

การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ใช้เถ้าก้นเตา

ทดแทนมวลรวมละเอียด

A STUDY OF COMPRESSIVE STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETE WITH BOTTOM ASH AS PARTIALLY FINE AGGREGATE REPLACEMENT

จิรา ธรรมนิยม*, เอื้อบุญ ที่พึ่ง

Jira Tamniyom*, Ueaboon Teephung

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: jira.t@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 7 กันยายน 2564

วันที่แก้ไขบทความ 13 ธันวาคม 2564

วันที่ตอบรับบทความ 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดต่อกำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูง กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 โดยการใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดที่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 50 โดยปริมาตร และใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ ร้อยละ 0, 10 และ 30 โดยปริมาตร จากการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (ระยะเวลาการบ่มน้ำ 14 วัน) พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุมเมื่อใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดไม่เกินร้อยละ 30 โดยมีค่ากำลังอัดสูงสุด 514.8 kg/cm^2 และเมื่อใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน พบว่า การใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10 เท่านั้น ที่มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตมากกว่ากรณีไม่ใช้เถ้าลอย

คำสำคัญ: เถ้าก้นเตา, การบ่มภายใน, คอนกรีตกำลังอัดสูง

Abstract

This research aimed to study the effect of using bottom ash as fine aggregate in concrete towards the compressive strength of high strength concrete. The water binder ratio was 0.35. The replacement ratios of bottom ash as fine aggregate were 0%, 10%, 20%, 30%, and 50% by volume of fine aggregate. The replacement ratios of using fly ash as Portland Cement were 0%, 10%, and 30% by volume of cement. The results of the compressive strength test at 28 days (14 days curing in water) showed that the compressive strength was higher than that of the control concrete when the ratio of bottom ash was not exceeded 30%. It had a maximum compressive strength of 514.8 kg/cm². When fly ash was partially used to replace concrete, it showed that only 10% of fly ash as partial cement replacement had higher compressive strength than that of the control concrete.

Keywords: Bottom ash, Internal curing, High strength concrete

1. บทนำ

เถ้าถ่านหิน เป็นวัสดุผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าถ่านหินและเป็นของเหลือทิ้ง ปัจจุบันจากข้อมูลของโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีอัตราการเกิดของเถ้าถ่านหิน 10,000 ตัน/ปี ซึ่งแบ่งออกเป็นเถ้าลอย (Fly ash) ร้อยละ 60 และเถ้าก้นเตา (Bottom ash) ร้อยละ 40 ซึ่งในที่ยังไม่รวมปริมาณเถ้าก้นเตาที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าอื่นๆ ในประเทศไทย โดยปัจจุบันการใช้ประโยชน์ของเถ้าก้นเตาในงานคอนกรีตยังมีน้อยมาก เนื่องจากเถ้าก้นเตาลักษณะรูปร่างที่พรุน มีค่าการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูง ความพรุนของเถ้าก้นเตาเมื่อนำมาผสมคอนกรีต ความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดต่ำลง และหากเถ้าก้นเตาในคอนกรีตมีปริมาณมากเกินไปกำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าลดต่ำลงได้ อย่างไรก็ตามความพรุนของเถ้าก้นเตานั้นมีประโยชน์ในด้านความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water retainability) ในการผสมคอนกรีตเมื่อน้ำจากส่วนผสมถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันหมดแล้ว น้ำที่ถูกกักเก็บในเถ้าก้นเตาจะถูกปลดปล่อยออกมาใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่องเกิดการบ่มจากภายใน (Internal curing) ส่งผลให้สามารถพัฒนากำลังอัดคอนกรีตได้ต่อเนื่องยาวนานกว่า ซึ่งในคอนกรีตกำลังสูง (High strength concrete) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานค่อนข้างต่ำ ปริมาณน้ำในเนื้อคอนกรีตมีค่อนข้างน้อย หากไม่มีการบ่มที่ดีการพัฒนากำลังอัดอาจจะเกิดไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร การนำเถ้าก้นเตามาใช้ทดแทนมวลรวมละเอียดเพื่อให้เกิดการบ่มภายใน (Internal curing) นั้น อาจเป็นตัวช่วยหนึ่งที่จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อเนื่องยาวนาน คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีขึ้น

เถ้าลอย(Fly ash) เป็นวัสดุปอซโซลานที่ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ นิยมใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กและกลม จะช่วยลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต และเพิ่มความสามารถเทได้ (Workability) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเนื่องจากในคอนกรีตกำลังอัดสูงจะค่อนข้างแห้งมากมี อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำประมาณ 0.25-0.40 การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตกำลังอัดสูงจะช่วยลดการสลายเคมีส่วนเพิ่ม และยังช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตในระยะยาว

จากที่กล่าวมาข้างต้น การนำเถ้าก้นเตามาทดแทนมวลรวมละเอียดในงานคอนกรีตนั้น มีทั้ง ข้อดีและข้อเสีย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษากำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ใช้เถ้าก้นเตา ทดแทนมวลรวมละเอียดในปริมาณที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ ร่วมกับเถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียด เพื่อเป็นแนวทางในการนำเถ้าก้นเตาไปใช้ประโยชน์ในงาน คอนกรีตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปริมาณการใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีต กำลังอัดสูง โดยพิจารณาจากกำลังของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยในคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวม ละเอียด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง

3.1.2 เถ้าก้นเตาและเถ้าลอย จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง

3.1.3 มวลรวมหยาบ ขนาดโตสุด 1 นิ้ว

3.1.4 ทราชม่อน้ำ ค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายเท่ากับ 2.99

3.2 ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าก้นเตา

3.2.1 รูปร่างลักษณะของเถ้าก้นเตา

3.2.2 ทดสอบขนาดคละของเถ้าก้นเตาและค่าโมดูลัสความละเอียดของเถ้าก้นเตา ตาม มาตรฐาน ASTM C136 และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM C33-78

3.2.3 หน่วยน้ำหนักและค่าความถ่วงจำเพาะ ของเถ้าก้นเตา

3.2.4 ค่าการกักเก็บน้ำของเถ้าก้นเตา (Water retain ability) ของเถ้าก้นเตาโดยการ ทดลองนี้ จะทำตามขั้นตอนของ Kasemchaisiri & Tangtermsirikul (2007)

3.3 ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต (Mix design) กำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ที่ 0.35 เป็นตัวแทนของคอนกรีตกำลังอัดสูง ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ในคอนกรีตกำลังอัดสูงจะอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.40 (ปริญญญา, 2549) และใช้เหล็กเส้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 10, 20, 30 และ 50 โดยปริมาตร ใช้เหล็กหล่อทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 30 โดยปริมาตร

3.4 การเตรียมตัวอย่าง

3.4.1 มวลรวมละเอียด (ทราย) อยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง จะทำการปรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตตามสภาพความชื้นจริงขณะผสมคอนกรีต

3.4.2 มวลรวมละเอียด (เหล็กเส้นเตา) อยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง โดยจะนำเหล็กเส้นเตาไปอบให้อยู่ในสถานะแห้ง (Oven dry) 110 ± 5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเหล็กเส้นเตาใส่ถุงพลาสติกหนา เติมน้ำเท่ากับปริมาณค่าการกักเก็บ (Water retainability) ของเหล็กเส้นเตา คลุกเคล้าให้เข้ากันมัดปากถุงพลาสติกให้แน่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้งานจะทำการตรวจสอบปริมาณความชื้นของเหล็กเส้นเตาอีกครั้งเปรียบเทียบกับค่าการกักเก็บน้ำ และปรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต่อไป

3.4.3 มวลรวมหยาบ (หิน) อยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง โดยจะนำหินแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำขึ้นจากน้ำ เช็ดผิว ผึ่งให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

3.4.4 การผสมคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเหล็กเส้นเตา ในระหว่างการผสมอาจเกิดการกระแทกกันของ หิน ทราย เหล็กเส้นเตา จนทำให้เหล็กเส้นเตาที่มีความแข็งแรงต่ำแตกออกจากกัน น้ำที่ถูกกักเก็บภายในเหล็กเส้นเตาจะถูกปลดปล่อยออกมาขณะผสมคอนกรีต (สุพัฒน์ชัย และคณะ, 2555) ซึ่งสาเหตุดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ดังนั้นเพื่อให้ตัวอย่างคอนกรีตมีสม่ำเสมอ ในการผสมคอนกรีตจะทำการจับเวลาแต่ละขั้นตอนการผสมให้เท่ากันทุกอัตราส่วนผสม

3.4.5 การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump test) ตามมาตรฐาน ASTM C143

3.4.6 เก็บตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C192 โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. อัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง แกะออกจากแบบหล่อที่อายุ 1 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างบ่มในน้ำ 14 วัน และบ่มในอากาศต่อจนครบ 28 วัน

3.5 ทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C39

4. ผลการวิจัย

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าก้นเตา

4.1.1 รูปร่างลักษณะของเถ้าก้นเตา มีเหลี่ยมมุม พรุณ มีฟองอากาศเป็นจำนวนมาก มีความเปราะเมื่อมีแรงมากระแทกสามารถแตกหักได้

4.1.2 ขนาดคละของเถ้าก้นเตาที่ได้มาจากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะนั้น เมื่อนำมาทำการทดสอบปรากฏว่า ขนาดคละไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33-78 จึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ขนาดคละให้ได้ตามมาตรฐานก่อนนำไปทำการทดสอบอื่นๆ โดยเถ้าก้นเตาที่ใช้ในการทดสอบมีค่าโมดูลัสความละเอียดของเถ้าก้นเตา เท่ากับ 2.74

4.1.3 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดในสภาพแห้งที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าเท่ากับ $1,673 \text{ kg/m}^3$ และหน่วยน้ำหนักของเถ้าก้นเตาในสภาพแห้ง มีค่าเท่ากับ $1,037 \text{ kg/m}^3$ หน่วยน้ำหนักของเถ้าก้นเตามีค่าน้อยกว่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบร้อยละ 38 ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าก้นเตาในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 1.83

4.1.4 ค่าการกักเก็บน้ำ (Water retainability) ของเถ้าก้นเตา มีค่าเท่ากับร้อยละ 30.82

4.2 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

No.	Mix Id.	Portland Type I (kg.)	Fly ash (kg.)	High range water reducing (REOBUILD) mL	Water mL	Coarse Aggregate (kg.)	Fine Aggregate (kg.)	Bottom ash (kg.)
1	W35BA0R0	5.146	-	62	1,766	10.904	8.756	-
2	W35BA10R0	5.146	-	62	1,751	10.904	7.888	0.627
3	W35BA20R0	5.146	-	62	1,746	10.904	7.015	1.248
4	W35BA30R0	5.146	-	62	1,737	10.904	6.135	1.880
5	W35BA50R0	5.146	-	62	1,734	10.904	4.384	3.119
6	W35BA10R10	4.601	0.511	62	1,726	10.904	7.911	0.618
7	W35BA10R30	3.533	1.514	62	1,703	10.904	7.911	0.618
8	W35BA20R10	4.601	0.511	62	1,730	10.904	7.032	1.235
9	W35BA20R30	3.533	1.514	62	1,721	10.904	7.013	1.241

หมายเหตุ อักษรย่อ W35BA0R0 สามารถอธิบายได้ดังนี้

W35 หมายถึง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.35

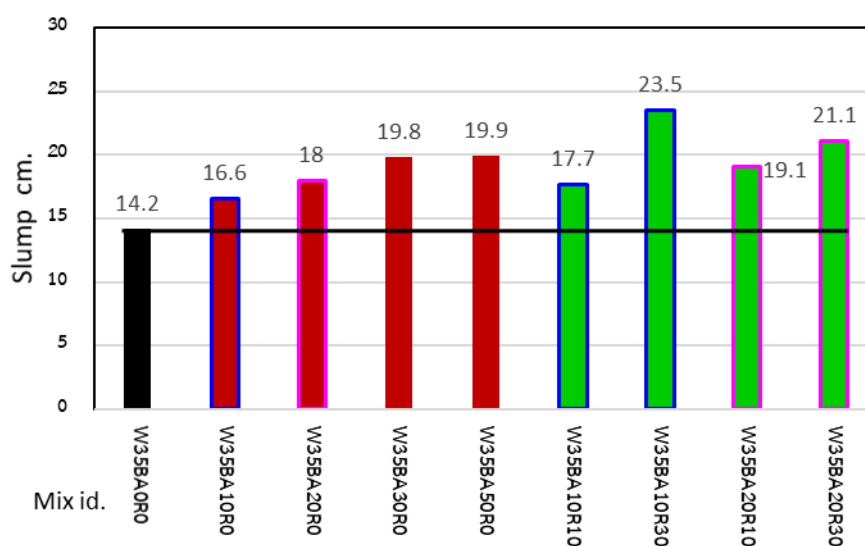
BA0 หมายถึง ปริมาณเถ้าก้นเตา ร้อยละ 0

R0 หมายถึง ปริมาณเถ้าลอย ร้อยละ 0

4.3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump test) ดังภาพที่1

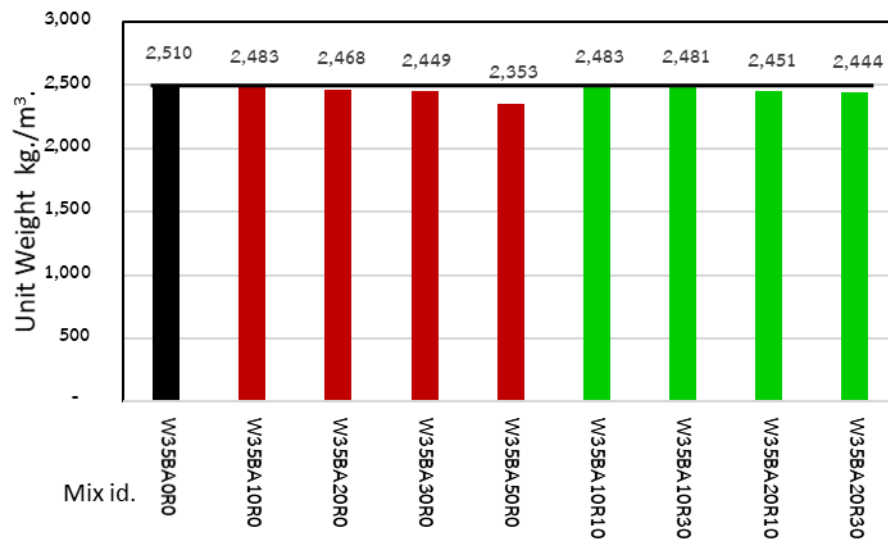
4.3.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีค่าเพิ่มมากขึ้นแปรผันตามปริมาณเถ้าก้นเตาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในขณะทำการผสมคอนกรีตอาจเกิดการกระทบกันของเถ้าก้นเตาซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (สุพัฒน์ชัย และคณะ, 2555; นัฐภรณ์ และคณะ, 2557) ทำให้น้ำที่ถูกกักเก็บภายในเถ้าก้นเตาไหลออกมา ปริมาณน้ำในคอนกรีตมีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้คอนกรีตมีความเหลวมากขึ้น

4.3.2 ตัวอย่างที่ใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ ผลปรากฏว่าอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีขนาดเล็กลักษณะเป็นเม็ดกลมผิวเรียบ จะช่วยเพิ่มความสามารถการเทได้ของคอนกรีต ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Antoni *et al.* (2015)



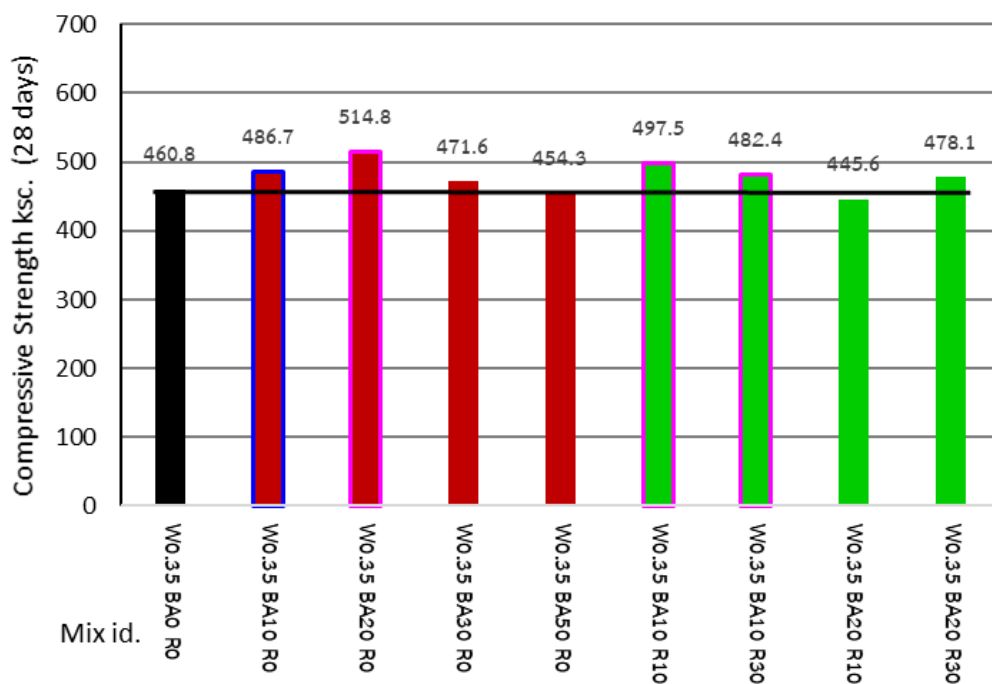
ภาพที่ 1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump test) ที่ใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียด (cm)

4.4 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ดังภาพที่ 2 พบว่า คอนกรีตที่ใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 10, 20, 30 และ 50 มีค่าหน่วยน้ำหนักลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตอ้างอิงร้อยละ 1.08, 1.67, 2.43 และ 6.25 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากเถ้าก้นเตามีหน่วยน้ำหนักเบา (Cadersa & Auckburally, 2014) และเมื่อใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์อนุภาคของเถ้าลอยมีขนาดเล็กสามารถแทรกซึมไปอุดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นมากขึ้นหน่วยน้ำหนักคอนกรีตจึงมีค่ามากขึ้น



ภาพที่ 2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่ใช้เล็กน้อยเตาทดแทนมวลรวมละเอียด (kg/m³).

4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน ดังภาพที่ 3 พบว่า คอนกรีตที่ใช้เล็กน้อยเตาทดแทนมวลรวมละเอียดที่ร้อยละ 20 และไม่ใช่เถ้าลอย (W0.35BA20R0) ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มเล็กน้อยเตาเป็นร้อยละ 30 กำลังอัดจะเริ่มลดลงและน้อยกว่าคอนกรีตอ้างอิงเมื่อใช้เล็กน้อยเตาร้อยละ 50



ภาพที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูง ที่ใช้เล็กน้อยเตาทดแทนมวลรวมละเอียด (ksc)

กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าก้นเตาร้อยละ 10 และใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ พบว่า การใช้เถ้าลอยไม่เกินร้อยละ 30 ยังคงให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตอ้างอิง แต่หากเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยและไม่ใช้เถ้าลอย พบว่า มีเพียงอัตราส่วนผสมเดียวที่ค่ากำลังอัดสูงขึ้นคือ ใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 10 และเถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 (W0.35BA10R10)

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการทดลองกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง ที่ใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียด สรุปผลได้ดังนี้

5.1 คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.35 เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังอัดโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตอ้างอิง สามารถใช้ปริมาณเถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดได้ไม่เกินร้อยละ 30 โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุด 514.8 kg/cm^2 เมื่อใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 20

5.2 คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.35 เมื่อใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 10 สามารถใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 30 ซึ่งมีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตอ้างอิง โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุด 497.5 kg/cm^2 เมื่อใช้เถ้าก้นเตาร้อยละ 10 และเถ้าลอยร้อยละ 10 การใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์จะช่วยเพิ่มความสามารถการเทได้ของคอนกรีต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชยานนท์ หารรรษภิญโญ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้เป็นแรงบันดาลใจและกระตุ้นให้ข้าพเจ้าทำวิจัยเสมอมา

7. เอกสารอ้างอิง

ณัฐกรณ์ ดีสูงเนิน, รวิศรา แก้ววิเชียร, ศรันยู หทัยพิชิตชัย, สรัณกร เหมะวิบูลย์, สนธยา ทองอรุณศรี และ สมนึก ตังเต็มสิริกุล. (2556). ผลของการใช้เถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดต่อสมบัติด้านกำลังของคอนกรีต. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ.

ปริญญญา จินดาประเสริฐ, และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2549). ปูนซีเมนต์ ปอชโซลาน และคอนกรีต (พิมพ์ครั้งที่ 3). ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุพัฒน์ชัย ใจช่วย, สรณกร เหมะวิบูลย์, สนธยา ทองอรุณศรี, พงษ์ศักดิ์ โชคทวีกาญจน์ และ สมนึก ตั้งเดิมสิริกุล. (2555). ผลของการกักเก็บน้ำของเถ้าก้นเตาต่อการหดตัวของคอนกรีต. **การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 8**, ชลบุรี.

Cheng, A. (2012). Effect of incinerator bottom ash properties on mechanical and pore size of blended cement mortars. **Materials and design**, 36, 859-864.

Antoni, C., Lucky, C, & Djwantoro, H. (2015). The impact of using fly ash, silica fume and calcium carbonate on the workability and compressive strength of mortar. **Procedia Engineering**, 125, 773-779.

Cadersa, A. S., & Auckburally, I. (2014). Use of unprocessed coal bottom ash as partial fine aggregate replacement in concrete. *University of Mauritius Research Journal*, 20, 62-84.

Kasemchaisiri, R., & Tangtermsirikul, S. (2007). A Method to determine water retainability of fine porous aggregate for design and quality control of fresh concrete. **Journal of Construction and Building Materials**, 21, 1322-34

Andrade, L.B., Rocha, J.C., & Cheriaf, M. (2009). Influence of coal bottom ash as fine aggregate on fresh properties of concrete. **Construction and Building Materials**. 23: 609-614.