

การพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าขี้เถ้า

ขวัญชีวา หยงสตาร์¹ นุอนันท์ คุระแก้ว^{1*} ชูเกียรติ ชูสกุล² และ สุนันท์ มนต์แก้ว³

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอเสนา จังหวัดตรัง 92150

²99 หมู่ 4 ตำบลทองเนียน อำเภอนนทบุรี จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

³1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

รับบทความ 4 ธันวาคม 2564 แก้ไขบทความ 15 พฤศจิกายน 2565 ตอปรับบทความ 20 มกราคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากฝุ่นหินเหลือทิ้ง และเถ้าเถ้าขี้เถ้า กำหนดให้ใช้อัตราส่วนวัสดุประสาน : มวลรวม เท่ากับ 1 : 7 โดยอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้ง และเถ้าเถ้าขี้เถ้า ร้อยละ 0, 25, 50 และ 75 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเท่ากับร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ศึกษาคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช. 602/2547) ชนิดไม่รับน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า ความต้านทานแรงอัดและความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของฝุ่นหินเหลือทิ้ง และเถ้าเถ้าขี้เถ้าแทนที่ปูนซีเมนต์ ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานเพิ่มขึ้นตามวัสดุที่แทนที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของอิฐบล็อกประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งร้อยละ 25 ดีที่สุดโดยมีความหนาแน่น 1825 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดกลืนน้ำ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความต้านทานอัด 3.47 เมกะพาสคาล และอัตราส่วนของอิฐบล็อกประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าเถ้าขี้เถ้าร้อยละ 25 ดีที่สุดโดยมีความหนาแน่น 1836 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดกลืนน้ำ 256 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความต้านทานแรงอัด 3.28 เมกะพาสคาล เมื่อพิจารณาที่อายุ 28 วัน

คำสำคัญ : อิฐบล็อกประสาน; ฝุ่นหินเหลือทิ้ง; เถ้าเถ้าขี้เถ้า

Development of Interlocking Block Mixed with Waste Stone Dust and Para Rubber Wood Fly Ash

Khwanchiwa Yongsata¹ Nuanan Kurakaew^{1*} Chookiat Choosakul² and Sunun Monkaew³

¹Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

²College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya

³Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

¹179 Moo 3, Tambol Maifad, Sikao, Trang 92150

²99 Moo 4, Tambol Tongnien, Khanom, Nokhon Si Thammarat 80210

³1381 Pibul Songkhram Road, Bangsue, Bangkok 10800

Received 4 December 2021; Revised 15 November 2022; Accepted 20 January 2023

Abstract

This research has the objective to develop interlocking block with waste stone dusts and para rubber wood fly ash. This research used the solder material ratio: gross which equals to 1:7 by the weight. The cement displacement ratio with waste stone dusts and para rubber wood fly ash was at the percentage of 0, 25, 50 and 75 by the weight. The water to material ratio was equal to 12% by the weight. The qualities of interlocking blocks were investigated after curing for 7, 14 and 28 days by comparing with the standard of community products of interlocking block (TCPS 602/2547) non-load-bearing type. The results showed that the compressive strength and the density of interlocking block tended to decrease with increasing the waste stone dusts and para rubber wood fly ash. The water absorption value of interlocking block tended to increase with increasing quantity of replacement materials. The best ratio of interlocking block replacing the cement waste stone dust was at 25% by the time that the density, water absorption, and compressive resistance were 1825 kgs per cubic meters, 250 kgs per cubic meters, and 3.47 megapascal, respectively. The best ratio of interlocking bricks replacing the cement with waste stone dusts and para rubber wood fly ash was at 25% considered at the age of 28 days by the time that the density, water absorption, and compressive resistance were 1,836 kgs per cubic meters, 256 kgs per cubic meters, and 3.28 megapascal, respectively.

Keywords : Interlocking Block; Waste Stone Dust; Para Rubber Wood Fly Ash

** Corresponding Author. Tel.: +668 9872 2069, E-mail Address: Nuanan.k@rmutsv.ac.th*

1. บทนำ

อิฐบล็อกประสาน (Interlocking Block) เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นวัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้างก่อให้เกิดความสวยงามคงทน และยังมีรูปแบบการจัดวางที่หลากหลายตามแต่ผู้ออกแบบ การผลิตนั้นเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ เช่น ดินลูกรัง หินปูนทรายหรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่มีความเหมาะสมผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม นำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแห้งบ่มด้วยความชื้นให้แข็งตัวจะได้อิฐบล็อกประสานที่มีความแข็งแรงสามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างอาคารในระบบผนังรับน้ำหนักหรือก่อสร้างในรูปแบบอื่นๆ [1]

ประเทศไทยมีโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตที่จดทะเบียนในปี พ.ศ. 2564 กว่า 600 โรงงาน [2] โดยโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจะสร้างบ่อตกฝุ่นเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายออกสู่ชั้นบรรยากาศ แต่มีฝุ่นบางส่วนที่ฟุ้งกระจายออกไป ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดทิ้งและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณข้างเคียง ซึ่งฝุ่นหินเหลือทิ้งที่เหลือจากการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) และไม่สามารถนำมาผสมกับยางมะตอยได้ จากงานวิจัยของชูเกียรติและคณะ [3] พบว่าฝุ่นหินเหลือทิ้งจากโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในส่วนผสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 20

การผลิตอิฐมวลเบาแปรรูป เริ่มจากการนำอิฐมวลเบาไปทำการเลื่อยให้ได้ขนาดตามความต้องการ ซึ่งจะได้อิฐมวลเบาแปรรูร้อยละ 32 ที่พร้อมเข้าสู่กระบวนการอบและอาบน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ ส่วนที่เหลือเป็นเศษไม้และซีลี้อยู่ร้อยละ 68 ที่เป็นของเหลือจากกระบวนการเลื่อยอิฐมวลเบาภายในโรงเลื่อย ซึ่งของเหลื่อดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเชื้อเพลิงร้อยละ 70 และเข้าสู่กระบวนการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดร้อยละ 30 ทำให้มีอิฐมวลเบาเหลือทิ้งจากการนำอิฐมวลเบาไปใช้ทางด้านเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก

โดยโรงงานแปรรูปอิฐมวลเบาส่วนมากอยู่ในภาคใต้ [4] อิฐมวลเบาเมืองค้ประกอบด้วยซิลิกาไดออกไซด์ (SiO₂) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อนำไปผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำจะมีสมบัติในการช่วยเพิ่มการเชื่อมประสาน [5] ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการใช้อิฐมวลเบาแทนที่ปูนซีเมนต์ เช่น ชินวิญญ์และปารเมศ [6] ได้นำอิฐมวลเบาแปรรูปมาผสมกับเส้นใยผักตบชวา มาพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักซึ่งพบว่าอิฐมวลเบาแปรรูปร้อยละ 15 และเส้นใยผักตบชวาร้อยละ 0.5 เป็นส่วนผสมที่แข็งแรงที่สุด ทวิขและคณะ [7] ศึกษาการใช้ประโยชน์จากอิฐมวลเบาในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยพบว่าการใช้อิฐมวลเบาแปรรูปร้อยละ 10 และ 20 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานบล็อกประสานปูพื้น ดนุพลและมาลัยวัลย์ [8] พบว่าการผสมอิฐมวลเบาแปรรูปไม่เกินร้อยละ 20 มีผลให้ค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์มวลรวมหินพิมพ์เพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาสมบัติของอิฐบล็อกประสานโดยใช้ฝุ่นหินเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต และอิฐมวลเบาแปรรูปจากโรงงานแปรรูปไม่มาแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ในการผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณปูนซีเมนต์และลดต้นทุนการผลิต ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดในการนำทรัพยากรธรรมชาติที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในงานวัสดุก่อสร้าง และลดสถานะปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement, OPC) โดยมีสมบัติตามมอก. 15 เล่ม 1 [9] มีค่าความถ่วงจำเพาะจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [10] เท่ากับ 3.18

2) ฝุ่นหินเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต (Waste Stone Dust, WSD) ของห้างหุ้นส่วนจำกัดโล่ทองการโยธา อำเภอย่านตาขาว จังหวัดตรัง ดังรูปที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 เท่ากับ 2.71



รูปที่ 1 ฝุ่นหินเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 2 เถ้าไม้ยางพารา

3) เถ้าไม้ยางพารา (Para Rubber Wood Fly Ash, PRWFA) ของบริษัท ศรีสุภาพพาราฟู้ด จำกัด ตำบลคลองเต็ง อำเภอมืองตรัง จังหวัดตรัง ดังแสดงในรูปที่ 2 มีค่าความถ่วงจำเพาะจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 เท่ากับ 2.74

4) ดินลูกรัง จากบ่อดินในพื้นที่ตำบลไม้ฝาด อำเภอสีเกา จังหวัดตรัง ดังแสดงในรูปที่ 3 นำมาผึ่งแดดให้แห้ง แล้วนำดินไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D2216 [11] ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM D854 [12] ทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานตามมาตรฐาน ASTM D422 [13] และทดสอบหาค่าขีดจำกัดอัตราเบอร์ก (Atterberg's Limits) ตามมาตรฐาน ASTM D4318 [14]



รูปที่ 3 บ่อดินลูกรัง

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

สมบัติทางกายภาพ	ผลการทดสอบ
ค่าปริมาณความชื้น	3.15%
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.70
Liquid Limit (LL)	26.32%
Plastic Limit (PL)	18.27%
Plastic Index (PI)	8.05
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 4	74.70
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200	11.68

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าความชื้นของดินลูกรังพบว่าผ่านตามการแบ่งคุณภาพชั้นดินโดยมาตรฐาน ASTM D3282 [15] ซึ่งกำหนดให้ดินลูกรังมีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 เมื่อจำแนกชนิดของดินพบว่าจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ A-2-4 จะเป็นดินเม็ดหยาบตามระบบ AASHTO และ CL-ML (Silty Clay) ตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) โดยดินจะมีลักษณะเป็นดินตะกอนทรายอนินทรีย์ที่มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปนกรวด ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินล่วน สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้ค่อนข้างสูง กล่าวคือหากมีการผสมน้ำในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ดินลูกรังชนิดนี้ไม่สามารถขึ้นรูปได้

- 5) ทรายหยาบ จากโรงงานผลิตอิฐบล็อกประสาน
- 6) น้ำประปา จากโรงงานผลิตอิฐบล็อกประสาน

2.2 ออกแบบอัตราส่วนผสม และการผลิตตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน

งานวิจัยนี้ ในการออกแบบอัตราส่วนการผสมของอิฐบล็อกประสาน กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเท่ากับ 1: 7 โดยน้ำหนัก [16], [17] (ปูนซีเมนต์: ดินลูกรัง: ทรายหยาบ เท่ากับ 1: 5.25: 1.75) เติมทราย

หยาบตามสูตรของโรงงานผลิตอิฐบล็อกประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้จากการทดลองอัดอิฐบล็อกประสานจริง แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าขี้เถ้าในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50 และ 75 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสานทั้ง 7 สูตรต่อจำนวนการผลิต 25 ก้อน ดังแสดงในตารางที่ 2

การผลิตตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน ใช้แบบหล่อขนาด 12.5 x 25.0 x 10.0 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) แบบตรง มีรูและเดือยเป็นแบบดอกกลมกลวง โดยเริ่มจากการตวงอัตราส่วนผสมตามตารางที่ 2 จากนั้นผสมปูนซีเมนต์กับฝุ่นหินเหลือทิ้งหรือเถ้าเถ้าขี้เถ้าก่อน แล้วนำดินลูกรัง และทรายหยาบ มาผสมให้เข้ากันในเครื่องผสมแบบกระทะ แล้วค่อยๆ เติมน้ำลงในเครื่องผสม เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วนำวัสดุส่วนผสมลงในเครื่องอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานแบบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 4 นำอิฐบล็อกประสานที่ได้ไปบ่มในที่ร่มเป็นเวลา 1 วัน เมื่อครบ 1 วัน ทำการหยอดมอร์ตาร์ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์: ทรายเท่ากับ 1: 2.75 และ W/C เท่ากับ 0.75 ในช่องว่างของอิฐให้เต็มทุกรู แล้วทำการฉีดพรมน้ำเป็นละอองให้ชุ่มบริเวณด้านบนของอิฐบล็อกประสาน แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกเพื่อไม่ให้ไอน้ำระเหยออก ทิ้งไว้จนมีอายุครบตามระยะเวลาที่ต้องการทดสอบสมบัติต่าง

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วน	อัตราส่วนผสม (กิโลกรัม)					
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ฝุ่นหินเหลือทิ้ง	เถ้าเถ้าขี้เถ้า	ดินลูกรัง	ทรายหยาบ	น้ำ
Control	15.625	0	0	82	27.375	15
WSD25	11.725	3.900	0	82	27.375	15
WSD50	7.812	7.812	0	82	27.375	15
WSD75	3.900	11.725	0	82	27.375	15
PRWFA25	11.725	0	3.900	82	27.375	15
PRWFA50	7.812	0	7.812	82	27.375	15
PRWFA75	3.900	0	11.725	82	27.375	15



รูปที่ 4 การผลิตอิฐบล็อกประสาน

2.3 การทดสอบสมบัติ

ทดสอบสมบัติของฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้
ยางพารา

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธีการ
วาวแสง (X-ray fluorescence; XRF) แบบกึ่งปริมาณ
(semi-qualitative) รวมทั้ง การสูญเสียน้ำหนัก
เนื่องจากการเผา (LOI)



รูปที่ 5 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อก

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นหินเหลือทิ้ง และเถ้าไม้ยางพารา

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 3
พบว่า ฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้ยางพาราไม่จัดเป็นวัสดุ
ปอซโซลาน Class N เนื่องจากผลรวมของซิลิคอน
ไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และ

ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของ อิฐบล็อกประสาน

(ก) ลักษณะทั่วไปและมิติ ที่อายุการบ่ม 28 วัน
ตาม มพช. 602/2547 [18]

(ข) ความหนาแน่นแห้งและการดูดกลืนน้ำ
ที่อายุการบ่ม 28 วัน ตาม ASTM C67 [19] โดยการ
นำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานแช่จมน้ำเป็นเวลา
24 ชั่วโมง แล้วนำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานเข้า
ตู้อบที่อุณหภูมิ 110-115 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเพื่อหาความ
หนาแน่นแห้งและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

(ค) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14
และ 28 วัน โดยนำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานมา
ตัดเตี๋ยออก แล้วเคลือบผิวด้วยปูนพลาสติก ทิ้งไว้
2 ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบตาม ASTM C170 [20]
ดังแสดงในรูปที่ 5

เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ต่ำกว่าร้อยละ 70 และมีค่า
LOI เกินร้อยละ 10 ตามมาตรฐาน ASTM C618 [21]
แต่มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มากที่สุด ซึ่งถือ
ว่าเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะช่วย
ในการยึดประสานคล้ายกับปูนซีเมนต์ สำหรับค่า LOI
ของฝุ่นหินเหลือทิ้ง และเถ้าไม้ยางพารามีค่าเท่ากับ
ร้อยละ 38.88 และ 27.18 ตามลำดับ ซึ่งค่า LOI เป็น
ปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตมีความต้านทานแรงอัดที่ต่ำลงด้วย

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของ WSD และ PRWFA

Chemical compositions (%)	OPC [8]	WSD	PRWFA
CaO	64.89	34.65	32.71
SiO ₂	20.67	4.15	21.96
Al ₂ O ₃	3.06	3.40	2.14
Fe ₂ O ₃	6.21	0.97	1.46
MgO	0.82	15.96	4.32
K ₂ O	0.53	0.08	6.28
SO ₃	2.71	1.60	1.26
MnO	-	0.10	0.46
P ₂ O ₅	-	0.09	1.68
LOI	1.05	38.88	27.18

3.2 ลักษณะทั่วไปและมิติของอิฐบล็อกประสาน

จากการขึ้นรูปและบ่มอิฐบล็อกประสานทั้ง 7 อัตราส่วน ที่อายุการบ่ม 28 วัน ลักษณะทั่วไปจากการตรวจพินิจและมิติจากการวัดของอิฐบล็อกประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าอิฐบล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมมีมิติเป็นไปตาม มผช.602/2547 (ระบุคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร) เมื่อพิจารณา ลักษณะทั่วไปของอิฐบล็อกประสานพบว่า เมื่อผสมฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 75 ขอบและมุมของอิฐบล็อกประสานจะมีการป็นเล็กน้อย และแตกง่ายเมื่อมีการกระแทก เนื่องจากวัสดุประสานที่ทำหน้าที่ยึดเกาะมวลรวมมีปริมาณไม่เพียงพอ

ตารางที่ 4 ลักษณะและมิติโดยทั่วไปของอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วน	ลักษณะทั่วไป	มิติ
Control	ปกติ	-1.0 มม.
WSD25	ปกติ	-1.0 มม.
WSD50	ปกติ	-1.5 มม.
WSD75	มีรอยป็นเล็กน้อย	-1.8 มม.
PRWFA25	ปกติ	-1.3 มม.
PRWFA50	ปกติ	-1.8 มม.
PRWFA75	มีรอยป็นเล็กน้อย	-2.0 มม.

3.3 ความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานควบคุมมีค่าเท่ากับ 1,903 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้ยางพารา เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์มีค่าสูงกว่า โดยที่น้ำหนักเท่ากันปริมาตรของฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้ยางพาราจะมากกว่าปริมาตรของปูนซีเมนต์ เพราะมีความหนาแน่นมากกว่าปูนซีเมนต์ เมื่ออัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานจึงมีความหนาแน่นแห้งต่ำ โดยอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าไม้ยางพาราจะมีความหนาแน่นมากกว่าอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินเหลือทิ้ง เพราะค่าความถ่วงจำเพาะของฝุ่นหินเหลือทิ้ง (2.71) มีค่าต่ำกว่าเถ้าไม้ยางพารา (2.74) ซึ่งหากนำอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้ยางพาราไปใช้ในการก่อผนังอาคารจะทำให้น้ำหนักกระทำต่อโครงสร้างอาคารลดลงต่ำกว่าผนังก่อด้วยอิฐบล็อกประสานทั่วไป

ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานพบว่าค่าการดูดกลืนน้ำแปรผกผันตามสัดส่วนของค่าความหนาแน่นแห้ง โดยการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานแปรผันตามปริมาณส่วนผสมฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติชาติและคณะ [22] ที่พบว่าลักษณะอนุภาคของเถ้าชีวมวลมีความพรุนเมื่อผสมในอิฐบล็อกประสานทำให้อิฐบล็อกประสานมีความพรุนเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อิฐบล็อกประสานมีการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้นด้วย และสอดคล้องกับงานวิจัยของตุนพลและคณะ [23] ที่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดจาก CaO ที่มาจาก CaCO₃ (หยดเกลือเจือจางเกิดฟองฟู)

ในแก้วไม่ย่ำพาราส่งผลให้การดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อนำการดูดกลืนน้ำที่ได้มาเปรียบเทียบกับ มผช. 602/2547 พบว่าอิฐบล็อกประสานควบคุม อิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินเหลือทิ้งร้อยละ 25, 75 และอิฐบล็อกประสานผสมแก้วไม่ย่ำพาราร้อยละ 25 ผ่านเกณฑ์ แต่อิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินเหลือทิ้งร้อยละ 50 ผสมแก้วไม่ย่ำพาราร้อยละ 50 และ 75 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว (กำหนดการดูดกลืนน้ำไม่เกิน 208-288 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นกับความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสาน)

ตารางที่ 5 ค่าความหนาแน่นแห้งและค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วน	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	การดูดกลืนน้ำ (กก./ลบ.ม.)
Control	1,903	238
WSD25	1,825	250
WSD50	1,790	261
WSD75	1,754	270
PRWFA25	1,838	256
PRWFA50	1,822	266
PRWFA75	1,795	275

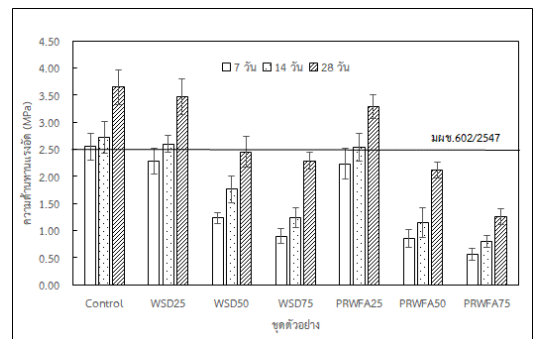
3.4 ความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ความต้านทานแรงอัดอิฐบล็อกประสานควบคุมมีค่าสูงที่สุด ความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ โดยเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของชูเกียรติและคณะ [3] ที่พบว่าค่า LOI ของฝุ่นหินเหลือทิ้งมีค่าสูงทำให้ความต้านทานแรงอัดต่ำลง และเมื่อแทนที่

ปูนซีเมนต์ด้วยแก้วไม่ย่ำพาราที่ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลงเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของอาปีตินและคณะ [4] ที่พบว่าแก้วไม่ย่ำพารามี SiO₃ และ Al₂O₃ น้อย ทำให้ลดการเกิดของปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่สร้างความแข็งแรงให้กับอิฐ

ตารางที่ 6 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วน	ความต้านทานแรงอัด (เมกะพาสคาล)		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Control	2.55	2.72	3.65
A-25	2.38	2.60	3.47
A-50	1.23	1.76	2.91
A-75	0.90	1.24	2.29
P-25	2.23	2.53	3.28
P-50	0.86	1.15	2.12
P-75	0.56	0.80	1.25



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของอิฐบล็อกประสาน

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดกับอายุการบ่มของอิฐบล็อกประสาน พบว่าความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นผลิตภัณฑ์แคลเซียมซิลิเกต

โยเครต (C-S-H) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้น [24] และเมื่อนำค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานมาเปรียบเทียบกับ มผช. 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก พบว่าอิฐบล็อกประสานควบคุมผ่านมาตรฐานทุกอายุการบ่ม อิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าอย่างพาราร้อยละ 25 ผ่านมาตรฐานดังกล่าวที่อายุการบ่ม 14 และ 28 วัน (กำหนดไม่น้อยกว่า 2.50 เมกะพาสคาล)

4. สรุป

จากการศึกษาการพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากฝุ่นหินเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตและเถ้าเถ้าอย่างพารา ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม 1: 7 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ใช้ฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าอย่างพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25, 50 และ 70 โดยน้ำหนัก ในครั้งนี้สรุปได้ว่า

1) การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าอย่างพารา มีผลให้น้ำหนักต่อน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานเบาลงโดยประมาณร้อยละ 4 และ 6 ตามลำดับ

2) การดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าอย่างพารา

3) ความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นหินเหลือทิ้งและเถ้าเถ้าอย่างพารา

4) อัตราส่วนการแทนที่ของฝุ่นหินเหลือทิ้งที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตอิฐบล็อกประสานตาม มผช. 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก คือร้อยละ 25 โดยมีความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 3.47 เมกะพาสคาล ความหนาแน่นแห้ง 1,825 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดกลืนน้ำ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อายุการบ่ม 28 วัน

5) อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าเถ้าอย่างพาราที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตอิฐบล็อกประสานตาม มผช. 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก คือร้อยละ 25 โดยมีความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 3.28 เมกะพาสคาล ความหนาแน่นแห้ง 1,838 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดกลืนน้ำ 256 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อายุการบ่ม 28 วัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี โดยได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และห้องทดสอบ จากสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง และใคร่ขอบคุณนายปฏิพัทธ์ ชัยชนะ นายณภดล ยางซ้อ และนางสาวอรพรัตน์ รัตนพันธ์ ที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR). (2021, January 8). What is interlocking block. [Online]. Available: <https://tistrinterlockingblock.com/863/>
- [2] Department of Industrial Works. (2021, May 8). Factory Information. [Online]. Available: <https://userdb.diw.go.th/results1.asp>
- [3] C. Choosakul, D. Chupan and K. Yongsata, "Mortar Mixed with Waste Stone Dust from Asphalt Concrete Mixing Plant," in *Proceeding of 9th Phayao Research Conference, Thailand, 2020*, pp. 2068-2079.

- [4] A. Dasaesamoh, H. Maha and H. Chebueraheng, "Properties of Interlocking Block from Para Rubber Wood Fly Ash Mixed Narathiwat Kolin," *J.Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning*, vol. 5, no. 2, pp. 202-208, 2014.
- [5] A. Dasaesamoh, P. Vaji, P. Salae and N. Naesae, "Para Rubber Wood Fly Ash Containing Interlocking Brick," *Journal of Yala Rajabhat University*, Vol. 10, No. 1, pp. 77-86, 2015
- [6] C. Watcharachin and P. Kamhangrittirong " Developing non-load bearing concrete block from Rubber Tree Ashes and Water Hyacinth Fiber," in *Proceeding of 3rd National RMUTR Conference*, Thailand, 2018, pp. 1-10.
- [7] T. Klathae, N. Sornpakdee, C. Buathongkhue and N. Deedard, "Utilization of Parawood Ash in Concrete Paving Blocks," *RMUTSV Research Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 36-48, 2020.
- [8] D. Tonnayopas and M. Thanomsirisilp, "Effects Used Engine Oil on Properties of Mortar Containing Pumice Blended Para Rubber Wood Ash," *RMUTP Research Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 53-63, 2018.
- [9] *Portland Cement Part 1 Specification*, TIS. 15 Part 1-2555, 2012.
- [10] *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*, ASTM C188, 2016.
- [11] *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, ASTM D2216, 1998.
- [12] *Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer Specific Gravity*, ASTM D854, 2014.
- [13] *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, ASTM D422, 1998.
- [14] *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*, ASTM D4318, 2010.
- [15] *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*, ASTM D3282, 2015.
- [16] P. Khamput, "Interlocking Block Products from Tobacco Stem Waste," in *Proceeding of RSU National Conference 2019*, Thailand, 2019, pp. 231-240.
- [17] K. Amornfa and A. Sangwan, "Engineering Properties of Interlocking Blocks with Coatings," in *Proceeding of 3rd National RMUTR Conference*, Thailand, 2018, pp. 27-35.
- [18] *Thai Community Product Standard of Interlocking Blocks*, TCPS. 602-2547, 2004.
- [19] *Standard Test Method for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*, ASTM C67, 2018.
- [20] *Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone*, ASTM C170, 2017.
- [21] *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM C618, 2015.
- [22] K. Paopongpaiboon, K. Boonserm, V. Horsakulthai and P. Chindaprasirt, "Development of Interlocking Block

Blended with Biomass Ash for Using As a Insulating Material,” *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 30, no. 2, pp. 95-105, 2019.

[23] D. Tonnayopas, S. Chaisuriya and S. Chantaramanee, “Effect of Rubber Wood Fly Ash Addition on Properties of

Lightweight Aggregate Produced from Clear Bottle Glass,” *Engineering Journal of Siam University*, vol. 15, no. 29, pp. 1-12, 2014.

[24] P. Chindaprasirt and C. Jaturapitakkul, *Cement Pozzolan and Concrete*, 7th ed. Bangkok: Thai Concrete Association, 2013.