



การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเข้าไม้ยางพารากลับมาใช้เป็นส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน

Agricultural Waste Recycling by Using Para-wood Ash as Composite Material for Interlocking Block

ภวิทย์ ธัญภัทรานนท์¹, นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ^{1,2*}Pawin Thanpattranon¹, Nonglak Lekrungrongkij^{1, 2*}¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140²ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140²Center of Energy and Environmental Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-910-219-191, Fax: +66-34-351-896, E-mail: nakrongka@gmail.com

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตอิฐบล็อกประสานโดยการเพิ่มสัดส่วนของการแทนที่ปูนด้วยเถ้าไม้ยางพารา โดยการเพิ่มเวลาบ่มให้มีระยะเวลาเพิ่มขึ้น การนำเถ้าไม้ยางพารากลับมาใช้ประโยชน์นี้เพื่อช่วยลดการสูญเสียทางการเกษตรและความสิ้นเปลืองค่าส่งกำจัดทุกเดือนในปริมาณมากถึง 3,000 ton month⁻¹ ซึ่งอาจก่อปัญหาทางสิ่งแวดล้อม จากสภาพความเป็นด่างค่อนข้างสูงของเถ้าที่มีค่า pH ระหว่าง 9-11 และยังเป็น การช่วยลดต้นทุนค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานให้เกิดความคุ้มค่าได้เร็วขึ้น ดินสีส้ม ซึ่งเป็นดินทราย (ASTM D2488) ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลัก 6 ส่วนใน 7 ส่วนโดยน้ำหนัก และส่วนที่เหลือคือวัสดุประสานซึ่งเป็นการผสมเถ้าไม้ยางพาราเข้ากับปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วน 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 โดยทดสอบที่ช่วงระยะเวลาบ่ม 60 90 และ 120 d ผลการทดสอบพบว่า ที่ระยะบ่ม 90 d อิฐบล็อกประสานมีค่าความต้านแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 5.96 4.86 4.59 3.72 3.63 และ 3.40 MPa ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงอัดในอิฐบล็อกประสานมีค่าลดต่ำลง โดยอิฐบล็อกประสานมีน้ำหนักเฉลี่ย 5.2 กิโลกรัมต่อก้อน และมีค่าความหนาแน่นประมาณ 1,740 kg m⁻³ อัตราการแทนที่ที่เหมาะสม คือ 20:80 และระยะบ่มที่เหมาะสม คือ 90 d ซึ่งทำให้ได้ค่าความต้านแรงอัดเท่ากับ 4.59 MPa ผลการศึกษาแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุผสมเพื่อผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักซึ่งรับค่าความต้านแรงอัดระหว่าง 2.5-5 MPa โดยเพิ่มปริมาณเถ้าไม้ยางพาราได้มากถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้สูงที่สุดจาก 4.64 baht เหลือ 3.57 baht ต่อก้อน และช่วยลดระยะเวลาคืนทุนจาก 9.5 month เหลือเพียง 8.1 month

คำสำคัญ: อิฐบล็อกประสาน, ไม้ยางพารา, เถ้า, วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, การนำกลับมาใช้

Abstract

The objective of the research project was to develop Interlocking block production by varying cement replacement ratio with Para-wood ash and increasing concrete curing periods. Recycling of Para-wood ash in this study intended to reduce a huge volume of industrial waste that is disposed monthly up to 3,000 tons, which may be a cause of environmental contamination from ash with high pH value of about 9-11. Further advantage is for saving material cost spent in production of interlocking blocks that will accelerate higher profit in shorter payback period. Orange color soil, sand soil (ASTM D2488), in fine particle was used as a main material with proportion of 6 in 7 part by weight and the remaining material was binder. Five various proportions between Para-wood ash and cement as the binder mixture were experimented, that was composed of 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 and 50:50, tested in three curing time periods of 60, 90, and 120 days. The results showed that

Received: November 22, 2019

Revised: January 30, 2020

Accepted: February 28, 2020

Available online: August 21, 2020

interlocking blocks could be created with the ultimate compressive strength at the curing time period of 90 days yielding 5.96, 4.86, 4.59, 3.72, 3.63 and 3.40 MPa respectively. This indicated that increasing Para-wood ash portions in the mixture led to reducing compressive strength. The average weight of interlocking blocks in this study was 5.2 kilogram/piece with density of about $1,740 \text{ kg m}^{-3}$. The optimal mixture and curing time were 20:80 and 90 days respectively which yielded the compressive strength of 4.58 MPa. The result presented high potential of using partial replacement of concrete with Para-wood ash to produce non-loading interlocking blocks which could support compressive strength between 2.5-5 MPa by increasing 50 percent by weight of Para-wood in the mixture. As a result, unit price was reduced from 4.64 to 3.57 Baht per piece and the payback period could be reduced from 9.5 to 8.1 months.

Keywords: Interlocking Block, Para-wood, Ash, Agricultural Waste, Recycling

1 บทนำ

ไม้ยางพาราเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งเป็นต้นแก่ของยางพาราที่หมดอายุจากการให้น้ำยาง จึงถูกโค่นเพื่อส่งเป็นเชื้อเพลิงให้แก่โรงงานอุตสาหกรรม โดยถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุที่เหลือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของระบบทำความร้อนของโรงงานซึ่งมีปริมาณเหลือทิ้งจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหามลพิษหากถูกกองทิ้งกลางแจ้ง และถ้านำไปทำลายโดยการฝังกลบจะทำให้ดินบริเวณนั้นเสีย เพราะซีเมนต์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำไม้ยางพารามาใช้เป็นวัสดุผสมในอิฐบล็อกประสาน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีส่วนผสมเป็นดินสีส้ม 6 ส่วน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์ผสมเป็นวัสดุประสานอีก 1 ส่วน โดยการนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ และยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของแอมโมเนียที่มีความเป็นด่างสูง จากคุณสมบัติความแตกต่างนี้ มีงานวิจัยที่นำวัสดุเหลือใช้จากการเผาไหม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรผสมกับปูนซีเมนต์สำหรับปรับปรุงคุณภาพของอิฐบล็อกประสาน เช่น Hirunmasuwan and Ayuthaya (2017) เปรียบเทียบการใช้แกลบและถั่วลันเตาเป็นวัสดุปอดโซลานเพื่อการปรับเสถียรและหล่อแข็งกากตะกอนโครเมียมในรูปอิฐบล็อกประสาน และพบว่าแกลบเป็นวัสดุปอดโซลานที่ดีกว่าถั่วลันเตาในการปรับเสถียรและลดการชะละลายของโครเมียมออกจากอิฐบล็อกประสานได้ดีกว่า Tanpaiboonkul (2017) ศึกษาการนำฝุ่นจากโรงโม่หินแทนที่ซีเมนต์ในการทำอิฐบล็อกประสานและพบว่าอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักมีค่าการรับกำลังอัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ฟางข้าวบดได้รับการศึกษาในการนำมาเป็นส่วนประกอบผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อทำอิฐบล็อกประสาน (Srihabutra et al., 2016) ซึ่งมีการรับแรงอัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 ซีเมนต์กึ่งลาปาล์มน้ำมันก็ได้มีการศึกษานำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อลดต้นทุนการผลิต (Suksawat et al., 2014) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกหอยเชอร์รี่มาแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตอิฐบล็อกประสานสำหรับใช้ในงานโครงสร้างรับแรงแบกทาน (Garaged, 2014) ซึ่งบล็อกอิฐ

ประสานผลิตจากเปลือกหอยเชอร์รี่บดสามารถรับกำลังอัดได้ตามมาตรฐานบล็อกรับแรงและมีต้นทุนผลิตเท่ากับ 2.4 baht

สำหรับการนำเอาไม้ยางพารามาเป็นส่วนประกอบในการผลิตอิฐบล็อกประสานมีงานวิจัยที่ศึกษาหลายงานวิจัย Dasaesamoh et al. (2014) นำเอาไม้ยางพาราและดินขาวมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐบล็อกประสาน และพบว่าอิฐบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนของทราย ดินขาวและเอาไม้ยางพาราที่อัตราส่วน 1:2:3 โดยน้ำหนักผ่านมาตรฐานอิฐบล็อกประสานชั้นคุณภาพไม่รับน้ำหนัก ต่อมา Dasaesamoh et al. (2015) ได้ต่อยอดงานวิจัยโดยนำเอาไม้ยางพาราอย่างเดียวมาเป็นส่วนผสมในการทำอิฐบล็อกประสาน และพบว่าอิฐที่มีอัตราส่วนของดินลูกรัง:เอาไม้ยางพารา:ทราย:ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับ 3:2:1:1 มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักหรือใช้งานเพื่อการประดับตกแต่ง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้เอาไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมและศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาบ่มอิฐบล็อกประสานที่ผสมเอาไม้ยางพาราต่อสมบัติค่าความต้านแรงอัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเอาไม้ยางพารามาเป็นส่วนผสมเพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์โดยศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาบ่มอิฐบล็อกประสานที่เหมาะสม ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความต้านแรงอัดสูงสุดของอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสม และใช้เวลาบ่มต่างๆ กัน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วิธีการเตรียมตัวอย่าง

วัสดุที่เป็นส่วนผสมหลักของอิฐบล็อกประสาน ได้แก่ ดินสีส้มซึ่งเป็นดินทราย (ASTM D2488) ซึ่งในการทดลองจะเลือกใช้ 6 ส่วนใน 7 ส่วนของน้ำหนักต่อก่อน ส่วนผสมที่เหลืออีกหนึ่งส่วนคือวัสดุประสาน ซึ่งในการทดลองจะใช้เอาไม้ยางพาราผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ตามสัดส่วนที่แสดงใน Table 1 รวมทั้งสิ้นจำนวน 6 ชุดส่วนผสม ส่วนผสมละ 5 ก้อน โดยทั้งดินสีส้มและเอาไม้ยางพาราจะถูกนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ช่องเปิดรูตะแกรง 4.75 mm) เพื่อคัดแยกหินกรวด และเศษไม้ที่เจือปนอยู่ออกก่อนเพื่อให้การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและอัดขึ้นรูปได้ง่ายโดยไม่มีรอยแตก ในระหว่างการผสมวัสดุต้องทำการพรมน้ำคิดเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด แล้วทำการผสม

คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งสิ้น 5 ชุดอัตราส่วน ได้แก่ 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 เพื่อนำไปเทลงในแบบ และอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานดัง Figure 1 อัตราส่วนละ 5 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 75 ชิ้นตัวอย่าง

หลังจากทำการอัดขึ้นรูปเสร็จแล้ว อิฐบล็อกประสานทั้งหมด จะถูกนำไปวางเรียงเพื่อบ่มไว้เป็นระยะเวลา 60 90 และ 120 d โดยใช้กระสอบป่านปิดแล้วคลุมทับด้วยแผ่นพลาสติกกันความชื้น ระเหยออก และทำการรักษาความชื้นด้วยการพรมน้ำอย่างต่อเนื่องทุกวัน และเมื่อครบระยะบ่มจึงนำอิฐบล็อกประสานทั้งหมดไปทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะบ่มที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัด โดยทดสอบค่าความต้านแรงอัดสูงสุด โดยประยุกต์ใช้เครื่องทดสอบค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีตแบบ

อัดโน้มัดขนาดไม่เกิน 2000 กิโลนิวตัน ตามมาตรฐาน ASTM C39

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานแบบ Two-way analysis of variance โดยเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 2 ปัจจัย คือ สัดส่วนเถ้าไม้ยางพาราต่อปูนซีเมนต์ และระยะเวลาบ่ม ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของค่าความต้านแรงอัด แล้วจึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan multiple range test โดยผลจากการวิเคราะห์สถิตินี้จะนำมาตัดสินใจเลือกอัตราส่วนและระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม ที่ทำให้อิฐบล็อกประสานผสมเถ้าไม้ยางพารา มีค่าความต้านแรงอัดใกล้เคียงกับอิฐบล็อกประสานที่ทำจากซีเมนต์

Table 1 Ratio by weight between binder (varying mixture between cement and Para-wood ash) and orange color soil at 1:6.

Sample No.	Mixture ratio		Orange color soil (Proportion by weight)	Number of the samples at various curing time (block)		
	Binder (1 proportion by weight)			60 days	90 days	120 days
	Para-wood ash (%)	Cement (%)				
1	0	100	6	5	5	5
2	10	90	6	5	5	5
3	20	80	6	5	5	5
4	30	70	6	5	5	5
5	40	60	6	5	5	5
6	50	50	6	5	5	5



Figure 1 Compressing machine for making interlocking block.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลของอัตราส่วนผสมต่อค่าความต้านแรงอัด

การลดลงของค่าความต้านแรงอัดตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพาราในอัตราร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 2 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มสัดส่วนของเถ้าไม้ยางพารามีผลให้ค่าความ

ต้านแรงอัดมีค่าลดลงตามลำดับ โดยค่าความต้านแรงอัดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันมากที่อายุบ่ม 60 d และ 90 d ในส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเถ้าไม้ยางพารา ที่ 70:30 60:40 และ 50:50 และค่าความต้านแรงอัดจะมากที่สุดที่อายุบ่ม 90 d โดยค่าความต้านแรงอัดมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อบ่มต่อเนื่องจนอายุถึง 120 d อย่างไรก็ตามผลการทดสอบกลับพบว่าค่าความต้านแรงอัดไม่เพิ่มขึ้นจากชุดตัวอย่างที่บ่ม 90 d ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพ

อากาศขณะทำการทดลองอยู่ในสภาพอากาศร้อนจัด ทำให้การความชื้นในการบ่มไม่เพียงพอและมีผลให้ปฏิกิริยาการบ่มหยุดชะงักลง แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านแรงอัดของบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราซึ่งจัดว่าเป็นวัสดุปอซโซลานซึ่งต้องใช้เวลาในการพัฒนาปฏิกิริยา จะไม่สามารถมีค่าความต้านแรงอัดได้เทียบเท่ากับการใช้ปูนซีเมนต์ได้ในระยะเวลาบ่มที่เท่ากัน ซึ่งวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นสารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral admixture) ซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญเหมือนปูนซีเมนต์ เช่น ซิลิกา (SiO₂) และอลูมินา (Al₂O₃)

นอกจากนั้นแนวโน้มการลดลงของค่าความต้านแรงอัดเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพารา ทั้ง 3 อายุบ่มมีแนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่ออัตราส่วนเถ้าไม้ยางพารามากขึ้นและปูนซีเมนต์ลดลงจะทำให้ค่าความต้านแรงอัดลดลง โดยในทุกอัตราส่วนของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพารามีผลทำให้ค่าความต้านแรงอัดมีค่าน้อยกว่า 5 MPa ซึ่งจัดว่าเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ในขณะที่ผลทดสอบอิฐบล็อกประสานที่ไม่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพารามีค่าความต้านแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักชั้น ค คือมีค่ามากกว่า 5 MPa แต่ไม่เกิน 7 MPa (มอก.57-2533)

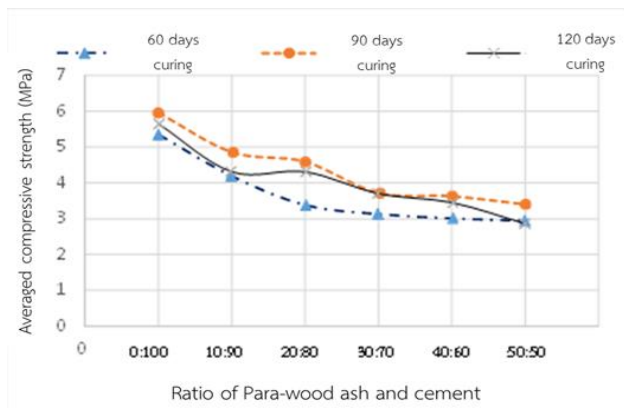


Figure 2 Change in averaged compressive strength with period of curing at various ratio of mixture.

3.2 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม

ผลการวิเคราะห์ Two-way analysis of variance แสดงใน Table 2 เมื่อพิจารณาผลกระทบปฏิสัมพันธ์ (Interaction effect) ระหว่างปัจจัยอัตราส่วนผสมและระยะเวลาบ่มที่มีต่อค่าความต้านแรงอัด หรือผลของปัจจัยหนึ่งที่มีต่อปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านแรงอัด พบว่าปัจจัยทั้งสองไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ดังนั้นจึงไม่ต้องแยกวิเคราะห์อิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อค่าความต้านแรงอัดแบบ Simple main effect สามารถแปลผลอิทธิพลของแต่ละปัจจัยได้โดยตรง

Table 2 แสดงว่าปัจจัยทั้งสองมีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความต้านแรงอัดอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เป็นการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละ treatment ในแต่ละปัจจัยไม่มีความแตกต่างกัน จากผลที่ได้จึงนำค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์ Duncan’s multiple range test ซึ่งได้ผลดัง Table 3

เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความต้านแรงอัดที่เกิดจากแต่ละปัจจัยใน Table 3 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนผสม 20:80 ที่ระยะเวลาบ่ม 90 d ที่ทำให้ได้ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของอิฐบล็อกประสานเท่ากับ 4.59 MPa ทั้งนี้เพราะว่าที่ระยะเวลาบ่ม 90 d ได้ค่าเฉลี่ยค่าความต้านแรงอัดสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยค่าความต้านแรงอัดที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าที่อัตราส่วน 10:90 ให้ค่าเฉลี่ยค่าความต้านแรงอัดสูงสุด (4.86 MPa) อย่างไรก็ตามอัตราส่วน 20:80 ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 MPa ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าความต้านแรงอัดของอัตราส่วน 10:90 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นอัตราส่วน 20:80 จึงเหมาะสมกว่า เนื่องจากสามารถผสมเถ้าไม้ยางพาราได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยค่าความต้านแรงอัดนี้ (4.59 MPa) กับค่าความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราที่บ่ม 90 d (5.96 MPa) พบว่ามีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราที่บ่ม 60 d (5.35 MPa) พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราที่บ่ม 60 d นี้มีค่าใกล้เคียงกับอิฐบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนของดินลูกรัง:เถ้าไม้ยางพารา:ทราย:ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็น 3:2:1:1 (Dasaesamoh et al., 2015)

Table 2 Results of two-way analysis of variance.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	76.094 ^a	17	4.476	12.625	.000
Intercept	1457.404	1	1457.404	4110.754	.000
Curing time	7.171	2	3.585	10.113	.000
ratio	66.956	5	13.391	37.771	.000
Curing time × ratio	1.967	10	.197	.555	.845
Error	25.526	72	.355		
Total	1559.024	90			
Corrected Total	101.620	89			

Different letters indicate statistically significant differences between groups (P<0.05).

Table 3 Averaged compressive strength (MPa) at various curing periods and different ratio of binder.

Curing period (day)	Ratio of the binder (Para-wood ash and cement)						Average
	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	
60	5.35 ^{ab}	4.19 ^{ce}	3.38 ^{eg}	3.13 ^{fg}	3.01 ^{fg}	2.94 ^{fg}	3.67 ^a
90	5.96 ^a	4.86 ^{bc}	4.59 ^{bc}	3.72 ^{def}	3.63 ^{deg}	3.40 ^{eg}	4.36 ^c
120	5.65 ^a	4.31 ^{cd}	4.31 ^{cd}	3.70 ^{deg}	3.46 ^{eg}	2.86 ^g	4.05 ^b
Average	5.65	4.45	4.09	3.52	3.37	3.07	

Different letters indicate statistically significant differences between groups

ผลการทดสอบน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานทั้งหมด พบว่ามีค่าน้ำหนักใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ย 5.2 kg ต่อก้อน ซึ่งจากการคำนวณพบว่ามีค่าความหนาแน่นประมาณ 1,740 kg m⁻³ แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มเถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมเพียงเล็กน้อยไม่ได้ช่วยให้น้ำหนักลดลงมากแต่อย่างใด โดยน้ำหนักของเถ้าไม้ยางพาราจากวัสดุประสาน 1 ส่วนจาก 7 ส่วน และที่อัตราส่วนผสมเถ้าที่ดีที่สุด (20:80) มีค่าเท่ากับ 150 g นอกจากนี้ อายุบ่มไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำหนักของบล็อกประสาน และจากการคำนวณต้นทุนต่อก้อน โดยคิดราคาต้นทุนค่าดินสีส้ม 0.5 baht kg⁻¹ และราคาปูนซีเมนต์ 2.98 baht kg⁻¹ พบว่าราคาต่อก้อนเท่ากับ 4.65 4.43 4.21 3.99 3.77 และ 3.56 baht ในอัตรารวมผสมของเถ้าไม้ยางพารา:ปูนซีเมนต์เท่ากับ 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการใช้เถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์จะช่วยทำให้มีราคาต่อก้อนลดลงได้

4 สรุป

ความต้านแรงอัดของบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารามีค่าลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพารา โดยมีค่าความต้านแรงอัดมากที่สุดที่อายุบ่ม 90 d อายุบ่มมีส่วนช่วยให้ค่าความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นได้ อิฐบล็อกประสานมีน้ำหนักเฉลี่ย 5.2 kg ต่อก้อน มีค่าความหนาแน่นประมาณ 1,740 kg m⁻³

การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพาราเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลที่จะทำให้น้ำหนักและสีของบล็อกประสานมีค่าเปลี่ยนไป ค่าความต้านแรงอัดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก แต่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักซึ่งค่าต้องไม่น้อยกว่า 2.5 MPa (มอก.58-2533)

ส่วนผสมที่จะใช้ต้นทุนน้อยที่สุดคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพาราในอัตราร้อยละ 50:50 ที่ค่าความต้านแรงอัด 3.40 MPa

การใช้เถ้าไม้ยางพาราทดแทนปูนซีเมนต์ ช่วยลดต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้สูงสุดถึง 1.07 baht ต่อก้อน ที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 โดยลดระยะเวลาคืบหน้าลงจาก 9.5 month เหลือเพียง 8.1 month

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท เวิลด์กรีนพลัส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุเถ้าไม้ยางพารา และสนับสนุนโครงการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- มอก. 57-2533, คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม <http://www.tisi.go.th/>
- มอก. 58-2533, คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม <http://www.tisi.go.th/>
- ASTM C39/C39M-18. 2018. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM D2488-17e1. 2017. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures). West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- Dasaesamoh, A., Vaji, P., Salae, P., Naesae, N. 2015. Para rubber wood fly ash containing interlocking brick. Journal of Yala Rajabhat University 10(1), 77-86.
- Dasaesamoh, A., Maha, H., Chebueraheng, H. 2014. Properties of interlocking block from Para rubber wood fly ash mixed Narathiwat kaolin. Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning 5(2), 202-208.
- Garaged, S. 2014. Compressive strength of interlocking block manufactured from cement and crushed golden apple snail shell. Master's thesis. Nakhon Ratchasima, Thailand: Engineering Program in

- Construction and Infrastructure Management, Suranaree University of Technology.
- Hirunmasuwan, S., Ayuthaya, S.I.N. 2017. The utilization of rice hush ash and fly ash as pozzolanic materials for stabilization and solidification of chromium sludge in the form of concrete Interlocking block for using as construction materials. *Journal of Science and Technology* 25(6), 1072-1082.
- Srihabutra, P., Weingtai, P., Changyant, P., Thuanmunla, J. 2016. The usage of rice straw in Interlocking block. *Journal of Science and Technology MSU*, 36(4), 478-486.
- Suksawat, T., Muangmongkul, T., Sridachw, W., Petchkul, R. 2014. Brick cinderblock for the development of the palmoil. *Wicha Journal* 33(1), 75-82.
- Tanpaiboonkul, N. 2017. Replacing cement by dust from rock crushing plant in Interlocking Block Production. *Princess of Naradhiwas University Journal* 9(1), 126-135.