

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้เป็นบทนำ ได้กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ทฤษฎี สมมติฐาน กรอบแนวความคิดของการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

โครงสร้างอาคารในวิศวกรรมโครงสร้างหรือด้านวิศวกรรมโยธามีหลายแบบ เช่น อาคารพักอาศัย อาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า ลานจอดรถ สะพาน ถนน แต่ละชนิดสร้างจากวัสดุ ก่อสร้างที่แตกต่างกันขึ้นกับความเหมาะสม วัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคารดังกล่าวที่รู้จักโดยทั่วไป คือ ไม้ เหล็ก และ คอนกรีต เป็นต้น หากพิจารณางานถนนหรืองานทางที่ใช้คอนกรีต พบว่ามีอยู่ทั่วไปของประเทศ

ประเทศไทยมีแม่น้ำ คู คลอง มากมาย เนื่องจากต้องใช้น้ำในด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ดังนั้น เมื่อเกิดเหตุอุทกภัย น้ำจากธรรมชาติหรือจากน้ำฝนอาจไหลหลากกระทบโครงสร้างอาคารต่างๆ เช่น อาคาร สะพาน ถนน หรืออาจเกิดน้ำท่วมขังในบริเวณที่กว้างได้ หากพัฒนาด้านโครงสร้างคอนกรีตให้น้ำสามารถไหล ผ่านไปได้ง่าย ระบายน้ำได้ง่าย เก็บเสียงได้ดี ลดความร้อนได้ดี และคอนกรีตมีความแข็งแรงเหมือนเดิมจะลด บริเวณน้ำท่วมขังได้เป็นอย่างดี กล่าวคือควรมีการศึกษาออกแบบให้คอนกรีตสามารถซึมผ่านได้และมีความ แข็งแรงหรืออาจเรียกว่า คอนกรีตพรุน

คอนกรีตพรุน (porous concrete) หมายถึงคอนกรีตที่มีความพรุนสูงและไม่มีวัสดุมวลรวม ละเอียดหรือทรายผสมอยู่ ขณะที่คอนกรีตทั่วไปมีทรายเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดผสมอยู่ คอนกรีตพรุนได้ถูก พัฒนามาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในต่างประเทศ ต่อมาได้รับความสนใจมากในประเทศญี่ปุ่น โดยในเนื้อของ คอนกรีตพรุนจะมีทั้งโพรงที่ไม่ต่อเนื่องและมีความต่อเนื่องกัน (Chindaprasirt et al 2008) โดยสามารถ ประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น งานปูผิวถนน พื้นจอดรถ พื้นทางเดิน กำแพงคอนกรีต เขื่อน และงานตกแต่ง ต่างๆ (Lian et al 2011; Chindaprasirt et al 2008) ดังนั้น จึงพบว่าคอนกรีตพรุนมีประโยชน์มาก และยังมี ลักษณะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย คอนกรีตพรุนประกอบด้วยซีเมนต์เพสต์และมวลรวมหยาบหรือทราย อย่างไรก็ตาม คอนกรีตพรุนมีความสามารถในการทำงานได้ต่ำมาก กล่าวคือ ไหลเข้าแบบได้ยาก ดังนั้นจึงต้อง อาศัยพลังงานในการบดอัดช่วยสำหรับการเทให้ไหลเข้าแบบ คอนกรีตพรุนสามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น การนำไปใช้ในงานระบายน้ำที่ผิวถนนไม่ให้น้ำขัง งานดาดผิวของแม่น้ำ งานกำแพงกันดิน งานลดแรงดันอัน

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

ในประเทศไทย การศึกษาคอนกรีตพูนยังมีน้อยมาก โดยเฉพาะการนำวัสดุประสานประเภทปอชโซลานมาใช้ประโยชน์ ซึ่งมีวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่เป็นวัสดุปอชโซลานบางชนิดที่ควรนำมาพัฒนาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตพูน เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าแกลบเปลือกไม้ เถ้าขานอ้อย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตพูน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านวัสดุตลาดสำหรับทดแทนปูนซีเมนต์ ซึ่งจะเป็นโอกาสที่จะนำความรู้ที่ได้จากการวิจัย ไปใช้สำหรับพัฒนาหรือผลิตคอนกรีตพูน เพื่อใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างจริงได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเถ้าถ่านหินที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมสำหรับใช้ในงานคอนกรีตพูน ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมีของคอนกรีตพูนผสมเถ้าถ่านหิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตพูน โดยมีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

- 1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สำหรับใช้ควบคุมคอนกรีต
- 2) เถ้าถ่านหิน งานวิจัยนี้ ใช้เถ้าถ่านหิน จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ บริษัท โบรอล คอนกรีตประเทศไทย นำเถ้าถ่านหินแยกขนาดละเอียดด้วยเครื่องแยกขนาดแรงลมให้มีความละเอียดค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก เพื่อให้มีความละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 (ASTM C618 2005) สำหรับเป็นวัสดุปอชโซลาน

- 3) ใช้หิน เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตพูน โดยใช้ขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน 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 ($W/C = \text{Constant}$) และใช้สารลดน้ำพิเศษซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Superplasticizer, SP) ประเภท FF เพื่อควบคุมความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด (Slump test) กำหนดให้มีอัตราส่วนโพรงเท่ากับร้อยละ 10, 20, 25 และ 30
- 8) ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยของสารเคมีและกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมีของคอนกรีตพูนผสมเถ้าถ่านหิน
- 9) ทำการศึกษา ออกแบบ อัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เถ้าถ่านหินผงงานคอนกรีตพูน
- 10) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางกลของคอนกรีตพูนที่มีเถ้าถ่านหินเป็นส่วนผสม เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความพรุน ทดสอบกำลังรับแรงอัด และความทนทานอื่นๆ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการใช้คอนกรีตพูนจากเถ้าถ่านหินในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

การศึกษาด้านคอนกรีตพูน มีความจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยที่สำคัญ ประกอบด้วยสัดส่วนของโพรง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน รูปร่างขนาดของวัสดุประสาน สัดส่วนของมวลรวมหยาบ ขนาดของมวลรวมหยาบ และกำลังอัด (Chindaprasirt et al 2008) ในการออกแบบส่วนผสมต้องพิจารณาถึงความสามารถในการทำงาน พลังงานในการบดอัดช่วยสำหรับการเข้าแบบ กำลังอัด ความทนทานของคอนกรีต และคุณภาพที่ดี ในการที่จะผลิตคอนกรีตพูนให้มีคุณภาพดีและมีกำลังอัดตามต้องการนั้น ต้องทำการควบคุมค่าการไหลของซีเมนต์เพสต์และปริมาณโพรงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน (Chindaprasirt et al 2008) อาจกล่าวได้ว่า หากต้องการคอนกรีตพูนที่มีคุณภาพดีแล้วต้องควบคุมคอนกรีตทั้งในด้านที่เป็นคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

เนื่องจากพบว่าการผลิตคอนกรีตพูนต้องการความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตในการเทเข้าแบบได้ง่าย หากพิจารณาเถาถ่านหินที่รูปร่างเป็นเม็ดกลมตัน เมื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ อาจส่งผลให้คอนกรีตมีการลื่นไหลที่ดี และมีความสามารถในการทำงานได้ดี ลดพลังงานในการเทคอนกรีตเข้าแบบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเถาถ่านหินสำหรับแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อศึกษาการผลิตคอนกรีตพูน โดยพิจารณาถึงการออกแบบใช้เถาถ่านหินในอัตราส่วนหรือสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) นำเถาถ่านหินไปผลิตเป็นคอนกรีตพูนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตเนื่องจากลดปริมาณปูนซีเมนต์ และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมพื้นที่ใกล้เคียง สามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในระดับชาติและนานาชาติ
- 2) เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงานขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่นาคต
- 3) คาดว่าจะนำผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยจดสิทธิบัตรเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่สำหรับงานคอนกรีตพูน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 คอนกรีตพูน

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตพูนมีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 14-40 MPa (Park and Kim 2004; Park et al 2004; Ngohpok et al) การศึกษาคอนกรีตพูนมีไว้ไม่มาก เช่น งานของ Chindaprasirt et al (2008) ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตพูนด้วยการใช้เก้าอี้กันหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยแยกการทดสอบเป็นสองส่วน คือ ในส่วนของซีเมนต์เพสต์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.20-0.36 และค่าการไหลแผ่เท่ากับ 150-230 มิลลิเมตร และในส่วนของคอนกรีตพูนออกแบบอัตราส่วนโพรงไว้ร้อยละ 15, 20 และ 25 ผลการทดสอบพบว่า คุณภาพของคอนกรีตพูนขึ้นกับอัตราส่วนของโพรง ปริมาณเพสต์ ค่าการไหล และการบดอัดสำหรับการเทเข้าแบบคอนกรีตพูนมีคุณภาพดีเมื่อใช้อัตราส่วนของโพรงร้อยละ 15-25 ได้ค่ากำลังอัด 22-39 MPa ด้วยการใช้ค่าของการไหลเพสต์เท่ากับ 150-230 มิลลิเมตร สันด้วยเครื่องสั่นคอนกรีตเป็นเวลา 10 วินาที ด้วยพลังงานที่ 90 kN m/m^2 การทดสอบยังพบอีกว่า ที่อัตราส่วนโพรงต่ำคอนกรีตพูนมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 39 MPa ด้วยค่าการไหลที่น้อย และที่อัตราส่วนโพรงที่สูง คอนกรีตพูนมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 22 MPa ด้วยค่าการไหลที่สูง รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการสั่นและพลังงานที่ใช้ของคอนกรีตพูน (Chindaprasirt et al 2008)

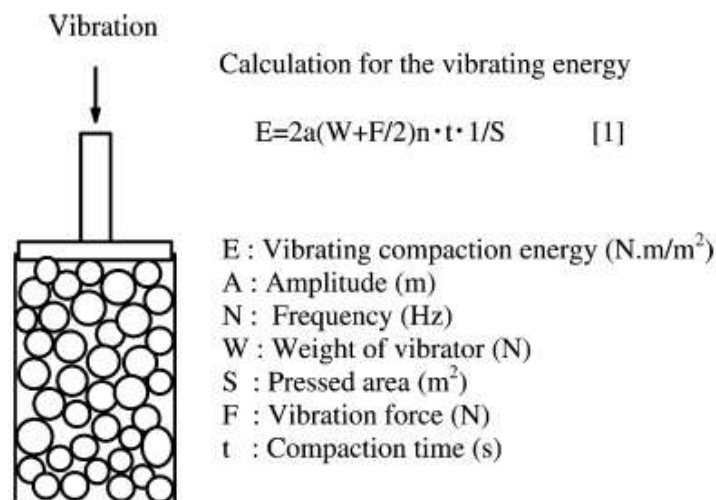
2.2 งานวิจัยด้านคอนกรีตพูน

งานวิจัยของ Park and Tir (2004) ศึกษาคอนกรีตพูนโดยใช้มวลรวมหยาบสองขนาด คือ ขนาด 5-10 มิลลิเมตร และ ขนาด 10-20 มิลลิเมตร ใช้อัตราส่วนซีเมนต์เพสต์ต่อวัสดุมวลรวมเท่ากับร้อยละ 30 40 และ 50 ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตพูนมีค่าสูงเมื่อใช้วัสดุมวลรวมขนาดเล็กกว่าและใช้อัตราส่วนซีเมนต์เพสต์ต่อวัสดุมวลรวมที่มากกว่า ในรูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการผสมคอนกรีตพูน

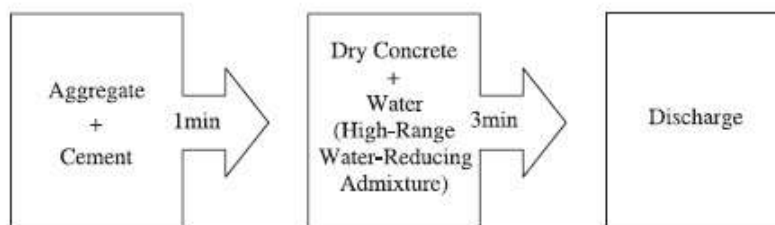
Aamer Rafique Bhutta et al (2012) พบว่าขนาดของวัสดุมวลส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของโพรงในคอนกรีตพูน กล่าวคือ เมื่อใช้ขนาดของมวลรวมที่เล็กส่งผลให้อัตราส่วนของโพรงในคอนกรีตพูนลดลง ดังในรูปที่ 1.3 ขณะที่เมื่อใช้ขนาดของมวลรวมที่เล็กส่งผลให้กำลังอัดและกำลังดัดสูงขึ้น ดังในรูปที่ 1.4 ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีอัตราส่วนโพรงต่ำส่งผลให้กำลังอัดสูงและลดการซึมผ่าน ดังรูปที่ 1.5

นอกจากนั้นงานวิจัยของ Amer Rafique Bhutta et al (2012) ยังพบว่าการกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตพูนมีค่าสูงขึ้นตามอายุการบ่ม ดังในรูปที่ 1.6

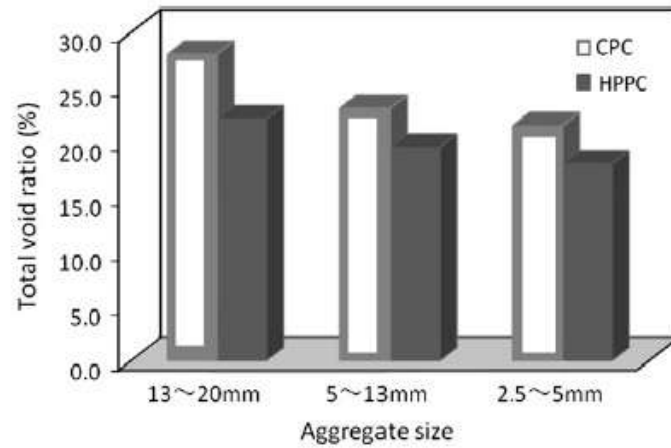
เห็นได้ว่า การศึกษาด้านคอนกรีตพูนในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยมาก โดยเฉพาะการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ทางอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศและไม่ได้ประโยชน์ เช่น แก้วกลบ-เปลือกไม้ แก้วชานอ้อย แก้วกลบ แก้วถ่านหิน และแก้วปาล์มน้ำมัน หากปล่อยทิ้งไว้จะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนยากแก่การกำจัดทิ้งและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ที่ผ่านมามีการนำแก้วถ่านหินมาใช้ในการงานคอนกรีตบ้าง แต่ก็ยังเป็นเพียงใช้กับคอนกรีตทั่วไป หากนำแก้วถ่านหินมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยนำมาผลิตคอนกรีตพูนสำหรับใช้งานจริงจะสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ด้านวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยต่อไป



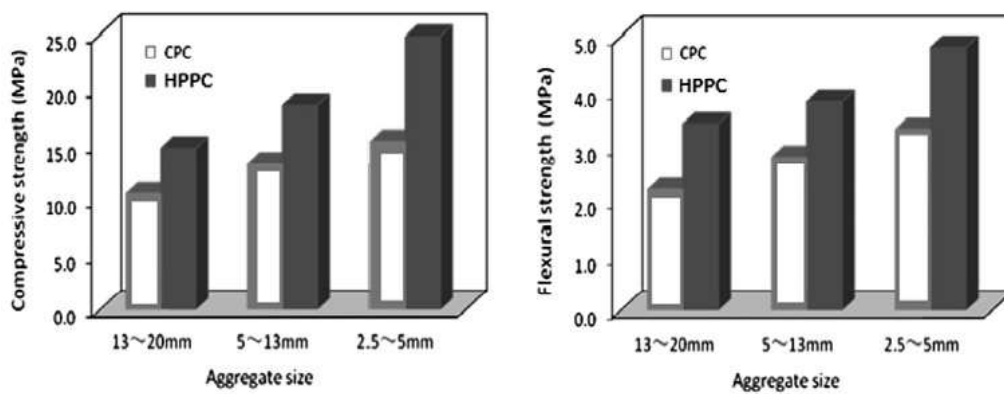
รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการสั่นและพลังงานที่ใช้ของคอนกรีตพูน (Chindaprasirt et al 2008)



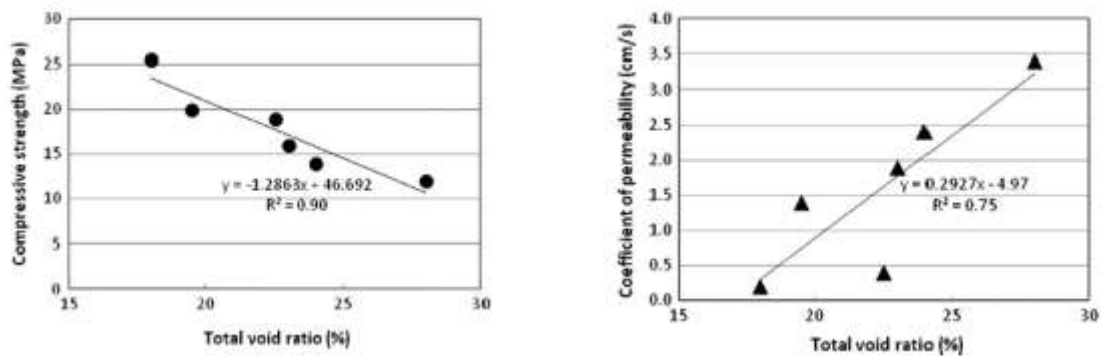
รูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการผสมคอนกรีตพูน (Park and Tir 2004)



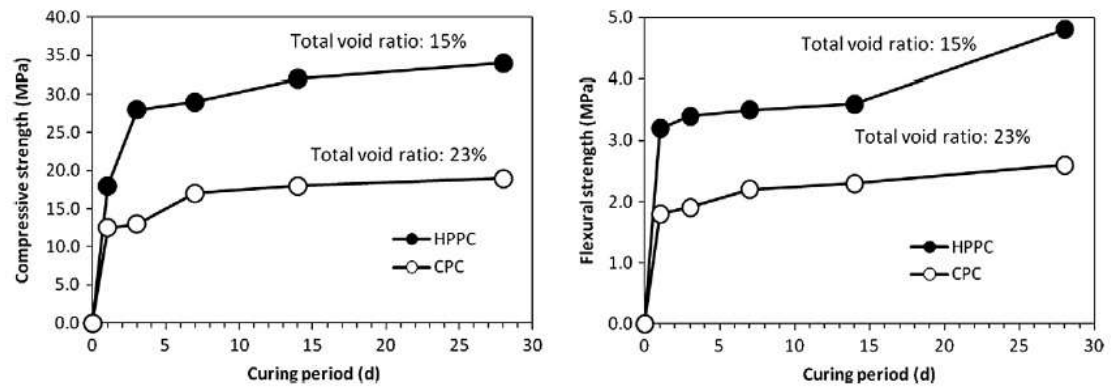
รูปที่ 1.3 ผลกระทบของมวลรวมต่อโพรงคอนกรีตพูน (Amer Rafique Bhutta et al 2012)



รูปที่ 1.4 ผลกระทบของมวลรวมต่อกำลังอัดและกำลังดัด (Amer Rafique Bhutta et al 2012)



รูปที่ 1.5 ผลกระทบของโพรงกำลังอัดและการซึมผ่าน (Amer Rafique Bhutta et al 2012)



รูปที่ 1.6 ผลกระทบของการบ่มต่อกำลังอัดและกำลังดัด (Aamer Rafique Bhutta et al 2012)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมวัสดุ วิธีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์ตลอดจนวัสดุปอซโซลาน การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การทดสอบหาค่าความพรุน หรือ ปริมาณโพรง การทดสอบกำลังอัด การทดสอบการต้านทานสารเคมี

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 วิธีวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดแหล่งเถ้าถ่านหินที่จะใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าทางภาคเหนือของประเทศไทย
- 2) เก็บตัวอย่างเถ้าถ่านหิน ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์
- 3) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าถ่านหินให้มีขนาดละเอียดมาก โดยนำเถ้าถ่านหินแยกขนาด ให้มีปริมาณสัดส่วนร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 โดยน้ำหนัก เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM เกี่ยวกับวัสดุปอซโซลาน
- 4) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าถ่านหินที่คัดเลือกมา ประกอบด้วย ตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง x-ray fluorescence, ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ, ทดสอบหาปริมาณของอนุภาคที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐาน, ถ่ายภาพขยายกำลังสูง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope, ทดสอบการกระจายตัวและขนาดอนุภาคเฉลี่ย ด้วยเครื่อง Mastersizer และวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ด้วยเครื่อง x-ray diffraction ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
- 5) ศึกษาถึงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโครงสร้างของคอนกรีตพูนผสมเถ้าถ่านหิน เช่น อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน กำลังอัด แรงดึง การดัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น เป็นต้น
- 6) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการต้านทานสารเคมีในสภาวะแวดล้อมต่างของคอนกรีตพูนที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัด และความพรุน 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) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถาเถาหินที่คัดเลือกไว้ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ทดสอบ ณ สถาบันที่เกี่ยวข้อง และบันทึกผลการทดสอบโดยใช้ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3) ทำการบันทึกผลการทดสอบของชุดทดสอบกำลังอัดคอนกรีตพูน ตามเงื่อนไขของตัวแปรที่ศึกษา โดยใช้เครื่องทดสอบ 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 ของตัวอย่างคอนกรีตพูนและซีเมนต์เพสต์เถาเถาหิน

2) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบความทนทานของตัวอย่างคอนกรีตพูน

3) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัด คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเมื่อมีตัวแปรที่ศึกษาแตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของส่วนผสมคอนกรีตพูน

4) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตพูนเพื่ออธิบายสมบัติทางกลได้

สถานที่ทำการทดลอง

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-AgNO₃- Superplasticizer-NaOH- BufferpH- NaCl- ฟีนอล์ฟทาลีน
4. แผ่นทองเหลืองขนาดหนา 0.5 มิลลิเมตร
5. หม้อผสมเพสต์
6. ใบพายผสมเพสต์
7. ถูมือกันสารเคมี
8. แวนตากับสารเคมี
9. Epoxy
10. ซิลิโคน
11. น้ำกลั่น
12. สารผสมเพิ่ม
13. หิน มวลรวมหยาบ
14. วัสดุพอลิโพรไพลีน
15. ปูนซีเมนต์
16. เหล็กเสริมคอนกรีต
17. บีกเกอร์ขนาดครึ่งลิตรสำหรับสารเคมี
18. ขวดสีชาสำหรับ AgNO₃ 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

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบของคอนกรีตพูนซีเมนต์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินและนำมาวิเคราะห์ผล ใช้ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาในครั้งต่อไป

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (CT) และเถ้าถ่านหินแยกขนาดละเอียด (FA) ผลทดสอบพบว่าเถ้าถ่านหิน FA มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.44 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 5700 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม มีอนุภาคค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 0-3 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Rukzon and Chindaprasirt 2011; Rukzon and Chindaprasirt 2009; Rukzon and Chindaprasirt 2008) การแยกขนาดเถ้าถ่านหิน ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะ 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 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ร้อยละ 75 มีปริมาณ SO_3 ร้อยละ 2.2 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.5 ดังนั้น เถ้าถ่านหินในงานนี้จึงจัดเป็นชนิด Class F ซึ่งเป็นไป

ตามมาตรฐานของ ASTM C618 (2005) ดังนั้นเถ้าถ่านหินในงานวิจัยจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุประสานหรือวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ ได้

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของ CT และ FA

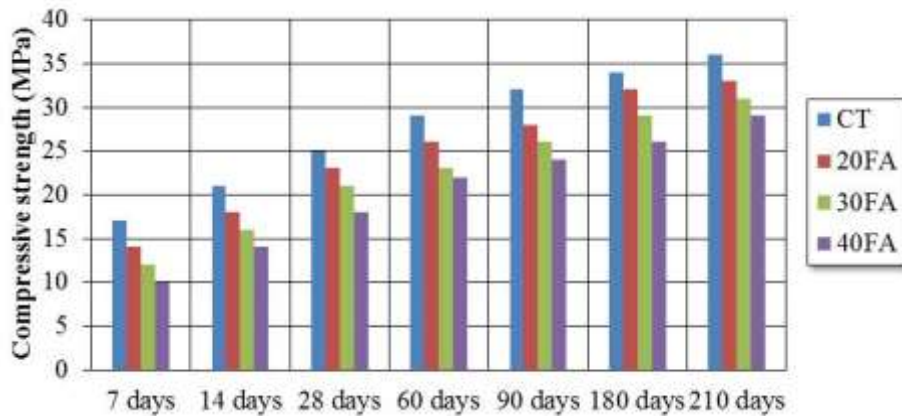
Oxides (%)	CT	FA
CaO	65	12
SiO ₂	25.1	45
Al ₂ O ₃	5.5	17
Fe ₂ O ₃	5.9	13
MgO	3.4	6.5
K ₂ O	0.5	1.8
SO ₃	4.7	2.2
LOI	0.9	2.5
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	—	75

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ CT คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ FA คือ เถ้าถ่านหินแยกขนาด

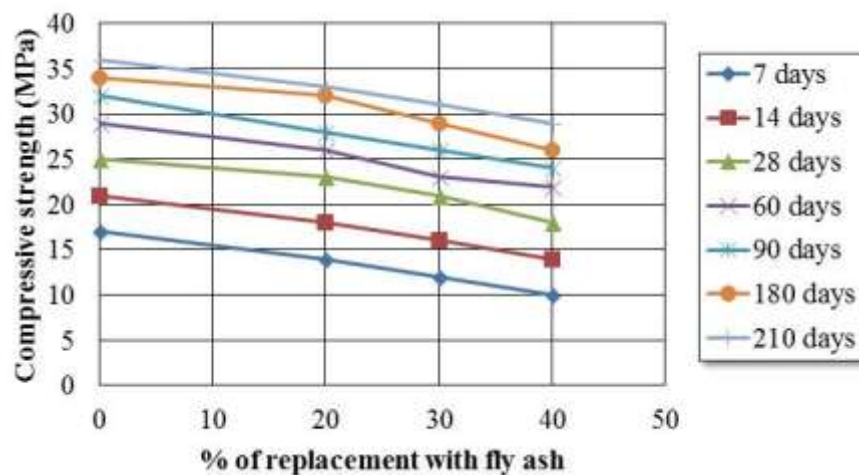
4.3 กำลังอัดของคอนกรีตพูน

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

ในรูปที่ 4.2 พบว่า การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้คอนกรีตพูนมีค่ากำลังอัดลดลง เช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 23, 21 และ 18 MPa ขณะที่คอนกรีตพูน 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 ซึ่งสามารถใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตทั่วไปที่ต้องการกำลังอัดในช่วงดังกล่าวได้ (Park and Tir 2004; Park et al 2004)



รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตพูนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน

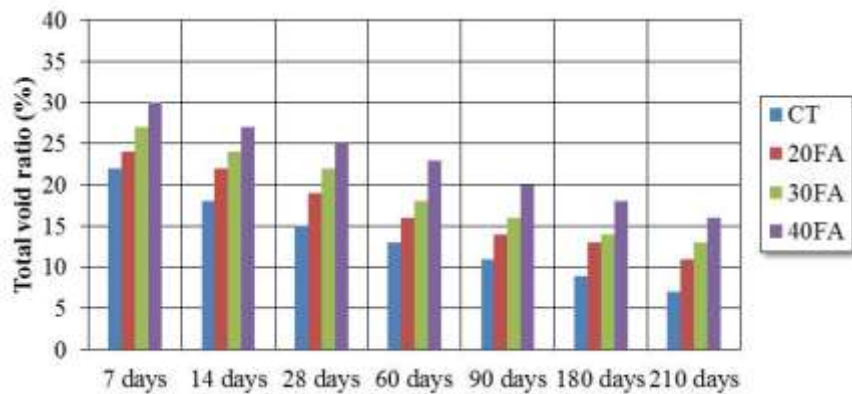


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน

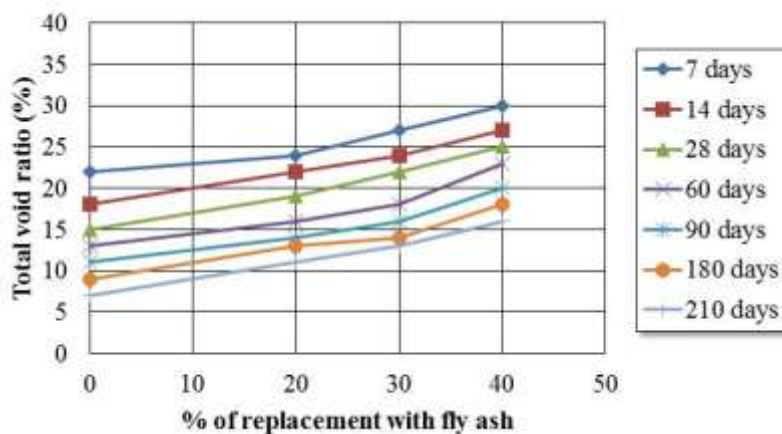
4.4 ปริมาณโพรงของคอนกรีตพูน

ผลการทดสอบปริมาณโพรงของคอนกรีตพูนแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่า ปริมาณโพรงลดลงตามอายุการทดสอบ (Amer Rafique Bhutta et al 2012) เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่าง เช่น ที่คอนกรีต 20FA มีค่าปริมาณโพรงเกิดขึ้นเท่ากับร้อยละ 24, 22, 19, 16, 14, 13 และ 11 ที่อายุ 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 210 วัน ตามลำดับ การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้ปริมาณโพรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับคอนกรีตพูนปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานจากเถ้าถ่านหินเกิดขึ้นยังไม่สมบูรณ์ การปรับปรุงขนาดหรือปริมาณโพรงจึงอาจเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ

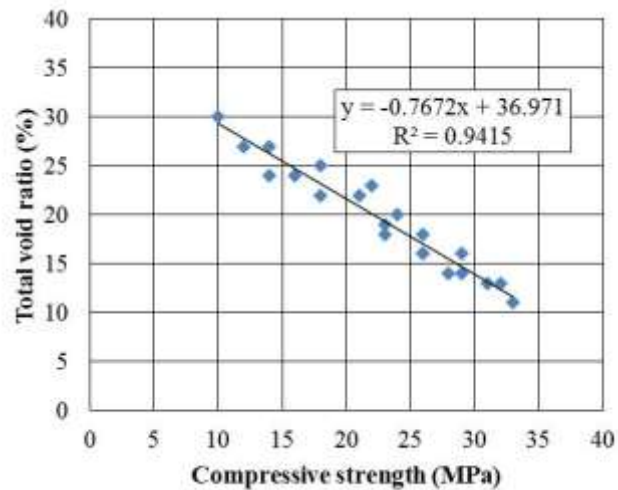
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ผลการทดสอบพบว่า การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณโพรงมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกอายุการทดสอบ เช่น ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต 20FA, 30FA และ 40FA มีค่าปริมาณโพรงเท่ากับร้อยละ 19, 22 และ 25 ขณะที่คอนกรีตพูน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



รูปที่ 4.3 ปริมาณโพรงของคอนกรีตพูนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



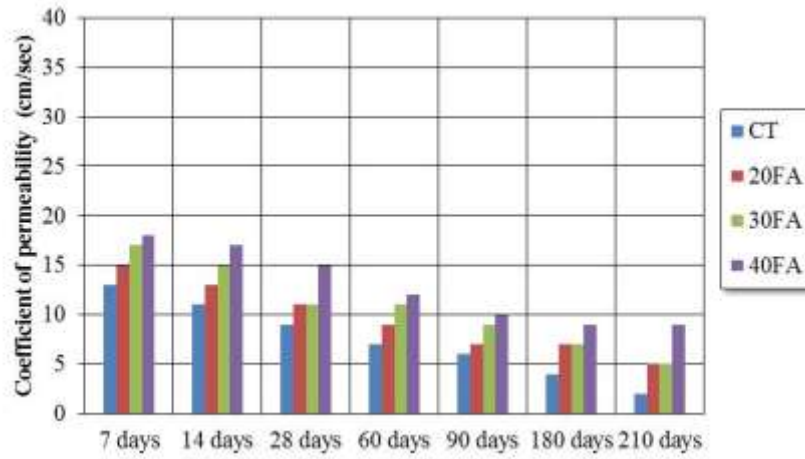
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



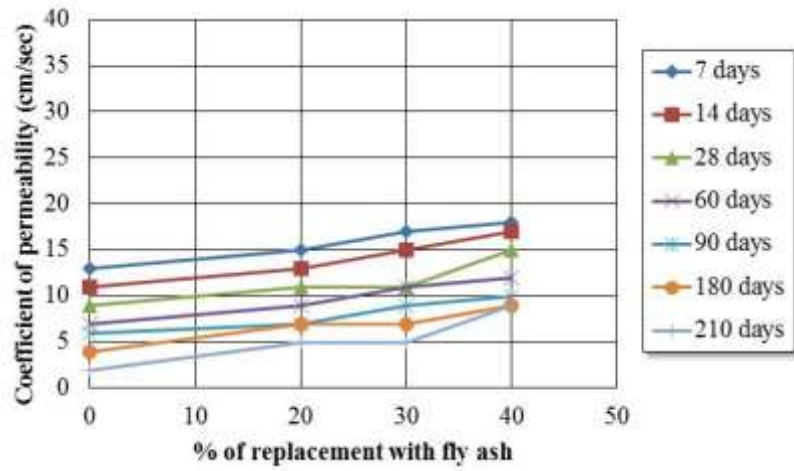
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงกับกำลังอัด

4.5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

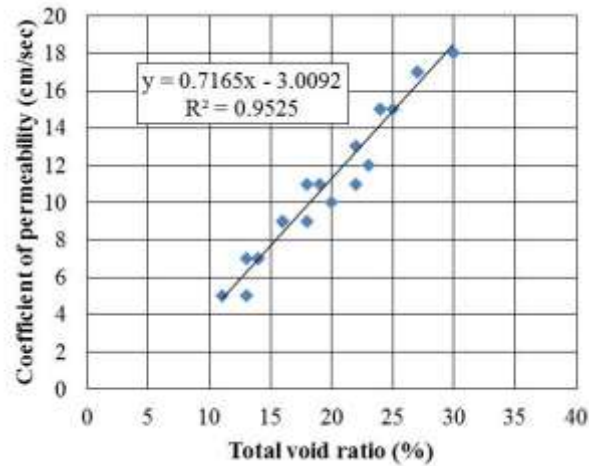
ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่า สัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรงส่งผลให้การซึมผ่านเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านลดลงเมื่อเพิ่มอายุการทดสอบ เนื่องจากอายุการทดสอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง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



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคอนกรีตพูนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



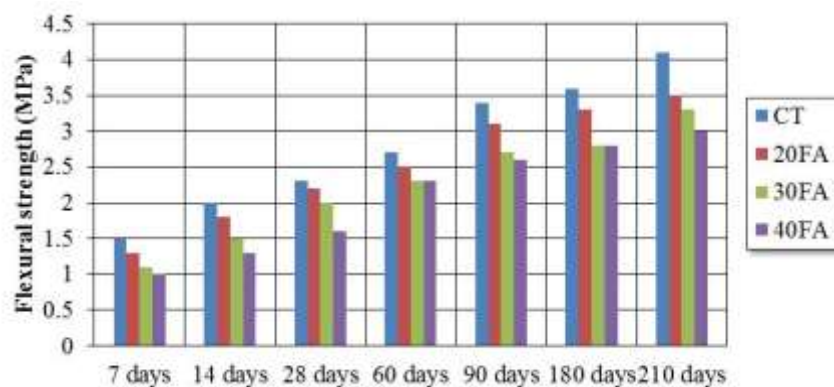
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



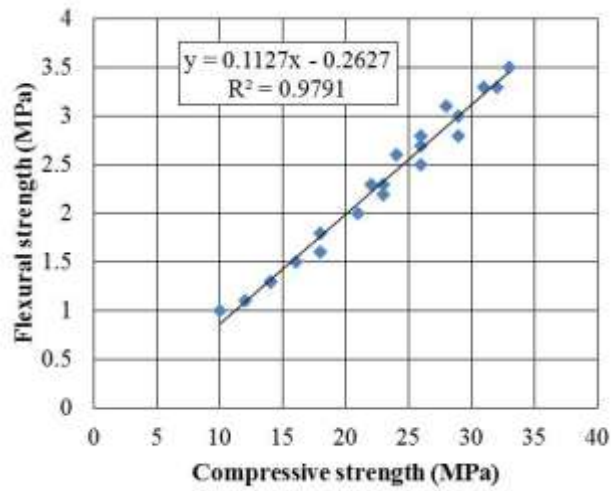
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและปริมาณโพรง

4.6 กำลังดัด

ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตพูนผสมด้วยเถ้าถ่านหินซึ่งให้ไว้ในรูปที่ 4.9 ชี้ให้เห็นว่าการต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นตามอายุการทดสอบ (Amer 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 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดและกำลังอัดของคอนกรีตพูนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



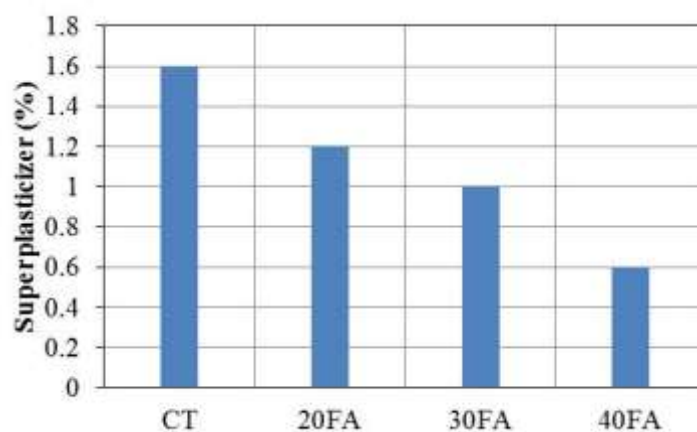
รูปที่ 4.9 กำลังดัดของคอนกรีตพูนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังอัดของคอนกรีตพูนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน

4.7 ความสามารถทำงานได้

ผลการทดสอบปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินส่งผลให้คอนกรีตพูนต้องการปริมาณสารลดน้ำพิเศษลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตพูนผสมปูนซีเมนต์ล้วน การเพิ่มปริมาณการแทนที่ส่งผลให้ความต้องการสารลดน้ำพิเศษลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเถ้าถ่านหินมาขนาดอนุภาคกลมและตัน



รูปที่ 4.11 ปริมาณความต้องการสารลดน้ำพิเศษ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และแนวทางต่อการวิจัยอย่างต่อเนื่องในการผลิตคอนกรีตพูนเพื่อใช้ในงานจริง และใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาด้านวิศวกรรมวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพัฒนาเถ้าถ่านหินที่สำหรับใช้ในงานคอนกรีตพูนสามารถสรุปได้ ดังนี้

- 1) เถ้าถ่านหินสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อผลิตคอนกรีตพูนใช้งานจริงได้ 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

การศึกษาเพื่อพัฒนาเถ้าถ่านหินที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมสำหรับใช้ในงานคอนกรีตพูนสามารถสรุปข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

- 1) ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทดสอบความต้านทานต่อสารเคมีต่างๆ ในระยะยาว
- 2) ในการทดสอบครั้งนี้มีข้อจำกัดในการใช้ตัวอย่างการทดสอบ กล่าวคือ ตัวอย่างคอนกรีตไม่สามารถทดสอบหาค่าบางทดสอบ เช่น การต้านทานต่อสารเคมี เนื่องจากคอนกรีตมีความพรุนสูงการทดสอบแบบแรงการทดสอบจึงไม่สามารถดำเนินการได้

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 Evaluation, 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 containing 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., Chindapasirt, 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., Chindapasirt, P., 2008, Development of classified fly ash as a pozzolanic material, *Journal of Applied Sciences*, 8(6), 1097-1102.
- Rukzon, S., Chindapasirt, 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., Chindapasirt, 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., Mizuguchi, H., Hatanaka, S., Katahira, H., 2004, Design, Construction and Recent Application of Porous Concrete in Japan. *Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete*. JCI, 1-10.

ภาคผนวก

ประวัติและผลงานที่สำคัญของนักวิจัย

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย

ค. 1 หัวหน้าโครงการ:

- ชื่อ รศ.ดร. สำเริง รักซ้อน (Assoc. Prof. Dr. Sumrerng Rukzon)
- รหัสประจำตัว 3 1805 00327 90 8
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- 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 (วช. 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
การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุพอลิโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2551
อิทธิพลของความละเอียดของวัสดุพอลิโซลานต่อความคงทนของมอร์ตาร์	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา	2551
การพัฒนาเถ้าถ่านหินแยกขนาดเป็นวัสดุพอลิโซลาน	ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2550
การพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุอิโพลีเมอร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2553
การใช้เถ้าถ่านหิน เถ้าขานอ้อย และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในคอนกรีตกำลังสูง	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	2553

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วและทุนที่ได้รับ (ต่อ)

ชื่อทุนวิจัย	แหล่งทุนที่ให้	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
การวิจัยด้านวัสดุปูนฉาบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2554
นวัตกรรมการใช้เถ้าหนักในคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555
การพัฒนาคอนกรีตพอลิโซลานไหลเข้าแบบง่ายด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้งสองชนิดรวมกัน	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555-2556
นวัตกรรมคอนกรีตต้นทุนต่ำไหลเข้าแบบง่ายโดยการใช้เถ้าทิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556
การพัฒนาเถ้าหนักเป็นวัสดุมวลรวมในงานคอนกรีต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2557
นวัตกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2557
การพัฒนาเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตกำลังสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
นวัตกรรมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในคอนกรีตมวลเบาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
การวิจัยด้านคอนกรีตพูนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อวูโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2555-2557
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อวูโส	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, สำเร็จ รักซ้อน, วันชัย สะตะ, อาภา สอนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังไว้ในจีโอโพลีเมอร์แผ่นกัน, งานประชุมวิชาการคอนกรีต ครั้งที่ 8, ชลบุรี, 22-24 ตุลาคม 2555.
- 7.2.1.6 ชัยชาญ โชติถนอม, ปริญญา จินดาประเสริฐ, สำเร็จ รักซ้อน, วันชัย สะตะ, อาภา สอนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถต้านทานการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าจีโอโพลีเมอร์แผ่นกันงาน, 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 มีเส้นผ่านศูนย์กลางเหมาะสมร่วมกับเส้นผ่านศูนย์กลางของ Petty Patent No. 7957”
- 7.4.2 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเหมาะสมร่วมกับเส้นผ่านศูนย์กลางของ Petty Patent No. 7958”
- 7.4.3 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “เครื่องบดวัสดุซีเมนต์จากเส้นผ่านศูนย์กลาง Petty Patent No. 5440”
- 7.4.4 วรรณกรรม ลิขสิทธิ์ตำรา/หนังสือ เรื่อง “การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีการและหน่วยแรงใช้งาน เลขที่ 236666”
- 7.4.5 วรรณกรรม ลิขสิทธิ์ตำรา/หนังสือ เรื่อง “การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก เลขที่ 210582”
- 7.4.6 วรรณกรรม ลิขสิทธิ์ตำรา/หนังสือ เรื่อง “ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี เลขที่ 210583”

7.5 งานแต่ง เรียบเรียง หนังสือ / ตำรา

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

7.3 อื่นๆ ที่สำคัญ

ผลงานอื่นๆ

- 1) นักวิจัยศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- 2) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ
- 3) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
- 3) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ
- 4) เป็นผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ
- 5) สมาชิกระดับวุฒิสมาชิกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.)
- 6) ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรม (ก.ว.) ระดับสามัญวิศวกรโยธา
- 7) สมาชิกเครือข่ายจีโอโพลิเมอร์ไทย
- 8) เป็นกรรมการพิจารณาร่างหลักสูตรปริญญาโท มทร.ตะวันออก และหลักสูตรปริญญาตรี

วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

- 9) เป็นกรรมการ/ประธานกรรมการสอบนักศึกษาระดับปริญญาโท/เอก

7.4 ลิขสิทธิ์ / อนุสิทธิบัตร

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

7.5 ทุนวิจัย / รางวัล

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

7.6 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

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

ค. 2 ที่ปรึกษาโครงการ: (1)

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

5. ประวัติการศึกษา

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

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

โครงสร้างเชิงประกอบ คอนกรีต วิศวกรรมกลศาสตร์คำนวณ และจีโอโพลิเมอร์

7. ประสบการณ์ในงานวิจัย

7.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ (Full paper) ใน SCOPUS

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

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

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

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

39. S. Songpiriyakit, T. Kubprasit, C. Jaturapitakkul, P. Chindapasirt, Compressive strength and degree of reaction of biomass and fly ash based geopolymer, *Construction & Building Materials*, 24 (2010) 236–240.
40. S. Rukzon, P. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, Compressive strength, modulus of elasticity, and water permeability of inorganic polymer concrete, *Materials and Design* 31 (2010), 4748–4754
46. T. Sinsiri, P. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, 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. Chindapasirt, K. Pimraksa, A Study on Electrical Conductivity and Dielectric Property of Fly Ash Geopolymer Paste, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2011,18,1,94-99.

49. P.Chindaprasirt, U. Rattanasak, Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash, *Materials and Design*, 32 (2) 2011, 723-727.
50. C. Rittiruth, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, Factors affecting the shrinkage of fly ash geopolymer paste, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2011,18,1, 100-104.
51. P. Chindaprasirt, T. Chareerat, S. Hatanaka, T. Cao, High-strength geopolymer using fine high-calcium fly ash, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23,3,2011, 2264-270.
52. S. Rukzon, P. Chindaprasirt, Chloride penetration and corrosion resistance of ground fly ash blended cement mortar, *International Journal of Materials Research*, 102,2011,3,335-338
53. P. Chindaprasirt, C. Chotetanorm, S. Rukzon, Use of palm oil fuel ash to improve the chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2011,23 (4), 499-503
54. U. Rattanasak, K Pankhet, P. Chindaprasirt, Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 2011,18(3), 364-369.
55. K. Somna, C. Jaturapitakkul, Puangrat Kajitvichyanukul, Prinya Chindaprasirt, NaOH-Activated Ground Fly Ash Geopolymer Cured at Ambient Temperature, *Fuel*, 90,2011(6),2118-2124.
56. P. Chindaprasirt, K. Boonserm, T. Chairuangsi, W. Vichit-Vadakan, T. Eaimsin, T. Sato, K. Pimraksa, Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives, *Construction and Building Materials*, 2011,25(8), 3193-3203.
57. K. Pimraksa, P. Chindaprasirt, T. Lertkhositpong, K. Sagoe-Crentsil, T. Sato, Lightweight geopolymer made of highly porous siliceous materials with various $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratios, *Materials Science and Engineering A*, 2011,25(8), 6616-6623.
58. V. Sata, P. Khammathit, P. Chindaprasirt, Efficiency factor of high calcium Class F fly ash in concrete, *Computers and Concrete*, 2011,8(5),583-595
59. K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, P. Chindaprasirt, Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials, *Procedia Engineering*, 2011, pp. 1157-1164

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

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

81. P. Chindaprasirt, S. Thaiwittcharoen, S. Kaewpirom U. Rattanasak, Controlling ettringite formation in FBC fly ash geopolymer concrete, *Cement and Concrete Composite*, 2013,41,24–28
82. K. Pimraksa, P. 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. Wongsu, 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 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, Volume 10, Issue Supplement s1, pages E77–E87, September/October 2013.
91. K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, C. Jaturapitakkul, P. 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 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{-xV}_x\text{O}_{12}$ Ceramics prepared by a simple poly(ethylene glycol) sol-gel route. *Japanese Journal of Applied Physics* 2013,52, pp.06GF05-1
94. P. Posi, S. Lertnimoolchai, V. Sata, P. Chindaprasirt, Pressed lightweight concrete containing calcined diatomite aggregate, *Construction and Building Materials*, 2013,47, October, 896–901
95. P. Sukmak, S. Horpibulsuk, S.L. Shen, P. Chindaprasirt, Factors influencing strength development in clay-fly ash geopolymer, *Construction and Building Materials*, 2013, 47, October, 1125–1136.
96. T. Phoo-ngernkham, P. Chindaprasirt, V. Sata, T. Sinsiri, High calcium fly ash geopolymer containing diatomite as additive, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 20, August 2013, 310-8.
97. Y. Zaetang, A. Wongsu, V. Sata, P. Chindaprasirt, Use of lightweight aggregates in pervious concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 48, November 2013, 585–591
98. W. Wongkeo, P. Thongsanitgarn, P. Chindaprasirt, A. Chaipanich, Thermogravimetry of ternary cement blends - Effect of different curing methods, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2013, September, 113:1079–90.
99. P. Chindaprasirt, T. Sinsiri, C. Napia, C. Jaturapitakkul, Solidification of heavy metal sludge using cement, fly ash and silica fume, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 20, October 2013, 405-414.
100. S. Boonjaeng, K. Pimraksa, A. Chaipanich, S. 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-SiO₂ and nano-Al₂O₃ on properties of high calcium fly ash geopolymer cured at ambient temperature, *Mat and Design*, March 2014, 58–65
108. S. Hunpratub, T. Yamwong, S. Srilomsak, S. Maensiri, P. Chindaprasirt, Effect of particle size on the dielectric and piezoelectric properties of 0-3BCTZO/cement composites, *Ceramics International*, 40 (1 PART A), 2014, 1209-1213.
109. P. Thongbai, T. Yamwong, S. Maensiri, V. Amornkitbamrung, P. Chindaprasirt, Improved dielectric and nonlinear electrical properties of fine grained-CaCu₃Ti₄O₁₂ ceramics prepared by a glycine nitrate process, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1–6 (2014)
110. P. Chindaprasirt, P. Paisitsrisawat, U. Rattanasak, Strength and resistance to sulfate and sulfuric acid of ground fluidized bed combustion fly ash-silica fume alkali-activated composite, *Advanced Powder technology*, 25 (3) pp. 1087 - 1093
111. P. Chindaprasirt and W. Chalee, Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site, *Construction and Building Materials*, 2014, 63, 303-310.
112. P. Chindaprasirt, S. Hiziroglu, C. Waisurasingha, P. Kasemsiri, Properties of wood flour/expanded polystyrene waste composites modified with diammonium phosphate flame retardant, *Polymer Composites*, in press
113. S. Boonjaeng, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, Lime-calcined clay materials with alkaline activation: Phase development and reaction transition zone, *Applied Clay Science*, in press

114. P. Posi, V. Sata, P. Chindapasirt, Lightweight calcined diatomite concrete, KSCE, in press
115. S. Hunpratub, P. Chindapasirt, S. Maensiri, Synthesis and characterization of Ba_{0.85}Ca_{0.15}Ti_{0.9}Zr_{0.1}O₃ ceramics by hydrothermal method, Ceramic Inter, in press.

7.2 Book

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

7.3 Patent/Petty patent

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

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

7.4 Research Interests

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

7.5 Research Honors and Awards

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