รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิจัยด้านคอนกรีตพรุนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Research on Green Porous Concrete

คณะผู้วิจัย

สำเริง รักซ้อน	หัวหน้าโครงการวิจัย
ปริญญา จินดาประเสริฐ	ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. 2558

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิจัยด้านคอนกรีตพรุนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Research on Green Porous Concrete

คณะผู้วิจัย

สำเริง รักซ้อน **หัวหน้าโครงการวิจัย**

ปริญญา จินดาประเสริฐ **ที่ปรึกษาโครงการวิจัย**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. 2558

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย มทร.พระนคร ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อุดหนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ขอขอบพระคุณคณะอนุกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้อ่าน ให้ความรู้ แนวทางการเขียนโครงการ ตลอดทั้งการชี้แนะถึงวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขณะเขียนโครงการวิจัย จนทำให้มีความรู้ประสบการณ์เพิ่มขึ้นอย่างมาก และประสบความสำเร็จในระยะเวลาต่อมา คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ ที่ให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัยนี้

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

รศ. ดร. สำเริง รักซ้อน หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่องานวิจัย

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การวิจัยด้านคอนกรีตพรุนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

(ภาษาอังกฤษ) Research on Green Porous Concrete

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปี 2558 จำนวนเงิน 456,300 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กันยายน 2557 ถึง กันยายน 2558

ชื่อผู้วิจัย รศ.ดร. สำเริง รักซ้อน[1]

ศ. ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ[2] (ที่ปรึกษาโครงการวิจัย)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัด กำลังดัด ปริมาณโพรง สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และความต้องการสารลดน้ำพิเศษ ของคอนกรีตพรุน โดยเถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การทดสอบแสดงให้เห็นว่า เถ้าถ่านหินสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนโดยให้กำลังอัด กำลังดัด สูง และปริมาณโพรงต่ำ เถ้าถ่านหินสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในปริมาณร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สำหรับผลิตคอนกรีตพรุน นอกจากนั้นการทดสอบพบว่า เถ้าถ่านหิน ใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตพรุนให้ค่ากำลังอัด กำลังดัด ปริมาณโพรง และการซึมผ่านในทางที่ดี

***คำสำคัญ*:** คอนกรีตพรุน, เถ้าถานหิน, กำลังอัด, ปริมาณโพรง, สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

Abstract

This research presents a study of the compressive strength, flexural strength, coefficient of permeability and superplasticizer requriment of Porous Concrete containing fine fly. Portland cement (CT) is partially replaced with pozzolans 0, 20, 30 and 40% by weight of the cementitious materials. The results show that the high compressive strength, flexural strength and low total void ratio of Porous Concrete improves substantially with partial replacement of Portland cement with fly ash. Porous Concrete mix cement containing 20 and 30% of fly ash can be used to make cementitious materials. In addition, the use of fly ash produces Porous Concrete mix with good compressive strength, flexural strength, total void ratio and coefficient of permeability.

Keywords: Bagasse ash, Cellular Lightweight Concrete, Fly ash

[1] ปริญญาเอก วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ

โทร. 0879454133 rerng197@rmutp.ac.th, sumrerng.r@rmutp.ac.th

[2] ที่ปรึกษาโครงการ

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น โทร. 043 202 846

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ของเขตงานวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอกแนวคิดของงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 คอนกรีตพรุน	5
2.2 งานวิจัยด้านคอนกรีตพรุน	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	9
3.1.1 วิธีวิจัย	9
3.1.2 ส่วนผสมตัวอย่างและการเตรียมวัสดุ	10
3.1.3 การทดสอบตัวอย่าง	10
3.1.4 วิธีเก็บข้อมูล	10
3.1.5 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล	11
3.2 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย) 12

3.3.1 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัยที่มีอยู่ 12

3.3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องการซื้อ 13

3.4 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ 14

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 15

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบ 15

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทดสอบ 15

4.3 กำลังอัดของคอนกรีตพรุน 16

4.4 ปริมาณโพรงของคอนกรีตพรุน 17

4.5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน 19

4.6 กำลังดัด 21

4.7 ความสามารถทำงานได้ 22

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 23

5.1 สรุปผลการวิจัย 23

5.2 ข้อเสนอแนะ 23

เอกสารอ้างอิง 24

ภาคผนวก 26

ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัย 26

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แผนงานโครงการวิจัย (ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี) 12

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของปูนซีเมนต์ (CT) และ เถ้าถ่านหิน (FA) 15

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของ CT และ FA 16

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการสั่นและพลังงานที่ใช้ของคอนกรีตพรุน (Chindaprasirt et al 2008) 6
รูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการผสมคอนกรีตพรุน (Park and Tir 2004) 6
รูปที่ 1.3 ผลกระทบของมวลรวมต่อโพรงคอนกรีตพรุน (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) 7
รูปที่ 1.4 ผลกระทบของมวลรวมต่อกำลังอัดและกำลังดัด (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) 7
รูปที่ 1.5 ผลกระทบของโพรงกำลังอัดและการซึมผ่าน (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) 7
รูปที่ 1.6 ผลกระทบของการบ่มต่อกำลังอัดและกำลังดัด (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) 8
รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 17
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 17
รูปที่ 4.3 ปริมาณโพรงของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 18
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 18
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับกำลังอัด 19
รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 20
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธ์การซึมผ่านและปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 20
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและปริมาณโพรง 21
รูปที่ 4.9 กำลังดัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 21
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดและกำลังอัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน 22
รูปที่ 4.11 ปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษ 22

คำอธิบายสัญลักษณ์

CT	=	คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน
20FA	=	คอนกรีตแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
30FA	=	คอนกรีตแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
40FA	=	คอนกรีตแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้เป็นบทนำ ได้กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ทฤษฎี สมมติฐาน กรอบแนวความคิดของการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

โครงสร้างอาคารในวิศวกรรมโครงสร้างหรือด้านวิศวกรรมโยธามีหลายแบบ เช่น อาคารพักอาศัย อาคารพานิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า ลานจอดรถ สะพาน ถนน แต่ละชนิดสร้างจากวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันขึ้นกับความเหมาะ วัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคารดังกล่าวที่รู้จักโดยทั่วไป คือ ไม้ เหล็ก และคอนกรีต เป็นต้น หากพิจารณางานถนนหรืองานทางที่ใช้คอนกรีต พบว่ามีอยู่ทั่วไปของประเทศ

ประเทศไทยมีแม่น้ำ คู คลอง มากมาย เนื่องจากต้องใช้น้ำในด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุอุทกภัย น้ำจากธรรมชาติหรือจากน้ำฝนอาจไหลหลากกระทบโครงสร้างอาคารต่างๆ เช่น อาคาร สะพาน ถนน หรืออาจเกิดน้ำท่วมขังในบริเวณที่กว้างได้ หากพัฒนาด้านโครงสร้างคอนกรีตให้น้ำสามารถไหลผ่านไปได้ง่าย ระบายน้ำได้ง่าย เก็บเสียงได้ดี ลดความร้อนได้ดี และคอนกรีตมีความแข็งแรงเหมือนเดิมจะลดบริเวณน้ำท่วมขังได้เป็นอย่างดี กล่าวคือควรมีการศึกษาออกแบบให้คอนกรีตสามารถซึมผ่านได้และ มีความแข็งแรงหรืออาจเรียกว่า คอนกรีตพรุน

คอนกรีตพรุน (porous concrete) หมายถึงคอนกรีตที่มีความพรุนสูงและไม่มีวัสดุมวลรวมละเอียดหรือทรายผสมอยู่ ขณะที่คอนกรีตทั่วไปมีทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดผสมอยู่ คอนกรีตพรุนได้ถูกพัฒนามาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในต่างประเทศ ต่อมาได้รับความสนใจมากในประเทศญี่ปุ่น โดยในเนื้อของคอนกรีตพรุนจะมีทั้งโพรงที่ไม่ต่อเนื่องและมีความต่อเนื่องกัน (Chindaprasirt et al 2008) โดยสามารถประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น งานปูผิวถนน พื้นจอดรถ พื้นทางเดิน กำแพงคอนกรีต เขื่อน และงานตกแต่งต่างๆ (Lian et al 2011; Chindaprasirt et al 2008) ดังนั้น จึงพบว่าคอนกรีตพรุนมีประโยชน์มาก และยังมีลักษณะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย คอนกรีตพรุนประกอบด้วยซีเมนต์เพสต์และมวลรวมหยาบหรือทราย อย่างไรก็ตาม คอนกรีตพรุนมีความสามารถในการทำงานได้ต่ำมาก กล่าวคือ ไหลเข้าแบบได้ยาก ดังนั้นจึงต้องอาศัยพลังงานในการบดอัดช่วยสำหรับการเทให้ไหลเข้าแบบ คอนกรีตพรุนสามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น การนำไปใช้ในงานระบายน้ำที่ผิวถนนไม่ให้น้ำขัง งานดาดผิวของแม่น้ำ งานกำแพงกันดิน งานลดแรงดันอัน

เกิดจากน้ำเหนือกำแพงกันดิน งานดาดคลองระบายน้ำสำหรับใช้กรองสิ่งปฏิกูลและบำบัดน้ำเสีย งานคอนกรีตรองพื้นปลูกหญ้าในสนามหญ้าของอาคาร งานคอนกรีตชั้นดาดฟ้าเพื่อลดความร้อน ตลอดจนใช้สำหรับทำวัสดุดูดกลืนเสียง (Brown 2006; Tamai et al 2004)

ในประเทศไทย การศึกษาคอนกรีตพรุนยังมีน้อยมาก โดยเฉพาะการนำวัสดุประสานประเภทปอซโซลานมาใช้ประโยชน์ ซึ่งมีวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่เป็นวัสดุปอซโซลานบางชนิดที่ควรนำมาพัฒนาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตพรุน เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าชานอ้อย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตพรุน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านวัสดุฉลาดสำหรับทดแทนปูนซีเมนต์ ซึ่งจะเป็นโอกาสที่จะนำความรู้ที่ได้จากการวิจัย ไปใช้สำหรับพัฒนาหรือผลิตคอนกรีตพรุน เพื่อใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างจริงได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเถ้าถ่านหินที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมสำหรับใช้ในงานคอนกรีตพรุน ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมีของคอนกรีตพรุนผสมเถ้าถ่านหิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตพรุน โดยมีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สำหรับใช้ควบคุมคอนกรีต

2) เถ้าถ่านหิน งานวิจัยนี้ ใช้เถ้าถ่านหิน จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ บริษัท โบรอล คอนกรีต ประเทศไทย นำเถ้าถ่านหินแยกขนาดละเอียดด้วยเครื่องแยกขนาดแรงลมให้มีความละเอียดค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก เพื่อให้มีความละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 (ASTM C618 2005) สำหรับเป็นวัสดุปอซโซลาน

3) ใช้หิน เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตพรุน โดยใช้ขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 (ASTM C33 2001) และ ASTM C136 (ASTM C136 1998) และหินโครงสร้างมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 5.5-7.5

4) ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าถ่านหิน เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดอนุภาคการกระจายตัว

5) สารเคมีที่ใช้ในโครงการนี้ เช่น สารลดน้ำพิเศษชนิด FF

6) ใช้เถ้าถ่านหินขนาดละเอียด แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30, และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

7) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่ (W/C = Constant) และใช้สารลดน้ำพิเศษซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Superplasticizer, SP) ประเภท FF เพื่อควบคุมความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด (Slump test) กำหนดให้มีอัตราส่วนโพรงเท่ากับร้อยละ 10, 20, 25 และ 30

8) ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยของสารเคมีและกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมีของคอนกรีตพรุนผสมเถ้าถ่านหิน

9) ทำการศึกษา ออกแบบ อัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เถ้าถ่านหินฝนงานคอนกรีตพรุน

10) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางกลของคอนกรีตพรุนที่มีเถ้าถ่านหินเป็นส่วนผสม เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความพรุน ทดสอบกำลังรับแรงอัด และความทนทานอื่นๆ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการใช้คอนกรีตพรุนจากเถ้าถ่านหินในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

การศึกษาด้านคอนกรีตพรุน มีความจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยที่สำคัญ ประกอบด้วยสัดส่วนของโพรง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน รูปร่างขนาดของวัสดุประสาน สัดส่วนของมวลรวมหยาบ ขนาดของมวลรวมหยาบ และกำลังอัด (Chindaprasirt et al 2008) ในการออกแบบส่วนผสมต้องพิจารณาถึงความสามารถในการทำงาน พลังงานในการบดอัดช่วยสำหรับการเข้าแบบ กำลังอัด ความทนทานของคอนกรีต และคุณภาพที่ดี ในการที่จะผลิตคอนกรีตพรุนให้มีคุณภาพดีและมีกำลังอัดตามต้องการนั้น ต้องทำการควบคุมค่าการไหลของซีเมนต์เพสต์และปริมาณโพรงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน (Chindaprasirt et al 2008) อาจกล่าวได้ว่า หากต้องการคอนกรีตพรุนที่มีคุณภาพดีแล้วต้องควบคุมคอนกรีตทั้งในด้านที่เป็นคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

เนื่องจากพบว่าการผลิตคอนกรีตพรุนต้องการความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตในการเทเข้าแบบได้ง่าย หากพิจารณาเถ้าถ่านหินที่รูปร่างเป็นเม็ดกลมตัน เมื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ อาจส่งผลให้คอนกรีตมีการลื่นไหลที่ดี และมีความสามารถในการทำงานได้ดี ลดพลังงานในการเทคอนกรีตเข้าแบบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเถ้าถ่านหินสำหรับแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อศึกษาการผลิตคอนกรีตพรุน โดยพิจารณาถึงการออกแบบใช้เถ้าถ่านหินในอัตราส่วนหรือสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1) นำเถ้าถ่านหินไปผลิตเป็นคอนกรีตพรุนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตเนื่องจากลดปริมาณปูนซีเมนต์ และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมพื้นที่ใกล้เยง สามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในระดับชาติและนานาชาติ

2) เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงานขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต

3) คาดว่าจะนำผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยจดสิทธิบัตรเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่สำหรับงานคอนกรีตพรุน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 คอนกรีตพรุน

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตพรุนมีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 14-40 MPa (Park and Kim 2004; Park et al 2004; Ngohpok et al) การศึกษาคอนกรีตพรุนมีไว้ไม่มาก เช่น งานของ Chindaprasirt et al (2008) ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตพรุนด้วยการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยแยกการทดสอบเป็นสองส่วน คือ ในส่วนของซีเมนต์เพสต์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.20-0.36 และค่าการไหลแผ่เท่ากับ 150-230 มิลลิเมตร และในส่วนของคอนกรีตพรุนออกแบบอัตราส่วนโพรงไว้ร้อยละ 15, 20 และ 25 ผลการทดสอบพบว่า คุณภาพของคอนกรีตพรุนขึ้นกับอัตราส่วนของโพรง ปริมาณเพสต์ ค่าการไหล และการบดอัดสำหรับการเทเข้าแบบ คอนกรีตพรุนมีคุณภาพดีเมื่อใช้อัตราส่วนของโพรงร้อยละ 15-25 ได้ค่ากำลังอัด 22-39 MPa ด้วยการใช้ค่าของการไหลเพสต์เท่ากับ 150-230 มิลลิเมตร สั่นด้วยเครื่องสั่นคอนกรีตเป็นเวลา 10 วินาที ด้วยพลังงานที่ 90 kN m/m^2 การทดสอบยังพบอีกว่า ที่อัตราส่วนโพรงต่ำคอนกรีตพรุนมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 39 MPa ด้วยค่าการไหลที่น้อย และที่อัตราส่วนโพรงที่สูง คอนกรีตพรุนมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 22 MPa ด้วยค่าการไหลที่สูง รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการสั่นและพลังงานที่ใช้ของคอนกรีตพรุน (Chindaprasirt et al 2008)

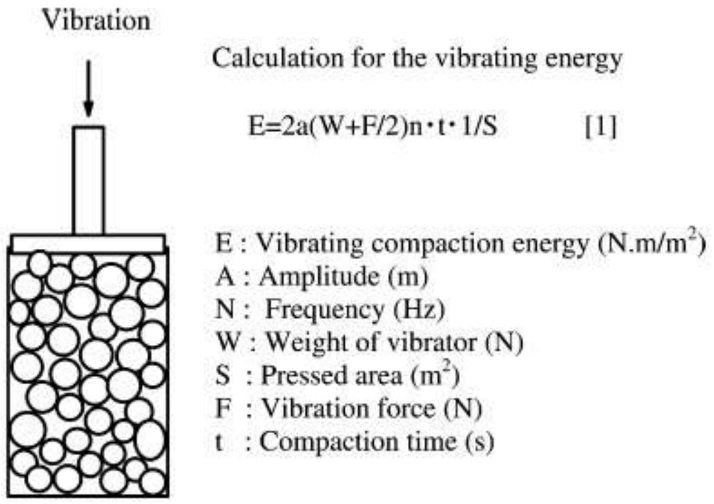
2.2 งานวิจัยด้านคอนกรีตพรุน

งานวิจัยของ Park and Tir (2004) ศึกษาคอนกรีตพรุนโดยใช้มวลรวมหยาบสองขนาด คือ ขนาด 5-10 มิลลิเมตร และ ขนาด 10-20 มิลลิเมตร ใช้อัตราส่วนซีเมนต์เพสต์ต่อวัสดุมวลรวมเท่ากับร้อยละ 30 40 และ 50 ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตพรุนมีค่าสูงเมื่อใช้วัสดุมวลรวมขนาดเล็กกว่าและใช้อัตราส่วนซีเมนต์เพสต์ต่อวัสดุมวลรวมที่มากกว่า ในรูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการผสมคอนกรีตพรุน

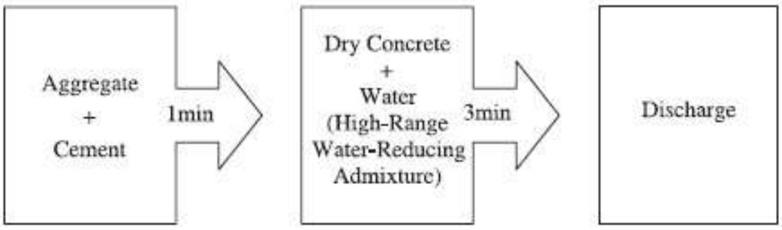
Aamer Rafique Bhutta et al (2012) พบว่าขนาดของวัสดุมวลส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของโพรงในคอนกรีตพรุน กล่าวคือ เมื่อใช้ขนาดของมวลรวมที่เล็กส่งผลให้อัตราส่วนของโพรงในคอนกรีตพรุนลดลง ดังในรูปที่ 1.3 ขณะที่เมื่อใช้ขนาดของมวลรวมที่เล็กลงส่งผลให้กำลังอัดและกำลังดัดสูงขึ้น ดังในรูปที่ 1.4 ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีอัตราส่วนโพรงต่ำส่งผลให้กำลังอัดสูงและลดการซึมผ่าน ดังรูปที่ 1.5

นอกจากนั้นงานวิจัยของ Aamer Rafique Bhutta et al (2012) ยังพบว่ากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตพรุนมีค่าสูงขึ้นตามอายุการบ่ม ดังในรูปที่ 1.6

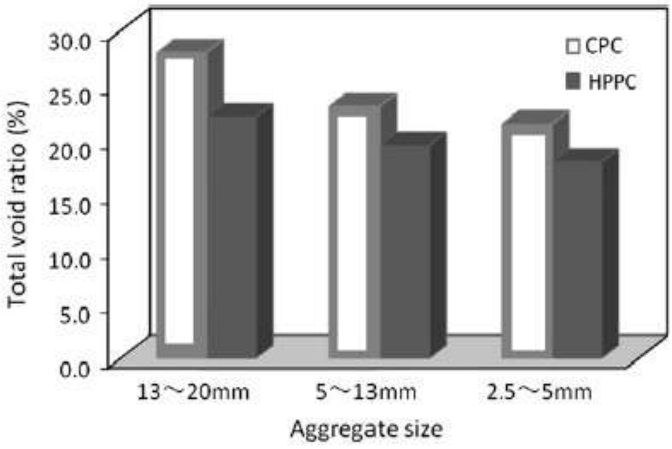
เห็นได้ว่า การศึกษาด้านคอนกรีตพรุนในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยมาก โดยเฉพาะการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ทางอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศและไม่ได้ประโยชน์ เช่น เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ เถ้าถ่านหิน และเถ้าปาล์มน้ำมัน หากปล่อยทิ้งไว้อาจมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนยากแก่การกำจัดทิ้งและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ที่ผ่านมามีการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีตบ้าง แต่ก็เป็นเพียงใช้กับคอนกรีตทั่วไป หากนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยนำมาผลิตคอนกรีตพรุนสำหรับใช้งานจริงจะสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ด้านวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยต่อไป



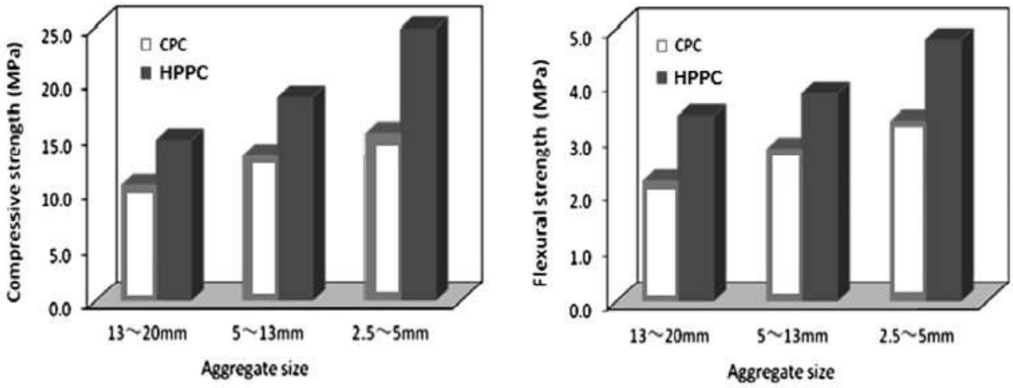
รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการสั่นและพลังงานที่ใช้ของคอนกรีตพรุน (Chindaprasirt et al 2008)



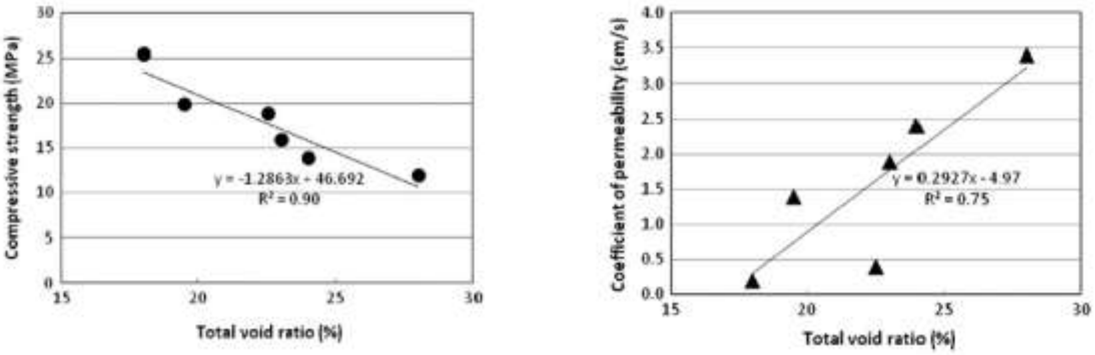
รูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการผสมคอนกรีตพรุน (Park and Tir 2004)



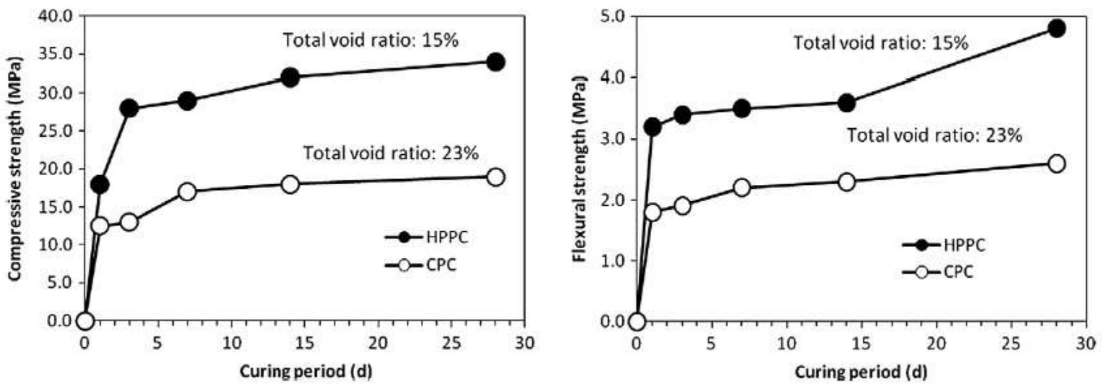
รูปที่ 1.3 ผลกระทบของมวลรวมต่อโพรงคอนกรีตพรุน (Aamer Rafique Bhutta et al 2012)



รูปที่ 1.4 ผลกระทบของมวลรวมต่อกำลังอัดและกำลังดัด (Aamer Rafique Bhutta et al 2012)



รูปที่ 1.5 ผลกระทบของโพรงกำลังอัดและการซึมผ่าน (Aamer Rafique Bhutta et al 2012)



รูปที่ 1.6 ผลกระทบของการบ่มต่อกำลังอัดและกำลังดัด (Aamer Rafique Bhutta et al 2012)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมวัสดุ วิธีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์ตลอดจนวัสดุปอซโซลาน การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การทดสอบหาค่าความพรุน หรือปริมาณโพรง การทดสอบกำลังอัด การทดสอบการต้านทานสารเคมี

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 วิธีวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1) กำหนดแหล่งเถ้าถ่านหินที่จะใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าทางภาคเหนือของประเทศไทย

2) เก็บตัวอย่างเถ้าถ่านหิน ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์

3) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าถ่านหินให้มีขนาดละเอียดมาก โดยนำเถ้าถ่านหินแยกขนาด ให้มีปริมาณสัดส่วนร้อยละค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 โดยน้ำหนัก เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM เกี่ยวกับวัสดุปอซโซลาน

4) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าถ่านหินที่คัดเลือกมา ประกอบด้วย ตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง x-ray fluorescence, ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ, ทดสอบหาปริมาณของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน, ถ่ายภาพขยายกำลังสูง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope, ทดสอบการกระจายตัวและขนาดอนุภาคเฉลี่ย ด้วยเครื่อง Mastersizer และวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ด้วยเครื่อง x-ray diffraction ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ

5) ศึกษาถึงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโครงสร้างของคอนกรีตพรุนผสมเถ้าถ่านหิน เช่น อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน กำลังอัด แรงดึง การดัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น เป็นต้น

6) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการต้านทานสารเคมีในสภาวะแวดล้อมต่างของคอนกรีตพรุนที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัดและความพรุน อิทธิพลของปริมาณวัสดุประสาน และการบ่ม

3.1.2 ส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2) ใช้เถ้าถ่านหินที่ปรับปรุงขนาดแล้ว แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ใช้โดยน้ำหนักวัสดุประสาน การศึกษานี้ทดลองใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

3) มวลรวมหยาบหรือหิน ใช้ขนาดที่แตกต่างกัน ขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน

3) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้สามารถทำงานได้ การศึกษานี้ทดลองใช้ W/C = 0.20

4) อัตราส่วนโพรงออกแบบไว้เท่ากับร้อยละ 20

5) ใช้สารลดน้ำพิเศษและเร่งกำลังชนิด F ควบคุมความสามารถทำงานได้ด้วยการทดสอบการไหลและความข้นเหลว (Slump test)

6) กำลังอัดใช้อายุการทดสอบที่ 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 210 วัน

3.1.3 การทดสอบตัวอย่าง

1) ทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109

2) ออกแบบหน่วยน้ำหนักวัสดุในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน

3) ทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642 หรือทดสอบหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนตามมาตรฐานที่ยอมรับได้

4) ทดสอบความพรุน หรือปริมาตรโพรงในตัวอย่างคอนกรีต

ทั้งนี้ การทดสอบ ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของตัวอย่างทดสอบ

3.1.4 วิธีเก็บข้อมูล

การศึกษาคอนกรีตพรุนด้วยการใช้เถ้าถ่านหินที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมีวิธีการเก็บและรวบรวมแหล่งข้อมูลใช้ในงานวิจัย ดังนี้

1) ทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของคอนกรีตพรุนที่ใช้วัสดุปอซโซลานต่างๆ เป็นวัสดุประสาน เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางการศึกษา ศึกษาข้อมูลย้อนหลังจนถึงปัจจุบันขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน รวบรวมเก็บข้อมูลประวัติการกองทิ้งวัสดุเพื่อใช้เป็นข้อมูลคัดเลือก

2) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าถ่านหินที่คัดเลือกไว้ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ทดสอบ ณ สถาบันที่เกี่ยวข้อง และบันทึกผลการทดสอบโดยใช้ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3) ทำการบันทึกผลการทดสอบของชุดทดสอบกำลังอัดคอนกรีตพรุน ตามเงื่อนไขของตัวแปรที่ศึกษา โดยใช้เครื่องกดทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

4) ทำการบันทึกผลทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน ของตัวอย่างคอนกรีต ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

5) การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยเครื่องมือ XRD, FTIR และ SEM/EDX ปริมาตรโพรงด้วยเครื่องมือ MIP จะส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่สถาบันหรือมหาวิทยาลัยฯ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ และมีความเชี่ยวชาญในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของตัวอย่างทดสอบ

6) ทำการบันทึกผลทดสอบการต้านทานคลอไรด์ โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.1.5 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบด้านกายภาพ ของตัวอย่างคอนกรีตพรุนและซีเมนต์เพสต์เถ้าถ่านหิน

2) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบความทนทานของตัวอย่างคอนกรีตพรุน

3) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัด คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเมื่อมีตัวแปรที่ศึกษาแตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมและปัจจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของส่วนผสมคอนกรีตพรุน

4) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตพรุนเพื่ออธิบายสมบัติทางกลได้

<u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น และรวมทั้งห้องปฏิบัติการของนักวิจัยที่ปรึกษา

3.2 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											↔	↔

3.3 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

3.3.1. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัยที่มีอยู่

1. Compressive machine
2. Sieve analysis
3. Mold cube, cylinder
4. Setting time test
5. Normal consistency test
6. RPCT Chloride test, Carbonation test
7. เครื่องเจียร์คอนกรีต

3.3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องการซื้อ

1. อุปกรณ์ชุดบดวัสดุ
2. เครื่องแก้ว
3. สารเคมี HCl-$AgNO_3$- Superplasticizer-NaOH- BufferpH- NaCl- ฟีนอฟทาลีน
4. แผ่นทองเหลืองขนาดหนา 0.5 มิลลิเมตร
5. หม้อผสมเพสต์
6. ใบพายผสมเพสต์
7. ถุงมือกันสารเคมี
8. แว่นตากันสารเคมี
9. Epoxy
10. ซิลิโคน
11. น้ำกลั่น
12. สารผสมเพิ่ม
13. หิน มวลรวมหยาบ
14. วัสดุปอซโซลาน
15. ปูนซีเมนต์
16. เหล็กเสริมคอนกรีต
17. บิ๊กเกอร์ขนาดคละสำหรับสารเคมี
18. ขวดสีชาสำหรับ $AgNO_3$ เพื่อทดสอบความทนทานของตัวอย่าง
19. ใบมีดตัดคอนกรีต

3.4 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ

CT	=	คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน
20FA	=	คอนกรีตแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
30FA	=	คอนกรีตแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
40FA	=	คอนกรีตแทนที่ด้วย FA ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบของคอนกรีตพรุนที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินและนำมาวิเคราะห์ผล ใช้ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาในครั้งต่อไป

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (CT) และเถ้าถ่านหินแยกขนาดละเอียด (FA) ผลทดสอบพบว่าเถ้าถ่านหิน FA มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.44 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 5700 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม มีอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Rukzon and Chindaprasirt 2011; Rukzon and Chindaprasirt 2009; Rukzon and Chindaprasirt 2008) การแยกขนาดเถ้าถ่านหิน ส่งผลให้ให้ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความละเอียดเพิ่มขึ้น (Rukzon and Chindaprasirt 2008; Rukzon et al 2008) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของปูนซีเมนต์ (CT) และ เถ้าถ่านหิน (FA)

Physical properties	CT	FA
Retained on a sieve No. 325 (%)	N/A	0-3
Specific Gravity	3.14	2.44
Blaine Fineness (cm^2/gm) - ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	3,600	5,700

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุทดสอบ

ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่า CT มีองค์ประกอบหลักคือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งมีปริมาณถึงร้อยละ 65 ส่วนเถ้าถ่านหิน FA ได้จากการนำเถ้าถ่านหินขนาดเดิมนำมาแยกขนาดด้วยเครื่อง Air classifier จากการทดสอบด้านองค์ประกอบทางเคมีพบว่าเถ้าถ่านหินแยกขนาดละเอียดมีผลรวมของ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ร้อยละ 75 มีปริมาณ SO_3 ร้อยละ 2.2 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.5 ดังนั้น เถ้าถ่านหินในงานนี้จึงจัดเป็นชนิด Class F ซึ่งเป็นไป

ตามมาตรฐานของ ASTM C618 (2005) ดังนั้นเถ้าถ่านหินในงานวิจัยจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปนะสานหรือวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ ได้

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของ CT และ FA

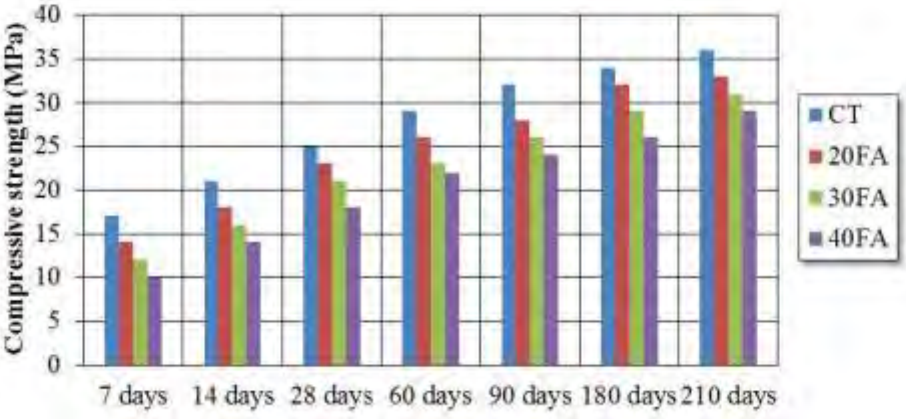
Oxides (%)	CT	FA
CaO	65	12
SiO_2	25.1	45
Al_2O_3	5.5	17
Fe_2O_3	5.9	13
MgO	3.4	6.5
K_2O	0.5	1.8
SO_3	4.7	2.2
LOI	0.9	2.5
SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3	–	75

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ CT คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ FA คือ เถ้าถ่านหินแยกขนาด

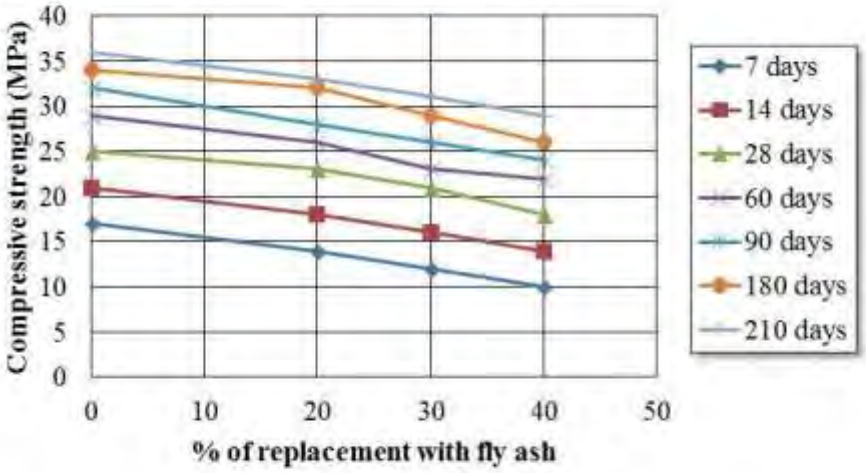
4.3 กำลังอัดของคอนกรีตพรุน

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพรุนที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดพัฒนาขึ้นตามอายุการทดสอบ (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) เช่น ที่อายุ 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 210 วัน กำลังอัดของคอนกรีตพรุน 20FA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 14, 18, 23, 26, 28, 32 และ 33 MPa ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในรูปที่ 4.2 พบว่า การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้คอนกรีตพรุนมีค่ากำลังอัดลดลง เช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 23, 21 และ 18 MPa ขณะที่คอนกรีตพรุน CT มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25 MPa การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลง เช่น ที่อายุ 7 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 14, 12 และ 10 MPa และที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 23, 21 และ 18 MPa กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน มีค่าน้อยเนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่สมบูรณ์ในช่วงอายุต้น อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาการออกแบบคอนกรีตเพื่อการใช้งานที่อายุ 28 วัน พบว่า กำลังอัดอยู่ในช่วง 18-23 MPa ซึ่งสามารถใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตทั่วไปที่ต้องการกำลังอัดใชช่วงดังกล่าวได้ (Park and Tir 2004; Park et al 2004)



รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน

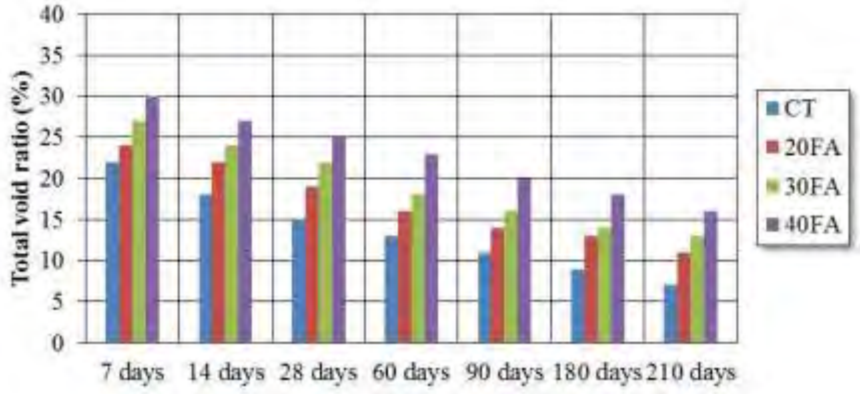


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน

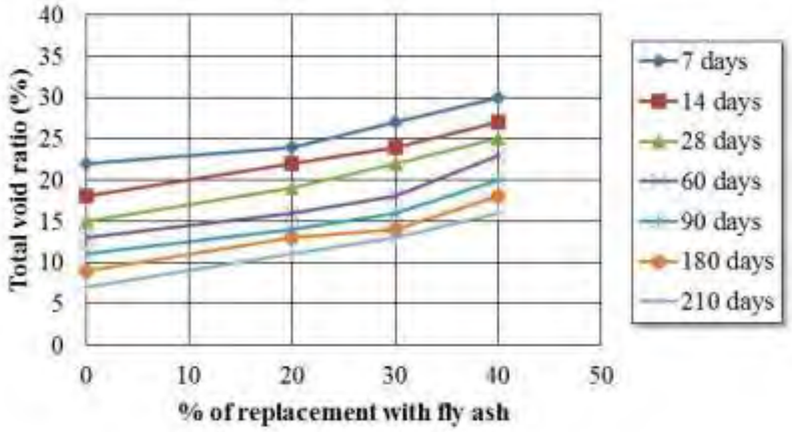
4.4 ปริมาณโพรงของคอนกรีตพรุน

ผลการทดสอบปริมาณโพรงของคอนกรีตพรุนแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่า ปริมาณโพรงลดลงตามอายุการทดสอบ (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่าง เช่น ทีคอนกรีต 20FA มีค่าปริมาณโพรงเกิดขึ้นเท่ากับร้อยละ 24, 22, 19, 16, 14, 13 และ 11 ที่อายุ 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 210 วัน ตามลำดับ การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้ปริมาณโพรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับคอนกรีตพรุนปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากปฏิกิริยาปอโซลานจากเถ้าถ่านหินเกิดขึ้นยังไม่สมบูรณ์ การปรับปรุงขนาดหรือปริมาณโพรงจึงอาจเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ

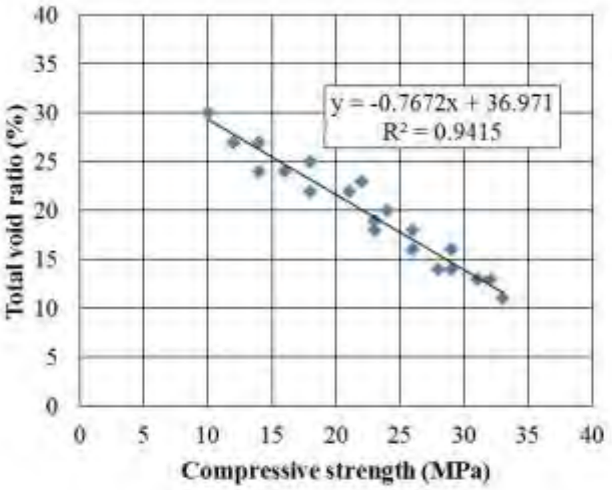
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ผลการทดสอบพบว่า การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณโพรงมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกอายุการทดสอบ เช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่าปริมาณโพรงเท่ากับร้อยละ 19, 22 และ 25 ขณะที่คอนกรีตพรุน CT มีค่าปริมาณโพรงเท่ากับร้อยละ 15 ส่วนในรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับกำลังอัด ซึ่งพบว่า เมื่อปริมาณโพรงมากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดลดลงตามไปด้วย กล่าวคือ ที่อายุการทดสอบ 7-210 วัน ช่วงของกำลังอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 10-36 MPa ขณะที่ปริมาณโพรงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 7-30 ดังนั้น ในการออกแบบคอนกรีตพรุนเพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดทีดี ควรพิจาณาผลของปริมาณโพรงเป็นสำคัญ กล่าวคือ ควรออกแบบคอนกรีตให้มีปริมาณโพรงน้อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 ปริมาณโพรงของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



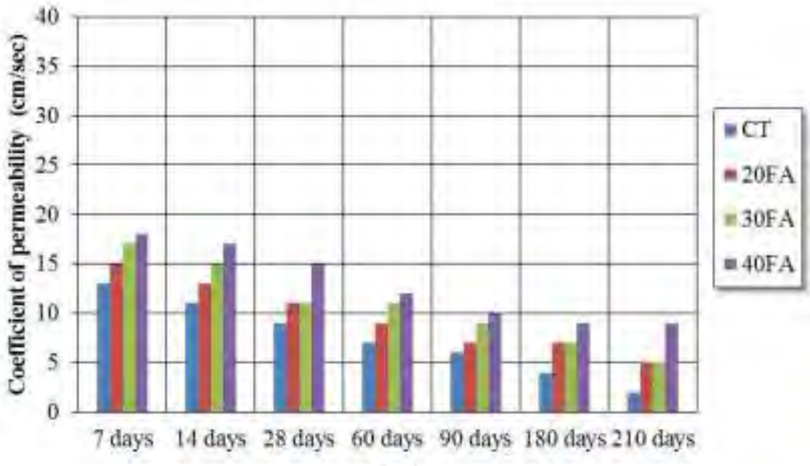
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



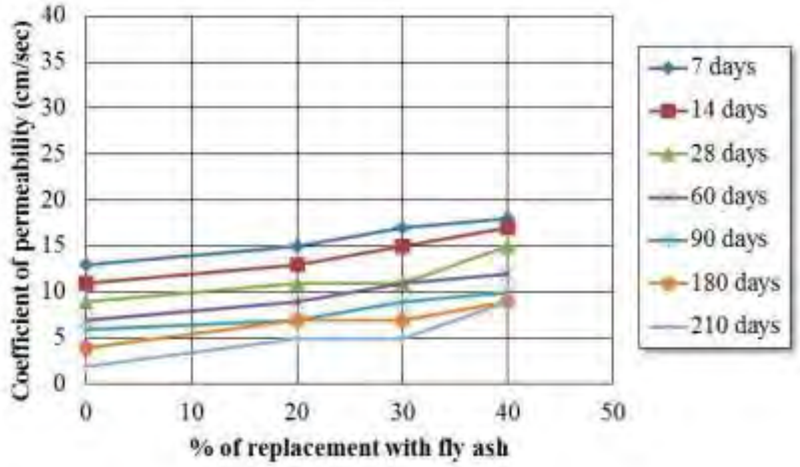
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับกำลังอัด

4.5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

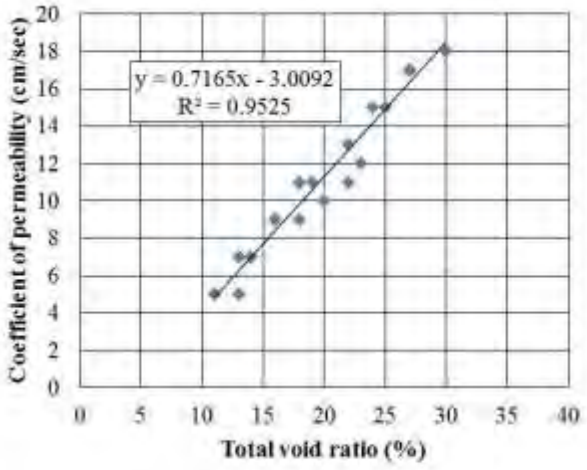
ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่า สัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรงส่งผลให้การซึมผ่านเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านลดลงเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ เนื่องจากอายุการทดสอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน คอนกรีตจึงมีความทึบแน่นมากขึ้นการซึมผ่านจึงลดลง การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเพิ่มมากขึ้นในทุกอายุการทดสอบ (ดังแสดงในรูปที่ 4.7) ส่วนในรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและปรีมาณโพรง ซึ่งพบว่า ปริมาณโพรงที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเพิ่มมากขึ้นด้วย (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) ดังนั้นปริมาณโพรงมีผลต่อการซึมผ่านในคอนกรีต



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



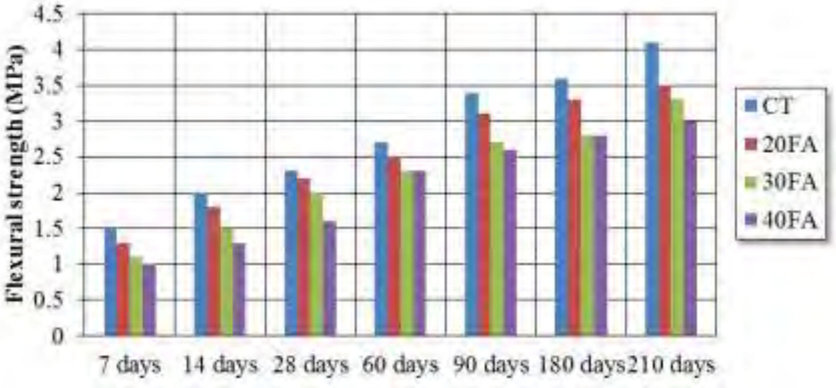
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



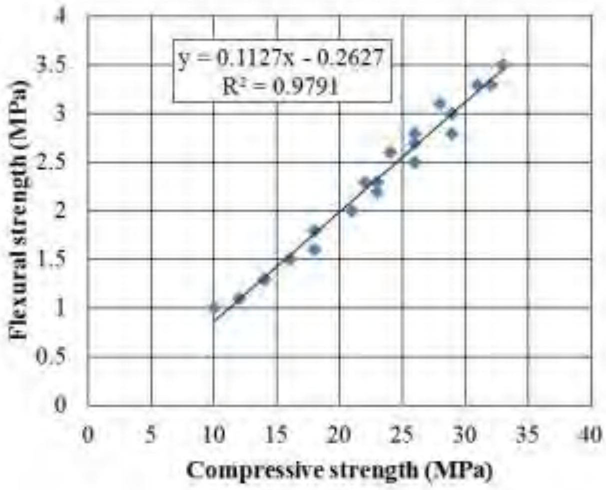
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและปริมาณโพรง

4.6 กำลังดัด

ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตพรุนผสมด้วยเถ้าถ่านหินซึ่งให้ไว้ในรูปที่ 4.9 ชี้ให้เห็นว่าการต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นตามอายุการทดสอบ (Aamer Rafique Bhutta et al 2012) เช่น คอนกรีต FA20 มีค่าการต้านทานกำลังดัดเท่ากับ 1.3, 1.8, 2.2, 2.5, 3.1, 3.3 และ 3.5 MPa ที่อายุ 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 210 วัน ตามลำดับ การใช้เถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์พบว่าค่าการต้านทานแรงดัดลดลงในทุกอายุการทดสอบ เช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่าการต้านทานกำลังดัดเท่ากับ 2.2, 2 และ 1.6 MPa ในรูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดและกำลังอัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



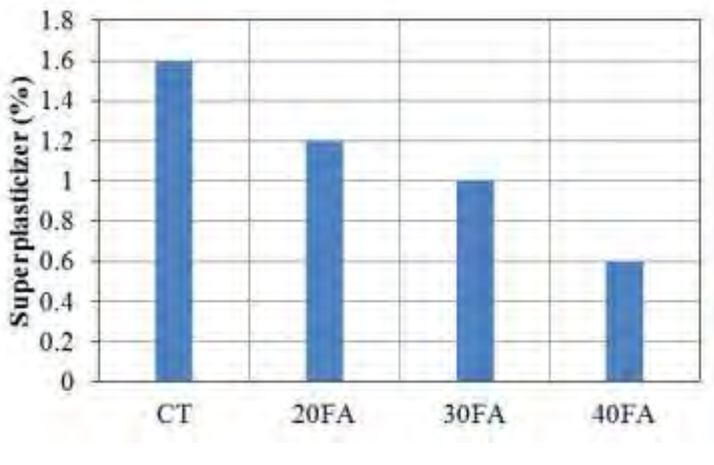
รูปที่ 4.9 กำลังดัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดและกำลังอัดของคอนกรีตพรุนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน

4.7 ความสามารถทำงานได้

ผลการทดสอบปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินส่งผลให้คอนกรีตพรุนต้องการปริมาณสารลดน้ำพิเศษลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตพรุนผสมปูนซีเมนต์ล้วน การเพิ่มปริมาณการแทนที่ส่งให้ความต้องการสารลดน้ำพิเศษลดลงตามไปด้วยเนื่องจากเถ้าถ่านหินมาขนาดอนุภาคกลมและตัน



รูปที่ 4.11 ปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และแนวทางต่อการวิจัยอย่างต่อเนื่องในการผลิตคินกรีตพรุนเพื่อใช้ในงานจริง และใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาด้านวิศวกรรมวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพัฒนาเถ้าถ่านหินที่สำหรับใช้ในงานคอนกรีตพรุนสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) เถ้าถ่านหินสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อผลิตคอนกรีตพรุนใช้งานจริงได้ โดยเมื่อพิจารณาที่อายุ 28 วัน พบว่ามีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 23 และ 21 MPa เมื่อแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งมีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วงร้อยละ 84-92 ของคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน

2) การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินส่งผลให้กำลังอัดลดลง

3) ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณโพรงที่ลดลง

4) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านลดลงตามอายุการทดสอบที่เพิ่มขึ้น

5) ปริมาณโพรงที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเพิ่มมากขึ้น

6) การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ สามารถลดปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษ ส่งผลให้ลดต้นทุนในการการผลิตคอนกรีต

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเพื่อพัฒนาเถ้าถ่านหินที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมสำหรับใช้ในงานคอนกรีตพรุนสามารถสรุปข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

1) ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทดสอบความต้านทานต่อสารเคมีต่างๆ ในระยะยาว

2) ในการทดสอบครั้งนี้มีข้อจำกัดในการใช้ตัวอย่างการทดสอบ กล่าวคือ ตัวอย่างคอนกรีตไม่สามารถทดสอบหาค่าบางทดสอบ เช่น การต้านทานต่อสารเคมี เนื่องจากคอนกรีตมีความพรุนสูงการทดสอบแบบเร่งการทดสอบจึงไม่สามารถดำเนินการได้

เอกสารอ้างอิง

ASTM C618, 2005, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standard, 04.02, 323-325.

ASTM C33, 2001, Standard Specification Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standard, 04.02, 10-17.

ASTM C136, 1998, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standard, 04.02, 78-82.

Aamer Rafique Bhutta, M., Tsuruta, k., Mirza, J, 2012, Evaluation of high-performance porous concrete properties, Construction and Building Materials, 31, 67–73.

Brown, H.J., 2006, Previous Concrete Research Compilation Past Present and Future, Middle Tennessee State University, 8-12.

Chindaprasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N., Yuasa, Y., 2008, Cement paste characteristics and porous concrete properties, Construction and Building Materials, 22, 894–901.

Halverson, C., White, D.J., 2003, Void Continuity Index for Pervious Concrete Using X-Ray Computed Tomography Scanning, Center for Nondestructive Evoluation, 65-66.

Lian, C., Zhuge, Y., Beecham, S., 2011, The relationship between porosity and strength for porous concrete, Construction and Building Materials, 25, 4294–4298.

Ngohpok, C., Hormdee, d., Chindaprasirt, P., A Fundamental study on the properties of porous concrete containging fly ash, Annual Concrete Conference 3

Park. S.B., Kim, J.K., 2004, An Experimental Study on The Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Porous Concrete Utilizing Recycled Aggregate and Silica Fumes. Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete. JCI, 15-17.

Park, S.B., Cho, Y.S., Kim, J.K., 2004, An Experimental Study on The Water-Purification Properties by Porous Concrete. Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete. JCI, 22-26.

Park, S.B., Tir, M., 2004, An Experimental Study on The Water-Purification Properties of Porous Concrete. Proceedings of the JCI Symposium on Design, Cement and Concrete Research, 34, 177-184.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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.

Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2008, Development of classified fly ash as a pozzolanic material, Journal of Applied Sciences, 8(6), 1097-1102.

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.

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.

Tamai, M., Mizuguch,i H., Hatanaka, S., Katahira, H., 2004, Design, Construction and Recent Application of Porous Concret in Japan. Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete. JCI, 1-10.

ภาคผนวก

ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัย

<u>ส่วน ค</u> **: ประวัติคณะผู้วิจัย**

ค. 1 หัวหน้าโครงการ:

1. **ชื่อ** รศ.ดร. สำเริง รักซ้อน (Assoc. Prof. Dr. Sumrerng Rukzon)
2. **รหัสประจำตัว** 3 1805 00327 90 8
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** รองศาสตราจารย์
4. **หน่วยงานที่ติดต่อ** สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
โทรศัพท์ 02 497 8573 โทรสาร 02 497 8573
E-mail: sumrerng.ruk@rmutr.ac.th

5. **ประวัติการศึกษา**

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ	ปี พ. ศ. ที่จบ
ปริญญาตรี	วิศวกรรมโยธา	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วข. เทเวศร์) ประเทศไทย	2537-3539
ปริญญาโท	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประเทศไทย	2543-2545
ปริญญาเอก	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย	2547-2550

6. **สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ**

โครงสร้างเชิงประกอบ คอนกรีต วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมกลศาสตร์คำนวณ สิ่งประดิษฐ์และจีโอโพลิเมอร์

7. ประสบการณ์ในงานวิจัย

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วและทุนที่ได้รับ

ชื่อทุนวิจัย	แหล่งทุนที่ให้	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2551
อิทธิพลของความละเอียดของวัสดุปอซโซลานต่อความคงทนของมอร์ต้าร์	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา	2551
การพัฒนาเถ้าถ่านหินแยกขนาดเป็นวัสดุปอซโซลาน	ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2550
การพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุจีโอโพลีเมอร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2553
การใช้เถ้าถ่านหิน เถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในคอนกรีตกำลังสูง	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2553

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วและทุนที่ได้รับ (ต่อ)

ชื่อทุนวิจัย	แหล่งทุนที่ให้	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
การวิจัยด้านวัสดุปูนฉาบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2554
นวัตกรรมการใช้เถ้าหนักในคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555
การพัฒนาคอนกรีตปอซโซลานไหลเข้าแบบง่ายด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้งสองชนิดรวมกัน	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรรมการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555-2556
นวัตกรรมคอนกรีตต้นทุนต่ำไหลเข้าแบบง่ายโดยการใช้เถ้าทิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556
การพัฒนาเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2557
นวัตกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2557
การพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตกำลังสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
นวัตกรรมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในคอนกรีตมวลเบาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
การวิจัยด้านคอนกรีตพรุนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อาวุโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2555-2557
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อาวุโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2557-2560

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.**, 2015, Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing rice husk ash and ground river sand, Materials and Structures, Has been accepted, online first (in press).

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), 25(1), 105–111.

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.**, Chindaprasirt, 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.**, Chindaprasirt, 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, 18(6), 1745-1752.

7.2.1.23 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2014, Use of rice husk-bark ash in producing self-compacting concrete, Advances in Civil Engineering, 2014, Article ID 429727.

7.2.1.24 **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2015, Physical properties of cement mortar containing waste ash, Applied Mechanics and Materials, 804, 129-132.

7.2.2 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ (Full paper)

7.2.2.1 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, 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.**, Chindaprasirt, 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.**, Chindaprasirt, 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.**, Chindaprasirt, P., 2008, Use of ternary cementitious system in concrete work, Civil Engineering Magazine, 20(5), 70-76.

7.2.2.5 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, 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, **สำเริง รักซ้อน**, วันชัย สะตะ, อาภา สธนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังไว้ในจีโอโพลีเมอร์เถ้าหนัก, งานประชุมวิชาการคอนกรีต ครั้งที่ 8, ชลบุรี, 22-24 ตุลาคม 2555.

7.2.1.6 ชัยชาญ โชติถนอม, ปริญญา จินดาประเสริฐ, **สำเริง รักซ้อน**, วันชัย สะตะ, อาภา สธนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถต้านทานการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าจีโอโพลีเมอร์เถ้าหนักงาน, ประชุมวิชาการคอนกรีต 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 มีเถ้าถ่านหินแยกขนาดผสมรวมกับเถ้าชานอ้อยบด Petty Patent No. 7957”

7.4.2 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเถ้าถ่านหินผสมรวมกับเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ Petty Patent No. 7958”

7.4.3 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “เครื่องบดวัสดุซีเมนต์จากเถ้าทิ้ง 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 Chindaprasirt, 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) สมาชิกเครือข่ายจีโอโพลิเมอร์ไทย

8) เป็นกรรมการพิจารณาร่างหลักสูตรปริญญาโท มทร.ตะวันออก และหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

9) เป็นกรรมการ/ประธานกรรมการสอบนักศึกษาระดับปริญญาโท/เอก

7.4 สิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร

7.4.1 Conservative Energy of Grinding Machine for Pozzolanic Materials, Petty Patent No. 3674

7.4.1 วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเถ้าถ่านหินแยกขนาดผสมรวมกับเถ้าชานอ้อยบด Petty Patent No. 7957

7.4.2 วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเถ้าถ่านหินผสมรวมกับเถ้าแกลบ-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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลทั้ง 9 แห่ง ครั้งที่ 3 และ 4	2556

7.6 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

โครงการวิจัยงบประมาณ ปี พ. ศ. 2559 กำลังดำเนินการ (ขณะเขียนขอทุน ปี พ.ศ. 2560)

ค. 2 ที่ปรึกษาโครงการ: (1)

1. ชื่อ ศ. ดร. ปริญญา 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. Chotithanorm, 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, Efffect 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. Chairuangsri, 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. Lertkhositpong, 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. Chindaprasirt, 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. Rianyoi, R. Potong, W. Suriya, N. Jaitanong, P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, Utilization of bagasse ash in high strength concrete, Materials and Design, 2012,34,45-50
64. T. To-in, V. Sata, , C. Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt, Porous high-calcium fly ash geopolymer concrete, CBM, 2012,30(7) 366-371.
65. V. Sata, A. Sathonsaowaphak, P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt,, 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. Chindaprasirt, The effects of replacement fly ash with diatomite in geopolymer mortar, Computers and Concrete, 2012,9(6), 427-437
69. P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, Finishing methods and compressive strength-void ratio relationships of in-situ porous concrete pavement, Computers and Concrete, 2012,10(3), 231-240
74. P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, A. Chaipanich, Investigation on the dielectric properties of 0–3 lead zirconate titanate-geopolymer composites, Ferroelectrics, 2013, 451 (1), 84-89.
80. P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, S. Thaiwitcharoen, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 2013 Compressive Strength and Microstructure of 0-3 Lead Zirconate Titanate Ceramic-Portland Cement Composites, Ferroelectrics 457 (1), 53-61.
85. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, Factors influence on shrinkage of high calcium fly ash geopolymer paste, Vol. 610 – 613, 2012, 2275-2281.
87. P. Jitsangiam, P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, 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. Wongsa, P. Chindaprasirt, 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. Chindaprasirt, Reducing loss tangent by controlling microstructure and dielectric relaxation behaviors of CaCu3Ti4O12, 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. Chindaprasirt, 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 CaCu3Ti4-xVxO12 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. Wongsa, 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 cemet, 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. Kuharuangrong, 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-SiO_2 and nano-Al_2O_3 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. Chindaprasirt, Lightweight calcined diatomite concrete, KSCE, in press

115. S. Hunpratub, P. Chindaprasirt, S. Maensiri, Synthesis and characterization of Ba0.85Ca0.15Ti0.9Zr0.1O3 ceramics by hydrothermal method, Ceramic Inter, in press.

7.2 Book

1. **P. Chindaprasirt,** 2010, Fly ash, 3rd edition, Khon Kaen: Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Khon Kaen University, 132 pages.
2. **P. Chindaprasirt,** C. Jaturapitakkul, 2012, Cement Pozzolan and Concrete**,** 7th edition, Bangkok: Thai Concrete Association, 381 pages.
3. U. Rattanasak, **P. Chindaprasirt,** 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., **Chindaprasirt, P.**, 2007, Preparation of geopolymer from rice husk bark ash and fly ash, Patent no. 0701002256.
2. **Chindaprasirt, P.**, Rattanasak, U., 2007, Lightweight aggregate from rice husk ash, Petty patent application no. 0703001131.
3. **Chindaprasirt, P.**, Rattanasak, U., Sittiichote, J., Songpiriyakit, S., 2008, Method for production of sodium silicate from rice husk ash, Petty patent application no. 080300941.
4. **Chindaprasirt, P.**, Rattanasak, U., 2008 Geopolymeric material from rice husk ash, Patent application no. 0801002860.
5. Nakagawa, T., **Chindaprasirt, P.**, T. Chaleerat, M. Presertrungruang, 2009, Porous concrete and improvement on the strength of porous concrete, Patent application no. 0801005389.
6. **Chindaprasirt, P.**, Rattanasak, U., Songpiriyakit, S., 2009, Lightweight concrete with low shrinkage, Patent application no. 0901004579.
7. Issaravisut, J., Sangiamsak, J., Harnsoongnern, S., **Chindaprasirt, P.**, 2009, Magnetic probe for measuring corrosion of steel, Patent application no. 0901104580.
8. **Chindaprasirt, P.**, Imnang, P., Detphan, S., 2009, High water retention mortar for plastering, Patent application no. 0901004982.
9. Sinsiri, T., Jitchaiyaphum, K., **Chindaprasirt, 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 materilas, 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