ผลกระทบของการใช้เถ้าถ่านหิน ทรายบดละเอียด ตะกอนน้ำประปา แทนที่ในปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีนัส ของคอนกรีต
The Effect of Using Fly Ash, Ground Sand and Water Supply Excess Sludge as Replacement Portland Cement Due to Compressive Strergth Drying Shrinkage and Autogenous Shrinkage of Concrete

ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต[1*] ศิวกร อ่างทอง[2] พนมศักดิ์ คงจีน[3]
jatuphon_t@rmutt.ac.th[1*], sivakorn.a@en.rmutt.ac.th[2], panomsak_sak@hotmail.com[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ เถ้าถ่านหิน ทรายบด และ ตะกอนน้ำประปา ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต โดยใช้การแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้วัสดุแทนที่ให้มีขนาดเท่ากับปูนซีเมนต์ เพื่อลดผลกระทบจากขนาดอนุภาค ทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร ที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน สำหรับ การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีนัส ใช้ตัวอย่างขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร บ่มในอากาศ บ่มน้ำ และหุ้มพลาสติก จากผลการทดสอบพบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีผลให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตช่วงอายุต้นน้อยกว่าคอนกรีตปกติ แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นและมีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตปกติ คอนกรีตที่ใช้ทรายบดละเอียดและตะกอนน้ำประปาแทนที่ในปูนซีเมนต์จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ โดยในช่วงอายุต้นกำลังอัดของคอนกรีตตะกอนน้ำประปาจะสูงกว่าของทรายบด การหดตัวแบบแห้งและการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีการหดตัวลดลง แต่การใช้ทรายบดละเอียด และตะกอนน้ำประปามีผลต่อการหดตัวที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามการแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 มีการหดตัวน้อยที่สุด และ การบ่มในน้ำจะทำให้การหดตัวของคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยที่สุด

คำสำคัญ: การหดตัวแบบแห้ง, การหดตัวแบบออโตจีนัส, เถ้าถ่านหิน, ทรายบดละเอียด, ตะกอนประปา

[*] Corresponding auther
[1] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[3] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ABSTRACT

This research aim to study the effects of using fly ash. Ground sand, water supply excess sluge were used to partially replace in Portland cement type I due to compressive strength, drying shrinkage and autogenus shrinkage. Each materials were used to replace Portland cement in the ratios of 10 and 20 percent Due to aviod the effect of particle size of materials, fly ash. Ground sand, water supply excess sluge have the same particle size as Portland cement. The compressive of concrete 15 x 15 x 15 cm. were determined at age of 7, 14, 28 and 60 days. Both of drying shrinkage, autogenous shrinkage were used 7.5 x 7.5 x 28.5 cm. in air, water and plastic curing. From the results it was found that the compressive strength of concrete containing fly ash at early age was lower strength than normal concrete. At later age the compressive of concrete containing fly ash was better than normal concrete. For compressive of concrete containing sandy ground and water supply excess sluge were lower than normal concrete. For drying shrinkage and autogenus shrinkage was decreased by using fly ash replacement level. But concretes containing ground sand and water supply excess sluge had more shrinkage than normal concrete. Moreover, autogenous and total shrinkage of concrete were reduced by using fly ash with water curing.

Keywords: drying shrinkage, autogenous shrinkage, fly ash, ground sand, water supply excess sludge

บทนำ

ปัจจุบันโครงสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่เห็นอยู่ทั่วไป เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนใหญ่ การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีความสามารถในการรับแรงต้านทานแรงอัดกำลังตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งความสามารถในการรับกำลังและความคงทนของคอนกรีตได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบหลายอย่าง เช่น การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต อัตราส่วนผสม และน้ำที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีต ตลอดจนการบ่มคอนกรีต ซึ่งการบ่มที่ไม่ดีจะมีผลต่อการรับกำลังของคอนกรีต และยังจะทำให้ความทนทานสามารถในการรับแรงและอายุการใช้งานของโครงสร้างลดลง [1]

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น และเพื่อลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต รวมถึงการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ รวมถึงอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในปัจจุบัน จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีต โดยจากงานวิจัย ที่ผ่านมาพบว่า เถ้าถ่านหินมีคุณสมบัติที่ดีในการนำมาใช้ในงานคอนกรีต อีกทั้งยังมีปริมาณที่มากและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่จากปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมีปัญหามากขึ้น เนื่องจากไม่สามารถหาที่ทิ้งได้ โดยเฉพาะตะกอนน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำประปาก็ประสพปัญหานี้เช่นกัน แต่จากการศึกษาที่ผ่าน ๆ มายังไม่สามารถนำตะกอน

น้ำประปาไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมายังมีปริมาณไม่มากพอที่จะเป็นข้อมูลในการนำตะกอนน้ำประปาไปใช้งาน ซึ่งจากคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนน้ำประปา [2] มีลักษณะละเอียดเป็นทรายปนดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการหดตัวของคอนกรีตได้เมื่อนำไปใช้งาน อีกทั้งยังไม่ได้มีข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาถึงผลกระทบของการใช้ตะกอนน้ำประปาเกี่ยวกับการหดตัวของคอนกรีต โดยปริมาณการใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ20 จะไม่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดที่ลดลงมากนัก [3]

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าถ่านหิน ทรายแม่น้ำบดละเอียด และ ตะกอนน้ำประปา ที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับปูนซีเมนต์เพื่อไม่ให้มีผลกระทบของขนาดอนุภาคที่ต่างกัน [4] ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีนัส ซึ่งในที่นี้ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการใช้เถ้า-ถ่านหิน ทรายแม่น้ำ ตะกอนน้ำประปา ที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีนัส โดยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน

3. วัสดุและการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- ทรายแม่น้ำบดละเอียด
- ตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน กรุงเทพฯ
- มวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C33 [5] มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.12 และความถ่วง จำเพาะเท่ากับ 2.65
- มวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C33 [5] มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 7.35 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71

3.2 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทำวิจัย

วิธีการผสมและเตรียมตัวอย่างคอนกรีต โดยวัสดุที่ใช้คือ เถ้าถ่านหิน ทรายแม่น้ำ และตะกอนน้ำประปา นำมาบดให้ละเอียด โดยมีน้ำหนักค้างร้อยละ 13.5 บนตะแกรงเบอร์ 325 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยเถ้าถ่านหินบดมีขนาดน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 13.2 ทรายแม่น้ำบดมีขนาดน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 13.4 และ ตะกอนประปาบดมีขนาดน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 13.7 นำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักออกแบบกำลังอัดประลัยที่ 240 กก/ซม^2 และค่าการยุบตัวที่ 7±2.5 เซ็นติเมตร.

3.2.1 ใช้แบบหล่อขนาด 15 x 15 x 15 เซ็นติเมตร ในรูปที่ 1 และขนาด 7.50 x 7.50 x 28.50 เซ็นติเมตร ในรูปที่ 2 สำหรับการหล่อคอนกรีต เมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำแท่งคอนกรีตตัวอย่างไปบ่มในน้ำ

3.2.2 ตัวอย่างขนาด 15 x 15 x 15 เซ็นติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7, 14, 28, 60 วัน

3.2.3 ตัวอย่างขนาด 7.50 x 7.50 x 28.50 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างบ่มในอากาศ, บ่มน้ำ และหุ้มพลาสติก สำหรับการวัดหาการหดตัวของแท่งคอนกรีตช่วงอายุ 1 ถึง 60 วัน

3.2.4 บันทึกข้อมูลและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบหาผลกระทบต่อการรับกำลังอัดของคอนกรีต การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีนัส

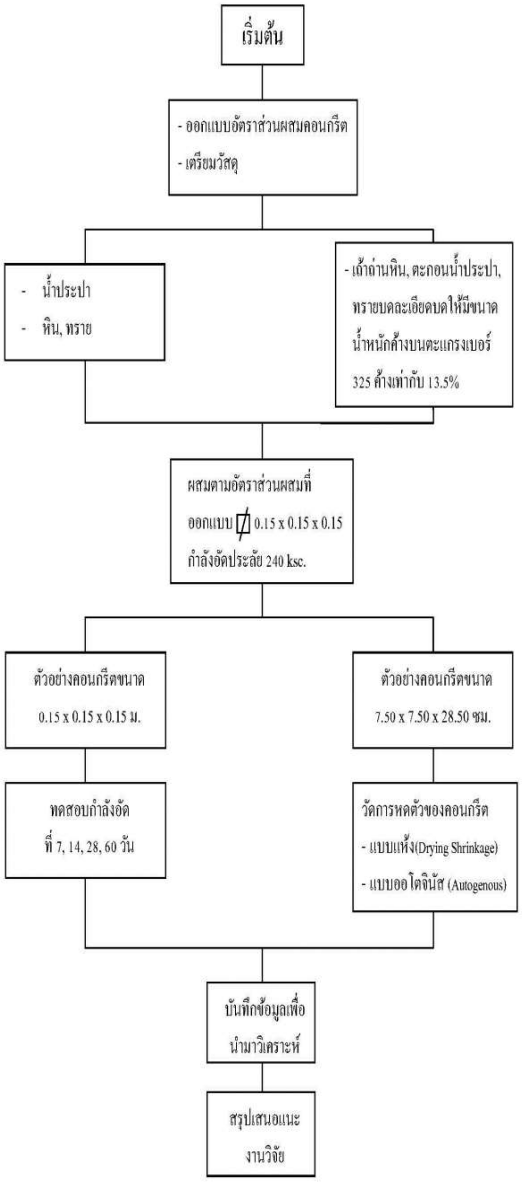
รูปที่ 1 แบบหล่อคอนกรีต
ขนาด 7.50 x 7.50 x 28.50 เซนติเมตร

รูปที่ 2 แบบหล่อคอนกรีต
ขนาด 15 x 15 x 15 เซ็นติเมตร

3.3 วิธีการทดสอบกำลังอัดและการหดตัวของคอนกรีต

3.3.1 การทดสอบหากำลังอัดคอนกรีต ขนาด 15 x 15 x 15 เซ็นติเมตร. ที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน

3.3.2 การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง โดยประยุกต์ใช้จากมาตรฐาน ASTM C596 [6] ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีต ขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซ็นติเมตร. โดยถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำ 7 วัน อุณหภูมิในระหว่างการบ่มเท่ากับ 30±2 องศาเซลเซียส เมื่อเสร็จสิ้นการบ่มในน้ำ นำชิ้นตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้า หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐาน ซึ่งค่าที่ได้จะใช้เป็นค่าความยาวเริ่มต้น เมื่อวัดค่าความยาวแล้วนำชิ้นตัวอย่างบ่มในอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ย 30±2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐาน อายุการบ่มในอากาศ ช่วงอายุ 7 ถึง 60 วัน เพื่อหาค่าร้อยละของการหดตัวแบบแห้งที่อายุบ่ม และค่าที่วัดได้ในช่วงอายุต่าง ๆ กันจะนำไปคำนวณค่าร้อยละของการหดตัวแบบแห้ง



รูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนการทำวิจัย

3.3.3 การทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัส โดยทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาดขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5เซ็นติเมตร โดยถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง หลังจากถอดแบบแล้ววัดความยาวเริ่มต้น ตัวอย่างจะมีอายุที่ 1 วัน แล้วทำการบ่มด้วยการหุ้มพลาสติก ช่วงอายุ 1 ถึง 60 วัน และเก็บในห้องบ่ม เริ่มวัดการหดตัวตามวิธีประยุกต์จากมาตรฐานเดียวกับที่ใช้ในการวัดการหดตัวแบบแห้ง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

สัญลักษณ์	อัตราส่วนผสม 1 ลบม. (กก)				
	ปูน ซีเมนต์	วัสดุ แทนที่	น้ำ	ทราย	หิน
CEM	327.00	-	180	785	1,134
FAMM 10	294.30	32.70	180	785	1,134
FAMM 20	261.60	65.40	180	785	1,134
SAN 10	294.30	32.70	180	785	1,134
SAN 20	261.60	65.40	180	785	1,134
WSS 10	294.30	32.70	180	785	1,134
WSS 20	261.60	65.40	180	785	1,134

ความหมายสัญลักษณ์

CEM หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
FAMM หมายถึง เถ้าถ่านหินแม่เมาะ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
SAN หมายถึง ทรายแม่น้ำบดละเอียด
WSS หมายถึง ตะกอนน้ำประปา จากโรงผลิตประปาบางเขน
10, 20 หมายถึง วัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20
DS1 หมายถึง วิธีบ่มในอากาศ
DS2 หมายถึง วิธีบ่มในน้ำ
AS1 หมายถึง วิธีหุ้มพลาสติก

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กำลังรับแรงอัด

จากผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามตารางที่ 2 และรูปที่ 4 พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน CEM มีการพัฒนากำลังมากขึ้นตามอายุที่มากขึ้น โดยช่วงอายุ 14 วันแรกจะมีการพัฒนากำลังที่เร็ว แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีการพัฒนากำลังช้าลง ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีต แต่เมื่อมีการแทนที่เถ้าถ่านหินในปูนซีเมนต์ จะพบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงอายุต้นจะมีการพัฒนาน้อยกว่าตัวอย่างของคอนกรีต CEM แต่ช่วงอายุปลายจะมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM โดยตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 ที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 312 กก/ซม.^{2} มีค่ามากกว่าของตัวอย่างคอนกรีตธรรมดา CEM ที่มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 288 กก/ซม.^{2} ซึ่ง FAMM 10 มีค่าสูงกว่าเท่ากับ 24 กก/ซม.^{2} สำหรับตัวอย่างคอนกรีต FAMM 20 พบว่ามีกำลังรับแรงอัดมีทิศทางเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 แต่มีค่ากำลังอัดต่ำกว่าตัวอย่าง FAMM 10 โดยที่อายุ 60 วัน ค่ากำลังอัดของตัวอย่าง FAMM 20 มีค่าสูงกว่าตัวอย่าง CEM เท่ากับ 8 กก/ซม.^{2}

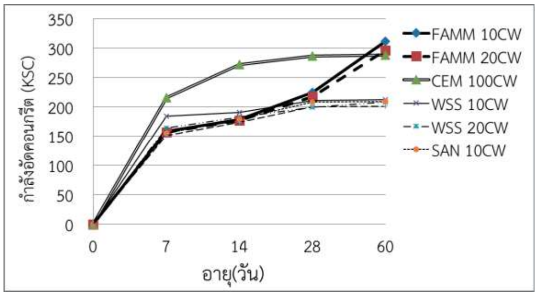
สำหรับการใช้ทรายบด ซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี [4] พบว่า เมื่อมีการแทนที่ทรายบดในปูนซีเมนต์ จะมีผลต่อกำลัง

อัดที่ลดลงเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงโดยการแทนที่มากขึ้น กำลังอัดก็จะลดลงมากขึ้น ซึ่งสังเกตุเห็นได้จากกราฟที่แสดงค่ากำลังอัดในรูปที่ 4 ของตัวอย่าง SAN 10 และ SAN 20 การแทนที่ในปูนซีเมนต์ด้วยทรายบดละเอียดร้อยละ 10 ของตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 พบว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดทุกช่วงอายุ มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM แต่มีการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นตามอายุที่มากขึ้นเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต CEM สำหรับตัวอย่างคอนกรีต SAN 20 พบว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดมีทิศทางเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 สำหรับตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ ด้วยตะกอนน้ำประปา WSS 10 ร้อยละ 10 พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงอัดช่วงอายุต้น และอายุปลายมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM และตัวอย่างคอนกรีต WSS 20 ก็มีทิศทางการพัฒนาการรับกำลังแรงอัดเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต WSS 10 แต่มีค่าน้อยกว่า

นอกจากนี้ผลการทดสอบแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังอัดของเถ้าถ่านหินได้อย่างชัดเจน จากกราฟของตัวอย่างที่มีการแทนที่ร้อยละ 10 ของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 และ SAN 10 ซึ่งในช่วงอายุ 14 วันแรก ค่ากำลังอัดไม่มีความแตกต่างกัน แสดงได้ว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 ได้มาจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น จากข้อมูลที่อายุ 28 และ 60 วัน พบว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 มีค่ามากกว่ากำลังอัดของตัวอย่าง SAN 10 ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน และเมื่ออายุมากขึ้นก็จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จตุพล [7] ที่แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังของปฏิกิริยาปอซโซลาน โดยเมื่ออายุมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานก็จะมากขึ้นด้วยเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีต WSS 10 และ WSS 20 พบว่าทิศทางการพัฒนากำลังอัดก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 และ SAN 20 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนน้ำประปาไม่ทำปฏิกิริยาปอซโซลานเหมือนกับทรายบดละเอียด

ตางรางที่ 2 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีต	กำลังอัดคอนกรีต (KSC)			
	7	14	28	60
CEM	215	272	287	288
FAMM 10	158	178	225	312
FAMM 20	157	177	217	296
SAN 10	155	179	208	209
SAN 20	152	173	201	201
WSS 10	184	190	210	212
WSS 20	164	183	199	209



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตกับเวลาที่ทดสอบ

4.2 การหดตัวของคอนกรีต

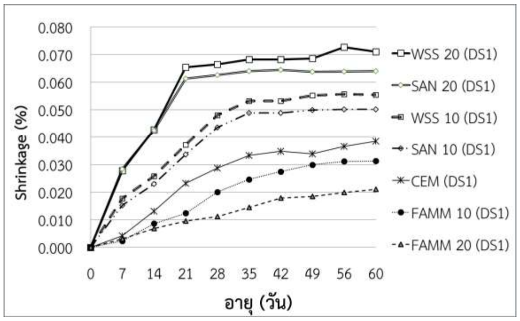
4.2.1 จากผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต ในสภาพบ่มในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5 ตัวอย่างคอนกรีต CEM จะมีการหดตัวมากในช่วงอายุ 28 วันแรก แต่เมื่ออายุมากกว่า 28 วัน จะมีทิศทางการหดตัวที่มีอัตรา

น้อยลง แต่เมื่อมีการใช้ทรายบดที่มีขนาดเท่ากับขนาดของปูนซีเมนต์ จะพบว่าการหดตัวมีค่ามากกว่าคอนกรีต CEM ทั้งการแทนที่ทรายบดในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 โดยในช่วงอายุ 28 วันแรก จะมีการหดตัวที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ใช้ทรายบดแทนที่ในปูนซีเมนต์ จึงมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมน้อยกว่าคอนกรีต CEM จึงมีน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามากกว่า และน้ำส่วนเกินนี้ก็จะระเหยออกไปสู่ภายนอกได้มากกว่า อีกทั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นน้อยกว่าก็มีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีต ทำให้เกิดการหดตัวที่สูงกว่า แต่เมื่ออายุของตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 และ SAN 20 มากกว่า 28 วันขึ้นไป ก็จะมีอัตราการหดตัวที่น้อย สำหรับตัวอย่าง WSS 10 และ WSS 20 ซึ่งใช้ตะกอนน้ำประปาแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ พบว่าทิศทางการหดตัวจะมีทิศทางไปในทางเดียวกันกับตัวอย่าง SAN 10 และ SAN 20

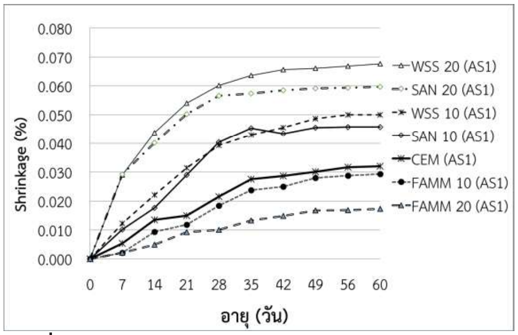
สำหรับการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ จะพบว่าทิศทางของการหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตมีทิศทางการหดตัวที่น้อยลงเมื่อมีการใช้ปริมาณเถ้าถ่านหินที่มากขึ้นจากคอนกรีต FAMM 10 เป็น FAMM 20 ซึ่งใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในช่วงอายุ 14 วันแรก ปริมาณการแทนที่ในปูนซีเมนต์จะยังไม่เห็นผลต่างกันมาก ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตเกิดการสูญเสียน้ำอิสระตลอดเวลาและปฏิกิริยาปอซโซลานยังเกิดเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเถ้าถ่านหินที่ใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาปอซโซลานมากขึ้นก็ช่วยในการหดตัวของคอนกรีตให้น้อยลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของปิติศานต์ [8] ที่พบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์มีผลทำให้การหดตัวในคอนกรีตลดลง

4.2.2 การทดสอบการหดตัวของคอนกรีต แบบออโตจีนัส โดยวิธีหุ้มพลาสติก จากการพิจารณาการหดตัวของตัวอย่าง FAMM 10 และ FAMM 20 ดังรูปที่ 6 มีค่าการหดตัวต่ำ และตัวอย่างคอนกรีต WSS 20 และ SAN 20 จะมีค่าการหดตัวสูง และพบว่าตัวอย่างที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณมาก ยิ่งทำให้การหดตัวแบบออโตจีนัสลดลง การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณมากขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำอิสระให้แก่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มากขึ้น เนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสเป็นผลจากการใช้น้ำในกระบวนการของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งหมายความว่าหากมีปริมาณน้ำอิสระมากจะสามารถลดการหดตัวได้ยิ่งขึ้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ของเถ้าถ่านหินช้ากว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีต CEM ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดในระยะยาว แต่ซีเมนต์เพลสก็มีความแข็งแรงมากขึ้นในระยะยาว ซึ่งทนต่อการหดตัว

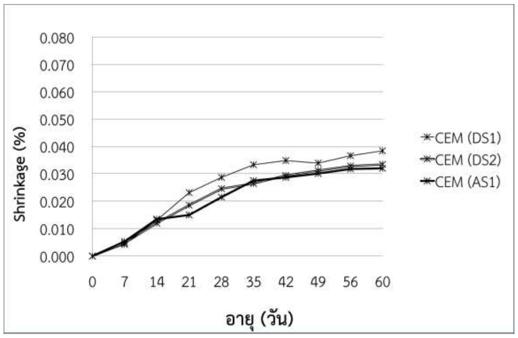
4.2.3 การทดสอบการหดตัวรวม โดยวิธีบ่มในอากาศ บ่มในน้ำ และหุ้มพลาสติก จะพบว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM ในรูปที่ 7 ด้วยวิธีการบ่มในอากาศจะมีค่าการหดตัวมากที่สุดเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดสำหรับการบ่มในน้ำจะมีค่าการหดตัวน้อยที่สุด และการหุ้มพลาสติกจะมีค่าการหดตัวที่มากกว่าการบ่มในน้ำเล็กน้อยแต่เมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ของตัวอย่างคอนกรีต FAMM10 และ FAMM20 ซึ่งพบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินแทนที่ร้อยละ 10 ตัวอย่างFAMM10 การบ่มในน้ำจะมีการหดตัวน้อยที่สุด และ การบ่มในอากาศจะมีค่ามากที่สุด ในรูปที่ 8 ซึ่งมีค่าการหดตัวไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่าง CEM



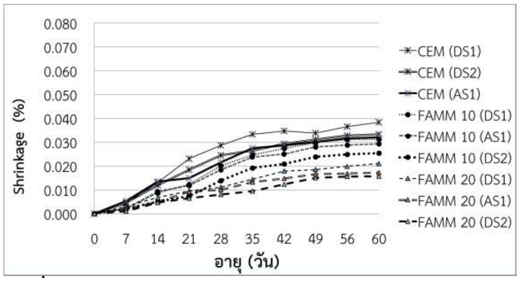
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่แทนที่ด้วย เถ้าถ่านหิน ทรายบดละเอียด และตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีบ่มในอากาศ



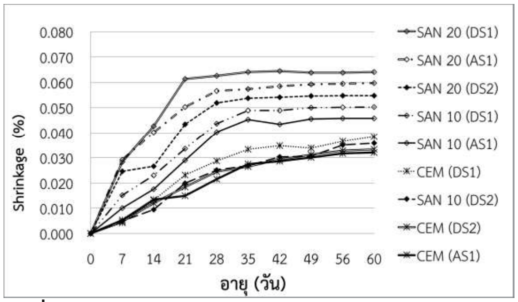
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตที่แทนที่ด้วย เถ้าถ่านหิน ทรายบดละเอียด และตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีหุ้มพลาสติก



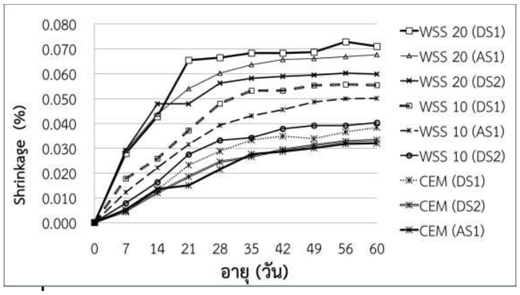
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตบ่มโดยวิธีในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหิน ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยทรายบดละเอียด ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีบ่มในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก

สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินแทนที่ร้อยะ 20 ตัวอย่าง FAMM20 ก็มีทิศทางไปในทางเดียวกันคือการบ่มในน้ำจะมีผลทำให้ค่าการหดตัวน้อยกว่าการบ่มด้วยวิธีอื่น ซึ่งผลการหดตัวรวมทั้งหมดของทั้ง 2 กรณีจะมีลักษณะเดียวกัน คือ คอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ จะมีการหดตัวรวมทั้งหมดจะมีค่าน้อยที่สุด และการแทนที่ที่มากขึ้นของเถ้าถ่านหินมีผลทำให้การหดตัวรวมลดลงมากขึ้น ซึ่งการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาปอชโซลาน ซึ่งช่วยในการหดตัวของคอนกรีต ซึ่งมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการหดตัวแบบแห้งและแบบออโตจีนัส

5. บทสรุป

จากการทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปข้อมูลในการพัฒนาคุณภาพคอนกรีตให้มีคุณสมบัติเหมาะสม และมีความทนทานสามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ดังนี้

5.1 การรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต พบว่าตัวอย่างคอนกรีตล้วน จะมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดช่วงอายุ 14 วัน ได้เร็วและจะมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดช้าลงเมื่ออายุของตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่พบว่าตัวอย่างคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน ร้อยละ 10 และ 20 มีทิศทางการพัฒนากำลังรับแรงอัดช่วงอายุ 14 วันช้า และเมื่ออายุของตัวอย่างคอนกรีตมากขึ้นจะมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามลำดับ สำหรับตัวอย่างคอนกรีตทรายบดละเอียดและตะกอนน้ำประปา มีการพัฒนาการรับกำลังรับแรงอัดได้น้อยในช่วงอายุเท่ากัน เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเถ้าถ่านหิน

5.2 การหดตัวของตัวอย่างคอนกรีต พบว่าการหดตัวแบบแห้ง ช่วงอายุ 14 วัน จะมีการหดตัวสูง และเมื่ออายุมากกว่า 28 วันขึ้นไป การหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตมีการหดตัวน้อยลง และตัวอย่างคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน ร้อยละ 20 จะมีการหดตัวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการหดตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์, ทรายบดละเอียด, ตะกอนน้ำประปา ผลมาจากวัสดุดังกล่าวไม่ทำปฏิกิริยาปอชโซลาน ไม่ได้ช่วยเป็นวัสดุประสานและแทนที่ปูนซีเมนต์ มีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต เมื่อเทียบกับการหดตัวแบบออโตจีนัสของตัวอย่างคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 มีทิศทางการหดตัวน้อยลงเหมือนกับการหดตัวแบบแห้ง แต่การหดตัวแบบแห้งจะมีค่าการหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตมากกว่าการหดตัวแบบออโตจีนัส เนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตยังมีการสูญเสียของน้ำอิสระสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว และตลอดเวลาถึงอายุจะมากขึ้น แต่การทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมีผลต่อการหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตช้ากว่าและน้อยลงในช่วงเวลาเท่ากัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณประจำปี 2558 งานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศ.ดร.ปริญญา จินตประเสริฐ, ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต.** กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.).

[2] นายจิตรกร วงศ์กรชวลิต, 2544. **คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา และนำไปใช้ในงานเป็นวัสดุปอซโซแลนในงานคอนกรีต.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์

[3] จตุพล ตั้งปกาศิต, แสวง ทรงหมู่, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล, 2548. "การศึกษาค่าดัชนีกำลังของ มอร์ตาร์ที่เกิดจากไฮเดรชันการอัดตัวอนุภาคและปฏิกิริยาปอซโซลาน ของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และเถ้าปาล์มน้ำมัน," วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2548, หน้า 465 ถึง 475.

[4] นายจตุพล ตั้งปกาศิต และคณะ. (2549). **กำลังอัดของอนุภาคต่อค่าดัชนีกำลังของมอร์ต้าร์ ตามมาตรฐาน ASTM C618 โดยใช้ทรายแม่น้ำบดละเอียด.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] American Sociedy for Testing and Material, **Annual Book of ASTM C33 Standard,** V 04.02, Easton, Md., USA., 2001.

[6] American Society for Testing and Material, **Annual Book of ASTM C596 Standard,** V 04.02, Easton, Md., USA., 2001.

[7] จตุพล ตั้งปกาศิต, "การศึกษาค่าดัชนีกำลังและผลของขนาดเถ้าถ่านหินแม่เมาะที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต, ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ.2541.

[8] ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร. (2553). **คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินและผงหินปูน.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งบประมาณประจำปี2553.