูกรังบางส่วนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของกากมูลโคและยังช่วยให้คุณสมบัติบางประการของอิฐบล็อกประสานดีขึ้นได้เหมือนกับการใช้เส้นใยธรรมชาติแบบอื่น ๆ และยังสามารถมีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน โดยสูตรที่เหมาะสมจากงานวิจัยสามารถจำแนกประเภทได้ทั้งแบบรับน้ำหนักที่นำไปใช้ก่อสร้างเป็นผนังอาคารรับน้ำหนัก และแบบไม่รับน้ำหนักที่นำไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุกันห้อง วัสดุตกแต่งอาคาร วัสดุจัดสวน และขอบแปลงผัก รวมทั้งสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร ชุมชน และผู้ประกอบการ ตามแนวทางของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเพิ่มมูลค่ากากมูลโคด้วยการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยทำการทดลองสูตรผสม ทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 การนำไปใช้งานจริง และคำนวณต้นทุนการผลิต

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย วัสดุและอุปกรณ์ การกำหนดส่วนผสม การขึ้นรูปตัวอย่างและการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก.2594-2556 เรื่องปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556)

1.2 ดินลูกรัง จากเหมืองดินลูกรังจังหวัดชัยภูมิ นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (ภาพที่ 2) มีความถ่วงจำเพาะ 2.67 (ดินลูกรังที่นำมาใช้จะเป็นลักษณะคล้ายกับเม็ดทรายมากกว่าดิน)

1.3 กากมูลโคนมแห้ง จากฟาร์มโคนมในอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีเครื่องแยกกาก นำกากมูลโคมาอบให้แห้งจนกระทั่งไม่เหลือความชื้น แล้วทำการบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ภาพที่ 3) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.35-0.50

1.4 น้ำประปา

1.5 เครื่องบดย่อยกากมูลโคพร้อมตะแกรงคัดขนาด (ภาพที่ 4)

1.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

1.7 เครื่องผสมคอนกรีตแบบกระทะ

1.8 เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบมือโยก ติดตั้งแบบหล่อ ขนาด 22.5 x 11.5 x 6 ซม. (ภาพที่ 5)

1.9 อุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

1.10 เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine)



ภาพที่ 2 ดินลูกรัง จากเหมืองดินลูกรังจังหวัดชัยภูมิ



ภาพที่ 3 กากมูลโคนมแห้ง จากฟาร์มโคนมในอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4



ภาพที่ 4 เครื่องบดย่อยกากมูลโคพร้อมตะแกรงคัดขนาด (ที่มา: ประชุม คำพูน, 2566)



ภาพที่ 5 เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบมือโยกพร้อมติดตั้งแบบหล่อขนาด 22.5x11.5x6 ซม.
(ที่มา: ประชุม คำพูน, 2566)

2. การกำหนดส่วนผสม

ทำการกำหนดส่วนผสมของอิฐบล็อกประสานโดยน้ำหนัก เริ่มจากการใช้อัตราส่วนควบคุม คือ ปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1 : 5 จากนั้นใช้กากมูลโคแทนที่ดินลูกรังในปริมาณร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ตามลำดับ โดยทุกอัตราส่วนใช้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 รายละเอียดส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วนที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ดินลูกรัง (กก.)	กากมูลโค (กก.)	น้ำประปา (กก.)
1	C 1 : 5 : 0	1	5	0	0.5
2	C 1 : 4.9 : 0.1	1	4.9	0.1	0.5
3	C 1 : 4.8 : 0.2	1	4.8	0.2	0.5
4	C 1 : 4.7 : 0.3	1	4.7	0.3	0.5
5	C 1 : 4.6 : 0.4	1	4.6	0.4	0.5
6	C 1 : 4.5 : 0.5	1	4.5	0.5	0.5
7	C 1 : 4.4 : 0.6	1	4.4	0.6	0.5
8	C 1 : 4.3 : 0.7	1	4.3	0.7	0.5

หมายเหตุ ตัวอย่างสัญลักษณ์ C 1 : 4.9 : 0.1 หมายถึง ซีเมนต์ 1 ส่วน ดินลูกรัง 4.9 ส่วน กากมูลโค 0.1 ส่วน

3. การขึ้นรูปตัวอย่างและการทดสอบ

ข้อกำหนดในการทดลอง การขึ้นรูปตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบแต่ละสมบัติของแต่ละสูตรผสม กำหนดให้ใช้ตัวอย่างทดสอบสูตรอัตราส่วนละจำนวน 30 ตัวอย่าง แล้วทำการการสุ่มเลือก 5 ตัวอย่าง ที่ให้ผลการทดสอบโดยเฉลี่ยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ไม่เกิน 0.50 มาทำการหาเฉลี่ย ทำกราฟความสัมพันธ์ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.1 การขึ้นรูปก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน

วิธีการดำเนินงานเริ่มจากการตวงส่วนผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง กากมูลโค และน้ำ ตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 ผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมแบบกระทะ คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วเทลงแบบหล่อและอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบมือโยกขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. (ภาพที่ 6) นำตัวอย่างอิฐบล็อกประสานออกจากแบบหล่อ แล้วนำไปบ่มในที่ร่มอากาศถ่ายเทสะดวก (ภาพที่ 7) เพื่อทำการทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรืองอิฐบล็อกประสาน



ภาพที่ 6 อิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของกากมูลโค



ภาพที่ 7 การบ่มอิฐบล็อกประสานในสภาพอากาศปกติ

3.2 การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสาน

การทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรืองอิฐบล็อกประสาน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ประกอบด้วย

- 1) ลักษณะทั่วไป คือ ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย
- 2) มิติ มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มม.
- 3) ความต้านแรงอัด แบ่งออกเป็นชนิดรับน้ำหนักค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7 เมกะปาสคัล และชนิดไม่รับน้ำหนักค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคัล

4) การดูดซึมน้ำหรือมาตรฐาน มผช. ใช้คำว่า “การดูดกลืนน้ำ” ทดสอบเฉพาะชนิดรับน้ำหนัก โดยมีข้อกำหนดตาม ตารางที่ 2 ทั้งนี้จากน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานที่ประกอบการพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำสามารถนำมาทำการทดสอบสมบัติด้านความหนาแน่นเพิ่มเติม เพื่อช่วยในการวิเคราะห์สมบัติของอิฐบล็อกประสานต่อไป

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดการดูดซึมน้ำ (ทดสอบเฉพาะชนิดรับน้ำหนัก) ตามมาตรฐาน มผช.602-2547

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง (กก.)	การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อน (กก./ลบ.ม.)
ไม่มากกว่า 1,680	288
1,681 ถึง 1,760	272
1,761 ถึง 1,840	256
1,841 ถึง 1,920	240
1,921 ถึง 2,000	224
มากกว่า 2,000	208

ค่าความต้านแรงอัดทำการทดสอบอิฐบล็อกประสานที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน (ภาพที่ 7) ทำการคำนวณโดยนำแรงอัดสูงสุดที่กระทำหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงอัด ส่วนค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานทำการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน (ภาพที่ 8) ส่วนวิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำ (ภาพที่ 9) และความหนาแน่น ทำโดยการวัดปริมาตรก้อนตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักปกติ ชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ และชั่งน้ำหนักหลังอบแห้ง โดยวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นให้น้ำหนักปกติหารด้วยปริมาตร ค่าการดูดซึมน้ำให้น้ำหนักหลังแช่น้ำลบออกด้วยน้ำหนักหลังอบแห้ง



ภาพที่ 8 การทดสอบความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน



ภาพที่ 9 การแช่อิฐบล็อกประสานในน้ำสะอาดเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

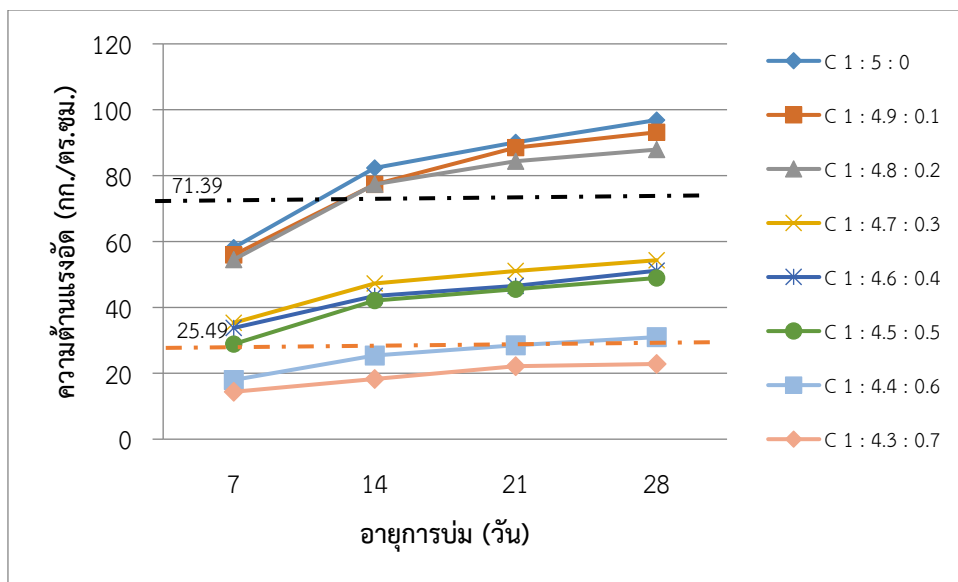
1. ลักษณะทั่วไป

ผลการทดสอบอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโคด้วยการตรวจพินิจพบว่า อิฐบล็อกประสานทุกอัตราส่วนไม่มีรอยแตกร้าว มีมิติความคลาดเคลื่อนไม่เกินกว่า ± 2 มม. จึงผ่านตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

2. ความต้านแรงอัด

ผลการทดสอบความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานในภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโคขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. ที่อัตราส่วนต่าง ๆ อายุการบ่มที่ 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงอัดมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำจะพัฒนาความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้น และสามารถรับแรงได้เต็มที่เมื่ออายุ 28 วัน (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555) และเมื่อผสมกากมูลโคในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เนื่องจากกากมูลโคเป็นวัสดุชีวภาพที่ไม่แข็งแรงเท่ากับมวลรวมปกติ (ดินลูกรัง) การที่ผสมกากมูลโคในปริมาณมากเกินไปนั้นก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานจะรับแรงได้ลดลงไปเรื่อย ๆ จนไม่สามารถรับแรงได้ เพราะว่าปริมาณเส้นใยของกากมูลโคมีปริมาณมากเกินไปจนทำให้ความสามารถในการยึดเกาะตัวของเนื้ออิฐบล็อกประสานลดลง มีช่องว่างภายในเนื้ออิฐบล็อกประสานมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐบล็อกประสานที่ลดลงตามลำดับเช่นเดียวกัน อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้วัสดุชีวภาพในการผสมเป็นมวลรวมบางส่วนในคอนกรีต (ประชุม คำพูด, 2562ก) โดยเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยที่ใช้เส้นใยธรรมชาติในการผสมคอนกรีต (นิรมล บั่นลาย และคณะ, 2562) อีกทั้งการผสมกากมูลโคในปริมาณที่มากขึ้นในขณะที่ปริมาณน้ำยังคงเท่าเดิมนั้น ทำให้เส้นใยของกากมูลโคไปดูดซึมน้ำจากซีเมนต์เพสต์ ส่งผลให้ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ความต้านทานแรงอัดจึงลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้เส้นใยธรรมชาติผสมในคอนกรีต (สัจจะชาญ พัดมะลิ และประชุม คำพูด, 2564)

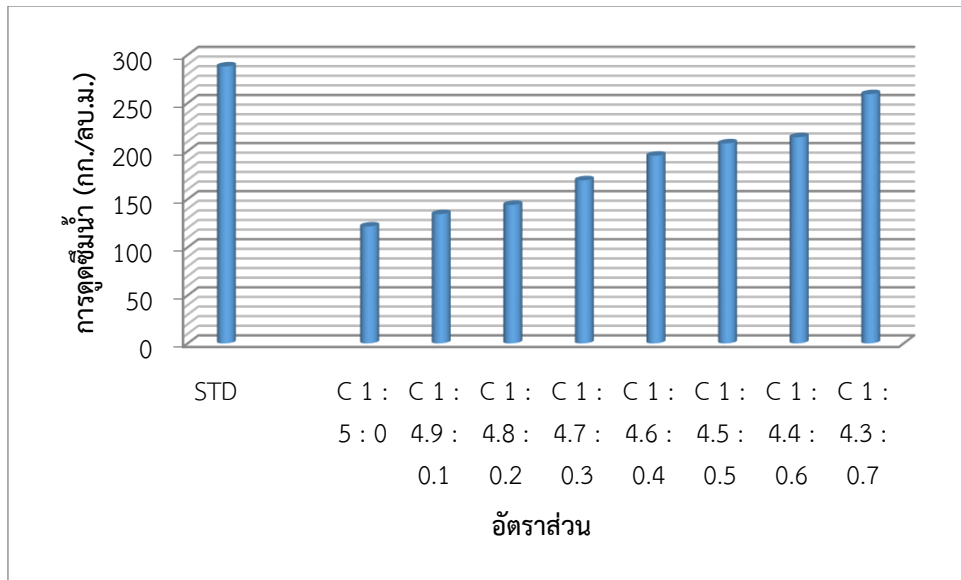
เมื่อนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน พบว่าสามารถจำแนกประเภทของอิฐบล็อกประสานได้ โดยที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกากมูลโค เท่ากับ C 1 : 4.8 : 0.2 มีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 87.91 กก./ตร.ซม. จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนักที่กำหนดค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 7 เมกะปาสคัล (71.39 กก./ตร.ซม.) ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้อัตราส่วนนี้เนื่องจากสามารถผสมกากมูลโคได้มากที่สุดที่ยังมีค่าความต้านแรงอัดผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด และที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกากมูลโค เท่ากับ C 1 : 4.4 : 0.6 มีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 30.98 กก./ตร.ซม. จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทไม่รับน้ำหนัก กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคัล (25.49 กก./ตร.ซม.) จึงสามารถเลือกใช้อัตราส่วนได้ตามความต้องการให้เหมาะสมกับการใช้งาน



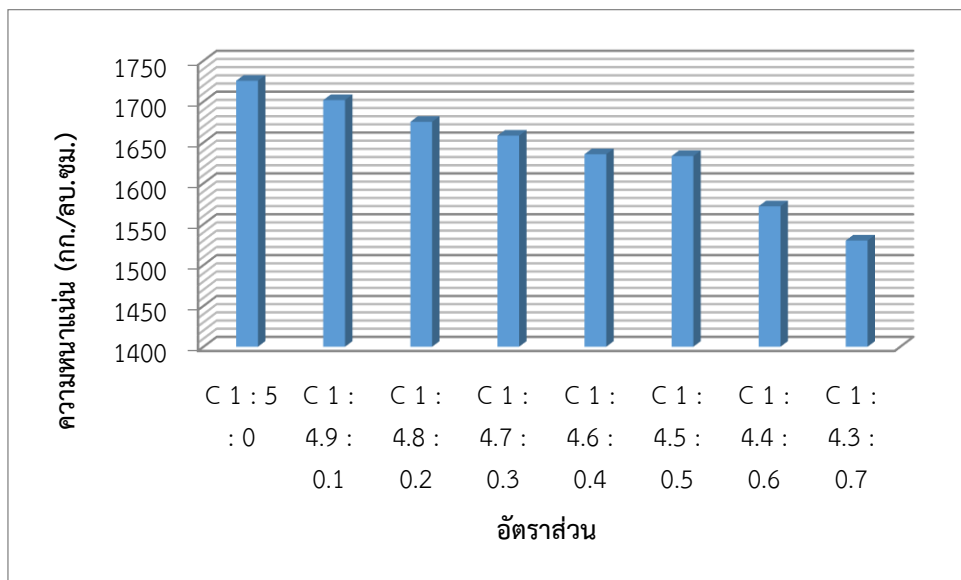
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานที่อัตราส่วนต่าง ๆ

3. การดูดซึมน้ำและความหนาแน่น

ภาพที่ 11 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ และ ภาพที่ 12 ผลการทดสอบความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ของก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโคขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. พบว่าเมื่อผสมกากมูลโคแห้งในก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากมูลโคเป็นวัสดุชีวภาพมีเส้นใยพืชจำนวนมากจึงดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดีกว่ามวลรวมปกติซึ่งเป็นทราย (ประชุม คำพุฒ, 2562) ดังนั้นเมื่อผสมกากมูลโคในตัวอย่างอิฐบล็อกประสานในปริมาณที่มาก และเมื่อตัวอย่างอิฐบล็อกประสานสัมผัสกับความชื้นหรือแช่น้ำโดยตรงจึงส่งผลให้ก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานมีค่าการดูดซึมน้ำสูงมากขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันความหนาแน่นมีค่าลดลงตามลำดับเนื่องจากกากมูลโคมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าหรือน้ำหนักเบากว่ามวลรวมปกติคือดินลูกรัง จึงทำให้ก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานมีความหนาแน่นลดลง มีน้ำหนักที่เบาลง ซึ่งเป็นข้อดีในเรื่องของการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนและฉนวนป้องกันเสียง อย่างไรก็ตามความหนาแน่นอัตราส่วน C 1 : 4.6 : 0.4 และ C 1 : 4.5 : 0.5 มีความหนาแน่นค่อนข้างใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการให้แรงในการอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานด้วยเครื่องอัดแบบมือโยก ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นที่ได้ก็ยังคงเป็นไปในทิศทางแนวโน้มเดียวกัน

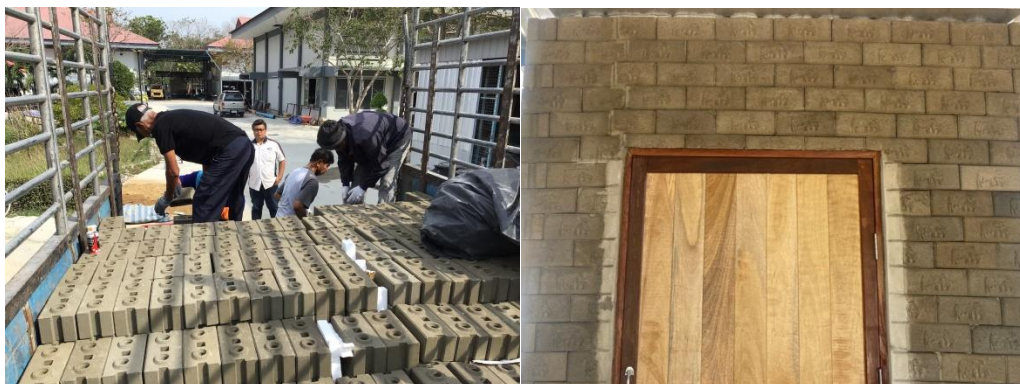


ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนต่าง ๆ ของอิริบลิอกประสานที่อายุ 28 วัน



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนต่าง ๆ ของอิริบลิอกประสานที่อายุ 28 วัน

4. การใช้งานก่อนผนังอาคารจริง



ภาพที่ 13 การขนส่งอิฐบล็อกประสาน (ซ้าย) การก่อผนังอาคารด้วยอิฐบล็อกประสาน (ขวา)

ภาพที่ 13 การใช้อิฐบล็อกประสานผสมกาบมูลโคก่อผนังอาคารจริง โดยทำเป็นผนังอาคารสำหรับเป็นศูนย์การเรียนรู้การทำอิฐบล็อกประสานที่ ตำบลมวกเหล็ก อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ซึ่งการทดสอบเริ่มตั้งแต่การขนส่งอิฐบล็อกประสานจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ไปยังสถานที่ก่อสร้าง และทำการก่อผนังอาคารตรวจสอบการแตกหักเสียหาย ความเรียบ สม่ำเสมอ ได้ระดับ และได้ฉาก ผลการทดสอบพบว่า อิฐบล็อกประสานผสมกาบมูลโคไม่มีความเสียหายระหว่างการขนส่ง โดยไม่มีการแตกร้าว ไม่แตกหัก ขอบไม่บิ่น เมื่อนำมาก่อเป็นผนังอาคารสามารถทำการก่อ-ฉาบ ใช้งานได้จริงเหมือนกับอิฐบล็อกประสานปกติที่ไม่ผสมกาบมูลโค ทั้งนี้เนื่องจากอิฐบล็อกประสานผสมกาบมูลโคมีคุณสมบัติต่าง ๆ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มพข.602-2547 จึงสามารถนำไปใช้งานทดแทนอิฐบล็อกประสานแบบปกติได้

5. การคำนวณต้นทุนการผลิต

การคิดคำนวณต้นทุนการผลิตอิฐบล็อกประสานผสมกาบมูลโค คิดต้นทุนที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ ใช้สูตรอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกาบมูลโค เท่ากับ $1 : 4.4 : 0.6$ มีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 30.98 กก./ตร.ซม. จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทไม่รับน้ำหนัก ที่เลือกอัตราส่วนนี้มาคำนวณต้นทุนการผลิต เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ได้รับความนิยมจากลูกค้าในการสั่งซื้อ โดยต้นทุนการผลิตต่ออันแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนการผลิตอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโค (ต่อก้อน)

รายการต้นทุน	ราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์	2.500
ดินลูกรัง	2.630
น้ำ	0.002
ขนส่งวัสดุ (รวมกากมูลโค)	0.500
แรงงาน	1.500
ไฟฟ้าเครื่องอัด	0.233
ไฟฟ้าเครื่องผสม	0.066
เบ็ดเตล็ด	0.100
รวม	7.531

ที่มา : อ้างอิงข้อมูลจากผู้ประกอบการผลิตอิฐบล็อกประสานในพื้นที่จังหวัดสระบุรี

ตารางที่ 3 เป็นการคิดต้นทุนการผลิตอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของกากมูลโคของสูตรที่เลือกในห้องปฏิบัติการ โดยคิดต้นทุนกากมูลโครวมกับต้นทุนค่าขนส่งวัสดุ เนื่องจากกากมูลโคเป็นวัสดุเหลือทิ้งในฟาร์มโคนม ซึ่งต้นทุนหลัก ๆ จะเป็นปูนซีเมนต์กับดินลูกรัง รองลงไปเป็นค่าแรงงานและค่าขนส่งวัสดุตามลำดับ โดยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกากมูลโค เท่ากับ $C 1 : 4.4 : 0.6$ มีต้นทุนการผลิต 7.531 บาทต่อก้อน สามารถตั้งราคาขายได้เท่ากับอิฐบล็อกประสานปกติในท้องตลาด 12 บาทต่อก้อน ได้กำไร 4.469 บาทต่อก้อน จึงมีความคุ้มค่ากับการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำแผนธุรกิจ พร้อมคิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนต่อไป

สรุป

การเพิ่มมูลค่างากมูลโคด้วยการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยทำการทดลองสูตรผสมกากมูลโคแทนที่ดินลูกรังในอัตราส่วนต่าง ๆ ทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 การนำไปใช้งานจริง และคำนวณต้นทุนการผลิต ผลการทดสอบพบว่า ลักษณะทั่วไปของอิฐบล็อกประสานทุกก้อนผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อผสมกากมูลโคปริมาณมากขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อกากมูลโค เท่ากับ $C 1 : 4.8 : 0.2$ มีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 87.91 กก./ตร.ซม. จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนักใช้เป็นวัสดุก่อผนังอาคารที่ต้องการรับน้ำหนักมาก และอัตราส่วน $C 1 : 4.4 : 0.6$ มีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 30.98 กก./ตร.ซม. จัดเป็นอิฐบล็อกประสานประเภทไม่รับน้ำหนัก นำไปใช้งานได้ปกติเหมือนกับอิฐบล็อกประสานทั่วไป และมีต้นทุนการผลิตต่อก้อนไม่เกิน 8 บาท

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้

การนำอัฐบลีอกประสานที่มีส่วนผสมของกากมูลโคไปใช้ประโยชน์ สามารถส่งเสริมให้ชุมชน เกษตรกรในพื้นที่ หรือผู้ประกอบการวิสาหกิจขนาดย่อม ทำการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ โดยมีจุดเด่นด้านการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การเป็นฉนวนความร้อนที่ดี มีน้ำหนักเบา

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในงานวิจัยในครั้งต่อไปควรดำเนินการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุน การจัดทำแผนธุรกิจ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์อัฐบลีอกประสานที่มีส่วนผสมของกากมูลโคและเปรียบเทียบกับอัฐบลีอกประสานปกติหรืออัฐบลีอกประสานทางเลือกอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณบางส่วนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ได้รับการสนับสนุนเครื่องจักรในการผลิตจากหน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และได้รับการสนับสนุนกากมูลโคจากผู้ประกอบการฟาร์มโคนม ในอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

เอกสารอ้างอิง

- ศิรัชฐ์สพล หนูพรหม, อมรรัตน์ ชุมทอง, พงษ์ศักดิ์ มานสุริวงศ์, และฝนทิพย์ ทองนุ้ย. (2560). ผลของมูลโคและน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบรอกโคลี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(4), 627-638.
- จรรยา เจริญเนตรกุล. (2557). อัฐบลีอกประสานที่มีส่วนผสมเถาและกะลาปาล์มน้ำมัน. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 2(1), 103-112.
- นิรมล ปั่นลาย, ประชุม คำพุฒ, และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2562). ผลิตภัณฑ์แผ่นใยซีเมนต์อัดผสมขานอ้อย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 3(2), 59-67.
- ประชุม คำพุฒ, กิตติพงษ์ สุวีโร, อมเรศ บกสุวรรณ, และนิรมล ปั่นลาย. (2558). การใช้ฝุ่นหินภูเขาไฟในผลิตภัณฑ์บลีอกประสาน. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 3(2), 239-247.
- ประชุม คำพุฒ. (2560). การใช้เศษหินของเหมืองแร่แอนไดไซต์สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บลีอกประสาน. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 31(3), 13-19.

- ประชุม คำพูด, และสัจจะชาญ ปรัดมะลิ. (2561). การใช้เทคโนโลยีสำหรับชุมชนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินบะซอลต์. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 32(2), 9-15.
- ประชุม คำพูด. (2561). การใช้เถ้ากะลามะพร้าวเป็นมวลรวมในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 32(1), 9-16.
- ประชุม คำพูด. (2562ก). **ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานจากแกนต้นกล้วยง.** การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14, โรงแรมวรวรนา หัวหิน โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น, หัวหิน, ประจวบคีรีขันธ์, 6-8 มีนาคม 2562, ENV-008, 6 หน้า.
- ประชุม คำพูด. (2562ข). **ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานจากเศษก้านใบยาสูบ.** งานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2562 (RSU National Research Conference 2019), อาคารพิมณศ Student Center มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 4 พฤษภาคม 2562, หน้า 231-240.
- ประชุม คำพูด. (2566). การใช้กากมูลโคเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางผลิตอิฐบล็อกประสาน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 8(2), 42-51.
- ปริญญญา จินดาประเสริฐ, และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). **ปูนซีเมนต์ ปอชโซลาน และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, 381 หน้า.
- ปิยะพล สีหาบุตร, เพ็ญชาย เวียงใต้, ภคพล ช่างยันต์, และเจษฎ์ศิริ เกื่อนมูลละ. (2560). การใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 36(4), 478-485.
- วันปิติ ธรรมศรี, นันทพร อ่อนปัดชา, อุษณีย์ ปีนอก, และมณฑนา ศรีทองคำ. (2565). การนำวัสดุเหลือใช้จากกากมะพร้าวมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 17(1), 117-129.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน.** กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594-2556 เรื่องปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก.** กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์. (2564). **แผนปฏิบัติการด้านโคนมและผลิตภัณฑ์นม ระยะที่ 1 (ปี พ.ศ.2564-2570).** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้นจาก <https://dld.go.th/th/index.php/th/newsflash/banner-news/23844-final-plan2564-2570> 14 มิถุนายน 2564.
- สัจจะชาญ ปรัดมะลิ, และประชุม คำพูด. (2564). **คอนกรีตบล็อกดินขาวผสมฟางข้าว.** การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 20, แบบออนไลน์, 12-13 พฤษภาคม 2564, หน้า 139-145.

- Khedari, J., Watsanasathaporn, P., & Hirunlabh, J. (2005). Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites**, 27, 111–116.
- Surtia, G., Panchal, P., Patel, M., RK, R., & Kumar, V. (2016). Improving livelihood initiatives through environmental friendly solutions derived from livestock byproduct. **International Journal of Science, Environment and Technology**, 5(2), 658–665.