



การใช้กากมูลโคเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางผลิตอิฐบล็อกประสาน

Using Cow Feces as a Concrete Mix as a Guideline For the Production of Interlocking Bricks

ประชุม คำพุ่ม*

¹ หน่วยงานวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

Prachoom Khamput*

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi 39 Moo 1, Rangsit-Nakorn Nayok Road, Khlong Hok, Khlong Luang, Pathum Thani, Thailand, 12110

*ผู้รับผิดชอบบทความ: prachoom_k@rmutt.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-1665-4755

Received: 25 October 2022, Revised: 11 March 2023, Accepted: 11 March 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้กากมูลโคของฟาร์มโคนมที่ได้จากเครื่องแยกกากไปตากแห้งแล้วเข้าเครื่องบดละเอียดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางการผลิตอิฐบล็อกประสานสำหรับเป็นสินค้าชุมชน กำหนดส่วนผสมโดยปริมาตร คือ ปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1 : 7 แทนที่ทรายละเอียดด้วยกากมูลโคนม 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 และ 5 ส่วน ตามลำดับ ใช้ปริมาณน้ำเท่ากับ 350 มิลลิลิตร ผสมและขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่างคอนกรีตขนาด 10 x 10 x 10 ซม. ทดสอบความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 14 21 และ 28 วัน พบว่าการผสมกากมูลโคมากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดและความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง ปริมาณความชื้นและการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เลือกอัตราส่วนที่เป็นไปได้นำไปขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกประสานขนาด 22.5 x 11.5 x 6 ซม. ทำการทดสอบความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ความต้านทานแรงอัดที่อายุ 14 และ 28 วัน พบว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดต่อกากมูลโคเท่ากับ 1 : 6.5 : 0.5 มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช.602 สามารถนำไปใช้งานได้

คำสำคัญ กากมูลโค คอนกรีต ฟาร์มโคนม อิฐบล็อกประสาน

Abstract

This research aims to use cow feces from dairy farms as an aggregate of interlocking bricks. The cow feces were obtained from the separator process. The dry cow feces passing sieve No 4 were among the ingredients in concrete which serves as a guideline in producing interlocking bricks as community products. The mixture consisted of concrete and fine sand in a ratio of 1: 7 by volume. Fine sand has been replaced by 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 and 5 parts of dairy waste, respectively. All the mixing used 350 ml of water. A concrete cube specimen was 10 x 10 x 10 cm in dimension. The moisture content, water absorption, and density were investigated at 28 days. The compression strength was studied at 7, 14, 21 and 28 days. The results showed that the compressive strength and density reduces with increasing cow feces. The moisture content and



absorption of the sample tend to increase. The interlocking bricks with size 22.5 x 11.5 x 6 cm were chosen from the concrete mix proportion as fine sand to cow feces waste equals 1: 6.5 : 0.5 The moisture content, water absorption and density of interlocking bricks were also investigated within 28 days. The interlocking brick is in accordance with TCPS 602, and can be used as building materials.

Keywords: Cow Feces, Concrete, Dairy Farm, Interlocking Bricks

1. บทนำ

ข้อมูลจากกรมปศุสัตว์ ในปี 2563 (ข้อมูล ณ มกราคม 63) ประเทศไทยมีจำนวนโคนมทั้งหมด 681,100 ตัว เป็นแม่โคนมจำนวน 312,800 ตัว มีน้ำนมดิบที่ผลิตได้ 3,547 ตันต่อวัน [1] โดยโคนม 1 ตัวถ่ายมูลประมาณ 6 กิโลกรัม (กก.) ต่อวัน (รูปที่ 1) ดังนั้นจะมีมูลโคทั่วประเทศประมาณ 4,000 ตันต่อวัน ราคาขายตันละ 600 บาท ส่วนมากนำไปทำเป็นปุ๋ยหรือเลี้ยงไส้เดือน จากปริมาณมูลโคที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก หากทำการแยกกากออกแล้วจะมีความสะอาดและมีเส้นใยเป็นจำนวนมาก จึงสามารถนำไปเพิ่มมูลค่าได้อีกหลากหลาย เช่น ทำเป็นกระดาด ทำเป็นกระถางต้นไม้ที่ย่อยสลายได้ [2] เป็นต้น อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปเป็นเส้นใยธรรมชาติในการผสมผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีต้นทุนต่ำสำหรับใช้ในพื้นที่ชุมชนที่มีอาชีพในการทำปศุสัตว์เลี้ยงโคนม



รูปที่ 1 กองมูลโคภายในฟาร์มโคนม จังหวัดสระบุรี

โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสูตรผสมกากมูลโคในคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางการผลิตอิฐบล็อกประสาน เนื่องจากอิฐบล็อกประสานมีความแข็งแรงสูงกว่าคอนกรีตบล็อก รูปทรงสวยงาม หลากหลาย มีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ต้นทุนต่ำ ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมสำหรับชุมชน ใช้พลังงานในการผลิตน้อย ชุมชนจึงมีศักยภาพในการ

ดำเนินงานและเป็นสินค้าสร้างรายได้ โดยการผลิตอิฐบล็อกประสานปกติทำได้โดยการนำปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ผสมกับดินลูกรัง 5-7 ส่วน โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำให้เข้ากันในเครื่องผสมแบบกระทะ แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานซึ่งมีทั้งแบบมือโยกหรือเป็นแบบอัตโนมัติ นำก้อนอิฐบล็อกประสานออกจากเครื่องมาผึ่งในที่ร่มประมาณ 14 วันก็นำไปจำหน่ายได้ จุดเด่นของอิฐบล็อกประสาน คือ สามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งมาเป็นส่วนผสมเพื่อเสริมแรงหรือลดต้นทุนในการผลิตได้ ทั้งวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมจำพวกขี้เถ้าเหลือทิ้งต่าง ๆ [3-4] หรือเศษหินฝุ่นที่เหลือทิ้งจากเหมืองแร่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ [5-12] ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่าส่วนผสมที่พอเหมาะจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงและผ่านมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน [13] ส่วนผสมจากภาคเกษตรนั้นยังไม่มีงานวิจัยเท่าใดนัก โดยอิฐบล็อกประสานที่ผสมเส้นใยธรรมชาติจะช่วยในเรื่องของการรับแรงดึง แรงดัด และช่วยในเรื่องของการลดการแตกร้าวที่ผิวหน้า เช่นอิฐบล็อกประสานที่ผสมแกนกล้วย [14] และอิฐบล็อกประสานที่ผสมเศษก้านใบยาสูบเป็นต้น [15] ดังนั้นการนำกากมูลโคมาทำการผสมกับวัสดุหลักในการผลิตอิฐบล็อกประสานจึงมีความเป็นไปได้ภายใต้แนวคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular economy ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงานประกอบด้วย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก.15-2555 เรื่องปูนซีเมนต์เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ [16]

2) ทรายละเอียด จากร้านจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก.566-2562 เรืองมวลรวมผสมคอนกรีต [17] (ที่ใช้ทรายละเอียดเนื่องจากหาได้ง่ายและต้องการสีของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับกากมูลโค) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.56

3) กากมูลโคนมแห้ง ขององค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) ที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีเครื่องแยกกากมีความชื้นร้อยละ 45 (วิธีการคำนวณความชื้นโดยนำกากมูลโคมาอบให้แห้ง แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไปหลังการอบจากน้ำหนักเริ่มต้น คำนวณเป็นร้อยละ) นำกากมูลโคมาอบให้แห้งจนกระทั่งไม่เหลือความชื้น แล้วทำการบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (รูปที่ 2) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.35-0.5



รูปที่ 2 กากมูลโคอบแห้งแล้วบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4



รูปที่ 3 เครื่องบดย่อยกากมูลโคพร้อมตะแกรงคัดขนาด

4) น้ำประปา

5) เครื่องบดย่อยกากมูลโคพร้อมตะแกรงคัดขนาด (รูปที่ 3)

6) เครื่องชั่งน้ำหนัก

7) เครื่องผสมคอนกรีต

8) แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์แบบด้ามมือ 10 x 10 x 10 ซม. (ซึ่งจะมีตัวแปรใกล้เคียงกับอิฐบล็อกประสานมากที่สุด) (รูปที่ 4)

9) เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบมือโยกพร้อมติดตั้งแบบหล่อ ขนาด 22.5 x 11.5 x 6 ซม. (รูปที่ 5)

10) อุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

11) เครื่องทดสอบแรงกด (UTM)



รูปที่ 4 แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์แบบด้ามมือ ขนาด 10 x 10 x 10 ซม.



รูปที่ 5 เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบมือโยกพร้อมติดตั้งแบบหล่อขนาด 22.5 x 11.5 x 6 ซม.



2.2. วิธีการดำเนินงาน

2.2.1 การกำหนดส่วนผสมเบื้องต้น

ทำการกำหนดส่วนผสมโดยปริมาตรเพื่อทดสอบสมบัติเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ เริ่มจากการใช้อัตราส่วนควบคุม คือ ปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1 : 7 จากนั้นใช้กากมูลโคแทนที่ทรายละเอียดครั้งละ 0.5 ตามลำดับ จนกระทั่งขึ้นรูปไม่ได้จึงหยุด โดยทุกอัตราส่วนใช้ปริมาณน้ำเท่ากับ 350 มิลลิลิตร รายละเอียดส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมโดยปริมาตรของก้อนตัวอย่างคอนกรีตทดสอบ

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์	ทรายละเอียด	กากมูลโค
CD0	1	7	0
CD0.5	1	6.5	0.5
CD1	1	6	1
CD1.5	1	5.5	1.5
CD2	1	5	2
CD2.5	1	4.5	2.5
CD3	1	4	3
CD3.5	1	3.5	3.5
CD4	1	3	4
CD4.5	1	2.5	4.5
CD5	1	2	5

หมายเหตุ ทุกอัตราส่วนใช้ปริมาณน้ำเท่ากับ 350 มิลลิลิตร

2.2.2 การขึ้นรูปตัวอย่างและการทดสอบ

การขึ้นรูปก้อนตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนที่ 1 ขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัดตามมาตรฐาน BS 1881 Pat 108 [18] และการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน มอก.109-2517 [19] ของส่วนผสมคอนกรีตในตารางที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 2 เลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดในขั้นตอนที่ 1 มาทำการขึ้นรูปตัวอย่างอิฐบล็อกประสานขนาดขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. เพื่อทดสอบตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน [13] โดยการขึ้นรูปตัวอย่างของขั้นตอนที่ 1 และ 2 มีวิธีการดำเนินงานเริ่มจากการตวงส่วนผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด กากมูลโค และน้ำ (รูปที่ 6) ตามสัดส่วนในตารางที่ 1 แล้วนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมเทลงแบบหล่อ กรณี

ขั้นตอนที่ 1 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. ทำการอัดกระทุ้งส่วนผสมให้แน่นจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 15 ครั้งและเกลี่ยหน้าให้เรียบโดยเกรียงขัดมัน (รูปที่ 7) ทำการถอดแบบนำก้อนตัวอย่างคอนกรีตออกจากแบบหล่อแม่พิมพ์ (รูปที่ 8) จากนั้นนำไปบ่มในที่ร่มตามระยะเวลาที่กำหนดทดสอบ (รูปที่ 9) กรณีขั้นตอนที่ 2 ตัวอย่างอิฐบล็อกประสานขนาดขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. ให้ทำการอัดส่วนผสมลงในแบบของเครื่องอัดอิฐประสาน (รูปที่ 10) หลังจากอัดลงในแบบหล่อจนแน่นดีแล้วทำการถอดแบบนำก้อนตัวอย่างออกจากแบบ แล้วนำไปบ่มในที่ร่มตามเวลาทดสอบ (รูปที่ 11)

วิธีการทดสอบค่าความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ทำโดยการวัดปริมาตรก้อนตัวอย่าง ซึ่งน้ำหนักปกติ ซึ่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ และซึ่งน้ำหนักหลังอบแห้ง โดยวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นให้นำมวลของก้อนตัวอย่างหารด้วยปริมาตร ค่าความชื้นให้นำน้ำหนักปกติหารด้วยน้ำหนักหลังอบแห้ง และค่าการดูดซึมน้ำให้นำน้ำหนักหลังแช่น้ำลบออกด้วยน้ำหนักหลังอบแห้งแล้วหารด้วยน้ำหนักหลังอบแห้ง เมื่อทำการคูณด้วยร้อยจะได้ค่าเป็นร้อยละ ส่วนการคำนวณค่าความต้านทานแรงอัดทำได้โดยนำแรงอัดสูงสุดที่กระทำหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตผสมกากมูลโคทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน มอก.109-2517 และความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 14 21 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน BS 1881 Pat 108 (รูปที่ 12) เพื่อเลือกอัตราส่วนในช่วงที่ดีที่สุด 4 อัตราส่วน มาทำการทดสอบในขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดสอบก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโคขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. ประกอบด้วย การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน และความต้านทานแรงอัดที่อายุ 14 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน (รูปที่ 13)

ซึ่งทุกการทดสอบแต่ละคุณสมบัติใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง และกำหนดให้ผลการทดสอบโดยเฉลี่ยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ไม่เกิน 0.50



รูปที่ 6 มวลโคแห้ง ปูนซีเมนต์ และทรายละเอียด ตามลำดับ



รูปที่ 7 อัดส่วนผสมลงในแบบหล่อ ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม.



รูปที่ 8 ถอดแบบนำก้อนตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์



รูปที่ 9 นำก้อนตัวอย่างไปผึ่งในที่อากาศปกติเตรียมทดสอบ



รูปที่ 10 การอัดส่วนผสมลงในแบบอิฐบล็อกประสาน



รูปที่ 11 การถอดแบบอิฐบล็อกประสานและบ่มในอากาศ



รูปที่ 12 ทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์



รูปที่ 13 ทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการทดสอบขั้นตอนที่ 1 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตผสมกากมูลโคทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ดังตารางที่ 2 และความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังรูปที่ 14

ผลการทดสอบขั้นตอนที่ 2 ก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโคขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม.



ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ดังตารางที่ 3 และความต้านทานแรงอัดที่อายุ 14 และ 28 วัน ดังรูปที่ 15

3.1 ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม.

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. ที่อายุ 28 วัน

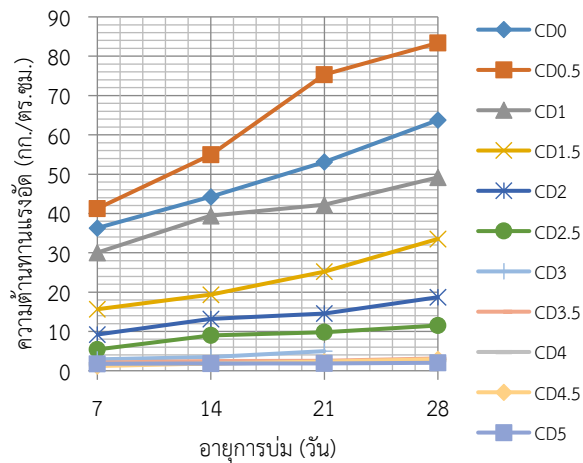
สัญลักษณ์	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
CD0	1.34	28.28	1596.07
CD0.5	1.44	29.05	1845.87
CD1	1.52	23.49	1632.57
CD1.5	1.16	27.12	1526.77
CD2	1.36	29.48	1484.52
CD2.5	2.50	33.51	1399.12
CD3	3.37	38.19	1292.37
CD3.5	5.11	46.03	1228.2
CD4	6.43	54.68	1139.17
CD4.5	7.09	51.67	1132.13
CD5	12.51	55.50	952.17

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ของก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. ผสมกากมูลโคแทนที่ทรายละเอียดด้วยกากมูลโค 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 และ 5 ส่วน โดยปริมาตรตามลำดับ พบว่าเมื่อผสมกากมูลโคหนึ่งในก้อนตัวอย่างคอนกรีตในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากมูลโคเป็นวัสดุชีวภาพมีเส้นใยพืชจำนวนมากจึงดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดีกว่ามวลรวมปกติซึ่งเป็นทราย [14-15] ดังนั้นเมื่อผสมกากมูลโคในคอนกรีตในปริมาณที่มากและเมื่อคอนกรีตสัมผัสกับความชื้นหรือแช่น้ำโดยตรงจึงส่งผลให้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตมีค่าร้อยละความชื้นและการดูดซึมน้ำสูงมากขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันความหนาแน่นมีค่าลดลงตามลำดับเนื่องจากกากมูลโคมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าหรือมีน้ำหนักเบากว่ามวลรวมปกติคือทราย จึงทำให้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตมีความหนาแน่น

ลดลง มีน้ำหนักที่เบาลง ยกเว้นอัตราส่วน CD0.5 และ CD1 ที่ผสมกากมูลโคในปริมาณที่ไม่มากมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าอัตราส่วน CD0 ที่ไม่ผสมกากมูลโค เนื่องจากเป็นอัตราส่วนพอเหมาะที่ปริมาณกากมูลโคสามารถเข้าไปแทรกในเนื้อของก้อนตัวอย่างคอนกรีตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงมากขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าความหนาแน่นที่ได้อัตราส่วน CD1.5-CD5 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1526.77 - 952.17 กก./ลบ.ม. พบว่าอยู่ในช่วงของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 เรื่องผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ [20] จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาต่อเป็นคอนกรีตมวลเบาได้อีกด้วย

3.2 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม.

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของก้อนตัวอย่างคอนกรีต ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงอัดจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำจะสามารถรับกำลังได้เต็มที่เมื่ออายุ 28 วัน [21] และเมื่อผสมกากมูลโคในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผสมในปริมาณที่น้อยและจะลดลงตามลำดับเมื่อผสมในปริมาณที่มากขึ้น โดยพบว่าในช่วงการแทนที่ทรายด้วยกากมูลโค 0.5 มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงกว่าการอัตราส่วนปกติที่ไม่ผสมกากมูลโค (ผสมทรายทั้งหมด) เนื่องจากกากมูลโคช่วยให้ขนาดคละของมวลรวมดีขึ้นและกากมูลโคเป็นเส้นใยที่ช่วยยึดเหนี่ยวเนื้อคอนกรีตได้ดี แต่เมื่อผสมกากมูลโคในปริมาณที่มากเกินไปนั้นก้อนตัวอย่างคอนกรีตจะรับแรงได้ลดลงจนไม่สามารถรับแรงได้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้วัสดุชีวภาพในการผสมเป็นมวลรวมบางส่วนในคอนกรีต [14-15, 22-23] ซึ่งปริมาณกากมูลโคที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปทดลองขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกประสานในขั้นตอนต่อไป คือ ปริมาณการแทนที่ทรายด้วยกากมูลโค 0.5 ส่วน



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่อัตราส่วนต่าง ๆ

3.3 ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม.

จากผลการทดสอบในขั้นตอนแรก สามารถเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม 3 อัตราส่วน มาขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกประสาน ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

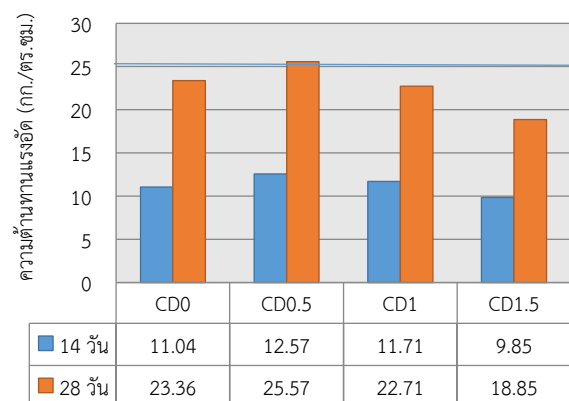
ตารางที่ 3 ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน ก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานผสมกาบมูลโค ขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. พบว่าปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. (ตารางที่ 2) โดยปริมาณความชื้นและการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานผสมกาบมูลโคจะต่ำกว่าก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ผสมกาบมูลโค เนื่องจากการอัดอิฐบล็อกประสานด้วยเครื่องอัดทำให้เนื้อคอนกรีตมีความแน่นมากกว่าการอัดขึ้นรูปด้วยมือ ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนในส่วนของค่าความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐบล็อกประสานสูงกว่าตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์เช่นเดียวกันในทุกอัตราส่วน

รูปที่ 15 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างอิฐบล็อกประสานขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. ที่อายุ 14 และ 28 วัน โดยแทนที่ทรายด้วยกาบมูลโคเท่ากับ 0, 0.5, 1 และ 1.5 ส่วน โดยปริมาตร ตามลำดับ และใช้ปริมาณน้ำเท่ากับ 350 มิลลิลิตร เท่ากันในทุกอัตราส่วน พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดมากขึ้น

ตามไปด้วย [21] การผสมกาบมูลโคแทนที่ทรายในปริมาณ 0.5 ส่วน (CD0.5) ทำให้ความต้านทานแรงอัดมีค่าสูงกว่าอิฐบล็อกประสานที่ไม่ผสมกาบมูลโค (CD0) เนื่องจากตัวอย่างมีเนื้อแน่นมากกว่าจากการที่มีเส้นใยจากกาบมูลโคเป็นส่วนผสมในปริมาณที่พอเหมาะ และเมื่อผสมกาบมูลโคในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เนื่องจากปริมาณเส้นใยของกาบมูลโคมีปริมาณมากเกินไปจนทำให้ความสามารถในการยึดเกาะตัวของเนื้อคอนกรีตลดลง มีช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐบล็อกประสานที่ลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยที่ใช้เส้นใยธรรมชาติในการผสมคอนกรีต [22-24] อีกทั้งการผสมกาบมูลโคในปริมาณที่มากขึ้นในขณะที่ปริมาณน้ำยังเท่าเดิมนั้น ทำให้เส้นใยของกาบมูลโคไปดูดซึมน้ำจากซีเมนต์เพสต์ส่งผลให้ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ความต้านทานแรงอัดจึงลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้เส้นใยธรรมชาติผสมในคอนกรีต [25-27] ดังที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ของอิฐบล็อกประสานขนาด $22.5 \times 11.5 \times 6$ ซม. ที่อายุ 28 วัน

สัญลักษณ์	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
CD0	0.67	8.484	1915.28
CD0.5	0.72	8.715	2215.04
CD1	0.76	7.047	1959.08
CD1.5	0.58	8.136	1832.12



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของอิฐบล็อกประสาน อายุ 14 และ 28 วัน ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานอิฐบล็อกประสาน มผช.602-2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก (ซึ่งไม่ต้องนำค่าการดัดกลืนน้ำมาพิจารณา) โดยกำหนดค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสกาล (25.49 กก./ตร.ซม.) นั้น พบว่ามีเพียงอัตราส่วน CD0.5 เท่านั้นที่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ เป็นส่วนผสมโดยปริมาตรใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทรายละเอียด 6.5 ส่วน กากมูลโค 1.5 ส่วน และน้ำ 350 มิลลิลิตร สามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตอิฐบล็อกประสานผสมกากมูลโคต่อไป

4. บทสรุป

การใช้กากมูลโคเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางผลิตอิฐบล็อกประสาน มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาปริมาณที่เหมาะสมของกากมูลโคที่ผ่านกระบวนการแยกกากแล้วจากโรงงาน สำหรับใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยทำการออกแบบการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกกำหนดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1 : 7 ส่วน โดยปริมาตร ปริมาณน้ำคงที่เท่ากับ 350 มิลลิลิตร ทำการแทนที่ทรายละเอียดด้วยกากมูลโค 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 และ 5 ส่วน ตามลำดับ รวมเป็น 11 อัตราส่วน ขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 ซม. ทดสอบสมบัติปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัด แล้วเลือกอัตราส่วนที่ใช้กากมูลโคแทนที่ทรายละเอียด 3 อัตราส่วน ที่มีความเป็นไปได้มาทำการทดลองในขั้นตอนที่ 2 โดยทำการขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกประสานขนาด 22.5 x 11.5 x 6 ซม. ประกอบด้วย การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัด ตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน สามารถได้อัตราส่วนที่มีปริมาณกากมูลโคมากที่สุดที่นำไปใช้ผลิตอิฐบล็อกประสาน เป็นสัดส่วนโดยปริมาตร คือ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทรายละเอียด 6.5 ส่วน กากมูลโค 0.5 ส่วน และน้ำ 350 มิลลิลิตร มีปริมาณความชื้นร้อยละ 0.72 การดูดซึมน้ำร้อยละ 8.715 ความหนาแน่น 2215.04 กก./ลบ.ม. และความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 25.57 กก./ตร.ซม. จัดอยู่ในประเภทอิฐบล็อกประสานแบบไม่รับน้ำหนัก

งานวิจัยในครั้งต่อไปควรใช้วัสดุอื่นมาเป็นวัสดุหลักในการผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อทำการเปรียบเทียบ เช่น ดินลูกรังที่นิยมผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานเนื่องจากมีสีสวยงาม เป็นธรรมชาติและมีความแข็งแรงยึดเกาะตัวกันดี หรือหินฝุ่นที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ใกล้กับแหล่งกากมูลโค จะช่วยให้ลดต้นทุนในการผลิตลงได้ อีกทั้งผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องยังสามารถนำผลงานวิจัยไปส่งเสริมให้เกิดเป็นสินค้าชุมชนเพื่อสร้างรายได้ให้กับชุมชนในพื้นที่ได้อีกด้วย ทั้งนี้หากผู้ประกอบการต้องการนำไปผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ต้องใช้เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบไฮดรอลิก เพื่อให้ก้อนอิฐบล็อกประสานสามารถรับแรงได้มากขึ้นและทำการผลิตได้รวดเร็ว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2565

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dairy cattle and dairy development strategy subcommittee. Dairy cattle and dairy action plan, Phase 1 (2021-2027). Bureau of Agricultural Economic Research, Department of livestock development; 2021.Thai.
- [2] Surtia G, Panchal P, Patel M, Ravikumar RK, Kumar V. Improving livelihood initiatives through environmental friendly solutions derived from livestock by-product. Int. J. Sci. Environ. Technol. 2016;5(2):658-65.
- [3] Khamput P. Utilization of coconut shell ash as aggregate in concrete blocks products. Thai Environmental Engineering Journal. 2018;32(1):9-16.Thai.
- [4] Charoenratkul C. Interlocking blocks containing oil palm ash and shells waste. Journal of Community Development and Life Quality. 2014;2(1):103-112.Thai.



- [5] Kokkamhaeng W, Rattanawong N. Interlocking blocks from kaolin. The 13th National Civil Engineering Conference, 2008 May 14-16; Chonburi; 2008. p. MAT021.Thai.
- [6] Hirun Y, Kreepala W, Nokkeaw K. Improving the quality of interlocking blocks made from Sakon Nakhon laterite soil with duck manure. The 16th National Civil Engineering Conference, 2011 May 18-20; Chonburi; 2011. p. MAT032.Thai.
- [7] Khamput P, Suweero K, Boksuwan A, Panlai N. The use of volcanic rock dust in interlocking block products. Journal of Community Development and Life Quality. 2015;3(2):239-247.Thai.
- [8] Khamput P. Using waste rock of mining andesite for development of interlocking block product. Thai Environmental Engineering Journal. 2017;31(3):13-19.Thai.
- [9] Luangsod S, Khamput P, Namarak C, Pradmali S. Community technology for development of interlocking block product from basalt fragments.
- [10] Khamput P, Suweero K. Effect on compressive strength of replacing sand by dolomite in concrete. The 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, 2012 December 5-8; Sunee Grand Hotel; Ubon-Ratchathani; 2012. p. 88.Thai.
- [11] Boksuwan A, Khamput P. Interlocking block product for community enterprises from anhydrite rock fragments. The 3rd National RMUTR Conference, 2018 July 18-20; Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wang Klai Kangwon Campus; 2018. p. 19-26.Thai.
- [12] Khamput P. A study of compressive strength of quarry dust concrete mixed water reducing and accelerating admixture (W/C = 0.5). Abstract 31st Congress on Science and Technology of Thailand, 2005 October 18-20; Technopolis, Suranaree University of Technology; Nakhon Ratchasima; 2005. P. 313.Thai.
- [13] Thai Industrial Standards Institute. TCPS 602-2547. Community product standards on interlocking bricks. Ministry of Industry. Bangkok; 2004.Thai.
- [14] Khamput P. Interlocking brick products from hemp core. Annual Concrete Conference 14, 2019 March 6-8; Prachuap Khiri Khan; 2019. p. ENV-008.Thai.
- [15] Khamput P. Interlocking block products from tobacco stem waste. National Academic Conference Rangsit University 2019, 2019 May 4; Pathum Thani; 2019. p. 231-240.Thai.
- [16] Thai Industrial Standards Institute. TIS.15 part 1-2555. Standard for Portland cement part 1 specification. Ministry of industry. Bangkok; 2012.Thai.
- [17] Thai Industrial Standards Institute. TIS. 566-2562. Standard for concrete aggregate. Ministry of industry. Bangkok; 2019.Thai.
- [18] British Standards Institution. BS 1881 : Part 108. Method for making test cubes from fresh concrete: code of testing concrete part 108. London: BSI; 1983.
- [19] Thai Industrial Standards Institute. TIS. 109-2517. Standard for sampling and testing concrete masonry unit. Ministry of industry. Bangkok; 1974.Thai.



- [20] Thai Industrial Standards Institute. TIS.2601-2556. Standard for cellular lightweight concrete blocks using preformed foam. Ministry of industry. Bangkok; 2013.Thai.
- [21] Chindaprasirt P, Jaturapitakkul C. Cement Pozzolanic and concrete 7th edition. Bangkok: Thailand Concrete Association;2012.Thai.
- [22] Khamput P, Somna K. Production of cement-bonded fiberboard from oil palm fiber. Thai Environmental Engineering Journal. 2018;32(3):29-34.Thai.
- [23] Panlai N, Khamput P, Suweero K. Product of cement-bonded bagasse fiber board. Journal of Innovative Technology Research. 2019;3(2):59-67.Thai.
- [24] Khamput P. Hempcrete using cement and gypsum plaster as a binder. Journal of Engineering, RMUTT. 2022;20(1):117-125.Thai.
- [25] Khamput P. Hollow Non-load-bearing concrete block products from hemp core. Thailand Research Expo: Symposium 2019 Proceedings, 2019 April 7-10; Central World Bangkok; 2019. p. 434-445.Thai.
- [26] Khamput P. Hollow non-load-bearing concrete block products from tobacco stem waste. The 11th Rajamangala University of Technology National Conference. 2019 July 24-26; Chiang Mai; 2019. p. 374-387.Thai.
- [27] Pramali S, Khamput P. Developing a white clay concreteblock mixed with the residue of rice and coconut. The 20th National Environment Conference. 2021 May 12-13; Khon Kaen; p. 139-145.Thai.