

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้เป็นบทนำ ได้กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ทฤษฎี สมมติฐาน กรอบแนวความคิดของการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

โดยทั่วไปโครงสร้างของอาคารประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐาน เช่น คาน พื้น เสา และฐานราก เป็นต้น แต่ละชิ้นส่วนหรือแต่ละองค์อาคารอาจใช้วัสดุที่แตกต่างกัน และที่เรารู้จัก คือ ไม้ เหล็ก และคอนกรีต คอนกรีตนิยมมาใช้เป็นชิ้นส่วนอาคาร ซึ่งหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 2.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร (สำเร็จ รักซ้อน, 2555) น้ำหนักของคอนกรีตอาจส่งผลให้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างมีขนาดใหญ่ และสิ้นเปลืองพื้นที่ในการก่อสร้าง อีกทั้งเมื่อโครงสร้างมีจำนวนชั้นที่มาก น้ำหนักบรรทุกของอาคารมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นโครงสร้างที่หนักนี้จะส่งผลให้ฐานรากอาคารรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นักวิจัยพยายามศึกษาการผลิตคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาสำหรับใช้เป็นชิ้นส่วนอาคาร เช่น พื้น เสา คาน ฐานราก แผ่นพื้นสำเร็จรูป และผนัง ต่างๆ โดยเฉพาะการศึกษาวัดคุณสมบัติทนปูนซีเมนต์สำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา ถ้าหากสามารถลดขนาดหรือลดน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างอาคารลงได้จะสามารถลดต้นทุนการก่อสร้าง และลดพื้นที่ก่อสร้างอาคารนั้นได้ จะสามารถใช้ประโยชน์พื้นที่ได้เพิ่มขึ้น คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปมีน้ำหนัก (ความหนาแน่น) ประมาณ 400-1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังอัดอยู่ในช่วงประมาณ 10-450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552) ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตปกติทั่วไป ดังได้กล่าวในข้างต้น

ประเทศไทยมีเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม ซึ่งมีการนำเอาแกลบรวมกับเปลือกไม้เผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า (Chindaprasirt et al 2007) ได้ส่วนที่เหลือ คือ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice husk-Bark ash) ซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ ยิ่งเกิดกระบวนการผลิตในระยะเวลานานขึ้นจะมีจำนวนเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ที่เพิ่มมากขึ้น จากนั้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงและสิ้นเปลืองพื้นที่กำจัดทิ้ง ปัจจุบันนักวิจัยได้ศึกษาเพื่อนำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานคอนกรีต ดังนั้นหากสามารถพัฒนาเป็นวัสดุประสานสำหรับงานคอนกรีตมวลเบาชนิดใหม่ จะเป็นการป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเถ้าทิ้งดังกล่าว และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุ

เหลือทิ้ง อีกทั้งทำให้เพิ่มรายได้จากการขายเถ้าที่เป็นผลพลอยได้และเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งจากเกษตรกรรมที่ไม่มีมูลค่า เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาในตัวเองได้อย่างยั่งยืน ที่ผ่านมา พบว่ามักใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในงานคอนกรีตทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์และใช้สำหรับผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบา ศึกษากระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อสารเคมี เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ในงานคอนกรีตมวลเบาอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมก่อสร้างไทยที่จะนำเอาวัสดุเหลือทิ้งไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้าง ซึ่งช่วยลดปัญหาหมอกควันและปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นผลจากการผลิตปูนซีเมนต์และลดพื้นที่การกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว ดังนั้นวัสดุประสานเถ้าแกลบ-เปลือกไม้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานคอนกรีตมวลเบาที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมและเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียในเชิงพาณิชย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ด้วยการใช้เถ้าทิ้งจากผลพลอยได้ในโรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม คือ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ โดยมีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

- 1) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสาน
- 2) เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ได้จากโรงงานไฟฟ้า บริษัท ไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด พนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา (ภาคตะวันออก ประเทศไทย)
- 3) นำเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในขอบเขตข้อที่ 2) มาปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดให้มีขนาดลดลง เพื่อให้มีความละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 (ASTM C618 2005) ให้มีปริมาณค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก
- 4) ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้

5) สารเคมีที่ใช้ในโครงการนี้ เช่น วัสดุที่ใช้ผลิตฟองอากาศเป็นแบบบรรจุในถังฉีด โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซิลเวอร์ไนเตรท โฟม และสารลดน้ำพิเศษและเร่งกำลังชนิด F หรือพิจารณาตามมาตรฐาน ASTM หรืออื่นๆ

6) งานวิจัยคอนกรีตมวลเบานี้ ใช้ทรายแม่น้ำมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 1.10-1.25 (ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM)

7) แก้วกลบ-เปลือกไม้ หลังจากการบดละเอียด ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

8) อัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ใช้เท่ากับ 0.7, 1.4, และ 2.1 โดยน้ำหนัก

9) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้เท่ากับ 0.48 และ 0.50 โดยน้ำหนัก

10) การเพิ่มฟองอากาศใช้ปริมาณเท่ากับร้อยละ 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยปริมาตร

11) ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้แก้วกลบ-เปลือกไม้ สำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

12) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางกลของคอนกรีตมวลเบาแก้วกลบ-เปลือกไม้ การทดสอบดังกล่าว เช่น ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความพรุน ทดสอบกำลังรับแรงอัด การตัด การต้านทานต่อสารเคมี ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการใช้คอนกรีตมวลเบาจากแก้วกลบ-เปลือกไม้

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

โดยทั่วไปคอนกรีตมวลเบาแบ่งเป็น 3 ประเภท (ภุชณ์ กิ่งไก่อ, 2552) ดังนี้

8.1) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight aggregate concrete)

คอนกรีตมวลเบาประเภทนี้ผลิตและผสมด้วยมวลรวมเบาขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ มวลรวมเบาที่ใช้ในการผลิตมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 600-1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่มวลปกติมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 1100-1700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภุชณ์ กิ่งไก่อ, 2552) ซึ่งคอนกรีตทั่วไปจะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลรวมสำหรับคอนกรีตมวลเบาจำแนกได้ 2 ชนิด ดังนี้

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

8.1.2) มวลรวมเบาจากการผลิต ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเผาดินบางประเภท หรือ ถ่านหินที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า มวลรวมเบาจากการผลิตสามารถจำแนกได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) Expanded clay aggregate

มวลเบาชนิดนี้ได้จากการผลิตที่นำดินที่มีองค์ประกอบเคมีพิเศษซึ่งขุดจากแหล่ง จากนั้นนำไปผสมกับสารที่ทำให้เกิดฟองเป็นเม็ดเล็กๆ

2) Expanded shale aggregate

มวลเบาชนิดนี้ได้จากดินดาน (shale) ผสมรวมกับถ่านที่บดละเอียด ซึ่งวัตถุดิบนี้เป็นเม็ดขนาดพอเหมาะ อย่างไรก็ตาม ขนาดที่เตรียมขึ้นอยู่กับการใช้งาน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ในเตาเผา ส่วนที่ได้นี้จะมีลักษณะผิวเรียบมีฟองอากาศภายในอนุภาค และมีความแข็งแรงสูง

3) Sintered fly ash

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

4) มวลเบาจากสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ไม้ พลาสติก ถ่านหินต่างๆ

5) มวลเบาได้จากของเสีย เช่น ถ่านหิน ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิง

8.2) คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (Non-fine concrete)

คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียดได้จากส่วนผสมที่ใช้มวลรวมขนาดหยาบปกติ ซึ่งไม่มีทรายในส่วนผสม หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาชนิดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดคละกันของมวลรวมละเอียด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 0.138-0.52 (กฤษฎ์ กิ่งโก้, 2552) โดยทั่วไปมีลักษณะ ดังนี้

- 1) ไม่มีส่วนผสมของทราย
- 2) คอนกรีตมีช่องว่าง โพรงอากาศอยู่มาก
- 3) กำลังต่ำ
- 4) หน่วยน้ำหนักมีค่าประมาณ 1600-1850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

8.3) โฟมคอนกรีต (Foam concrete)

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

8.3.1) คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular lightweight concrete)

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

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

8.3.2) คอนกรีตมวลเบาชนิดบ่มไอน้ำ (Autoclaved aerated concrete)

คอนกรีตมวลเบาชนิดบ่มไอน้ำ หรือ Autoclaved aerated concrete หรือ ระบบ AAC เป็นคอนกรีตที่ใช้ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากต้องการบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง คอนกรีตมวลเบาชนิดบ่มไอน้ำมีความแตกต่างกับระบบ CLC ในด้านความต่อเนื่องของฟองอากาศ กล่าวคือ ระบบ CLC ฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่องกันดังนั้นความสามารถในการดูดซึมน้ำจึงต่ำกว่าระบบ AAC จึงสามารถ

นำไปใช้งานเป็นชิ้นส่วนอาคารเช่นผนังของโครงสร้างอาคารที่ไม่ต้องการรับแรงมากนัก ส่วนผสมโดยทั่วไป มีดังนี้

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

เพื่อพิจารณาคอนกรีตมวลเบาในแต่ละประเภท งานวิจัยนี้สนใจในประเภทของ โฟมคอนกรีต ด้วยการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และพบว่าวัสดุหลักที่ใช้เป็นวัสดุประสานคือปูนซีเมนต์ และเพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยในการนำวัสดุปอซโซลานที่ได้จากของเหลือทิ้งแล้วสามารถนำมาประยุกต์และพัฒนาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าได้ นอกจากนั้นแล้ว ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการใช้งานคอนกรีตคือความต้องการผลิตคอนกรีตให้น้ำหนักเบาสำหรับใช้ในโครงสร้างอาคาร ดังนั้นหากต้องการให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาอาจหมายถึงการลดการใช้วัสดุมวลรวมและวัสดุประสาน ซึ่งมีน้ำหนักที่มาก โดยควรศึกษาในการนำวัสดุที่มีขนาดเบามาใช้แทนที่วัสดุมวลรวมหรือซีเมนต์ในส่วนผสม และนำวัสดุอื่นๆ ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ จากนั้นจะสามารถลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบา และใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่ามากที่สุด โดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้เกษตรกรรม

พื้นที่สำหรับการทิ้งวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตหรือผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เป็นปัญหาใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งโดยทั่วไปไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ และเพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการใช้ประโยชน์โดยตรงจากเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดพื้นที่สำหรับการทิ้งเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ลดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ลดขนาดของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และได้วัสดุชนิดใหม่สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย อีกทั้งเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัย คาดว่าจะได้ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) นำวัสดุเหลือทิ้งจากการวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีตมวลเบา ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตเนื่องจากลดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดขนาดโครงสร้างอาคาร ประหยัดพื้นที่ก่อสร้าง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดปัญหาโลกร้อนจากผลกระทบการผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนั้นยังสามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ
- 2) เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงานขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต
- 3) งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากถ้าแลกเปลี่ยนได้ เป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีอยู่ในประเทศ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเนื่องในการจ้างงาน และส่งเสริมระบบเศรษฐกิจของท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
- 4) คาดว่าจะนำผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมจดสิทธิบัตรเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 คอนกรีตมวลเบาและวัสดุปอซโซลาน

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ อธิบายเกี่ยวกับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan materials) เถ้าถ่านหิน (Fly ash) เถ้าหนัก (Bottom ash) เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice husk-bark ash) ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน คอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย (Self compacting concrete: SCC) คุณสมบัติทางกายภาพและกลสมบัตินด้านวิศวกรรมของคอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย (SCC) แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยวัสดุปอซโซลาน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยด้านวัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนาวัสดุก่อสร้างไทย

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป กล่าวคือ คอนกรีตทั่วไปมีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำเร็จ รักซ้อน, 2555) ขณะที่คอนกรีตมวลเบามีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 400-1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552) ที่ผ่านมานักวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่อุตสาหกรรมก่อสร้างและให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำวัสดุปอซโซลานที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบา

เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการใช้ เถ้าแกลบ 2 ส่วน และเปลือกไม้ 1 ส่วน เป็นเชื้อเพลิงและเถ้าที่อุณหภูมิระหว่าง 800-900 องศาเซลเซียส (Chindaprasirt et al 2007) วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแกลบและเปลือกไม้ดังกล่าวเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้ง โดยกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้ดังกล่าวได้ของเสียเป็นเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ประมาณ 300,000 ตันต่อปีซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ กระทั่งเริ่มนำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ดังกล่าวมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีต แต่การศึกษการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในงานคอนกรีตมวลเบายังมีอยู่น้อยมาก

ในตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice husk-bark ash) จากงานวิจัยของสำเร็จ รักซ้อน และคณะ (2551) ในประเทศไทย เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีผลรวมของ ซิลิกา (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 79.4

ส่วนปริมาณของ SO_3 อยู่ที่ร้อยละ 0.9 ต่ำกว่าร้อยละ 4 ส่วน LOI มีปริมาณร้อยละ 8.24 ซึ่งตามข้อกำหนดของ ASTM C618 (2005) ถือว่าเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N

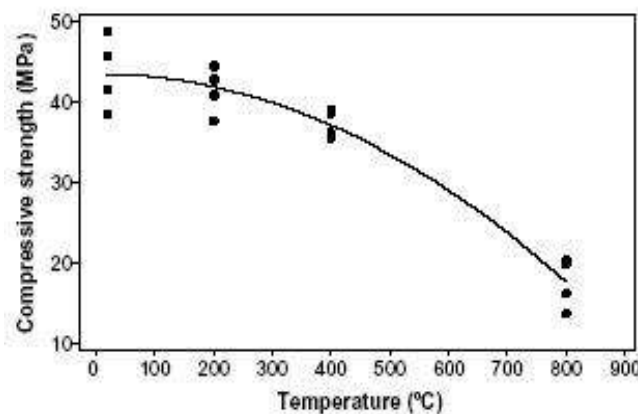
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (สำเร็จ รัดซ็อน และคณะ 2551)

Composition	% of oxide of Rice husk-bark ash (สำเร็จ รัดซ็อน และคณะ 2551)
SiO_2	76.3
Al_2O_3	1.6
Fe_2O_3	1.5
CaO	5.5
SO_3	0.9
LOI	8.24
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	79.4

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบา

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

งานวิจัยของ Tanyildizi and Coskum (2008) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการบ่มต่อกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเถ้าถ่านหิน แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาบ่มด้วยอุณหภูมิที่ 200, 400 และ 800 องศาเซลเซียส ใช้น้ำหนักวัสดุประสาน เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.27 และใช้สารลดน้ำพิเศษ 6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในทุกส่วนผสม ผลการทดสอบพบว่า การบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้กำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตมวลเบาลดลงทุกส่วนผสม การบ่มที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส กำลังอัดสูงกว่า การบ่มที่อุณหภูมิ 400 และ 800 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินมีแนวโน้มกำลังอัดสูงขึ้นด้วย ในรูปที่ 2.1 พบว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น กำลังอัดลดลง



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอุณหภูมิการบ่ม (Tanyildizi and Coskum 2008)

Yasar et al (2003) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาทำจากเถ้าถ่านหิน โดยใช้วัสดุประสาน เท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แยกเป็นสอง กลุ่มแรกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานล้วน และกลุ่มที่สองใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1955 ± 29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่คอนกรีตใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1932 ± 21 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ มีแนวโน้มให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ดังในรูปที่ 2.2 ซึ่ง Yasar et al (2003) กล่าวว่า การใช้เถ้าถ่านหินช่วยลดต้นทุนการผลิตและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

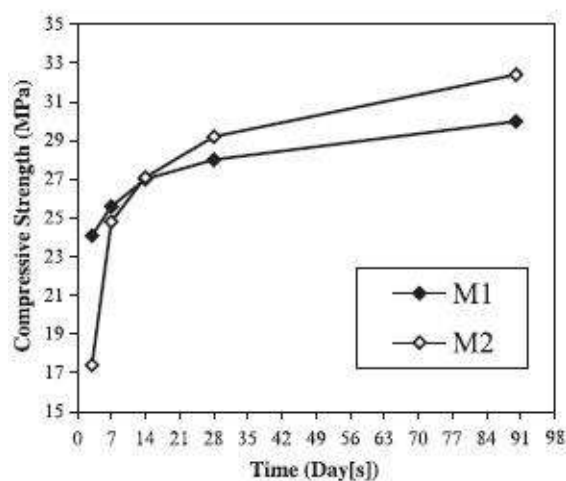
Kayali (2008) อธิบายว่า การใช้เถ้าถ่านหินเป็นมวลรวมเบา พบว่าคอนกรีตมีการหดตัวแบบแห้งน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไปประมาณร้อยละ 33 ส่วนงานวิจัยของ Kockal and Ozturan (2011) ศึกษาความทนทาน

ของคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้เถ้านหินเป็นมวลรวมเบา ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดสูงขึ้นเมื่อบ่มตัวอย่างในตู้อบแห้ง อัตราส่วนของแรงดึงต่อกำลังอัดของมวลรวมเบาคอนกรีตเหมือนกับคอนกรีตปกติ ที่อายุ 28 และ 56 วัน ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าปัจจัยความทนทานเกินกว่า 85 และ 90 ตามลำดับ

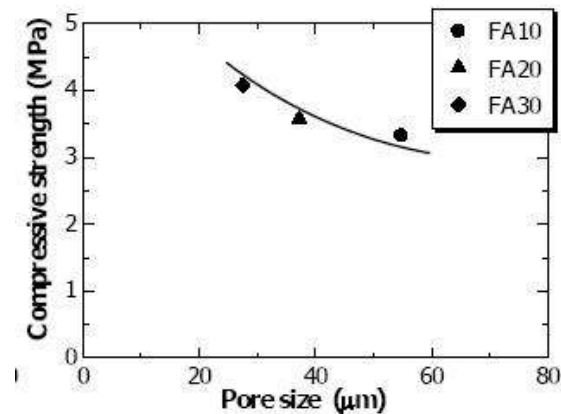
Shannag M.J. (2011) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยมวลรวมจากธรรมชาติและสารผสมเพิ่ม ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ในปริมาณร้อยละ 5-15 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 57 และ 14 เมื่อเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้ซิลิกาฟุ่ม ส่วนคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเถ้านหินในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน พบว่ากำลังอัดลดลงร้อยละ 18 และโมดูลัสยืดหยุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้านหิน

งานวิจัยที่ผ่านมาของ Jitchaiyaphom et al (2011) ได้ศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมวัสดุปอซโซลาน โดยใช้เถ้านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 และหน่วยน้ำหนัก 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาพบว่า การใช้เถ้านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังอัดที่สูงในอายุต้น การเพิ่มปริมาณแทนที่ส่งผลให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น ในส่วนของโครงสร้างระดับจุลภาคพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแทนที่ด้วยเถ้านหิน ส่งผลให้ขนาดของโพรงลดลง จึงเป็นสาเหตุให้กำลังอัดสูงขึ้น ดังในรูปที่ 2.3

งานวิจัยของ กฤษณ์ กิ่งโก้ (2552) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมสารซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ ซึ่งเป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมมวลรวมหายา แต่ได้ใช้ฟองอากาศเติมลงในส่วนผสมเพื่อลดความหนาแน่นของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า การผสมสารซูเปอร์ พลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้เพิ่มความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตมวลเบาและคุณสมบัติอื่นๆ ของส่วนผสมโดยรวมดีขึ้น



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลา (Yasar et al 2003)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความพรุน (Jitchaiyaphom et al 2011)

เห็นได้ว่า งานวิจัยที่ผ่านมาศึกษาคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีอยู่น้อยมากโดยเฉพาะการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศ เช่น ถั่วแกลบ-เปลือกไม้ ถั่วซ่านอ้อย ถั่วแกลบ ถั่วถ่านหิน และถั่วปาล์มน้ำมัน ซึ่งคาดว่าในระยะเวลานานขึ้นอาจมีวัสดุเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นจนยากแก่การจัดทิ้งและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงได้ในอนาคต แม้ว่าที่ผ่านมามีการนำถั่วแกลบ-เปลือกไม้ ไปใช้ในงานคอนกรีตบ้าง แต่ก็ยังเป็นเพียงใช้กับคอนกรีตทั่วไปเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันพบว่าการใช้ถั่วแกลบ-เปลือกไม้ เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาในด้านการวิจัยหรือการใช้งานจริงยังมีข้อมูลน้อยมาก จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้มากขึ้นในการเป็นข้อมูลพัฒนาวัสดุก่อสร้าง และสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ด้านวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ โดยพัฒนาให้เป็นวัสดุฉลาด เปลี่ยนวัสดุที่ไม่มีค่าเป็นวัสดุมีมูลค่าในตัวเอง เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมวัสดุ วิธีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การทดสอบหาค่าความพรุน การทดสอบกำลังอัด การทดสอบการต้านทานสารเคมี

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 วิธีวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดแหล่งเก็บ-แปรรูปไม้ ที่จะใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ ใช้เก็บ-แปรรูปไม้ บริษัท ไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด พนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา
- 2) เก็บตัวอย่างเก็บ-แปรรูปไม้ ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง
- 3) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเก็บ-แปรรูปไม้
- 4) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุเหลือทิ้ง ประกอบด้วย ตรวจสอบหาค่าประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง x-ray fluorescence, ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ, ทดสอบหาปริมาณของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ตามมาตรฐาน ASTM C 430, ทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบรอน ตามมาตรฐาน ASTM C 204, ถ่ายภาพขยายกำลังสูง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope, ทดสอบการกระจายตัวและขนาดอนุภาคเฉลี่ย ด้วยเครื่อง Mastersizer และวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ด้วยเครื่อง x-ray diffraction ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
- 5) ศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาผสมเก็บ-แปรรูปไม้ ปัจจัยที่ศึกษา คือ อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัด และการตัด
- 6) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการต้านทานสารเคมีของคอนกรีตมวลเบาผสมเก็บ-แปรรูปไม้ ปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อิทธิพลของกำลังอัดและความพรุน อิทธิพลของปริมาณวัสดุประสาน การบ่ม และความชื้นสัมพัทธ์

7) ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยเครื่องมือ XRD, FTIR และ SEM/EDX และวิเคราะห์ปริมาณโพรงด้วยเครื่องมือ MIP เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างทดสอบ

3.1.2 ส่วนผสมตัวอย่างและการเตรียมวัสดุ

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ปริมาณ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2) ถ้ำกลบ-เปลือกไม้ ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
- 3) ใช้สารลดน้ำพิเศษและเร่งกำลังชนิด F หรือตามมาตรฐานสากล
- 4) อัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ใช้เท่ากับ 0.7, 1.4, และ 2.1 โดยน้ำหนัก
- 5) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้เท่ากับ 0.40 และ 0.50 โดยน้ำหนัก
- 6) ส่วนการเพิ่มฟองอากาศใช้ปริมาณเท่ากับร้อยละ 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยปริมาตร
- 7) กำลังอัดใช้อายุการทดสอบที่ 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

3.1.3 การทดสอบตัวอย่าง

- 1) ทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109
- 2) ทดสอบหน่วยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C567
- 3) ทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงแยก ตามมาตรฐาน ASTM C496
- 4) ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM C78
- 5) ทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642
- 6) ทดสอบความทนทานต่อคาร์บอนเนชั่น ด้วยการหระยะความลึกของคาร์บอนเนชั่น ทำโดยนำตัวอย่างมาผ่าซีก จากนั้นพ่นสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ โดยความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในเอทานอลลงในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่าซีก ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นสังเกตดูจากการเปลี่ยนสีของสารเคมีที่ฉีดพ่น ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะไม่มีสี ส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง จากนั้นทำการวัดความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น
- 7) ทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ ใช้ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาในแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C39 ภายหลังหล่อคอนกรีตมวลเบาเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบและบ่มในน้ำสะอาด เมื่อครบอายุทดสอบ จากนั้นนำมาทดสอบ

คลอไรด์ โดยตัดตัวอย่างทดสอบที่บริเวณกึ่งกลางคือประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยให้มีความหนาประมาณด้านละ 50 มิลลิเมตร จะได้ตัวอย่าง 2 ชิ้นบริเวณกลางเพื่อนำไปทดสอบ หลังเคลือบผิวตัวอย่างทดสอบโดยรอบด้วยอีพอกซี 1 วัน นำตัวอย่างทดสอบวางในโถแก้ว (Desiccator) จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในกรวยแก้ว (Separatory funnel) เปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) เพื่อให้ระบบโพรงของตัวอย่างทดสอบมีเฉพาะอากาศ จนครบเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเปิดวาล์วทางเดินน้ำกลั่นจากกรวยแก้วลงโถแก้ว และเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศต่อไปอีก 1 ชั่วโมง แล้วปิดเครื่องและแช่ตัวอย่างทดสอบในน้ำกลั่นเป็นเวลา 16 ถึง 20 ชั่วโมง

การทดสอบความต้านทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบา โดยอ้างอิงปริมาณกระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอนกรีตมวลเบา ทดสอบความต้านทานต่อการแทรกซึมคลอไรด์ ของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้แรงดันในการทดสอบเท่ากับ 60 โวลต์ ระยะเวลาในการทดสอบ 6 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM C1202

3.1.4 วิธีเก็บข้อมูล

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้เก้าอี้กลบ-เปลือกไม้ วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมีวิธีการเก็บและรวบรวมแหล่งข้อมูลใช้ในงานวิจัย ดังนี้

1) ทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุอุปกรณ์เพื่อเป็นแนวทางการศึกษา ศึกษาข้อมูลย้อนหลังจนถึงปัจจุบันขององค์ประกอบทางเคมีของเก้าอี้กลบ-เปลือกไม้ รวบรวมเก็บข้อมูลประวัติการกองทิ้งของวัสดุเหลือทิ้งเพื่อใช้เป็นข้อมูลคัดเลือกเก็บตัวอย่าง

2) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเก้าอี้กลบ-เปลือกไม้ จะมีวิธีการเก็บข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ทดสอบ ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบันทึกผลการทดสอบตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น หรืออื่นๆ ขณะดำเนินการวิจัย

3) ทำการบันทึกผลการทดสอบของชุดทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามเงื่อนไขของตัวแปรที่ศึกษา โดยใช้เครื่องกดทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

4) ทำการบันทึกผลทดสอบหาค่าคุณสมบัติพื้นฐาน ของตัวอย่างคอนกรีต ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

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

6) ทำการบันทึกผลทดสอบการต้านทานคาร์บอนชั้น โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.1.5 วิธีการประมวลผล /วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบด้านกายภาพ ของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา ที่ทดสอบ

2) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล สรุปผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบการต้านทานคาร์บอนชั้น และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตมวลเบา

3) ทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัด คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเมื่อมีตัวแปรที่ศึกษาแตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

4) ทำการประมวลผล วิเคราะห์ผล และสังเคราะห์ผลการทดสอบส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา เพื่ออธิบายสมบัติทางกลได้

สถานที่ทำการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้าง
มูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

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
4. Cut machine for concrete

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. ถูมือกั้นสารเคมี
8. แวนตากั้นสารเคมี
9. Epoxy
10. ซิลิโคน
11. น้ำกลั่น
12. ทราย
13. วัสดุปอชโซลาน
14. ปูนซีเมนต์
15. เหล็กเสริมคอนกรีต
16. ใบมีดตัดคอนกรีต
17. ขวดสีชาสำหรับ AgNO₃
18. ชุดหล่อคอนกรีตมวลเบา
19. สารทำให้เกิดฟอง
20. ชุดผลิตโฟมเหลว
21. ชุดอัดอากาศ
22. หัวพ่นโฟม และสายยางต่อท่อโฟม

3.4 คำอธิบายสัญลักษณ์วัสดุและตัวอย่างทดสอบ

- 1200 = หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ 1200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 1400 = หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ 1400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 1600 = หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 1800 = หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- W/C = อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบและการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และนำมาวิเคราะห์ผล

4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของวัสดุ

ผลการทดสอบตารางที่ 4.1 เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของของปูนซีเมนต์ (CT) และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice husk-bark ash) ประกอบด้วย ความละเอียดด้วยตะแกรงมาตรฐาน ความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดทดสอบด้วยวิธีของเบลน ผลการทดสอบพบว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด (RB) มีปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.24 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลนเท่ากับ 12000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลนเท่ากับ 3600 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) การปรับปรุงขนาดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้มีขนาดเล็กลงด้วยการบดละเอียดส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะ พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น และขนาดอนุภาคเล็กลง เนื่องจากการบดช่วยให้รูพรุนของอนุภาคลดลง ดังนั้นน้ำหนักต่อปริมาตรจึงเพิ่มขึ้น (Rukzon and Chindaprasirt 2011; Rukzon and Chindaprasirt 2010) อีกทั้งความละเอียดของวัสดุปอซโซลานส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ดี

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของ CT และ RB

Physical properties	CT	RB
Median particle size (μm), d_{50} –ไมครอน	21.0	19
Retained on a sieve No. 325 (%)	N/A	3
Specific Gravity	3.14	2.24
Blaine Fineness (cm^2/gm) - ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	3,600	12,000

4.2 องค์ประกอบเคมีของวัสดุ

เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ RB เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการใช้เถ้าแกลบ 2 ส่วน และเปลือกไม้ 1 ส่วน เป็นเชื้อเพลิงและเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 800-900 องศาเซลเซียส (Rukzon and Chindaprasirt 2014) ผลจากการทดสอบองค์ประกอบเคมีแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดมีปริมาณ SiO_2 เท่ากับร้อยละ 76 และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบเคมีแล้วพบว่าเป็นวัสดุพอลิซิลานชนิดทั่วไปตามมาตรฐานของ ASTM C618 (2005) นอกจากนั้นผลทดสอบยังพบว่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.2 มีค่าไม่สูงนัก แสดงว่ามีการเผาที่เหมาะสมและสมบูรณ์ นอกจากนั้นผลรวมของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ คือร้อยละ 79

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของ CT และ RB

Oxides (%)	CT	RB
CaO (%)	54.98	6
SiO_2 (%)	25.1	76
Al_2O_3 (%)	5.5	1.5
Fe_2O_3 (%)	5.9	1.5
MgO (%)	3.4	0.01
K_2O (%)	0.5	3.9
SO_3 (%)	4.7	0.9
LOI (%)	0.9	8.2
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	—	79

4.3 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของทราย

ตารางที่ 4.3 เป็นผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมที่ใช้ในหารผลิตคอนกรีตมวลเบา ซึ่งพบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.54 โมดูลัสความละเอียด (F.M.) มีค่าเท่ากับ 1.18 และร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ 1.7 ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าทรายที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาครั้งนี้เป็นทรายละเอียดเนื่องจากมีค่า F.M. อยู่ในช่วง 1.17-1.18 ซึ่งปกติทรายที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปมีค่า F.M. อยู่ในช่วง 2.2-3.2 ตามมาตรฐานของ ASTM

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของทราย

มวลรวม	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสความละเอียด	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
ทราย	2.53	1.18	1.7

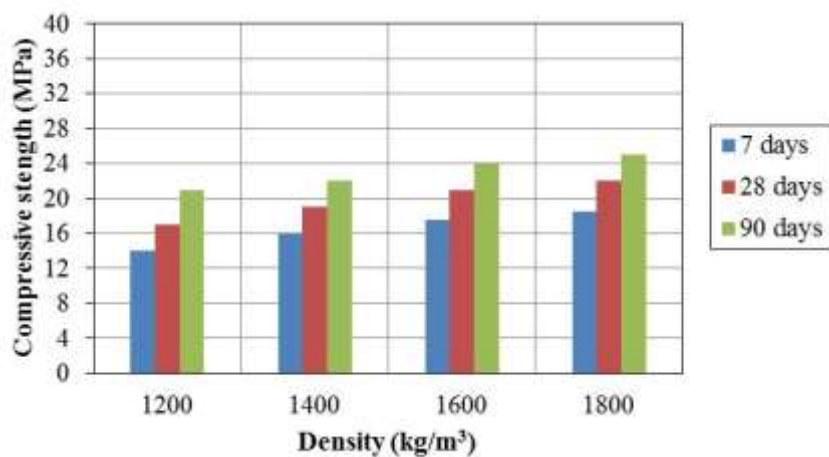
4.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ แสดงในรูปที่ 4.1-4.3 โดยที่รูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 คือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ มีการพัฒนาขึ้นตามอายุการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีค่าสูงขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (รูปที่ 4.1-4.3) ซึ่งผลการทดสอบนี้คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552)

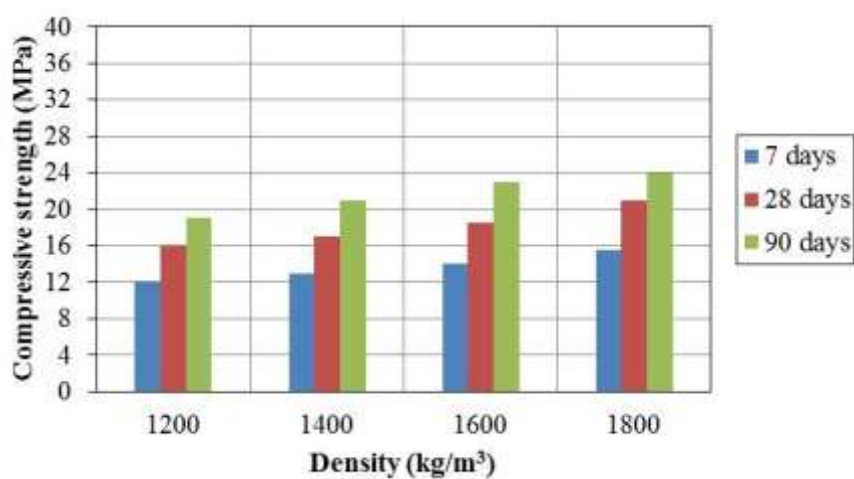
กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เมื่อพิจารณาการทดสอบที่อายุ 28 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ที่หน่วยน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังอัดอยู่ในช่วง 17.5 และ 19 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอาจพิจารณาถึงการนำไปใช้จริงในงานก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาได้ (กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552)

ในรูปที่ 4.4-4.6 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ซึ่งผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดพัฒนาตามอายุการทดสอบและกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต เช่นเดียวกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40

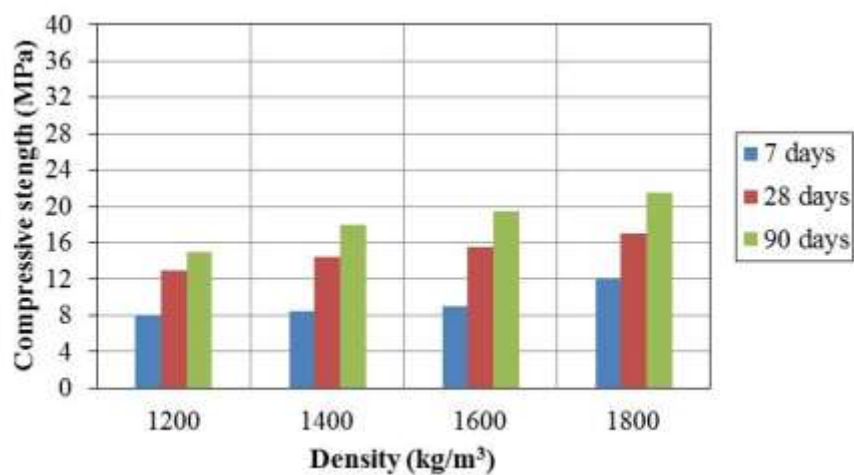
ในการออกแบบคอนกรีตมวลเบาควรคำนึงถึงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเป็นสำคัญ นอกจากนั้น ในการพัฒนาวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ต้องพิจารณาผลของความละเอียดของวัสดุปอซโซลาน เนื่องจากความละเอียดของวัสดุปอซโซลานส่งผลต่อการปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน อีกทั้งขนาดของมวลรวมละเอียด ซึ่งต้องใช้ให้เหมาะสมกับส่วนผสม และควรตรวจสอบหรือทดสอบหาขนาดละเอียด โมดูลัสความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน



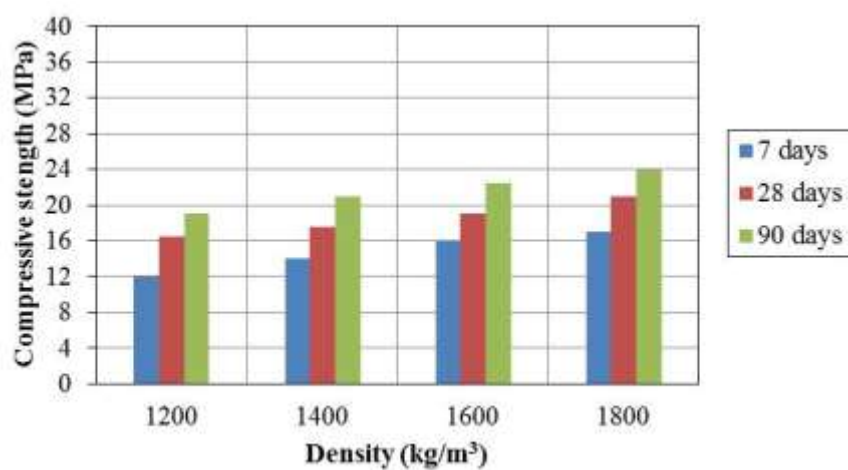
รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40



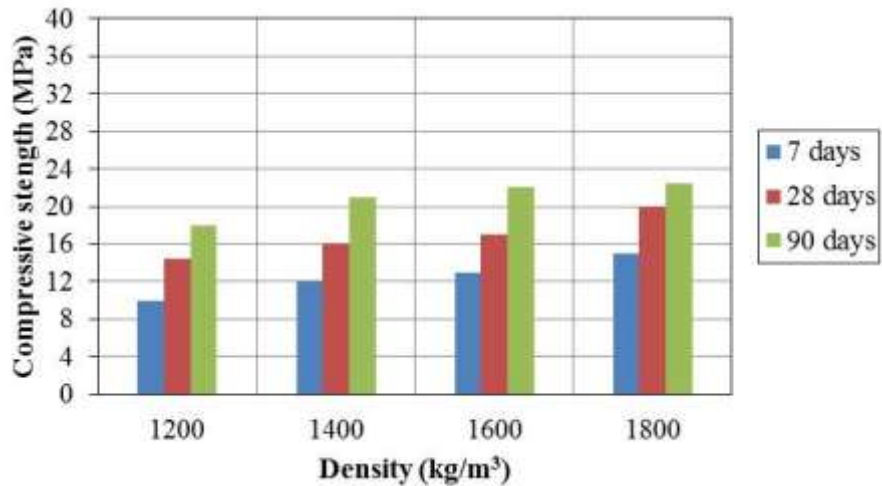
รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน
อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40



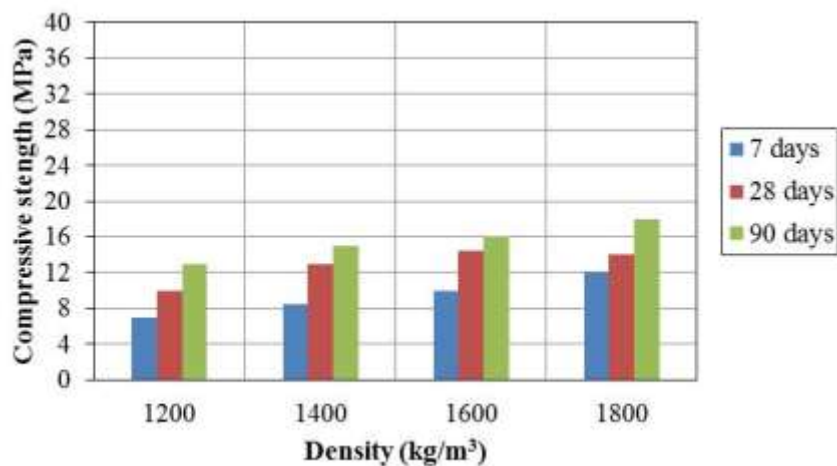
รูปที่ 4.3 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.40



รูปที่ 4.4 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.50



รูปที่ 4.5 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.50

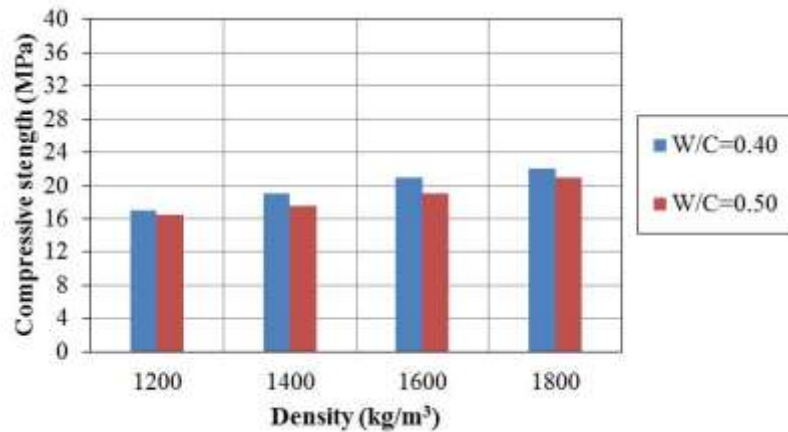


รูปที่ 4.6 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) = 0.50

4.5 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัด

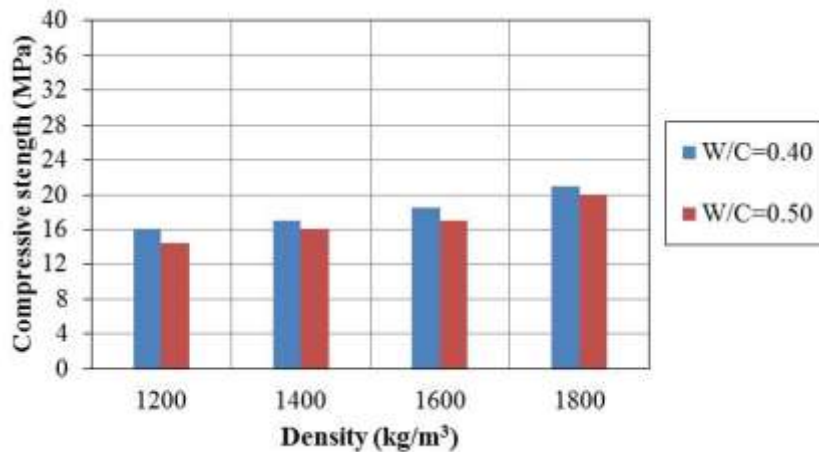
รูปที่ 4.7-4.9 แสดงผลการทดสอบอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสานตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ใช้อัตราส่วน

น้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.40 มีค่ากำลังอัดสูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ในทุกส่วนผสม การทดสอบนี้คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมาบางชิ้น (Qiao et al. 2008; กฤษณ์ กิ่งโก้, 2552) ดังนั้น ในการออกแบบคอนกรีต ควรพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมเป็นสำคัญ เนื่องจากส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา



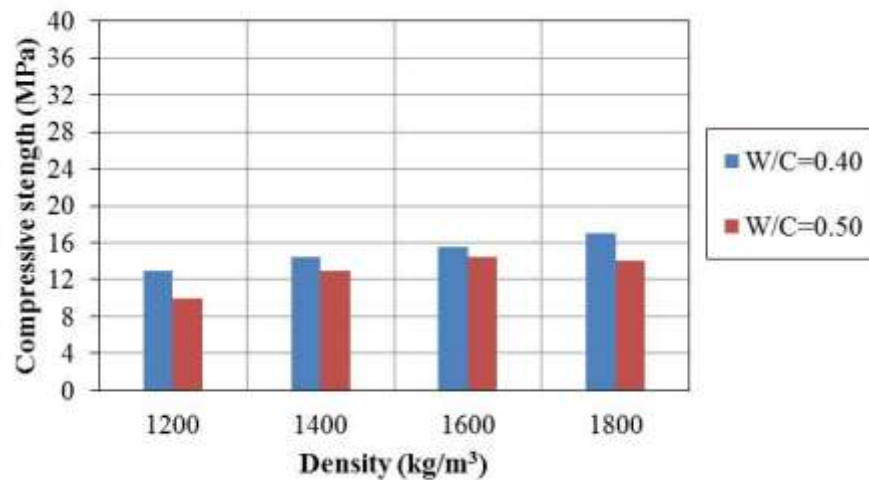
รูปที่ 4.7 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

แทนที่ด้วยเส้นแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.8 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

แทนที่ด้วยเส้นแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



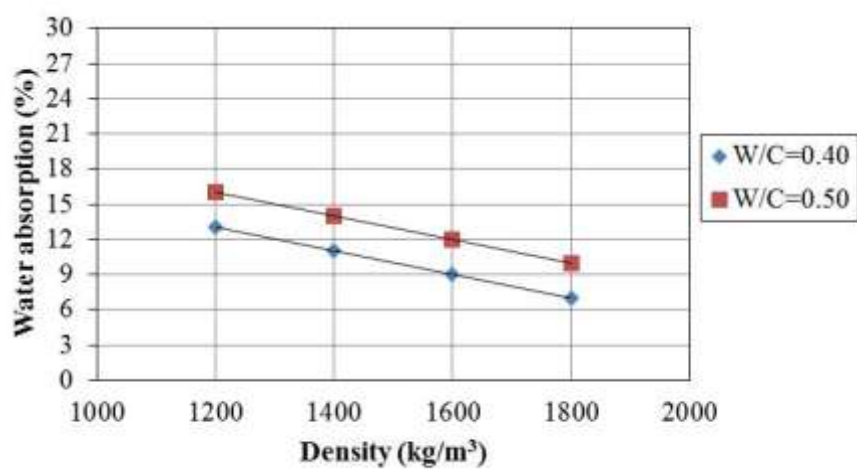
รูปที่ 4.9 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา
แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

4.6 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

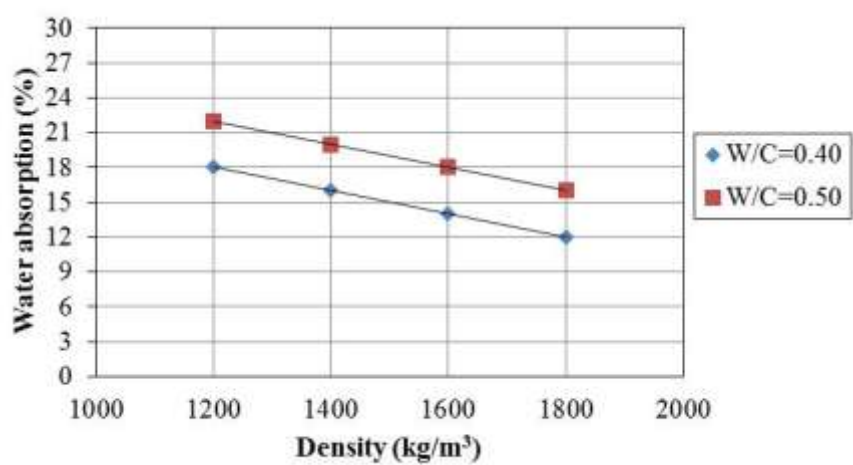
รูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา มีแนวโน้มลดลงตามค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ผลการทดสอบพบว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าการใช้ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 ในทุกส่วนผสม ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ เมื่อหน่วยน้ำหนักมากขึ้น กำลังอัดสูงขึ้นและค่าการดูดซึมน้ำลดลง

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่น้อยให้ค่ากำลังอัดที่สูงและค่าหน่วยน้ำหนักสูง การที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อยปริมาณฟองอากาศจะมากขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย (Qiao et al 2008)

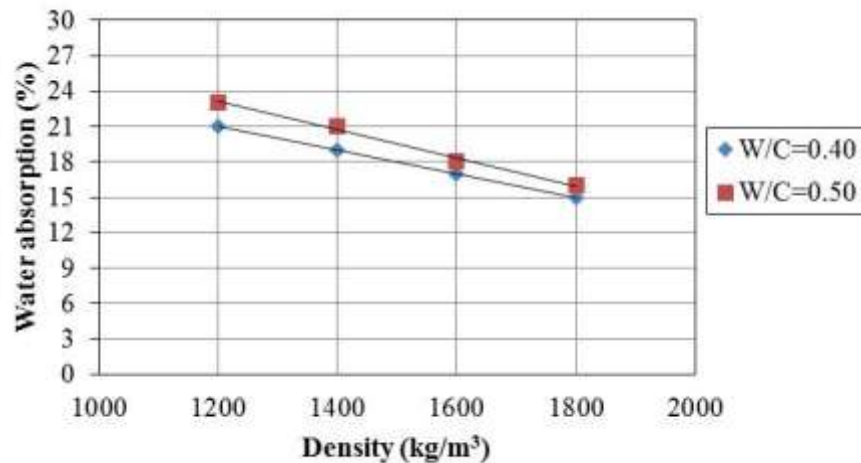
การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.12) ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้วัสดุปอซโซลาน จึงควรพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่ที่สำคัญ เนื่องจากอาจส่งผลต่อกำลังอัดที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 4.10 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.11 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



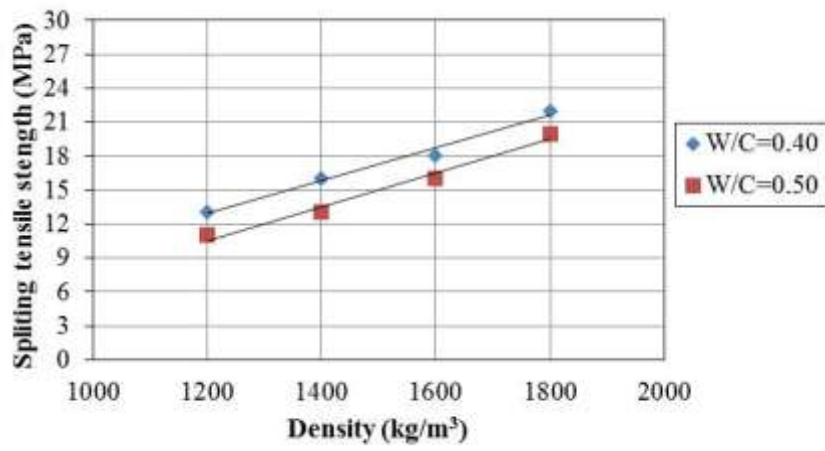
รูปที่ 4.12 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

4.7 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบา

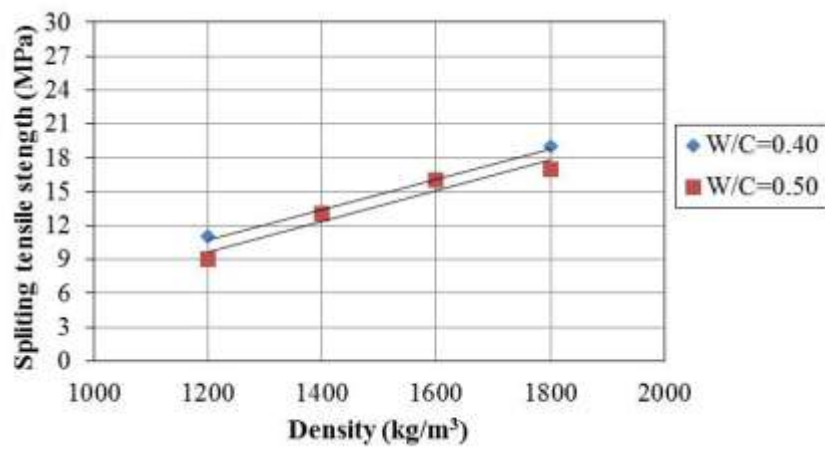
ผลการทดสอบกำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน แสดงในรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้มีค่าสูงขึ้นตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาในส่วนผสม กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้ที่ใช้อัตราส่วนต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.40 มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 เนื่องจากการใช้ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้คอนกรีตมีความพรุนมากขึ้นกำลังอัดจึงลดลง

ในรูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้ ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งพบว่า เมื่อกำลังอัดสูงขึ้นส่งผลให้ กำลังดึงของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้สูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดสอบครั้งนี้คล้ายกับงานวิจัย ของกฤษฎ์ กิ่งโก้ (2552) ซึ่งได้ศึกษาและพบว่ากำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบา มีค่าสูงขึ้นตามกำลังอัดที่สูงขึ้น

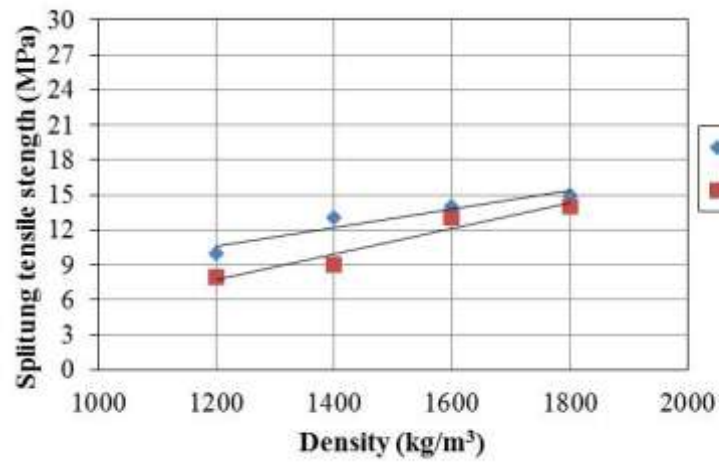
การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้ส่งผลให้กำลังดึงแยกลดลง กล่าวคือกำลังดึงแยกของการแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่ากำลังดึงแยกสูงตาม ด้วย การแทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ ดังนั้น ในการออกแบบ ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยการใช้ผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้แทนที่ปูนซีเมนต์ จึงต้องพิจารณาถึงปริมาณการ แทนที่เป็นสำคัญ



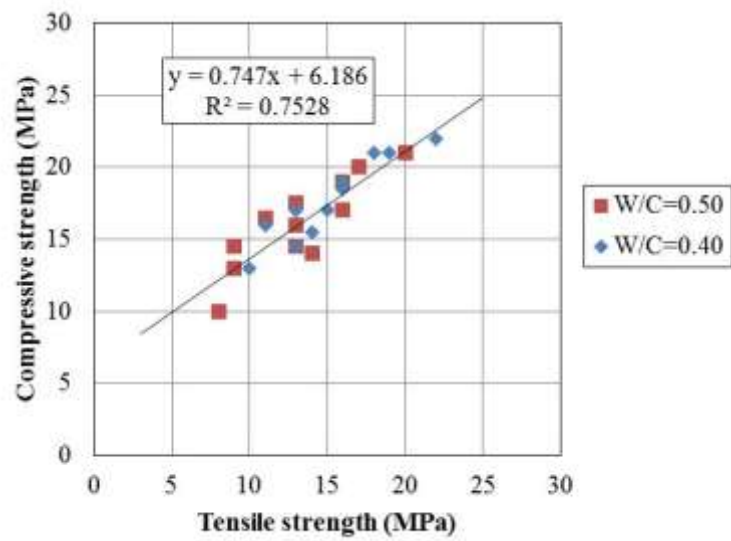
รูปที่ 4.13 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.14 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.15 กำลังดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



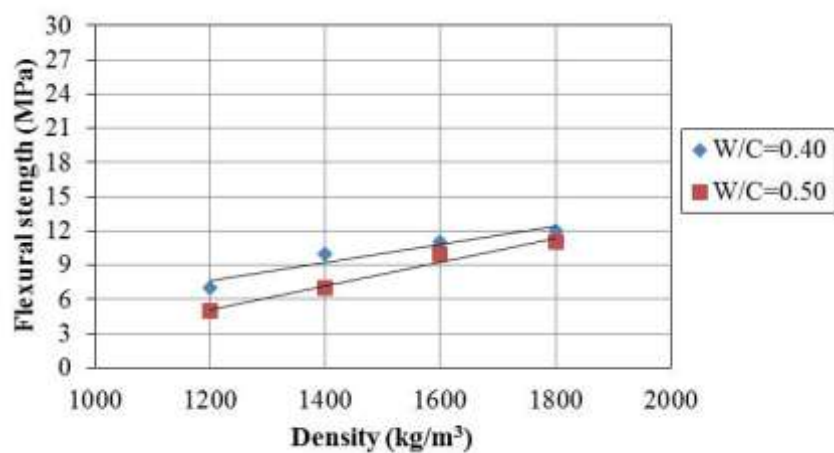
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแยกและกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้

4.8 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้ แสดงในรูปที่ 4.17-4.19 ซึ่งพบว่าเมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้ มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการต้านทานการอัดสูงขึ้นด้วย การใช้เถ้ากลบ-เปลือกไม้ แทนที่ปูนซีเมนต์ในทุกส่วนผสมและใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 พบว่ามีกำลังอัดสูงกว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50

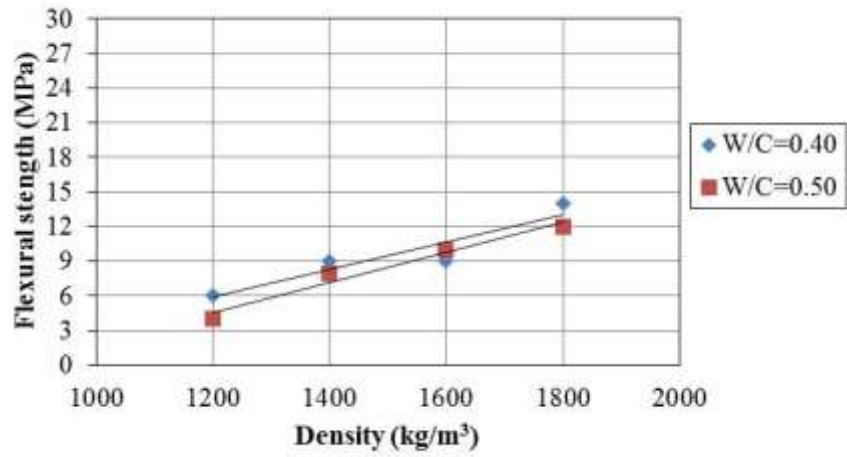
ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบ-เปลือกไม้ในปริมาณมากขึ้น พบว่าส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง ซึ่งทดสอบคล้ายกับผลการทดสอบกำลังอัดในหัวข้อข้างต้นต่างกันเพียงหน่วยของการวัดเท่านั้น ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้ากลบ-เปลือกไม้ มีแนวโน้มส่งผลให้กำลังอัดลดลงด้วย

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีความสำคัญต่อการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาในงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากพบว่าหากปริมาณน้ำมีมากเกินไปส่งผลให้กำลังอัดลดลง และฟองอากาศอาจมากขึ้นตามไปด้วย (Qiao et al. 2008) ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต จึงควรพิจารณาถึงปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้ากลบ-เปลือกไม้ เป็นสำคัญด้วย

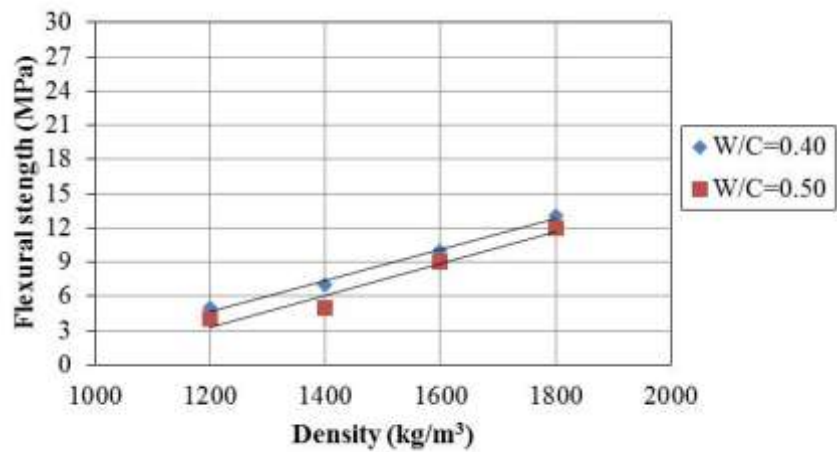


รูปที่ 4.17 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้ากลบ-เปลือกไม้

แทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.18 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน



รูปที่ 4.19 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้
แทนที่ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และแนวทางต่อการวิจัยอย่างต่อเนื่องในการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ สำหรับใช้ในงานคอนกรีตมวลเบา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาด้านวัสดุก่อสร้างของประเทศไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1) หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีค่าสูงส่งผลให้กำลังอัด กำลังดึงแยกสูงขึ้น และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีค่าสูงส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลง
- 2) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำส่งผลให้กำลังอัดมีค่าสูงขึ้น
- 3) การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังอัด กำลังดึงแยก และกำลังดัดลดลง อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น
- 4) เมื่อพิจารณาถึงการนำผลงานวิจัยหรือการนำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ไปใช้งานผลิตคอนกรีตมวลเบาจริง พบว่าที่อายุคอนกรีต 28 วัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มรคากำลังอัดสามารถใช้งานได้ตามกำลังอัดที่ต้องการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าคอนกรีตมีความพรุนอยู่ในตัวจึงไม่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคและความทนทานบางอย่างได้ เช่น การต้านคลอไรด์ เนื่องจากไม่สามารถอ่านค่าได้ อีกทั้งการ การศึกษาครั้งนี้ต่อไปอาจค้นคว้าวิธีการทดสอบด้านความทนทานต่อสารเคมี นอกจากนั้นอาจทดลองใช้วัสดุพอซโซลานชนิดอื่นๆ และเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น การนำความร้อน การป้องกันเสียง หรืออื่นๆ ที่เป็นการสร้างความมั่นใจให้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณ์ กิ่งโก้., 2552, คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมสารซูเปอร์ พลาสติไซเซอร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 105 หน้า.
- พัชรพล โพธิ์ศรี., 2552, การศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาแบบเซลลูโลสสำหรับงานโครงสร้าง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 86 หน้า.
- สำเร็จ รักซ้อน., 2555, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีกำลังและหน่วยแรงใช้งาน, แอ่งเกลือ ออฟไซ, พิมพ์ครั้งที่ 5: 426 หน้า.
- สำเร็จ รักซ้อน., ฉัตรชัย เขียวหิรัญ., นิโรจน์ เงินพรหม., 2551, การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), 118 หน้า.
- ASTM C618, 2005, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standard 04.02, 323-325.
- Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, D., Jaturapitakkul., C. 2007, Strength and water permeability of concrete containing palm oil fuel ash and rice husk-bark ash. Construction and Building Materials 21, 1492-1499.
- Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., Sirivivatnanon, V., 2004, Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar, Cement and Concrete Research, 34, 1087-1092.
- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., Chindaprasirt, P., 2011, Cellular lightweight concrete containing pozzolan material, Proceedia Engineering, 14, 1157-1164.
- Kayali, o., 2008, Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete, Construction and Building Materials, 22, 2393-2399.
- Kockal, N.U., Ozturan, T., 2011, Durability of lightweight concretes with lightweight fly ash aggregates, Construction and Building Materials, 25, 1430-1438.
- 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.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- 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.
- Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2014, Use of rice husk-bark ash in producing self-compacting concrete, *Advances in Civil Engineering*, 2014, Article ID 429727.
- Shannag, M.J., 2011, Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures, *Construction and Building Materials*, 25, 658-662.
- Tanyildizi, S., Coskum, A., 2008, The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, 22, 2669-2275.
- Yasar, E., Atis, C.D., Kilic, A., Gulsen, H., 2003, Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, *Materials Letters*, 57, 2267-2270.

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 อวุโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2555-2557
ผู้ร่วมวิจัยภายใต้ทุนเมธีวิจัย อวุโส	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	2557-2560

7.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่

7.2.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ (Full paper)

- 7.2.1.1 Chindaprasirt, P., **Rukzon, S.**, Sirivivatnanon, V., 2008, Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash, *Construction and Building Materials*, 22(5), 932-938.
- 7.2.1.2 Chindaprasirt, P., **Rukzon, S.**, Sirivivatnanon, V., 2008, Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar, *Construction and Building Materials*, 22(8), 1701-1707.
- 7.2.1.3 Chindaprasirt, P., **Rukzon, S.**, 2008, Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar, *Construction and Building Materials*, 22(8), 1601-1606.
- 7.2.1.4 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2008, Development of classified fly ash as a pozzolanic material, *Journal of Applied Sciences*, 8(6), 1097-1102.
- 7.2.1.5 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2008, Mathematical model of strength and porosity of ternary blend Portland rice husk ash and fly ash cement mortar, *Computers and Concrete*, 5(1), 75-88.
- 7.2.1.6 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2008, Use of waste ash from various by-product materials in increasing the durability of mortar, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 5(1), 75-88.
- 7.2.1.7 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., Mahachai, R., 2008, Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials (formally Journal of University of Science and Technology Beijing)*, 5(1), 75-88.
- 7.2.1.8 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2009, Use of disposed waste ash from landfills to replace Portland cement, *Waste Management and Research*, 27(6), 588-594.

- 7.2.1.9** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2009, Pore structure changes of blended cement paste containing fly ash, rice husk ash and palm oil fuel ash caused by carbonation, *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, 21(11), 666-671.
- 7.2.1.10** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2009, An experimental investigation of carbonation of blended Portland cement palm oil fuel ash mortar in indoor environment, *Indoor and Built Environment*, 18(4), 131-138.
- 7.2.1.11** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2009, Strength and chloride resistance of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash and fly ash, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials (formally Journal of University of Science and Technology Beijing)*, 16(4), 475-481.
- 7.2.1.12** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2009, Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing palm oil fuel ash and ground river sand, *Computers and Concrete*, 6(5), 391-401.
- 7.2.1.13** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2010, Strength and carbonation model of rice husk ash cement mortar with different fineness, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(3), 253-259.
- 7.2.1.14** Chindaprasirt, P., Chottitanorm C, **Rukzon, S.,** 2011, Use of palm oil fuel ash to improve chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, 23(4), 499-503.
- 7.2.1.15** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2011, Chloride penetration and corrosion resistance of ground fly ash blended cement mortar, *International Journal of Materials and Research*, 102(3), 335-339.
- 7.2.1.16** **Rukzon, S.,** Chindaprasirt, P., 2012, Use of bagasse ash in high-strength concrete, *Materials and Design*, 34, 45-50.

- 7.2.1.17 Chindaprasirt, P., **Rukzon, S.**, 2015, Strength and chloride penetration of Portland cement mortar containing rice husk ash and ground river sand, Materials and Structures, Has been accepted, online first (in press).
- 7.2.1.18 Chindaprasirt, P., Chottitanorm, C, Sata, V., **Rukzon, S.**, 2013, SathonsaowapHark, A., High calcium bottom ash geopolymer : sorptivity, pore size and resistance to sodium sulfate attack, Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE), 25(1), 105–111.
- 7.2.1.19 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2013, Strength, porosity and chloride resistance of mortar using combination of two kinds of the pozzolanic materials. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 20(8), 808-814.
- 7.2.1.20 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., Vanchai, S., Wongkongkeaw, w., 2013, The innovation of use of waste ash from agricultural by-product in concrete work, Journal of Applied Sciences Research 9,12, 6160-6164.
- 7.2.1.21 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2014, Strength and porosity of bagasse ash-based geopolymer mortar, Journal of Applied Sciences, 14(6), 586-591.
- 7.2.1.22 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2014, Use of ternary blend of Portland cement and two pozzolans to improve durability of high-strength concrete. KSCE Journal of in Civil Engineering, 18(6), 1745-1752.
- 7.2.1.23 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2014, Use of rice husk-bark ash in producing self-compacting concrete, Advances in Civil Engineering, 2014, Article ID 429727.
- 7.2.1.24 **Rukzon, S.**, Chindaprasirt, P., 2015, Physical properties of cement mortar containing waste ash, Applied Mechanics and Materials, 804, 129-132.

7.2.2 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ (Full paper)

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

7.2.3 ผลงานประชุมวิชาการต่างประเทศ (Proceedings)

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

7.2.4 ผลงานประชุมวิชาการในประเทศ (Proceedings)

- 7.2.4.1 Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2005, Strength and carbonation of Portland cement rice husk ash, Proceedings of 1st National Conference of Concrete and Geopolymer, Khon Kaen, October 31, 98-105.
- 7.2.1.2 Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2006, Effect of the fly ash fineness on carbonation. Proceeding of the 6th National Graduate Research Conference, Chulalongkorn University, Bangkok, October 13-14, 98-105.
- 7.2.1.3 Rukzon, S., 2005, Use of ground fly ash fineness in concrete work, Proceeding of The 10th National Convention on Civil Engineering (NCCE), Chonburi, May 2-4.
- 7.2.1.4 Rukzon, S., Chindaprasirt, P., 2008, A modification of ASTM C1202 for rapid test for sulfate ingress, Proceedings of 2nd National Conference of Concrete and Geopolymer, Khon Kaen, September 25-26, 98-105.
- 7.2.1.5 ชัยชาญ โชติถนอม, ปริญญา จินดาประเสริฐ, สำเริง รักซ้อน, วันชัย สะตะ, อาภา สอนเสาวภาคย์, 2555, ความสามารถต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังไว้ในจีโอโพลีเมอร์แผ่นกัน, งานประชุมวิชาการคอนกรีต ครั้งที่ 8, ชลบุรี, 22-24 ตุลาคม 2555.
- 7.2.1.6 ชัยชาญ โชติถนอม, ปริญญา จินดาประเสริฐ, สำเริง 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 มีเก้าถ่านหินแยกขนาดผสมรวมกับเก้าชาน อ้อยบด Petty Patent No. 7957”
- 7.4.2 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “วัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ มีเก้าถ่านหินผสมรวมกับเก้าเกลบ-เปลือกไม้ Petty Patent No. 7958”
- 7.4.3 สิ่งประดิษฐ์ เรื่อง “เครื่องบดวัสดุซีเมนต์จากเก้าทั้ง 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 Na₂O/Al₂O₃ and SiO₂/Al₂O₃ ratios, *Materials Science and Engineering A*, 2011,25(8), 6616-6623.
58. V. Sata, P. Khammathit, P. Chindaprasirt, Efficiency factor of high calcium Class F fly ash in concrete, *Computers and Concrete*, 2011,8(5),583-595
59. K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, P. Chindaprasirt, Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials, *Procedia Engineering*, 2011, pp. 1157-1164

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

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

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

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