

คุณสมบัติของบล็อกประสานที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา

Properties of Interlocking Block Containing Fly Ash and Bottom Ash

อนุสรณ์ เดชบุรีรัมย์¹ กริสน์ ชัยมูล^{1*}

¹หน่วยวิจัยทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัด
มหาสารคาม 44150

Anusorn Dechburum¹ Krit Chaimoon^{1*}

¹Structural Engineering Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University,
Maha Sarakham, 44150, Thailand

*Corresponding author Email: k.chaimoon@msu.ac.th

(Received: January 19, 2018; Accepted: April 20, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาในการผลิตบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์และดินลูกรังตามลำดับที่ร้อยละ 0 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก สำหรับบล็อกที่ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:7 โดยน้ำหนัก คุณสมบัติที่ทำการทดสอบประกอบด้วยกำลังอัดที่อายุ 14 28 และ 90 วัน การดูดซึมน้ำและหน่วยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่า บล็อกประสานที่ผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าก้นเตาแทนที่ดินลูกรังในปริมาณที่เหมาะสมมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับอิฐบล็อกประสาน

คำสำคัญ: เถ้าก้นเตา กำลังอัด เถ้าลอย บล็อกประสาน การดูดซึมน้ำ

ABSTRACT

This research studied the use of fly ash and bottom ash in manufacturing of load-bearing interlocking block by replacing cement and laterite soil, respectively, at 0, 5, 10, 15, 20 and 25% by weight. This study used mixing ratio of cement to laterite soil of 1:7 by weight. The basic properties including compressive strengths (at 14, 28 and 90 days), water absorption (at 28 days), and unit weight (at 28 days) of the interlocking blocks were tested and determined. From the test results, it was found that interlocking blocks mixed with fly ash and bottom ash in appropriate proportions had the required properties complying with the Thai Community Product Standard for interlocking block.

Keyword: Bottom ash, compressive strength, fly ash, interlocking block, water absorption.

1. บทนำ

บล็อกประสานเป็นวัสดุก่อรูปแบบหนึ่งพัฒนาและวิจัยขึ้นโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง

ประเทศไทย (วว.) และสามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยในระบบผนังรับน้ำหนักได้ โดยทั่วไปการผลิตบล็อกประสานจะมีส่วนผสมจากดินลูกรังบดละเอียด

ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม คลุกเคล้าจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดซึ่งมีทั้งเครื่องอัดด้วยแรงงานคนและเครื่องอัดด้วยไฮดรอลิก แล้วบ่มด้วยความชื้นเพื่อให้บล็อกแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน คุณสมบัติของบล็อกประสานขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมและส่วนผสมที่ใช้ [1] ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 [2] แบ่งบล็อกประสานออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดรับน้ำหนักและชนิดไม่รับน้ำหนัก และคุณสมบัติหลักที่กำหนดในมาตรฐานคือ กำลังอัดและการดูดซึมน้ำ

เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเผาถ่านหินเพื่อเป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเล็ก ความละเอียดสูง รูปร่างกลม และมีคุณสมบัติเป็นวัสดุพอซโซลานที่นิยมนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีต เนื่องจากช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นทั้งก่อนและหลังการแข็งตัว [3] ส่วนเถ้าก้นเตามีอนุภาคค่อนข้างหยาบและมีขนาดใกล้เคียงกับทรายทำให้สามารถนำมาใช้แทนที่ทรายได้ [4] สำหรับบล็อกประสานได้มีการศึกษาการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักพบว่า กำลังอัดของบล็อกลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น [5] สมพงษ์ และสุกษัย [6] ได้ศึกษาการใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักสำหรับการปรับเสถียรภาพและหล่อแข็งภาคตะกอนโครเมียมพบว่า การใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยร้อยละ 30 และ 20 ดีที่สุดตามลำดับ ภาณุวัฒน์ และคณะ [7] ได้ใช้เถ้าลอยแทนที่ดินลูกรังพบว่า กำลังอัดของบล็อกประสานเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 60 อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการศึกษาการใช้เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาในการผลิตบล็อกประสาน งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์และใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ดินลูกรังในการผลิตบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก เนื่องจากปูนซีเมนต์และดินลูกรังเป็นวัสดุดิบที่มีต้นทุนสูงที่สุดและรองลงมาตามลำดับ ประกอบกับเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาก็มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการแทนที่ดังกล่าว

2. การทดสอบ

เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์และใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ดินลูกรัง การศึกษาได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการหาล้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสมก่อน โดยที่ยังไม่มีการแทนที่ดินลูกรังด้วยเถ้าก้นเตา ส่วนที่สองเป็นการหาล้อยละการแทนที่ดินลูกรังด้วยเถ้าก้นเตาที่เหมาะสม โดยใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาส่วนแรกเป็นอัตราส่วนตั้งต้นสำหรับวัสดุ อัตราส่วนผสม และการเตรียมตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1. วัสดุ

วัสดุหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2547 [8] ดินลูกรังบดละเอียดโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.76 mm) เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง องค์ประกอบหลักทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีที่เรียกว่า x-ray fluorescence spectrometry (XRF) แสดงในตารางที่ 1 เถ้าลอยมีผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 61.7 มากกว่า 50 และมี CaO เท่ากับร้อยละ 25.4 มากกว่า 20 จึงจัดเป็นเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F ตามมาตรฐาน ASTM C618 [9]

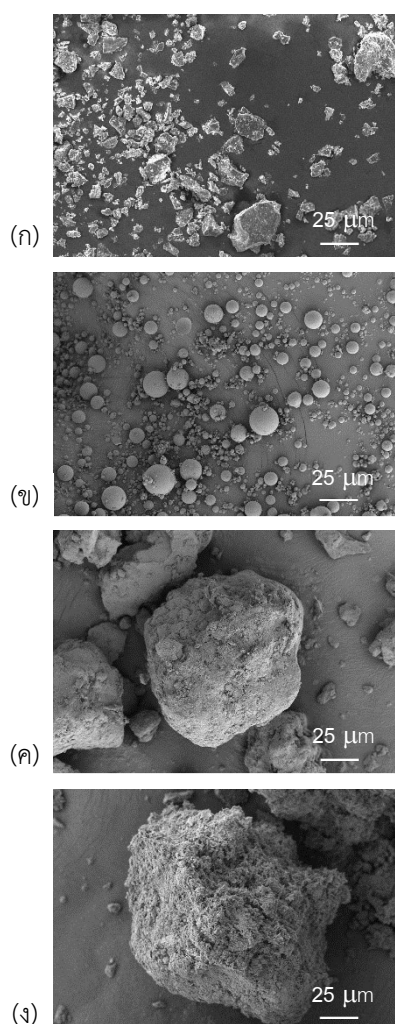
ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี	วัสดุ	
	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย
SiO_2 (%)	17.5	26.9
Al_2O_3 (%)	4.1	11.2
Fe_2O_3 (%)	3.2	23.6
CaO (%)	62.4	25.4

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปูนซีเมนต์และ
เถ้าลอย (ต่อ)

SO ₃ (%)	3.6	6.2
---------------------	-----	-----

ลักษณะอนุภาคของปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ดินลูกรัง
และเถ้าก้นเตาที่กำลังขยาย 500 เท่าจากกล้อง scanning
electron microscopy (SEM) แสดงในรูปที่ 1 จะเห็นได้
ว่าเถ้าลอยมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคอื่นแต่ใกล้เคียงกับ
ปูนซีเมนต์และมีลักษณะกลมมน ในขณะที่เถ้าก้นเตามี
อนุภาคนานาดใหญ่ที่สุดแต่ก็ใกล้เคียงกับดินลูกรังและมี
ลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งไม่พบในอนุภาคอื่น



รูปที่ 1 ลักษณะอนุภาคที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก)
ปูนซีเมนต์ (ข) เถ้าลอย (ค) ดินลูกรังบดละเอียด และ (ง)
เถ้าก้นเตา

2.2. อัตราส่วนผสม

ในการศึกษานี้ใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักระหว่าง
ปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:7 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่
นิยมใช้ในการผลิตบล็อกประสาน และพิจารณาการแทนที่
ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและการแทนที่ดินลูกรังด้วยเถ้าก้น
เตาโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0 5 10 15 20 และ 25
เท่ากัน ตารางที่ 2 และ 3 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับ
การศึกษาทั้งสองส่วนตามลำดับ ในหมายเหตุได้แสดง
สมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักวัสดุซึ่งได้จาก
การศึกษาเบื้องต้น และเป็นผลกระทบโดยตรงจาก
ลักษณะอนุภาคของเถ้าก้นเตาที่มีขนาดใหญ่และมีรูพรุน
มากอันส่งผลต่อความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของเถ้า
ก้นเตา

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักสำหรับการหาร้อย
ละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสม

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	ดินลูกรัง
1ก	1	0	7
2ก	0.95	0.05	7
3ก	0.90	0.10	7
4ก	0.85	0.15	7
5ก	0.80	0.20	7
6ก	0.75	0.25	7

หมายเหตุ สมมุติบล็อกมีความหนาแน่นไม่รวมน้ำ 1,800 kg/m³
และใช้น้ำร้อยละ 10 ของวัสดุอื่นทั้งหมด

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักสำหรับการหาร้อย
ละการแทนที่ดินลูกรังด้วยเถ้าก้นเตาที่เหมาะสม

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	ดินลูกรัง	เถ้าก้นเตา
1ข	*	*	7	0
2ข			6.65	0.35
3ข			6.30	0.70
4ข			5.95	1.05
5ข			5.60	1.40

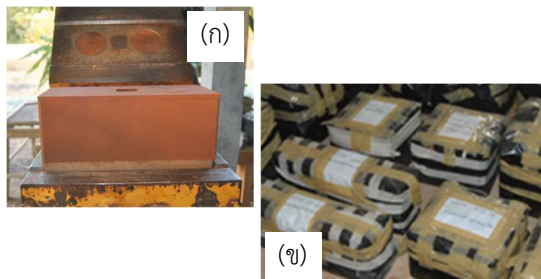
ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักสำหรับการทำร้อยละการแทนที่ดินลูกรังด้วยเถ้าที่เหมาะสม (ต่อ)

6ข			5.25	1.75
----	--	--	------	------

หมายเหตุ * เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาส่วนแรก
ทั้งนี้สมมุติบล็อกมีความหนาแน่นไม่รวมน้ำ $1,600 \text{ kg/m}^3$ และใช้น้ำร้อยละ 14 ของวัสดุอื่นทั้งหมด

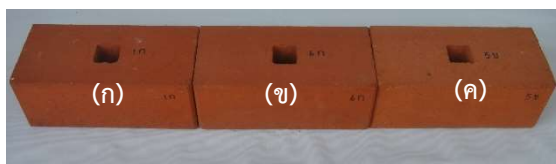
2.3. การเตรียมตัวอย่างทดสอบและวิธีทดสอบ

ตัวอย่างบล็อกประสานแบบตรงขนาดกว้าง 12.5 cm ยาว 25 cm และหนา 10 cm เตรียมโดยใช้เครื่องอัดบล็อกประสานแบบไฮดรอลิกดังแสดงในรูปที่ 2(ก) โดยผิวหน้าของบล็อกเรียบไม่มีรอยเพื่อให้เห็นต่อการทดสอบกำลังอัด แล้วฝังในที่รมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงบ่มตัวอย่างโดยการพรมน้ำให้ทั่วแล้วหุ้มด้วยพลาสติกและเก็บในที่รมจนกว่าจะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2(ข)



รูปที่ 2 (ก) ตัวอย่างบล็อกประสาน (ข) การบ่มตัวอย่าง

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของบล็อกทั้ง 3 แบบคือ ที่ไม่มีการผสมเถ้า ที่ผสมเถ้าลอยอย่างเดียว และที่ผสมทั้งเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา จากการสังเกตสีของบล็อกพบว่าบล็อกทั้ง 3 แบบยังคงมีสีที่ใกล้เคียงกันคือสีส้มของดินลูกรัง



รูปที่ 3 (ก) บล็อกที่ไม่มีการผสมเถ้า (ข) บล็อกที่มีการผสมเถ้าลอยอย่างเดียว (ค) บล็อกที่มีการผสมทั้งเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา

การทดสอบประกอบด้วย การทดสอบกำลังอัดที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน การดูซึมที่อายุ 28 วัน และหน่วยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน การทดสอบกำลังอัดและการดูซึมนี้ทำตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 [10] ตามที่กำหนดในมาตรฐาน มผช. 602/2547 [2] โดยกำลังอัดทดสอบด้วยตัวอย่างขนาดเต็มก้อน อย่างไรก็ตามไม่ได้มีการเคลือบผิวก่อนตัวอย่างก่อนทดสอบ เนื่องจากผิวหน้าตัวอย่างค่อนข้างเรียบ และทดสอบจำนวน 4 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากจำนวน 3 ตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน (coefficient of variation, COV) น้อยที่สุด โดยค่า COV เท่ากับอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ย

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

3.1. ผลการทดสอบส่วนแรก

ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกที่ใช้เฉพาะเถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์แสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 4

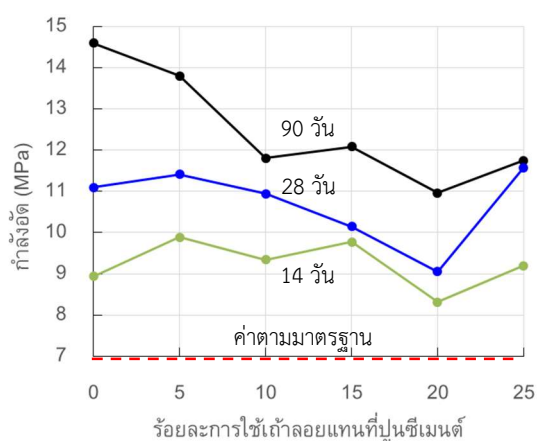
ตารางที่ 4 กำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกที่ใช้เฉพาะเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์

ส่วนผสม	กำลังอัดเฉลี่ย (MPa)		
	ที่ 14 วัน	ที่ 28 วัน	ที่ 90 วัน
1ก	8.9 (1.2)	11.1 (2.0)	14.6 (1.7)
2ก	9.9 (1.6)	11.4 (2.7)	13.8 (2.0)
3ก	9.3 (1.7)	10.9 (1.7)	11.8 (1.6)
4ก	9.8 (3.0)	10.1 (0.8)	12.1 (1.9)
5ก	8.3 (3.3)	9.1 (1.4)	11.0 (3.0)
6ก	9.2 (0.7)	11.6 (0.2)	11.8 (3.9)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บเป็นค่า COV

ในตารางที่ 4 แสดงค่า COV อยู่ในช่วงร้อยละ 0.2 ถึง 3.9 บ่งบอกว่ากำลังอัดมีความแปรปรวนไม่มาก (มาตรฐาน ASTM C109-02 [11] ให้กำลังอัดของมอร์ต้ามีค่า COV ไม่เกินร้อยละ 4) จากรูปที่ 4 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยกับกำลัง

อัดของบล็อกไม่ได้มีแนวโน้มที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามอายุของตัวอย่างและมีกำลังอัดมากกว่าค่าที่มาตรฐาน มผช. 602/2547 [2] กำหนดคือไม่น้อยกว่า 7 MPa ตั้งแต่อายุ 14 วันโดยมีกำลังอัดอยู่ในช่วง 8.3 ถึง 9.9 MPa ส่วนที่ 28 วันอยู่ในช่วง 9.1 ถึง 11.6 MPa และที่ 90 วันอยู่ในช่วง 11.0 ถึง 14.6 MPa ดังนั้นเมื่อพิจารณาในด้านความประหยัดการศึกษานี้จึงเลือกอัตราส่วนผสม 6ก ซึ่งใช้เถ้าลอยร้อยละ 25 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดและใช้ในการศึกษาต่อไปในส่วนที่สอง ซึ่งเมื่อทดสอบการดูดซึมน้ำและหน่วยน้ำหนักก็พบว่าเป็นไปตามที่มาตรฐาน มผช. 602/2547 [2] กำหนด โดยมีหน่วยน้ำหนัก $1,968 \text{ kg/m}^3$ และการดูดซึมน้ำ 193 kg/m^3 (มาตรฐานกำหนดให้ไม่เกิน 224 kg/m^3 สำหรับบล็อกหน่วยน้ำหนักระหว่าง $1,924$ ถึง $2,000 \text{ kg/m}^3$) และเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสม 1ก ที่ไม่ใช่เถ้าลอยก็มีการดูดซึมน้ำที่ตื้นเขินคือมีค่าลดลงร้อยละ 6.9 โดยมีหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 0.72



รูปที่ 4 กำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกที่ใช้เฉพาะเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์

3.2. ผลการทดสอบส่วนที่สอง

ด้วยการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 ทุกส่วนผสมในส่วนที่สอง ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้ากันเตาแทนที่ดินลูกรังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 5 สังเกตว่าอัตราส่วนผสม 6

ก และ 1ข แม้จะมีอัตราส่วนผสมของเถ้าเหมือนกันแต่ให้กำลังอัดต่างกันเนื่องจากการคำนวณส่วนผสมใช้สมมติฐานต่างกันตามหมายเหตุใต้ตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ในตารางที่ 5 แสดงค่า COV อยู่ในช่วงร้อยละ 0.4 ถึง 4.7 กำลังอัดจึงมีความแปรปรวนมากกว่าผลการทดสอบในส่วนแรกเล็กน้อย แต่จากรูปที่ 5 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ดินลูกรังด้วยเถ้ากันเตากับกำลังอัดของบล็อกมีแนวโน้มที่ค่อนข้างชัดเจนคือ กำลังอัดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มเถ้ากันเตาจนถึงค่าสูงสุด โดยค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่การใช้เถ้ากันเตาร้อยละ 20 หรือส่วนผสม 5ข ทุกอายุการทดสอบ และส่วนผสม 5ข ยังเป็นส่วนผสมเดียวที่ให้กำลังอัดมากกว่าที่มาตรฐานกำหนดตั้งแต่อายุ 14 วัน (ให้กำลังอัดที่อายุ 14 วัน 28 และ 90 เท่ากับ 7.0 9.0 และ 11.1 MPa ตามลำดับ) เมื่อทดสอบการดูดซึมน้ำและหน่วยน้ำหนักก็พบว่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด โดยมีหน่วยน้ำหนัก $1,766 \text{ kg/m}^3$ และการดูดซึมน้ำ 245 kg/m^3 (มาตรฐานกำหนดให้ไม่เกิน 256 kg/m^3 สำหรับบล็อกหน่วยน้ำหนักระหว่าง $1,761$ ถึง $1,840 \text{ kg/m}^3$) ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกอัตราส่วนผสม 5ข เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดเมื่อมีการใช้ทั้งสองเถ้า

ตารางที่ 5 กำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้ากันเตาแทนที่ดินลูกรัง

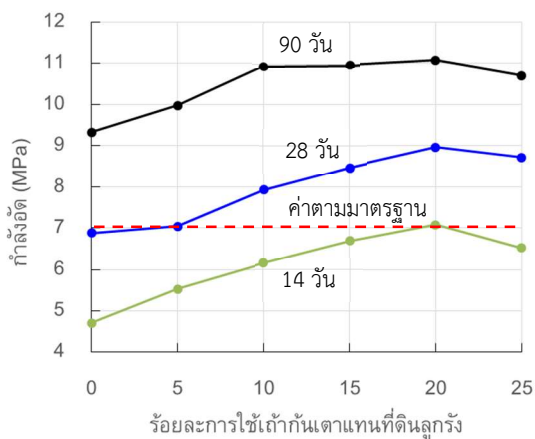
ส่วนผสม	กำลังอัดเฉลี่ย (MPa)		
	ที่ 14 วัน	ที่ 28 วัน	ที่ 90 วัน
1ข	4.7 (0.6)	6.9 (3.2)	9.3 (3.9)
2ข	5.5 (3.1)	7.0 (2.2)	10.0 (1.6)
3ข	6.2 (1.6)	7.9 (3.3)	10.9 (1.2)
4ข	6.7 (0.8)	8.5 (1.2)	11.0 (2.3)
5ข	7.0 (0.4)	9.0 (0.5)	11.1 (1.3)
6ข	6.5 (4.7)	8.7 (1.0)	10.7 (2.3)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บเป็นค่า COV

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนผสม 5ข กับ 1ข ที่ไม่ใช่เถ้ากันเตาพบว่าการดูดซึมน้ำแย่งลงคือมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ

31.7 การที่บล็อกที่ผสมเถ้ากันเตามีการดูดน้ำมากขึ้นก็เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเถ้ากันเตามีลักษณะค่อนข้างพรุนทำให้ดูดน้ำมากนั่นเอง

แม้จะไม่สามารถเปรียบเทียบอัตราส่วนผสม 5x กับ 6ก ได้โดยตรงเนื่องจากใช้สมมุติฐานต่างกันดังที่อธิบายไว้ข้างต้น แต่ถ้ามองในภาพรวมว่าอัตราส่วนผสม 6ก ซึ่งเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมในกรณีที่ใช้เถ้าลอยอย่างเดียว และอัตราส่วนผสม 5x ซึ่งเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมในกรณีที่ใช้ทั้งเถ้าลอยและเถ้ากันเตาพบว่า อัตราส่วนผสม 5x ให้บล็อกประสานที่มีหน่วยน้ำหนักลดลงร้อยละ 10.3 แต่มีการดูดซึมน้ำมากขึ้นร้อยละ 27.0 เมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสม 6ก



รูปที่ 5 กำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้ากันเตาแทนที่ดินลูกรัง

4. สรุปผล

จากการศึกษาการใช้เถ้าลอยและเถ้ากันเตาในการผลิตบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 [2] โดยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์และดินลูกรังตามลำดับที่ร้อยละ 0 5 10 15 20 และ 25 สำหรับอัตราผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรัง 1:7 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) กรณีใช้เถ้าลอยอย่างเดียว อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ ใช้เถ้าลอยร้อยละ 25 ของปูนซีเมนต์ให้บล็อกที่มีกำลังอัดที่อายุ 14 28 และ 90 วันเท่ากับ 9.2

11.6 และ 11.8 MPa ตามลำดับ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 193 kg/m^3 และมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ $1,968 \text{ kg/m}^3$

(2) กรณีใช้เถ้าลอยและเถ้ากันเตา อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ ใช้เถ้าลอยร้อยละ 25 ของปูนซีเมนต์และเถ้ากันเตาร้อยละ 20 ของดินลูกรัง ให้บล็อกที่มีกำลังอัดที่อายุ 14 28 และ 90 วันเท่ากับ 7.0 9.0 และ 11.1 MPa ตามลำดับ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 245 kg/m^3 และมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ $1,766 \text{ kg/m}^3$

เพื่อความมั่นใจในการใช้งานในระยะยาว ควรมีการศึกษาคุณสมบัติอื่นๆ ของบล็อกประสานที่ผสมเถ้าลอยและเถ้ากันเตาด้วย เช่น ความทนทาน และการนำความร้อน เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์บริการ งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2558 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วุฒินัย กกก้าแหง และพิชิต เจนบรรจง. *เอกสารประกอบการอบรม: การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ*. กรุงเทพฯ: ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, (2551).
- [2] กองบริหารมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. *มผช. 602 วัสดุบล็อกประสาน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, (2547).
- [3] ปริญญา จินดาประเสริฐ. *เถ้าลอยในงานคอนกรีต*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย, (2547).
- [4] P. Onprom, K. Chaimoon and R. Cheerarot, "Influence of bottom ash replacements as fine aggregate on the property of cellular concrete with various foam contents,"

- Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, pp. 1-11, 2015.
- [5] สำเร็จ สารมาคม. *การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2556).
- [6] สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ และ สุภชัย อิศรางกูร ณ อยุธยา. “การใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยเป็นวัสดุปอดโซลานสำหรับการปรับเสถียรและการหล่อแข็งภาคก่อนโครเมียมในรูปอิฐบล็อกประสานสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง”. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 25(6): 1072-1082, 2560.
- [7] ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด นาซิม อารี และ คาเดียร์ ฮัสเซน. “สมรรถนะของอิฐกลวงที่สร้างจากเถ้าลอยซีเมนต์และทราย”. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.* 41(1): 97-113, 2561.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. *มอก. 15 เล่ม 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, (2547).
- [9] American Society for Testing and Materials, “ASTM C618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete,” *ASTM International*, Philadelphia, USA, 2003.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. *มอก. 109 วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, (2517).
- [11] American Society for Testing and Materials, “ASTM C109/ C109M: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars,” *ASTM International*, Philadelphia, USA, 2002.