



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

นวัตกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง

The Innovation of Cellular Lightweight Concrete with Waste Materials

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. วัลลภ ภูผา

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. 2557

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

นวัตกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง

The Innovation of Cellular Lightweight Concrete with Waste Materials

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. วัลลภ ภูผา

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ศ.ดร. ปริญญญา จินดาประเสริฐ

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. 2557

บทคัดย่องานวิจัย

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) นวัตกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง

(ภาษาอังกฤษ) The Innovation of Cellular Lightweight Concrete with Waste Materials

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปี 2557 จำนวนเงิน 449,800 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กันยายน 2556 ถึง กันยายน 2557

ชื่อผู้วิจัย

ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน¹

ผศ.ดร. วรลภ ภูผา²

ศ. ดร. ปริญญ์ จินดาประเสริฐ³ (ที่ปรึกษาโครงการวิจัย)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการอัด กำลังตั้งแยก กำลังตัด และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยเถ้านหิน และเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 0, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การทดสอบแสดงให้เห็นว่า เถ้านหินและเถ้าชานอ้อยสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนโดยให้กำลังอัด กำลังตัด กำลังตั้งแยกสูงและการดูดซึมน้ำต่ำ วัสดุปอชโซลานสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในปริมาณร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน นอกจากนี้ การทดสอบพบว่า เถ้านหิน และเถ้าชานอ้อยใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้ค่ากำลังอัด กำลังตั้งแยก กำลังตัด และการดูดซึมน้ำในทางที่ดี

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า, เถ้าชานอ้อย, เถ้านหิน

Abstract

This research presents a study of the compressive strength, tensile strength, flexural strength and water absorption of Cellular Lightweight Concrete containing fine fly ash and ground bagasse ash. Portland cement (CT) is partially replaced with pozzolans 20, 30 and 40% by weight of the cementitious materials. The results show that the compressive strength, tensile strength, flexural strength and low water absorption of Cellular Lightweight Concrete improves substantially with partial replacement of Portland cement with fly ash and bagasse ash. Cellular Lightweight Concrete mix cement containing 20 and 30% of pozzolans can be used to make cementitious materials. In addition, the use of fly ash and ground bagasse ash produces Cellular Lightweight Concrete mix with good compressive strength, tensile strength, flexural strength and water absorption.

Keywords: Bagasse ash, Cellular Lightweight Concrete, Fly ash

¹ ปริญาเอก วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ

โทร. 0879454133 rereng197@rmutp.ac.th, sumrereng.r@rmutp.ac.th

² ปริญาเอก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ

³ ที่ปรึกษาโครงการ

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น โทร. 043 202 846

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อุดหนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้อ่าน ให้ความรู้ แนวทางการเขียนโครงการ ตลอดจนการชี้แนะถึงวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขณะเขียนโครงการวิจัย จนทำให้มีความรู้ประสบการณ์เพิ่มขึ้นอย่างมาก และประสบความสำเร็จในระยะเวลาต่อมา คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ ที่ให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความสะดวกและดูแลในด้านเอกสารของงานวิจัยทั้งหมดเป็นอย่างดี ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยอย่างเรียบร้อย ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในการช่วยเหลือด้านเครื่องมือทดสอบ ขอขอบคุณผู้สนับสนุนวัสดุทดสอบที่ปรากฏในวิธีการดำเนินการ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนวัสดุทดสอบ และสถานที่สำหรับงานวิจัย ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก ขอขอบคุณ คุณนัยนา เทียงภักดี ผู้ช่วยวิจัย และผู้ช่วยทุกท่าน ในการจัดเตรียมวัสดุสำหรับทดสอบตั้งแต่ต้นจนแล้วเสร็จ

ผศ. ดร. สำเริง รักซ้อน

ผศ.ดร. วัลลภ ภูผา

หัวหน้าโครงการ

ผู้ร่วมวิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	8
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	9
2.1 คอนกรีตมวลเบาและวัสดุพอลิโพรพิลีน	9
2.2 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา	13
2.3 ความทนทานของคอนกรีตมวลเบา	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	22
3.2 วิธีเก็บข้อมูล	23
3.3 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล	24
3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	25
3.5 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย)	25
3.6 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ	27
3.7 ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	28
4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของวัสดุ	28
4.2 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของทราย	29
4.3 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	29
4.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย	33
4.5 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัด	37
4.6 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อย	40
4.7 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา	42
4.8 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบา	46
4.9 กำลังตัดของคอนกรีตมวลเบา	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการวิจัย	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	58
ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัย	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 คอนกรีตเบาตามประเภทการใช้งาน (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)	7
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของ CT, FA และ BA (สำเร็จ รักซ้อน และคณะ. 2555)	10
ตารางที่ 3.1 แผนงานโครงการวิจัย (ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี)	25
ตารางที่ 3.2 หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขาน้อย	27
ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของ CT, FA และ GBA หลังปรับปรุงขนาด	29
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของทราย	29



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาด้วยเถ้าถ่านหิน (Jitchaiyaphuma et al. 2011)	14
รูปที่ 2.2 ปริมาตรของโพรงคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน (Jitchaiyaphuma et al. 2011)	15
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดและขนาดของโพรง (Jitchaiyaphuma et al. 2011)	15
รูปที่ 2.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาด้วยซิลิกาฟูม (Wongkeo and Chaipanich, 2010)	16
รูปที่ 2.5 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาด้วยซิลิกาฟูมบ่มด้วยไอน้ำ 6 ชั่วโมง (Wongkeo and Chaipanich, 2010)	17
รูปที่ 2.6 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC) (Jitchaiyaphuma et al. 2011)	17
รูปที่ 2.7 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (Ergul et al. 2003)	18
รูปที่ 2.8 อิทธิพลของอุณหภูมิการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา (Qiao et al. 2008)	18
รูปที่ 2.9 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา (Qiao et al. 2008)	19
รูปที่ 2.10 การต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC) (Jitchaiyaphuma et al. 2011)	20
รูปที่ 2.11 การต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC) (Jitchaiyaphuma et al. 2011)	20
รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40	30
รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40	31
รูปที่ 4.3 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40	31
รูปที่ 4.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55	32

[illegible]

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.17 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	39
รูปที่ 4.18 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	40
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อย แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	41
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อย แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	41
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อย แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	42
รูปที่ 4.22 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	43
รูปที่ 4.23 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	43
รูปที่ 4.24 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	44
รูปที่ 4.25 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	44
รูปที่ 4.26 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	46
รูปที่ 4.27 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	46
รูปที่ 4.28 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	46

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.29 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	47
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.30 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	47
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.31 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย	48
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.32 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย	48
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.33 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย	49
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	49
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย	50
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.36 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	51
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.37 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	51
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.38 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน	52
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.39 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย	52
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	
รูปที่ 4.40 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย	53
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน	

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.41 กำลังตัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย

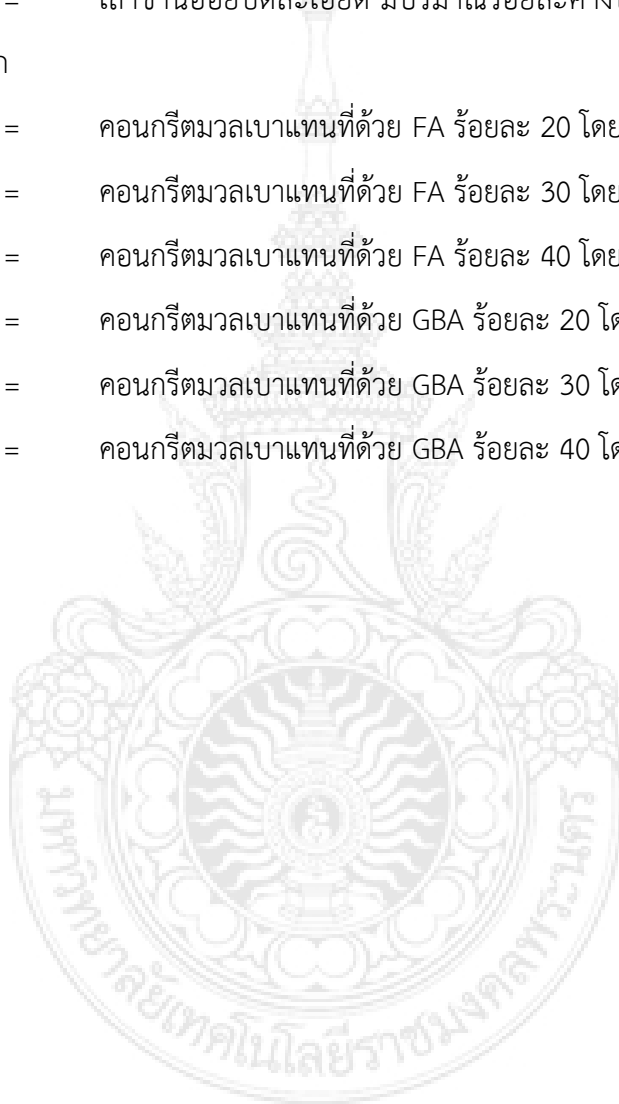
53

แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



คำอธิบายสัญลักษณ์

FA	=	เก้าถ่านหินแยกขนาด มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 โดยน้ำหนัก
GBA	=	เก้าชานอ้อยบดละเอียด มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
20FA	=	คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
30FA	=	คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
40FA	=	คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
20GBA	=	คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย GBA ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
30GB	=	คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย GBA ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
40GBA	=	คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย GBA ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



บทที่ 1

บทนำ

บทนี้เป็นบทนำ ได้กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ทฤษฎี สมมติฐาน กรอบแนวความคิดของการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

คอนกรีตนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง โดยนำไปออกแบบ และใช้ร่วมกับเหล็กเสริมคอนกรีต ซึ่งทางด้านวิศวกรรมโยธา เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก หน่วยน้ำหนักหรือ ความหนาแน่นของคอนกรีตโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำเร็จ รักซ้อน, 2555; ฤกษ์ กิ่งโก้, 2552) เป็นที่ทราบทั่วไปว่า ความหนาแน่นหรือน้ำหนักของคอนกรีตส่งผลให้อาคารหรือ สิ่งก่อสร้างมีขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกของอาคารมีค่ามาก โครงสร้างที่หนักส่งผลให้ฐานรากอาคารรับน้ำหนัก เพิ่มขึ้น และต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างมาก หากสามารถลดขนาดหรือน้ำหนักบรรทุกของอาคารลงได้จะสามารถลด ต้นทุนการก่อสร้างและลดพื้นที่ก่อสร้างอาคารนั้นได้ ดังนั้นการลดน้ำหนักบรรทุกของอาคารจึงสามารถทำได้ ด้วยการลดค่าน้ำหนักหรือความหนาแน่นของคอนกรีตให้มีค่าน้อยลง กล่าวคือ ควรมีการศึกษาในการผลิต คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาสำหรับใช้เป็นชิ้นส่วนอาคาร เช่น พื้น เสา คาน ฐานราก แผ่นพื้นสำเร็จรูป และผนัง ต่างๆ นอกจากนั้น เป็นการลดต้นทุนในโครงการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี ซึ่งคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปมีความ หนาแน่นประมาณ 400-1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังอัดอยู่ในช่วงประมาณ 10-450 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร (ฤกษ์ กิ่งโก้, 2552)

นักวิจัยได้พยายามศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ให้ได้มากที่สุด เช่น การนำเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้ามาใช้เป็นวัสดุประสานหรือ วัสดุปอชโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ และการนำเถ้าแกลบจากผลพลอยได้เกษตรกรรมไปใช้เป็นวัสดุปอชโซลาน เพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งวัสดุปอชโซลานทั้งสองสามารถผลิตเป็นคอนกรีตทั่วไป ส่วนในด้านวัสดุก่อสร้าง นักวิจัยได้พัฒนาวัสดุปอชโซลานมาใช้ประโยชน์เพื่อต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายหรือลดต้นทุนการใช้น้ำปูนซีเมนต์ ในโครงการก่อสร้าง นอกจากนั้นแล้วยังสามารถประหยัดพลังงานและอนุรักษ์พลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์ วัสดุปอชโซลานจากผลพลอยได้ด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่รู้จักและมีอยู่ในประเทศไทย ได้แก่ เถ้า ถ่านหิน เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบ วัสดุเหล่านี้ได้ถูกพัฒนาและนำไป

ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตในทางที่ดี อีกทั้งลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเขตพื้นที่กำจัดวัสดุเหลือทิ้งได้ ส่วนเหตุผลที่สามารถนำวัสดุเหล่านี้มาเป็นวัสดุปอชโซลานได้ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีองค์ประกอบเคมีหลักเป็น ซิลิกา หรือ อลูมินา หรือมีทั้งซิลิกาและอลูมินาปนอยู่เป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM C618 (2005)

บางพื้นที่ของประเทศไทยมีโรงงานน้ำตาลที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และได้ส่วนที่เหลือทิ้งคือเถ้าชานอ้อย ซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ (Rukzon and Chindaprasirt, 2012) เถ้าชานอ้อยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ้นเปลืองพื้นที่กำจัดทิ้ง ซึ่งการกำจัดทิ้งนั้นกระทำได้ยาก อย่างไรก็ตาม หากมีการนำเถ้าทิ้งดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุชนิดใหม่ปอชโซลานชนิดใหม่ในการผลิตเป็นคอนกรีตสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างจะทำให้ประหยัดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต เพิ่มมูลค่าให้เถ้าทิ้งในชุมชน อีกทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพในวิสาหกิจชุมชนสำหรับการผลิตวัสดุชนิดใหม่ได้ในอนาคตอย่างยั่งยืน

ในภาคเหนือและบางพื้นที่ของประเทศไทยมีเถ้าถ่านหินเป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีการนำเถ้าถ่านหินมาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ปัจจุบันนักวิจัยได้ศึกษาเพื่อนำเถ้าถ่านหินไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดเหมือนกับวัสดุปอชโซลานอื่นๆ โดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับใช้ในงานคอนกรีต ที่ผ่านมามีการนำเถ้าถ่านหินใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์เพื่อพัฒนาความทนทานของคอนกรีต ทั้งนี้ลดการซึมผ่านและเพิ่มความทึบแน่นระหว่างวัสดุมวลรวมในโครงสร้างคอนกรีต (Chindaprasirt et al. 2007) โดยเฉพาะหากพัฒนาปรับปรุงให้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากสามารถส่งผลให้คุณภาพของคอนกรีตดีกว่าการใช้เถ้าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ มันจะทำให้เพิ่มกำลังรับแรง ด้านทานการแทรกซึมคลอไรด์และด้านทานซัลเฟตได้ดี (Chindaprasirt et al. 2007; Chindaprasirt et al. 2004)

เถ้าถ่านหิน และเถ้าชานอ้อยอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชนใกล้เคียงได้ ดังนั้นหากสามารถพัฒนาเป็นวัสดุประสานสำหรับงานคอนกรีตชนิดใหม่จากเถ้าทิ้งดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง จะเป็นการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากเถ้าทิ้งดังกล่าว และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือทิ้ง อีกทั้งทำให้เพิ่มรายได้จากการขายเถ้าที่เป็นผลพลอยได้และเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งจากเกษตรกรรมที่ไม่มีมูลค่า เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาในตัวเองได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมามักใช้วัสดุปอชโซลานหรือวัสดุเหลือทิ้งในงานคอนกรีตทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาเถ้าชานอ้อย และเถ้าถ่านหิน เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์และใช้เป็นวัสดุมวลรวม สำหรับผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบา ศึกษากระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมี เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ในงานคอนกรีตอย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมก่อสร้าง

ไทยที่จะนำเอาวัสดุเหลือทิ้งไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้าง ซึ่งช่วยลดปัญหามลภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลจากการผลิตปูนซีเมนต์และลดพื้นที่การกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว ดังนั้นวัสดุประสานหรือวัสดุมวลรวมจากวัสดุ ปอชโซลานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานคอนกรีตมวลเบาที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมและเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียในเชิงพาณิชย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมสำหรับใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ด้วยการใช้เถ้าทิ้งจากผลพลอยได้ในโรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ซึ่งประกอบด้วย เถ้าถ่านหิน และเถ้าชานอ้อย โดยมีขอบเขต ดังนี้

- 1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสาน
- 2) ในส่วนของเถ้าถ่านหิน งานวิจัยนี้ ใช้เถ้าถ่านหิน จากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน จังหวัดลำปาง ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท โบรอล คอนกรีต ประเทศไทย
- 3) เถ้าชานอ้อยที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ ได้จากโรงงานน้ำตาล มิตรผล จังหวัดสิงห์บุรี
- 4) นำเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในขอบเขตข้อที่ 2 และ 3 มาปรับปรุงคุณภาพก่อน โดยในการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าถ่านหิน และเถ้าชานอ้อย ทำด้วยการบดให้มีขนาดลดลง เพื่อให้มีความละเอียดค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 (2005) สำหรับเป็นวัสดุปอชโซลาน กล่าวคือให้มีปริมาณค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก และงานวิจัยนี้ปรับปรุงขนาดของเถ้าถ่านหิน และเถ้าชานอ้อย ให้มีปริมาณค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 อยู่ในช่วงร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก
- 5) ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าถ่านหิน และเถ้าชานอ้อย
- 6) สารเคมีที่ใช้ในโครงการนี้ เช่น วัสดุที่ใช้ผลิตฟองอากาศเป็นแบบบรรจุในถังฉีด โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซิลเวอร์ไนเตรท โฟม และสารลดน้ำพิเศษและเร่งกำลังชนิด F

- 7) ใช้ทรายแม่น้ำมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 1.10-1.25
- 8) เถ้าถ่านหิน และเถ้าขานอ้อยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
- 9) อัตราส่วนมวลรวม (ทราย) ต่อปูนซีเมนต์ใช้เท่ากับ 0.50, 1, 1.50 และ 2 โดยน้ำหนัก
- 10) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้เท่ากับ 0.40, 0.50 และ 0.60 โดยน้ำหนัก
- 11) การเพิ่มฟองอากาศใช้ปริมาณเท่ากับร้อยละ 20, 30, 40, 50 และ 60 โดยปริมาตร โดยดำเนินการทดลองหาค่าค่าที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมกับส่วนผสม พิจารณาจากความสามารถทำงานได้
- 12) ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เถ้าถ่านหิน และเถ้าขานอ้อย สำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า
- 13) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางกลของคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตจากเถ้าทั้งประกอบด้วย เถ้าถ่านหิน และเถ้าขานอ้อย การทดสอบดังกล่าว เช่น ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ ทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังดัด เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการใช้คอนกรีตกำลังสูงจากเถ้าทั้งในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

คอนกรีตมวลเบาแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.4.1) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight aggregate concrete)

คอนกรีตมวลเบาประเภทนี้ผสมด้วยมวลรวมเบาขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ มวลรวมเบาที่มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 600-1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่มวลปกติมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 1100-1700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552) มวลรวมสำหรับคอนกรีตมวลเบาจำแนกได้เป็นดังนี้

1.4.1.1) มวลรวมเบาจากธรรมชาติ ได้จากหินแร่ธรรมชาติ เช่น Vermiculite Perlite Pumice Volcanic Scoria ซึ่งเกิดจากลาวาของภูเขาไฟที่พองตัวตามธรรมชาติหลังจากภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้มีอยู่ไม่มากนัก

1.4.1.2) มวลรวมเบาจากการผลิต ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเผาดินบางประเภท หรือ แก้วหนักที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า มวลรวมเบาจากการผลิตจำแนกได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) Expanded clay aggregate

มวลเบาชนิดนี้ได้จากการผลิตที่นำดินที่มีองค์ประกอบเคมีพิเศษซึ่งขุดจากแหล่ง จากนั้นนำไปผสมกับสารที่ทำให้เกิดฟองเป็นเม็ดเล็กๆ

2) Expanded shale aggregate

มวลเบาชนิดนี้ได้จากดินดาน (shale) ผสมรวมกับถ่านที่บดละเอียด ซึ่งวัตถุดิบนี้เป็นเม็ดขนาดพอเหมาะ อย่างไรก็ตาม ขนาดที่เตรียมขึ้นขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ในเตาเผา ส่วนที่ได้จะมีลักษณะผิวเรียบมีฟองอากาศภายในอนุภาค และมีความแข็งแรงสูง

3) Sintered fly ash

มวลเบาชนิดนี้ได้จากการนำ Pulverized fly ash (PFA) ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินที่สมบูรณ์และเหมาะสม ซึ่งควรได้ค่าของสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา Loss of ignition (LOI) น้อยกว่าร้อยละ 8 เป็นส่วนของคาร์บอนที่ได้ถูกเผาเหลือในรูปของถ่านหินที่หมดควัน ส่วนผสมจะถูกทำให้เป็นเม็ดก่อน จากนั้นป้อนเข้าสู่สายพานลำเลียงเพื่อเผาบนตะแกรงที่มีลมร้อนเป่าให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่ง อนุภาคนี้นี้จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นทรงกลม ผิวมีความแข็งแรงมาก

4) มวลเบาจากสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ไม้ พลาสติก แก้วทิ้งต่างๆ

5) มวลเบาได้จากของเสีย เช่น แก้วหนัก ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิง

1.4.2) คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (Non-fine concrete)

คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียดได้จากส่วนผสมที่ใช้มวลรวมขนาดหยาบปกติ ซึ่งไม่มีทรายในส่วนผสม หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาชนิดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดคละกั้นของมวลรวมละเอียด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 0.138-0.52 (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552) โดยทั่วไปมีลักษณะดังนี้

1) ไม่มีส่วนผสมของทราย

2) คอนกรีตมีช่องว่าง โพรงอากาศอยู่มาก

3) กำลังต่ำ

4) หน่วยน้ำหนักมีค่าประมาณ 1600-1850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1.4.3) โฟมคอนกรีต (Foam concrete)

คอนกรีตมวลเบาชนิดโฟมคอนกรีตนี้ ผลิตให้มีน้ำหนักเบาด้วยวิธีการทำให้เกิดฟองอากาศหรือโฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1-1 มิลลิเมตร แทรกอยู่ในเนื้อคอนกรีตแทนมวลรวมเบาขนาดหยาบ การผลิตโฟมคอนกรีตอาจทำได้โดยการผสมสารทำให้เกิดโฟม (Foaming Agent) หรือการทำให้เกิดโฟมก่อนแล้วผสมรวมกับมอร์ตาร์ โดยทำให้เกิดฟองอากาศกระจายไปทั่วเนื้อคอนกรีต การผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดโฟมคอนกรีตแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ดังนี้

1.4.3.1) คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular lightweight concrete)

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าหรือ Cellular lightweight concrete หรือเรียกว่า ระบบ CLC คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าชนิดนี้มีคุณสมบัติคล้ายกับคอนกรีตปกติ มีฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่อง น้ำหนักเบา ป้องกันความร้อนและเสียง ทนไฟได้ดี ใช้ส่วนผสมดังนี้

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- 2) ปูนขาว
- 3) ทราย
- 4) น้ำ
- 5) สารทำให้เกิดฟอง

1.4.3.2) คอนกรีตมวลเบาชนิดบ่มไอน้ำ (Autoclaved aerated concrete)

คอนกรีตมวลเบาชนิดบ่มไอน้ำ หรือ Autoclaved aerated concrete หรือ ระบบ AAC เป็นคอนกรีตที่ใช้ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากต้องการบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง คอนกรีตมวลเบาชนิดบ่มไอน้ำมีความแตกต่างกับระบบ CLC ในด้านความต่อเนื่องของฟองอากาศ กล่าวคือ ระบบ CLC ฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่องกันดังนั้นความสามารถในการดูดซึมน้ำจึงต่ำกว่าระบบ AAC จึงสามารถนำไปใช้งานเป็นชิ้นส่วนอาคารเช่นผนังของโครงสร้างอาคารที่ไม่ต้องการรับแรงแมกนัก ส่วนผสมโดยทั่วไป มีดังนี้

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- 2) ปูนขาว
- 3) ทราย
- 4) น้ำ
- 5) ผงยิบซัม
- 6) ผงอลูมิเนียม (0.2% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์)
- 7) สารทำให้เกิดฟอง

คอนกรีตมวลเบาสามารถจำแนกตามประเภทการใช้งานได้ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 คอนกรีตเบาตามประเภทการใช้งาน (กฤษฎา กิ่งโก้, 2552)

ประเภทของงาน	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 28 วัน (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
งานโครงสร้าง ASTM C330	170-400	1400-1800
งานก่อ ASTM C331	100-170	500-800
งานฉนวนความร้อน ASTM C332	10-100	<800

จากทฤษฎีการผลิตคอนกรีตมวลเบาในข้างต้นพบว่า ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งคือความต้องการผลิตคอนกรีตให้มีน้ำหนักที่เบาสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ดังนั้นหากตั้งข้อสมมุติฐานให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาแล้วจะหมายถึงการลดการใช้วัสดุมวลรวมและวัสดุประสาน เช่น หิน ทราย และซีเมนต์ ซึ่งมวลรวมดังกล่าวมีน้ำหนักที่มาก โดยควรศึกษาในการนำวัสดุที่มีขนาดเบามาใช้แทนที่วัสดุมวลรวมหรือซีเมนต์ในส่วนผสม และนำวัสดุอื่นๆ ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ จากนั้นอาจส่งผลให้ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต และใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่ามากที่สุด โดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

พื้นที่สำหรับการทิ้งวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตหรือผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นปัญหาใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งโดยทั่วไปไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ และเพื่อ

เป็นการสร้างความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการใช้ประโยชน์โดยตรงจากวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดพื้นที่สำหรับการทิ้งของเสียจากวัสดุเหลือทิ้ง ลดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนด้านวิศวกรรมโครงสร้างในโครงการก่อสร้าง ลดขนาดของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และได้วัสดุชนิดใหม่สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย อีกทั้งเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัย คาดว่าจะได้ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) นำวัสดุเหลือทิ้งจากการวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีตมวลเบา ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตเนื่องจากลดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดขนาดโครงสร้างอาคาร ประหยัดพื้นที่ก่อสร้าง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดปัญหาโลกร้อนจากผลกระทบการผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนั้นยังสามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ
- 2) เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงานขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต
- 3) งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเจ้าของอ้อยเป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีอยู่ในประเทศ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเนื่องในการจ้างงานและส่งเสริมระบบเศรษฐกิจของท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
- 4) คาดว่าจะนำผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมจดสิทธิบัตรเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่

บทที่ 2

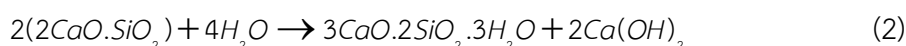
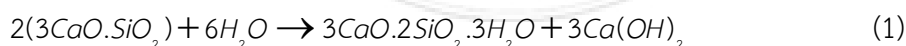
การทบทวนวรรณกรรม

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ อธิบายเกี่ยวกับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan materials) เถ้าถ่านหิน (Fly ash) เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash) ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน คอนกรีตมวลเบา (Light weight concrete) คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยวัสดุปอซโซลาน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยด้านวัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพและเกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาวัสดุก่อสร้างไทย

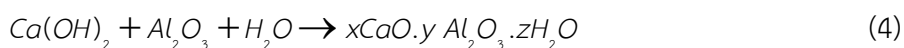
2.1 คอนกรีตมวลเบาและวัสดุปอซโซลาน

คอนกรีตมวลเบา (Light weight concrete) คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป กล่าวคือ คอนกรีตทั่วไปมีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำเร็จ รักซ้อน, 2555) ขณะที่คอนกรีตมวลเบา มีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 400-1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552) ที่ผ่านมานักวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบามาอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่อุตสาหกรรมก่อสร้างและให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำวัสดุปอซโซลานที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบา อย่างไรก็ตาม การศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตเกษตรกรรมผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบายังมีอยู่น้อยมาก

เมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งจะได้ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)



ปฏิกิริยาตามสมการที่ (1) และ (2) ยังไม่สิ้นสุด หากส่วนผสมของคอนกรีตมีวัสดุปอซโซลานผสมอยู่นั้นคือซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งมีอยู่ในวัสดุปอซโซลานจะเข้าทำปฏิกิริยากับต่างคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ดังสมการที่ (3) และ (4)



ผลที่ได้จากปฏิกิริยาในสมการที่ (3) คือ $\text{xCaO} \cdot \text{ySiO}_2 \cdot \text{zH}_2\text{O}$ หรือเรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ค่า x, y และ z เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ผลที่ได้จากปฏิกิริยาในสมการที่ (4) คือ $\text{xCaO} \cdot \text{yAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{zH}_2\text{O}$ หรือแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) โดยทั้ง CSH และ CAH จะทำให้กำลังอัดคอนกรีตหรือปูนซีเมนต์สูงขึ้น และลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลง ทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านคอนกรีตลดลงตามไปด้วย

การนำวัสดุปอซโซลานมาใช้ในงานคอนกรีต เมื่อพิจารณาในด้านองค์ประกอบทางเคมีแล้วพบมีสารจำพวกซิลิกา และอลูมินาปนอยู่ เป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM C618 (2005) งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินและเถ้าชานอ้อยแล้วสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบเคมีหลักเป็น ซิลิกา หรือ อลูมินา หรือมีทั้งซิลิกาและอลูมินาปนอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากนั้น ในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นผลการทดสอบว่า เถ้าถ่านหิน (FA) มี SiO_2 ร้อยละ 45.1 ส่วนเถ้าชานอ้อย (BA) มี SiO_2 ร้อยละ 64.7 (สำเร็จ รักซ้อน และคณะ. 2555) ขณะที่ปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ CaO ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 54.98 ส่วนผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ของเถ้าถ่านหิน คือ 75.7 และผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เถ้าชานอ้อย คือ 72.7 ตามลำดับ ดังนั้น ตามมาตรฐานของ ASTM C618 ถือว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่งได้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของ CT, FA และ BA (สำเร็จ รักซ้อน และคณะ. 2555)

Oxides (%)	CT	FA	BA
CaO (%)	54.98	11.57	8.5
SiO ₂ (%)	25.1	45.1	64.7
Al ₂ O ₃ (%)	5.5	17.2	4.8
Fe ₂ O ₃ (%)	5.9	13.4	3.2
MgO (%)	3.4	6.8	0.01
K ₂ O (%)	0.5	1.8	2.0
SO ₃ (%)	4.7	2.2	0.9
LOI (%)	0.9	2.5	17.5
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	—	75.7	72.7

Kim et al. (2012) ศึกษาผลกระทบของดินขาวเผาต่อคอนกรีตมวลเบาในแต่ละชนิดของมวลรวมละเอียด โดยการใช้มวลรวมละเอียดสามชนิดประกอบด้วยเถ้าหนักสองชนิดและ artificial expanded shale อีก 1 ชนิด งานวิจัยของ Kim ใช้ดินขาวเผาแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาซึ่งมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,790 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าความยุบตัวเท่ากับ 15 ± 5 เซนติเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 74.2 เมื่อแทนที่ดินขาวเผาร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นอีกว่าผลกระทบของดินขาวเผามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามอัตราส่วนการแทนที่และชนิดของมวลรวม กล่าวคือ ในการเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยดินขาวเผาในคอนกรีตมวลเบาควรมีการพิจารณาถึงปริมาณการร้อยละการแทนที่และชนิดของมวลรวมละเอียดเป็นสำคัญ

Jitchaiyaphum et al. (2011) ได้ดำเนินการศึกษาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณร้อยละ 10, 20 และ โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.50 และหน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบกำลังอัดที่อายุการทดสอบเท่ากับ 3, 14, 28 และ 60 วัน ผลการศึกษาของ Jitchaiyaphum และคณะพบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังอัดที่สูงที่อายุดัน

Shannag M.J. (2011) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วที่ผสมด้วยมวลรวมเบาจากธรรมชาติทั่วไปและสารผสมเพิ่ม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟูมปริมาณร้อยละ 5-15 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้โครงสร้างคอนกรีตมีน้ำหนักเบาลง โดยมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ ร้อยละ 57 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 14 เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน อย่างไรก็ตาม ผลทดสอบยังอีกพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังอัดลดลงร้อยละ 18 ส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้เถ้าถ่านหิน การใช้ซิลิกาฟูมในปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 และการใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณมากกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้คอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านกำลังและความแข็งแรง

งานวิจัยของ Kockal and Ozturan (2011a) ทดสอบผลกระทบคุณสมบัติมวลรวมเช่น กำลังอัด ความพรุน การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ต่อกำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าถ่านหินเป็นมวลรวม โดยใช้มวลรวมสี่ชนิด คือ sintered lightweight fly ash aggregates, cold bonded lightweight fly ash aggregate และ normal weight aggregate ผลการทดสอบพบว่า การใช้มวลรวม sintered หรือ cold สามารถผลิตคอนกรีตมวลเบาได้ดีโดยให้ค่ากำลังอัดที่สูง เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติทั่วไป การใช้มวลรวมเบาแทนที่มวลรวมปกติพบว่ากำลังและความแข็งแรงลดลงเนื่องจากความพรุนที่สูงของมวลรวมปกติ

Wongkeo and Chaipanich (2010) ศึกษากำลังอัด โครงสร้างระดับจุลภาค และการบ่มด้วยไอน้ำ และอากาศของคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตด้วยเถ้าหนักและซิลิกาฟูม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตมวลเบาเถ้าหนักบ่มด้วยไอน้ำที่ 6 ชั่วโมง มีกำลังเทียบเท่ากับคอนกรีตมวลเบา เถ้าหนักที่บ่มด้วยอากาศที่อายุ 28 วัน การใช้เถ้าหนักและซิลิกาฟูมผลิตคอนกรีตมวลเบาพบว่ากำลังอัดสูงขึ้นในทุกส่วนผสม และกำลังอัดสูงสุดเมื่อใช้เถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมในปริมาณร้อยละ 5 ซึ่งค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตปกติเล็กน้อย ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาเถ้าหนักบ่มอากาศที่อายุ 28 วัน และบ่มไอน้ำที่ 6 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ การบ่มคอนกรีตเถ้าหนักที่มีส่วนผสมซิลิกาฟูมด้วยไอน้ำพบว่าโครงสร้างมีความแข็งแรง

Kockal and Ozturan (2011b) ศึกษาความทนทานของคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้เถ้าถ่านหินเป็นมวลรวมเบา ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดสูงขึ้นเมื่อบ่มตัวอย่างในตู้อบแห้ง อัตราส่วนของแรงดึงต่อกำลังอัดของมวลรวมเบาคอนกรีตเหมือนกับคอนกรีตปกติ ที่อายุ 28 และ 56 วัน ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าปัจจัยความทนทานเกินกว่า 85 และ 90 ตามลำดับ

งานวิจัยของ กฤษณ์ กิ่งโก้ (2552) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมสารซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ ซึ่งเป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมมวลรวมหยาบ แต่ได้ใช้ฟองอากาศเติมลงในส่วนผสมเพื่อลดความหนาแน่นของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า การผสมสารซูเปอร์ พลาสติกไฮเซอร์ส่งผลให้เพิ่มความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตมวลเบาและคุณสมบัติอื่นๆ ของส่วนผสมโดยรวมดีขึ้น

อิทธิเชษฐ์ อุตะธีรวิชัย และคณะ (2552) ได้ศึกษาการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 800-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 และ 0.55 อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยทดสอบที่อายุ 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35 และ 56 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแปรผกผันกับความหนาแน่น กล่าวคือ คอนกรีตความหนาแน่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 มีการดูดซึมน้ำน้อยกว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำมีค่าระหว่างร้อยละ 9-71

สุเมธ สันทัดวัฒนา และคณะ (2552) ได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ความหนาแน่นเท่ากับ 600-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40, 0.50, 0.60 และ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1:1 ผลการศึกษาพบว่าค่าการดูดซึมน้ำแปรผกผันความหนาแน่น คอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อย มีช่องอากาศมาก ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีค่ามาก นอกจากนั้น ค่ากำลังอัดของคอนกรีตแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

งานวิจัยของ พัชร อ่อนพรหม และคณะ (2552) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมเถ้าก้นเตา อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1:1 และใช้ปริมาณโฟมเท่ากับ ร้อยละ 30, 40, 50, 60 และ 70 โดยปริมาตร และแทนทรายด้วยเถ้าหนัก ในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยปริมาตร การศึกษาพบว่า ปริมาณโฟมที่เหมาะสมคือร้อยละ 50 โดยปริมาตร มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ความหนาแน่นเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 25 ในการใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายให้ค่าเหมาะสมอยู่ที่ร้อยละ 75 ได้กำลังอัดเท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ความหนาแน่นเท่ากับ 850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 36 นอกจากนั้นการทดสอบยังพบว่าการใช้เถ้าหนักสามารถลดปริมาณโฟมได้ร้อยละ 10 โดยปริมาตรการแทนที่ทรายเท่ากับ ร้อยละ 75

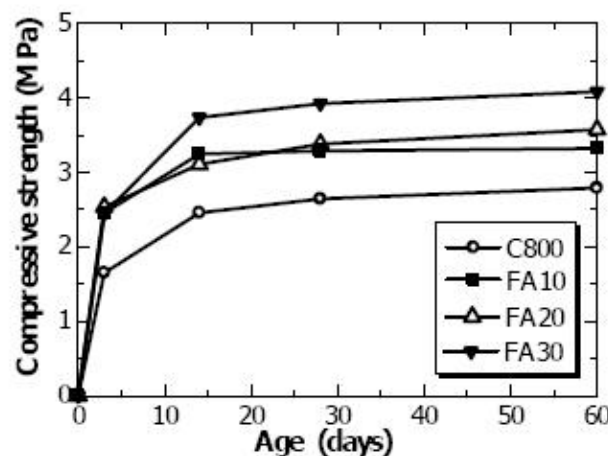
พัชรพล โพธิ์ศรี (2552) ศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลส โดยใช้เถ้าถ่านหิน โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมซิลิเกต กับการบ่มโดยใช้อุณหภูมิ ทดสอบกำลังอัดและความหนาแน่นของวัสดุจีโอโพลีเมอร์ มอร์ตาร์มวลเบา ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนของเหลวต่อเถ้าถ่านหิน อัตราส่วนของโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนของทรายต่อเถ้าถ่านหิน ปริมาณร้อยละของโฟมโดยมวล และอุณหภูมิสำหรับการบ่ม ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนของเหลวต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 0.7, อัตราส่วนโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0, ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 15 โมลาร์, อัตราส่วนของทรายต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 2.75, ระยะเวลาบ่มตัวอย่างด้วยความร้อน 1 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 1 วัน ตามด้วยการบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส 2 วัน ปริมาณร้อยละของโฟมโดยมวลเท่ากับร้อยละ 3 ส่งผลให้ได้วัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาเหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างซึ่งได้กำลังรับแรงอัดของวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาที่ผลิตได้เท่ากับ 185 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และความหนาแน่นเท่ากับ 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

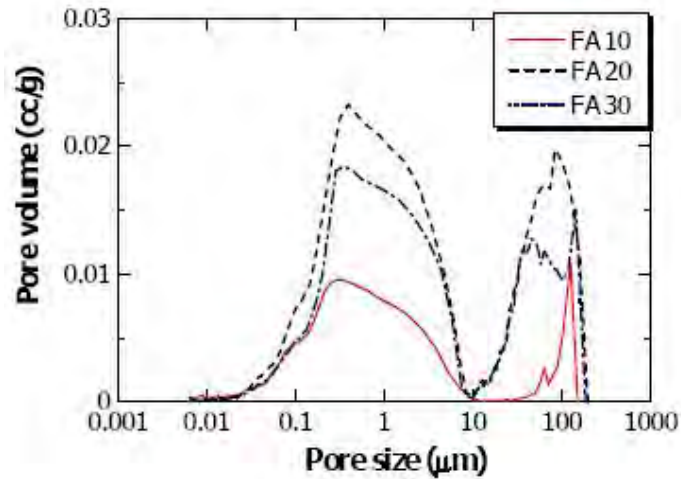
กำลังอัดของคอนกรีตมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในโครงการก่อสร้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของงานต่างๆ เช่น งานโครงสร้าง งานก่อ และงานป้องกันความร้อน ที่ผ่านมามีการศึกษาการนำวัสดุพอลิโพรพิลีนไปใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาเพื่อศึกษากำลังอัด ในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น (Jitchaiyaphuma et al. 2011) โดยพบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละที่มากขึ้นกำลังอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นตามไปด้วยและพัฒนา กำลังอัดอย่างต่อเนื่องตามอายุการ

ทดสอบ ในการใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณที่สูงสามารถผลิตฟองอากาศขนาดเล็กแทรกตัว และกระจายในเนื้อคอนกรีตได้ดีเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีต อีกทั้งขนาดอนุภาคเล็กของเถ้าถ่านหินที่กลมตันสามารถเข้าไปแทรกตัวเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างโพรงได้ คอนกรีตจึงมีเนื้อแน่นขึ้น ทึบแน่นและแข็งแรง ในส่วนของปริมาณโพรงพบว่า เมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสานลดปริมาณโพรง และเมื่อใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน พบว่าปริมาณโพรงสูงขึ้น จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อในปริมาณร้อยละ 20 ดังในรูปที่ 2.2 อย่างไรก็ตาม

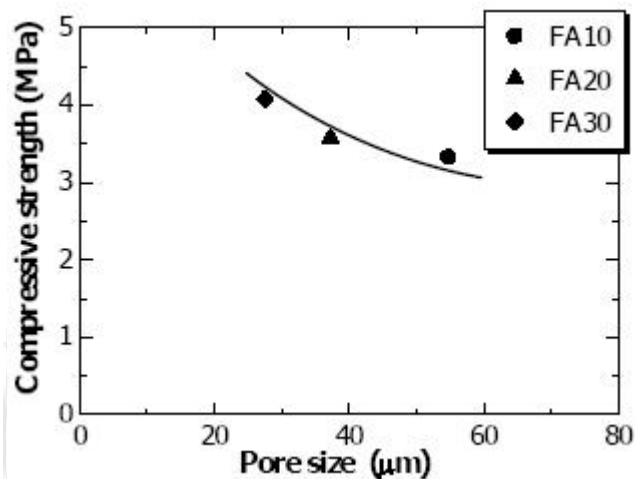
การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ขนาดเฉลี่ยของโพรงลดลงตามปริมาณการแทนที่ด้วยวัสดุปอซโซลาน ส่วนในรูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังอัดและขนาดของโพรงคอนกรีตมวลเบา ซึ่งพบว่าเมื่อความพรุนของคอนกรีตลดลงส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตควรพิจารณาความพรุนด้วยเนื่องจากมีผลต่อกำลังอัด



รูปที่ 2.1 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาด้วยเถ้าถ่านหิน (Jitchaiyaphuma et al. 2011)



รูปที่ 2.2 ปริมาตรของโพรงคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน (Jitchaiyaphuma et al. 2011)



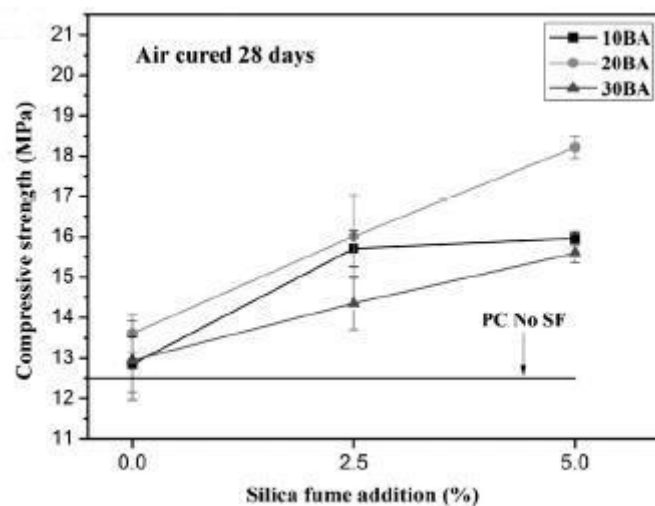
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดและขนาดของโพรง (Jitchaiyaphuma et al. 2011)

รูปที่ 2.4 แสดงกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมที่มีปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และใช้ซิลิกาฟูมร้อยละ 0.2 และ ซิลิกาฟูมปริมาณร้อยละ 0, 2.5 และ 5 ตามลำดับ พบว่าการใช้เถ้าหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดที่สูงที่สุด และเมื่อส่วนผสมมีปริมาณของซิลิกาฟูมมากขึ้นสามารถพัฒนากำลังอัดให้สูงขึ้นตามไปด้วย ในรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และใช้ซิลิกาฟูมปริมาณร้อยละ 5 โดยเมื่อนำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาไปบ่มด้วยไอน้ำเวลา 6 ชั่วโมง มีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัด

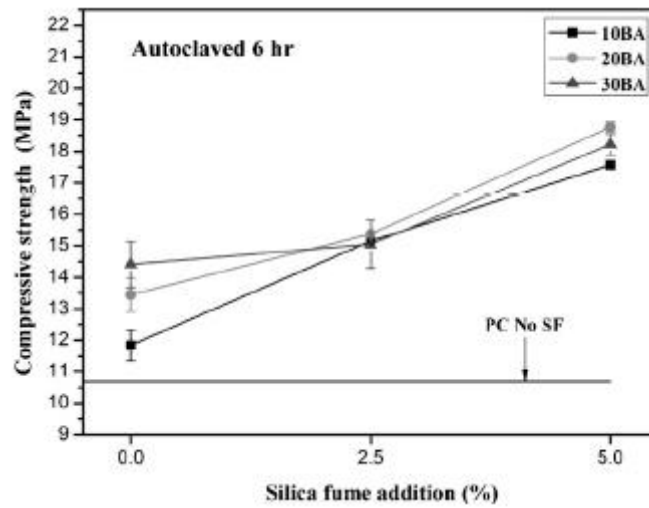
สูงกว่าการบ่มด้วยอากาศปกติ 28 วัน ส่วนในรูปที่ 2.6 แสดงกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยเถ้าถ่านหินและผงแก้ว (LWGC) พบว่ามีกำลังอัดอยู่ในช่วง 55 และ 61 MPa ที่อายุ 28 และ 56 วัน (Kockal and Ozturan, 2011)

ในรูปที่ 2.7 เป็นผลของกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน (M2) เปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ (M1) ซึ่งพบว่าคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าที่อายุ 28 วัน ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำที่อายุนั้นคือ ที่อายุ 3-7 วัน

นอกจากความพรุนที่มีผลต่อกำลังอัดแล้ว อุณหภูมิในการบ่มก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการรับกำลังของคอนกรีต ในรูปที่ 2.8 การบ่มที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ให้ค่ากำลังอัดที่ดี เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม ในส่วนของอิทธิพลของอุณหภูมิต่อกำลังอัดควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากวัสดุที่แตกต่างกันและส่วนผสมที่ไม่เหมือนกัน นอกจากนั้น ในการออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้มีค่าน้อย มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา เช่น ในรูปที่ 2.9 พบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่น้อยสามารถลดความพรุนของคอนกรีตลงได้ จึงมีเนื้อแน่นมีความทึบแน่นและแข็งแรงรับกำลังอัดได้ดี

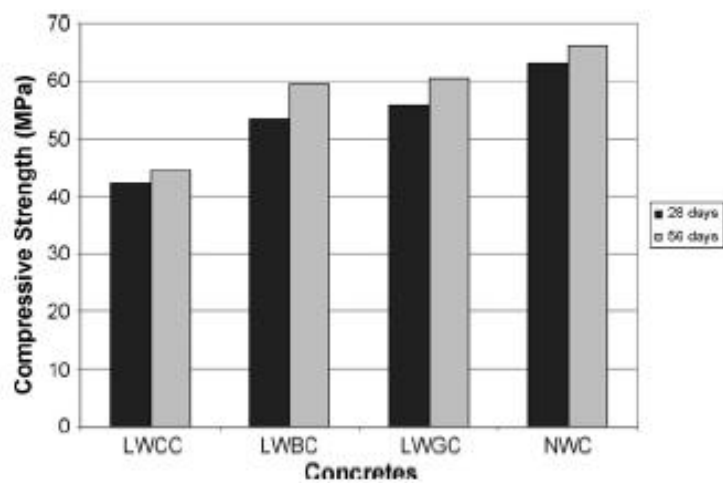


รูปที่ 2.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาด้วยซิลิกาฟุ่ม (Wongkeo and Chaipanich, 2010)



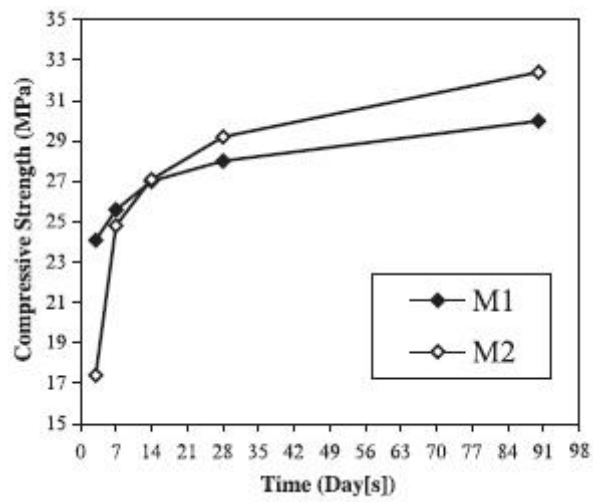
รูปที่ 2.5 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาด้วยซิลิกาฟุ่มบ่มด้วยไอน้ำ 6 ชั่วโมง

(Wongkeo and Chaipanich, 2010)

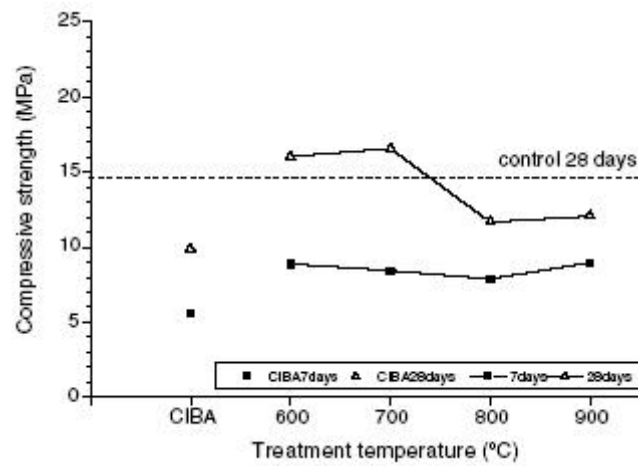


รูปที่ 2.6 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC)

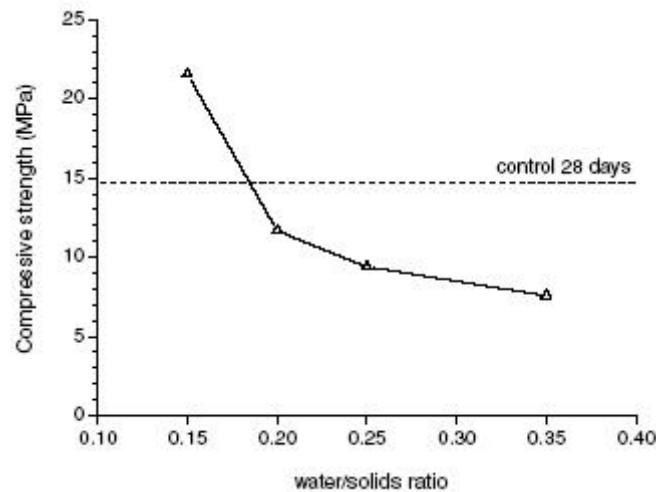
(Jitchaiyaphuma et al. 2011)



รูปที่ 2.7 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (Ergul et al. 2003)



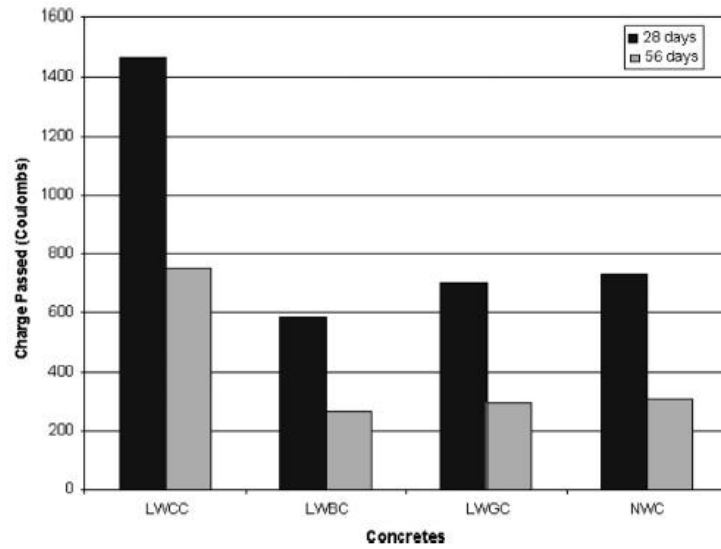
รูปที่ 2.8 อิทธิพลของอุณหภูมิการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา (Qiao et al. 2008)



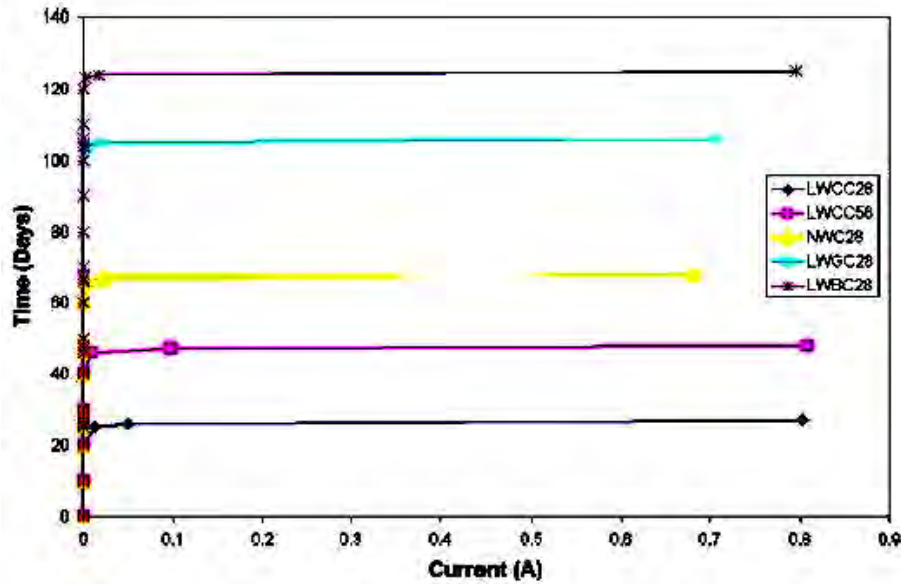
รูปที่ 2.9 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา (Qiao et al. 2008)

2.3 ความทนทานของคอนกรีตมวลเบา

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานคอนกรีตมวลเบานอกจากกำลังอัดแล้ว ความทนทานก็เป็นอีกปัจจัยที่ผู้ออกแบบส่วนผสมและผู้ใช้งานควรพิจารณา เพราะเป็นตัวบ่งบอกถึงอายุการใช้งานที่นาน การบำรุงรักษาน้อย ความทนทานดังกล่าว เช่น การต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ การต้านทานคาร์บอนेशन การต้านทานการกัดกร่อนจากสารเคมี ในรูปที่ 2.10 แสดงการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC) ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุปอซโซลานผลิตคอนกรีตมวลเบาสามารถต้านทานคลอไรด์ได้เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ การใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตมวลเบาสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.10 การต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC)
(Jitchaiyaphuma et al. 2011)



รูปที่ 2.11 การต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตมวลเบาผสมด้วยผงแก้วและเถ้าถ่านหิน (LWGC)
(Jitchaiyaphuma et al. 2011)

งานวิจัยที่ผ่านมาศึกษาคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีอยู่น้อยมาก โดยเฉพาะการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ทางเกษตรกรรม เช่น เถ้าชานอ้อย ซึ่งมีอยู่ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย และส่วนที่เหลือทิ้งเริ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง แม้ว่าที่ผ่านมามีการนำเถ้าชานอ้อย ซึ่งเป็นพลอยได้จากเกษตรกรรมไปใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปแล้ว (Rukzon and Chindaprasirt, 2012) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันพบว่าการใช้เถ้าชานอ้อย เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาในด้านงานวิจัยหรือการใช้งานจริงยังมีข้อมูลน้อย

สำหรับในประเทศไทย เถ้าถ่านหินนิยมนำมาใช้ในการนำไปใช้งานคอนกรีตอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตกำลังสูง โดยพบว่าเถ้าถ่านหินแหล่งใหญ่ของประเทศที่ อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง สามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตได้ (Chindaprasirt et al. 2007; Chindaprasirt et al. 2004)

การศึกษาใช้เถ้าชานอ้อยและเถ้าถ่านหินไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์และใช้เป็นมวลรวมละเอียดสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบายังมีอยู่น้อย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้มากขึ้นในการเป็นข้อมูลพัฒนาวัสดุก่อสร้าง และสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ด้านวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ โดยพัฒนาให้เป็นวัสดุฉลาด เปลี่ยนวัสดุไม่มีค่าเป็นวัสดุมีคุณค่า เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยอย่างยั่งยืนต่อไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมวัสดุ วิธีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์ตลอดจนวัสดุปอซโซลาน เช่น การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การทดสอบกำลังอัด การทดสอบกำลังดัด การดึงแยก โมดูลัสยืดหยุ่น การดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตมวลเบา

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดแหล่งเถ้าเถ้าหิน และเถ้าชานอ้อยที่จะใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ใช้ เถ้าเถ้าหินจากโรงไฟฟ้าทางภาคเหนือของประเทศไทย ส่วนเถ้าชานอ้อยใช้จากโรงงานน้ำตาล สิงห์บุรี
- 2) เก็บตัวอย่างเถ้าเถ้าหิน เถ้าชานอ้อย ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง
- 3) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าเถ้าหิน เถ้าชานอ้อย
- 4) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุเหลือทิ้ง ประกอบด้วย ตรวจสอบหองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง x-ray fluorescence, ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ, ทดสอบหาปริมาณของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ตามมาตรฐาน ASTM C 430, ทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน ตามมาตรฐาน ASTM C 204, ถ่ายภาพขยายกำลังสูง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope, ทดสอบการกระจายตัวและขนาดอนุภาคเฉลี่ย ด้วยเครื่อง Mastersizer และวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ด้วยเครื่อง x-ray diffraction ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
- 5) ศึกษาถึงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาสมเถ้าเถ้าหินและเถ้าชานอ้อย ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัด และการดัด
- 6) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการต้านทานคาร์บอนเนชั่นและคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบาสมเถ้าเถ้าหินและเถ้าชานอ้อย ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัด และความพรุน อิทธิพลของปริมาณวัสดุประสาน การบ่ม และความชื้นสัมพัทธ์
- 7) ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยเครื่องมือ XRD, FTIR และ SEM/EDX และวิเคราะห์ปริมาตรโพรงด้วยเครื่องมือ MIP เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างทดสอบเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นและคลอไรด์

3.1.1 ส่วนผสมตัวอย่าง

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ปริมาณ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2) วัสดุปอซโซลานใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุ
ประสาน
- 3) ใช้สารลดน้ำพิเศษและเร่งกำลังชนิด F
- 4) อัตราส่วนผสมรวม (ทราย) ต่อปูนซีเมนต์ใช้เท่ากับ 0.50, 1, 1.50 และ 2 โดยน้ำหนัก
- 5) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้เท่ากับ 0.40 และ 0.55 โดยน้ำหนัก
- 6) การเพิ่มฟองอากาศใช้ปริมาณเท่ากับร้อยละ 20, 30, 40, 50 และ 60 โดยปริมาตร โดย
ดำเนินการทดลองหาค่าค่าที่ที่สุดหรือเหมาะสมกับส่วนผสม พิจารณาจากความสามารถทำงานได้
- 7) กำลังอัดใช้อายุการทดสอบที่ 7, 28 และ 90 วัน

3.1.2 การทดสอบตัวอย่าง

- 1) ทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109
- 2) ทดสอบหน่วยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C567
- 3) ทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงแยก ตามมาตรฐาน ASTM C496
- 4) ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM C78
- 5) ทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น ตามมาตรฐาน ASTM C469
- 6) ทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642

3.2 วิธีเก็บข้อมูล

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมีวิธีการเก็บและรวบรวมแหล่งข้อมูลใช้ในงานวิจัย ดังนี้

1) ทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุปอซโซลานเพื่อเป็นแนวทางการศึกษา ศึกษาข้อมูลย้อนหลังจนถึงปัจจุบันขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินและ เถ้าขาน้อย รวบรวมเก็บข้อมูลประวัติการกองทิ้งของวัสดุเหลือทิ้งเพื่อใช้เป็นข้อมูลคัดเลือกเก็บตัวอย่าง

2) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าถ่านหินและเถ้าขาน้อย จะมีวิธีการเก็บข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ทดสอบ ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ

บันทึกผลการทดสอบตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

3) ทำการบันทึกผลการทดสอบของชุดทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามเงื่อนไขของตัวแปรที่ศึกษา โดยใช้เครื่องทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

4) ทำการบันทึกผลทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน ของตัวอย่างคอนกรีต ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

5) การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยเครื่องมือ XRD, FTIR และ SEM/EDX ปริมาตรโพรงด้วยเครื่องมือ MIP จะส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบด้านกายภาพ ของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา ที่ทดสอบ

2) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบการต้านทานคาร์บอนชั้น และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบา

3) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัด คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเมื่อมีตัวแปรที่ศึกษาแตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

4) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา เพื่ออธิบายสมบัติทางกลได้

สถานที่ทำการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และรวมทั้งห้องปฏิบัติการของนักวิจัยร่วมโครงการ

3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงานแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนงานโครงการวิจัย (ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี)

ลำดับ	แผนการดำเนินงาน	เดือนที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	วางแผนการทดสอบ	↔											
2	การเตรียมวัสดุตัวอย่างทดสอบ	↔											
3	การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของวัสดุ		↔										
4	วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของวัสดุ			↔									
5	ออกแบบส่วนผสมตัวอย่างทดสอบ			↔									
6	ใช้ตัวอย่างทดสอบที่ออกแบบไว้			↔									
7	ดำเนินการทดสอบ			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	
8	สรุปผลวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนที่แล้วเสร็จ					↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	
9	จัดทำรายงาน ถ่ายทอดเทคโนโลยีและเผยแพร่ผลงาน								↔	↔	↔	↔	↔

3.5 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย)

15.1. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัยที่มีอยู่

1. Compressive machine
2. Sieve analysis
3. Mold cube

15.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องการซื้อ

1. อุปกรณ์ชุดบดวัสดุ
2. เครื่องแก้ว

3. สารเคมี HCl-AgNO₃- Superplasticizer-NaOH- BufferpH- NaCl- ฟีนอล์ฟทาลีน
4. แผ่นทองเหลืองขนาดหนา 0.5 มิลลิเมตร
5. หม้อผสมเพสต์
6. ใบพายผสมเพสต์
7. ถูมือกั้นสารเคมี
8. แวนตากั้นสารเคมี
9. Epoxy
10. ซิลิโคน
11. น้ำกลั่น
12. ทราย
13. วัสดุปอชโซลาน
14. ปูนซีเมนต์
15. เหล็กเสริมคอนกรีต
16. บีกเกอร์ขนาด 1000 ml
17. ขวดสีชาสำหรับ AgNO₃
18. ใบมีดตัดคอนกรีต
19. สารทำให้เกิดฟอง
20. ชุดผลิตโฟมเหลว
21. ชุดอัดอากาศ
22. หัวพ่นโฟม
23. สายยางต่อท่อโฟม

3.6 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ

สัญลักษณ์ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในโครงการนี้ มีดังตัวอย่างต่อไปนี้

FA = แก้วถ่านหินแยกขนาด มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 โดยน้ำหนัก

GBA = แก้วชานอ้อยบดละเอียด มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

20FA = คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

30FA = คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

40FA = คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

20GBA = คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย GBA ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

30GB = คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย GBA ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

40GBA = คอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วย GBA ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

3.7 ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่เลือกสำหรับการศึกษาแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาผสมแก้วถ่านหินและแก้วชานอ้อย

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาณโฟม (%)โดยปริมาตร	สารลดน้ำพิเศษ
1000	W/C=0.40	20-50	ใช้
	W/C=0.55	20-50	
1200	W/C=0.40	20-50	ใช้
	W/C=0.55	20-50	
1400	W/C=0.40	20-50	ใช้
	W/C=0.55	20-50	
1600	W/C=0.40	20-50	ใช้
	W/C=0.55	20-50	
1800	W/C=0.40	20-50	ใช้
	W/C=0.55	20-50	

หมายเหตุ: สารลดน้ำพิเศษ ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตมวลเบา

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ และการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานและนำมาวิเคราะห์ผลในด้านต่างๆ เช่น กำลังอัด กำลังอัด การดึงแยก โมดูลัสยืดหยุ่น และการดูดซึมน้ำ ด้วยการใช้ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของวัสดุ

ผลการทดสอบตารางที่ 4.1 เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของของปูนซีเมนต์ (CT) เถ้าถ่านหิน (Fly ASH) และเถ้าขานอ้อย (Bagasse ash) ประกอบด้วย ความละเอียดด้วยตะแกรงมาตรฐาน ความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดทดสอบด้วยวิธีของเบลน

ผลการทดสอบพบว่าเถ้าถ่านหินขนาดละเอียด (FA) มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.75 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลนเท่ากับ 3700 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม เถ้าขานอ้อยบดละเอียด (GBA) มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 325 ร้อยละ 0-3โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.78 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน เท่ากับ 11500 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลนเท่ากับ 3400 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม (ดังแสดงในตารางที่ 4.1)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุในการศึกษานี้พบว่า การปรับปรุงขนาดของวัสดุปอซโซลานให้มีขนาดเล็กลงด้วยการบดละเอียด ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น และขนาดอนุภาค เล็กลง การบดเถ้าขานอ้อยให้ละเอียดขึ้น ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น ส่วนการแยกขนาดเถ้าถ่านหินให้มี ขนาดลดลง แนวโน้มผลทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการบดเถ้าขานอ้อย กล่าวคือ ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบครั้งนี้ เหมือนกับงานวิจัยบางชิ้น (Rukzon and Chindaprasirt 2010; Rukzon and Chindaprasirt 2008; Rukzon et al 20008) เนื่องจากการบดช่วยให้รูพรุนของ อนุภาคลดลง ดังนั้นน้ำหนักต่อปริมาตรจึงเพิ่มขึ้น (Chindaprasirt 2008; Rukzon et al 20008) อีกทั้งความ ละเอียดของวัสดุปอซโซลานส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ดี

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของ CT, FA และ GBA หลังปรับปรุงขนาด

Physical properties	CT	FA	GB
Retained on a sieve No. 325 (%)	N/A	0-3	0-3
Specific Gravity	3.14	2.75	2.78
Blaine Fineness (cm^2/gm) - ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	3,400	3700	11500

4.2 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของทราย

ตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมที่ใช้ในหารผลิตคอนกรีตมวลเบา ซึ่งพบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.54 โมดูลัสความละเอียด (F.M.) มีค่าเท่ากับ 1.17 และร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ 1.8 ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าทรายที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาครั้งนี้เป็นทรายละเอียด เนื่องจากมีค่า F.M. อยู่ในช่วง 1.17 ซึ่งปกติทรายที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปมีค่า F.M. อยู่ในช่วง 2.2-3.2 ตามมาตรฐานของ ASTM (2005a; 2005b)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของทราย

มวลรวม	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสความละเอียด	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
ทราย	2.54	1.17	1.8

4.3 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน

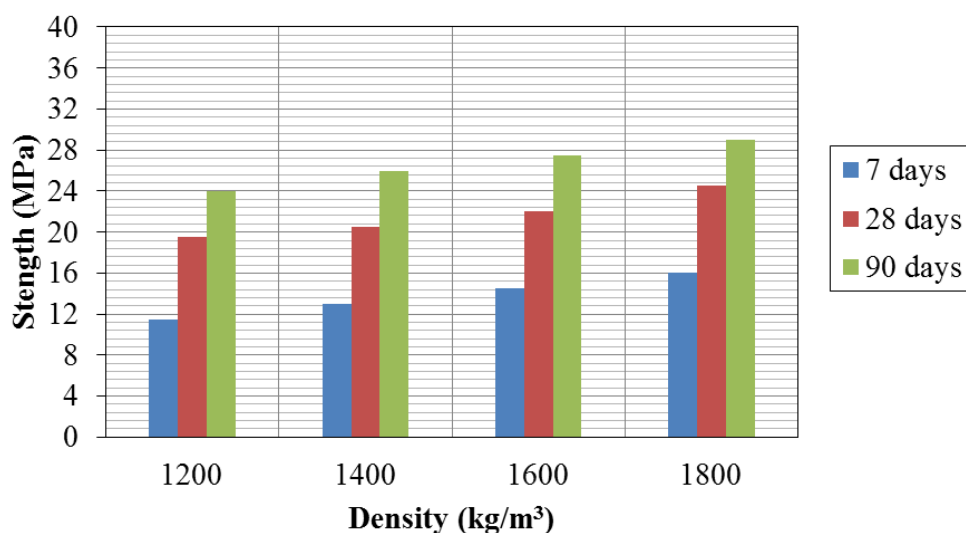
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา แสดงในรูปที่ 4.1-4.12 ในรูปที่ 4.1-4.6 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาปทที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 และ 0.55 ทดสอบที่ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 1000, 1200, 1400, 1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

พิจารณาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 รูปที่ 4.1-4.3 ผลทดสอบพบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการทดสอบ และมีแนวโน้ม

สูงขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552) การใช้เส้นใยแก้วแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาลดลง (รูปที่ 4.1-4.3) ที่อายุการทดสอบ 7 วัน กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาอยู่ระหว่าง 10-14.5 เมกะปาสกาล (100-145 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ที่อายุการทดสอบ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาอยู่ระหว่าง 11.5-24.5 เมกะปาสกาล (115-245 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และ ที่อายุการทดสอบ 90 วัน กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาอยู่ระหว่าง 16-29 เมกะปาสกาล (160-290 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

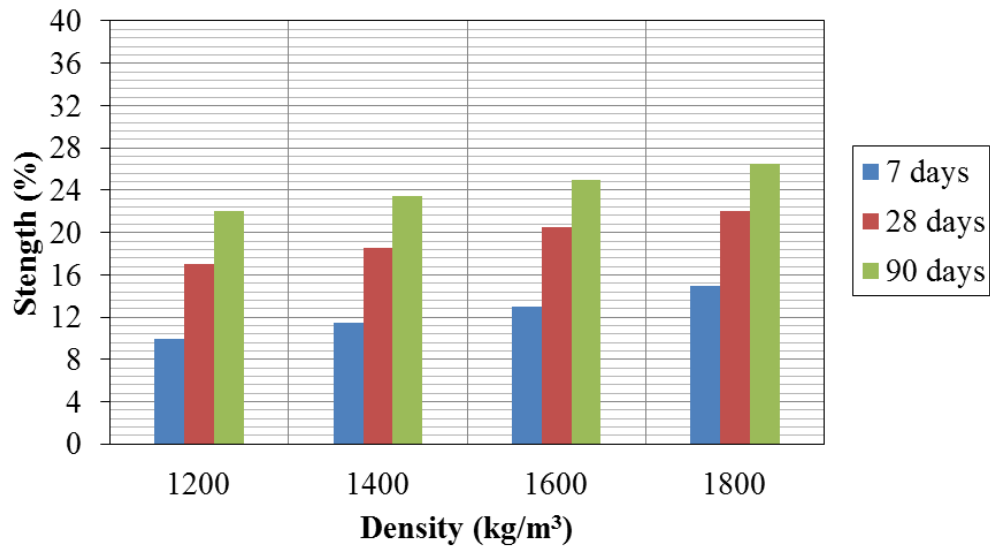
ที่อายุการทดสอบ 28 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเส้นใยแก้วในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 19.5-24.5 เมกะปาสกาล (195-245 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเส้นใยแก้วในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 17-22 เมกะปาสกาล (170-220 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อย่างไรก็ตาม การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเส้นใยแก้วในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน กำลังอัดมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 11.5-17 เมกะปาสกาล (115-170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

ผลการทดสอบกำลังอัดที่สูงของเส้นใยแก้วเนื่องจากขนาดอนุภาคที่กลมตัน และการปรับปรุงขนาดอนุภาคของเส้นใยแก้วให้มีขนาดเล็กสามารถเข้าไปอุดช่องว่างภายในโพรงคอนกรีตและส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี (Rukzon and Chindaprasirt 2008; Rukzon et al 2008a) ดังนั้นการใช้เส้นใยแก้วแทนที่ปูนซีเมนต์พัฒนา กำลังอัดได้ดี (Jitchaiyaphuma et al. 2011)

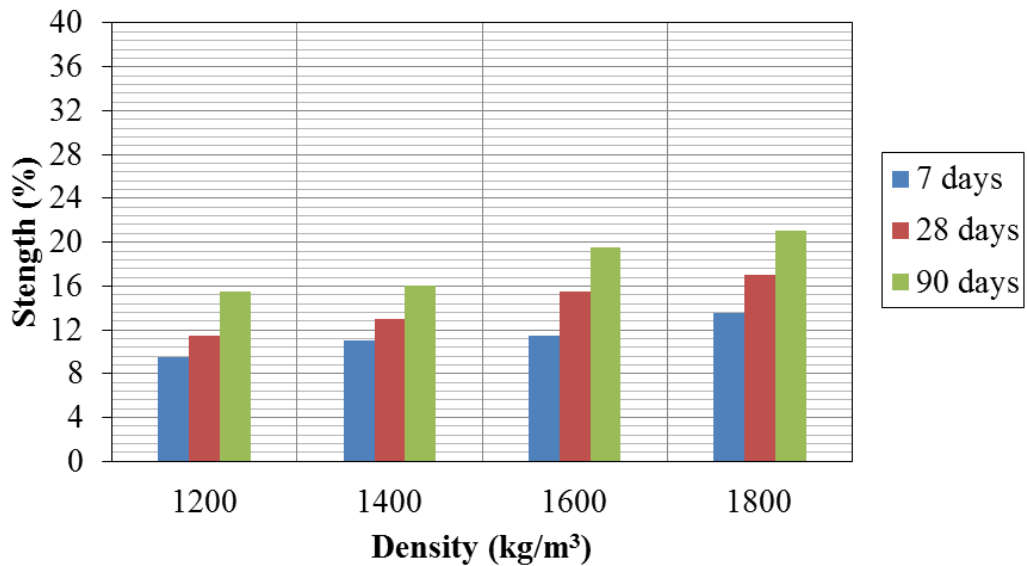


รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเส้นใยแก้วร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40

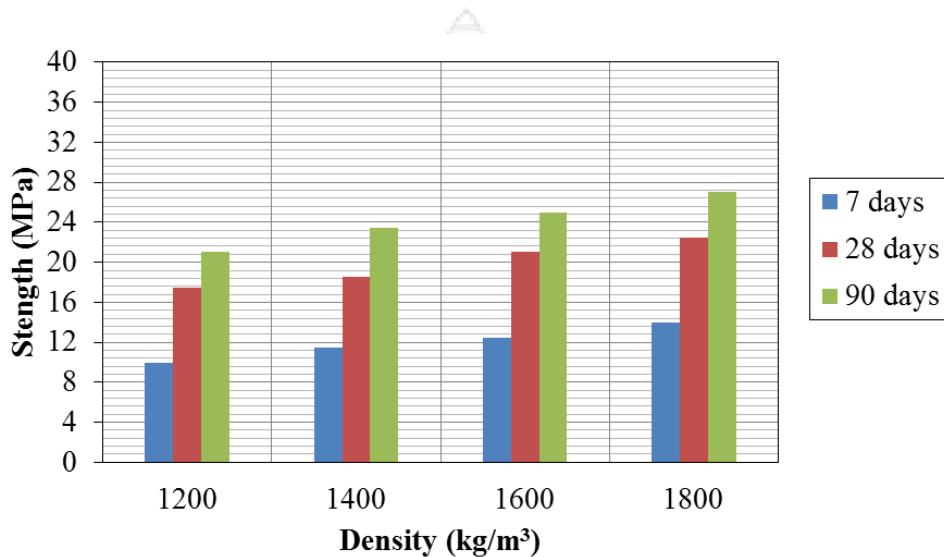


รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40

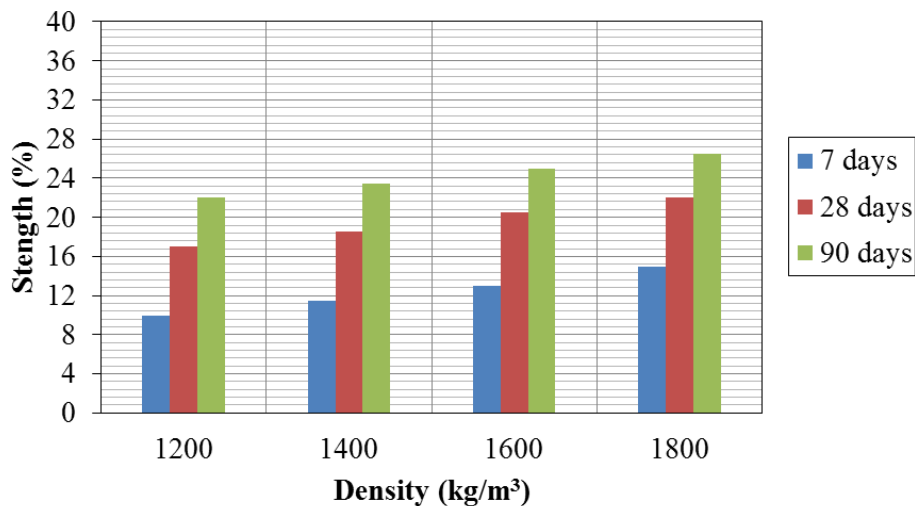


รูปที่ 4.3 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40

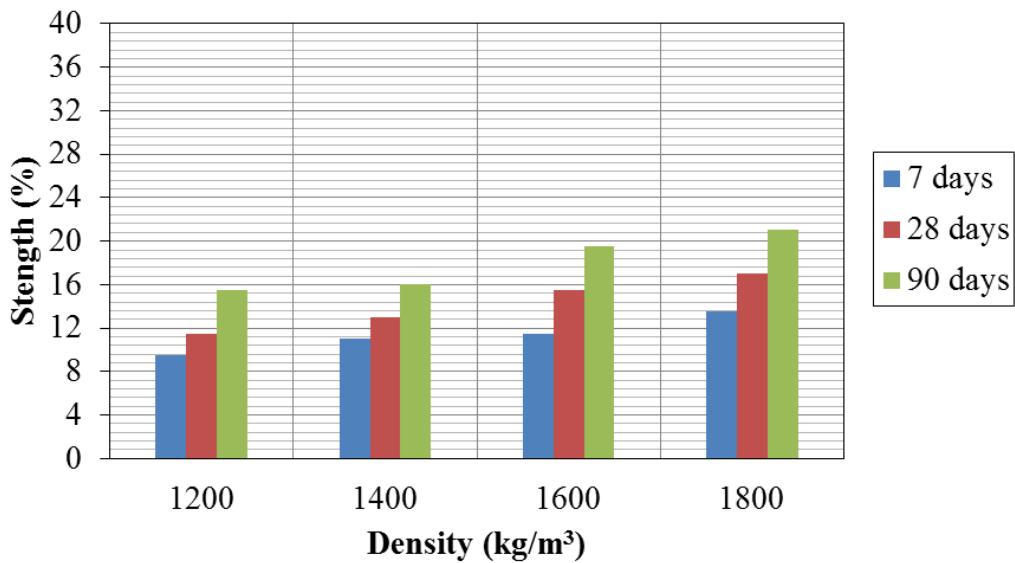
ในรูปที่ 4.4-4.6 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ซึ่งผลทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 กล่าวคือ คอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่องตามอายุการทดสอบ และกำลังอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต



รูปที่ 4.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55



รูปที่ 4.5 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55



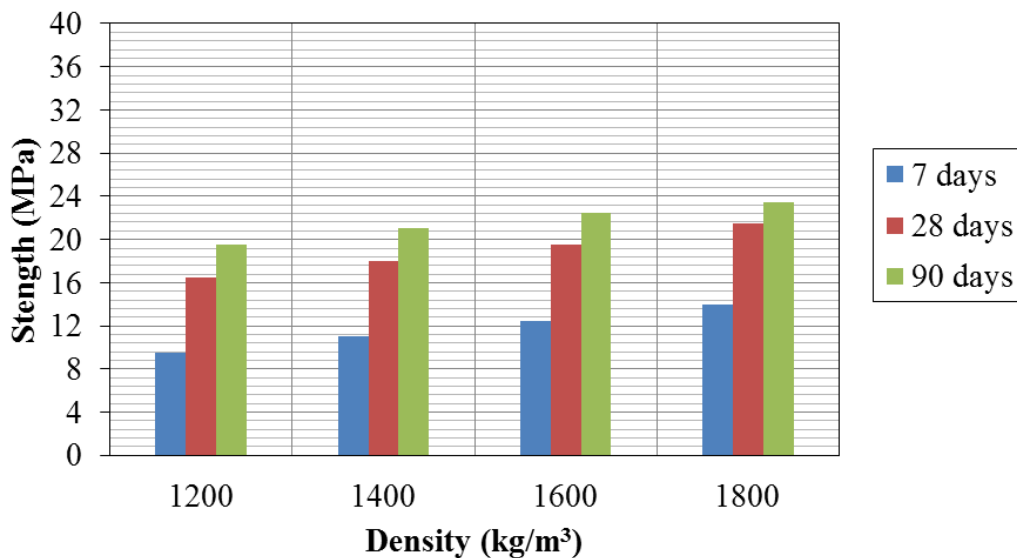
รูปที่ 4.6 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55

4.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย

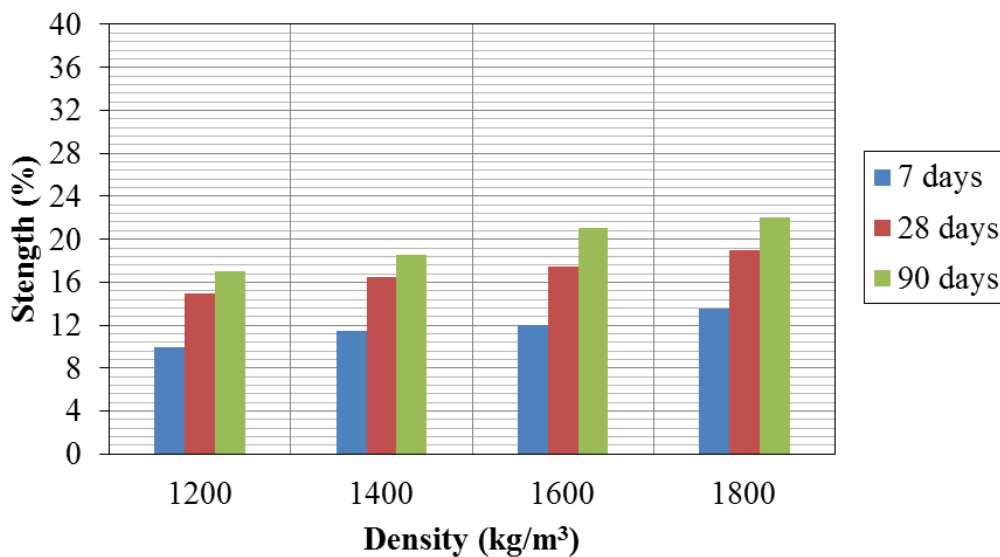
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย แสดงในรูปที่ 4.7-4.12 ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดมีการพัฒนาขึ้นตามอายุการทดสอบ ค่ากำลังอัดที่ค่าสูงขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมา (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)

ที่อายุการทดสอบ 7 วัน คอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขาน้อยในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 (รูปที่ 4.7-4.9) กำลังอัดมีค่าอยู่ในช่วง 9.5-14, 10-13.5 และ 6-10 เมกะปาสคาล ตามลำดับ (95-140, 100-135 และ 60-100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ที่อายุการทดสอบ 28 วัน คอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขาน้อยในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 16.5-21.5, 15-19 และ 9.5-14 เมกะปาสคาล ตามลำดับ (165-215, 150-190 และ 95-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ส่วนที่อายุการทดสอบ 90 วัน คอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขาน้อยในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 16.5-21.5, 15-19 และ 9.5-14 เมกะปาสคาล ตามลำดับ (165-215, 150-190 และ 95-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าขาน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการทดสอบที่

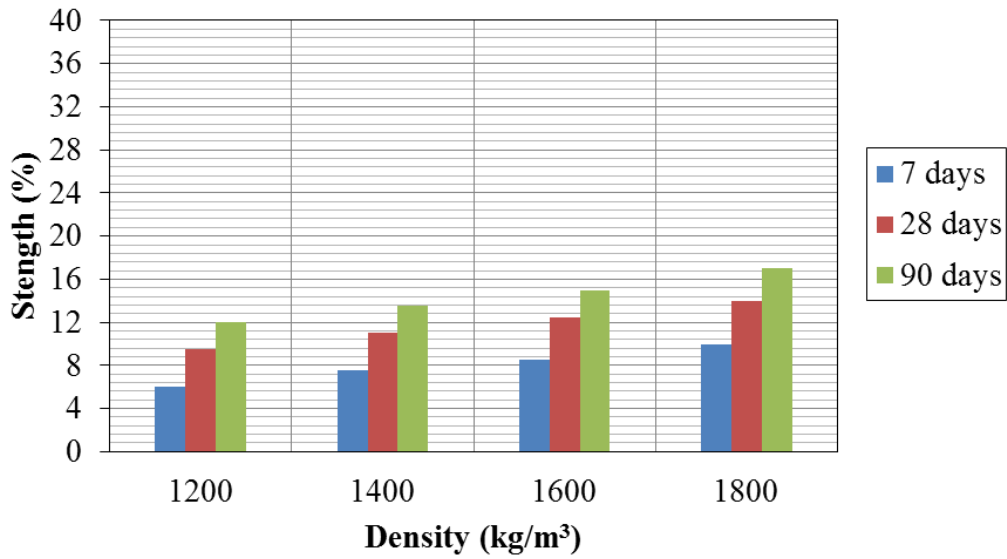
อายุ 28 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อยในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ที่หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังอัดอยู่ในช่วง 17.5 และ 19 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอาจพิจารณาถึงการนำไปใช้จริงในงานก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาได้ (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)



รูปที่ 4.7 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40

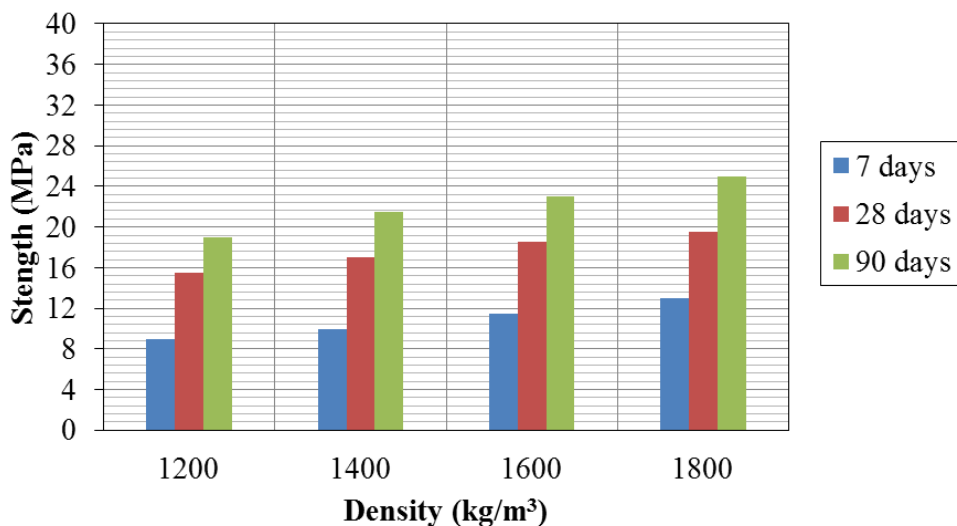


รูปที่ 4.8 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40

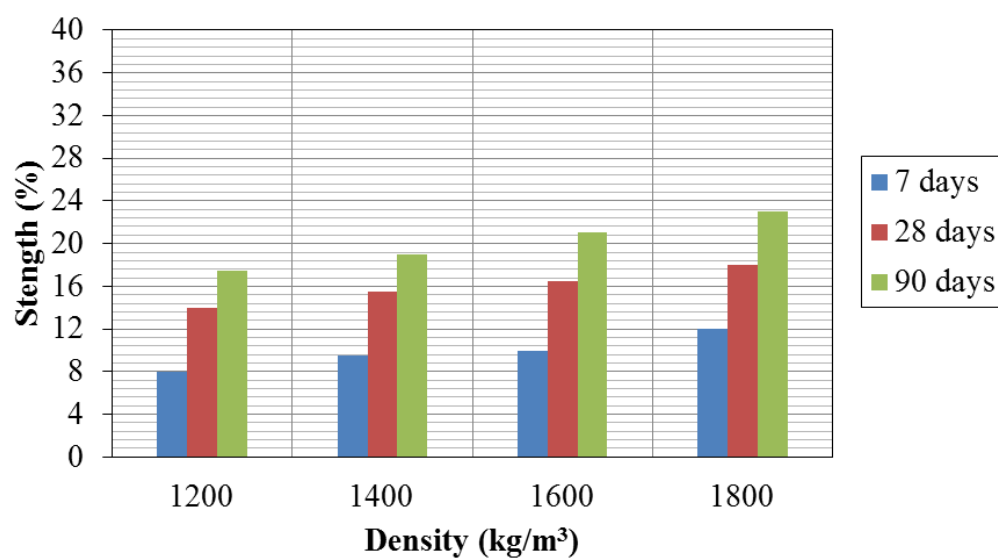


รูปที่ 4.9 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าขาน้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40

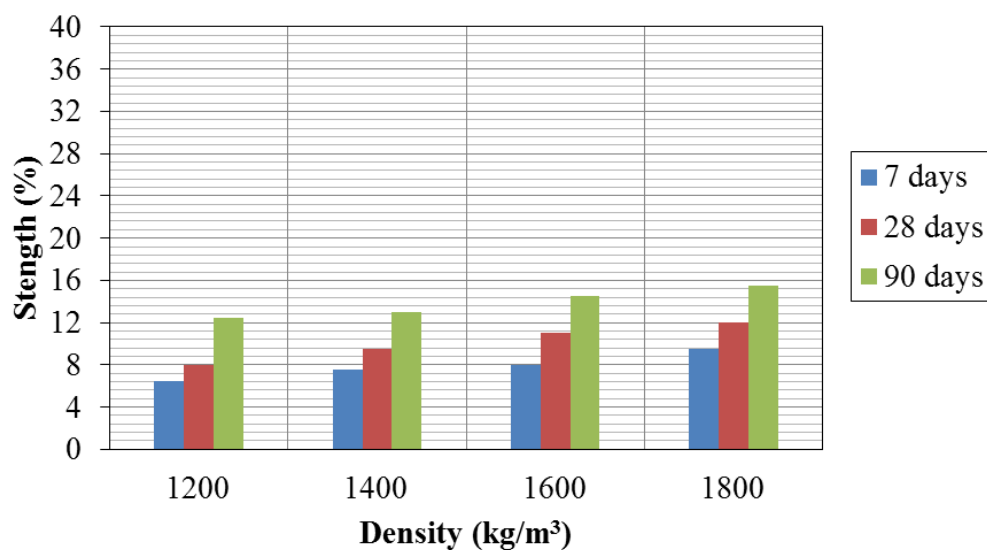
ในรูปที่ 4.10-4.12 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าขาน้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ซึ่งผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดพัฒนาตามอายุการทดสอบและกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต เช่นเดียวกับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



รูปที่ 4.10 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าขาน้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55



รูปที่ 4.11 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าขาน้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55



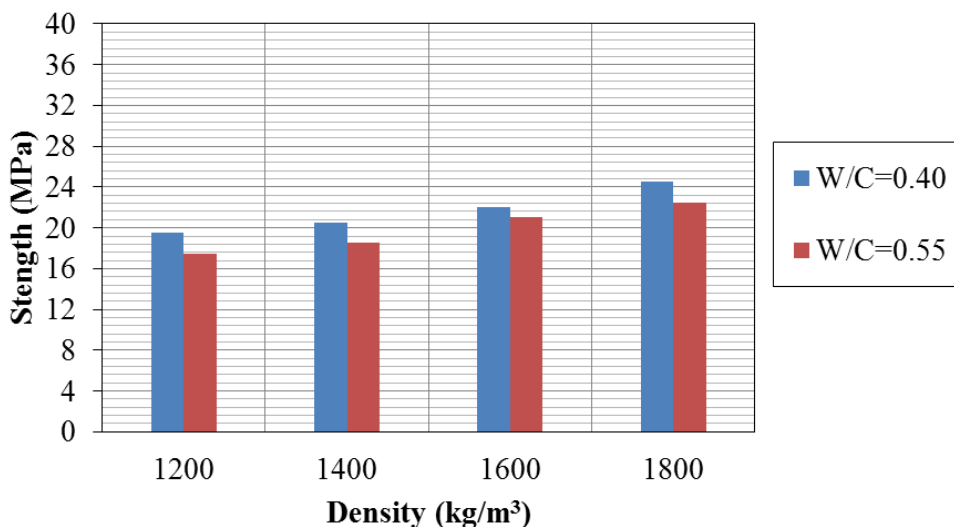
รูปที่ 4.12 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าขาน้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.55

4.5 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัด

รูปที่ 4.13-4.15 แสดงถึงอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่วนรูปที่ 4.16-4.18 แสดงถึงอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

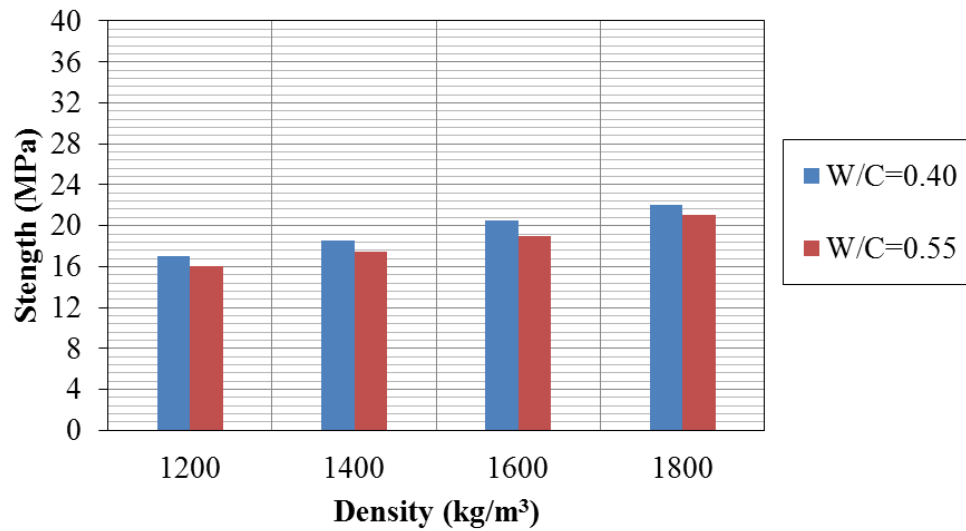
ผลการทดสอบพบว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่น้อยส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูง (Qiao et al. 2008) ในรูปที่ 4.13-4.15 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหิน ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.40 มีค่าสูงกว่า กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ในทุกส่วนผสม

ในรูปที่ 4.16-4.18 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อย ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.40 พบว่ากำลังอัดมีค่าสูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ในทุกส่วนผสม เช่นเดียวกับการใช้เถ้าถ่านหิน การทดสอบนี้คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (Qiao et al. 2008) ดังนั้น ในการออกแบบคอนกรีต ควรพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมเปี้ยสำคัญ เนื่องจากส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

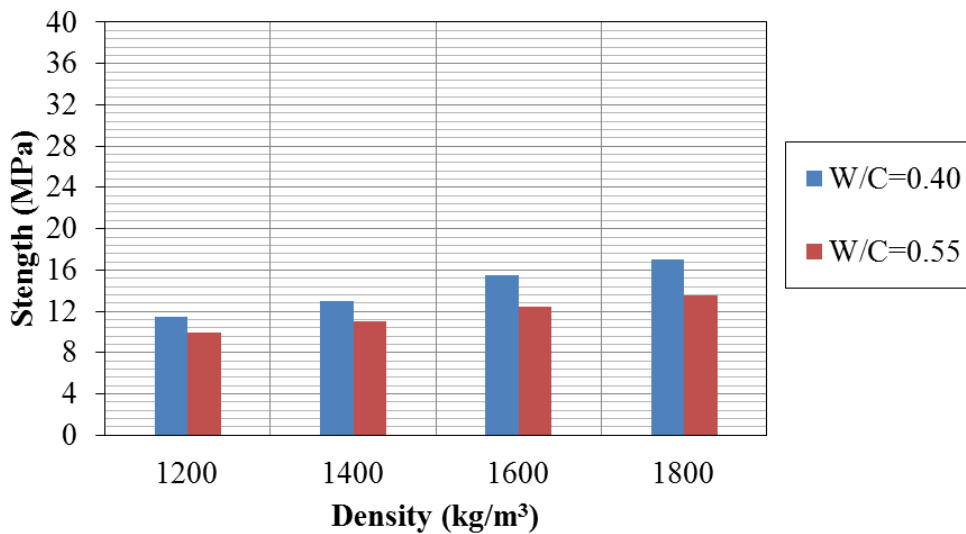


รูปที่ 4.13 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

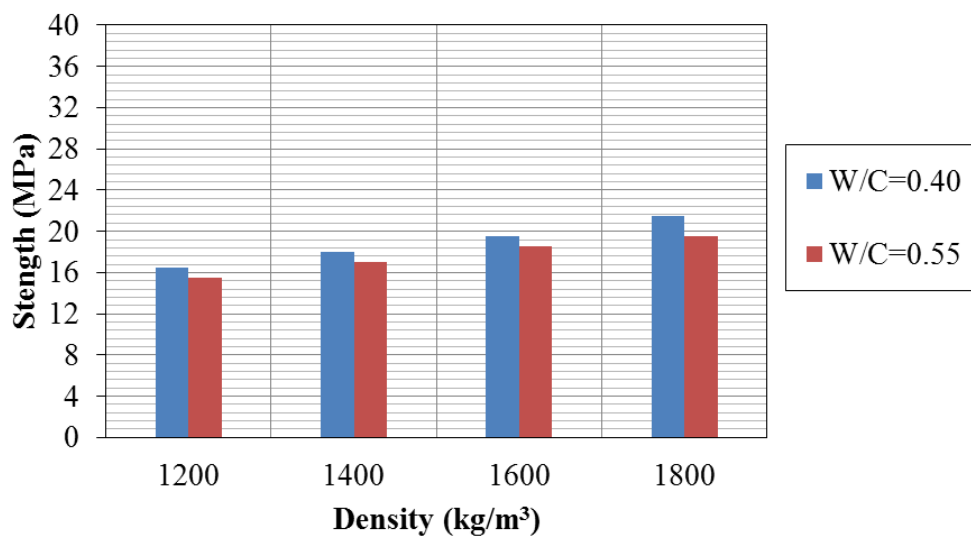
แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



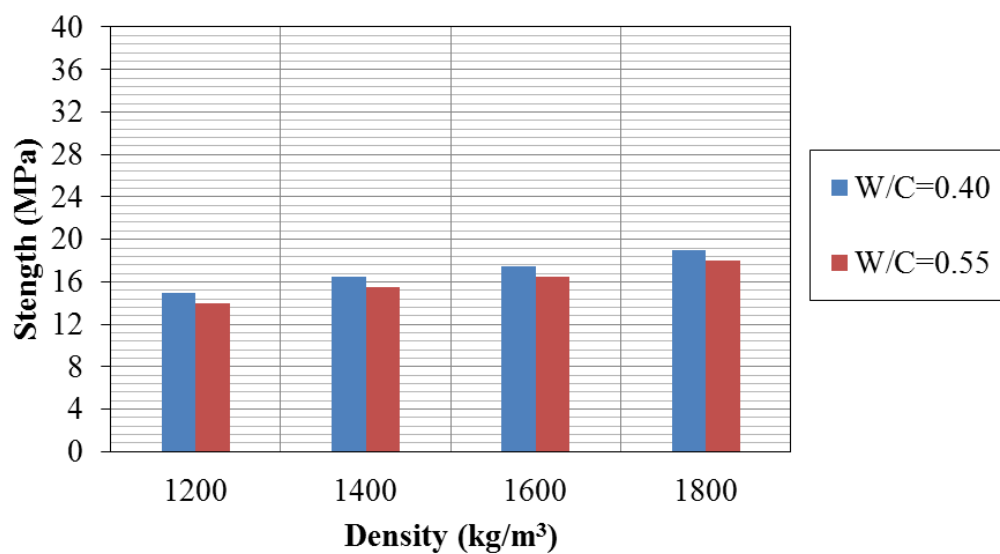
รูปที่ 4.14 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา
แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



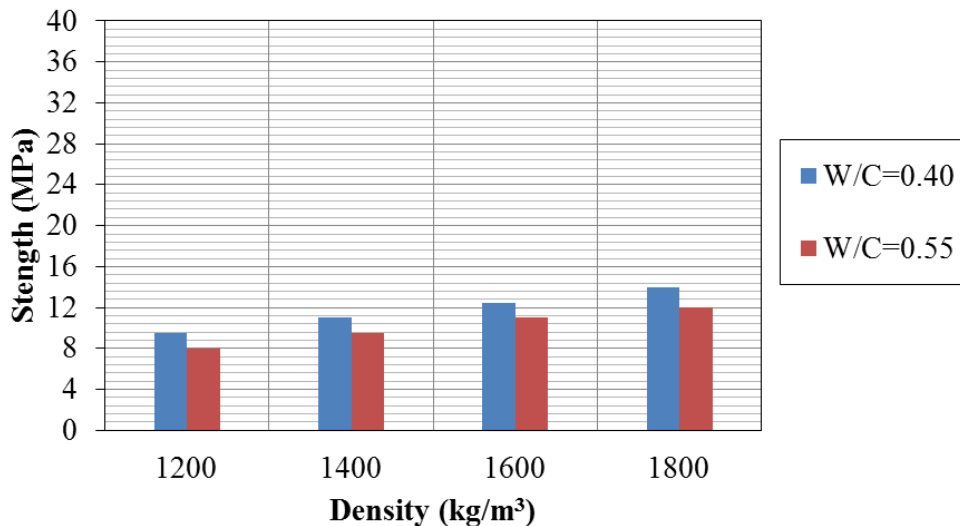
รูปที่ 4.15 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา
แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.16 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา
แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.17 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา
แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

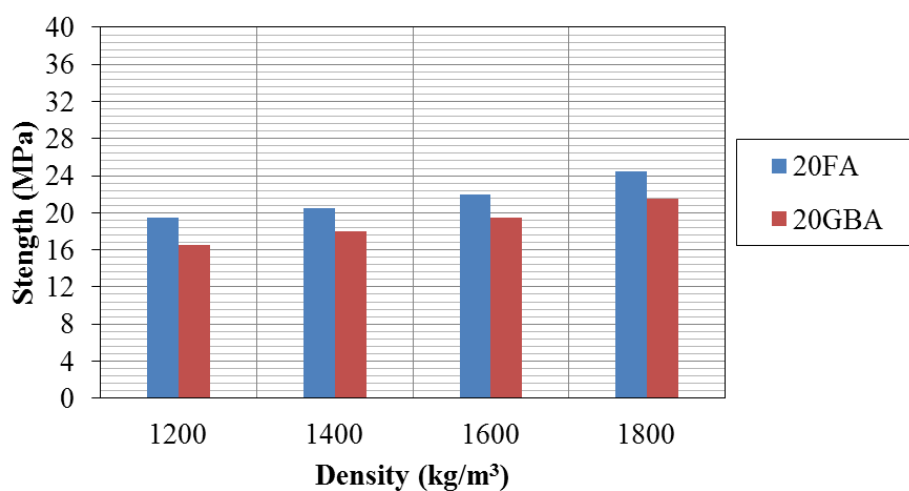


รูปที่ 4.18 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา
แทนที่ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

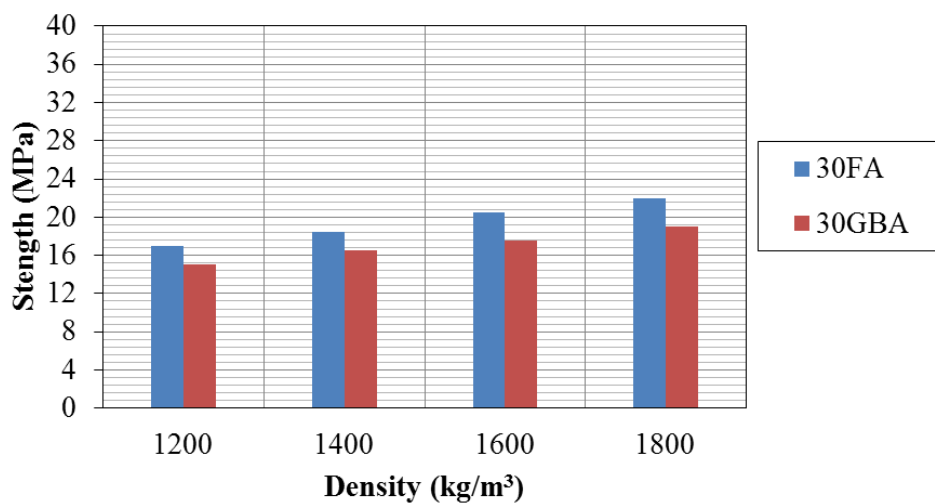
4.6 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อย

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อยในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงในรูปที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ

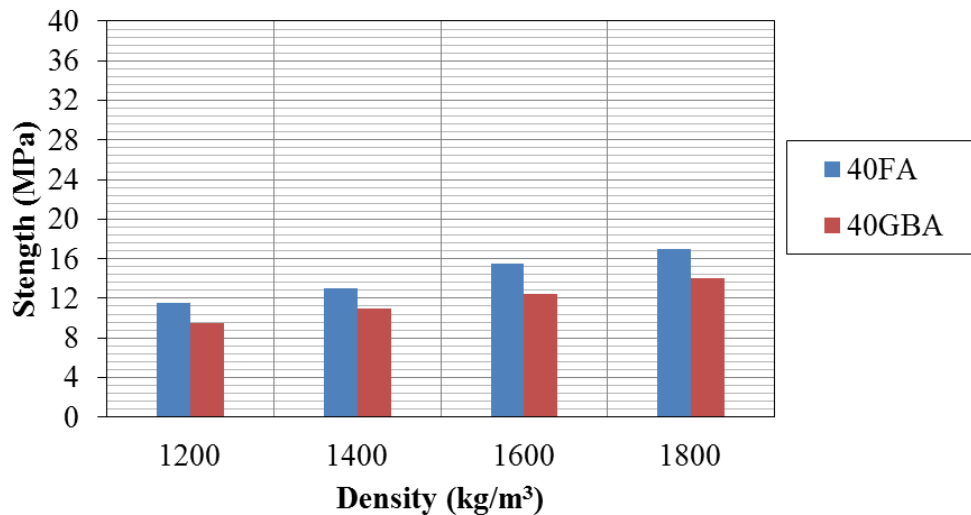
ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าการใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ในทุกส่วนผสม เนื่องจากขนาดอนุภาคที่กลมตันของเถ้าถ่านหินสามารถเข้าไปอุดรูโพรงของคอนกรีตได้ ส่งผลให้คอนกรีตมีความทึบแน่นขึ้น ในขณะที่เถ้าขานอ้อยแม้ว่าจะนำมาบดละเอียดให้มีขนาดอนุภาคเล็กลง แต่ความยังมีความพรุนอยู่ในตัวของอนุภาค อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงการนำคอนกรีตมวลเบาไปใช้งานในโครงการก่อสร้างจริงมีความเป็นไปได้ กล่าวคือ ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 18-21.5 เมกะปาสกาล (180-215 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) โดยพิจารณาที่หน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1400, 1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในการใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 17.5-19 เมกะปาสกาล (175-190 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ซึ่งคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้างใช้กำลังอัดที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วง 170-400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552) หรือถ้าเป็นคอนกรีตสำหรับงานก่อ ใช้กำลังอัดเท่ากับ 100-170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



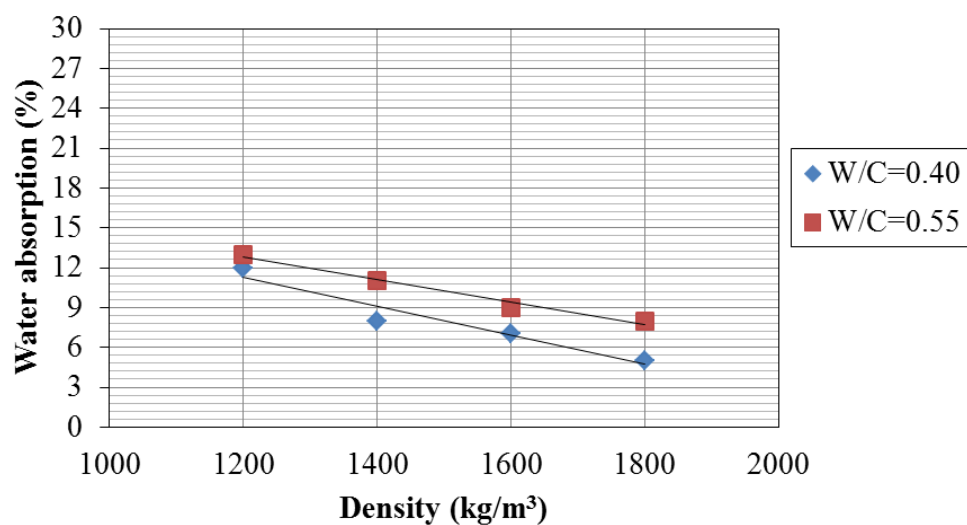
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

4.7 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

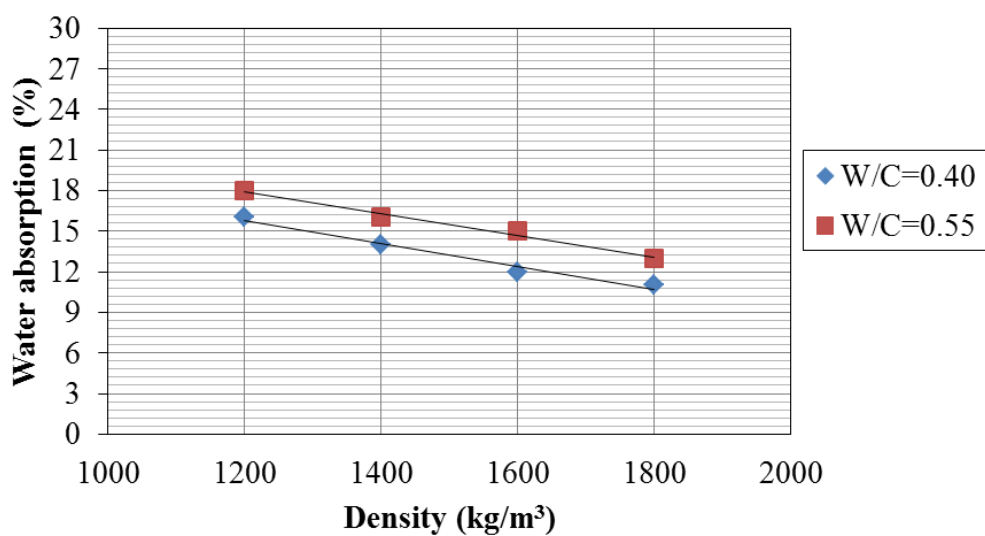
ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงไว้ในรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.44 ส่วนผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อยในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงไว้ในรูปที่ 4.24, 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ

ผลการทดสอบพบว่า การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาลดลงตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต และการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 ในทุกส่วนผสม ผลการทดสอบให้เห็นว่า กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบามีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่น้อยให้ค่ากำลังอัดที่สูงและค่าหน่วยน้ำหนักสูง การที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อยปริมาณฟองอากาศจะมากขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำสูงขึ้น (Qiao et al. 2008; กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)

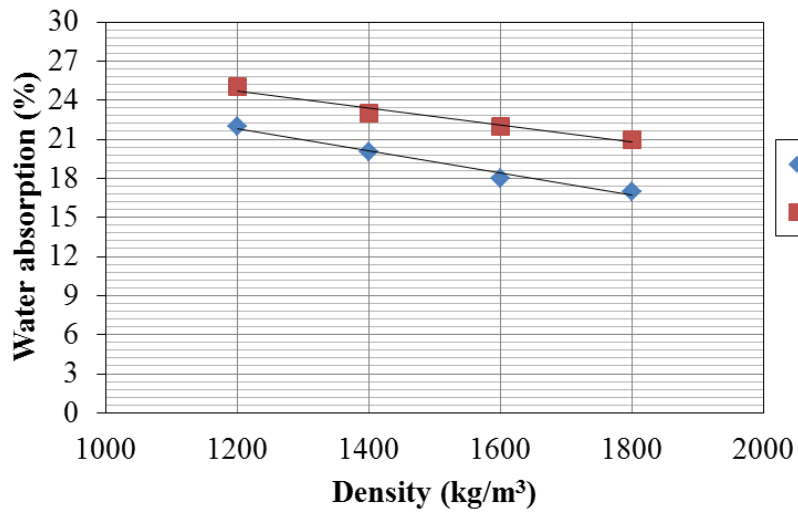
การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน ส่งผลให้การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น คอนกรีต 40GBA มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ตามด้วยคอนกรีต 30GBA และ 20 GBA ตามลำดับ ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้วัสดุปอซโซลาน จึงควรพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่ และอาจพิจารณาผลของกำลังอัดที่ต้องการใช้งาน



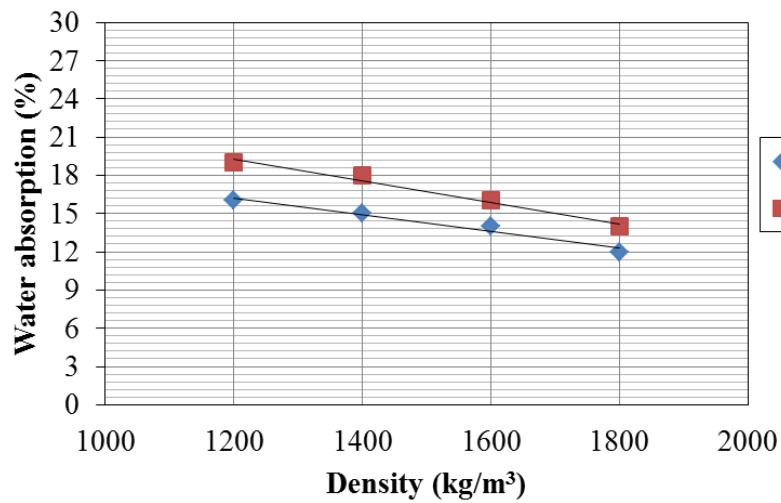
รูปที่ 4.22 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



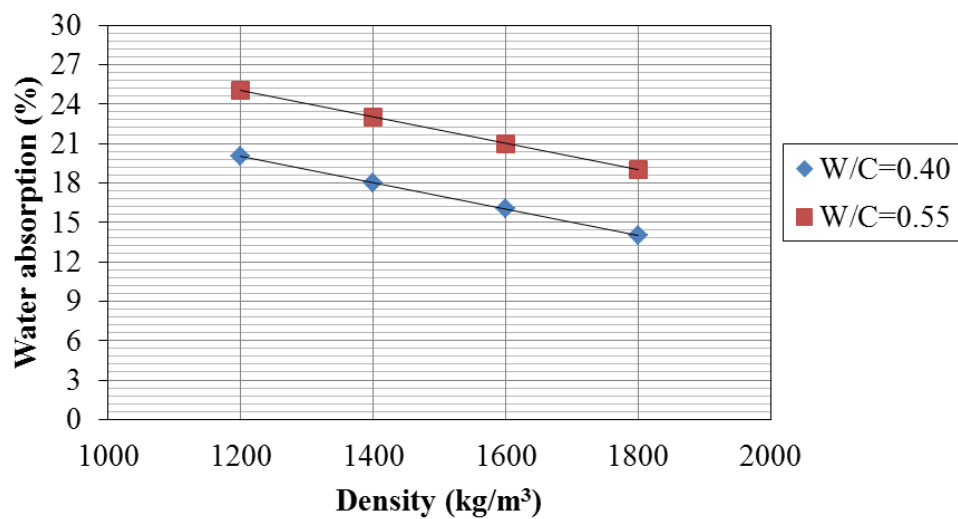
รูปที่ 4.23 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



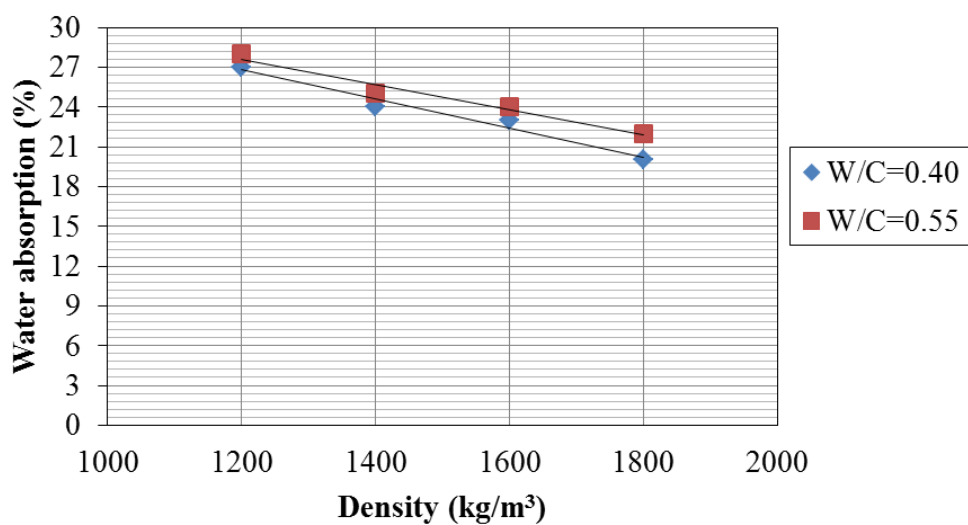
รูปที่ 4.24 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.25 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.26 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



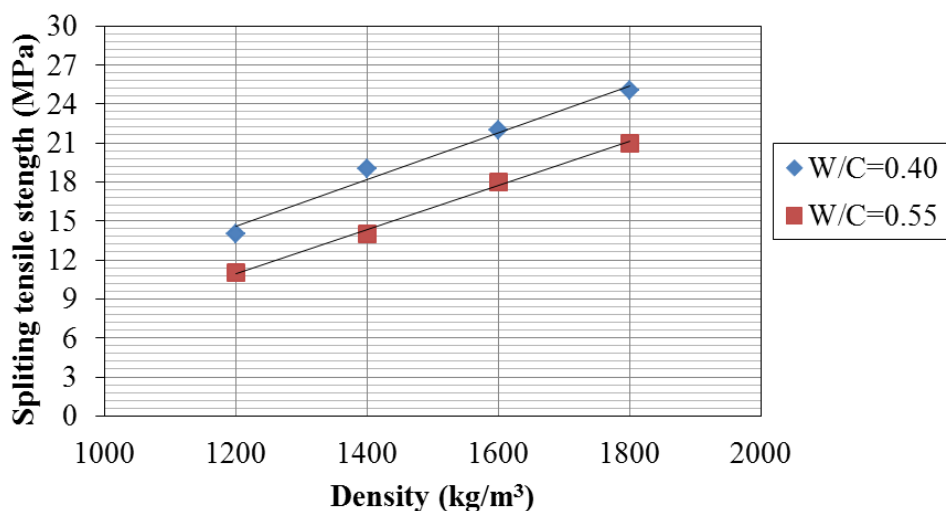
รูปที่ 4.27 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

4.8 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบา

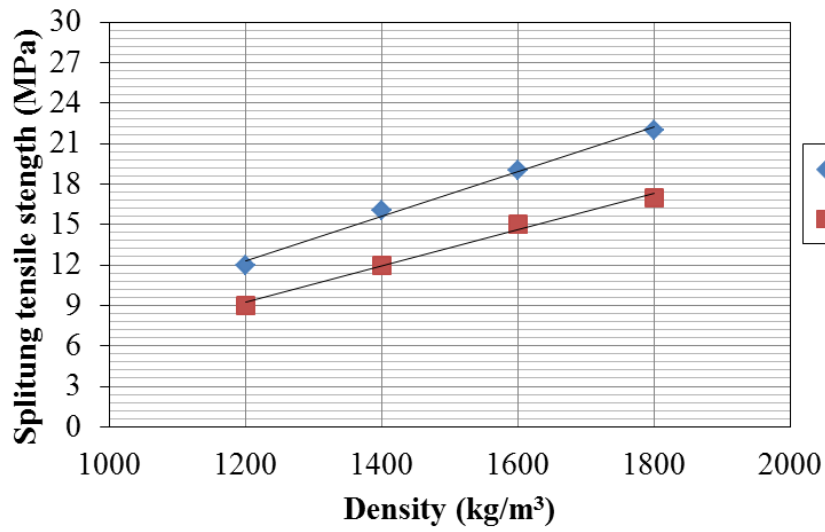
ผลการทดสอบกำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบา แสดงในรูปที่ 4.28-4.33 ซึ่งพบว่า กำลังอัดดึงแยกของคอนกรีตมวลเบามีค่าสูงขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาในทุกส่วนผสม กำลังดึงแยกของคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 มีค่าสูงกว่า 0.55 ผลการทดสอบคล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)

ในรูปที่ 4.34 และ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าขานอ้อย ตามลำดับ โดยเป็นตัวอย่างการทดสอบเฉพาะการแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งพบว่า เมื่อกำลังอัดสูงขึ้นส่งผลให้กำลังดึงของคอนกรีตมวลเบาสูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดสอบครั้งนี้คล้ายกับงานวิจัยของ กฤษณ์ กิ่งไก่อ (2552) ซึ่งพบว่า กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบามีค่าสูงขึ้นตามกำลังอัดที่สูงขึ้น

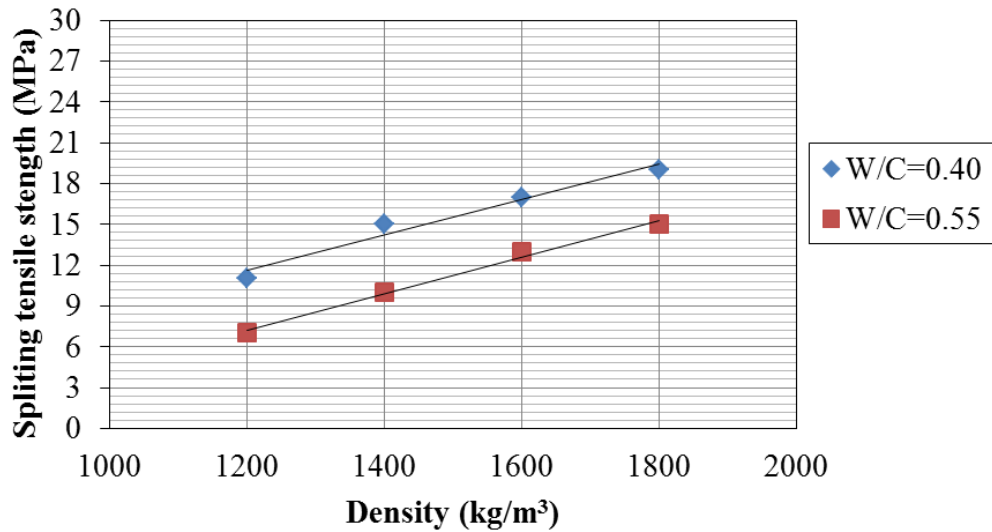
การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานส่งผลให้กำลังดึงแยกลดลง กล่าวคือกำลังดึงแยกของการแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังดึงแยกสูงตามด้วย การแทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ จึงต้องพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่



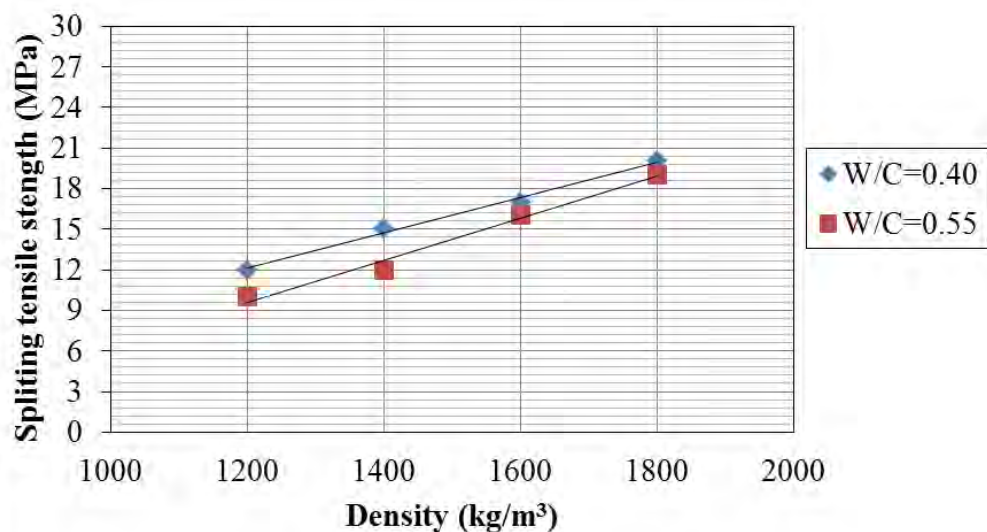
รูปที่ 4.28 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



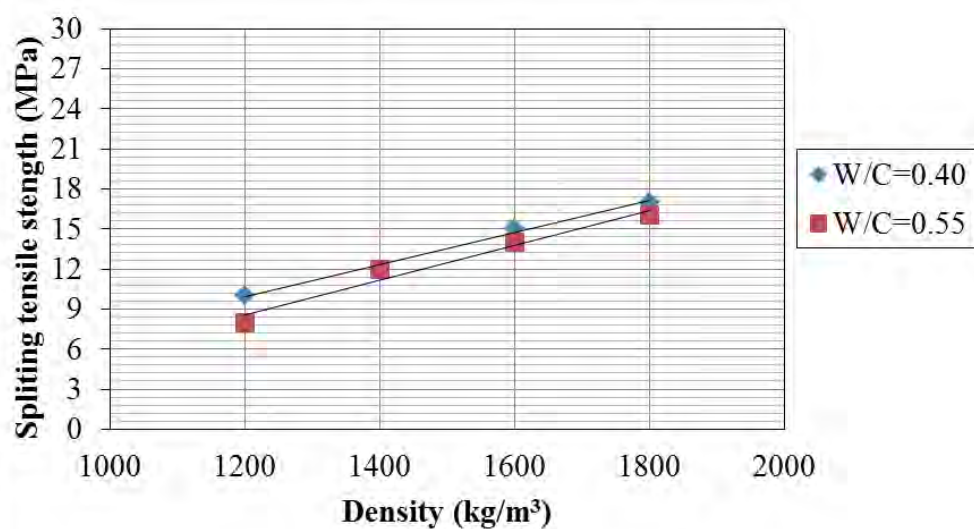
รูปที่ 4.29 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



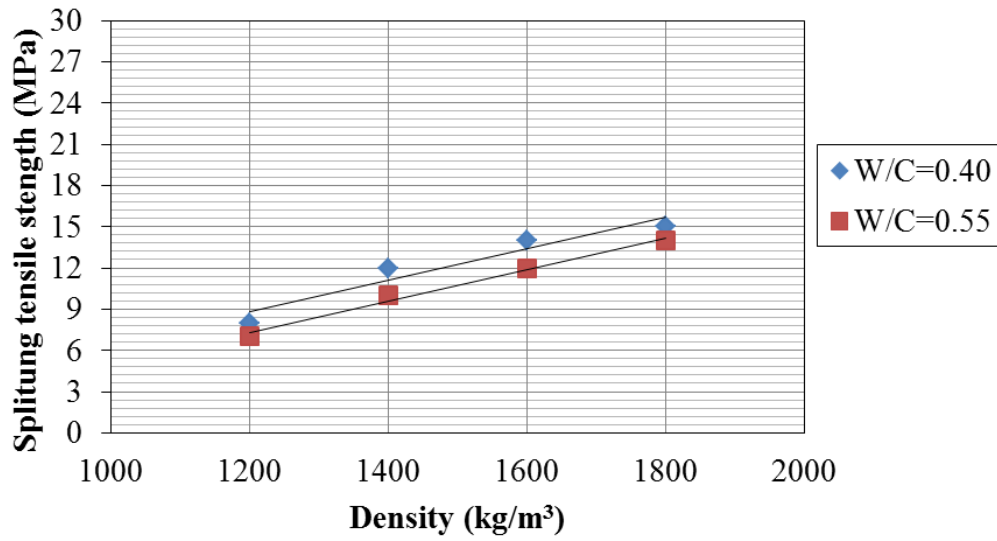
รูปที่ 4.30 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



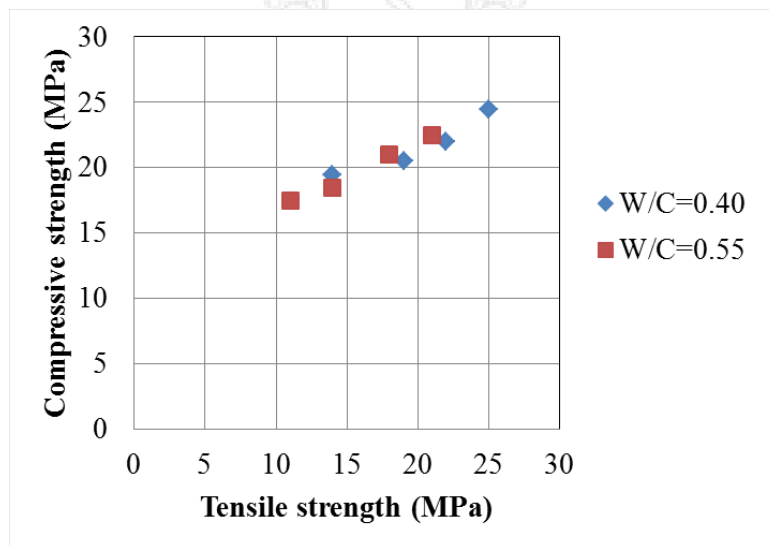
รูปที่ 4.31 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



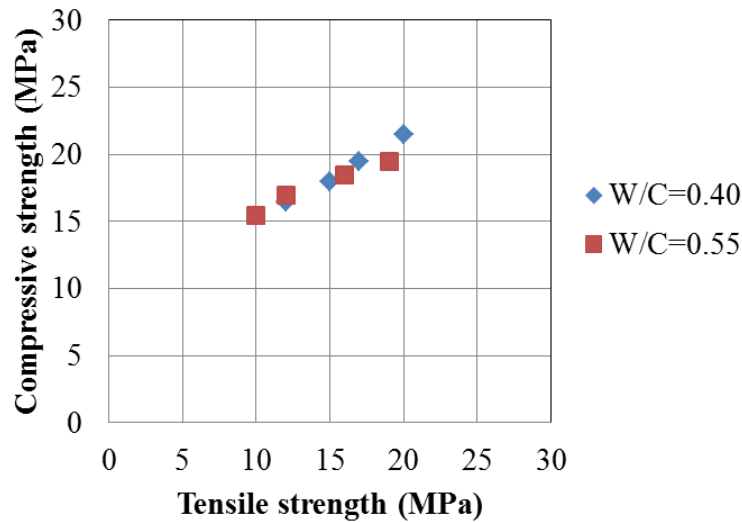
รูปที่ 4.32 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.33 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

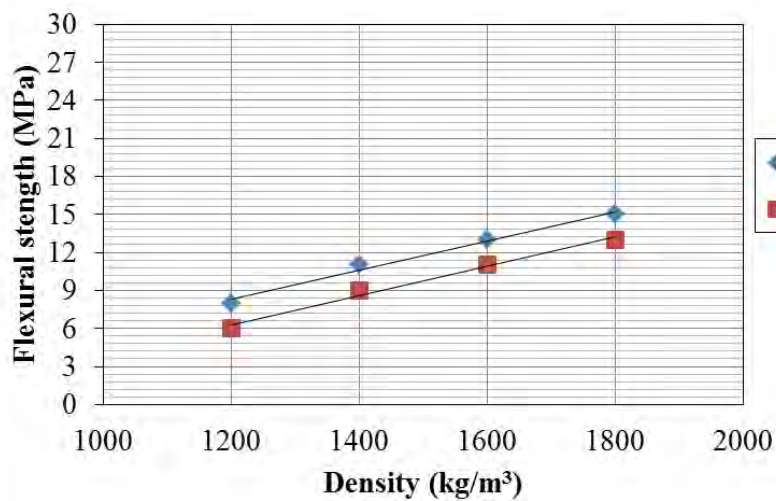
4.9 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา แสดงในรูปที่ 4.36-4.41 การทดสอบพบว่าเมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบามีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้การต้านทานการดัดสูงขึ้นด้วย (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)

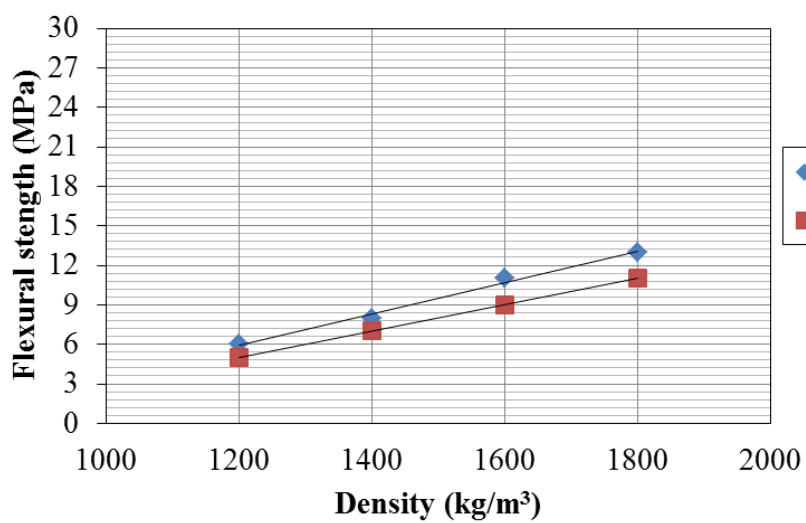
การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในทุกส่วนผสมและใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 พบว่ามีกำลังอัดสูงกว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.55 ส่วนการใช้เถ้าขาน้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ผลทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้เถ้าถ่านหิน กล่าวคือ การใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 มีกำลังอัดสูงกว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีความสำคัญต่อการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต เนื่องจากพบว่าหากปริมาณน้ำมีมากเกินไปส่งผลให้กำลังอัดลดลง (Qiao et al. 2008) และฟองอากาศอาจมากขึ้นตามไปด้วย (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552)

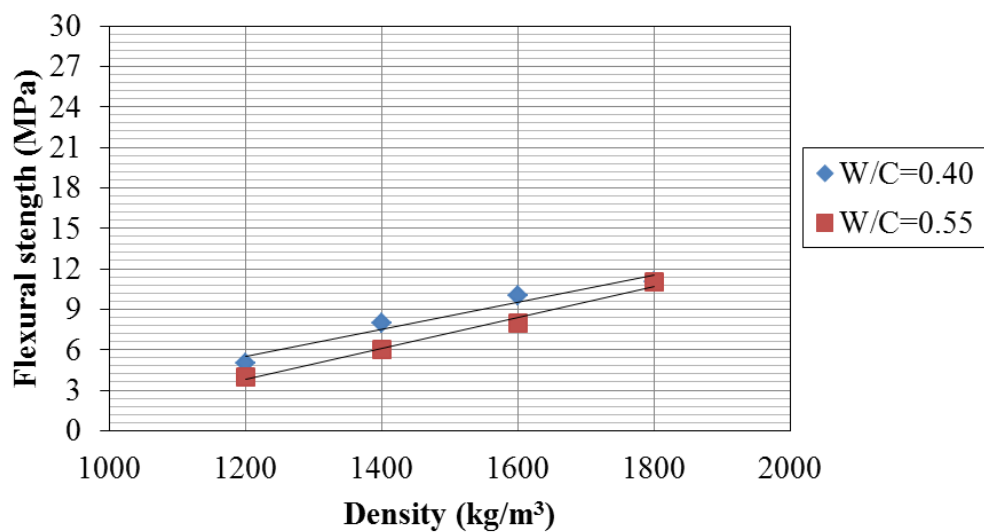
ในการเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน พบว่าส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง คล้ายกับผลการทดสอบกำลังอัดในหัวข้อข้างต้น ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยวัสดุปอซโซลาน มีแนวโน้มให้กำลังอัดลดลงด้วย ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต จึงควรพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่ด้วยวัสดุปอซโซลานเป็นสำคัญด้วย



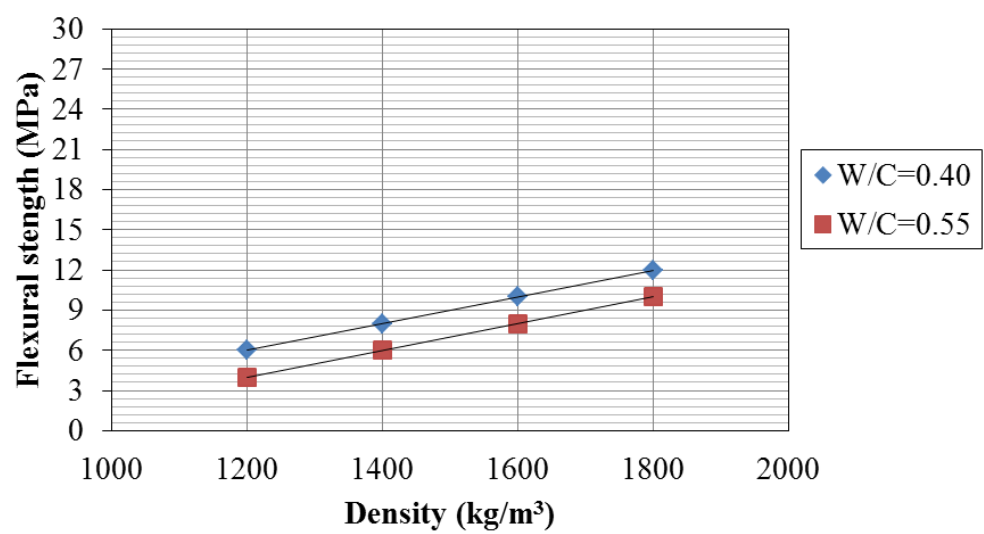
รูปที่ 4.36 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



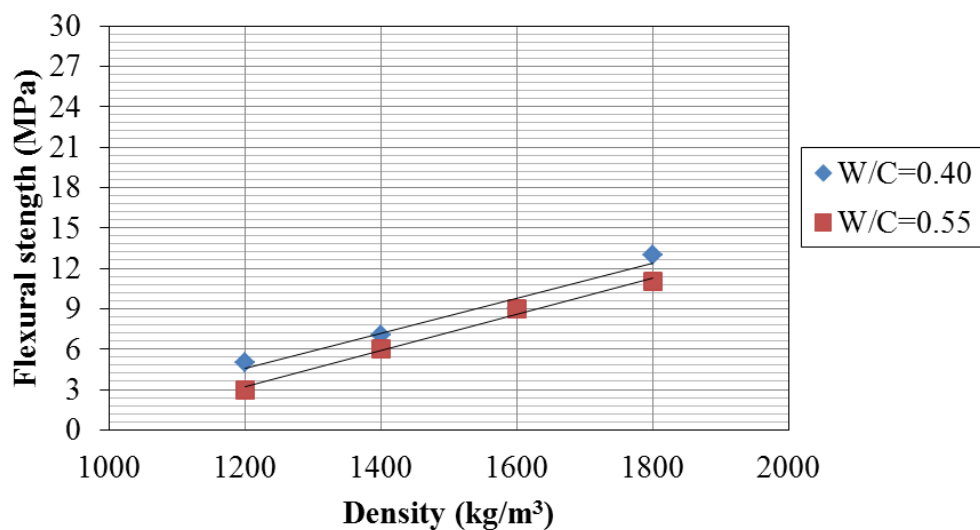
รูปที่ 4.37 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



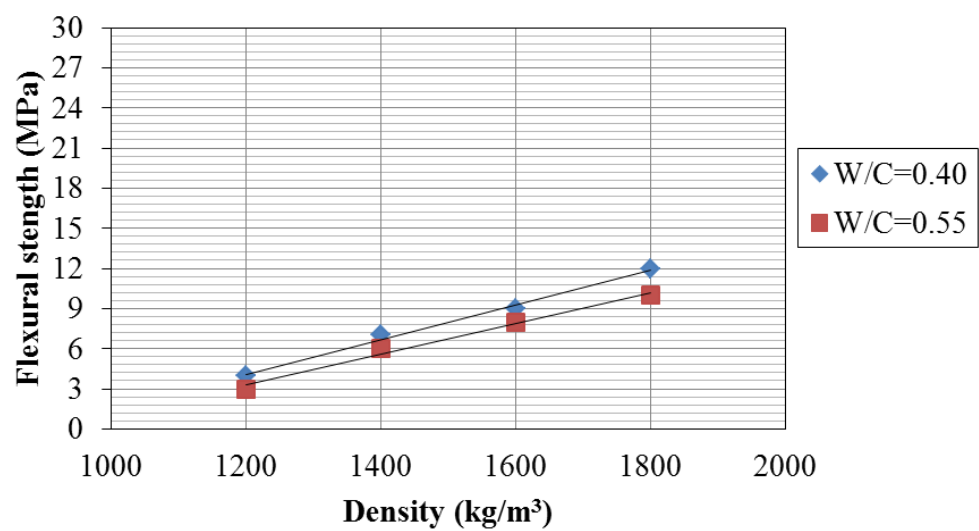
รูปที่ 4.38 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหิน
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.39 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขาน้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.40 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.41 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าขานอ้อย
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และแนวทางต่อการวิจัยอย่างต่อเนื่องในการใช้วัสดุพอลิโพรพิลีนสำหรับใช้ในงานคอนกรีตมวลเบา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาด้านวิศวกรรมวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1) หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบามีค่าสูงส่งผลให้กำลังอัด กำลังอัดดึงแยก กำลังอัด สูงขึ้น และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบามีค่าสูงส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลง
- 2) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงผลให้กำลังอัดมีค่าลดลง
- 3) การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุพอลิโพรพิลีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังอัด กำลังดึงแยก และกำลังดัดลดลง และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น
- 4) เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งาน ที่อายุคอนกรีต 28 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยแก้วฉนวนหินในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน กำลังอัดอยู่ในช่วง 17, 18.5, 20.5 และ 22 เมกะปาสกาล (170, 185, 205 และ 220 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ที่หน่วยน้ำหนัก 1000, 1200, 1400, 1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ
- 5) เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งาน ที่อายุคอนกรีต 28 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยแก้วฉนวนอ้อยในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน กำลังอัดอยู่ในช่วง 18, 19.5 และ 21.5 เมกะปาสกาล (180, 195 และ 215 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ที่หน่วยน้ำหนัก 1400, 1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจใช้วัสดุพอลิโพรพิลีนชนิดอื่นๆ และเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น การนำความร้อน การป้องกันเสียง หรืออื่นๆ ที่เป็นการสร้างความมั่นใจให้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณ์ กิ่งโก้. 2552. “คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมสารซูเปอร์ พลาสติไซเซอร์,”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 105 หน้า.
- พัชรพล โพธิ์ศรี., 2552. “การศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลสสำหรับงาน
โครงสร้าง,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 86 หน้า.
- พัชร อ่อนพรหม และคณะ., 2552. “คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมเถ้าก้นเตา, การประชุมวิชาการ
คอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 5.
- สำเร็จ รักซ้อน., ฉัตรชัย เขียวหิรัญ., นิโรจน์ เงินพรหม., 2551. “การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและ
เกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์,” ทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการ
วิจัยแห่งชาติ (วช.), 118 หน้า.
- สุเมธ สันตพัฒน์ และคณะ., 2552. “การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจากความ
หนาแน่นคอนกรีต, การประชุมวิชาการคอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 5.
- สำเร็จ รักซ้อน., 2555. “การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีกำลังและหน่วยแรงใช้งาน,” แองเกิ้ล
ออฟไซ, พิมพ์ครั้งที่ 5: 426 หน้า.
- อิทธิเชษฐ์ อุตะธีรวิชัย และคณะ., 2552. “การหัดตัวแห้งและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส,
การประชุมวิชาการคอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 5.
- ASTM C618 (2005a). “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete
Specimens.” Annual Book of ASTM Standard 04.02, 323-325.
- ASTM C33. Standard Specification Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standard
2005b; 04.02: 10-20.
- ASTM C136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual
Book of ASTM Standard 2005c; 04.02: 88-92.
- Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S and Sirivivatnanon, V (2004). “Influence of fly ash fineness
on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar.”
Cement and Concrete Research, 34, 1087-1092.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Chindaprasirt, P., Rukzon, S and Sirivivatnanon, V (2007). "Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash." *Construction and Building Materials*, 22, 932-938.
- Jitchaiyaphuma, K., Sinsiriat, T and Chindaprasirt, P (2011). "Cellular Lightweight Concrete Containing Pozzolan Materials." *Procedia Engineering*, 14, 1157-1164.
- Kim, H.K., Hwang, E.A and Lee, H.K (2012). "Impacts of metakaolin on lightweight concrete by type of fine aggregate." *Construction and Building Materials*, 36, 719-726.
- Kockal, N.U and Ozturan, T (2011a). "Characteristics of lightweight fly ash aggregates produced with different binders and heat treatments." *Cement and Concrete Composites*, 33, 61-67.
- Kockal, N.U and Ozturan, T (2011b). "Durability of lightweight concretes with lightweight fly ash aggregates." *Construction and Building Materials*, 25, 1430-1438.
- Qiao, X.C., Ng, B.R., Tyrer, M and Poon, C.S and Cheeseman, C.R (2008). "Production of using incinerator bottom ash," *Construction and Building Materials*, 22, 473-480.
- Rukzon, S and Chindaprasirt, P (2012). "Use of bagass ash in high-strength concrete." *Materials and Design*, 34, 45-50.
- Rukzon, S and Chindaprasirt, P (2010). "Strength and carbonation model of rice husk ash cement mortar with different fineness." *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(3), 253-259.
- Rukzon, S and Chindaprasirt, P (2008a). "Development of classified fly ash as a pozzolanic material." *Journal of Applied Sciences*, 8(6), 1097-1102.
- Rukzon, S., Chindaprasirt, P and Mahachai, R (2008). "Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* (formally *Journal of University of Science and Technology Beijing*)." 5(1), 75-88.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Shannag, M.J (2011). “Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures.” Construction and Building Materials, 25, 658-662.
- Wongkeo, W and Chaipanich, A (2010). “Compressive strength, microstructure and thermal analysis of autoclaved and air cured structural lightweight concrete made with coal bottom ash and silica fume.” Materials Science and Engineering A, 527, 3676-3684.
- Yasar E., Atis, C.D., Kilic, A and Gulsen H (2003). “Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash.” Materials Letters, 57, 2267-2270.



ภาคผนวก

ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัย

หัวหน้าโครงการ:

- ชื่อ ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน (Asst. Prof. Dr. Sumrerng Rukzon)
- รหัสประจำตัว 3 1805 00327 90 8
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- หน่วยงานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถนนพิบูลสงคราม
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ +6602282 9009-15 ต่อ 6176
โทรสาร +6602 628 9191-3 ต่อ 412 มือถือ 0879454133
E-mail: rerng197@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ	ปี พ.ศ. ที่จบ
ปริญญาตรี	วิศวกรรมโยธา	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วท. เทเวศร์) ประเทศไทย	2537-2539
ปริญญาโท	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประเทศไทย	2543-2545
ปริญญาเอก	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย	2547-2550

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

โครงสร้างเชิงประกอบ คอนกรีต วิศวกรรมกลศาสตร์คำนวณ สิ่งประดิษฐ์และจีโอโพลิเมอร์

7. ประสบการณ์ในงานวิจัย

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วและทุนที่ได้รับ

ชื่อทุนวิจัย	แหล่งทุนที่ให้	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุ ปอชโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2551
อิทธิพลของความละเอียดของวัสดุปอชโซลานต่อความคงทน ของมอร์ตาร์	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา	2551
การพัฒนาเถ้าถ่านหินแยกขนาดเป็นวัสดุปอชโซลาน	ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่าง ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2550
การพัฒนาเถ้ากลบและเถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุจีโอโพลิเมอร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2553
การใช้เถ้าถ่านหิน เถ้าขานอ้อย และเถ้ากลบ-เปลือกไม้ใน คอนกรีตกำลังสูง	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2553

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วและทุนที่ได้รับ (ต่อ)

ชื่อทุนวิจัย	แหล่งทุนที่ให้	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
การวิจัยด้านวัสดุปูนฉาบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2554
นวัตกรรมการใช้เถ้าหนักในคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555
การพัฒนาคอนกรีตปอซโซลานไหลเข้าแบบง่ายด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้งสองชนิดรวมกัน	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555-2556
นวัตกรรมคอนกรีตต้นทุนต่ำไหลเข้าแบบง่ายโดยการใช้เถ้าทิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556
การพัฒนาเถ้าหนักเป็นวัสดุผสมรวมในงานคอนกรีต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2557
นวัตกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2557
การพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตกำลังสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
นวัตกรรมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในคอนกรีตมวลเบาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
การวิจัยด้านคอนกรีตพูนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อวุโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2555
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อวุโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2558

7.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่

7.2.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ (Full paper)

- 7.2.1.1 Chindaprasirt, P., Rukzon, S., Sirivivatnanon, V., 2008, Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash, Construction and Building Materials, 22(5), 932-938.
- 7.2.1.2 Chindaprasirt, P., Rukzon, S., Sirivivatnanon, V., 2008, Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar, Construction and Building Materials, 22(8), 1701-1707.
- 7.2.1.3 Chindaprasirt, P., Rukzon, S., 2008, Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar, Construction and Building Materials, 22(8), 1601-1606.
- 7.2.1.4 Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2008, Development of classified fly ash as a pozzolanic material, Journal of Applied Sciences, 8(6), 1097-1102.

- 7.2.1.5 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2008, Mathematical model of strength and porosity of ternary blend Portland rice husk ash and fly ash cement mortar, *Computers and Concrete*, 5(1), 75-88.
- 7.2.1.6 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2008, Use of waste ash from various by-product materials in increasing the durability of mortar, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 5(1), 75-88.
- 7.2.1.7 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., Mahachai, R., 2008, Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* (formally *Journal of University of Science and Technology Beijing*), 5(1), 75-88.
- 7.2.1.8 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2009, Use of disposed waste ash from landfills to replace Portland cement, *Waste Management and Research*, 27(6), 588-594.
- 7.2.1.9 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2009, Pore structure changes of blended cement paste containing fly ash, rice husk ash and palm oil fuel ash caused by carbonation, *Journal of Materials in Civil Engineering* (ASCE), 21(11), 666-671.
- 7.2.1.10 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2009, An experimental investigation of carbonation of blended Portland cement palm oil fuel ash mortar in indoor environment, *Indoor and Built Environment*, 18(4), 131-138.
- 7.2.1.11 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2009, Strength and chloride resistance of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash and fly ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* (formally *Journal of University of Science and Technology Beijing*), 16(4), 475-481.
- 7.2.1.12 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2009, Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing palm oil fuel ash and ground river sand, *Computers and Concrete*, 6(5), 391-401.

- 7.2.1.13 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2010, Strength and carbonation model of rice husk ash cement mortar with different fineness, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(3), 253-259.
- 7.2.1.14 Chindaprasirt, P., Chottitanorm C, **Rukzon, S.**, 2011, Use of palm oil fuel ash to improve chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, 23(4), 499-503.
- 7.2.1.15 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2011, Chloride penetration and corrosion resistance of ground fly ash blended cement mortar, *International Journal of Materials and Research*, 102(3), 335-339.
- 7.2.1.16 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2012, Use of bagasse ash in high-strength concrete, *Materials and Design*, 34, 45-50.
- 7.2.1.17 Chindaprasirt, P., **Rukzon, S.**, 2014, Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing rice husk ash and ground river sand, *Sent to Materials and Structures*, Has been accepted.
- 7.2.1.18 Chindaprasirt, P., Chottitanorm, C, Sata, V., **Rukzon, S.**, 2013, SathonsaowapHark, A., High calcium bottom ash geopolymer : sorptivity, pore size and resistance to sodium sulfate attack, *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, Has been accepted.
- 7.2.1.19 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2013, Strength, porosity and chloride resistance of mortar using combination of two kinds of the pozzolanic materials. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 20(8), 808-814.
- 7.2.1.20 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., Vanchai, S., Wongkongkeaw, w., 2013, The innovation of use of waste ash from agricultural by-product in concrete work, *Journal of Applied Sciences Research* 9,12, 6160-6164.

- 7.2.1.21 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2014, Strength and porosity of bagasse ash-based geopolymer mortar, Journal of Applied Sciences, 14(6), 586-591.
- 7.2.1.22 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2014, Use of ternary blend of Portland cement and two pozzolans to improve durability of high-strength concrete. KSCE Journal of in Civil Engineering, Has been accepted
- 7.2.1.22 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2014, Use of rice husk-bark ash in producing self compacting concrete, advances in civil engineering, 2014, 1-6.

7.2.2 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ (Full paper)

- 7.2.2.1 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2006, Strength of ternary blended cement mortar containing Portland cement, rice husk ash and fly ash, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, 17(2), 30-38.
- 7.2.2.2 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2007, Compressive strength of mixture proportioning in ternary cementitious system, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, 18(4): 32-38
- 7.2.2.3 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2008, Strength and chloride penetration of mortar with mixture proportioning in ternary cementitious system, KMUTT Research and Development Journal, 31(4), 859-869.
- 7.2.2.4 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2008, Use of ternary cementitious system in concrete work, Civil Engineering Magazine, 20(5), 70-76.
- 7.2.2.5 Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2009, Corrosion of reinforcement in concrete, Civil Engineering Magazine, 21(2), 41-46.

7.2.3 ผลงานประชุมวิชาการต่างประเทศ (Proceedings)

- 7.3.3.1** Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2006, Strength of ternary blended Portland cement rice husk ash and fly ash cement mortar, Proceeding of Technology and Innovation for Sustainable Development Conference, Khon Kaen University, Khon Kaen, January 25-26, 105.
- 7.3.3.2** Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2006, Strength and carbonation of ternary blended Portland cement rice husk ash and fly ash cement mortar, Proceedings of the Eighth International Symposium and workshop on Ferro cement and thin reinforced cement composites, Bangkok, February 6-8, 525-533.
- 7.3.3.3** Chotetanorm, C., Chindaprasirt, P., Sata, V., Boonserm, K., Rukzon, S., Sathonsaowaphak, A., Homwuttiwong, S., Manasri, T., 2014, The effect of nano silica on compressive strength, sorptivity and ultrasonic pulse velocity of mortars containing bottom ash, The 6th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB VI), 28-30 August 2014, Apsara Angkor Resort & Conference, Siem Reap, Kingdom of Cambodia

7.2.4 ผลงานประชุมวิชาการในประเทศ (Proceedings)

- 7.2.4.1** Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2005, Strength and carbonation of Portland cement rice husk ash, Proceedings of 1st National Conference of Concrete and Geopolymer, Khon Kaen, October 31, 98-105.
- 7.2.1.2** Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2006, Effect of the fly ash fineness on carbonation. Proceeding of the 6th National Graduate Research Conference, Chulalongkorn University, Bangkok, October 13-14, 98-105.
- 7.2.1.3** Rukzon, S., 2005, Use of ground fly ash fineness in concrete work, Proceeding of The 10th National Convention on Civil Engineering (NCCE), Chonburi, May 2-4.
- 7.2.1.4** Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2008, A modification of ASTM C1202 for rapid test for sulfate ingress, Proceedings of 2nd National Conference of Concrete and Geopolymer, Khon Kaen, September 25-26, 98-105.

- 7.2.1.5 ชัยชาญ โชติถนอม, ปริญญา จินดาประเสริฐ, **สำเร็จ รักซ้อน**, วันชัย สะตะ, อาภา สอนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถด้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังไว้ใน จีโอโพลีเมอร์เก้าอี้, งานประชุมวิชาการคอนกรีต ครั้งที่ 8, ชลบุรี, 22-24 ตุลาคม 2555.
- 7.2.1.6 ชัยชาญ โชติถนอม, ปริญญา จินดาประเสริฐ, **สำเร็จ รักซ้อน**, วันชัย สะตะ, อาภา สอนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถด้านทานการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าจีโอโพลีเมอร์เก้าอี้, งานประชุมวิชาการคอนกรีต ครั้งที่ 8, ชลบุรี, 22-24 ตุลาคม 2555.
- 7.2.1.7 Rukzon, S., and Chindaprasirt, P. (2013b). Durability of concrete using of two kinds of pozzolanic materials. TRF Senior Research Scholars Progress II Faculty of Engineering, Khon Kean University, August 2

7.3 บทความทางวิชาการ

- 7.3.1 Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2008, Use of ternary cementitious system in concrete work, Civil Engineering Magazine, 20(5), 70-76.
- 7.3.2 Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2009, Corrosion of reinforcement in concrete, Civil Engineering Magazine, 21(2), 41-46.

7.4 ผลงานวิชาการในลักษณะอื่น เช่น สิ่งประดิษฐ์ วรรณกรรม ฯลฯ

- 7.4.1 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเก้าอี้เก้าอี้แยกขนาดผสมรวมกับเก้าอี้ ออโต้ Petty Patent No. 7957”
- 7.4.2 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเก้าอี้เก้าอี้ผสมรวมกับเก้าอี้เกลบ-เปลือกไม้ Petty Patent No. 7958”
- 7.4.3 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “เครื่องบดวัสดุซีเมนต์จากเก้าอี้ Petty Patent No. 5440”
- 7.4.4 วรรณกรรม ลิขสิทธิ์ตำรา/หนังสือ เรื่อง “การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีกำลังและหน่วยแรงใช้งาน เลขที่ 236666”
- 7.4.5 วรรณกรรม ลิขสิทธิ์ตำรา/หนังสือ เรื่อง “การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก เลขที่ 210582”
- 7.4.6 วรรณกรรม ลิขสิทธิ์ตำรา/หนังสือ เรื่อง “ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี เลขที่ 210583”

7.5 งานแต่ง เรียบเรียง หนังสือ / ตำรา

- 7.1.1 **Sumrerng Rukzon**, 2012, Reinforced Concrete Structure Design: Strength and Working Design Method, 5th edition, Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 426 pages.
- 7.1.2 **Sumrerng Rukzon**, 2009, Timber and Steel Structure Design, 2th edition, Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 223 pages.
- 7.1.3 **Sumrerng Rukzon**, 2009, Theory and Testing Concrete Technology, 2th edition, Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 223 pages.
- 7.1.4 **Sumrerng Rukzon**, 2011, Handbook of Reinforced Concrete Structure Design, 1st edition, Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 244 pages.
- 7.1.5 **Sumrerng Rukzon**, Prinya Chindapasirt, 2012, Theory and Testing Concrete Technology, 4th edition, Nonthaburi: Angles of Sci, Chulalongkorn University Printing House, 219 page

7.3 อื่นๆ ที่สำคัญ

ผลงานอื่นๆ

- 1) นักวิจัยศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- 2) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ
- 3) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
- 3) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ
- 4) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ
- 5) สมาชิกระดับวุฒิสมาชิกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.)
- 6) ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรม (ก.ว.) ระดับสามัญวิศวกรโยธา
- 7) สมาชิกเครือข่ายจีโอโพลีเมอร์ไทย
- 8) เป็นกรรมการพิจารณาร่างหลักสูตรปริญญาโท มทร.ตะวันออก และหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
- 9) เป็นกรรมการ/ประธานกรรมการสอบนักศึกษาระดับปริญญาโท/เอก

7.4 ลิขสิทธิ์ / อนุสิทธิบัตร

- 7.4.1 Conservative Energy of Grinding Machine for Pozzolan Materials, Petty Patent No. 3674
- 7.4.1 วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีส่วนผสมหินแยกขนาดผสมรวมกับเถ้าขานอ้อยบด Petty Patent No. 7957
- 7.4.2 วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีส่วนผสมหินผสมรวมกับเถ้ากลบ-เปลือกไม้ Petty Patent No. 7958
- 7.4.3 เครื่องบดวัสดุซีเมนต์จากเถ้าทิ้ง Petty Patent No. 5440

7.5 ทุนวิจัย / รางวัล

ชื่อรางวัล	หน่วยงานที่ให้	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
รางวัลศิษย์เก่าดีเด่น วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท	วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท กรมอาชีวศึกษา	2552
รางวัลนักวิจัยหน้าใหม่ดีเด่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2552
รางวัลนักวิจัยที่มีผลงานดีเด่นในการขอรับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2552
รางวัลนักวิจัยหน้าใหม่ดีเด่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2553
รางวัลนักวิจัยระดับดีเด่น สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555
รางวัลนักวิจัยดีเด่นด้านการตีพิมพ์ผลงานวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556
รางวัลวิทยานิพนธ์ดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2552
รางวัลนักวิจัยที่มีผลงานด้านการวิจัยระดับดีเยี่ยม	ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2552
รางวัลนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยดีเด่น	ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2552
รางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยระดับดี	การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ทั้ง 9 แห่ง ครั้งที่ 3 และ 4	2556

7.6 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

โครงการวิจัยงบประมาณ ปี พ. ศ. 2557 ขณะนี้ดำเนินการแล้วเสร็จ

ผู้ร่วมวิจัย: (1)

1. ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ ภูผา
2. รหัสประจำตัว -
3. ตำแหน่งปัจจุบัน คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
4. หน่วยงานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถนนพหลุองสงคราม
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทร 029132424

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญา	สาขา	ชื่อสถาบัน/ประเทศ
ปริญญาตรี	เทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปริญญาโท	วิศวกรรมการผลิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปริญญาเอก	วิศวกรรมการจัดการ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

วิศวกรรมการจัดการ การผลิต เทคโนโลยีขนส่ง วัสดุวิศวกรรม

7. ประสบการณ์ในงานวิจัย

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

7.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอผลงานทางวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ไม่ต่ำกว่า 40 เรื่อง

7.3 อื่นๆ ที่สำคัญ

ผลงานอื่นๆ

- ได้รับโล่ผู้บริหารดีเด่น จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครปี 2550
- ได้รับโล่ ศิษย์เก่าดีเด่น จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา เทคโนโลยี ขนถ่ายวัสดุ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี 2550

- ได้รับการประกาศเกียรติคุณ บุคคลตัวอย่างประจำปี2551 สาขา พัฒนาการศึกษจาก นิตยสาร
เส้นทางไทย

- บุคคลแห่งปี ข้าราชการพลเรือนผู้มีผลงานดีเด่น ประจำปี พ.ศ.2552 นิตยสารโพรลิสนิวส์ ปีที่
2 ฉบับที่ 6 ธันวาคม 2552

- บุคคลแห่งปี ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์ ประจำปี พ.ศ.2552
- หนังสือพิมพ์โพรลิสนิวส์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 6 ธันวาคม 2552
- ตำรา วิศวกรรมซ่อมบำรุง วิศวกรรมเครื่องมือ กระบวนการผลิต การเขียนโครงการทางวิศวกรรม
- Forecast a Shortage of Power in Thailand
- A Study of Appropriate Model of Unit Cost for Electricity Generation in Thailand
- ออกแบบโรงงานเตาเผาขยะ และวางระบบกระบวนการผลิตทั้งหมด จ.ฉะเชิงเทรา
- ออกแบบโรงงานเตาเผาศพ และวางระบบกระบวนการผลิตทั้งหมด จำนวน 50 วัด

7.4 สิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร

7.5 ทุนวิจัย / รางวัล

- ได้รางวัลที่ 1 เรื่อง เครื่องบีบน้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ปี2550 กระทรวงวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี ปี 2550

- รางวัลที่ 3 เรื่อง สกรีนปลาแผ่นของ นวัตกรรมกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2550
- ได้รับรางวัล Bronze Medal งาน The 2009 RMUTPs Conference Awards
- ได้รับรางวัลด้านพลังงานที่ประเทศญี่ปุ่น ปี 2010 เรื่อง A Study of Model for Constructing
the Appropriate Power Plant as Guidelines for Decision-making in Selecting the Electricity-
Generating Energy in Thailand

ที่ปรึกษาโครงการ

1. ชื่อ ศ. ดร. ปริญญ์ จินดาประเสริฐ
(Prof. Dr. Prinya Chindaprasirt)
2. รหัสประจำตัว 3 4099 00531 56 7
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ศาสตราจารย์ ระดับ 11
รองประธานสมาคมคอนกรีตไทย
ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืนมหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประธานเครือข่ายจีโอโพลิเมอร์ไทย
โทรศัพท์ +66043 202 846 โทรสาร +66043 202 846 x102
E-mail: prinya@kku.ac.th
4. หน่วยงานที่ติดต่อ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40002

5. ประวัติการศึกษา

ปี พ. ศ.	ปริญญา	สาขา	ชื่อสถาบัน/ประเทศ
2517	ปริญญาตรี	วิศวกรรมโยธา	University of Tasmania
2520	ปริญญาโท	วิศวกรรมโยธา	University of New South Wales
2523	ปริญญาเอก	วิศวกรรมโยธา	University of New South Wales

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

โครงสร้างเชิงประกอบ คอนกรีต วิศวกรรมกลศาสตร์คำนวณ และจีโอโพลิเมอร์

7. ประสบการณ์ในงานวิจัย

7.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ (Full paper) ใน SCOPUS

1. DJ. Cook, P. Chindaprasirt, Influence of loading history upon the compressive properties of concrete, Magazine of Concrete Research, 32,111,1980,89-100.
2. DJ. Cook, P. Chindaprasirt, A mathematical model or the prediction of damage in concrete, Cement and Concrete Research, 11,4,1981,581-590.
3. DJ. Cook, P. Chindaprasirt, Influence of loading history upon the tensile properties of concrete, Magazine of Concrete Research, 33,116,1981,154-160.

4. P. Chindaprasirt, S. Homwuttiwong, V. Sirivivatnanon, Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar, *Cement and Concrete Research*, 34,2004,1087-1092.
5. P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, T. Sinsiri, Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste, *Cement and Concrete Composite*, 27,2005,425-428.
6. P. Chindaprasirt, N. Buapa, H. T. Cao, Mixed cement containing fly ash for masonry and plastering work, *Construction and Building Materials*, 19,2005,612-618
7. P. Chindaprasirt, C. Chotithanorn, HT. Cao, V. Sirivivatnanon, Influence of fly ash fineness on the chloride penetration of concrete, *Construction and Building Materials*, 21,2007,356-361.
8. P. Chindaprasirt, T. Chareerat, V. Sirivivananon, Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer, *Cement and Concrete Composites*, 29,3,2007,224-229.
9. P. Chindaprasirt, P. Kanchanda, A. Sathonsaowaphak and HT. Cao, Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash, *Construction and Building Materials*, 21,2007,1356-1361.
10. P. Chindaprasirt, S. Homwuttiwong, C. Jaturapitakkul, Strength and water permeability of concrete containing palm oil fuel ash and rice husk-bark ash, *Construction and Building Materials*, 21,2007,1492-1499.
11. P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, T. Sinsiri, Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cement paste, *Construction and Building Materials*, 21,2007,1534-1541.
12. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Mathematical model of strength and porosity of ternary blend Portland rice husk ash and fly ash cement mortar, *Computers and Concrete*, 5,1,2008,1-6.
13. P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, A study of fly ash-lime granule unfired brick, *Powder Technology*, 2008,182(1),33-41.
14. P. Chindaprasirt, S. Rukzon, Development of classified fly ash as a pozzolanic material, *Journal of Applied Sciences*, 2008,8(6),1097-1102.
15. P. Chindaprasirt, S. Hatanaka, T. Chareerat, N. Mishima, Y.Yuasa, Cement paste characteristics and porous concrete properties, *Construction and Building Materials*, 22,5,2008,894-901.

16. P. Chindaprasirt, S. Rukzon, V. Sirivivatnanon, Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash, *Construction and Building Materials*, 22,5,2008,932-938.
17. P. Chindaprasirt, S Rukzon, Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend portland cement, rice husk ash and fly ash mortar, *Construction and Building Materials*, 22, 8,2008,1601-1606.
18. P. Chindaprasirt, S Rukzon, V. Sirivivatnanon, Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar, *Construction and Building Materials*, 22,8,2008,1701-1707.
19. W. Tangchirapat, R. Buranasing, C. Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt, Influence of rice husk-bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, 22,8,2008,1812-1819.
20. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Use of waste ash from various by-product materials in increasing the durability of mortar, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 2008,30 (4),485-489.
21. C. Napia, T. Sinsiri, P. Chindaprasirt, The effect of zeolite on microstructure of blended cement paste, 2008, EASEC-11 - Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction
22. P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, U. Rattanasak, Influence of fineness of rice husk ash and additives on the properties of lightweight aggregate, *Fuel*, 88,1,2009,158-162.
23. K. Pimraksa, P. Chindaprasirt, Lightweight bricks made of diatomaceous earth and hydrated lime, *Ceramic International*, 35,2009,471-478.
24. P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, W. Chalee, U. Rattanasak, Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers, *Waste Management*, 29,2009,539-543.
25. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, R. Mahachai, Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* (formerly *Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material*)16,2,2009,242-247.
26. W. Chalee, C. Jaturapitakkul, and P. Chindaprasirt, Predicting the chloride penetration of fly ash concrete in seawater, *Marine Structures*, 22,2009,341-353.
27. W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt, Use of palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material for producing high-strength concrete, *Construction and Building Materials*, 23,2009,2641-2646.

28. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Strength and chloride resistance of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash and fly ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 16,4,2009, 475-481.
29. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, An experimental investigation of carbonation of blended Portland cement palm oil fuel ash mortar in indoor environment, *Indoor and Built Environment*,18,4,2009, 313–318.
30. K. Pimraksa, S. Hanjitsuwan, P. Chindaprasirt, Synthesis of belite cement from lignite fly ash, *Ceramics International*, 35,2009,2415-2425.
31. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Use of disposed waste ash from landfills to replace portland cement, *Journal of Waste Management Research*, 2009, 27: 588-594.
32. A. Sathonsaowaphak, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar, *Journal of Hazardous Materials*, 168, 2009, 44-50.
33. U. Rattanasak, P. Chindaprasirt, Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer, *Minerals Engineering*, 22,12,2009, 1073-1078.
34. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing palm oil fuel ash and ground river sand, *Computer and Concrete*, 2009,6(5),391-401.
35. P. Chindaprasirt, S. Rukzon, Pore structure changes of blended cement pastes containing fly ash, rice husk ash and palm oil fuel ash caused by carbonation, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2009,21,11, 666-671
36. S. Detphan, P. Chindaprasirt, Preparation of fly ash and rice husk ash geopolymer, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials (formerly Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material)*,16,6,2009, 720-726
37. K. Pimraksa, T. Chareerat, P. Chindaprasirt, N. Mishima, S. Hatanaka, Composition and microstructure of fly ash geopolymer containing metakaolin, *Excellence in Concrete Construction through Innovation - Proceedings of the International Conference on Concrete Construction*, 2009,201-206
38. P. Chindaprasirt, S. Hatanaka, T. Chareerat, N. Mishima and Y. Yuasa, Effects of binder strength and aggregate size on compressive strength and void ratio of porous concrete, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials (formerly Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material)*,16,6,2009, 714-719.

39. S. Songpiriyakit, T. Kubprasit, C. Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt, Compressive strength and degree of reaction of biomass and fly ash based geopolymer, *Construction & Building Materials*, 24 (2010) 236–240.
40. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Strength and carbonation model of rice husk ash cement mortar with different fineness, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2010, 22,3, 253–259.
41. P. Chindaprasirt, U. Rattanasak, Utilization of blended fluidized bed combustion (FBC) ash and pulverized coal combustion (PCC) fly ash in geopolymer, *Waste Management*, 30,2010, 667–672.
42. U. Rattanasak, P. Chindaprasirt, P. Suwanvitaya, Development of high volume rice husk ash alumino-silicate composite, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials (formerly Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material)*, 2010, 654–659.
43. K. Pimraksa, P. Chindaprasirt, N. Setthaya, Synthesis of zeolite phases from fly ash, bottom ash and rice husk ash used for Ag, Cd and Ni ion adsorption, *Journal of Waste Management and Research*, 28 (12) 2010, 1122–1132. DOI: 10.1177/0734242X09360366.
44. T. Chareerat, V. Detphan, P. Chindaprasirt, Initial study on rice husk ash and fly ash-based flowable geopolymer mortar, *Materials, Experimentation, Maintenance and Rehabilitation - Proceedings of the 10th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC 2010* , pp. 621–62.
45. J. Wongpa, K. Kiattikomol, C. Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt, Compressive strength, modulus of elasticity, and water permeability of inorganic polymer concrete, *Materials and Design* 31 (2010), 4748–4754
46. T. Sinsiri, P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, Influence of fly ash fineness and shape on the porosity and air permeability of blended cement paste, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2010,17(6), 683–690.
47. P. Chindaprasirt, U. Rattanasak, C. Jaturapitakkul, Utilization of fly ash blends from pulverized coal and fluidized bed combustions in geopolymeric materials, *Cement and Concrete Composites*, 33,2011, 55–60
48. S. Hanjitsuwan, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, A Study on Electrical Conductivity and Dielectric Property of Fly Ash Geopolymer Paste, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2011,18,1,94–99.

49. P.Chindaprasirt, U. Rattanasak, Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash, *Materials and Design*, 32 (2) 2011, 723-727.
50. C. Rittiruth, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, Factors affecting the shrinkage of fly ash geopolymer paste, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2011,18,1, 100-104.
51. P. Chindaprasirt, T. Chareerat, S. Hatanaka, T. Cao, High-strength geopolymer using fine high-calcium fly ash, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23,3,2011, 2264-270.
52. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Chloride penetration and corrosion resistance of ground fly ash blended cement mortar, *International Journal of Materials Research*, 102,2011,3,335-338
53. P. Chindaprasirt, C. Chotetanorm, S. Rukzon, Use of palm oil fuel ash to improve the chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2011,23 (4), 499-503
54. U. Rattanasak, K Pankhet, P. Chindaprasirt, Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2011,18(3), 364-369.
55. K. Somna, C. Jaturapitakkul, Puangrat Kajitvichyanukul, Prinya Chindaprasirt, NaOH-Activated Ground Fly Ash Geopolymer Cured at Ambient Temperature, *Fuel*, 90,2011(6),2118-2124.
56. P. Chindaprasirt, K. Boonserm, T. Chairuangsi, W. Vichit-Vadakan, T. Eaimsin, T. Sato, K. Pimraksa, Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives, *Construction and Building Materials*, 2011,25(8), 3193-3203.
57. K. Pimraksa, P. Chindaprasirt, T. Lertkositpong, K. Sagoe-Crentsil, T. Sato, Lightweight geopolymer made of highly porous siliceous materials with various Na₂O/Al₂O₃ and SiO₂/Al₂O₃ ratios, *Materials Science and Engineering A*, 2011,25(8), 6616-6623.
58. V. Sata, P. Khammathit, P. Chindaprasirt, Efficiency factor of high calcium Class F fly ash in concrete, *Computers and Concrete*, 2011,8(5),583-595
59. K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, P. Chindaprasirt, Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials, *Procedia Engineering*, 2011, pp. 1157-1164

60. W. Kroehong, T. Sinsiri, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Effect of palm oil fuel ash fineness on the microstructure of blended cement paste, *Construction and Building Materials*, 2011,25(11), 4095-4104.
61. A. Chaipanich, R. Rianyai, R. Potong, W. Suriya, N. Jaitanong, P. Chindapasirt, Dielectric properties of 2-2 PMN-PT/cement composites, *Ferroelectrics, Letters Section*, 2012,39 (4-6),76 - 80.
62. V. Sata, J. Tangpagasit, C Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Effect of W/B Ratios on Pozzolanic Reaction of Mortars Containing Biomass Ashes, *Cement and Concrete Composites*, 2012,34,94-100
63. S. Rukzon, P. Chindapasirt, Utilization of bagasse ash in high strength concrete, *Materials and Design*, 2012,34,45-50
64. T. To-in, V. Sata, , C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Porous high-calcium fly ash geopolymer concrete, *CBM*, 2012,30(7) 366-371.
65. V. Sata, A. Sathonsaowaphak, P. Chindapasirt, Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack, *Cement and Concrete Composites*, 2012,34(5),700-708
66. S. Vangchangyia, E. Swatsitang, P. Thongbai, S. Pinitsoontorn, T. Yamwong, S. Maensiri, V. Amornkitbamrung, P. Chindapasirt, Very low loss tangent and high dielectric constant in pure-CaCu₃Ti₄O₁₂ ceramics prepared by a modified sol-gel process, *Journal of the American Ceramic Society*, 2012,95 (5),1497-1500
67. K. Boonserm, V. Sata, K. Pimraksa, P. Chindapasirt,, Improved geopolymerization of bottom ash by incorporating fly ash and using waste gypsum as additive, *Cement and Concrete Composites*, 2012,34,819-24
68. T.Sinsiri, T. Phoo-ngernkham, V. Sata, P. Chindapasirt, The effects of replacement fly ash with diatomite in geopolymer mortar, *Computers and Concrete*, 2012,9(6), 427-437
69. P. Chindapasirt, P. De Silva, K. Sagoe-Crentsil, S. Hanjitsuwan, Effect of SiO₂ and Al₂O₃ on the setting and hardening of high calcium fly ash based geopolymer systems, *Journal of Materials Science*, 2012,47 (12),4876-4883
70. C. Napia, T. Sinsiri, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Leaching of heavy metals from solidified waste using Portland cement and zeolite as a binder, *Waste Management* 2012,32(7),1459-1467

71. K. Boonserm, V. Sata, K. Pimraksa, P. Chindapasirt, Micro structure and strength of blended FBC-PCC fly ash geopolymer containing gypsum as additive, *ScienceAsia*, 2012,38, 175–181
72. S. Homwuttiwong, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Strength and water permeability of concrete containing various types of fly ash and filler material, *Inter Journal of Mater. Research*, 2012,103(8), 1058-64
73. S. Hatanaka, N. Mishima, T. Nakagawa, H. Morihana, P. Chindapasirt, Finishing methods and compressive strength-void ratio relationships of in-situ porous concrete pavement, *Computers and Concrete*, 2012,10(3), 231-240
74. P. Chindapasirt, U. Rattanasak, P. Vongvoradit, Thermal treatment and utilization of Al-rich waste in high calcium fly ash geopolymeric material, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2012, 19(9), 872-878.
75. S. Homwuttiwong, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Permeability and abrasion resistance of concrete containing high volume fine fly ash and palm oil fuel ash, *Computers and Concrete*, 2012, 10(4), 331-342
76. K. Chaimoon, S. Pantura, S. Homwuttiwong, A. Wongkvanklom, P. Chindapasirt, Factors affecting the workability and strength of high calcium fly ash geopolymer concrete, *Environmental Engineering and Management Journal*, 2012,11(8), 1821-1829
77. T. Sinsiri, W. Kroehong, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Assessing the effect of biomass ashes with different finenesses on the compressive strength of blended cement paste, *Materials and Design*, 2012,42, 424-433
78. C. Waisurasingha, P. Chindapasirt, W. Sri-Amporn, S. Chuangcham, The utilization of geographic information systems and multi-criteria decision making with local community participation for selection of site for micro hydropower project: A case study of Chi river Basin, Thailand, 2012, 33rd Asian Conference on Remote Sensing 2012, ACRS 2012 2 , pp. 1201-1205
79. S. Kantakam, K. Pimraksa, A. Ngamjarurojana, P. Chindapasirt, A. Chaipanich, Investigation on the dielectric properties of 0–3 lead zirconate titanate-geopolymer composites, *Ferroelectrics*, 2013, 451 (1), 84-89.
80. P. Chindapasirt, U. Rattanasak, S. Taebuanhuad, Resistance to acid and sulfate solutions of microwave-assisted high calcium fly ash geopolymer, *Materials and Structure*, 2013,46(3), 375-381

81. P. Chindapasirt, S. Thaiwittcharoen, S. Kaewpirom U. Rattanasak, Controlling ettringite formation in FBC fly ash geopolymer concrete, *Cement and Concrete Composite*, 2013,41,24–28
82. K. Pimraksa, P. Chindapasirt, T. Huanjit, C. Tang, T. Sato, Cement mortars hybridized with zeolite and zeolite-like materials made of lignite bottom ash for heavy metal encapsulation, *Journal of Cleaner Production*, 2013,41, 31-41
83. C. Chotetanorm, P. Chindapasirt, V. Sata, S. Rukzon, A. Sathonsaowapak, High-calcium bottom ash geopolymer: sorptivity, pore size, and resistance to sodium sulfate attack, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2013,25,1, 105-111.
84. A. Chaipanich, R. Rianyoi, R. Potong, N. Jaitanong, P. Chindapasirt, 2013 Compressive Strength and Microstructure of 0-3 Lead Zirconate Titanate Ceramic-Portland Cement Composites, *Ferroelectrics* 457 (1), 53-61.
85. S. Rukzon, P. Chindapasirt, Strength, porosity and chloride resistance of mortar using combination of two kinds of the pozzolanic materials, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2013,20(8) 808-814
86. P. Kamhangrittirong, P. Suwanvitaya, W. Witayakul, P. Suwanvitaya, P. Chindapasirt, Factors influence on shrinkage of high calcium fly ash geopolymer paste, Vol. 610 – 613, 2012, 2275-2281.
87. P. Jitsangiam, P. Chindapasirt, H. Nikraz, An evaluation of the suitability of SUPERPAVE and Marshall asphalt mix designs as they relate to Thailand's climatic conditions, *Construction and Building Materials* 2013, 40, 961–970
88. T. Phoo-ngernkham, P. Chindapasirt, V. Sata, S. Pangdaeng, T. Sinsiri, Properties of high calcium fly ash geopolymer pastes with Portland cement as an additive, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2013, 20(2) 214-219
89. V. Sata, A. Wongsas, P. Chindapasirt, Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, 2013,42, 33–39
90. P. Thongbai, V. Amornkitbamrung, T. Yamwong, S. Maensiri, P. Chindapasirt, Reducing loss tangent by controlling microstructure and dielectric relaxation behaviors of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, Volume 10, Issue Supplement s1, pages E77–E87, September/October 2013.
91. K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2013,20(5), 462-471

92. P. Chindaprasirt, U. Rattanasak, S. Taebuanhuad, Role of microwave radiation on curing the fly ash geopolymer, *Advanced Powder Technology*, 2013,24(3),703–707
93. N. Sangwong, P. Thongbai, T. Yamwong, S. Maensiri, P. Chindaprasirt, Dielectric response and electrical behavior $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{-xVxO}_{12}$ Ceramics prepared by a simple poly(ethylene glycol) sol-gel route. *Japanese Journal of Applied Physics* 2013,52, pp.06GF05-1
94. P. Posi, S. Lertnimoolchai, V. Sata, P. Chindaprasirt, Pressed lightweight concrete containing calcined diatomite aggregate, *Construction and Building Materials*, 2013,47, October, 896–901
95. P. Sukmak, S. Horpibulsuk, S.L. Shen, P. Chindaprasirt, Factors influencing strength development in clay-fly ash geopolymer, *Construction and Building Materials*, 2013, 47, October, 1125–1136.
96. T. Phoo-ngernkham, P. Chindaprasirt, V. Sata, T. Sinsiri, High calcium fly ash geopolymer containing diatomite as additive, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 20, August 2013, 310-8.
97. Y. Zaetang, A. Wongsu, V. Sata, P. Chindaprasirt, Use of lightweight aggregates in pervious concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 48, November 2013, 585–591
98. W. Wongkeo, P. Thongsanitgarn, P. Chindaprasirt, A. Chaipanich, Thermogravimetry of ternary cement blends - Effect of different curing methods, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2013, September, 113:1079–90.
99. P. Chindaprasirt, T. Sinsiri, C. Napia, C. Jaturapitakkul, Solidification of heavy metal sludge using cement, fly ash and silica fume, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 20, October 2013, 405-414.
100. S. Boonjaeng, K. Pimraksa, A. Chaipanich, S. Kuharungrong, P. Chindaprasirt, Thermal activation on phase formation of alkaline activated kaolin based system, *Advanced Materials Research*, Volume 770, 2013, 262-266
101. N. Setthaya, C. Pindi, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, Synthesis of faujasite and analcime using of rice husk ash and metakaolin, *Advanced Materials Research*, Volume 770, 2013, Pages 209-212
102. P. Posi, C. Teerachanwit, C. Tanutong, S. Limkamoltip, S. Lertnimoolchai, V. Sata, P. Chindaprasirt, Lightweight geopolymer concrete containing aggregate from recycle lightweight block, *Mat and Design*, 2013, 52, 580-586

103. A. Chaipanich, R. Rianyoi, R. Potong, P. Penpokai, P. Chindaprasirt, Dielectric and piezoelectric properties of 2-2 PZT-portland cement composites, *Integrated Ferroelectrics* 2013, 149 (1), 89-94.
104. S. Pangdaeng, T. Phoo-ngernkham, V. Sata, P. Chindaprasirt, Influence of curing condition on the properties of high calcium fly ash geopolymer containing Portland cement as additive, *Materials & Design*, 2014, 53, 269–274
105. S. Hanjitsuwan, P. Thongbai, S. Maensiri, V. Sata, P. Chindaprasirt, Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium fly ash geopolymer paste, *Cement and Concrete Composites* 45 (2014) 9–14.
106. P. De Silva, S. Hanjitsuwan, P. Chindaprasirt, The role of SiO₂ & Al₂O₃ on the properties of geopolymers with and without calcium, *Ceramic Engineering and Science Proceedings* 34 (10), 25-35
107. T. Phoo-ngernkham, P. Chindaprasirt, V. Sata, S. Hanjitsuwan, S. Hatanaka, The effect of adding nano-SiO₂ and nano-Al₂O₃ on properties of high calcium fly ash geopolymer cured at ambient temperature, *Mat and Design*, March 2014, 58–65
108. S. Hunpratub, T. Yamwong, S. Srilomsak, S. Maensiri, P. Chindaprasirt, Effect of particle size on the dielectric and piezoelectric properties of 0-3BCTZO/cement composites, *Ceramics International*, 40 (1 PART A), 2014, 1209-1213.
109. P. Thongbai, T. Yamwong, S. Maensiri, V. Amornkitbamrung, P. Chindaprasirt, Improved dielectric and nonlinear electrical properties of fine grained-CaCu₃Ti₄O₁₂ ceramics prepared by a glycine nitrate process, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1–6 (2014)
110. P. Chindaprasirt, P. Paisitsrisawat, U. Rattanasak, Strength and resistance to sulfate and sulfuric acid of ground fluidized bed combustion fly ash-silica fume alkali-activated composite, *Advanced Powder technology*, 25 (3) pp. 1087 - 1093
111. P. Chindaprasirt and W. Chalee, Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site, *Construction and Building Materials*, 2014, 63, 303-310.
112. P. Chindaprasirt, S. Hiziroglu, C. Waisurasingha, P. Kasemsiri, Properties of wood flour/expanded polystyrene waste composites modified with diammonium phosphate flame retardant, *Polymer Composites*, in press
113. S. Boonjaeng, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, Lime-calcined clay materials with alkaline activation: Phase development and reaction transition zone, *Applied Clay Science*, in press

114. P. Posi, V. Sata, P. Chindapasirt, Lightweight calcined diatomite concrete, KSCE, in press
115. S. Hunpratub, P. Chindapasirt, S. Maensiri, Synthesis and characterization of $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1}\text{O}_3$ ceramics by hydrothermal method, Ceramic Inter, in press.

7.2 Book

1. **P. Chindapasirt**, 2010, Fly ash, 3rd edition, Khon Kaen: Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Khon Kaen University, 132 pages.
2. **P. Chindapasirt**, C. Jaturapitakkul, 2012, Cement Pozzolan and Concrete, 7th edition, Bangkok: Thai Concrete Association, 381 pages.
3. U. Rattanasak, **P. Chindapasirt**, 2010, Rice Husk Ash in Concrete, 1st edition, Science and Engineering Publisher, 136 pages.

7.3 Patent/Petty patent

1. Jaturapitakkul, C., Songpiriyakit, S., Grubprasert, T., **Chindapasirt, P.**, 2007, Preparation of geopolymer from rice husk bark ash and fly ash, Patent no. 0701002256.
2. **Chindapasirt, P.**, Rattanasak, U., 2007, Lightweight aggregate from rice husk ash, Petty patent application no. 0703001131.
3. **Chindapasirt, P.**, Rattanasak, U., Sittiichote, J., Songpiriyakit, S., 2008, Method for production of sodium silicate from rice husk ash, Petty patent application no. 080300941.
4. **Chindapasirt, P.**, Rattanasak, U., 2008 Geopolymeric material from rice husk ash, Patent application no. 0801002860.
5. Nakagawa, T., **Chindapasirt, P.**, T. Chaleerat, M. Presertrunguang, 2009, Porous concrete and improvement on the strength of porous concrete, Patent application no. 0801005389.
6. **Chindapasirt, P.**, Rattanasak, U., Songpiriyakit, S., 2009, Lightweight concrete with low shrinkage, Patent application no. 0901004579.
7. Issaravisut, J., Sangiamsak, J., Harnsoongnern, S., **Chindapasirt, P.**, 2009, Magnetic probe for measuring corrosion of steel, Patent application no. 0901104580.
8. **Chindapasirt, P.**, Imnang, P., Detphan, S., 2009, High water retention mortar for plastering, Patent application no. 0901004982.
9. Sinsiri, T., Jitchaiyaphum, K., **Chindapasirt, P.**, 2009, Compressed air foam producing tank, Petty patent application no. 1003001033.

10. **Chindaprasirt, P.**, Detphan, S., 2009, Fly ash-rice husk ash geopolymer, Patent application no. 1001000042.
11. **Chindaprasirt, P.**, Kingko, K., 2010, High strength cellular lightweight concrete, Patent application no. 1001000248.
12. **Chindaprasirt, P.**, Phosi, P., 2010, Cellular structural lightweight geopolymer concrete, Patent application no. 1001000249.
13. **Chindaprasirt, P.**, Hanjitsuwan, S., 2010, Aluminium powder lightweight geopolymer concrete, Petty patent application no. 10030000248.
14. **Chindaprasirt, P.**, Rattanasak, U., 2010, Use of PCC fly ash in improving the strength of FBC coal ashes, Petty patent application no. 1003001126.
15. **Chindaprasirt, P.**, Boonserm, K., 2010, Use of flue gas desulfurization gypsum in enhancing strength of bottom ash geopolymer, Patent application no. 1003001126.

7.4 Research Interests

Pozzolanic materials, Cement, Composite materials, Concrete technology, Geopolymer, Eco-efficient binders

7.5 Research Honors and Awards

1. 1991 Gold Medal Award for Outstanding Water Resources Development, Department of Local Administration, Ministry of Interior.
2. 2002 Outstanding Technologist Award, Utilization of Fly Ash, Foundation for the Promotion of Science and Technology.
3. 2003 Outstanding Sri Mor Din Daeng Award, Khon Kaen University, received from Princess Maha Chakri Sirindhorn.
4. 2007 Professor Vittaya Pianwichit Gold Medal Award, Faculty of Engineering, Khon Kaen University.
5. 2009 Outstanding Teacher Award in Science and Technology, the Council of University Faculty Senate of Thailand (CUFST).
6. 2009 Silver Medal Award of Outstanding Researcher, Khon Kaen University.
7. 2011 Gold Medal Award of Outstanding Researcher, Khon Kaen University.
8. 2011-2014 TRF Senior Scholar.
9. 2012-2014 Chair Professor, Siam Cement Group
10. 2012 Golden Thad Phanom Award, KKU