รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีต

The Development of Bottom Ash as an Aggregate in Concrete Work

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน **หัวหน้าโครงการวิจัย**

ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ **ที่ปรึกษาโครงการวิจัย**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. 2557

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีต

The Development of Bottom Ash as an Aggregate in Concrete Work

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน **หัวหน้าโครงการวิจัย**

ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ **ที่ปรึกษาโครงการวิจัย**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. 2557

บทคัดย่องานวิจัย

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การพัฒนาเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีต

(ภาษาอังกฤษ) The Development of Bottom Ash as an Aggregate in Concrete Work

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปี 2557 จำนวนเงิน 404,800 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กันยายน 2556 ถึง กันยายน 2557

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน[1]

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ และการต้านทานการกัดกร่อน ของคอนกรีตโดยเถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดและหยาบในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก การทดสอบแสดงให้เห็นว่า เถ้าหนักสามารถใช้แทนที่มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบบางส่วนได้โดยให้กำลังอัดสูง และการแทรกซึมผ่านคลอไรด์ต่ำ เถ้าหนักสามารถใช้แทนที่มวลรวมหยาบได้ในปริมาณร้อยละ 25-50 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้น การทดสอบพบว่า เถ้าหนักสามารถใช้แทนที่มวลรวมละเอียดได้ในปริมาณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก การใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมให้ค่ากำลังอัด ต้านทานคลอไรด์และการกัดกร่อนได้ดี

***คำสำคัญ*:** คอนกรีต, เถ้าหนัก, มวลรวม

Abstract

This research presents a study of the compressive strength, chloride penetration and resistance to corrosion of concrete containing bottom ash. Fine and coarse aggregate is partially replaced with bottom ash 25, 50, 75 and 100% by weight of the aggregate. The results show that the compressive strength and low chloride penetration of concrete improves substantially with partial replacement of aggregate with bottom ash. Concrete mix cement containing 25 and 50% of bottom ash can be used to make coarse aggregate. In addition, Concrete mix cement containing 100% of bottom ash can be used to make fine aggregate. The use of bottom ash produces concrete mix with good compressive strength and resistance to chloride and corrosion.

Keywords: Concrete, Bottom ash, Aggregate

[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

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อุดหนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ขอขอบพระคุณคณะอนุกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้อ่าน ให้ความรู้ แนวทางการเขียนโครงการ ตลอดทั้งการชี้แนะถึงวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขณะเขียนโครงการวิจัย จนทำให้มีความรู้ประสบการณ์เพิ่มขึ้นอย่างมาก และประสบความสำเร็จในระยะเวลาต่อมา คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ ที่ให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัยนี้

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

ผศ ดร. สำเริง รักซ้อน หัวหน้าโครงการ

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฏ
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	6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	7
2.1 ขนาดรูปร่างของเถ้าหนัก	7
2.2 การใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวม	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	13
3.2 วิธีเก็บข้อมูล	14
3.3 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล	15
3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	16
3.5 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย)	16
3.6 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ	17
3.7 ส่วนผสมคอนกรีต SCC ที่ใช้ในการศึกษา	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 19

4.1 กำลังอัดของคอนกรีต 19

4.2 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต 21

4.3 การกัดกร่อนของคอนกรีต 23

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 25

5.1 สรุปผลการวิจัย 25

5.2 ข้อเสนอแนะ 25

เอกสารอ้างอิง 26

ภาคผนวก 28

ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัย 28

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน 5
(สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2553; สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555)

ตารางที่ 3.1 แผนงานโครงการวิจัย (ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี) 16

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมคอนกรีต โดยน้ำหนัก (ร้อยละ) 18

ตารางที่ 4.1 การซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตในพื้นฐานการคำนวณคูลอมบ์ 21
มาตรฐาน ASTM C1202 (2005)

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 เถ้าหนักขนาดเดิม (สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555) 7
รูปที่ 1.2 เถ้าหนักแยกขนาดหยาบ (Kim and Lee, 2011) 8
รูปที่ 1.3 เถ้าหนักบด (สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555) 8
รูปที่ 1.4 เถ้าหนักขนาดละเอียด (Kim and Lee, 2011) 8
รูปที่ 1.5 การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเถ้าหนักและทราย (Kim and Lee, 2011) 9
รูปที่ 1.6 การใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0-100 (Kim and Lee, 2011) 11
รูปที่ 1.7 การใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 0-100 (Kim and Lee, 2011) 12
รูปที่ 1.8 การใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทรายในปริมาณร้อยละ 0-100 (Kim and Lee, 2011) 12
รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย 20
รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่หิน 20
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมด้วยเถ้าหนัก 20
รูปที่ 4.4 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย 22
รูปที่ 4.5 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่หิน 22
รูปที่ 4.6 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต ใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวม 22
รูปที่ 4.7 การกัดกร่อนของคอนกรีต ที่ใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย 23
รูปที่ 4.8 การกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หิน 24
รูปที่ 4.9 การกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวม 24

คำอธิบายสัญลักษณ์

C	=	มวลรวมหยาบ (หิน)
F	=	มวลรวมละเอียด (ทราย)
CT	=	คอนกรีตปกติ
25-F	=	คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
50-F	=	คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
75-F	=	คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก
100-F	=	คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก
25-C	=	คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
50-C	=	คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
75-C	=	คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก
100-C	=	คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้เป็นบทนำ ได้กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ทฤษฎี สมมติฐาน กรอบแนวความคิดของการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

คอนกรีตคือส่วนประกอบของ ปูนซีเมนต์ น้ำ หิน และทราย ผสมกันกลายเป็นก้อนแข็งและให้ค่าการรับกำลังที่ดี ในส่วนของหินและทรายในด้านวัสดุก่อสร้างเรียกว่า วัสดุมวลรวม โดยที่หิน คือ มวลรวมหยาบ และทรายคือ มวลรวมละเอียด โดยทั่วไปคอนกรีตประกอบด้วยวัสดุมวลรวมประมาณร้อยละ 50-80 โดยปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสมคอนกรีต (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตรพิทักษ์กุล, 2553; สำเริง รักซ้อน และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2555) หินและทรายเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งยิ่งใช้อาจหมดไปจากธรรมชาติได้ ดังนั้นควรใช้อย่างประหยัดและระมัดระวัง อย่างไรก็ตามในสภาวะการเจริญเติบโตของด้านเศรษฐกิจของประเทศที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมก่อสร้างเติบโตตามไปด้วย โดยพบว่ามีการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญของมนุษย์สำหรับการอยู่อาศัยและประกอบกิจการ หากได้ศึกษาเพื่อหาวัสดุทดแทนหินและทรายเพื่อเป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีตโดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในประเทศ จะสามารถลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดพื้นที่การกำจัดของเหลือทิ้ง เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงานขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งมีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต

เถ้าหนัก (Bottom ash) เป็นวัสดุถมทิ้งจากผลพลอยได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีการนำเอาถ่านหินมาเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นได้ส่วนที่เหลือคือเถ้าทิ้งและไม่ได้ใช้ประโยชน์ใดๆ อาจส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนที่เหลือจากกระบวนผลิตกระแสไฟฟ้าดังกล่าว คือ เถ้าถ่านหิน (Fly ash) และเถ้าหนัก (Bottom ash) ในส่วนของเถ้าถ่านหินได้มีการศึกษาวิจัยมาอย่างต่อเนื่องสำหรับทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เพื่อใช้ในงานคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ในส่วนของเถ้าหนักยังมีงานวิจัยอยู่น้อยมากโดยเฉพาะการศึกษานำเถ้าหนักไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมแทนที่หินและทราย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาเถ้าหนัก เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมแทนที่หินและทราย สำหรับผลิตเป็นคอนกรีต ศึกษากระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความทนทานต่อสารเคมี เพื่อใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีตอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากนั้นจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งได้จริงและทำให้เกิดความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ผลพลอยได้ที่ตามมาคือการช่วยลดปัญหามลภาวะแวดล้อมและปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใกล้เคียงของวัสดุเหลือทิ้งตลอดทั้งสามารถลดพื้นที่การกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว ดังนั้นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีตจากเถ้าหนักจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานโครงสร้าง คอนกรีต และหากงานวิจัยนี้สำเร็จจะส่งผลให้สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรมและเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียในเชิงพาณิชย์ได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเถ้าหนักซึ่งเป็นผลพลอยได้และเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสำหรับใช้แทนที่หินและทรายในงานคอนกรีต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาเถ้าหนัก (Bottom ash) เป็นวัสดุมวลรวมแทนที่หินและทรายในการผลิตคอนกรีต โดยมีขอบเขต ดังนี้

1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สำหรับใช้เป็นวัสดุประสาน

2) ในส่วนของเถ้าหนัก งานวิจัยนี้ ใช้เถ้าหนัก จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยได้รับการอนุเคราะห์จาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3) นำเถ้าหนักจากผลผลิตอุตสาหกรรม ในขอบเขตข้อที่ 2 มาปรับปรุงคุณภาพก่อน โดยในการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าหนักดังกล่าวนี้ทำด้วยการบดให้มีขนาดความละเอียดใกล้เคียงกับทราย ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ให้มีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.20-3.20 สำหรับใช้เป็นมวลรวมละเอียด และแยกขนาดเถ้าหนักด้วยตะแกรงให้มีขนาดใกล้เคียงกับหิน ร่อนค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ให้มีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 5.5-7.5 สำหรับใช้เป็นมวลรวมหยาบ โดยทั้งมวลรวมหยาบและละเอียดให้มีขนาดคละใกล้เคียงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 (2001) และ ASTM C136 (1998)

5) ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าหนัก เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะ

6) สารเคมีที่ใช้ในโครงการนี้ เช่น สารลดน้ำพิเศษชนิด FF โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซิลเวอร์ไนเตรท

7) ใช้ทรายแม่น้ำมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.2-3.2

8) หิน ใช้หินโครงสร้างมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 5.5-7.5

9) ใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทรายในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก

10) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่ และใช้สารลดน้ำพิเศษซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ ประเภท FF เพื่อควบคุมความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด

11) ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยของสารเคมีและกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมีของคอนกรีตที่มีเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวม

12) ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เถ้าหนัก สำหรับการผลิตคอนกรีต

13) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางกลของคอนกรีตที่ที่มีเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ การทดสอบ เช่น ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความพรุน ทดสอบกำลังรับแรงอัด การต้านทานคลอไรด์ การกัดกร่อน ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการใช้คอนกรีตกำลังสูงจากเถ้าทิ้งในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

เถ้าหนักหรือเถ้าก้นเตา (Bottom ash) เป็นวัสดุกองถมทิ้งซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เถ้าหนักจากผลผลิตอุตสาหกรรมดังกล่าวนี้อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากวัสดุเหล่านั้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์โดยตรง ที่ผ่านมาพบว่าเถ้าหนักมีขนาดค่อนข้างใหญ่ (Sathonsaowapak et al. 2009; ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2553) ดังนั้นนักวิจัยจึงพยายามศึกษาในการนำเถ้าหนักไปใช้ในงานคอนกรีตเช่นเดียวกับเถ้าถ่านหิน (Fly ash) เนื่องจากพบว่าเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic material) โดยทั่วไปวัสดุปอซโซลานมีสารจำพวกซิลิกา (Silica) หรือซิลิกาและอลูมินา (Silica and Alumina) ปนอยู่ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2553) สารเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ที่ได้จากปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งเรียกว่า ปฏิกริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) ดังสมการที่ (1)-(4) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตอย่างกว้างขวาง แต่เถ้าหนักมีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาระหว่างเถ้าถ่านหินและเถ้าหนักพบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 1) มีซิลิกา (Silica) เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจึงใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตได้เหมือนกัน

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (1)$$

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 2Ca(OH)_2 \quad (2)$$

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.y\ SiO_2.zH_2O \quad (3)$$

$$Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + H_2O \rightarrow xCaO.y\ Al_2O_3.zH_2O \quad (4)$$

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักแสดงในตารางที่ 1.1 พบว่าองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 และ Al_2O_3 โดยมี SiO_2 ร้อยละ 39 มี Al_2O_3 ร้อยละ 21 และมี Fe_2O_3 ร้อยละ 14 และถ้ารวมองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 74 ซึ่งมากกว่า ร้อยละ 70 ตามมาตรฐานของ ASTM C618 (2005) จึงถือว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่งได้ ขณะที่ในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเถ้าถ่านหินมี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เถ้าถ่านหินมี SiO_2 ร้อยละ 45.1 มี Al_2O_3 ร้อยละ 17.2 และมี Fe_2O_3 ร้อยละ 13.4 และถ้ารวมองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 75.7

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน
(สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2553; สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555)

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าถ่านหิน	เถ้าหนัก
CaO (%)	54.98	11.57	16
SiO_2 (%)	25.1	45.1	39
Al_2O_3 (%)	5.5	17.2	21
Fe_2O_3 (%)	5.9	13.4	14
MgO (%)	3.4	6.8	6
K_2O (%)	0.5	1.8	2
SO_3 (%)	4.7	2.2	-
LOI (%)	0.9	2.5	4.4
SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3 (%)	—	75.7	74

จากทฤษฎีการผลิตคอนกรีต พบว่าคอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ ผสมรวมกันกลายเป็นก้อนแข็งสามารถรับน้ำหนักได้ หรือปัจจุบัน อาจมีสารผสมเพิ่มอื่นๆ เช่น สารลดน้ำพิเศษ สารเร่งการก่อตัว ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตบางอย่าง การใช้วัสดุมวลรวมในคอนกรีตต้องพิจารณาถึงขนาดและการคละกันที่ดีของขนาดตามมาตรฐานของ ASTM C33 (2001) และ ASTM C136 (1998) และมีค่าโมดูลัสความละเอียดและความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ความชื้น ตามต้องการในการใช้งานออกแบบส่วนผสม และหากในอนาคตแหล่งทรัพยากรธรรมชาติของประเทศเริ่มลดน้อยลงอาจส่งผลกระทบด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ เช่น การขาดแคลนหิน และทราย เพื่อใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในโครงการก่อสร้าง ซึ่งจากข้อสมมุติฐานของข้อจำกัดในด้านขาดแคลนวัสดุเหล่านี้จึงมีความเป็นไปได้ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นจึงควรศึกษาหาวัสดุทดแทนหินและทรายสำหรับใช้ในงานคอนกรีต โดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์โดยตรง เช่น เถ้าหนัก สำหรับใช้แทนหินและทรายในการผลิตคอนกรีต

ที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าหนักเพื่อใช้ในงานคอนกรีตสำหรับต้านทานสารเคมีต่างๆ ยังมีอยู่น้อย โดยเฉพาะการใช้เป็นวัสดุมวลรวมแทนที่หินและทราย การนำเถ้าหนักมาปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพให้เหมาะสม โดยการแยกขนาดหรือบดให้มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงวัสดุมวลรวมเมื่อผลิตเป็นคอนกรีต อาจทำให้ได้วัสดุที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง มีลักษณะเหมือนคอนกรีตทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการใช้ประโยชน์โดยตรง

จากเถ้าหนักเพื่อเป็นวัสดุมวลรวมในโครงการก่อสร้างสำหรับผลิตเป็นคอนกรีตเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ลดพื้นที่สำหรับการทิ้งของเสียจากวัสดุเหลือทิ้ง ลดการใช้หินและทราย และลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตในโครงการก่อสร้าง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1) นำเถ้าหนักไปผลิตเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดและหยาบในงานคอนกรีต ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต เนื่องจากลดการใช้หินและทราย อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นยังสามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

2) เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงานขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต

3) คาดว่าจะนำผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมจดสิทธิบัตรเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ อธิบายเกี่ยวกับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic materials) เถ้าหนัก (Bottom ash) ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน การแทนที่มวลรวมด้วยวัสดุปอซโซลาน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยด้านวัสดุก่อสร้าง

2.1 ขนาดรูปร่างของเถ้าหนัก

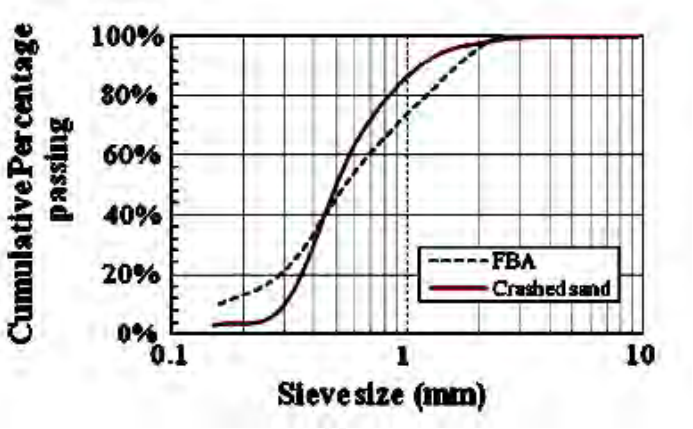
รูปที่ 1.1 และ 1.2 แสดงขนาดและรูปร่างของเถ้าหนักก่อนปรับปรุงและเถ้าหนักที่แยกเป็นขนาดหยาบ (สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555; Kim and Lee, 2011) โดยทั่วไปเถ้าหนักก่อนปรับปรุงและเถ้าหนักขนาดหยาบมีขนาดใหญ่ความพรุนสูง หากต้องการใช้งานเถ้าหนักสำหรับใช้เป็นวัสดุประสานหรือวัสดุมวลรวมละเอียดสามารถบดให้มีขนาดเล็กลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.3 และ 1.4 ส่วนในรูปที่ 1.5 แสดงการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเถ้าหนักและทราย

รูปที่ 1.1 เถ้าหนักขนาดเดิม (สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555)

รูปที่ 1.2 เถ้าหนักแยกขนาดหยาบ (Kim and Lee, 2011)

รูปที่ 1.3 เถ้าหนักบด (สำเริง รักซ้อน และคณะ, 2555)

รูปที่ 1.4 เถ้าหนักขนาดละเอียด (Kim and Lee, 2011)



รูปที่ 1.5 การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเถ้าหนักและทราย (Kim and Lee, 2011)

2.2 การใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวม

Kim และ Lee (2011) ศึกษาการใช้ประโยชน์โดยตรงจากเถ้าหนักเพื่อเป็นมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในงานคอนกรีตกำลังสูง โดยออกแบบกำลังอัดที่ 60-80 เมกะปาสกาล (MPa) ใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทรายในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลงเล็กน้อย จาก 530 มิลลิเมตร เป็น 420 มิลลิเมตร เมื่อแทนที่หินและทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก ขณะที่เถ้าหนักมวลละเอียดส่งผลกระทบต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตเล็กน้อย นอกจากนั้นผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าหนักเป็นมวลละเอียดและหยาบมีอิทธิพลมากขึ้นต่อแรงดัดมากกว่ากำลังอัด

Turhan Bilir (2012) ศึกษาผลกระทบของเถ้าหนักที่ใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดต่อการซึมผ่านของคอนกรีต ใช้ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยของ Turhan Bilir พบว่าการใช้เถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตสามารถลดค่าการซึมผ่านได้เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีและทางกลสมบัติ

Kou and Poon (2009) ได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีการใช้ทรายแม่น้ำ หินฝุ่น เถ้าหนัก เป็นมวลรวมละเอียด งานของ Kou และ Poon ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตไว้ 2 วิธี คือ ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ และใช้ค่าการยุบตัวคงที่ ศึกษากำลังอัด การหดตัวแห้ง และการแทรกซึมคลอไรด์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่คอนกรีตมีกำลังอัดและการหดตัวแห้งลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เถ้าหนักในส่วนผสม อย่างไรก็ตาม การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตด้วยการให้ค่า

การยุบตัวคงที่พบว่าเมื่อใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวมละเอียดแทนที่ทรายคอนกรีตมีค่ากำลังอัดสูงลดการหดตัวแห้งและต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ดังนั้นเถ้าหนักสามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการผลิตคอนกรีตได้

Ksel et al. (2007) ศึกษาการใช้เถ้าหนักและตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตและศึกษาความทนทานของคอนกรีต โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบกับคอนกรีตควบคุม นอกจากการศึกษาใช้เถ้าหนัก เถ้าตะกรันเหล็กแล้ว งานวิจัยของ Ksel et al. ได้ใช้ เถ้าหนักผสมรวมกับเถ้าตะกรันเหล็ก โดยแทนที่มวลรวมละเอียดในปริมาณร้อยละ 10, 20, 30, 40และ 50 โดยน้ำหนักมวลรวมละเอียดหรือทราย ผลการศึกษาพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าหนักและตะกรันเหล็กเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคอนกรีต นอกจากนั้น ผลการทดสอบยังได้พบอีกว่ามีความเป็นได้ในการใช้เถ้าหนักและตะกรันเหล็กในการผลิตคอนกรีต

งานวิจัยของ Andrade et al. (2007) ได้ศึกษาการแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตด้วยเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้า ใช้แทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักทราย ผลการทดสอบของ Andrade et al. แสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าหนักในปริมาณที่สูงให้ผลในทางไม่ดีเกี่ยวกับการส่งถ่ายความชื้นในคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 50 ให้ค่ากำลังอัดเป็นที่น่าพอใจ

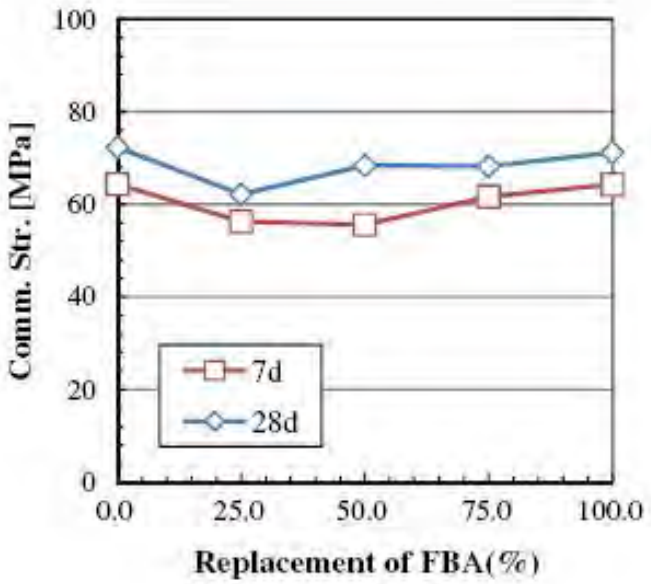
Aggarwal et al. (2007) ศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดในปริมาณร้อยละ 0-50 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบสรุปไว้ว่า ความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักเนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำ ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักเนื่องจากเถ้าหนักมีความถ่วงจำเพาะต่ำเมื่อเทียบกับมวลรวมละเอียดหรือทราย ผลการทดสอบยังพบอีกว่า เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักส่งผลให้กำลังอัด แรงดึง และแรงดัด มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในทุกอายุการทดสอบ อย่างไรก็ตาม กำลังอัด แรงดึง และแรงดัด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการทดสอบมากขึ้นในทุกปริมาณการแทนที่

งานวิจัยของ Topcu and Bilir (2010) ได้ศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดต่อการหดตัวของมอร์ต้าร์ งานวิจัยของ Ilker Bekir Topcu and Turhan Bilir ใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นของมอร์ต้าร์ลดลงด้วยการเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก เนื่องจากการเพิ่มความพรุนในโครงสร้างมอร์ต้าร์เมื่อแทนที่ในปริมาณที่สูง

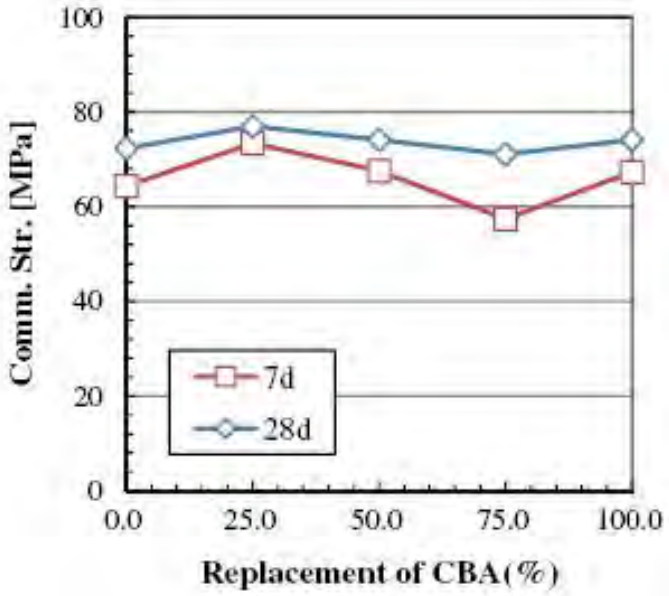
ในรูปที่ 1.6 แสดงการใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0-100 พบว่าการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 100 คอนกรีตได้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกับการใช้ทรายล้วนในคอนกรีต (ไม่มีเถ้าหนัก) การใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายปริมาณร้อยละ 25 มีแนวโน้มกำลังอัดต่ำ แต่กำลังอัดเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ทราย

ด้วยเถ้าหนักในปริมาณเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1.6) ส่วนในรูปที่ 1.7 พบว่าการแทนที่หินด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 25 คอนกรีตมีกำลังอัดสูงสุด และกำลังอัดเริ่มลดลงเมื่อแทนที่หินด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 50-75 อย่างไรก็ตาม การแทนที่หินด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 100 คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินล้วน (Kim and Lee, 2011) ส่วนในรูปที่ 1.8 แสดงการแทนที่หินและทรายด้วยเถ้าหนัก

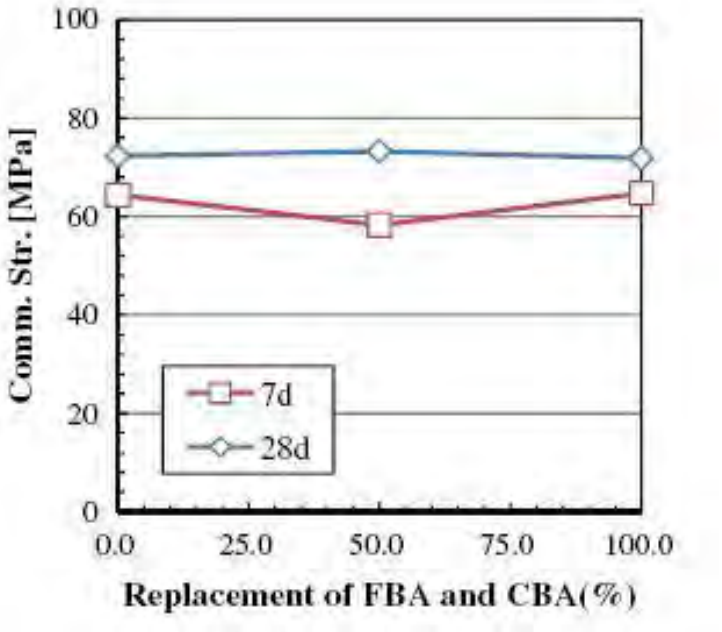
สำหรับประเทศไทย มีการศึกษาการนำเถ้าหนักไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อเป็นวัสดุประสาน ส่วนงานวิจัยเถ้าหนักสำหรับใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียด (ทราย) และมวลรวมหยาบ (หิน) ยังมีอยู่น้อยมาก โดยเฉพาะการนำเถ้าหนักไปใช้เป็นมวลรวมหยาบ ทั้งที่วัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวในอุตสาหกรรมมีอยู่มากและไม่ได้ใช้ประโยชน์โดยตรง ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้มากขึ้นในการเป็นข้อมูลพัฒนาวัสดุก่อสร้างเพื่อใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยอย่างยั่งยืนต่อไป



รูปที่ 1.6 การใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0-100 (Kim and Lee, 2011)



รูปที่ 1.7 การใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 0-100 (Kim and Lee, 2011)



รูปที่ 1.8 การใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทรายในปริมาณร้อยละ 0-100 (Kim and Lee, 2011)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมวัสดุ วิธีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์ตลอดจนวัสดุที่ใช้ในการศึกษา เช่น การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การทดสอบกำลังอัด การทดสอบการต้านทานสารเคมี

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 วิธีวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1) กำหนดแหล่งเถ้าหนักที่จะใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ใช้เถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าทางภาคเหนือของประเทศไทย

2) เก็บตัวอย่างเถ้าหนัก ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

3) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าหนักให้มีขนาดเท่ากับหินและทรายสำหรับงานก่อสร้างด้วยวิธีการแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน

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

5) ศึกษาถึงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโครงสร้างของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทราย ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน กำลังอัด แรงดึง การดัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

6) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทราย ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัดและความพรุน อิทธิพลของปริมาณวัสดุประสาน และการบ่ม

7) ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยเครื่องมือ XRD, FTIR และ SEM/EDX และวิเคราะห์ปริมาตรโพรงด้วยเครื่องมือ MIP เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างทดสอบเนื่องจากคลอไรด์

3.1.2 ส่วนผสมตัวอย่าง

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2) เถ้าหนักใช้แทนที่หินและทรายในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100

3) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่

4) ใช้สารลดน้ำพิเศษและเร่งกำลังชนิด F

5) กำลังอัดใช้อายุการทดสอบที่ 7, 28 และ 90 วัน

3.1.3 การทดสอบตัวอย่าง

1) ทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109

2) ทดสอบความพรุน ตามมาตรฐาน ASTM C642

3) การทดสอบความต้านทานต่อการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต โดยอ้างอิงปริมาณกระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอนกรีต ทดสอบความต้านทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตโดยใช้แรงดันในการทดสอบเท่ากับ 60 โวลต์ ระยะเวลาในการทดสอบ 6 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM C1202

3.2 วิธีเก็บข้อมูล

การศึกษาคอนกรีตด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมีวิธีการเก็บและรวบรวมแหล่งข้อมูลใช้ในงานวิจัย ดังนี้

1) ทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวมเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาศึกษาข้อมูลย้อนหลังจนถึงปัจจุบันขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก รวบรวมเก็บข้อมูลประวัติการกองทิ้งของเถ้าหนักเพื่อใช้เป็นข้อมูลคัดเลือกเก็บตัวอย่าง

2) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าหนัก จะมีวิธีการเก็บข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ทดสอบ ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบันทึกผลการทดสอบโดยใช้ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3) ทำการบันทึกผลการทดสอบของชุดทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามเงื่อนไขของตัวแปรที่ศึกษา โดยใช้เครื่องกดทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

4) ทำการบันทึกผลทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน ของตัวอย่างคอนกรีต ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

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

6) ทำการบันทึกผลทดสอบการต้านทานคลอไรด์ โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.3 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบด้านกายภาพ ของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวม

2) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบความทนทานของตัวอย่างคอนกรีต

3) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัด คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเมื่อมีตัวแปรที่ศึกษาแตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมและปัจจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของส่วนผสมคอนกรีต

4) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตเพื่ออธิบายสมบัติทางกลได้

<u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และรวมทั้งห้องปฏิบัติการของนักวิจัยที่ปรึกษา

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)

3.5.1. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัยที่มีอยู่

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

3.5.**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. ทราย
13. วัสดุปอซโซลาน
14. ปูนซีเมนต์
15. เหล็กเสริมคอนกรีต
16. บิ๊กเกอร์ขนาด 1000 ml
17. ขวดสีชาสำหรับ $AgNO_3$
18. ใบมีดตัดคอนกรีต

3.6 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ

C	=	มวลรวมหยาบ (หิน)
F	=	มวลรวมละเอียด (ทราย)
CT	=	คอนกรีตปกติ
25-F	=	คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

50-F = คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

75-F = คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก

100-F = คอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก

25-C = คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

50-C = คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

75-C = คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก

100-C = คอนกรีตแทนที่หินด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก

3.7 ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	มวลรวมละเอียด		มวลรวมหยาบ		สารลดน้ำพิเศษ (viscocrete sika)
		ทราย	เถ้าหนักแทนที่แทนทราย	หิน	เถ้าหนักแทนที่หิน	
CT	100	100	-	100	-	ใช้
25-F	100	75	25	100	-	ใช้
50-F	100	50	50	100	-	ใช้
75-F	100	25	75	100	-	ใช้
100-F	100	0	100	100	-	ใช้
25-C	100	100	-	75	25	ใช้
50-C	100	100	-	50	50	ใช้
75-C	100	100	-	25	75	ใช้
100-C	100	100	-	0	100	ใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

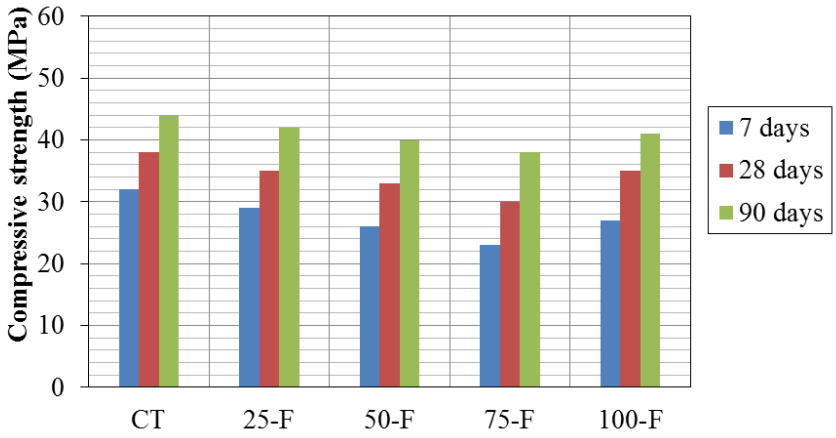
บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบและการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานและนำมาวิเคราะห์ผลในด้านของกำลังอัด การต้านทานคลอไรด์ และการกัดกร่อน

4.1 กำลังอัดของคอนกรีต

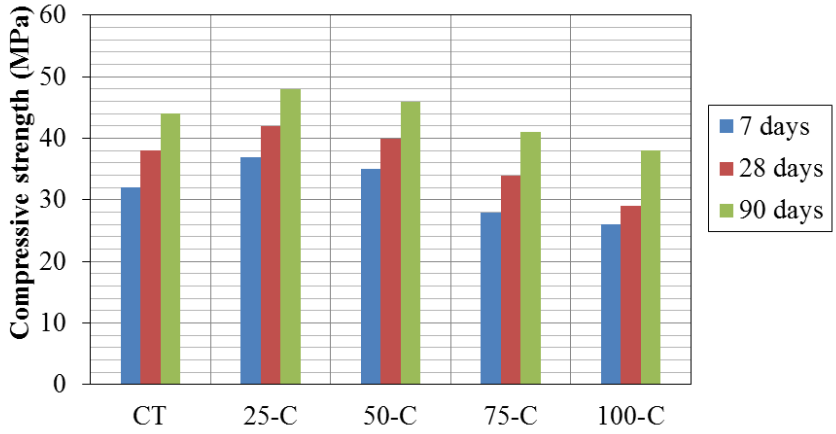
ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายและหินตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดพัฒนาขึ้นตามอายุการทดสอบ พิจารณาในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดลดลง เช่น คอนกรีตที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักทราย ซึ่งใช้หินในปริมาณปกติที่ออกแบบ (ใช้หินร้อยละ 100) กำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม (คอนกรีตใช้ทรายร้อยละ 100 หรือ CT) อย่างไรก็ตาม เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณสูงถึงร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก (ใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายทั้งหมด) มีแนวโน้มกำลังอัดสูงขึ้น ผลการทดสอบครั้งนี้คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (Kim and Lee, 2011)

ในรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักหิน และใช้ทรายในปริมาณปกติ (ร้อยะ 100) ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามอายุการทดสอบ การใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนักส่งผลให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมปกติ (CT) และกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า การใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัดสูงที่สุด ตามด้วย การแทนที่ในปริมาณร้อยละ 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผลการทดสอบครั้งนี้คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (Kim and Lee, 2011)

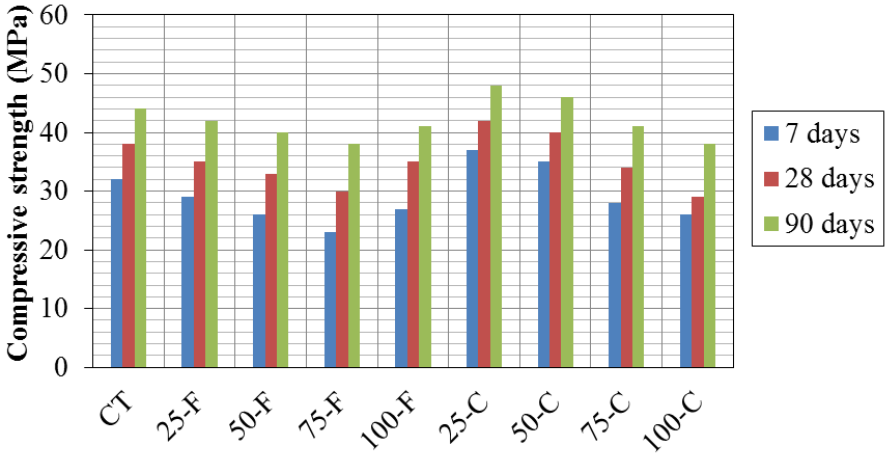
ส่วนในรูปที่ 4.3 พบว่าคอนกรีตที่แทนที่หินด้วยเถ้าหนักมีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย กล่าวคือ การใช้เถ้าหนักแทนที่หิน โดยใช้ทรายปริมาณปกติ คอนกรีตมีค่ากำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายซึ่งใช้ในปริมาณหินปกติ งานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับงานงานวิจัยอื่น (Kim and Lee, 2011) การแทนที่เถ้าหนักในทรายในปริมาณที่มากขึ้นแนวโน้มกำลังอัดลดลง แต่กำลังอัดเริ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มการแทนที่ถึงปริมาณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก ขณะที่การแทนที่เถ้าหนักในหินในปริมาณที่มากขึ้นแนวโน้มกำลังอัดสูงขึ้น แต่กำลังอัดเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มการแทนที่ถึงปริมาณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย



รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่หิน



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมด้วยเถ้าหนัก

4.2 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต

ในรูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต ซึ่งใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก การใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปราณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มลดการซึมผ่านคลอไรด์ เมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น

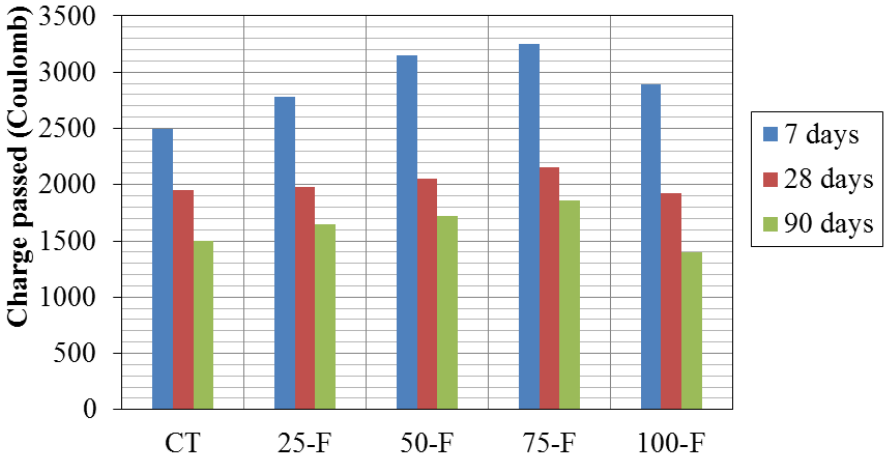
ในรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต ซึ่งแทนที่หินด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ดดยน้ำหนัก ผลการทดสอบชี้ให้เห็ว่า การใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ลดการซึมผ่านคลอไรด์เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ (CT)

ในรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีต ที่แทนที่มวลรวมด้วยเถ้าหนัก ซึ่งผลการทดสอบพบว่าการที่หินด้วยเถ้าหนักสามารถลดการซึมผ่านคลอไรด์ได้ดี เมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น ผลการทดสอบการต้านทานคลอไรด์สอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังอัด กล่าวคือ เมื่อใช้เถ้าหนักแทนที่หินส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงกว่าคอนกรีตส่วนผสมอื่นๆ เช่นกัน หากพิจารณาการนำไปใช้งานจริงเทียบกับตารางที่ 4.1 ตามมาตรฐานของ ASTM C1202 (2005) ถือว่าการซึมผ่านคลอไรด์อยู่ในช่วงที่ปานกลางถึงต่ำ โดยที่อายุการทดสอบที่ 28 วัน พบว่าการแทนที่หินด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก มีค่าการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 1500 และ 1350 คูลอมบ์ การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มค่าการซึมผ่านคลอไรด์แต่ลดลงเมื่อแทนที่ในปริมาณถึงร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก ส่วนการใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดค่าการซึมผ่านแต่ค่าการซึมผ่านจะเริ่มสูงขึ้นเมื่อแทนที่ในปริมาณร้อยละ 75 และ 100 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้น ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการต้านทานคลอไรด์สูงดีขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการทดสอบให้มากขึ้น

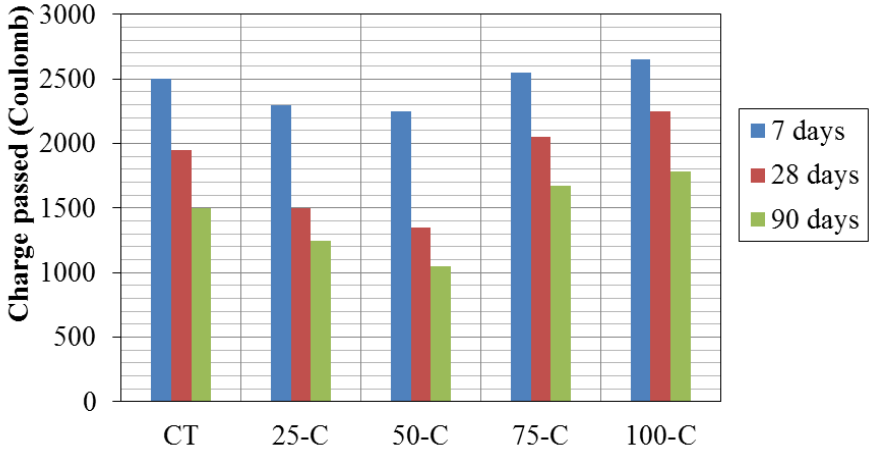
ตารางที่ 4.1 การซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตในพื้นฐานการคำนวณคูลอมบ์

มาตรฐาน ASTM C1202 (2005)

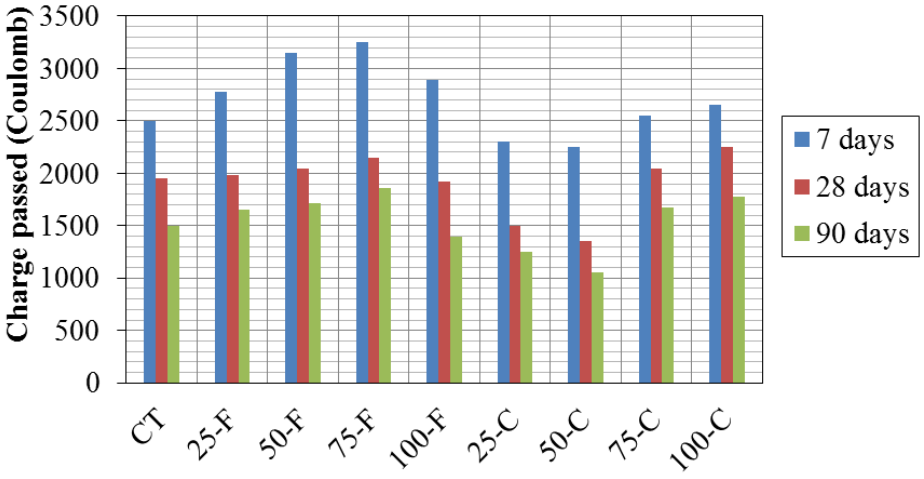
Charge passed (Coulombs)	Chloride ion permeability
> 4000	High
2000–4000	Moderate
1000–2000	Low
100–1000	Very low
<100	Negligible



รูปที่ 4.4 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย



รูปที่ 4.5 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่หิน



รูปที่ 4.6 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวม

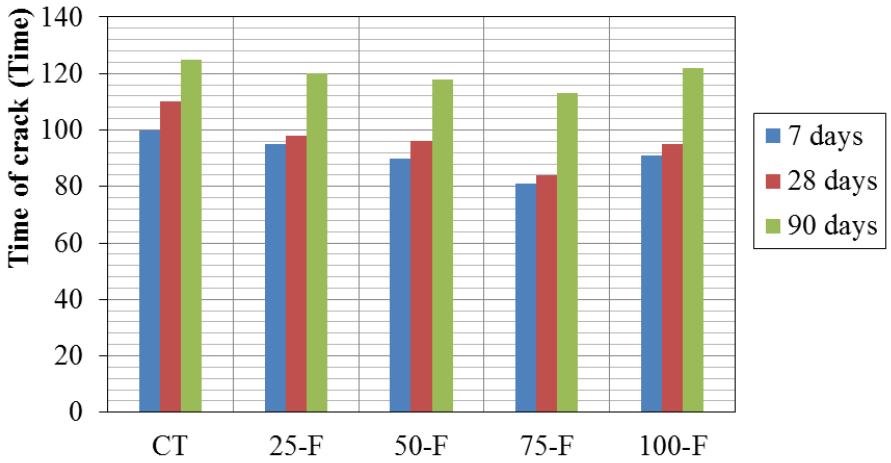
4.3 การกัดกร่อนของคอนกรีต

ผลการทดสอบการกัดกร่อนแบบเร่งแสดงไว้ ในรูปที่ 4.7-4.9 พบว่า Time of first crack ของคอนกรีตมีแนวโน้มผลการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบการต้านทานคลอไรด์ ต่างกันเพียงหน่วยของการวัดเท่านั้น

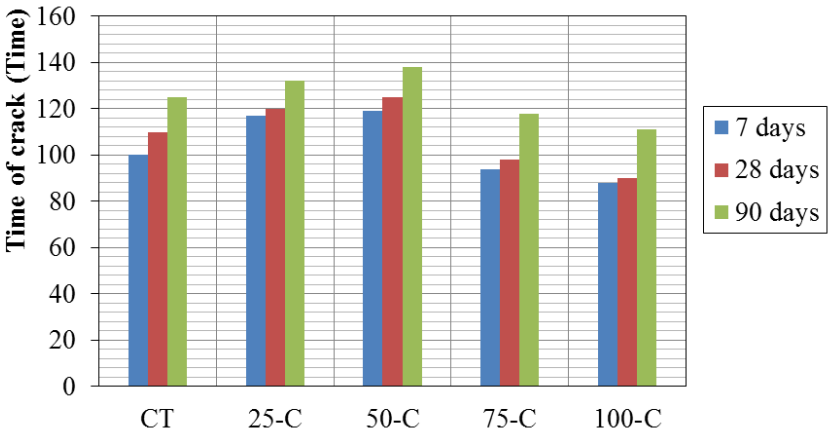
ในรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ส่งผลให้การต้านทานการกัดกร่อนลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ถึงร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก คอนกรีต เริ่มมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น และการเพิ่มอายุการทดสอบส่งผลให้เพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนได้ดีขึ้น

ในรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่า การแทนที่ในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น แต่เมื่อแทนที่เถ้าหนักในหินถึงปริมาณร้อยละ 75 และ 100 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มลดการต้านทานการกัดกร่อนลง

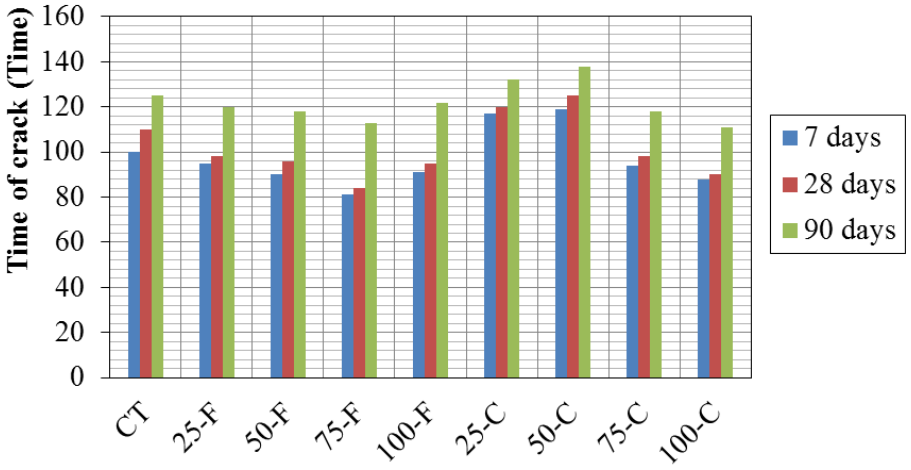
ในรูปที่ 4.9 พบว่า การใช้เถ้าหนักแทนที่หิน คอนกรีตสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เมื่อใช้ทรายในปริมาณปกติ และการทดสอบครั้งนี้คอนกรีตมีแนวโน้มต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ



รูปที่ 4.7 การกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย



รูปที่ 4.8 การกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักแทนที่หิน



รูปที่ 4.9 การกัดกร่อนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และแนวทางต่อการวิจัยอย่างต่อเนื่องในการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมสำหรับใช้ในงานคอนกรีต เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาด้านวิศวกรรมวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) การใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 25, 50 และ 75 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังอัดลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ แต่กำลังอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก อีกทั้งกำลังอัดมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามอายุการทดสอบ

2) การใช้เถ้าหนักแทนที่หินในปริมาณร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ แต่กำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่หินด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 75 และ 100 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม กำลังอัดมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามอายุการทดสอบ

3) การใช้เถ้าหนักแทนที่หินมีแนวโน้มการรับกำลังอัดที่ดี และต้านทานคลอไรด์และการกัดกร่อนได้ดีเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าหนักแทนที่ทราย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไป อาจเพิ่มตัวแปร หรือปัจจัยต่างๆ เนื่องจากการศึกษาออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตด้วยการนี้ใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายในขณะที่ใช้หินในปริมาณปกติ และใช้เถ้าหนักแทนที่หินในขณะที่ใช้ทรายในปริมาณปกติ โดยในครั้งต่อไปอาจเพิ่มการแทนที่ทรายและหินด้วยเถ้าหนักในปริมาณที่แตกต่างกัน นอกจากนั้น อาจศึกษาอิทธิพลของความละเอียดของทรายและหินที่แตกต่างกัน หรืออาจใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์น้ำมัน และเถ้าชานอ้อย โดยใช้วัสดุปอศโศลานดังกล่าวนี้แทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปพร้อมๆ กับการใช้เถ้าหนักแทนที่หินและทรายสำหรับออกแบบส่วนผสมเพื่อผลิตคอนกรีต และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติด้านวิศวกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตรพิทักษ์กุล (2553). “ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 6: 381 หน้า.

สำเริง รักซ้อน และ ปริญญา จินดาประเสริฐ (2555). “ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี,” แองเกิ้ลออฟไซ, พิมพ์ครั้งที่ 4: 223 หน้า.

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.

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

Aggarwal, P., Aggarwal, Y and Gupta, S.M (2007). “EFFECT OF BOTTOM ASH AS REPLACEMENT OF FINE AGGREGATES IN CONCRETE.” ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING), 8, 49-62

Andrade, L.B., Rocha, J.C and Cheriaf, M (2007). “Evaluation of concrete incorporating bottom ash as a natural aggregates replacement.” Waste Management, 27, 1190-1199

Bilir,T (2012). “Effects of non-ground slag and bottom ash as fine aggregate on concrete permeability properties.” Construction and Building Materials, 26, 730-734.

ksel, I. Y., Bilir, T and Mer Ozkan, O and (2007). “Durability of concrete incorporating non-ground blast furnace slag and bottom ash as fine aggregate.” Building and Environment, 42, 2651-2659.

Kim H.K and Lee H.K (2011). “Use of power plant bottom ash as fine and coarse aggregates in high-strength concrete.” Construction and Building Materials, 25, 1115-1122

Kou, S.C and Poon, C.S (2009). “Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates.” Construction and Building Materials, 23, 2877-2886

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Sathonsaowapak, A., Chindaprasirt, P and Pimraksa K (2009). “Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer.” Journal of Hazadous Materials, 168, 44-50.

Topcu, I and Bilir, Turhan (2010). “Effect of Bottom Ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars.” Materials Journal, 107, 48-56

ภาคผนวก

ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัย

หัวหน้าโครงการ:

1. **ชื่อ** ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน (Asst. Prof. Dr. Sumrerng Rukzon)
2. **รหัสประจำตัว** 3 1805 00327 90 8
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. **หน่วยงานที่ติดต่อ** สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลพระนคร 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 (วข. เทเวศร์) ประเทศไทย	2537-3539
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
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 สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา 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
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อาวุโส	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., 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, Has been accepted

7.2.1.22 Rukzon, S., Chindaprasirt, 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., 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 และหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมโยธา 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. 2557 ขณะนี้ดำเนินการแล้วเสร็จ

ที่ปรึกษาโครงการ

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