การพัฒนาอิฐบล็อกประสานรับน้ำหนักจากดินเหนียวในท้องถิ่นผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย
Development of Load-Bearing Interlocking Blocks from Local Clay mixed with Bagasse Ash and Fly Ash

มีศักดิ์ธนา พัวพิทยาธร*
Meesakthana Puapittayadhorn*

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150*
**Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai Maha sarakham 44150*

Received : 2020-02-28 Revised : 2020-03-08 Accepted : 2020-04-01

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยมาเป็นส่วนผสมในบล็อกประสานที่ผลิตโดยใช้ดินเหนียวในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ โดย ควบคุมอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ : ดิน เท่ากับ 1 : 6 นำเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ทำการหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้เป็นปริมาณน้ำในส่วนผสมของบล็อกประสาน หล่อตัวอย่างและบ่มในอากาศชื้นจนครบอายุทดสอบ จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์:ดิน: เถ้าลอย เท่ากับ 0.7 : 6.0 : 0.3 โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 110 kg/cm^2 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 10.4 ค่าการหดตัวร้อยละ 0.390 และค่าความต้านทานการสึกกร่อนร้อยละ 2.17 ซึ่งแสดงว่าเถ้าลอยสามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตบล็อกประสานจากดินเหนียวท้องถิ่นได้

คำสำคัญ : บล็อกประสาน, เถ้าลอย, เถ้าชานอ้อย, กำลังอัด

Abstract

This research aimed at using fly ash and bagasse ash to be the mixture in the production of interlocking blocks by using clay found in Surin Province. The cement to soil ratio was controlled at 1:6 and the application of fly ash and bagasse ash as a replacement for the cement was 30 and 40 percent by weight. The proper moisture was found in order that the amount of water in the mixture of interlocking blocks could be applied. Samples were cast and cultivated in moist condition for the whole testing period. According to the study, it was found that the optimum proportion was as follows: cement: local soil: fly ash was 0.7:6.0:0.3, with the 90-day compressive strength of 110 ksc ; the water proportion was 10.4 percent; the shrinkage was 0.390 percent; and the abrasion resistance was 2.17 percent. This shows that the fly ash can be used as a partial replacement for cement in the production of the interlocking blocks made from local clay.

Keywords : Interlocking block, fly ash, bagasse ash, Compressive Strength.

1. บทนำ

ปัจจุบันอิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการพัฒนารูปแบบต่าง ๆ อยากหลากหลาย เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคได้เลือกใช้ตามความเหมาะสมและตามความต้องการ

* มีศักดิ์ธนา พัวพิทยาธร
E-mail : Meesakthana.p@msu.ac.th

เช่น อิฐบล็อก อิฐมวลเบา อิฐมอญ และบล็อกประสาน เป็นต้น

ปัญหาของงานวิจัยนี้ คือ การผลิตบล็อกประสานแบบเดิมใช้ดินลูกรังผสมกับปูนซีเมนต์ ซึ่งดินลูกรังขาดแคลนและปูนซีเมนต์มีราคาแพง จึงพยายามลดต้นทุน ด้วยการใช้ดินเหนียวท้องถิ่นแทนดินลูกรัง และใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน สรุปได้ว่าตัวแปรต้น คือ อัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย หรือ เถ้าชานอ้อยซึ่งลักษณะและรูปแบบของอิฐแต่ละชนิดที่ผลิตในแต่ละท้องถิ่นมีความแตกต่างกันด้วยกระบวนการผลิต และวัตถุดิบที่เลือกใช้ ในที่นี้จะกล่าวถึงบล็อกประสานที่มีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน บล็อกประสาน [1] ได้มีการออกแบบและพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก สามารถก่อประสานกันโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อเหมือนอิฐทั่วไป สามารถก่อประสานได้ทั้งแนวดิ่งและแนวนอน และใช้งานได้หลากหลาย เช่น ก่อกำแพง ก่อผนัง และก่อเพื่อใช้ตกแต่งต่าง ๆ เป็นต้น เมื่อก่อบล็อกประสานเรียงกันจนได้ระดับที่ต้องการจากนั้นจะใช้ซีเมนต์มอร์ต้าร์กรอกเข้าในรูและเดือยเพื่อเสริมความแข็งแรง หรือในส่วนที่ต้องการความแข็งแรงมาก ๆ อาจจะเสริมเหล็กเสริมเข้าไปในรูบล็อกก่อนที่กรอกจะซีเมนต์มอร์ต้าร์เพื่อเสริมความแข็งแรงให้มากขึ้น การใช้บล็อกประสานจึงทำให้การก่อสร้างสะดวกรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถก่อเองได้ไม่ต้องใช้ช่างฝีมือในการก่อสร้าง ปัจจุบันดินลูกรังที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตบล็อกประสานมีราคาสูงขึ้น เนื่องจากแหล่งดินลูกรังมีจำนวนลดลง ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ประกอบการ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตบล็อกประสานสูงขึ้น ประกอบกับการผลิตบล็อกประสานที่ต้องการความแข็งแรงมาก จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่มากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นเช่นกัน แนวทางหนึ่งที่จะสามารถลดปริมาณอัตราส่วนของปูนซีเมนต์และยังคงทำให้กำลังอัดของบล็อกประสานไม่เปลี่ยนแปลงคือการผสมวัสดุเหลือใช้ปอซโซลาน [2] ปัจจุบันวัสดุเหลือใช้ปอซโซลานที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตคือเถ้าลอย เถ้าชานอ้อย เถ้าก้นเตา เถ้าแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ง่ายและราคาถูก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น โดยการประยุกต์ใช้เถ้าลอย [3] และเถ้าชานอ้อย [4] มาเป็นส่วนผสมเพิ่มกับปูนซีเมนต์ และดินในท้องถิ่นในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้กำลังอัดที่ดีที่สุด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยหรือเถ้าชานอ้อยที่มีต่อสมบัติของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินเหนียวท้องถิ่น

2.2 หาอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าที่เหมาะสมที่ทำให้ได้สมบัติของบล็อกประสานที่ดีที่สุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ดินเหนียว เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย มีขั้นตอนและการดำเนินการดังนี้

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

ในการผลิตบล็อกประสานปูนซีเมนต์ที่ใช้จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ปูนที่ใช้ในงานโครงสร้าง เทเสา คาน เช่น ปูนตราช้างแดง) สาเหตุที่เลือกใช้ปูนประเภท 1 เพราะความคุ้มค่าต่อราคาสูงสุด สามารถผลิตบล็อกให้ได้กำลังตามมาตรฐานโดยใช้ปูนซีเมนต์ไม่มากเกินไป และที่สำคัญคือสะดวก สามารถหาได้ทุกที่ทั่วไทย การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแกร่ง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี

3.1.2 เตรียมดินเหนียวนำมาจากอำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์

นำดินเหนียวตากแดดจนแห้งแล้วนำไปบดและร่อน ดินที่นำมาทดสอบควรเป็นดินที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ได้ อยู่ลึกจากหน้าดิน ไม่มีเศษวัชพืชและรากไม้ นำดินหรือวัตถุดิบที่ต้องการ ใส่ในขวดใสครึ่งขวด แล้วเติมน้ำให้เต็ม ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้ง

ไว้แล้วจับเวลา รอจนดินตกตะกอนทั้งหมดจนน้ำใส วัดความสูงของดินส่วนที่ตกตะกอนก่อนในชั้นแรก และดินส่วนที่ตกตะกอนตามหลังในชั้นที่สอง หาร้อยละของตะกอนฝุ่นที่ตกตะกอนที่หลังไม่เกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร หรือส่วนมวลละเอียด/ตะกอนแข็งที่ตกตะกอนก่อนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 โดยปริมาตร ถือว่ามีคุณภาพดี แล้วนำไปหาสมบัติทางกายภาพของดิน โดยการจำแนกประเภทของดินในระบบ ตามระบบ AASHTO และระบบ Unified Soil Classification System [5] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวที่ใช้ในส่วนผสม

สมบัติทางกายภาพ	ผลทดสอบ
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 4	100
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200	6.63
ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, Cu), (ร้อยละ)	2.20
ค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of Curvature, Cc), (ร้อยละ)	1.02
ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit, LL)	16.7
ค่าดัชนีพลาสติก Plasticity Index (PI)	16.7

การจำแนกประเภทของดินในระบบ Unified Classification

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าพิกัดเหลว เท่ากับ ร้อยละ 16.7 และค่าดัชนีพลาสติก เท่ากับ 16.7 แสดงว่า ดินชนิดนี้เป็นดินเหนียวที่มีขีดเหลวต่ำ (CL)

การจำแนกประเภทของดินในระบบ AASHO Classification พบว่าค่าพิกัดเหลว เท่ากับ 16.7 และค่าดัชนีพลาสติก เท่ากับ 16.7 แสดงว่า ดินชนิดนี้เป็นดินทรายปนเหนียว (SC) สรุปได้ว่าเส้นการกระจายตัวของเม็ดดินมีลักษณะเป็นขั้นบันได แสดงว่าดินมีขนาดขาดช่วง ซึ่งจัดเป็นดินที่สามารถบดอัดได้ดีปานกลาง

3.1.3 เถ้าลอย [3] จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

เป็นเถ้าลอยลิกไนต์มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน ซึ่งสารนี้เป็นวัสดุที่มีซิลิกา หรือ ซิลิกาและอลูมินา เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้วสารปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าสารปอซโซลานมีความละเอียดมาก ๆ และมีน้ำเพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียม โฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติยึดประสานเถ้าลอยลิกไนต์โดยทั่วไปแล้วจะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ลักษณะทั่วไปเป็นรูปทรงกลม มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (0.001 mm) จนถึง 150 ไมโครเมตร (0.15 mm) ความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.00-2.60 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)

3.1.4 เถ้าชานอ้อย [4] จากโรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

เถ้าชานอ้อย มีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) อยู่ในรูปไม่เป็นผลึกและสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน

3.2 วิธีการผลิตบล็อกประสาน

โดยปกติสำหรับเครื่องผสมระยะเวลาในการผสมไม่ควรน้อยกว่า 3-4 นาที นับตั้งแต่เติมน้ำ ในการผสมให้เติมดิน (แห้ง) ลงในเครื่องผสมก่อนเติมปูนซีเมนต์ลงไปให้กันดี การเติมน้ำให้เติมหลังสุดเมื่อพร้อมที่จะเริ่มทำการอัดบล็อกการให้ความชื้นแก่ส่วนผสม การทดสอบทำโดยการบีบส่วนผสม 1 กำมือจนเป็นก้อน แล้วทิ้งลงบนพื้นที่เรียบแข็ง จากความสูง 1.10 m หากปริมาณความชื้นของส่วนผสมถูกต้อง จะแตกออกเป็นก้อน 4-5 ก้อน ถ้าแตกกระจายออกเป็นชิ้นเล็กน้อยแสดงว่าแห้งเกินไปในการอัดบล็อก ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที หลังจากผสมน้ำเพื่อป้องกันปูนแข็งตัวก่อนอัดขึ้นรูปนำส่วนผสมที่คลุกเคล้าเรียบร้อยแล้วนำมาอัดขึ้นรูปบล็อกประสาน ซึ่งใช้เครื่องอัดด้วยแรงคนแบบมือโยก ใช้การทดแรงแบบคานงัดคานดีด สำหรับการเตรียมส่วนผสมที่

ผสมเสร็จแล้วจะใช้การการชั่งน้ำหนัก เพราะจะทำให้การผลิตสามารถควบคุมคุณภาพได้แน่นอน มีความสม่ำเสมอของน้ำหนักต่อก้อนแต่ละก้อน ส่วนวิธีการบ่มหลังจากอัดบล็อกแล้ว จะบ่มในที่ร่ม 1 วัน ไม่ควรตากแดด เพราะน้ำจะระเหยเร็วทำให้ปูนซีเมนต์สูญเสียน้ำเร็วเกินไปส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดไม่เต็มที่ บล็อกที่ได้จะไม่แข็งแรงตามที่ต้องการ หรืออาจเกิดรอยแตกร้าวที่ผิวจากการแห้งเร็ว เมื่อบ่มจนครบ 1 วัน นำมาจัดเรียงแล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออก

3.3 วิธีทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสาน

3.3.1 หาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ; OMC)

โดยนำวัสดุที่จะใช้ คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 สาเหตุที่เลือกใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เพราะความคุ้มค่าต่อราคาสูง สามารถผลิตบล็อกให้ได้กำลังตามมาตรฐานโดยใช้ปูนซีเมนต์ไม่มากเกินไป และจะทำให้บล็อกประสานที่มีความแข็งแกร่ง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี ดินในท้องถิ่นและน้ำ มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำ	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)			
(mm)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
30	34.9	42.8	45.7	41.1
50	67.5	68.0	53.2	62.9
80	111	124	116	117
85	103	94.7	102	99.8
90	93.0	96.0	101	96.8

3.2.2 ออกแบบอัตราส่วนผสม

ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมเพื่อหาสัดส่วนผสมที่ดีและเหมาะสมที่สุด อัตราส่วนผสมที่ได้จากการทดสอบนำปูนซีเมนต์มาผสมกับเถ้าลอย/เถ้าชานอ้อย โดยทำการปรับเปลี่ยนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย/เถ้าชานอ้อย ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปูนซีเมนต์ ซึ่งอัตราส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3 เป็นการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย/เถ้าชานอ้อย ทำการอัดขึ้นรูปก้อนบล็อกประสานขนาด 25×12.5×10 cm จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย/เถ้าชานอ้อย ที่มีกำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด คือ ร้อยละ 30 และ 40

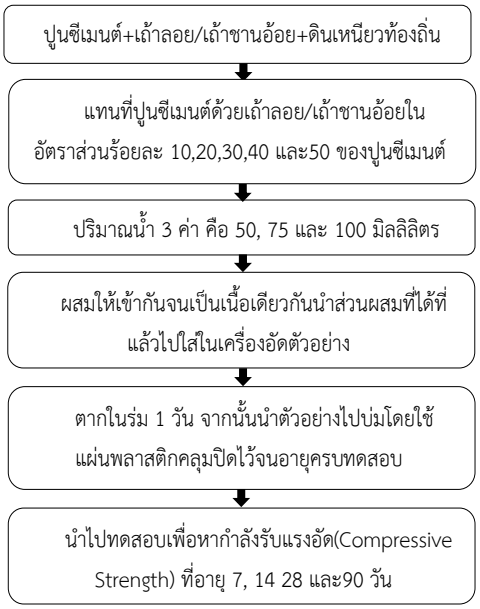
ตารางที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

ลำดับ	ปูนซีเมนต์	ดินในท้องถิ่นจังหวัดสุรินทร์	เถ้าลอย	เถ้าชานอ้อย
1	1	6	0	0
2	0.7	6	0.3	0
3	0.6	6	0.4	0
4	0.7	6	0	0.3
5	0.6	6	0	0.4

3.3.3 หาร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย/เถ้าชานอ้อย

ทำการทดสอบโดยหากำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด โดยนำวัสดุที่ใช้ในการผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 [6]

ดินในท้องถิ่น เถ้าลอย/เถ้าชานอ้อย และน้ำ มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนดทำการอัดขึ้นรูปก้อนตัวอย่างขนาด 25×12.5×10 cm^3 ดังแสดงในรูปที่ 1

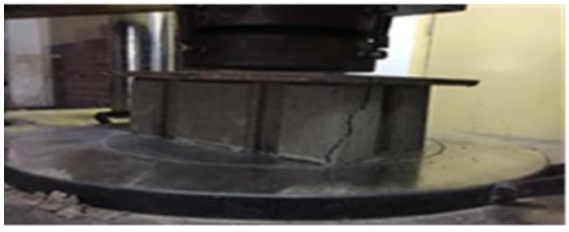


รูปที่ 1 การหาร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อย

3.3.4 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ใช้ตัวอย่างบล็อกประสานของแต่ละอายุการทดสอบ ทำการทดสอบโดยจะนำก้อนตัวอย่างมาวัดขนาด และชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปเข้าเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ เพื่อหากำลังรับแรงอัดสูงสุดของแต่ละส่วนผสม โดยหาค่าเฉลี่ยจาก 5 ก้อนตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3

รูปที่ 2 การวัดขนาดก้อนตัวอย่าง



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังอัด

3.3.5 วิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.57-2533 [7] และ มอก.58-2533 [8] สำหรับก่อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะตองแชจมอยู่ในน้ำ ที่อุณหภูมิหองที่ 16 ถึง 27 องศาเซสเซียส เปน เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำก่อนตัวอย่างขึ้นชั่งโดยแขวนดวยลวดโลหะและจมอยู่ในน้ำทั้งก่อน จากนั้นยกก่อนตัวอย่างขึ้นจากน้ำทิ้งไวให้น้ำระบายออกเปนเวลา 1 นาที โดยวางก่อนตัวอยางลงบนแรง ขนาด 9 cm หรือหยาบกวา หยดน้ำตามผิวที่มองเห็นด้วยตาเปลาให้ซับออกด้วยผ้าซับแล้วทำการชั่งทันที หลังจากนั้นนำกอนตัวอยางไปอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซสเซียส เปนเวลาไม่นอยกวา 24 ชั่วโมง และจนกวาการชั่งน้ำหนักสองครั้งหางกัน 2 ชั่วโมง แสดง น้ำหนักที่สูญเสียเพิ่มขึ้นไมเกินรอยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวอยางในการชั่งครั้งกอน ใช้ตัวอย่างบล็อกประสานของแต่ละอายุการทดสอบ จำนวน 5 ก้อน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3.3.6 วิธีการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อน

โดยใช้ตัวอย่างบล็อกประสานของแต่ละอายุการทดสอบ จำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยความต้านทานการสึกกร่อน ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ 77-2545 [9] ได้กำหนดค่าความต้านทานการสึกกร่อนไว้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

3.3.7 วิธีการทดสอบการหดตัว

ทำการทดสอบโดยวัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนา ใช้ตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 3 ก้อนตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยต่ออายุการบ่ม

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินเหนียวในท้องถิ่น

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินเหนียวในท้องถิ่นพบว่าบล็อกประสานที่มีการควบคุมที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ดิน เท่ากับ 1 : 6 ที่อายุ 7, 14, 28 และ 90 วัน มีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช.602-2547 [10] สำหรับอัตราส่วนผสมร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอย และเถ้าชานอ้อยที่มีกำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด คือ ร้อยละ 30 และ 40 และบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ดิน : เถ้าลอยที่มีกำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด เท่ากับ 0.7 : 6 : 0.3 ที่อายุ 28 และ 90วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 82.9–110 kg/cm^2 ตามลำดับ บล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุ และทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยเมื่อทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์จะเกิดการก่อตัวช้ากำลังในระยะต้นต่ำในทางกลับกันกำลังในระยะยาวจะเพิ่มขึ้นมาก ส่วนบล็อกประสานมีอัตราส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดลดลงที่อายุ 28 กำลังรับแรงอัด เท่ากับ 52.2 kg/cm^2 และที่อายุ 90 วัน กำลังรับแรงอัด เท่ากับ 40.9 kg/cm^2 ส่วนบล็อกประสานมีอัตราส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดลดลงที่อายุ 28 วัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเถ้าชานอ้อยยังมีน้ำตาลหลงเหลืออยู่จึงอาจส่งผลให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ได้ในระยะยาว ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางการหาร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย และเถ้าชานอ้อยที่มีกำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด คือร้อยละ 30 และ40

อัตราส่วน	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)			
	บ่มที่อายุ (วัน)			
	7	14	28	90
ปูน : ดินเหนียว 0.1 : 6.0	70.9	74.5	85.2	124
ปูน : ดินเหนียว : เถ้าลอย 0.7 : 6.0 : 0.3	56.0	58.0	82.9	110
0.6 : 6.0 : 0.4	43.1	44.9	62.2	90.9
ปูน : ดินเหนียว : เถ้าชานอ้อย 0.7 : 6.0 : 0.3	43.1	54.7	52.2	40.9
0.6 : 6.0 : 0.4	37.3	44.2	31.2	28.8

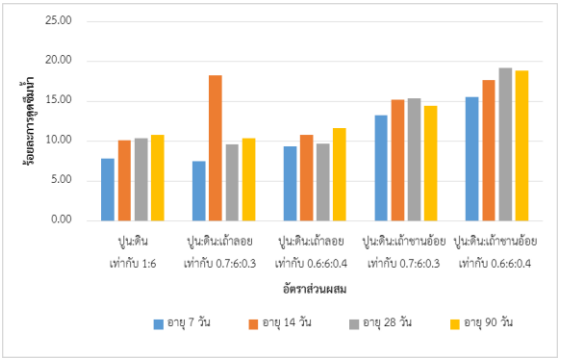
4.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินเหนียวในท้องถิ่น

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานเมื่ออายุครบ 7 วัน พบว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสาน ซึ่งกำหนดค่าการดูดซึมน้ำไว้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก และถ้าเพิ่มปริมาณเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ในแต่ละอัตราส่วนผสมค่าการดูดซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่น้ำหนักเท่ากันปริมาตรของเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยจะมากกว่าปริมาตรของปูนซีเมนต์และมีความหยาบมากกว่าปูนซีเมนต์ เมื่ออัดขึ้นรูปบล็อกประสานจึงมีรูพรุนและช่องว่างให้น้ำซึมเข้าไปได้มาก ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนควบคุมที่มีอัตราส่วนปูน : ดิน เท่ากับ 1 : 6 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 7.25 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ดีกว่าอัตราส่วน ผสมอื่น คือ บล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสมปูน : ดิน : เถ้าลอย เท่ากับ 0.7 : 6 : 0.3 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

เท่ากับ 6.99 จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานเมื่ออายุครบ 14 วัน พบว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสาน ซึ่งกำหนดค่าการดูดซึมน้ำไว้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก และถ้าเพิ่มปริมาณเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ในแต่ละอัตราส่วนผสมค่าการดูดซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากที่น้ำหนักเท่ากันปริมาตรของเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยจะมากกว่าปริมาตรของปูนซีเมนต์และมีความหยาบมากกว่าปูนซีเมนต์ เมื่ออัดขึ้นรูปบล็อกประสานจึงมีรูพรุนและช่องว่างให้น้ำซึมเข้าไปได้มาก ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนควบคุมที่มีอัตราส่วนปูน : ดิน เท่ากับ 1 : 6 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 9.18 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น คือ บล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสม ปูน : ดิน : เถ้าลอย เท่ากับ 0.6 : 6 : 0.3 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 9.75

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานเมื่ออายุครบ 28 วัน พบว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสาน ซึ่งกำหนดค่าการดูดซึมน้ำไว้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก บล็อกประสานอัตราส่วนควบคุมและบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์มีร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่บล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์มีร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยเมื่อทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์จะเกิดการก่อตัวช้า ในระยะต้นจะมีความแข็งแรงต่ำ ในทางกลับกันความแข็งแรงในระยะยาวจะเพิ่มขึ้นมาก เมื่อแข็งแรงมากขึ้น รูพรุนในก้อนบล็อกประสานก็จะน้อยลง ส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วย ส่วนบล็อกประสานมีอัตราส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่มีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเถ้าชานอ้อยยังมีน้ำตาลหลงเหลืออยู่จึงอาจส่งผลให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ได้ในระยะยาว [11] ส่งผลให้บล็อกประสานมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนควบคุมที่มีอัตราส่วนปูน : ดิน เท่ากับ 1 : 6 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 9.39 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น คือ บล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสม ปูน : ดิน : เถ้าลอย เท่ากับ 0.6 : 6 : 0.3 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 8.78

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานเมื่ออายุครบ 90 วัน พบว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสาน ซึ่งกำหนดค่าการดูดซึมน้ำไว้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก บล็อกประสานอัตราส่วนควบคุมและบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย แทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์มีร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่บล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์มีร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง อาจเกิดจากบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยมีการดูดซึมน้ำสูงมากในระยะเวลาบ่มน้อย เมื่อระยะเวลาบ่มมากขึ้นบล็อกประสานจะแห้งในอากาศและมีผิวที่แข็งขึ้น จึงอาจส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนควบคุมที่มีอัตราส่วนปูน:ดิน เท่ากับ 1 : 6 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 10.79 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น คือ บล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสม ปูน : ดิน : เถ้าลอย เท่ากับ 0.6 : 6 : 0.3 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 10.37 ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสาน

4.3 การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

จากการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของบล็อกประสานเมื่ออายุครบ 14 วัน พบว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานอิฐก่อสร้างสามัญ 77-2545 ซึ่งได้กำหนดค่าความต้านทานการสึกกร่อนไว้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักบล็อกประสานที่มีร้อยละการสึกกร่อนสูงที่สุดคือบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ เถ้าลอยทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้ช้า ในระยะเวลาการบ่มน้อยจะมีความแข็งแรงต่ำ เมื่อเวลาขัดที่ผิวของบล็อกเมื่อเวลาขัดที่ผิวของบล็อกประสานจึงเกิดการหลุดร่อนออกมาได้ง่าย ส่งผลให้มีร้อยละการสึกกร่อนสูง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

อัตราส่วน	น้ำหนักก่อนขัดสี (kg)	น้ำหนักหลังขัดสี 12 รอบ (kg)	การสึกกร่อน (kg)	ร้อยละการสึกกร่อน
ปูน:ดินเหนียว 0.1: 6.0	5.54	5.53	0.01	0.18
ปูน:ดินเหนียว :เถ้าลอย 0.7:6.0:0.3	5.53	5.41	0.12	2.17
ปูน:ดินเหนียว :เถ้าชานอ้อย 0.7:6.0:0.3	5.05	4.95	0.10	1.98

4.4 การทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

การทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น เป็นการทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินเหนียวในท้องถิ่นที่มี 3 อัตราส่วนผสม คืออัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : ดินเหนียว อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ดินเหนียว : เถ้าลอย และอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ดินเหนียว : เถ้าชานอ้อย ซึ่งในการทดสอบได้ใช้ก้อนตัวอย่างบล็อกประสานขนาด 12.5×25×10 cm^3 มาทำการทดสอบการหดตัวที่อายุ 7, 14, 28 และ 90 วัน โดยใช้ตัวอย่างบล็อกประสานของแต่ละอายุการทดสอบเพื่อนำมาหาค่าร้อยละการหดตัวซึ่งได้นำมาเปรียบเทียบ มอก. 1505-2541 [12] ที่ระบุค่าร้อยละการหดตัวไว้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ซึ่งค่าการหดตัวสามารถคำนวณหาค่าร้อยละการหดตัว

จากการทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่อายุ 7 วัน พบว่าค่าร้อยละการหดตัวของบล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม 1505-2541 ซึ่งระบุค่าร้อยละการหดตัวไว้ไม่เกินร้อยละ 0.05 อาจเกิดจากบล็อกประสานยังไม่มีรูพรุนมากนัก มีระยะเวลาในการบ่มและการดูดซึมน้ำไม่มาก จึงส่งผลให้บล็อกประสานมีร้อยละการหดตัวน้อย ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การทดสอบการหดตัวของบล็อกประสาน

อัตราส่วน	ร้อยละการหดตัว			
	7 วัน	14วัน	28วัน	90วัน
ปูน:ดินเหนียว 0.1:6.0	0.050	0.168	0.150	0.132
ปูน:ดินเหนียว:เถ้าลอย 0.7:6.0:0.3	0.024	0.098	0.140	0.390
0.6:6.0:0.4	0.050	0.158	0.147	0.292
ปูน:ดินเหนียว:เถ้าชานอ้อย 0.7:6.0:0.3	0.047	0.142	0.105	0.292
0.6:6.0:0.4	0.047	0.082	0.150	0.319

จากการทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่อายุ 14 วัน พบว่าค่าร้อยละการหดตัวของบล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม 1505-2541 ซึ่งระบุค่าร้อยละการหดตัวไว้ไม่เกินร้อยละ 0.05 เนื่องจากบล็อกประสานมีระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ผิวของบล็อกประสานมีรูพรุนมากขึ้น การดูดซึมน้ำมากขึ้น การระเหยของน้ำจึงมากขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้บล็อกประสานมีร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น และปัจจัยหนึ่งอาจเกิดจากดินในท้องถิ่นเป็นดินเหนียว ซึ่งเป็นดินที่มีการหดตัวสูง และค่าร้อยละการหดตัวสูงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานก่อผนัง เนื่องจากผนังจะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย

จากการทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่อายุ 28 วัน พบว่า ค่าร้อยละการหดตัวของบล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสมไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม 1505-2541 ซึ่งระบุค่าร้อยละการหดตัวไว้ไม่เกินร้อยละ 0.05 เนื่องจากบล็อกประสานมีระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ผิวของบล็อกประสานมีรูพรุนมากขึ้น การดูดซึมน้ำมากขึ้น การระเหยของน้ำจึงมากขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้บล็อกประสานมีร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น และปัจจัยหนึ่งอาจเกิดจากดินในท้องถิ่นเป็นดินเหนียว ซึ่งเป็นดินที่มีการหดตัวสูง และค่าร้อยละการหดตัวสูงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานก่อผนัง เนื่องจากผนังจะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่นที่ใช้วัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์

5. สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบการดูดซึมน้ำ การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อน และการทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น ที่มี 3 อัตราส่วนผสม คืออัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : ดินในท้องถิ่น อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์:ดินในท้องถิ่น : เถ้าลอย และอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ดินในท้องถิ่น : เถ้าชานอ้อย โดยมีอัตราส่วนดินในท้องถิ่นเท่าเดิม แต่มีการเพิ่ม-ลดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และเถ้าชานอ้อย ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐบล็อกประสาน มอก.57-2533 มอก.1505-2541 และ มอก.77-2545 มผช.602-2547 เมื่อนำทุกอัตราส่วนผสมไปทำการทดสอบ สรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่นที่อายุ 7, 14, 28 และ 90 วัน พบว่าบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนปริมาณเถ้าชานอ้อยแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ ซึ่งกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุดของบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ดิน : เถ้าลอย เท่ากับ 0.7 : 6.0 : 0.3 ในระยะเวลาการบ่มที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 109.56 kg/cm^2 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบ

5.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่นที่อายุ 7, 14, 28และ 90 วัน พบว่าอัตราส่วนผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบ

5.3 การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

จากผลการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่นที่อายุ 14 วัน พบว่าอัตราส่วนผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์ มอก.77-2545 ซึ่งได้กำหนดค่าความต้านทานการสึกกร่อนไว้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

5.4 การทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น

จากผลการทดสอบการหดตัวของบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่น ที่อายุ 7, 14, 28 และ 90 วัน พบว่าการหดตัวที่อายุ 7 วัน ทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การหดตัวที่อายุ 14, 28 และ 90 วัน มีการหดตัวเกินเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเกณฑ์

มอก.1505-2541 ระบุค่าร้อยละการหดตัวไว้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ทั้งนี้การหดตัวของบล็อกประสานขึ้นอยู่กับการบ่มที่ไม่สามารถป้องกันการระเหยของน้ำออกจากก้อนทดสอบได้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอายุของก้อนทดสอบด้วย ก้อนทดสอบที่มีอายุมากจะเกิดการหดตัวมากขึ้นตามไปด้วย และปัจจัยหนึ่งอาจเกิดจากดินในท้องถิ่นเป็นดินเหนียว ซึ่งเป็นดินที่มีการหดตัวสูง

การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ในอัตราส่วนผสมเพราะเถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยที่นำมาใช้ในการผสมมีความละเอียดน้อยกว่าปูนซีเมนต์จึงส่งผลให้มีใช้น้ำที่ใช้มากขึ้นเพื่อให้สามารถขึ้นรูปก้อนตัวอย่างได้ และถ้ามีการเพิ่มปริมาณน้ำที่มากเกินไปก็จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง

อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตบล็อกประสานที่ผลิตจากดินในท้องถิ่นคือ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ดินในท้องถิ่น : เถ้าลอย เท่ากับ 0.7 : 6 : 0.3

6. ขอเสนอแนะ

ขอเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งต่อไป

6.1 ควรศึกษาถึงวิธีการและแนวทางอื่น ๆ ประกอบเพิ่มเติมที่จะช่วยให้เพิ่มคุณสมบัติต้านทานแรงอัดของบล็อกประสาน

6.2 ควรศึกษาการออกแบบบล็อกประสานให้มีรูปแบบที่หลากหลาย สามารถนำมาใช้งานได้เหมาะสมกับสถานที่

6.3 ควรศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การทดสอบคุณสมบัติต้านทานความร้อน ฯลฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2562 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สหลาภ หอมวุฒิวงศ์, นางสาวอรสา ละผิว และนายศุภชัย สุวรรณราช

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริหารและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน ที่ได้ให้ความกรุณาในการประเมินแนวทางพร้อมให้ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] วุฒินัย กกกำแหง และพิชิต เจนบรรจง, “เอกสารประกอบการอบรมการผลิตบล็อกประสาน วว. การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ”, ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), กรุงเทพฯ, 2551.

[2] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, “ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต”, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, พ.ศ.2551, หน้า 317.

[3] Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. “Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cemented paste”. Construction and Building Materials,Vol.21, No.7, 2007, pp. 1534-1541.

[4] ชัย จตุรพิทักษ์กุล, “การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, พ.ศ. 2554.

[5] American Society for Testing and Materials, “ASTM D4318 Standard test methods for liquid limit. Plastic Limit and Plasticity Index of Soils”, Annual Book of ASTM Standards, 2010.

[6] Industrial product standards, "Portland cement - Volume 1 – Requirements for quality criteria TIS. 15 Vol. 1-2555", Office of Thai Industrial Standards, Ministry of Industry, 2012.

[7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์สำนักงาน, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.57-2533 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม", พ.ศ.2533.

[8] มาตรฐานผลิตภัณฑ์สำนักงาน, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม", พ.ศ.2533.

[9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานอิฐก่อสร้างสามัญ 77-2545", กรุงเทพฯ, พ.ศ.2551.

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน, มผช. 602-2547", พ.ศ.2547.

[11] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล,"เถ้าชีวมวลจากโรงงานอุตสาหกรรม: ปัญหาข้อจำกัด และการนำไปใช้งาน", พ.ศ.2555.

[12] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1505-2541)", พ.ศ.2541.