



รายงานฉบับสมบูรณ์

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับ
วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

Hollow Non-Load-Bearing Concrete Block Products from Fragments
of Ceramic Tiles for Small and Medium Enterprises

โดย นายประชุม คำพุด

กันยายน 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0089

รายงานฉบับสมบูรณ์

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับ
วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

Hollow Non-Load-Bearing Concrete Block Products from Fragments
of Ceramic Tiles for Small and Medium Enterprises

คณะผู้วิจัย

นายประชุม คำพุฒ

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับ
วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

(ภาษาอังกฤษ) Hollow Non-Load-Bearing Concrete Block Products from Fragments
of Ceramic Tiles for Small and Medium Enterprises

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล นายประชุม คำพุดม
หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ที่อยู่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2549 3410 / 0 2549 3412
E-mail: choomy_gtc@hotmail.com

งบประมาณทั้งโครงการ 500,000 บาท ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ สามารถทำรายได้ให้กับประเทศสูงถึงปีละ 24,000 ล้านบาท โดยโรงงานเซรามิกส่วนใหญ่ตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือ โดยเฉพาะจังหวัดลำปาง และยังมีกระจายอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศไทย ทั้งโรงงานเซรามิกขนาดเล็กและขนาดใหญ่ มีเศษเซรามิกเหลือทิ้งที่เรียกว่า "แวร์แตก" อยู่เป็นจำนวนมาก และมีปัญหาในการกำจัดทิ้งเนื่องจากมีความคมเป็นอันตรายและมีเนื้อที่แข็งมาก ซึ่งจากลักษณะที่แข็งแรงและความเป็นเหลี่ยมคมนั้นนับว่าเป็นข้อดีเมื่อนำไปบดย่อยให้มีความละเอียดที่พอเหมาะ จึงมีความสอดคล้องและเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมสำหรับใช้ทดแทนมวลรวมปกติคือหินฝุ่นหินปูนในการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนัก และเนื้อของเซรามิกที่ผ่านการเผาแล้วก็มีความเป็นไปได้อีกที่จะช่วยให้วัสดุก่อสร้างนั้นมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้นได้ โดยวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมกับการนำมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยเพิ่มการออกแบบคอนกรีตบล็อกให้มีสีสนในตัวเองและไม่ต้องการการก่อ-ฉาบ ก็จะเป็นข้อเด่นของผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนในการผลิตได้เป็นอย่างดี

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง เป็นวัสดุก่อผนังที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ ทราย หินฝุ่น และน้ำ มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ผู้ผลิตคอนกรีตบล็อกส่วนใหญ่เป็นวิสาหกิจชุมชน ชาวบ้าน และโรงงานขนาดเล็ก ผลิตด้วยใช้เครื่องจักรที่สร้างได้เองภายในประเทศ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเศษเซรามิกที่แตกหักเสียหาย พบว่าเศษเซรามิกมีการแตกเป็นเหลี่ยมคม ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามลักษณะมวลรวมที่ดีในการผสมคอนกรีต เมื่อนำไปบดย่อยให้มีขนาดเท่ากับมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตก็สามารถช่วยให้คอนกรีตรับกำลังได้ และข้อดีอีกประการหนึ่ง คือการที่เซรามิกมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ามวลรวมปกติ คือ ทรายและหิน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะได้

นวัตกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากการที่นำเศษเซรามิกที่บดย่อยแล้วไปผสมทดแทนมวลรวมปกติทั้งทรายและหิน

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) เป็นวิสาหกิจขนาดย่อมที่ทำการผลิตนวัตกรรมเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือวัสดุก่อสร้างสีเขียวเป็นหลัก และได้ร่วมมือกับพันธมิตรในเครือข่ายในการผลิตนวัตกรรมต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันได้ร่วมมือกับ บริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทฯ ที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการก่อสร้าง การขนส่งวัสดุชีวมวลให้กับโรงงานไฟฟ้า การขนส่งไม้โตเร็วให้กับโรงงานกระดาษ และขนส่งวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดทิ้ง ซึ่งหนึ่งในวัสดุที่ทางบริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด ขนส่งไปกำจัดทิ้ง คือ เศษเซรามิกจากโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก อาทิเช่น ถ้วยจาน ชาม แจกัน สุขภัณฑ์ ฯลฯ และเศษเซรามิกจากการรื้อทุบทิ้งปรับปรุงอาคาร ทั้งกระเบื้องบุผนัง ปูพื้น โถส้วม อ่างอาบน้ำ สุขภัณฑ์ต่าง ๆ ฯลฯ มีปริมาณเฉลี่ยเดือนละ 300-500 ตัน ซึ่งสามารถนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกได้ถึง 100,000 ก้อนต่อเดือน ใช้จำหน่ายเพื่อก่อสร้างบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ราคาประมาณหลังละ 2-4 ล้านบาท ได้ถึง 25 หลังต่อเดือน (บ้าน 1 หลัง ใช้คอนกรีตบล็อกประมาณ 2,000-4,000 ก้อน) ในการนี้บริษัท ได้เล็งเห็นประโยชน์จากลักษณะของเซรามิกเป็นเหลี่ยมคมน่าสนใจในการนำมาบดย่อยและทำเป็นมวลรวมในการผสมคอนกรีตดังที่กล่าวมาแล้ว

ในงานวิจัยครั้งนี้ประโยชน์สูงสุดที่ตั้งไว้จากการวิจัย คือการนำเศษกระเบื้องเซรามิกมารีไซเคิลและนำมาใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาและพัฒนากรรมวิธีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา โดยเพิ่มจุดเด่นในการผสมสีลงไปในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก สำหรับเป็นสินค้าของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) บริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด ที่มีจุดเด่นด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เป็นวัสดุสีเขียวในงานก่อสร้าง และถ่ายทอดให้กับวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในเครือข่ายพันธมิตร ในอันที่จะประสานความร่วมมือกันอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและผสมสีเพื่อเพิ่มมูลค่า สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม
2. เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม
3. เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม
4. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานโครงการวิจัย "ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม" สามารถสรุปได้เป็น 4 ข้อ ตามวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 1.) ได้ผลดังนี้

การดำเนินงานวิจัย ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ได้ทำการทดลองออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น โดยใช้เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย

ทดแทนหินฝุ่นหินปูนทั้งหมด กำหนดอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปกติสำหรับใช้เทียบ คือ ปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูน เท่ากับ 1:9 โดยน้ำหนัก และใช้เศษเซรามิกบดย่อยทดแทนหินฝุ่นหินปูนเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1:7, 1:8, 1:9, 1:10, 1:11, 1:12 และ 1:13 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากันที่ 0.6 ทำการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดบล็อกแบบสั่นเขย่า ได้เป็นก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด $7 \times 19 \times 39$ ซม. บ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในร่มที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน นำไปทำการทดสอบสมบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.58-2533

2. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 2.) ผลการทดสอบพบว่า

2.1 ผลการทดสอบสมบัติเฉพาะเบื้องต้นของวัสดุผสม พบว่าเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยมีค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลให้คอนกรีตบล็อกที่ใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมมีน้ำหนักต่อน้ำหนักที่เบาลง ความหนาแน่นลดลง จึงทำให้รับกำลังได้น้อยลงกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ ส่วนสมบัติของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูนแสดงว่ามีความละเอียดมากกว่า จึงมีความต้องการน้ำในปริมาณที่สูงกว่า ประกอบกับร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูนมาก จึงส่งผลให้การกำหนดอัตราส่วนปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกต้องสูงมากกว่าปกติ อีกทั้งร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยนั้นก็ยิ่งส่งผลให้คอนกรีตบล็อกมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย

2.2 ผลการทดสอบสมบัติตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ประกอบด้วย ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป ของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเศษเซรามิกบดย่อย พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด คือ มีมิติไม่คลาดเคลื่อน มีความหนา ความเรียบ ได้ฉาก และมีขอบคม ไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว เช่นเดียวกันกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นหินปูน ส่วนความต้านทานแรงอัดที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 25 กก./ตร.ซม. พบว่าอัตราส่วนที่ผ่านตามข้อกำหนดเมื่อใช้เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ต่อ เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย ต่อ น้ำประปา เท่ากับ 1 : 9 : 0.6 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงอัด 2.59 เมกะพาสคัล

2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านอื่น ๆ ที่ไม่ได้ถูกกำหนดตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ประกอบด้วย ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเศษเซรามิกบดย่อยมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูนซึ่งเมื่อนำไปผสมเป็นมวลรวมในคอนกรีตบล็อกจึงส่งผลให้คอนกรีตบล็อกมีค่าการดูดซึมน้ำสูงมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งการผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นทำให้มีช่องว่างในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้นจากการที่ซีเมนต์เฟสต์เข้าไปเคลือบผิวของเศษเซรามิกบดย่อยได้ไม่ทั่วถึง น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปอยู่ในช่องว่างของเนื้อคอนกรีตบล็อกและมีบางส่วนก็ถูกดูดเข้าไปในเนื้อของเศษเซรามิกบดย่อยอีกด้วย เมื่อคอนกรีตบล็อกเกิดการแห้งตัวก็ส่งผลต่อค่าของการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรเป็นไปในลักษณะที่ไม่มากนักจึงถือว่าไม่มีผลต่อการทำงานเมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยไปใช้งานก่อ-ฉาบผนัง ส่วนปริมาณการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นมากตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นก็ยังไม่ถึงร้อยละ 25 ที่เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภท 1 กำหนดไว้ จึงไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาการดูดน้ำของปูนฉาบแต่อย่างใด ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มต่ำลงก็เป็นไปตามแนวทางของวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อย โดยที่

อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.234 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูนเท่ากับ 1:9 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 0.336 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน

3. ผลการทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 3.) ผลการทดสอบพบว่า

3.1 การทดสอบสภาพการใช้งานจริง ได้นำคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 มาทำการก่อสร้างเป็นอาคารจำลองขนาด $3 \times 3 \times 3$ ลบ.ม. โดยทำการทดสอบ การเลื่อย ตัด เจาะ ตอก ก่อผนัง พบว่าสามารถปฏิบัติงานได้ด้วยเครื่องมือช่างปกติทั่วไปเหมือนคอนกรีตบล็อกปกติ เมื่อสร้างเสร็จแล้วทำการทดสอบการซึมผ่านน้ำจากผนังด้านนอกเข้าสู่ด้านในอาคาร และวัดอุณหภูมิภายในอาคารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยมีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกปกติ ถึงประมาณ 2 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยที่มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ ดังนั้นเมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยไปใช้ในการก่อสร้างจะส่งผลให้ประหยัดพลังงานภายในอาคารลงได้

3.2 การคิดวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติตามท้องตลาด ได้ดำเนินการร่วมกับผู้ประกอบการ โดยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 ส่วนคอนกรีตบล็อกปกติใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูนเท่ากับ 1:9 เช่นเดียวกัน โดยคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ ใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน คือ 0.6 กำหนดวิธีการผสมอัตราส่วนทั้งหมดใช้การชั่งน้ำหนัก พบว่าการใช้เศษเซรามิกบดย่อยนั้นเมื่อรวมค่าขนส่งและใช้จ่ายในการบดย่อยร่อนแยกขนาดแล้วมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการใช้มวลรวมจากหินฝุ่นหินปูนในการผลิตคอนกรีตบล็อกแบบปกติอยู่ร้อยละ 3.37 ซึ่งเมื่อจำหน่ายในราคาเท่ากันที่ก้อนละ 6-8 บาท ก็สามารถทำกำไรได้มากกว่า แสดงว่าเศษเซรามิกบดย่อยสามารถใช้ทดแทนหินฝุ่นหินปูนได้ดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า อีกทั้งการที่คอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยมีน้ำหนักที่เบาว่าคอนกรีตปกติก็ทำให้ลดต้นทุนในการขนส่งลงได้ และเมื่อทำการฉาบผิวหน้าเพื่อป้องกันการซึมน้ำโดยใช้ปูนกาวจะเสกิมโค้ท 16 ส่วน ต่อ สีฝุ่น (แดง เหลือง ฟ้า เขียว ขาว) 1 ส่วน โดยน้ำหนัก พบว่าต้นทุนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นก้อนละ 1.55-1.86 บาท โดยประมาณ ซึ่งสีขาวมีต้นทุนต่ำที่สุดรองลงไปเป็นสีแดง สีเหลือง สีฟ้า และสีเขียว มีต้นทุนสูงสุดตามลำดับ แต่ก็ถือว่าไม่ต่างกันมากนัก โดยสามารถตั้งราคาขายส่งได้ไม่ต่ำกว่าก้อนละ 10 บาท จากโรงงาน สามารถมีส่วนต่างของกำไรมากขึ้น และผู้บริโภคก็มีความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำงานมากขึ้น คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยจึงคุ้มค่าแก่การลงทุนทั้งแบบฉาบผิวหน้าและไม่ฉาบผิวหน้า

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี ให้กับกลุ่มเป้าหมาย (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 4.) ดำเนินการดังนี้

การถ่ายทอดเทคโนโลยีจากองค์ความรู้ของงานวิจัยได้ทำการถ่ายทอดให้กับภาคเอกชนที่เข้าร่วมสนับสนุนโครงการวิจัยโดยการจัดอบรมให้กับบุคลากร พนักงาน ของโรงงานที่ผลิตวัสดุก่อสร้าง ทั้งขั้นตอนการบดย่อยกระเบื้องเซรามิก การกำหนดอัตราส่วนผสม การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มอก. และมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนทำการขยายผลถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ที่สนใจทั่วไป อีกทั้งได้ดำเนินการจัดนิทรรศการร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ และนำผลงานวิจัยไปประกวดในเวทีระดับนานาชาติเพื่อเผยแพร่ให้กับประชาชนทั่วไปทั้งภายในประเทศและต่างประเทศได้ทราบถึงนวัตกรรมใหม่ของประเทศไทย ในด้านวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการนำเศษกระเบื้องเซรามิกที่เหลือทิ้งจากโรงงานมาบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. เป็นมวลรวมทดแทนหินฝุ่นหินปูน ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น โดยทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและวิธีการทำสีของคอนกรีตบล็อกให้มีต้นทุนที่ต่ำ กำหนดอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปกติสำหรับใช้เทียบ คือ ปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูน เท่ากับ 1:9 โดยน้ำหนัก กำหนดอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย คือ ปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:7, 1:8, 1:9, 1:10, 1:11, 1:12 และ 1:13 โดยน้ำหนัก โดยคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากันที่ 0.6 ทำการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดบล็อกแบบสั่นเขย่า ได้เป็นก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด $7 \times 19 \times 39$ ซม. บ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในร่มที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน นำไปทำการทดสอบสมบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.58-2533 ประกอบด้วย ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป และความต้านทานแรงอัด และทำการทดสอบสมบัติด้านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กำหนดไว้ แต่ทำการทดสอบเพื่อใช้วิเคราะห์ผล ประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร และทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดมาทำการทดสอบอุณหภูมิภายในห้องจำลอง การทดสอบการใช้งานในสถานที่จริง และคำนวณต้นทุนการผลิต เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการนำไปใช้เชิงพาณิชย์

ผลจากทดสอบพบว่า การใช้เศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกันปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสมบัติเฉพาะของเศษเซรามิกบดย่อยที่มีความความฉ่ำเฉพาะ หน่วยน้ำหนัก ที่ต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูน ส่วนการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูน อีกทั้งการผสมมวลรวมที่เป็นเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณมากเกินไปส่งผลให้น้ำที่ทาปฏิกิริยาไฮเดรชันกับ ปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานไม่เพียงพอจากการที่น้ำต้องถูกดูดซึมเข้าไปในมวลรวม เคลือบผิวมวลรวม และแทรกในช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากผลการทดสอบสมบัติตาม มอก. ดังกล่าว สามารถเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมมาทำการทดสอบการใช้งานจริงเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ ได้เป็นอัตราส่วน 1:9 ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปกติด้วย โดยมีค่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 2.59 เมกะพาสคัล (ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล) ความหนาแน่น 1,651.53 กก./ลบ.ม. ปริมาณความชื้นร้อยละ 1.26 การดูดซึมน้ำร้อยละ 10.67 การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรร้อยละ 1.146 และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.234 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน นำไปทำการทดสอบการใช้งาน การเลื่อย ตัด เจาะ ตอก ก่อผนัง ได้ด้วยเครื่องมือช่างปกติทั่วไป โดยก่อสร้างเป็นห้องจำลองการทดสอบขนาด $3 \times 3 \times 3$ ลบ.ม. เพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ พบว่าคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยที่มีเศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติประมาณ 2 องศาเซลเซียส เมื่อนำคอนกรีตบล็อกเศษเซรามิกบดย่อยไปฉาบผิวหน้าแบบบาง ๆ ด้วยปูนกาวจะระเซ็กซ์มีโค้ทผสมสีฝุ่นในอัตราส่วน 16:1 โดยน้ำหนัก ก็สามารถป้องกันการซึมน้ำได้และให้สีสันทึบสวยงาม ดังนั้นคอนกรีตบล็อกที่ผสมเศษเซรามิกบดย่อยเมื่อออกแบบให้ก้อนคอนกรีตบล็อกสามารถก่อเรียงกันได้โดยใช้เพียงการยาแนวหรือซิลิโคน การฉาบสีที่ผิวหน้า จึงมีสมบัติผ่านตามมาตรฐานกำหนด และมีต้นทุนต่ำ สามารถใช้งานได้เหมือนกับคอนกรีตบล็อกปกติ ซึ่งนอกจากเป็นการลดขยะเซรามิกเหลือทิ้งด้วยการเพิ่มมูลค่าแล้ว ยังมีข้อดีที่สามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้นได้ อีกทั้งยังเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ข้อเสนอแนะแบ่งออกเป็นข้อเสนอแนะในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ ด้านเทคโนโลยี ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ด้านธุรกิจ และด้านนโยบาย โดยได้ให้ข้อเสนอแนะดังนี้

1. ด้านวิชาการ ผลจากงานวิจัยนี้สามารถได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนที่เหมาะสม และกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ใช้เศษเซรามิกเหลือทิ้งบดย่อยเป็นส่วนผสม โดยนำไปเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ และนำมาใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยเสนอแนะให้ใช้เศษเซรามิกเหลือทิ้งจากหลายแหล่งด้วยกันมาทำการเปรียบเทียบ เนื่องจากแต่ละที่แต่ละโรงงานจะมีสูตรผสมที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยด้วย อีกทั้งยังสามารถศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทอื่น ๆ เช่น คอนกรีตบล็อกแบบรับน้ำหนัก อิฐบล็อกประสาน คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คอนกรีตบล็อกปูพื้น หรือคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น เพื่อให้สามารถนำเศษเซรามิกเหลือทิ้งไปใช้งานให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวางมากขึ้น

2. ด้านเทคโนโลยี ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้เทคโนโลยีในการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดแบบสั่นเขย่ากึ่งอัตโนมัติโดยใช้เท้าเหยียบสำหรับการทดลองเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ และปรับส่วนผสมให้ดีขึ้นด้วยการปรับปริมาณความชื้นให้เหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกของโรงงานวัสดุก่อสร้างที่ร่วมวิจัย ซึ่งสูตรที่ได้ไม่แตกต่างกันเนื่องจากลักษณะเครื่องจักรมีความใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากวิสาหกิจชุมชนนำไปใช้กับเครื่องอัดแบบตำมือที่มีราคาถูกลงจะต้องทำการปรับปริมาณความชื้นของมวลรวมใหม่ให้สามารถทำงานได้ และถอดแบบก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกออกมาได้อย่างไม่แตกหักหรือเสียหาย ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป

3. ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม การใช้ประโยชน์จากเศษเซรามิกเหลือทิ้งเป็นการช่วยลดปริมาณเศษขยะเหลือทิ้งจากโรงงานที่เป็นขยะที่มีความเสี่ยงก่อให้เกิดอันตราย จึงช่วยลดปัญหาของสิ่งแวดล้อม ทำให้ชุมชนที่อยู่บริเวณในพื้นที่มีสุขภาวะที่ดี และหากชุมชนสามารถสร้างรายได้เพิ่มจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ก็จะช่วยให้มีชุมชนมีความเป็นอยู่ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดผลกระทบในด้านบวกต่อสังคมโดยรวม

4. ด้านธุรกิจ นอกจากงานวิจัยนี้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเศษเซรามิกเหลือทิ้งของโรงงาน โดยการนำไปใช้ประโยชน์ในงานวัสดุก่อสร้างแล้ว ยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายวัสดุก่อสร้างอีกด้วย และหากนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นในอนาคตก็จะเป็นชุดผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างจากเซรามิกที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้

5. ด้านนโยบาย ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำเสนอเป็นข้อมูลให้กับองค์กรปกครองท้องถิ่นใช้เป็นนโยบายในการบริหารจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานในเขตพื้นที่ที่รับผิดชอบ อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางส่งเสริมการสร้างอาชีพให้กับวิสาหกิจชุมชน ในการผลิตวัสดุก่อสร้างจากวัสดุเหลือทิ้งได้

ผลงานทางวิชาการที่ดำเนินการสำเร็จ

1. บทความการประชุมสัมมนาทางวิชาการ จำนวน 2 ครั้ง
2. การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย จำนวน 2 ครั้ง
3. การประกวดผลงานทางวิชาการ จำนวน 1 ครั้ง
4. การจัดงานนิทรรศการร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ/เอกชน จำนวน 2 ครั้ง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต (2) ทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (3) ทดสอบการใช้งานจริง และ (4) ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี ให้กับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม โดยการนำเศษกระเบื้องเซรามิกที่เหลือทิ้งจากโรงงานมาบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. เป็นมวลรวมทดแทนหินฝุ่นหินปูน ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและวิธีการทำสีของคอนกรีตบล็อกให้มีต้นทุนที่ต่ำ กำหนดอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปกติสำหรับใช้เปรียบเทียบ คือ ปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูน เท่ากับ 1:9 โดยน้ำหนัก กำหนดอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย คือ ปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:7, 1:8, 1:9, 1:10, 1:11, 1:12 และ 1:13 โดยน้ำหนัก โดยคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากันที่ 0.6 ทำการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดบล็อกแบบสั่นเขย่า ได้เป็นก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด $7 \times 19 \times 39$ ซม. บ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในร่มที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน นำไปทำการทดสอบสมบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.58-2533 ประกอบด้วย ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป และความต้านทานแรงอัด และทำการทดสอบสมบัติด้านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กำหนดไว้ แต่ทำการทดสอบเพื่อใช้วิเคราะห์ผล ประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร และทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดมาทำการทดสอบอุณหภูมิภายในห้องจำลอง การทดสอบการใช้งานในสถานที่จริง และคำนวณต้นทุนการผลิตเพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการนำไปใช้เชิงพาณิชย์

ผลจากทดสอบพบว่า ขั้นตอนในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสามารถทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการและเครื่องจักรปกติทั่วไป การใช้เศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกันปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบสมบัติตาม มอก.58-2533 ดังกล่าว สามารถเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมมาทำการทดสอบการใช้งานจริง ได้เป็นอัตราส่วน 1:9 ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปกติด้วย โดยมีค่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 2.59 เมกะพาสคัล ความหนาแน่น 1,651.53 กก./ลบ.ม. ปริมาณความชื้นร้อยละ 1.26 การดูดซึมน้ำร้อยละ 10.67 การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรร้อยละ 1.146 และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.234 วัตต์/ม.-องศาเซลเซียส นำไปทำการทดสอบการใช้งาน การเลื่อย ตัด เจาะ ตอก ก่อผนัง ได้ด้วยเครื่องมือช่างปกติทั่วไป โดยก่อสร้างเป็นห้องจำลองการทดสอบขนาด $3 \times 3 \times 3$ ลบ.ม. เพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบพบว่าคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยที่มีเศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติประมาณ 2 องศาเซลเซียส เมื่อนำคอนกรีตบล็อกเศษเซรามิกบดย่อยไปฉาบผิวหน้าแบบบาง ๆ ด้วยปูนกาวจะซึ่ซึมก็ค้ำคัผสมสีฝุ่นในอัตราส่วน 16:1 โดยน้ำหนัก ก็สามารถป้องกันการซึ่ซึมน้ำได้และให้สีที่สวยงาม ดังนั้นคอนกรีตบล็อกที่ผสมเศษเซรามิกบดย่อยเมื่อออกแบบให้ก้อนคอนกรีตบล็อกสามารถก่อเรียงกันได้โดยใช้เพียงการยาแนวหรือซิลิโคน การฉาบสีที่ผิวหน้า จึงมีสมบัติผ่านตามมาตรฐานกำหนด และมีต้นทุนต่ำ สามารถใช้งานได้เหมือนกับคอนกรีตบล็อกปกติ โดยสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทที่ร่วมวิจัย ตลอดจนวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมที่เกี่ยวข้องให้นำไปขยายผลผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

Abstract

This research aims to (1) study the steps and find suitable ratios for production; (2) test physical properties, mechanical properties and thermal conductivity; (3) test the actual applications and (4) distribute the technology production of non-load bearing concrete blocks from ceramic fragments grinded and mixed with colour for small and medium enterprises by removing the remaining ceramic tile waste from the factory crushed through the sieve size 8 mm as aggregates replaced of limestone and dust stone in production of non-load bearing concrete block type 2, non-load bearing concrete block without humidity control. Determine the optimal ratio and colouring method of concrete blocks with low cost and determine the suitable ratio for normal concrete block for comparison. Using Cement against crushed ceramic fragments is 1: 7, 1: 8, 1: 9, 1: 10, 1:11, 1:12 and 1:13 by weight. Both concrete blocks used the same water to cement ratio (w/c) at 0.6. forming concrete block samples size 7 x 19 x 39 cm by electric vibration concrete mixer and curing concrete block at the age of 7, 14, 21 and 28 days for testing the properties in accordance with TIS 58-2533 standards, including size and tolerance criteria, general characteristics and compressive strength and testing other undefined properties. The test was used for result analysis included of density, humidity content, water absorption, volumetric changes and testing thermal conductivity in accordance with ASTM C518. Choosing the most suitable ratio for temperature testing in the simulation room and testing usability in real location and calculating the cost of production to consider the value for commercial use.

The testing results showed that the process of forming concrete blocks from research can be done by conventional process and machinery. Using the greater amount of ceramic waste affected to reduction of the compressive strength, the density and the thermal conductivity, conversely the humidity quantity, water absorption and volumetric changes tend to increasing. From the testing results followed by TIS 58-2533, the appropriate ratio for the actual use testing is 1:9 which was equal with normal concrete block testing and the compressive strength at 28 days was 2.59 MPa, density was 1,651.53 kg/m³, humidity quantity was 1.26%, water absorption was 10.67%, volume variation was 1.146% and thermal conductivity 0.234 W/m - Kelvin degree. For usability test, the testing room size 3 x 3 x 3 m could be constructed by the forming wall with sawing, hammering, wall punching machine with normal tools for the temperature inside room test. From the research the concrete blocks with crushed ceramic fragments as aggregates had the highest average temperature lower than the normal concrete block approximately 2 degrees Celsius. When the concrete blocks mixed with crushed ceramic fragments was gently glazed by mixed powder coating adhesive plaster on surfaces with ratio 16: 1 by weight, it showed the beautiful colour and could be prevented from water permeability. Therefore, the concrete blocks mixed with the crushed ceramic fragments, when the concrete block forming design can be performed by using only grout or silicone and glazing with colour on surface, had the enough properties as standard and low cost. Moreover this concrete block could be similarly used as normal concrete blocks. The technology from this research could be transferred to the participated research companies and small and medium enterprises could expand the product and distribute commercially.

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ

บทที่ 1	บทนำ	1
1.1	ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	2
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	6
1.5	กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัย	7
1.6	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	8
1.7	วิธีการดำเนินการวิจัย	13
1.8	แผนงานโครงการ	15

บทที่ 2	ทฤษฎี	16
2.1	กระเบื้องเซรามิก	17
2.2	คอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบา	19
2.3	คอนกรีตบล็อก	20
2.4	สมมติฐาน	22

บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	23
3.1	วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน	24
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงาน	26

บทที่ 4	ผลการดำเนินงานและสรุปผล	37
4.1	ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม	38
4.2	ผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกตามข้อบังคับของ มอก.58-2533	38
4.3	ผลการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533 ไม่ได้บังคับ	40
4.4	ผลการทดสอบการใช้งานจริง	44
4.5	การคิดต้นทุนการผลิต	46
4.6	ผลการถ่ายภาพขยายอนุภาคของคอนกรีตบล็อก	47
4.7	สรุปผลการดำเนินงาน	48

สารบัญ (ต่อ)

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 5	การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	51
5.1	ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม	52
5.2	ผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกตามข้อบังคับของ มอก.58-2533	52
	ผลการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533	53
5.3	ไม่ได้บังคับ	
5.4	ผลการทดสอบการใช้งานจริง	54
5.5	การคิดต้นทุนการผลิต	54
5.6	ข้อเสนอแนะ	55
	เอกสารอ้างอิง	57
	ภาคผนวก	61
ก	บทความวิจัยที่ได้นำไปเผยแพร่	62
ข	การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทและกลุ่มเป้าหมาย	69
ค	ภาพการประกวดผลงานระดับนานาชาติ	71
ง	ภาพการจัดนิทรรศการร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ	73
จ	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533	75
ฉ	ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	92
ช	หนังสือรับรองการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	94
	ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและได้จริง	96

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
ตารางที่	3.1 ข้อสรุปในการดำเนินงานวิจัยตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิและความต้องการของบริษัท	28
ตารางที่	3.2 ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก (โดยน้ำหนัก)	29
ตารางที่	4.1 สมบัติของวัสดุมวลรวม	38
ตารางที่	4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก	39
ตารางที่	4.3 ผลการทดสอบปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของคอนกรีตบล็อก	41
ตารางที่	4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่น และสภาพการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก	43
ตารางที่	4.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิของอาคารทดสอบช่วงเดือนมีนาคม 2561	45
ตารางที่	4.6 ต้นทุนการผลิตต่อก้อนของคอนกรีตบล็อก อัตราส่วน 1:9 (ไม่ฉาบผิวหน้า)	46
ตารางที่	4.7 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย อัตราส่วน 1:9 (ฉาบสีผิวหน้า)	47

สารบัญรูป

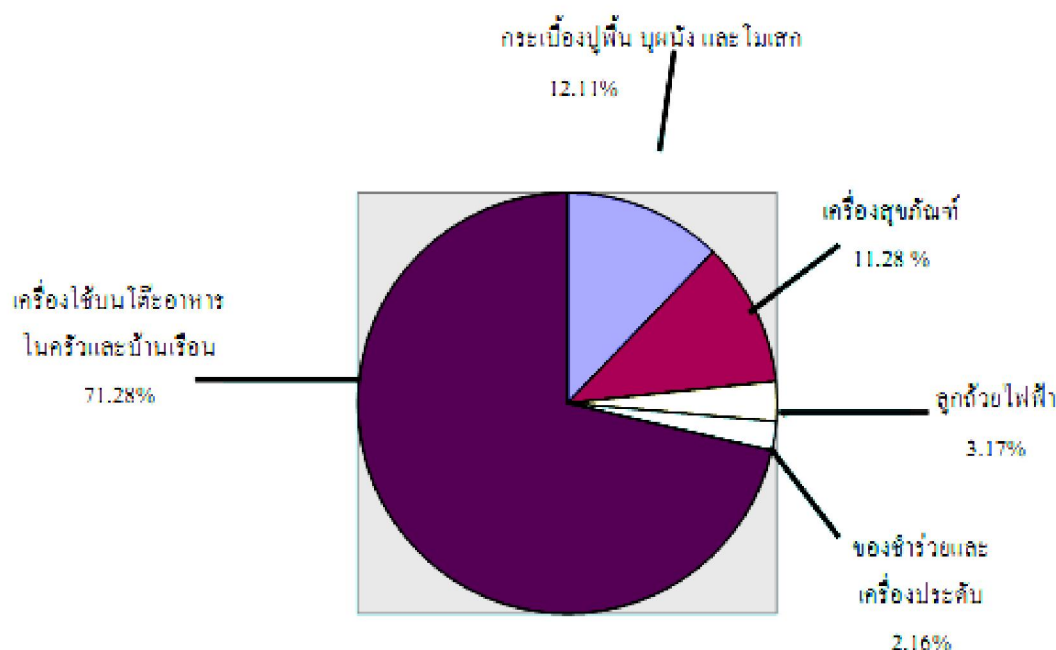
	หัวข้อ	หน้า
รูปที่	1.1 สัดส่วนการส่งออกเซรามิกของไทยแยกตาม 5 ประเภทหลัก ปี 2553 (ม.ค.-ธ.ค.)	2
รูปที่	1.2 ตัวอย่างเศษผลิตภัณฑ์เซรามิกที่แตกหักเสียหาย	3
รูปที่	1.3 บล็อกปูพื้นที่ใช้เศษสุกัณฑ์เซรามิกแทนที่หินธรรมชาติ	12
รูปที่	2.1 คอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายในท้องตลาด	20
รูปที่	3.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่จำเป็นในการดำเนินงาน	25
รูปที่	3.2 ลักษณะของก้อนคอนกรีตบล็อกของงานวิจัย	28
รูปที่	3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	31
รูปที่	3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม	34
รูปที่	3.5 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อก	35
รูปที่	3.6 การทดสอบการใช้งานจริง	36
รูปที่	4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	40
รูปที่	4.2 ปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	41
รูปที่	4.3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	42
รูปที่	4.4 การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	42
รูปที่	4.5 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	43
รูปที่	4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	44
รูปที่	4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการทดสอบอาคารที่ใช้คอนกรีตบล็อกก่อผนัง	46
รูปที่	4.8 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของคอนกรีตบล็อก	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญที่ภาครัฐให้การสนับสนุนและส่งเสริม เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมการแพทย์ และอุตสาหกรรมรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ อุตสาหกรรมเซรามิกยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีประวัติศาสตร์และฐานการผลิตในประเทศมานาน ใช้วัตถุดิบภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ แต่เดิมเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศ และทดแทนการนำเข้า ต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องจนเป็นหนึ่งในผู้ผลิตที่สำคัญในภูมิภาคเอเชีย สามารถส่งออกและทำรายได้ให้กับประเทศสูงถึงปีละ 24,000 ล้านบาท (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, 2554) โดยมีสัดส่วนการส่งออกดังรูปที่ 1.1 อุตสาหกรรมเซรามิกจัดได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย เนื่องจากเป็นแหล่งสร้างอาชีพของคนในท้องถิ่นเป็นแหล่งจ้างงานสร้างรายได้ให้กับเศรษฐกิจไทย และยังนำเงินเข้าประเทศจากการส่งออกอีกด้วย อุตสาหกรรมเซรามิกไทยส่วนใหญ่ตั้งอยู่ที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดลำปาง ซึ่งมีจำนวนโรงงานเซรามิก 296 โรงงาน จากทั้งหมด 600 กว่า โรงงาน เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ เนื่องจากมีความได้เปรียบทางด้านทรัพยากร คือ ดิน หิน และแร่ (อุตสาหกรรมเซรามิกจังหวัดลำปาง, 2559) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตเซรามิกจำนวนมากทั้งใช้ในประเทศและส่งออกนี้ อีกทั้งเซรามิกเป็นวัสดุที่แตกหักเสียได้ง่ายในทุกกระบวนการทั้งการผลิต การขนส่ง และการนำไปใช้งาน ย่อมต้องมีเศษขยะเซรามิกเหลือทิ้งในปริมาณมหาศาลตามไปด้วย



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการส่งออกเซรามิกของไทยแยกตาม 5 ประเภทหลัก ปี 2553 (ม.ค.-ธ.ค.)

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

เศษเซรามิกแตกหักเสียหายหรือเซรามิกจากโรงงานที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ถือว่าเป็นกากเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม โดยจากการศึกษาการผลิตเซรามิกในโรงงานแห่งหนึ่ง ระหว่างข้อมูล 6 เดือน จำนวน 80,000 ชิ้น พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องจำนวน 5,566 ชิ้น คิดเป็น

6.95% ซึ่งลักษณะข้อบกพร่องได้แก่ ลักษณะฟองอากาศจำนวน 2,306 ชิ้น คิดเป็น 41.43% ลักษณะรอยร้าวจำนวน 1,803 ชิ้น คิดเป็น 32.39% ลักษณะบิดเบี้ยวจำนวน 1,457 ชิ้น คิดเป็น 26.18% ซึ่งปัจจุบันได้มีการกำจัดกากเหลือทิ้งอุตสาหกรรม โดยการจัดการกากเหลือทิ้งตามหลักสากลใช้หลักการ 3Rs ได้แก่ การลดของเสีย (reduce) เป็นป้องกันการเกิดกากเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต การนำกลับมาใช้ซ้ำ (reuse) เป็นการใช้ประโยชน์ของเสียที่นำกลับคืนในกระบวนการที่ต่างกันอีกกระบวนการหนึ่ง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงใด ๆ การแปรใช้ใหม่ทั้งในรูปวัสดุ และในรูปพลังงานทดแทน (recycle & recovery) เป็นการนำกากเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพื่อลดขั้นตอนการจัดการ และให้ผลตอบแทนกลับคืนในสัดส่วนที่สูง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด กากเหลือทิ้งบางชนิดสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนวัตถุดิบธรรมชาติได้ เพียงแต่ผู้ประกอบการโรงงานส่วนใหญ่อาจยังไม่มีข้อมูลที่บ่งบอกถึงแนวทางการนำกากเหลือทิ้งของตนไปใช้ประโยชน์ ทำให้ผู้ประกอบการต้องเสียพื้นที่ในการจัดเก็บกากเหลือทิ้ง เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด (วรพงษ์, 2554) กากเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากและไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือมีมูลค่าต่ำเมื่อนำไปใช้ประโยชน์ คือ การเสียหายจากการใช้งานหรือรื้อเซรามิกของเก่าทิ้ง ส่วนมากจะเกิดในอุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นหลัก (รูปที่ 1.2ข และรูปที่ 1.2ค) เศษเซรามิกเหล่านี้จะย่อยสลายในธรรมชาติได้ยากเนื่องจากมีความแข็งแรง จะถูกกำจัดทิ้งโดยการขนไปฝังกลบหรือถมที่ (คชินท์, 2551) ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้งเป็นอย่างมาก

เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเศษเซรามิกที่แตกหักเสียหาย พบว่าเศษเซรามิกมีการแตกเป็นเหลี่ยมคม (รูปที่ 1.2) ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามลักษณะมวลรวมที่ดีในการผสมคอนกรีต (ปริญญา และชัย, 2555) เมื่อนำไปบดย่อยให้มีขนาดเท่ากับมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีตก็สามารถช่วยให้คอนกรีตรับกำลังได้ และข้อดีอีกประการหนึ่ง คือการที่เซรามิกมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ามวลรวมปกติ คือ ทราย และหิน ตามลำดับ (นนทชัย และคณะ, 2557) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะได้นวัตกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากการที่นำเศษเซรามิกที่บดย่อยแล้วไปผสมทดแทนมวลรวมปกติทั้งทรายและหิน



ก. เศษขามเซรามิก



ข. เศษกระเบื้องเซรามิก



ค. เศษสุขภัณฑ์เซรามิก

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างเศษผลิตภัณฑ์เซรามิกที่แตกหักเสียหาย

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง เป็นวัสดุก่อผนังที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ ทราย หินฝุ่น และน้ำ มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (สมอ., 2533) ผู้ผลิตคอนกรีตบล็อกส่วนใหญ่เป็นวิสาหกิจชุมชน ชาวบ้าน และโรงงานขนาดเล็ก ผลิตด้วยใช้เครื่องจักรที่สร้างได้เองภายในประเทศ ในปัจจุบันตลาดคอนกรีตบล็อกแบบปกติที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวม ถูกแทรกแซงด้วยอิฐมวลเบาที่มีคุณสมบัติด้านน้ำหนักเบาและฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีกว่า แต่ด้วยต้นทุนที่สูงและเครื่องจักรที่ต้องนำเข้าของอิฐมวลเบา

จึงส่งผลต่อราคาก่อสร้างที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามแนวโน้มและกระแสของอาคารเขียวที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันและในอนาคต จึงมีช่องทางในการจัดจำหน่ายคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมจากวัสดุรีไซเคิล โดยคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเศษเซรามิกเหลือทิ้งทดแทนหินปูนได้ถึง 100% ก็จะสามารถนำมานับเป็นคะแนนในส่วนของวัสดุสำหรับก่อสร้างอาคารเขียวได้ ซึ่งข้อดีนี้เป็นส่วนที่อิฐมวลเบาไม่สามารถตอบสนองให้ได้

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) เป็นวิสาหกิจขนาดย่อมที่ทำการผลิตนวัตกรรมเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือวัสดุก่อสร้างสีเขียวเป็นหลัก และได้ร่วมมือกับพันธมิตรในเครือข่ายในการผลิตนวัตกรรมต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันได้ร่วมมือกับ บริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทฯ ที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการก่อสร้าง การขนส่งวัสดุชีวมวลให้กับโรงงานไฟฟ้า การขนส่งไม้โตเร็วให้กับโรงงานกระดาษ และขนส่งวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดทิ้ง ซึ่งหนึ่งในวัสดุที่ทางบริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด ขนส่งไปกำจัดทิ้ง คือ เศษเซรามิกจากโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก อาทิเช่น ถ้วยจาน ชาม แจกัน สุขภัณฑ์ ฯลฯ และเศษเซรามิกจากการรื้อทุบทิ้งปรับปรุงอาคาร ทั้งกระเบื้องบุผนัง ปูพื้น โถส้วม อ่างอาบน้ำ สุขภัณฑ์ต่าง ๆ ฯลฯ มีปริมาณเฉลี่ยเดือนละ 300-500 ตัน ซึ่งสามารถนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกได้ถึง 100,000 ก้อนต่อเดือน ใช้จำหน่ายเพื่อก่อสร้างบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ราคาประมาณหลังละ 2-4 ล้านบาท ได้ถึง 25 หลังต่อเดือน (บ้าน 1 หลัง ใช้คอนกรีตบล็อกประมาณ 2,000-4,000 ก้อน) ในการนี้บริษัทฯ ได้เล็งเห็นประโยชน์จากลักษณะของเซรามิกเป็นเหลี่ยมคมน่าสนใจในการนำมาบดย่อยและทำเป็นมวลรวมในการผสมคอนกรีตดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้น บริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด จึงได้มีการประชุมร่วมกับ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) ในการนำเศษเซรามิกเหลือทิ้งมาใช้ผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างทดแทนการใช้หินปูนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งรถบรรทุก 10 ล้อ เทียวละ 3,000-5,000 บาท ซึ่งเทียบกับค่าใช้จ่ายค่าเป็นค่าไฟฟ้าในการบดย่อยเศษเซรามิกแล้ว ถือว่ามีราคาต่ำกว่าการซื้อหินปูนมาก จึงได้มีมติในที่ประชุมร่วมกันในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกเพื่อวางตลาดก่อนในเบื้องต้น เนื่องจากคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีช่องทางการตลาดที่ดี ขายได้ในปริมาณครั้งละมาก ๆ และทำกำไรได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ และยังการผสมสีเข้าไปในเนื้อคอนกรีตบล็อกด้วยแล้วจะทำให้เพิ่มราคาขายได้ถึงเท่าตัว และจะเป็นที่นิยมในธุรกิจการออกแบบตกแต่งด้วย ซึ่งหากดำเนินการสำเร็จตามเป้าหมายก็จะดำเนินการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างประเภทอื่น ๆ เพื่อจำหน่ายต่อไป

โครงการวิจัยนี้จึง สอดคล้องกับร่างกรอบยุทธศาสตร์การพัฒนาภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 - 2564) ยุทธศาสตร์ที่ 8 ยุทธศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็น ยุทธศาสตร์ที่ 2 ยุทธศาสตร์การวิจัยด้านเทคโนโลยีใหม่ของภาคอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาไปสู่ผลผลิตใหม่ กลยุทธ์การวิจัยที่ 3 การวิจัยเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งด้านวัสดุ ด้านเทคโนโลยีการจัดการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม การแปรรูปขยะ สอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์ประเทศ ยุทธศาสตร์ที่ 2 : การลดความเหลื่อมล้ำ (Inclusive Growth) ประเด็นที่ 4 : การสร้างโอกาสและรายได้แก่วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) และเศรษฐกิจชุมชน และสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบาย/เป้าหมายของรัฐบาล นโยบายรัฐบาล 8. การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนาและนวัตกรรม

ในงานวิจัยครั้งนี้ประโยชน์สูงสุดที่ตั้งไว้จากการวิจัย คือการนำเศษกระเบื้องเซรามิกมารีไซเคิลและนำมาใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาและพัฒนากรรมวิธีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา โดยเพิ่มจุดเด่นในการผสมสีลงไปผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก สำหรับเป็นสินค้าของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) บริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด ที่มีจุดเด่นด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เป็นวัสดุสีเขียวในงานก่อสร้าง และถ่ายทอดให้กับวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในเครือข่ายพันธมิตร ในอันที่จะประสานความร่วมมือกันอย่างต่อเนื่องต่อไป การใช้เศษกระเบื้องเซรามิกเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาในคอนกรีต

บล็อกสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม จึงเป็นแนวทางการนำขยะเศษกระเบื้องเซรามิกที่เหลือทิ้งจากโรงงานและภาคธุรกิจก่อสร้างไปใช้ประโยชน์ได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม โดยคอนกรีตบล็อกที่พัฒนาจะถูกทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนตามมาตรฐานสากล ตลอดจนวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทำให้มั่นใจว่า คอนกรีตบล็อกที่ได้ จะมีความคงทนสูง สามารถใช้งานเป็นวัสดุก่อผนังได้ดี มีสมบัติที่โดดเด่นกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป และมีต้นทุนที่ต่ำกว่าอิฐมวลเบา มาก กล่าวได้ว่า "ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิก" เป็นวัสดุก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อม เพื่อวัสดุสำหรับอาคารเขียว เป็นวัสดุก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงาน และเป็นวัสดุก่อสร้างเพื่อสร้างความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน ให้กับวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ของประเทศอย่างแท้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและผสมสีเพื่อเพิ่มมูลค่า สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.2.2 เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.2.3 เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.2.4 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นสารเชื่อมประสานในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

1.3.2 ใช้เศษกระเบื้องเซรามิกจากโรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก ในอำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี มาบดย่อยให้มีขนาดผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. เพื่อทดแทนมวลรวมปกติ

1.3.3 ใช้หินฝุ่น เป็นมวลรวมในการผสมคอนกรีตบล็อกปกติเพื่อเปรียบเทียบ

1.3.4 ใช้สีฝุ่นสำหรับผสมคอนกรีตที่ได้รับความนิยมทั่วไป จำนวน 4 สี ในการผสม

1.3.5 ออกแบบอัตราส่วนคอนกรีตบล็อก โดยการนำเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยมาเป็นมวลรวม โดยการควบคุมปริมาณความชื้นให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเศษกระเบื้องเซรามิก จำนวนไม่ต่ำกว่า 10 ตัวอย่าง

1.3.6 ขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.3.7 ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (สมอ., 2533)

1.3.8 ทำการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน ASTM (2012)

1.3.9 ทำการผลิตและทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก ณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.3.10 ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก ณ โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก ของห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

1.3.11 ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ให้กับกลุ่มเป้าหมายเครือข่ายของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อิน

โนเวชั่น (ไทยแลนด์) และบริษัท หมิ่นแสนวัฒนา จำกัด จำนวนไม่น้อยกว่า 1 ครั้ง (โดยมีเนื้อหาหลักสูตรที่ไม่มีผลกระทบต่อการใช้สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร)

- โดยการจัดอบรมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ ให้กับชุมชนที่เครือข่ายของบริษัทประสานงาน โดยทำการอบรมด้วยเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป

- จัดทำคู่มือสำหรับให้กับกลุ่มเป้าหมาย ลูกค้าบริษัท และผู้สนใจในผลิตภัณฑ์ ในลักษณะของคู่มือกระบวนการผลิต ติดตั้ง ใช้งาน (พ็อกเก็ตบุ๊ก/โบชัวร์) ที่เป็นแบบของบริษัทจัดพิมพ์แจกให้กับลูกค้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.4.1 ทราบขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.4.2 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.4.3 ทราบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สมบัติการนำความร้อน สมบัติการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.4.4 ทราบผลการทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.4.5 วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม วิสาหกิจชุมชน และกลุ่มชาวบ้านต่าง ๆ สามารถนำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย ไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

1.4.6 ได้รับความรู้ในการใช้เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

1.4.7 ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร เรื่อง “คอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและกระบวนการผลิต”

1.4.8 สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในงานประชุมสัมมนาวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 เรื่อง

1.4.9 สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในวารสารวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 บทความ

1.4.10 เข้าร่วมจัดนิทรรศการในงานที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวนไม่น้อยกว่า 1 ครั้ง

1.4.11 ช่วยเพิ่มมูลค่าของเศษกระเบื้องเซรามิก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง

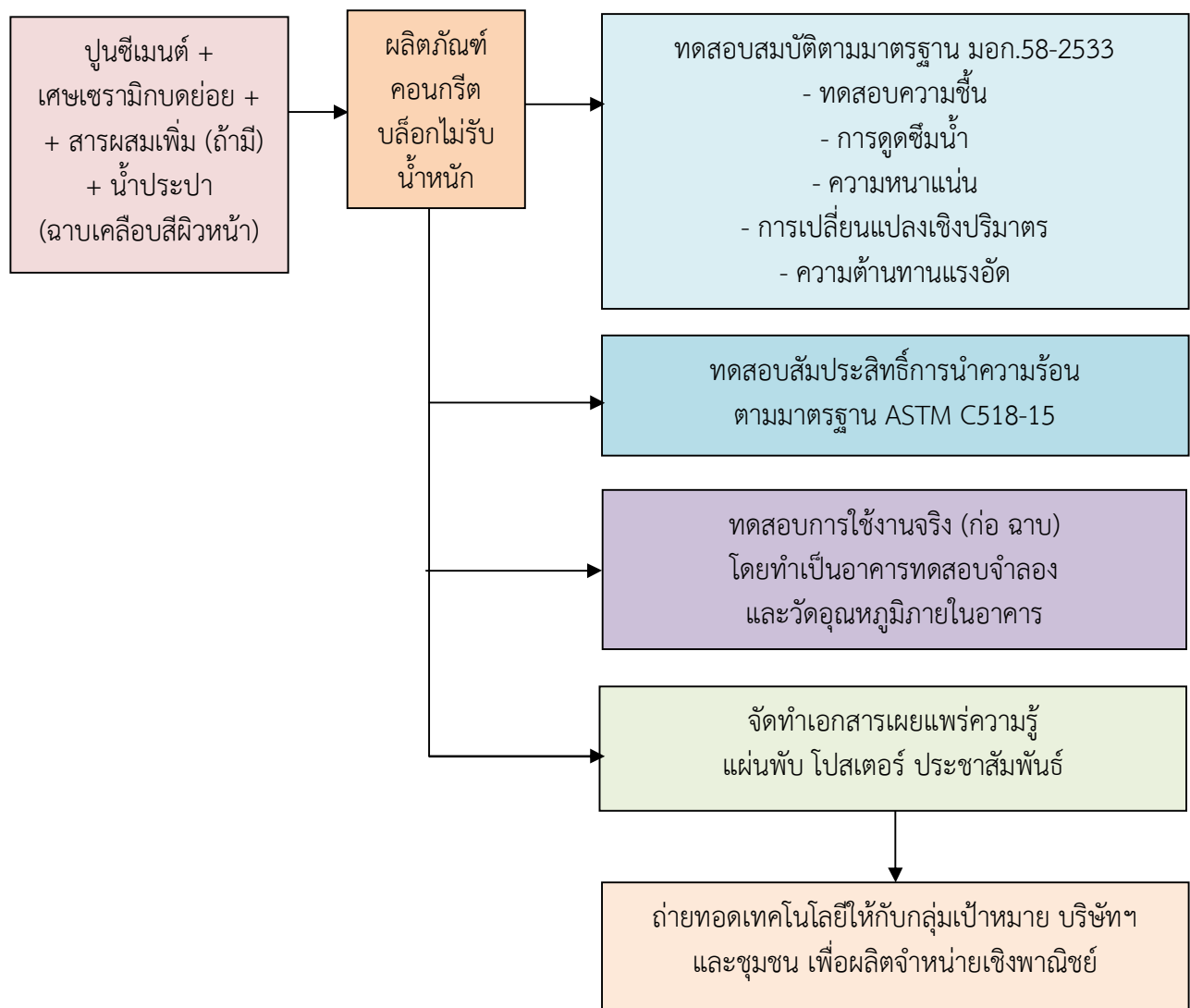
1.4.12 สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ให้มีสินค้าที่เป็นจุดเด่นของบริษัทฯ ด้านอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม และมีวัตถุดิบในการผลิตภายในประเทศ

1.4.13 ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตสินค้าของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

1.4.14 เพิ่มรายได้ให้กับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมที่เข้าร่วมโครงการวิจัย

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัย

จากทฤษฎีของกระเบื้องเซรามิก คอนกรีตบล็อก และองค์ความรู้เกี่ยวกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา และจากขนาด ลักษณะ น้ำหนัก และองค์ประกอบของเศษเซรามิก สามารถสร้างเป็นกรอบแนวความคิดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษเซรามิกบดย่อยเพื่อวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม แสดงเป็นขั้นตอนการวิจัยในภาพรวมได้ดังต่อไปนี้



1.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้เป็นมวลรวมสำหรับผสมในคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมพื้นฐานจากคอนกรีต มาอย่างต่อเนื่อง โดยจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ 1) การนำไปใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ และ 2) การนำไปใช้ทดแทนมวลรวม ทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ซึ่งการนำไปใช้ทดแทนปูนซีเมนต์นั้น วัสดุที่จะนำไปใช้ต้องมีสมบัติของปอซโซลาน และต้องบดให้ละเอียดเท่ากับปูนซีเมนต์ ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นมาก ส่วนใหญ่จะเป็นจำพวกเถ้าชีวมวลต่าง ๆ ส่วนการนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ทดแทนมวลรวมก็ต้องผ่านการบดย่อยและร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดที่เหมาะสมแต่เสียค่าใช้จ่ายและสิ้นเปลืองพลังงานไม่มากนัก และผลที่ได้รับจะคุ้มทุน ซึ่งวัสดุลักษณะที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้นี้จะเป็นลักษณะก้อนแข็งมีเหลี่ยมคมที่ดี โดยมุ่งหวังให้ได้เป็นนวัตกรรมใหม่ที่ลดต้นทุนการผลิต หรือการประหยัดพลังงาน เช่น คอนกรีตเก่าที่ถูกทุบทิ้ง เศษหินแร่จากเหมืองหินที่ไม่ผ่านการคัดขนาด ตลอดจนวัสดุอื่น ๆ ที่แตกหักเสียและมีปริมาณมาก อย่างโครงการวิจัยนี้ก็ใช้เศษกระเบื้องเซรามิกซึ่งมีน้ำหนักที่เบากว่าทดแทนมวลรวมปกติ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมาทดแทนมวลรวมในคอนกรีต โดยมุ่งเน้นงานวิจัยภายในประเทศเป็นหลัก ซึ่งแสดงเป็นตัวอย่างได้ตามลำดับต่อไปนี้

จากการสืบค้นสิทธิบัตรการประดิษฐ์ เมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2559 พบว่ามีอนุสิทธิบัตรที่กำลังจะหมดอายุในปี พ.ศ. 2560 ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เลขที่คำขอ 0703001442 เลขที่อนุสิทธิบัตร 5577 เรื่อง "คอนกรีตจากเถ้าลอยและเซรามิกเหลือใช้" (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550) ใกล้เคียงกับโครงการวิจัยนี้แต่แตกต่างกันที่วัสดุที่ใช้ผสมและส่วนผสมหลัก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อถือสิทธิแล้ว พบว่าโครงการวิจัยนี้ไม่ได้ละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาของอนุสิทธิบัตรเลขที่ 5577 และเมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นก็ยังสามารถยื่นขอจดอนุสิทธิบัตรได้เช่นกัน โดยบทสรุปการประดิษฐ์ของอนุสิทธิบัตรนี้ คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตตามการประดิษฐ์นี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ 5.6-15.8%, เถ้าลอย 0.01-9.47%, เซรามิกเหลือใช้ 23.9-27%, น้ำ 3-10.2% และหิน 48-54.1% โดยน้ำหนัก กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตประกอบไปด้วยสี่ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการบดและคัดแยกขนาดเซรามิก ขั้นตอนการชั่งส่วนผสมต่าง ๆ ขั้นตอนการเตรียมเซรามิกสำหรับใช้แทนทราย และขั้นตอนการผสมคอนกรีต โดยเซรามิกเหลือใช้ที่นำมาใช้แทนทรายประกอบด้วยเซรามิกขนาดต่าง ๆ ได้แก่ เซรามิกบดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับ 95-100%, เซรามิกบดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เท่ากับ 85-95% เซรามิกบดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 16 เท่ากับ 60-70% เซรามิกบดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 เท่ากับ 30-40%, เซรามิกบดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เท่ากับ 5-15% และเซรามิกบดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เท่ากับ 0-5% ต่อน้ำหนัก

ในหลายปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายฉบับได้รายงานถึงการนำวัสดุรีไซเคิลจากงานก่อสร้างมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผสมคอนกรีตเพื่อกลับมาใช้ใหม่ ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้คอนกรีตเก่าที่ถูกรื้อหรือทุบทิ้ง มาบดย่อยเป็นมวลรวมทั้งนำไปใช้ได้ทันทีหรือปรับปรุงคุณภาพจากวัสดุผสมเพิ่มอื่น ๆ โดยแสดงกรรมวิธีการดำเนินงานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งคุณสมบัติของมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าว่ามวลรวมดังกล่าวมีความถ่วงจำเพาะและ ความต้านทานการสึกกร่อนจากการขัดสีต่ำกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติและยังพบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่า ของมวลรวมหยาบจากธรรมชาติ (Hansen and Narud, 1983; Ravindrajah and Tam, 1985; Buck, 1997) เมื่อนำมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตยังส่งผลให้คอนกรีตดังกล่าวมีกำลังอัดและโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ ที่ใช้มวลรวมหยาบจากธรรมชาติในส่วนผสม (Rahal, 2007; Xiao, Li and Zhang, 2005; Kou, Poon and Chan, 2007; Tangchirapat, *et.al.*, 2008) และเมื่อใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามาแทนที่มวลรวมหยาบจากธรรมชาติในปริมาณที่สูงขึ้น ค่าการซึมผ่านของอากาศ และการแทรกซึมของคลอ

ไรต์จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติ (Kou, Poon and Chan, 2007; Olorunsogo and Padayachee, 2002) นอกจากนี้นักวิจัยหลายท่าน (Kou, Poon and Chan, 2007; Olorunsogo and Padayachee, 2002; Ann, *et.al.*, 2008; Tangchirapat, Buranasing and Jaturapitakkul, 2010; Katz, 2004) พบว่าการใช้วัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด เถ้าถ่านหินบดละเอียด ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ดินขาวเผา ซิลิกาฟุ่ม สามารถช่วยเพิ่มกำลังอัดและเพิ่มความต้านทานคลอไรด์ ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าได้ และเพื่อให้การสืบค้นผลงานที่ผ่านมาของโครงการวิจัยนี้เป็นปัจจุบันมากที่สุด จึงยกตัวอย่างเฉพาะงานวิจัยภายในประเทศที่ได้รายงานในช่วงเวลาไม่เกิน 5 ปี ดังต่อไปนี้

รัฐพล สมนา และชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2554) ได้นำคอนกรีตเก่ามาย่อยเป็นมวลรวมและใช้เถ้าขานอ้อยซึ่งเป็นของที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลมาเป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต โดยออกแบบกำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตควบคุม เท่ากับ 350 กก./ตร.ซม. ใช้มวลรวมหายาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าแทนหินปูนย่อย และใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยนำหั่นแก้วสุประสาน ทำการทดสอบหาค่ากำลังอัด ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ และค่าความลึกคลอไรด์แทรกซึมของคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าเพื่อให้ได้ทั้งกำลังอัดในช่วงอายุปลาย ความชื้นน้ำ และความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ที่สูง คือร้อยละ 20 โดยนำหั่นแก้วสุประสาน การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตควบคุมประมาณ 2 ถึง 3 เท่า และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าที่ไม่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดประมาณ 3 ถึง 5 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์จะสูงขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น ส่วนอีกโครงการหนึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำต่อเนื่องกัน คือ ใช้วัสดุเถ้าแกลบมาแทนการใช้วัสดุเถ้าขานอ้อยในงานคอนกรีตที่ผสมคอนกรีตเก่าบดย่อย (ประจักษ์, วีรชาติ และชัย, 2557) ซึ่งก็ได้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ชุดพิงค์ เอื้อธัญธารณ์ (2555) ได้ศึกษากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหายาบ และใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียด ส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัย คือ อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ : มวลรวมละเอียด : มวลรวมหายาบ เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40, 0.50 และ 0.60 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตกระทำที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เมื่อผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหายาบจากเศษคอนกรีตมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ กำลังอัดของคอนกรีตแปรผกผันกับค่าการสูญเสียน้ำหนักของมวลรวมหายาบจากการขัดสีด้วยวิธีลอสแอนเจลีส การใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดในคอนกรีตส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างมาก ดังนั้นการเลือกใช้เศษอิฐมวลเบาที่จะใช้แทนที่ทรายต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังอัดตามที่ต้องการ

บัณฑิต ทองคำ (2557) ศึกษาอัตราส่วนผสมและประสิทธิภาพของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งเป็นมวลรวมในการผสมคอนกรีตให้มีกำลังอัดตามที่ได้ออกแบบไว้และเพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตจากส่วนผสมของวัสดุเหลือทิ้ง ในเขตพื้นที่จังหวัดน่าน โดยนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาบดย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนโดยใช้แรงงานคน วัสดุผสมส่วนใหญ่จะค้างอยู่บนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4

หล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ที่กำลังอัด 210,240 และ 280 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ค่าการยุบตัว 5, 10 ซม. อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน อย่างละ 48 ตัวอย่าง รวม 144 ตัวอย่าง นำตัวอย่างไปทดสอบหา กำลังการรับแรงอัดในเวลาที่กำหนดตามลำดับ ผลปรากฏว่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหลือทิ้งค่ากำลังอัดของคอนกรีต 210กก./ ตร.ซม. ค่าการยุบตัว 5, 10 ซม. ที่อายุ 28 วัน ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 274,223 กก./ตร.ซม. ค่ากำลังอัดของคอนกรีต 240 กก./ตร.ซม. ค่าการยุบตัว 5, 10 ซม. ที่อายุ 28วัน ค่ากำลังอัด 348, 303 กก./ตร.ซม. ค่ากำลังอัดของคอนกรีต 280 กก./ตร.ซม. ค่าการยุบตัว 5, 10 ที่ อายุ 28 วัน ค่ากำลังอัด 330, 313 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าคุณสมบัติทางกลได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต ตามที่กำหนดไว้ 210, 240 และ 280กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตคอนกรีต ระหว่างวัสดุเหลือทิ้งและหินโม่เป็นวัสดุในการก่อสร้างค่ากำลังอัด 210, 240 และ 280 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ราคาในการผลิตคอนกรีตจากส่วนผสมที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งถูกกว่าร้อยละ 12.95, 12.25 และ 11.49 ตามลำดับ

สระตะ วันชัย (2557) ได้ศึกษาการนำเศษวัสดุมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในงานคอนกรีตพูน โดยทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตพูนที่ใช้เศษวัสดุจากเศษคอนกรีต เศษคอนกรีตบล็อก และเศษอิฐมอญเป็นมวลรวมหยาบเปรียบเทียบกับมวลรวมธรรมชาติจากหินปูนย่อย แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกศึกษาสมบัติของคอนกรีตพูนที่มีซีเมนต์เพสต์เป็นวัสดุประสาน ใช้มวลรวมจากเศษวัสดุแทนที่มวลธรรมชาติในอัตราร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนัก ในการทำคอนกรีตพูน ส่วนที่สองศึกษาสมบัติของคอนกรีตพูนที่มีจีโอโพลิเมอร์เพสต์จากเถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน ใช้มวลรวมจากเศษวัสดุแทนมวลรวมจากธรรมชาติทั้งหมด ทำการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 10, 15 และ 20 โมลาร์ โดยสมบัติของคอนกรีตพูนที่ทำการศึกษาได้แก่ กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก, กำลังดัด, การซึมผ่านน้ำ, อัตราส่วนโพรง, ความหนาแน่น, และการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีที่ผิวหน้า ผลการศึกษาพบว่า มวลรวมจากเศษคอนกรีต เศษคอนกรีตบล็อก และเศษอิฐมอญมีค่าน้ำหนักและความถ่วงจำเพาะน้อยกว่ามวลรวมจากธรรมชาติ (หินปูนย่อย) ส่วนค่าร้อยละการสึกกร่อนและค่าการดูดซึมน้ำมีค่ามากกว่าและมวลรวมทุกชนิดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีร้อยละการสึกกร่อนน้อยกว่า 50% การใช้เศษคอนกรีตและเศษคอนกรีตบล็อกมาเป็นมวลรวมหยาบแทนที่มวลรวมธรรมชาติในคอนกรีตพูนที่ใช้ซีเมนต์เพสต์เป็นวัสดุประสานในปริมาณต่าง ๆ ได้คอนกรีตพูนที่มีกำลังอัดสำหรับอายุการบ่ม 28 วัน อยู่ระหว่าง 122-172 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร กำลังดึงแบบผ่าซีกอยู่ระหว่าง 13-24 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และกำลังดัดอยู่ระหว่าง 28-47 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โดยการแทนที่ 40-60% มีแนวโน้มให้ค่ากำลังสูงกว่าการใช้มวลรวมหยาบจากธรรมชาติเล็กน้อย ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตพูนลดลงตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนโพรงมีค่าอยู่ระหว่าง 13-25% และการซึมผ่านของน้ำอยู่ระหว่าง 0.22-1.01 เซนติเมตร/วินาที เมื่อใช้เศษคอนกรีตและเศษคอนกรีตบล็อกในปริมาณแทนที่ไม่เกินร้อยละ 60 พบว่าความต้านทานต่อการสึกกร่อนของผิวหน้าดีกว่าการใช้หินจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียว มวลรวมจากเศษคอนกรีต, เศษคอนกรีตบล็อก และเศษอิฐมอญสามารถนำมาใช้เป็น มวลรวมหยาบแทนมวลรวมธรรมชาติในส่วนผสมของคอนกรีตพูนที่มีจีโอโพลิเมอร์เพสต์เป็นวัสดุประสาน (จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตพูน) ได้ แต่ให้ค่ากำลังต่ำกว่าการใช้มวลรวมจากธรรมชาติ โดยมีค่ากำลังอัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกอยู่ในช่วง 28-103 และ 3-14 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ค่าการซึมผ่านน้ำอยู่ในช่วง 0.7-1.8 เซนติเมตร/วินาที ความหนาแน่นระหว่าง 1420-1730 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีอัตราส่วนโพรงร้อยละ 22-29 โดยใช้เศษคอนกรีตบล็อกให้กำลังรับแรงอัดต่ำแต่มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ดีที่สุด ส่วนจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตพูนที่ได้จากเศษอิฐมอญมีน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตพูนที่ได้จากมวลรวมจากธรรมชาติถึงร้อยละ 40 และมีค่าความทนทานต่อการสึกกร่อนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับมวลรวมชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

15 และ 20 โมลาร์ ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกดีกว่าความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์ ส่วนค่าการซึมผ่านของน้ำ, ค่าอัตราส่วนโพรง, ความหนาแน่น และความทนทานต่อการสึกกร่อนที่ผิวหน้ามีค่าไม่แตกต่างกัน

กิม เหนือคลอง และคณะ (2559) ได้เสนอสมบัติทางกลของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตระบบผสมระหว่าง แก้วลอยแคลเซียมสูง (HCF) และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) พร้อมทั้งใช้เศษคอนกรีต (RC) เป็นมวลรวม หยาบสังเคราะห์สารจีโอโพลิเมอร์จาก HCF ที่ถูกแทนที่ด้วย OPC ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมซิลิเกต (NS) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NH) ที่มีความเข้มข้น 12 โมลาร์ (M) โดยมีอัตราส่วนสารละลายต่างต่อวัสดุประสานและอัตราส่วน NS/NH คงที่เท่ากับ 0.6 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการแกะแบบแล้วนำตัวอย่างไปเก็บรักษาในห้องเก็บความชื้นที่มีอุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50-55) จนกระทั่งมีอายุครบ 7 วัน จึงนำไปทดสอบสมบัติทางกลต่อไป จากการทดสอบพบว่า OPC สามารถพัฒนาสมบัติทางกลของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ OPC ในส่วนผสมมากขึ้น

พัชรพล โพธิ์ศรี และคณะ (2558) ได้นำคอนกรีตเศษคอนกรีตมวลเบามารีไซเคิลด้วยการบดย่อย แบ่งออกเป็น 3 ขนาดแล้วทำการผสมเป็นคอนกรีตมวลเบาขนาดทรงลูกบาศก์ ทดสอบความต้านทานแรงอัด การดูดซึมน้ำ โพรงอากาศ และสภาพการนำความร้อน ผลการทดสอบพบว่า เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ (A/C) จะทำให้กำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และค่าการนำความร้อนลดลง แต่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณมวลรวมละเอียด (FA) เพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และค่าการนำความร้อนเพิ่มสูงขึ้น แต่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงอากาศลดลง คอนกรีตมวลเบาที่ผสมมวลรวมเบาจากกรีซเคลือบล็อก ชุดที่มีคุณสมบัติดีที่สุดสำหรับใช้เป็นคอนกรีตมวลเบาในงานก่อผนัง สำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง คือ อัตราส่วนปริมาณมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ (A/C) ที่ 1.8 series B ให้กำลังรับแรงอัด 52 กก./ตร.ซม. หน่วยน้ำหนัก 1200 กก./ลบ.ม. การดูดซึมน้ำ 44% การเหนี่ยวนำความร้อน $0.352 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ซึ่งสามารถนำไปทำเป็นคอนกรีตมวลเบา สำหรับงานก่อผนังได้

นอกจากการนำขยะคอนกรีตมาใช้ในรีไซเคิลใหม่ในงานคอนกรีตแล้วยังถูกนำมาใช้กับงานวัสดุก่อสร้างประเภทอื่น ๆ อีก ยกตัวอย่างเช่น การนำมาบดย่อยเป็นส่วนผสมในอิฐบล็อกประสาน (อาทร, 2557) แล้วอัดขึ้นรูปในปริมาณที่เหมาะสมก็สามารถทำให้สมบัติต่าง ๆ ผ่านตามมาตรฐาน มผช. 602-2547 เรื่อง อิฐบล็อกประสาน และสามารถนำไปใช้งานได้ และงานวิจัยที่นำวัสดุอื่น ๆ มาทดแทนมวลรวมในการผลิตคอนกรีตก็สามารถทำได้เช่นกัน ดังเช่น ภาณุพงศ์ พันพิพัฒน์ และคณะ (2559) ได้นำผิวทางแอสฟัลต์ที่รื้อทิ้งมารีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบผสมคอนกรีต พบว่าเมื่อผสมในปริมาณที่มากขึ้นทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง แต่เมื่อผสมในปริมาณที่เหมาะสมก็สามารถนำไปใช้งานได้

งานวิจัยที่ใกล้เคียงกับโครงการวิจัยนี้มากที่สุด คือการใช้เศษเซรามิกในการผสมคอนกรีตทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ล่าสุด มีอยู่ 3 งาน คือ

- 1) งานวิจัยของ นันทชัย ชูศิลป์ และคณะ (2557) เรื่อง สมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้วเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง โดยออกแบบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ควบคุมค่ายุบตัวให้อยู่ระหว่าง 10 ± 2.5 เซนติเมตร ใช้อัตราการใช้เสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทำการทดสอบกำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึงเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้กระเบื้องเซรามิกไม่เสริมเส้นใยเหล็ก พบว่าเมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 0.50 และ 1.00 มีค่ากำลังอัดประลัยสูงกว่าคอนกรีตควบคุมร้อยละ

ละ 2 และ 7 เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 1.50 ทำให้กำลังอัดลดลงร้อยละ 6 สำหรับกำลังดึงพบว่า เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 1.00 ได้ค่ากำลังดึงสูงกว่าคอนกรีตควบคุมร้อยละ 16 ส่วนอัตราการเสริมเส้นใยร้อยละ 0.50 และ 1.50 มีค่ากำลังรับแรงดึงใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม สำหรับกำลังดัดพบว่า เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 ได้ค่ากำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมเท่ากับร้อยละ 9 17 และ 11 ตามลำดับ นอกจากนี้การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการผสมเส้นใยเหล็กด้วย

2) วีระศักดิ์ แสงขาว, นันทชัย ชูศิลป์ และจรรยา เจริญเนตรกุล (2557) บทความนี้เป็นการศึกษาสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตผสมเศษกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้ว โดยการนำเศษกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้ว แทนที่หินซึ่งเป็นมวลรวมหยาบ ในอัตราร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนัก และออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 กก./ตร.ซม. โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่เท่ากับ 0.55 นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อแล้วไปบ่มในน้ำจนถึงอายุทดสอบ จากนั้นทำการทดสอบการดูดซึมน้ำอัตราการดูดซึมน้ำการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต การกัดกร่อนของคอนกรีตเนื่องจากกรดซัลฟูริกทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแยกของคอนกรีตผลการศึกษาพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำ อัตราการดูดซึมน้ำ ค่าการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต และค่าการกัดกร่อนของคอนกรีต เนื่องจากกรดซัลฟูริก มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ของเศษกระเบื้องเซรามิกที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของผลการทดสอบการรับกำลังพบว่า คอนกรีตที่ผสมเศษกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้วมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตปกติ แต่ค่ากำลังรับแรงดึงแยกมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

3) งานวิจัยที่ผ่านมาของผู้วิจัยที่เป็นที่ปรึกษาให้กับ บริษัท ภราดรอินโนซิส จำกัด ในการนำเศษสุกภัณฑ์เซรามิกจากจังหวัดเชียงใหม่ มาใช้เป็นมวลรวมในบล็อกปูพื้น (ประชุม, 2559) ซึ่งผลจากการดำเนินงานพัฒนาบล็อกปูพื้นจากเศษเซรามิกเทียบกับมาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ทำให้ได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้นที่ใช้เศษเซรามิกแทนที่หินธรรมชาติได้ทั้งหมด และมีคุณสมบัติผ่านตามาตรฐานกำหนด คือ บล็อกปูพื้นจากเศษเซรามิกอัตราส่วน C500 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้นที่สามารถผลิตได้ง่าย ใช้เครื่องจักรน้อย และมีต้นทุนต่ำ โดยบล็อกปูพื้นดังกล่าวมีคุณสมบัติด้านความหนาแน่น เท่ากับ 1,813.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 6.18 ความต้านทานแรงอัด เท่ากับ 15.79 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัดตามขวาง เท่ากับ 3.1 เมกะพาสคัล อัตราการระบายน้ำในพื้นที่ 1 ตารางเมตร เท่ากับ 8.60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีอุณหภูมิผิวหน้าที่ไม่สูงมาก และมีความสวยงาม (รูปที่ 1.3)



รูปที่ 1.3 บล็อกปูพื้นที่ใช้เศษสุกภัณฑ์เซรามิกแทนที่หินธรรมชาติ

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการใช้เศษเหลือทิ้งต่าง ๆ ทดแทนมวลรวมในคอนกรีตนั้น ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสามารถรับกำลังได้ตามมาตรฐานของวัสดุประเภทนั้น ๆ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งเน้นการเศษกระเบื้องเซรามิกมาใช้ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 (สมอ., 2533) กำหนด ต้องการค่าความต้านทานแรงอัดเพียง 2.5 เมกะพาสคัล เท่านั้น ซึ่งถือว่าน้อยมาก จึงมีความเป็นไปได้เกือบ 100% ที่โครงการวิจัยนี้ จะสำเร็จตามเป้าหมายและสมมติฐานทุกข้อที่ตั้งไว้ และถ้าหากประสบความสำเร็จเกินกว่าที่คาดหมาย คือ ได้น้ำหนักตอก่อนที่เบามากและคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ยังผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งสามารถผสมสีลงไปในก้อนคอนกรีตบล็อกเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นได้นั้น โครงการวิจัย "ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม" จึงต้องสำเร็จและคุ้มค่าตามเป้าหมายที่มุ่งหวังไว้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) สามารถขยายผลให้กับกลุ่มเป้าหมายอื่น ๆ ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไปได้ ตอบสนองนโยบายการวิจัยของประเทศ โครงการวิจัยมุ่งเป้า วิสาหกิจชุมชน และวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) กรอบวิจัย การวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิต มูลค่าสินค้าและบริการของกลุ่มโอท็อป (OTOP) วิสาหกิจชุมชนและวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) กรอบวิจัยย่อย การวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรมการเพิ่มมูลค่าของสินค้าและบริการทั้งจากผลิตผลเดิม ผลิตภัณฑ์ใหม่ ผลิตผลพลอยได้ระหว่างการผลิตและบริการเดิม หรือบริการใหม่ๆ ให้มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ โดยอาจเป็นการพัฒนาหรือต่อยอดวัสดุ/วัตถุดิบถึงสำเร็จรูป หรือขึ้นกลาง ในกระบวนการผลิตทั้งในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม รวมทั้งการสร้างนวัตกรรมภาคบริการที่สามารถตอบสนองความต้องการได้ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลเป็นอย่างดี

1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ดำเนินการออกแบบส่วนผสม ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล) ทำการทดสอบการนำผลิตภัณฑ์ ไปใช้งานในสภาพจริง ที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.7.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยที่สำคัญ มีทั้งการจัดซื้อ จัดจ้าง และการประสานงานใช้จากบริษัท และหน่วยงานที่รับจ้างทดสอบ โดยแสดงภาพประกอบในภาคผนวก ก. ซึ่งวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1.7.1.1 เศษกระเบื้องเซรามิก จากโรงงานเซรามิก อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. เพื่อให้ได้ขนาดละเอียดมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

1.7.1.2 หินปูน จากจังหวัดสระบุรี

1.7.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

1.7.1.4 น้ำประปา

1.7.1.5 สีผสมคอนกรีต และสารเคมีผสมเพิ่ม (ถ้ามี)

1.7.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.7.1.7 แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.7.1.8 เครื่องผสมคอนกรีตแบบกระเท

1.7.1.9 เครื่องบดเซรามิก

1.7.1.10 เครื่องอัดกึ่งไฮดรอลิก แบบเดียวกับที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป

1.7.1.11 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยประสานงานกับหน่วยงานรับ
ทดสอบ

1.7.1.12 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) โดยประสานงานกับหน่วยงานรับ
ทดสอบ

1.7.1.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยประสานงานกับหน่วยงานรับ
ทดสอบ

1.7.1.14 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM)

1.7.1.15 อุปกรณ์ก่อสร้างอื่น ๆ เช่น กระบองปูน, พลั่ว, ค้อน และเกียงก่อ เป็นต้น

1.7.1.16 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

1.7.2 กำหนดอัตราส่วนผสม

กำหนดส่วนผสมโดยยึดอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกปกติที่ใช้หินฝุ่นเป็นตัวตั้งต้น และเพื่อไว้
เปรียบเทียบ จากนั้นทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่ใช้เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยแทนที่หินฝุ่นใน
อัตราส่วนต่าง ๆ และผสมสี จำนวน 10 อัตราส่วน หรือจนกว่าจะไม่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีต
บล็อกที่จะทำการอัดขึ้นรูปนี้ ต้องทำการควบคุมความชื้นให้เหมาะสม

1.7.3 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

การอัดขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องกึ่งอัตโนมัติไฮดรอลิก เพื่อให้การบดอัดเข้าแบบมีค่าเท่ากัน
โดยใช้แบบหล่ออิฐบล็อกกลางขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกออกจาก
แบบ และผึ่งทิ้งไว้ 7 วัน บ่มและทำให้แห้ง ในสภาพอากาศ ในระหว่างนี้ห้ามเคลื่อนย้ายตัวอย่างคอนกรีต
บล็อกทดสอบเป็นเวลา 2 วัน นับตั้งแต่วันที่เข้าแบบ แล้วจึงทำการทดสอบในขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไป

1.7.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อก

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อกประกอบด้วย

1.7.4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษ
กระเบื้องเซรามิกบดย่อย จะเป็นการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับ
น้ำหนัก เป็นตัวกำหนด โดยมาตรฐาน กำหนดให้ทำการทดสอบ ดังนี้

- ความต้านทานแรงอัด
- การดูดซึมน้ำ
- การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร
- ปริมาณความชื้น
- ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

1.7.4.2 การทดสอบความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก ทำการทดสอบใน
2 ส่วน คือ

1) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกให้มีขนาด
ประมาณ $5 \times 30 \times 30$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามที่มาตรฐาน ASTM C518-15 กำหนด ซึ่งดำเนินการส่ง
ทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2) การทดสอบในห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงาน
และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการขนาด $1 \times 2 \times 2.5$ ลูกบาศก์
เมตร จำนวน 2 ห้อง ผนังห้องผลิตจากไม้อัดและสังกะสีบุด้วยฉนวนป้องกันความร้อน 5 ด้าน ด้านหน้าเป็น
แผ่นอะคริลิกใส ภายในติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อน และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้น และมาตรวัดอื่น ๆ

1.7.4.3 ศึกษาการยึดเกาะระหว่างเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและส่วนผสมของคอนกรีต บล็อกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

1.7.5 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

1.7.5.1 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุนและสมบัติด้านต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อก ไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติ เพื่อสรุปว่าคุ้มค่ากับต้นทุน การผลิตหรือไม่

1.7.5.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ จัดทำให้อยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ทั้งกราฟเส้น และแผนภูมิแท่ง เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูล

1.7.6 การเผยแพร่งานวิจัย

ดำเนินการเผยแพร่ผลงานวิจัย โดยการเข้าร่วมการประชุมวิชาการ เขียนบทความตีพิมพ์ใน วารสารวิชาการ การประกวดผลงานสิ่งประดิษฐ์ การจัดนิทรรศการ การจัดทำแผ่นพับ โบชัวร์ และการถ่ายทอด องค์ความรู้สู่ชุมชน กลุ่มเป้าหมาย

1.7.7 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และทำการปิดโครงการวิจัย

1.8 แผนงานโครงการ

กิจกรรม	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม	↔											
2. เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และออกแบบ ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก		↔										
3. อัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามสูตรที่ ได้ทำการออกแบบไว้			↔									
4. ทดสอบความชื้น และ การดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก							↔					
5. ทดสอบความหนาแน่นและ การ เปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของตัวอย่าง คอนกรีตบล็อก							↔					
6. ทดสอบความต้านทานแรงอัดของ ตัวอย่างคอนกรีตบล็อก							↔					
7. ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน								↔				
8. ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อกในสถานที่จริง									↔			
9. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย										↔		
10. จัดทำบทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ และแผ่นพับประชาสัมพันธ์										↔		
11. ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย											↔	
12. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และปิด โครงการ												↔

บทที่ 2

ทฤษฎี

โครงการวิจัย "ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม" ได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จำเป็นในการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย พื้นฐานกระเบื้องเซรามิก, คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุมวลรวมน้ำหนักเบา, คอนกรีตบล็อก ได้เป็นสมมติฐานและกรอบแนวความคิด ดังต่อไปนี้

2.1 กระเบื้องเซรามิก (Ceramic Tile)

ความรู้เกี่ยวกับกระเบื้องเซรามิก (ภูมิปัญญาอาชีววัฒน์, 2556)

2.1.1 การผลิต (Process) ในการผลิตเซรามิก จะแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ

2.1.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ เป็นการเสาะหาและจัดการแหล่งวัตถุดิบ

- การเลือกแหล่งวัตถุดิบ ทั้งในแง่ของคุณภาพและปริมาณสำรอง รวมถึงขั้นตอนและระยะเวลาในการขนส่งลำเลียง เพื่อให้วัตถุดิบมีเพียงพอกับความต้องการ

- การบด เพื่อลดขนาดของวัตถุดิบให้เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานต่อไป

- การทำ Pre-Blending เพื่อให้วัตถุดิบที่จะป้อนเข้าโรงงานมีค่าคุณภาพที่นิ่ง ไม่แกว่ง

2.1.1.2 การขึ้นรูปวัตถุดิบ หลังจากที่ได้วัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมแล้ว นำไปขึ้นรูปตามแบบ

2.1.1.3 การอบแห้ง เพื่อไล่ความชื้นออกจากชิ้นงาน

2.1.1.4 การเคลือบ เป็นการชุบเคลือบ ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจจะมีการเขียนลวดลายได้เคลือบ จากนั้นทำการชุบเคลือบปิดทับลวดลายเหล่านั้นเอาไว้ หรืออาจจะเขียนลวดลายบนเคลือบ เพื่อความสวยงามและสะดุดตาได้ จากนั้นจึงนำไปเผาเพื่อให้เคลือบหลอมและสุกตัวเป็นเนื้อแก้ว

2.1.1.5 การเผา เป็นการหลอมเนื้อผลิตภัณฑ์ให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพิ่มความแข็ง และโครงสร้าง หรือแร่ธาตุใหม่ขึ้นภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันที่โรงงานใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิในการเผาประมาณ 700 - 1,400 องศาเซลเซียส และแบ่งการเผาออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

- เผาครั้งเดียว เป็นการเผาทั้ง Body และเคลือบพร้อมกัน ทำให้ Silica หลอมเหลว และทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ใช้การเผาชนิดนี้กับผลิตภัณฑ์ทุกชนิดยกเว้น Wall Tile

- เผาสองครั้ง ครั้งแรกจะเผาเนื้อ Body ให้แข็งแรง ไล่แก๊สคาร์บอนออกไป เน้นเกิดรูปทรง เพื่อดูดซับเสียงและทำให้น้ำหนักเบา ส่วนการเผาครั้งที่สอง จะเป็นการเผาเคลือบที่อุณหภูมิต่ำ ใช้การเผาชนิดนี้สำหรับ Wall Tile โดยหลังจากนั้นจะทำการบรรจุหีบห่อ และส่งสินค้าไปยังโรงเก็บก่อนจะจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป

2.1.2 ชนิดและคุณสมบัติ (Type and Property) ผลิตภัณฑ์เซรามิก แบ่งออกเป็น 5 ชนิด ดังนี้

2.1.2.1 Wall Tile กระเบื้องปูผนัง

2.1.2.2 Extra Tile กระเบื้องปูพื้น ลักษณะเด่น จะเน้นสีแดง

2.1.2.3 Porcelain Tile กระเบื้องปูพื้น เน้นลวดลายธรรมชาติ

2.1.2.4 Granito Tile กระเบื้องปูพื้น เน้นความแข็งแรงทนทาน

2.1.2.5 Mosaic Tile กระเบื้องปูพื้น ลักษณะเด่น จะมีสีสันทสวยงาม สะดุดตา

2.1.3 องค์ประกอบเนื้อแผ่น (Body Composition)

ในเนื้อ Body จะมีองค์ประกอบทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Ball Clay, Feldspar, Waste powder, Limestone, Pottery, Additive และ Scrap ซึ่งจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และตรวจสอบพร้อมควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ค่า %Residue of slip, %Moisture, %Shrinkage, LOI, สี และ XRF เป็นตัวชี้วัด

2.1.4 วัตถุดิบ (Raw Material)

2.1.4.1 ดินเหนียว (Clay) ดินชนิดนี้มีความเหนียว และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผามีความแข็งแรงมากกว่าดินขาว ในดินเหนียวมักมีสิ่งสกปรก เช่น Fe_2O_3 , TiO_2 ซึ่งจะทำให้ความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เสียไป แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- ดินแดง (Red Clay) มีปริมาณ Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบปริมาณมาก ลักษณะของดินมีสีแดง

- ดินขาว (White Clay) เม็ดดินละเอียด จะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าเม็ดดินหยาบมักจะมีการหดตัวมากหลังเผา ทำให้ไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วน

2.1.4.2 เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ช่วยในการหลอมตัวอย่าง เช่น Na-feldspar, K-feldspar, Na-K-feldspar

2.1.4.3 หิน (Stone) ช่วยในการเพิ่ม Oxide หรือ คุณสมบัติต่าง ๆ เฉพาะตัวของกระเบื้องที่แตกต่างกัน เช่น Limestone ช่วยเพิ่มปริมาณ CaO

2.1.4.4 วัสดุอื่น (Other and Scrap) ช่วยลดการหดตัวกระเบื้องหลังเผา แต่หากใส่ในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลต่อ %Water Absorption สูงขึ้นได้ องค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิด จะส่งผลกระทบต่อ body ของกระเบื้อง ดังนี้

- Al_2O_3 เพิ่มความทนไฟ (Refractoriness) และความเหนียว (Plasticity) โดยเป็นส่วนหนึ่งของ clay materials

- SiO_2 เพิ่มโครงสร้าง (Structure) และ Neoformation phases (เกิดจากการทำปฏิกิริยาของ oxides ขณะเผา)

- Fe_2O_3 , TiO_2 ทำให้เกิด สี และมีสมบัติช่วยลดจุดหลอมตัว (Melting properties)

- CaO , MgO มีผลต่อ Shrinkage (ถ้าปริมาณ oxide สูง : % Shrinkage น้อย เพราะ Calcium and magnesium silicate form มีปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น)

- K_2O , Na_2O ให้เพิ่มการหลอมตัวกลายเป็น vitreous phases

2.1.5 ตำหนิ (Defects associate with the tile body) ลักษณะของตำหนิที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน แบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด ดังนี้

2.1.5.1 บิ่น (Chipping) หรือ รอยบิ่น คือรอยที่กระเบื้องแตกออกจากขอบมุม หรือผิวหน้า สาเหตุมักเกิดจากในช่วงขั้นตอนการอัดขึ้นรูปนั้น ผงดินมีความชื้นต่ำเกินไป

2.1.5.2 ร้าว (Cracks) หรือรอยร้าว เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น

- เกิดจากการไล่น้ำในเนื้อ body ออกเร็วเกินไปในช่วงก่อนการอบแห้ง, ระหว่างการอบแห้ง และในช่วงต้นของการเผา

- ความแตกต่างระหว่างการหดตัวและการขยายตัวภายในเนื้อผลิตภัณฑ์

2.1.5.3 จุด (Green dots, Red dots, Black Dots) หรือ จุดต่าง เกิดเมื่อมีสิ่งเจือปนที่แทรกมากับวัตถุดิบ เช่น ธาตุเหล็ก หิน หรือจากสภาพการเผาที่ไม่สมบูรณ์ โดยไม่สามารถไล่องค์ประกอบเหล่านี้ให้ออกไปจนหมดได้

2.1.5.4 ไส้ดำ (Black core) หรือ แกนดำ เกิดเนื่องจาก organic matter ภายในเนื้อ body ที่มาจากดิน หรือ binder ที่เติมลงไป มีมากเกินไปจนไม่สามารถกำจัดออกไปได้ทันในช่วง oxidation เมื่อ surface ของผลิตภัณฑ์เกิดการ form glassy phase แล้ว oxygen จึงไม่อาจ diffuse เข้าไปเพื่อเกิด oxidation reaction กับ organic matter ด้านในของผลิตภัณฑ์ จึงเกิดเป็นแกนสีดำอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์

2.1.5.5 รู (Hole, Pinhole) หรือ รูเข็ม เนื่องจากมีซิลเฟตหรือสิ่งสกปรกอยู่เยอะ หรือเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิเร็วเกินไปในช่วงที่สีเคลือบเริ่มมีการหลอมตัวและเกิด glassy phase เนื่องจาก gas ต่าง ๆ ที่อยู่ในเนื้อดินยังถูกแทรกออกมาไม่หมด แต่ที่ผิวมันถูกปิดกั้นด้วย glassy phase ของชั้นเคลือบ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของ gas หรือฟองอากาศเหล่านั้นจะเพิ่มขึ้นรวมทั้งความดันภายในด้วย เมื่อฟองอากาศพยายามที่จะหลุดออกไปจากชั้นของเคลือบ ถ้าสุดท้ายแล้วหลุดไปในช่วงที่อุณหภูมิของเคลือบเริ่มสุกตัวแล้ว ก็จะทำให้เกิดตำหนิที่เรียกว่า pinhole (รูเข็ม) หรือ Blister หรือถ้าฟองอากาศมีขนาดใหญ่มากอาจกลายเป็นรูขนาดใหญ่ที่เรียกว่า volcanic hole

2.1.5.6 ฟอง (Bubble) หรือฟองอากาศ เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น

- วัตถุดิบที่นำมาทำเนื้อดินมีส่วนประกอบที่สามารถแตกสลายตัวเป็นก๊าซได้ เช่น หินปูน
- ดินที่ใช้ในสูตรเนื้อดินมีสารอินทรีย์อยู่มาก เมื่อเผาเร็ว โดยเฉพาะการเผาแบบครั้งเดียวจะทำให้สารอินทรีย์สลายตัวออกมาจนเคลือบเริ่มเข้าสู่ Softening point แล้วจึงทำให้เกิดปัญหาารุพรุนที่ผิวหน้าเคลือบได้

2.2 คอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบา

คอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบา (ศักดิ์สิทธิ์, 2551) วัสดุมวลรวมเบาที่ใช้ทั่วไปเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตมวลเบาที่มีลักษณะที่สำคัญ คือ มีความพรุนสูง ทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่าต่ำ วัสดุผสมนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ วัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติ และวัสดุที่ทำเทียมขึ้น

2.2.1 วัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติ (natural aggregates) ได้แก่ หินพรุน (pumice) และหินละลายชนิดเบา (scoria) ได้จากวัสดุทับถมจากลาวาภูเขาไฟ โดยนำมาผ่านกระบวนการบดและจัดขนาดโครงสร้างภายในของหินพรุนมีโพรงยาวจำนวนมาก และมีสีขาวเทาแกมน้ำเงิน โดยมีสารเจือปนเป็นรอยดำสีน้ำตาลไม่เปรอะง่าย ดูดซึมน้ำได้มากและมีการหดตัวมาก มีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 470 ถึง 870 กก./ลบ.ม. คอนกรีตเบาที่ทำจากหินพรุนนี้จะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 710 ถึง 1,420 กก./ลบ.ม. มีค่ากำลังอัดต่ำประมาณ 50 กก./ตร.ซม. ส่วนหินละลายชนิดเบานั้นคล้ายคลึงกับหินพรุน แต่เป็นลาวาที่มีโครงสร้างภายในใหญ่กว่า และมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอมากกว่า และเมื่อนำมาทำเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตมวลเบาจะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับหินพรุน

2.2.2 วัสดุผสมที่ทำเทียมขึ้น (artificial aggregates) เป็นวัสดุที่ได้จากปฏิบัติการทางความร้อนของวัสดุต่าง ๆ เช่น เวอร์มิคิวไลท์ (vermiculite) ซึ่งเป็นสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกต (ไมกา) ที่มีน้ำประกอบอยู่หรือเป็นพวก ดิน ดินดาน และหินชนวนเผา ซึ่งมีชื่อเรียกทางการค้าต่าง ๆ เช่น เฮย์ไดต์ (haydite) เลไลท์ (lelite) โซไลท์ (solite) และทัฟฟ์-ไลท์ (tuff – lite) หรืออาจจะเป็นการนำหินเพอร์ไลท์ (perlite) มาผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดการขยายตัว

2.2.3 คอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมี ทำโดยใช้ผงต่างโลหะ (alkaline metal) ผสม เช่น ผงอลูมิเนียม (aluminum powder) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่มชนิดทำให้เกิดก๊าซ (gas-forming admixture) ใช้ผงอลูมิเนียมประมาณ 0.005 ถึง 0.02% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ผงอลูมิเนียมที่ผสมลงไปทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยากับอัลคาไลไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์เพสต์ ไฮโดรเจนกลายเป็นฟองอากาศเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 ถึง 1 มม. อยู่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตพองตัวฟูขึ้น มีปริมาตรเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะกลายเป็นคอนกรีตที่มีรูเล็ก ๆ อยู่ข้างในมากมาย คอนกรีตที่ได้เรียกว่า โฟมคอนกรีต (aerated or foam concrete) โฟมคอนกรีตอาจผลิตโดยไม่มีทรายผสมอยู่ก็ได้ โฟมคอนกรีตที่ไม่มีทรายผสมจะเบากว่าน้ำถึงสามเท่า คือ มีหน่วยน้ำหนักเพียง 200 ถึง 300 กก./ลบ.ม. ประโยชน์ใช้ทำ

ฉนวนกันความร้อน แต่หากมีทรายผสมด้วยจะหนัก 500 ถึง 1,100 กก./ลบ.ม. นอกจากนี้อาจมีการใช้ผงสังกะสี (zinc powder) หรือไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (hydrogen peroxide) ก็ได้ (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

2.3 คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อก หรือซีเมนบล็อก หรืออิฐบล็อก เป็นชื่อที่ใช้เรียกกันทั่วไป คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อเสริมจุดเด่นได้ดีกว่าอิฐมอญ เช่น แข็งแรงกว่าก่ออิฐได้รวดเร็ว ทนทานกว่า และน้ำหนักเบากว่า คอนกรีตบล็อกนิยมใช้กับการก่อผนังอาคารทั่วไปทั้งภายในและภายนอกเพื่อลดน้ำหนักของโครงสร้างใช้กับงานภายนอก เช่น รั้ว กำแพงกันดินเตี้ย ๆ นอกจากนี้ยังผลิตให้มีช่องแสงและลวดลายที่สวยงามที่สามารถเลือกซื้อทั่วไปได้ในตลาด มีผสมจากซีเมนต์ หินเกล็ด ทรายหยาบและน้ำ ซึ่งจะมีน้ำหนักมากจึงออกแบบให้มีลูกกลิ้งเพื่อลดน้ำหนักลง คอนกรีตบล็อกที่ผลิตและใช้งานทั่วไปในท้องตลาดจะมีขนาดหนา 7 เซนติเมตร กว้าง 19 เซนติเมตร และยาว 39 เซนติเมตร (สมอ., 2533) ดังแสดงในรูปที่ 3

2.3.1 ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก

2.3.1.1 ปูนซีเมนต์ ให้ใช้อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1 ปูนซีเมนต์ผสมควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสมมาตรฐานเลขที่ มอก.80

2.3.1.2 มวลรวมหรือวัสดุผสมคอนกรีตบล็อก ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต มาตรฐาน มอก.566 ยกเว้นเกณฑ์กำหนดการคัดขนาดมวลผสมคอนกรีต

2.3.1.3 ส่วนผสมอื่น ๆ ตัวทำฟองอากาศ สี สารกันน้ำ ฯลฯ ที่นำมาใช้ ควรเป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีตและควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.1 คอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายในท้องตลาด

2.3.2 มวลรวมหรือวัสดุผสม

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) คือ วัสดุเฉื่อย อันได้แก่ หิน ทราย กรวด ที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมมีปริมาตร 70-80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้น จึงไม่น่าเป็นที่

สงสัยเลยว่า ทำไมคุณภาพของมวลรวมจึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสนใจในเรื่องนี้อย่างมาก

ในอดีตมวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุเฉื่อย ที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้น ในปัจจุบันนี้พบว่า มวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีก ประการแรกเนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะ เพื่อที่จะให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดน้อยลง ประการต่อมาคุณสมบัติของมวลรวม จะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีตด้วย กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลว และคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้ คือ ต้องมีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในซีเมนต์ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต และมวลรวมต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์เพสต์ (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร์, 2540)

2.3.3 ประเภทของมวลรวม

เมื่อแบ่งมวลรวมตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) เกิดจากขบวนการกัดกร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ

2) มวลรวมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial Aggregate) เช่น มวลรวมเบาบางประเภทที่ได้จากการเผาดิน เป็นต้น

ถ้าแบ่งมวลรวมตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักจะแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

1) มวลรวมเบา มีความหนาแน่นตั้งแต่ 300-1,100 กก./ลบ.ม.

2) มวลรวมปกติ มีความหนาแน่นตั้งแต่ 2,400-3,000 กก./ลบ.ม.

3) มวลรวมหนัก มีความหนาแน่นมากกว่า 4,000 กก./ลบ.ม.

หรือถ้าแบ่งมวลรวมตามขนาด เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) มวลรวมหยาบ ใกล้เคียง หิน หรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

2) มวลรวมละเอียด ได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือ สามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.075 หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียดซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยมากในส่วนผสมคอนกรีต (วินิต ช่อวิเชียร, 2527)

2.3.4 ขั้นตอนการติดตั้งคอนกรีตบล็อก

2.3.4.1 คอนกรีตบล็อกก่อนนำมาใช้ควรทำความสะอาดโดยการปัดฝุ่นหรือเช็ดดินที่เกาะติดออกให้หมด ไม่ควรนำไปแช่น้ำ

2.3.4.2 การก่ออิฐบล็อกจะต้องเริ่มจากมุมก่อนเสมอ การเริ่มก่อจากมุมขอบผนังหรือขอบเสาจะช่วยให้อิฐมีการยึดเกาะเริ่มต้นที่มั่นคง

2.3.4.3 แนวปูนก่อหรือความหนาปูนก่อควรอยู่ระหว่าง 1-2 เซนติเมตร เพื่อช่วยให้การยึดเหนี่ยวระหว่างอิฐได้ดี

2.3.4.4 การก่ออิฐนอกจากจะต้องชิงเอ็นแนวราบแล้ว ยังต้องชิงเอ็นแนวตั้งด้วย เพื่อป้องกันการก่ออิฐไม่ได้แนวตรง คดไปคดมา

2.3.4.5 ผนังก่อจากขอบเสา ที่ขอบเสาจะต้องมีการเสียบเหล็กหนวดกุ้งไว้เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะเกี่ยวผนังอิฐโดยทั่วไปใช้เหล็กหนวดกุ้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4-50 เซนติเมตรเสียบที่เสาระยะห่างกันประมาณ 30-40 เซนติเมตร

2.3.4.6 ผนังที่มีช่องว่างประตูหน้าต่างควรมีการเสริมคานเอ็นเสาเอ็น รัตรอบ เพื่อทำหน้าที่แบกรับน้ำหนักผนังอิฐ และป้องกันการหลุดตัวของวงกบไม้

2.3.4.7 ผนังอิฐมีความสูงประมาณเกิน 3-4 เมตร หรือสูงเกิน 3 เมตร ควรเสริมเสาเอ็นและคานเอ็นเพื่อทำหน้าที่ให้ผนังเกาะยึด หรือเป็นการช่วยกระจายน้ำหนักทำให้ผนังแข็งแรงขึ้น

2.3.4.8 การก่อผนังอิฐควรวางแผนการก่อหรือฉาบด้วย ไม่ควรก่อผนังในด้านที่มีแสงแดดจัดส่อง หากเลี่ยงไม่ได้ก็ควรหาที่บังแดดขนาดก่อหรือฉาบ เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนแห้งเร็วเกินไป

2.3.4.9 การก่อผนังจนเกือบถึงคานชั้นบนควรหยุดก่อเว้นช่องว่างไว้ประมาณ 10-20 เซนติเมตรประมาณ 3-5 วัน เพื่อรอให้คานคอนกรีตนั้นแอมตัวจนอยู่ตัวแล้ว หรือรอให้ผนังที่ก่ออยู่ตัวให้คงที่เสียก่อนจึงค่อยก่ออิฐให้เต็ม (มนต์ชัย วงศ์สันติราษฎร์ และคณะ, 2548)

2.4 สมมติฐาน

2.4.1 เศษกระเบื้องเซรามิกเมื่อนำมาบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 8 สามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมทดแทนมวลรวมปกติทั้งหมดของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักได้

2.4.2 ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย มีสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

2.4.3 ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกปกติทั่วไป

2.4.4 ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย สามารถนำไปใช้งานได้จริงและพัฒนาส่งเสริมให้เป็นผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมได้

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา เห็นได้ว่าเศษเซรามิกเมื่อนำมาบดย่อยแล้วสามารถนำมาเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมได้บางส่วน และคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักก็ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ซึ่งในเมื่อเศษเซรามิกที่ผ่านการเผามีความแข็งแรงและมีลักษณะเป็นมวลรวมที่ดี โดยสังเกตจากเหลี่ยมคมของเศษเซรามิกบดย่อยที่ชัดเจน ก็มีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนมวลรวมได้ทั้งหมด 100% แต่ทั้งนี้ก็ต้องทำการศึกษาขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต จากนั้นต้องทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เพื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับนำไปใช้จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ และเพื่อเป็นการยืนยันว่านำไปใช้งานได้จริงก็ต้องทำการทดสอบการใช้งานจริง และเมื่อได้ผลงานวิจัยที่ชัดเจนแล้วจึงทำการถ่ายทอดองค์ความรู้เทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยของโครงการ "ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม" ในรอบระยะเวลา 12 เดือน ได้ดำเนินการต่อจากการรายงานผลการวิจัยในรอบระยะเวลา 6 เดือน โดยสามารถสรุปการดำเนินงานในรอบที่ผ่านมา ความก้าวหน้าที่เกิดขึ้นในรอบปัจจุบัน และนำเสนอตารางแผนงานเปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการและกิจกรรมที่เกิดขึ้นจริง โดยสามารถนำเสนอการดำเนินงานประกอบด้วย เครื่องมือและอุปกรณ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อก และการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน ได้นำเสนอเท่าที่มีความจำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย

3.1.1 เศษกระเบื้องเซรามิก จากโรงงานเซรามิก อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. เพื่อให้ได้ขนาดคละทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

3.1.2 หินฝุ่น จากจังหวัดสระบุรี

3.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

3.1.4 น้ำประปา

3.1.5 สีผสมคอนกรีต และสารเคมีผสมเพิ่ม (ถ้ามี)

3.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.1.7 แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลางขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.8 เครื่องผสมคอนกรีตแบบกระทะ

3.1.9 เครื่องบดเซรามิก

3.1.10 เครื่องอัดกึ่งไฮดรอลิก แบบเดียวกับที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป

3.1.11 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยประสานงานกับหน่วยงานรับทดสอบ

3.1.12 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) โดยประสานงานกับหน่วยงานรับทดสอบ

3.1.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยประสานงานกับหน่วยงานรับทดสอบ

3.1.14 เครื่องทดสอบแรงกด (UTM)

3.1.15 อุปกรณ์ก่อสร้างอื่น ๆ เช่น กระจงปูน, พลั่ว, ค้อน และเกียงก่อ เป็นต้น

3.1.16 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

โดยตัวอย่างของวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.1



เศษเซรามิกบดย่อย



ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1



หินฝุ่นจากเหมืองหินปูน



เครื่องบดเซรามิก



เครื่องผสมคอนกรีตแบบกระทะ



อุปกรณ์พลิกก้อนคอนกรีต



เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก



เครื่องทดสอบเอนกประสงค์



ชุดตะแกรงร่อนวัสดุ



กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ตู้อบวัสดุ



เครื่องทดสอบสภาพความร้อน

รูปที่ 3.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่จำเป็นในการดำเนินงาน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับการดำเนินโครงการที่มีการปรับรายละเอียดระหว่าง การดำเนินงานจึงนำเสนอในรูปแบบของการดำเนินโครงการในรอบ 2 เดือน 6 เดือน และ 12 เดือน อีกทั้งใน แต่ละช่วงเวลาได้มีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างการรายงานความก้าวหน้า ดังนั้นจึงขอเสนอขั้นตอน การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกและการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ไปพร้อมกันในหัวข้อนี้ ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.2.1 สรุปงานที่ดำเนินการในรอบ 2 เดือน

การดำเนินงานในรอบ 2 เดือนที่ผ่านมา ได้ทำการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย และการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมโดยการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งทำการสอบถามข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญที่ ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะด้านการใช้เศษเซรามิกในการผสม คอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง พบว่ายังไม่มีมีการจดทรัพย์สินทางปัญญาในเรื่องของการนำเศษเซรามิกมาใช้เป็น ส่วนผสมในคอนกรีต แต่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เศษเซรามิกเป็นส่วนผสมในคอนกรีตโดยนำมาทดแทน มวลรวมบางส่วน และงานวิจัยของคณะผู้วิจัยที่นำมาทดแทนมวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้น ให้กับ บริษัท ภาครอินโนซิส จำกัด ซึ่งในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าการนำเศษกระเบื้องเซรามิก มาใช้ในงาน คอนกรีตสามารถใช้งานได้ โดยต้องทำการกำหนดขนาดของเศษกระเบื้องเซรามิกโดยการบดย่อยและร่อนผ่าน ตะแกรง หลังจากนั้นทำการออกแบบส่วนผสมให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับการใช้งาน

ผลของการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ สามารถสรุปได้ว่า วัสดุที่ทำการจัดซื้อและจัดเตรียมเรียบร้อยแล้ว ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย หินฝุ่น และน้ำประปา อุปกรณ์ ที่หน่วยงานมีอยู่แล้ว คือ เครื่องผสมคอนกรีตแบบกระทะ ตะแกรง (Sieve) สำหรับร่อนวัสดุผสม เครื่องชั่ง น้ำหนัก แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวงขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ชุดทดสอบหาค่าความ หนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) เครื่องอัด แบบสั่นเขย่ากึ่งอัตโนมัติ อุปกรณ์ฟลักคอนกรีตบล็อก และอุปกรณ์ก่อสร้างอื่น ๆ เช่น กระจงปูน, พลั่ว, ค้อน และเกียงก่อ เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบที่มหาวิทยาลัยไม่มี ได้ทำการประสานงานกับหน่วยงานที่ รับทดสอบเรียบร้อยแล้ว มีดังนี้คือ เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 518 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) ห้องทดสอบอุณหภูมิ ภาควิชาฟิสิกส์ ซึ่งการเตรียมการทั้งหมดเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและอยู่ในแผนการดำเนินงานที่วางไว้

3.2.2 สรุปงานที่ดำเนินการในรอบ 6 เดือน

การดำเนินงานในช่วงเดือนที่ 3-6 นั้น ต้องทำการออกแบบกำหนดส่วนผสมไม่น้อยกว่า 10 อัตราส่วน ทำการทดลองผสมและเลือกตัวอย่างที่มีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์มาทำการทดสอบโดยละเอียดอีกครั้ง จำนวน 7 อัตราส่วน เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติที่จำหน่ายตามท้องตลาด 1 อัตราส่วน รวมเป็น 8 อัตราส่วน ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อวัสดุ และใช้ระยะเวลาให้เหมาะสมกับการ ดำเนินงาน เพราะว่าการทดสอบสมบัติแต่ละประเภทต้องใช้ระยะเวลาการแข็งตัวของคอนกรีตตามกำหนด เพื่อให้ได้กำลังสูงสุดที่นำมาวิเคราะห์ผลได้จำนวน 1 เดือน ตลอดจนการทดสอบสมบัติทางด้านการเป็นฉนวน ความร้อนที่เพิ่มเติมเข้ามา อีกทั้งการทดสอบการใช้งานในสถานที่จริง อาจส่งผลให้ดำเนินการไม่ทันตาม กำหนดที่ตั้งไว้ ดังนั้นจึงต้องทำการวางแผนการดำเนินงานโดยพิจารณาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จาก ประสบการณ์ของคณะผู้วิจัย จากคอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายตามท้องตลาดในการกำหนดส่วนผสมในเบื้องต้น และที่สำคัญมากที่สุดคือคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยประเมินงานวิจัยรอบ 2 เดือน ซึ่งผู้ดำเนินงานวิจัยได้ นำไปปรึกษาหารือกับบริษัท เพื่อหาข้อสรุปในการดำเนินงานวิจัยให้สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ได้จริงในเชิง พาณิชย์ โดยขั้นตอนการดำเนินงานในรอบ 6 เดือน มีดังต่อไปนี้

3.2.2.1 ประชุมหารือการดำเนินงานวิจัยกับบริษัท

ตามที่ได้รายงานความก้าวหน้าครบรอบ 2 เดือน และผู้ทรงคุณวุฒิได้มีข้อเสนอแนะให้ดำเนินการเพื่อให้งานวิจัยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นหลังจากที่ได้รับคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิจึงได้นำข้อมูลมาประชุมปรึกษาหารือกับบริษัทที่สนับสนุนการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อตกลงร่วมกันในการดำเนินงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับบริษัท และสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ ได้ข้อสรุปการดำเนินงานในรอบเดือนที่ 3-6 ดังต่อไปนี้

3.2.2.1.1 เลือกใช้เศษกระเบื้องบุผนังและกระเบื้องปูพื้นที่เป็นกระเบื้องดินเผาเนื้อสีแดงเพียงชนิดเดียวในการบดย่อยเป็นมวลรวม สำหรับเป็นส่วนผสมขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์ และทำการทดสอบสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรือง กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น เนื่องจากเป็นเศษเซรามิกที่หาได้ง่าย และมีจำนวนมากเพียงพอต่อการใช้งาน

3.2.2.1.2 ทำการออกแบบและจัดทำแบบหล่อสำหรับอัดคอนกรีตบล็อกใหม่ โดยให้สามารถวางก่อสร้างกันเป็นผนังได้โดยใช้เพียงยาแนวซึ่งไม่ต้องใช้ปูนฉาบ

3.2.2.1.3 เลือกสีผิวหน้าคอนกรีตบล็อกลักษณะบ้านสไตล์ทัสคานี (Tuscany) แบบอิตาลี โดยกำหนดใช้สี แดง เหลือง ฟา เขียว และขาว

3.2.2.1.4 ทำสีผิวหน้าของก้อนคอนกรีตบล็อกโดยใช้วิธีการฉาบปูนสีกิมโค้ทผสมสีแทนการผสมสีลงไปทั้งก้อน เนื่องจากจะได้สีที่สด ผิวเรียบเนียน สวย และประหยัดมากกว่า

3.2.2.1.5 การวัดอุณหภูมิภายในห้องเพื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตบล็อกปกติและคอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยของงานวิจัย ให้ทำการก่อสร้างเป็นห้องจำลองขนาด $3 \times 3 \times 3$ ลูกบาศก์เมตร ทำการติดตั้งเทอร์มิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกอาคารจำนวน 24 ชั่วโมง

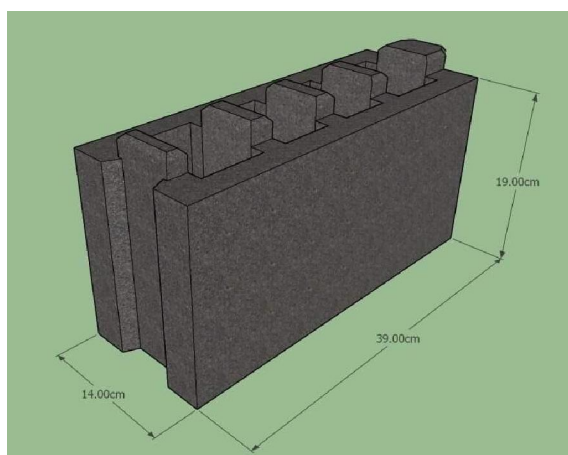
เมื่อผู้วิจัยนำมาเสนอความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิให้กับบริษัทได้รับทราบ จึงได้เป็นข้อสรุปตามตารางที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อเสนอในการดำเนินงานวิจัยตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิและความต้องการของบริษัท

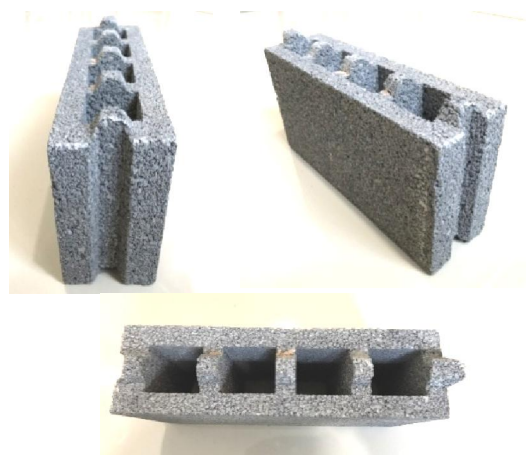
ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	ความเห็นของบริษัท	ข้อเสนอในการดำเนินงานวิจัย
1. ให้พิจารณาในเชิงลึกดูว่าตลาดต้องการอะไร เพื่อนำมากำหนดกรอบของงานวิจัยให้ชัด จะทำให้มีองค์ประกอบของงานวิจัยมีความชัดเจน	พิจารณาในเชิงลึกดูว่าตลาดต้องการอะไรตามความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ โดยสอบถามจากลูกค้า และกลุ่มเป้าหมายอื่น ๆ	บริษัทสอบถามความต้องการของลูกค้า และกลุ่มเป้าหมาย ที่ไม่ต้องการปูนก่อ-ฉาบ ได้เป็นทำสีผิวหน้าสโตร์ที่สถานี ซึ่งสอดคล้องกับที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้ทำขายอิฐสี
2. เลือกวิธีวิจัยในรูปแบบที่โรงงานสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยวัดอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาหลังจากที่ทำข้อ 1 แล้ว	เลือกวิธีวิจัยในรูปแบบที่โรงงานสามารถนำไปใช้งานได้จริงโดยวัดอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาหลังจากที่ทำข้อ 1 แล้ว ตามความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติและคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย โดยทำการติดตั้งเทอร์มิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิจำนวน 24 ชั่วโมง
3. ให้ทบทวนความเป็นไปได้ของวัตถุดิบว่ามีปริมาณที่สามารถนำมาใช้ได้ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำและสามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์	ทบทวนความเป็นไปได้ของวัตถุดิบว่ามีปริมาณที่สามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์หรือไม่พบว่าควรใช้กระเบื้องปูผนังและกระเบื้องปูพื้นที่เป็นกระเบื้องดินเผาเนื้อสีแดง เนื่องจากมีจำนวนมากเพียงพอต่อการใช้งาน	เลือกใช้เศษกระเบื้องปูผนังและกระเบื้องปูพื้นที่เป็นกระเบื้องดินเผาเนื้อสีแดงเพียงชนิดเดียวในการบดย่อยเป็นมวลรวม เพื่อกำหนดส่วนผสม ขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์ และทำการทดสอบสมบัติตาม มอก.

3.2.2.2 การทำแบบหล่อคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก

ทำการปรับแต่งแบบหล่อสำหรับใช้อัดขึ้นรูปกระเบื้องเซรามิกใหม่ ให้สามารถทำการก่อคอนกรีตบล็อกเรียงต่อกันได้โดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ เพื่อความสวยงาม และประหยัด ซึ่งใช้เพียงแค่น้ำสำหรับยาแนวรอยต่อของคอนกรีตบล็อกให้เรียบร้อยและมีสีสน้ำกลมกลืนทั่วกันทั้งผนังเท่านั้น โดยแบบของคอนกรีตบล็อกที่ออกแบบและคิดค้นขึ้นใหม่นี้ มีดีโดยรวมจะเหมือนกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป แต่จะเพิ่มเติมในส่วนของเดือยตัวผู้ด้านบนและเดือยตัวเมียด้านล่างสำหรับการสวมต่อกันตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้เรียงตัวกันเป็นผนังสูงขึ้นไปได้ ลักษณะของคอนกรีตบล็อกแสดงดังรูปที่ 3.2



ก. รูปแบบก้อนคอนกรีตบล็อก



ข. ตัวอย่างก้อนคอนกรีตบล็อกจริง

รูปที่ 3.2 ลักษณะของก้อนคอนกรีตบล็อกของงานวิจัย

3.2.2.3 การกำหนดอัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก

การกำหนดอัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก ได้ทำการใช้เศษกระเบื้องเซรามิกจากกระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องบุผนังที่เป็นลักษณะเนื้อกระเบื้องดินเผาสีแดง เนื่องจากมีจำนวนมาก และบริษัทสามารถมีเพียงพอต่อการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ และอัตราส่วนที่ใช้นี้ได้อ้างอิงจากข้อมูลการวิจัยเบื้องต้น ที่ได้นำเสนอในรายงานความก้าวหน้ารอบ 2 เดือน แต่ในครั้งนี้อาจใช้สารผสมเพิ่ม (สารกันซึม) ในการผสม เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก โดยอัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิกแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เศษเซรามิกบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 8 มม.	หินฝุ่นหินปูน	น้ำประปา
C13 (1:13)	1	13	0	0.6
C12 (1:12)	1	12	0	0.6
C11 (1:11)	1	11	0	0.6
C10 (1:10)	1	10	0	0.6
C9 (1:9)	1	9	0	0.6
C8 (1:8)	1	8	0	0.6
C7 (1:7)	1	7	0	0.6
C0 (ปกติ)	1	0	9	0.6

3.2.2.4 การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก

กระบวนการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก ในครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากบริษัทที่สนับสนุนงานวิจัย ให้ใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ ตลอดจนคนงานผู้ชำนาญการ ในการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นเครื่องจักรอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิกของโรงงาน ซึ่งเมื่อก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ได้ขึ้นรูปแล้วเมื่อนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานอัตราส่วนที่มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก จะสามารถนำไปผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ทันที โดยภาพขั้นตอนการผลิตและขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกแสดงในรูปที่

3.3

สรุปขั้นตอนการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก มีดังต่อไปนี้

3.2.2.4.1 การผสมส่วนผสมทั้งหมดของคอนกรีตบล็อกตามอัตราส่วนที่กำหนด

เริ่มด้วยการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และมวลรวม (หินฝุ่นหินปูน/เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย) มาผสมให้เข้ากันในเครื่องผสมคอนกรีตแบบกระทะหรือแบบไม่ผสม เติมน้ำประปาลงในเครื่องผสมคอนกรีต โดยแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนตามปริมาณน้ำที่กำหนด แล้วทยอยเติมลงไปในเครื่องผสมเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดีขึ้น และง่ายต่อการผสม

3.2.2.4.2 การขึ้นรูปตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก

ทำการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกผสมเศษกระเบื้องเซรามิก ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิก ได้ขนาดก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก เท่ากับ $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยขั้นตอนที่ 1 ทาน้ำมันหล่อลื่นลงบนแผ่นเหล็กทรงแบบคอนกรีตบล็อก ของเครื่องอัดคอนกรีต

บล็อก ซึ่งสามารถทำให้ในขั้นตอนการแกะหรือถอดแผ่นเหล็กทรงแบบคอนกรีตบล็อกออกจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้สะดวก ขั้นตอนที่ 2 นำส่วนผสมออกจากเครื่องผสม และเทวัสดุส่วนผสมลงไปจนเต็มแบบอัดของเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก ขั้นตอนที่ 3 ทำการดึงกระบะแบบอัดคอนกรีตบล็อก เพื่อให้วัสดุส่วนผสมที่อยู่ในกระบะแบบอัดคอนกรีตบล็อกไหลลงแบบอัดคอนกรีตบล็อกจนเต็ม และเปิดเครื่องเพื่อเขย่าส่วนผสมให้เกิดการเรียงตัวของส่วนผสมพร้อมกับกดปุ่มให้ไฮดรอลิกปล่อยฝาครอบลงมากดดันให้มวลรวมอัดแน่นในแบบหล่อ และขึ้นรูปจับตัวกันเป็นก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ขั้นตอนที่ 4 เมื่อทำการอัดแน่นวัสดุส่วนผสมเรียบร้อยแล้ว ทำการกดปุ่มเพื่อดันก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด ขึ้นมาอย่างช้า ๆ

3.2.2.4.3 การถอดแบบและบ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

เมื่อทำการอัดคอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยเรียบร้อยแล้ว ทำการพลิกก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก เพื่อทำการถอดแผ่นเหล็กแบบรองคอนกรีตบล็อกออก แล้วนำก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกไปวางในที่ร่มผึ่งให้แห้งในสภาพอากาศปกติ

3.2.2.4.4 การฉาบปิดผิวหน้าคอนกรีตบล็อก

การฉาบปิดผิวหน้าคอนกรีตบล็อกเพื่อป้องกันการซึมน้ำและไม่ต้องทำการฉาบปิดผิวหน้าอีกครั้งหลังจากนำคอนกรีตบล็อกไปก่อสร้างผนังอาคาร โดยใช้ปูนกาวจะเข้าสีกิมโค้ทผสมผสมกับสีฝุ่นที่ทำการเลือกไว้ในเบื้องต้น ฉาบผิวหน้าบาง ๆ แล้วปล่อยให้แห้งในสภาพอากาศปกติก่อนเคลื่อนย้ายไปกองเก็บโดยภาพการดำเนินงานแสดงในรูปที่ 3.3

3.2.2.4.5 รายงานผลการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก

ผลจากการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิก โดยทำการดัดแปลงแบบหล่อของคอนกรีตบล็อกให้มีลักษณะเป็นเตี้ยต่อกันเพื่อลดปริมาณการก่อ และการผสมสีลงที่ผิวหน้าเพื่อลดปริมาณการฉาบผิวหน้า อีกทั้งทำการปรับส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกให้ใช้กระเบื้องประเภทที่ใช้ปูพื้น-ผนัง แต่เพียงชนิดเดียว กำหนดอัตราส่วนน้ำคงที่โดยไม่ใช้สารผสมเพิ่มในการผสม พบว่าการขึ้นรูปก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกสามารถขึ้นรูปได้ปกติ มีความแข็งแรงตัวของคอนกรีตตามระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ซึ่งสอดคล้องทฤษฎีของคอนกรีต เมื่อก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจากเศษกระเบื้องเซรามิกแข็งตัวเต็มที่แล้ว สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยไม่แตกหักเสียหาย มีเหลี่ยมคม และขนาดมิติที่ชัดเจน พร้อมสำหรับการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ต่อไป



ตวงส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด



เปิดเครื่องกวนผสมให้เข้ากัน



เทส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วลงในภาชนะ



เทส่วนผสมลงในแบบหล่อคอนกรีตบล็อก



เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบเสมอกับแบบหล่อ



เปิดเครื่องสำหรับอัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

รูปที่ 3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



ดันก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ



พลิกก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



บ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในสภาพบรรยากาศ



ฉาบผิวหน้าด้วยปูนซีเมนต์ผสมสี



ฝั่งก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้แห้ง



ก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกพร้อมจำหน่าย

รูปที่ 3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (ต่อ)

3.2.3 การดำเนินงานในรอบระยะเวลา 6-12 เดือน

3.2.3.1 การทดสอบสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวม

ทำการทดสอบสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวม คือ เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยเปรียบเทียบกับหินฝุ่นหินปูน ตามมาตรฐาน มอก.566-2528 เรื่องมวลผสมคอนกรีต (สมอ., 2528) ประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก และโมดูลัสความละเอียด เพื่อต้องการทราบข้อมูลพื้นฐานของวัสดุมวลรวมสำหรับใช้ประกอบการวิเคราะห์ผลการทดสอบ (รูปที่ 3.4)

3.2.3.2 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

ภายหลังจากก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงให้นำคอนกรีตบล็อกที่ได้ไปกองบ่มในสภาพอากาศปกติตามระยะเวลาที่ต้องการ 7, 14, 21 และ 28 วัน เพื่อบรรเทาการทดสอบตามกำหนดระยะเวลา ซึ่งเมื่อครบระยะเวลาการบ่มตามกำหนดแล้ว จึงนำคอนกรีตบล็อกไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางกล ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (รูปที่ 3.5) และทดสอบสมบัติทางด้านสภาพการนำความร้อน และการส่งกล้องขยายถ่ายภาพอนุภาคของวัสดุ ได้ส่งตัวอย่างไปทดสอบที่หน่วยงานที่รับทดสอบเฉพาะทาง ทั้งนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น ส่วน ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.3.2.1 ทดสอบสมบัติตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภทที่ 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ประกอบด้วย การพิจารณาลักษณะทั่วไป และความต้านทานแรงอัด ให้การชักตัวอย่างสำหรับทดสอบเป็นไปตาม มอก.109-2517 เรื่องวิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต (สมอ., 2517)

3.2.3.2.2 ทดสอบสมบัติประกอบทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภทที่ 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ไม่ได้บังคับว่าต้องทำการทดสอบ ประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร

3.2.3.2.3 ทดสอบสมบัติด้านอื่น ๆ เพื่อประกอบการวิเคราะห์ผล การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ประกอบด้วย การส่งกล้องขยายถ่ายภาพการเกาะตัวของมวลรวมกับมอร์ต้าภายในเนื้อคอนกรีตบล็อก (ภาพผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ง) การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C518-15 (ASTM, 2015) การทดสอบอุณหภูมิภายในห้องทดสอบจำลองเปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกปกติกับคอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อย และการทดสอบสภาพการใช้งานจริง ประกอบด้วย การก่อ และการฉาบ การตัด การเจียร และการเจาะยึดทุก เป็นต้น (รูปที่ 3.6)

3.2.3.3 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ทำการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน ในรูปแบบของตาราง แผนภูมิแท่ง กราฟเส้น เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และแนวโน้มของสมบัติด้านต่าง ๆ ตลอดจนวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกแบบปกติทั่วไปที่ใช้หินฝุ่นหินปูนเป็นมวลรวมในการผสม

3.2.3.4 การเผยแพร่ผลงาน

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานแล้ว ได้ทำการเผยแพร่ผลงานในรูปแบบของบทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ และแผ่นพับเอกสารประชาสัมพันธ์ ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทและกลุ่มเป้าหมาย การเข้าร่วมการประกวดผลงานในเวทีนานาชาติ การเข้าร่วมการประชุมวิชาการ ร่วมจัดนิทรรศการกับหน่วยงานภาครัฐ และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์



ไล่ฟองอากาศการเพื่อหาความถ่วงจำเพาะ



ชั่งน้ำหนักขวดแก้วพร้อมเศษเซรามิกและน้ำ



การหาปริมาณความชื้นของเศษเซรามิก



ชั่งน้ำหนักที่ค้ำบนตะแกรงหาโมดูลัสความละเอียด



ชั่งน้ำหนักเศษเซรามิกพร้อมน้ำสะอาด



การเทเศษเซรามิกเพื่อทำการ Sieve

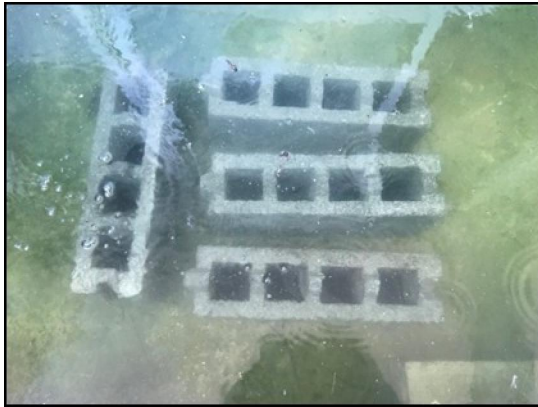
รูปที่ 3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม



การเจียรด้านบนคอนกรีตบล็อกให้เรียบ



การทดสอบความต้านทานแรงอัด



แช่ก้อนตัวอย่างในน้ำเพื่อทดสอบการดูดซึม



อบก้อนตัวอย่างเพื่อหาความชื้น



ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



การแตกหักของคอนกรีตบล็อก

รูปที่ 3.5 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อก



การตัดคอนกรีตบล็อก



การวางคอนกรีตบล็อก



การตอกคอนกรีตบล็อก



ทำโครงสร้างห้องทดสอบอุณหภูมิ



ห้องทดสอบอุณหภูมิด้านข้าง



ห้องทดสอบอุณหภูมิด้านหน้า

รูปที่ 3.6 การทดสอบการใช้งานจริง

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน และสรุปผล

ผลการดำเนินงานโครงการ “ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม” ทำการทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ทางด้านกายภาพและทางกล ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสมบัติทางด้านสภาพการนำความร้อน และการส่งกล้องขยาย ถ่ายภาพอนุภาคของวัสดุ ได้ส่งตัวอย่างไปทดสอบที่หน่วยงานที่รับทดสอบเฉพาะทาง และการทดสอบการใช้งานก่อ-ฉาบ ในสถานที่จริง และการทดสอบอุณหภูมิภายในอาคาร ทำการทดสอบที่ หจก.เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) ซึ่งเป็นผู้ประกอบการที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย ได้ผลการทดสอบและสรุปผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม

ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวมเปรียบเทียบกับระหว่างหินฝุ่นหินปูนจากโรงโม่หินจังหวัดสระบุรี ที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกปกติกับเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 8 มม. ที่นำมาจากโรงงานเซรามิกของ อ.พุแค จ.สระบุรี ซึ่งใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของวัสดุมวลรวม

สมบัติวัสดุ	หินฝุ่นหินปูน	เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย
ความถ่วงจำเพาะ	2.68	2.32
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	3.45	5.10
หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	1,426	1,047
โมดูลัสความละเอียด	2.98	2.74

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกตามข้อบังคับของ มอก.58-2533

ผลการทดสอบสมบัติตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภทที่ 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ประกอบด้วย ขนาดและเกณฑ์ความคาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป และความต้านทานแรงอัด ดังต่อไปนี้

4.2.1 ขนาดและเกณฑ์ความคาดเคลื่อน และลักษณะทั่วไป

ขนาดและเกณฑ์ความคาดเคลื่อนตรวจสอบโดยการวัด และลักษณะทั่วไปพิจารณาโดยการตรวจพินิจ โดยข้อกำหนดของ มอก.58-2533 มีดังนี้

4.2.1.1 ขนาดและเกณฑ์ความคาดเคลื่อน

- 1) ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร
- 2) ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

4.2.1.2 ลักษณะทั่วไป

1) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อนต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่เกิดขึ้นในกรรมวิธี ผลิตปกติหรือรอยปริเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดาจะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

2) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้เป็นอย่างดี

3) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่น ๆ ถ้าในการสังเคราะห์หนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ

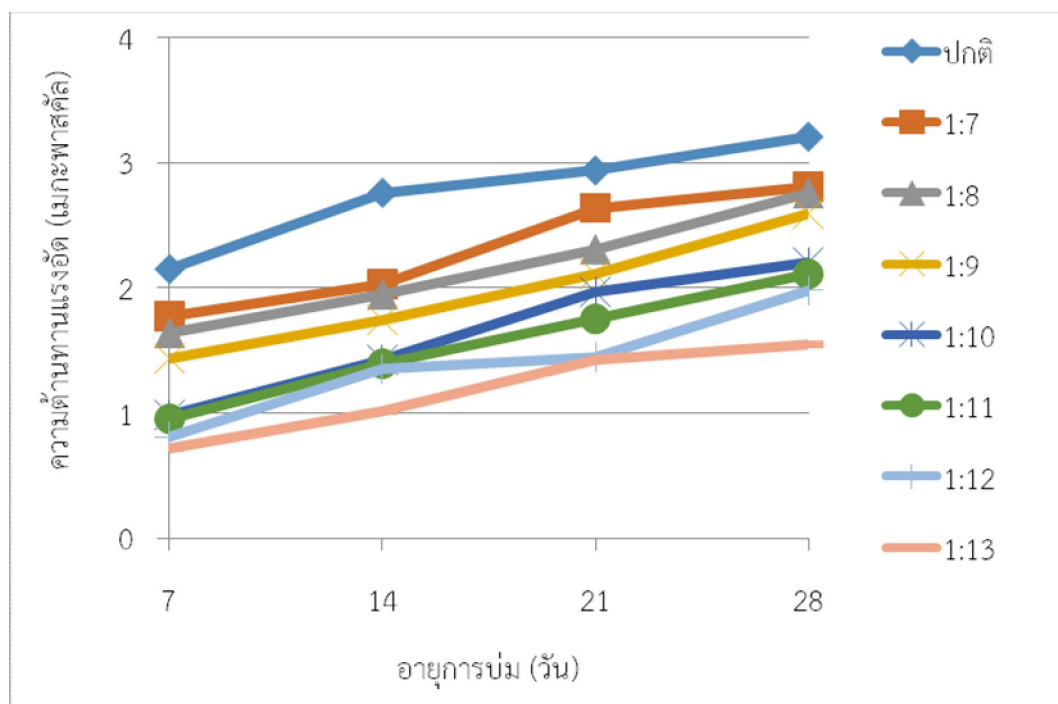
ผลการวัดขนาด ความคลาดเคลื่อน และการตรวจพินิจก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยทดแทนหินฝุ่นหินปูนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติ (Standard) โดยคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเศษเซรามิกบดย่อยทุกอัตราส่วนที่ทำการขึ้นรูปทดสอบผ่านตามข้อกำหนด คือ มีมิติไม่คลาดเคลื่อน มีความหนา ความเรียบ ได้ฉาก และมีขอบคม ไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว เช่นเดียวกันกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นหินปูน

4.2.2 ความต้านทานแรงอัด

ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก เป็นค่าที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อจำหน่าย นำไปใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เนื่องจากเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของผนังอาคารที่ทำการก่อด้วยคอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่อย่างไร ซึ่งคอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีจำนวนมากที่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แต่เนื่องจากมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เป็นมาตรฐานแนะนำไม่ใช่มาตรฐานบังคับ ดังนั้นคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผ่านมาตรฐานก็ยังจำหน่ายได้โดยไม่ผิดกฎหมาย แต่ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นผลการทดสอบที่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดเท่านั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลเพื่อนำอัตราส่วนผสมที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานไปใช้งาน ซึ่งตามข้อกำหนดของ มอก.58-2533 ความต้านทานแรงอัดต่ำสุดของคอนกรีตบล็อก (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม) แต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยจาก 5 ก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล หรือประมาณ 25 กก./ตร.ซม. การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยที่อัตราส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นหินปูน ทำการทดสอบแรงอัดประลัยของก้อนคอนกรีตบล็อกแต่ละอัตราส่วน ตามจำนวนอายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน แล้วคำนวณเป็นค่าความต้านทานแรงอัดได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : เศษเซรามิกบดย่อย)	อายุการบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
ปกติ	2.15	2.76	2.84	3.21
1:7	1.77	2.03	2.64	2.81
1:8	1.64	1.95	2.31	2.76
1:9	1.43	1.74	2.11	2.59
1:10	0.98	1.42	1.96	2.20
1:11	0.95	1.39	1.75	2.11
1:12	0.81	1.35	1.45	1.98
1:13	0.72	1.02	1.43	1.35



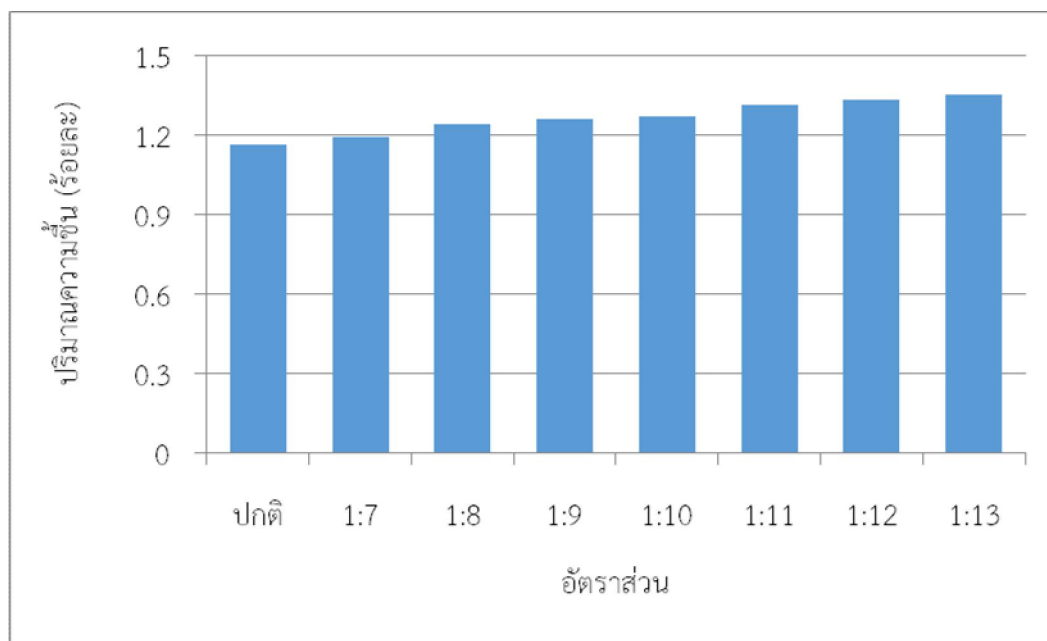
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533 ไม่ได้บังคับ

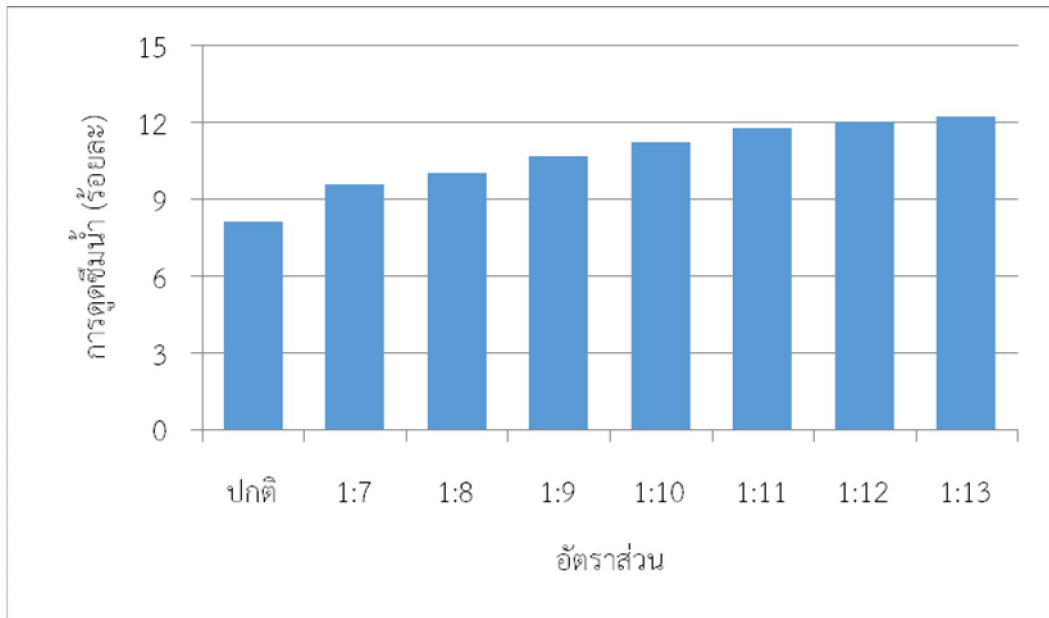
การทดสอบสมบัติประกอบทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภทที่ 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ไม่ได้บังคับว่าต้องทำการทดสอบทำการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน ในทุกอัตราส่วน โดยสมบัติที่ทำการทดสอบประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการหดตัวโดยเทียบเคียงจากการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร เนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นในซีเมนต์เฟส (ASTM C426, 2016) ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกร้าว ในการทดลองนี้จึงทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรมาทำการเทียบเคียง เนื่องจากเป็นผลที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีต คอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในงานก่อสร้างควรมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ เพื่อป้องกันปัญหาการแตกร้าวของปูนก่อ-ฉาบ ทั้งนี้การดูดซึมน้ำตามมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภท 1 ควบคุมความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 25 เมื่อคอนกรีตบล็อกมีค่าการหดตัวมากกว่า ร้อยละ 0.045 ที่สถานีวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้เคียงแหล่งผลิตภาคกลาง ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 50 ซึ่งจากผลการทดสอบ หากนำมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภท 1 มาพิจารณาก็พบว่าคอนกรีตบล็อกทุกอัตราส่วนผ่านตามมาตรฐานเช่นกัน โดยผลการทดสอบสมบัติประกอบทางด้านกายภาพของคอนกรีตบล็อกต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.3-4.4 และรูปที่ 4.2-4.6

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของคอนกรีตบล็อก

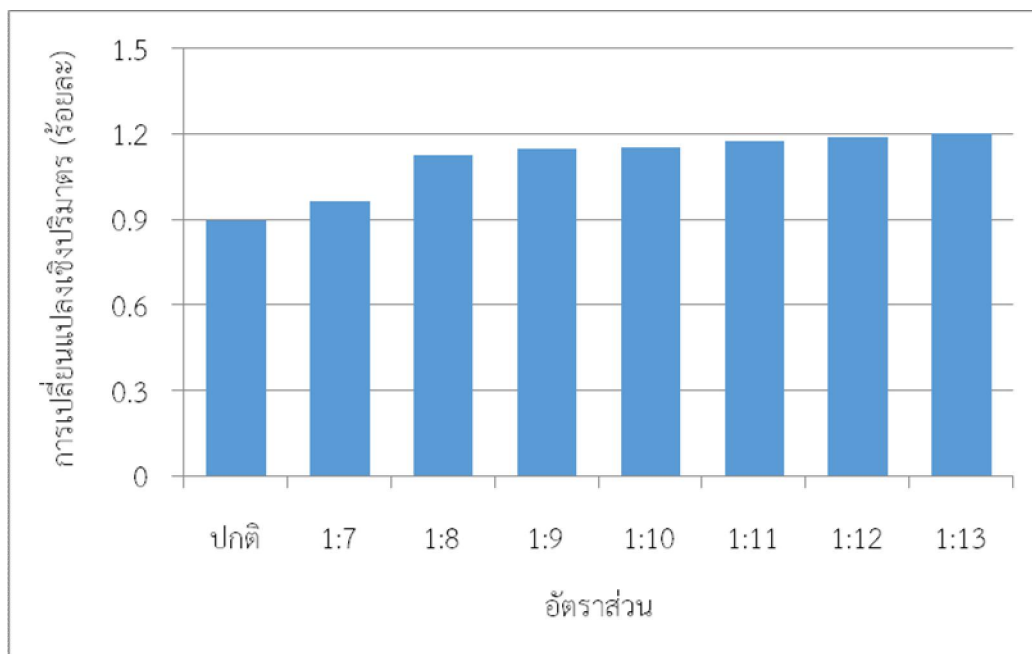
อัตราส่วน	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
ปกติ	1.16	0.002	8.13	7.116	0.892	0.00287
1:7	1.19	0.001	9.56	8.195	0.961	0.00456
1:8	1.24	0.002	10.05	8.351	1.123	0.00574
1:9	1.26	0.001	10.67	13.918	1.146	0.00187
1:10	1.27	0.002	11.25	16.411	1.150	0.00891
1:11	1.31	0.002	11.81	16.428	1.173	0.00308
1:12	1.33	0.001	12.02	19.046	1.184	0.00604
1:13	1.35	0.002	12.22	23.703	1.197	0.00729



รูปที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ



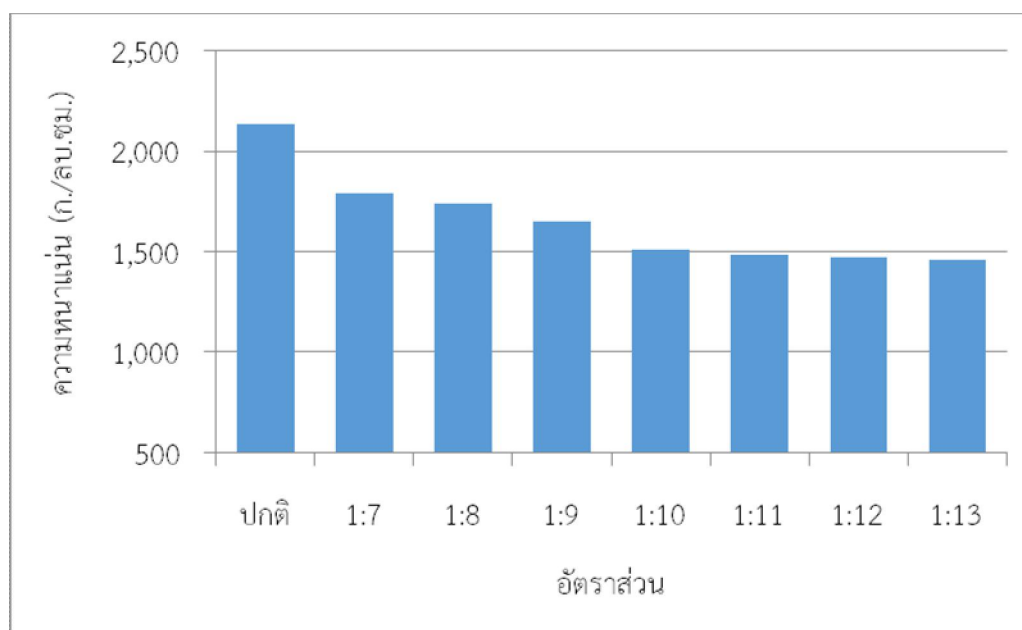
รูปที่ 4.3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ



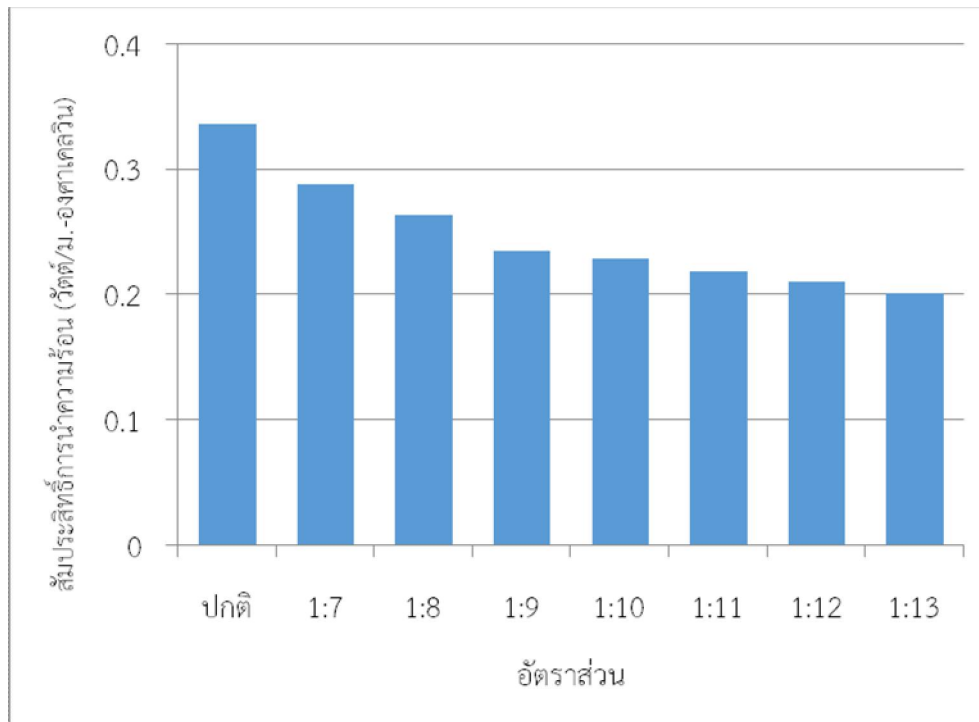
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่น และสภาพการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก

อัตราส่วน	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/ม.-องศาเซลวิน)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
ปกติ	2,130.05	6.98036	0.336	0.00134
1:7	1,787.60	5.04873	0.287	0.00122
1:8	1,735.91	7.84926	0.263	0.00165
1:9	1,651.53	4.66666	0.234	0.00187
1:10	1,506.39	13.5980	0.228	0.00195
1:11	1,483.66	9.84944	0.218	0.00146
1:12	1,471.95	10.53685	0.210	0.00104
1:13	1,456.87	11.08549	0.201	0.00129



รูปที่ 4.5 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ



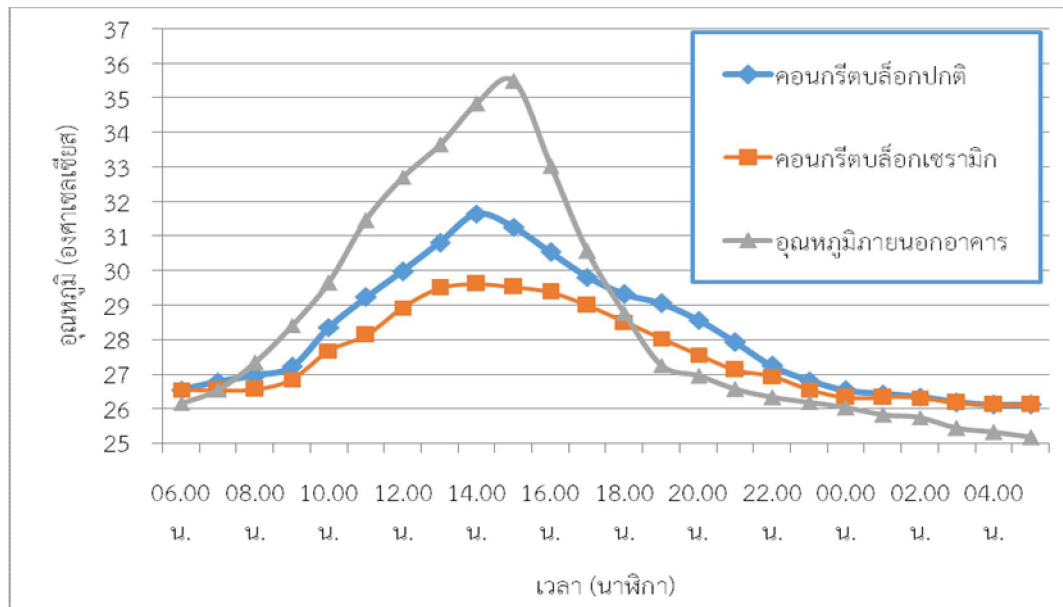
รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.4 ผลการทดสอบการใช้งานจริง

การทดสอบการใช้งานจริงได้ทำการทดสอบการนำคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลมาแล้วคืออัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 และปริมาณน้ำเท่ากับ 0.6 มาทำการก่อสร้างเป็นอาคารจำลองขนาด $3 \times 3 \times 3$ ลบ.ม. โดยทำการทดสอบ การเลื่อย ตัด เจาะ ตอก ก่อผนัง ด้วยเครื่องมือช่างปกติทั่วไป (ภาคผนวก จ) ทำการตรวจหาการซึมผ่านน้ำจากผนังด้านนอกสู่ด้านในอาคาร และการทดสอบวัดอุณหภูมิภายในอาคารเพื่อเปรียบเทียบทุกชั่วโมงเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่ หจก.เคแอนด์พีอินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิของอาคารทดสอบช่วงเดือนมีนาคม 2561

เวลา	คอนกรีตบล็อกปกติ	คอนกรีตบล็อกเซรามิก	อุณหภูมิภายนอกอาคาร
06.00 น.	26.54	26.54	26.15
07.00 น.	26.78	26.53	26.54
08.00 น.	26.95	26.55	27.32
09.00 น.	27.21	26.83	28.41
10.00 น.	28.35	27.67	29.64
11.00 น.	29.22	28.12	31.46
12.00 น.	29.98	28.92	32.71
13.00 น.	30.81	29.49	33.65
14.00 น.	31.65	29.61	34.84
15.00 น.	31.26	29.52	35.5
16.00 น.	30.53	29.38	33.02
17.00 น.	29.81	28.99	30.56
18.00 น.	29.32	28.5	28.77
19.00 น.	29.05	28.02	27.25
20.00 น.	28.56	27.55	26.94
21.00 น.	27.92	27.11	26.56
22.00 น.	27.24	26.92	26.32
23.00 น.	26.81	26.54	26.18
00.00 น.	26.53	26.31	26.02
01.00 น.	26.42	26.32	25.81
02.00 น.	26.33	26.3	25.74
03.00 น.	26.18	26.17	25.42
04.00 น.	26.11	26.11	25.31
05.00 น.	26.11	26.11	25.16



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการทดสอบอาคารที่ใช้คอนกรีตบล็อกก่อผนัง

4.5 การคิดต้นทุนการผลิต

การคิดวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติตามท้องตลาด ได้ดำเนินการร่วมกับผู้ประกอบการ โดยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 ส่วนคอนกรีตบล็อกปกติใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูนเท่ากับ 1:9 เช่นเดียวกัน โดยคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ ใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน คือ 0.6 กำหนดวิธีการผสมอัตราส่วนทั้งหมดใช้การชั่งน้ำหนัก ได้ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตดังตารางที่ 4.6 และเมื่อทำการฉาบผิวหน้าเพื่อป้องกันการซึมน้ำโดยใช้ปูนกาวจะแช่สีกิมโค้ทผสมสี (แดง เหลือง ฟ้า เขียว ขาว) อัตราส่วนปูนกาวจะแช่สีกิมโค้ท 16 ส่วน ต่อ สีฝุ่น 1 ส่วน โดยน้ำหนัก ต้นทุนการผลิตของแต่ละสีดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนการผลิตต่อก้อนของคอนกรีตบล็อก อัตราส่วน 1:9 (ไม่ฉาบผิวหน้า)

รายการต้นทุน (บาท)	คอนกรีตบล็อก	
	ปกติ	จากงานวิจัย
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	1.77	1.77
หินฝุ่นหินปูน	0.486	0
เศษเซรามิกบดย่อย (รวมค่าขนส่งและบดย่อย)	0	0.353
น้ำประปา/ไฟฟ้า	0.5	0.5
วัสดุอื่น ๆ เช่น น้ำมันทาแบบ	0.05	0.05
ค่าเสื่อมเครื่องจักร	0.07	0.07
ค่าขนส่งสินค้า	0.57	0.57
แรงงาน	0.5	0.5
รวมต้นทุนทั้งหมด	3.946	3.813
ราคาขายปลีก	6-8	6-8

หมายเหตุ การคิดราคา คอนกรีตบล็อกขนาด 7x19x39 ลบ.ซม. ณ โรงงานของ บจ.พี.เอ็น.บล็อก คลองห้า จ.ปทุมธานี

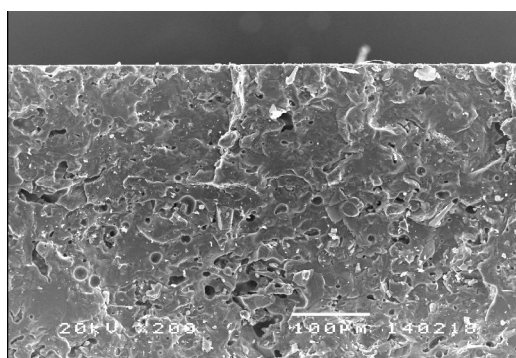
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย อัตราส่วน 1:9 (ฉาบสีผิวหน้า)

อัตราส่วน	ราคาต้นทุน (บาท)				
	สีแดง	สีเหลือง	สีฟ้า	สีเขียว	สีขาว
1:9	5.481264	5.4962643	5.55626429	5.6712643	4.87055

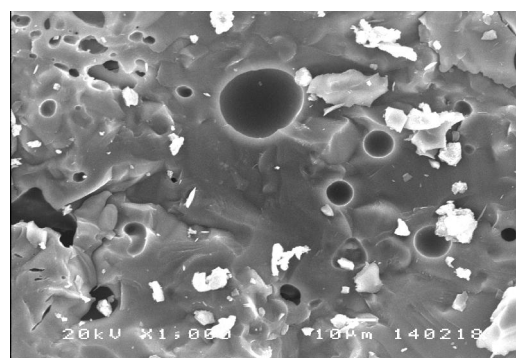
หมายเหตุ เลือกสีที่มีจำหน่ายส่งลงทั่วไป และการคิดราคาสีฝุ่นของห้างคูโฮม จ.ปทุมธานี
ใช้อัตราส่วนปูนขาวจะเซ็กซี่มิกโค้ท 16 ส่วน ต่อ สีฝุ่น 1 ส่วน โดยน้ำหนัก

4.6 ผลการถ่ายภาพขยายอนุภาคของคอนกรีตบล็อก

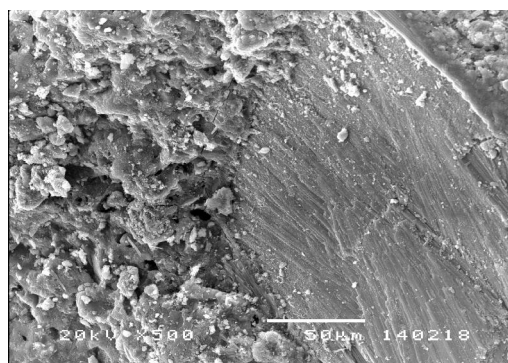
ผลการส่องกล้องขยายถ่ายภาพแสดงในรูปที่ 4.8 ดังต่อไปนี้



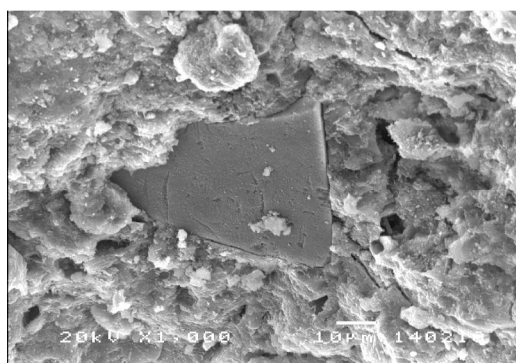
ขยาย 200 เท่า



ขยาย 1,000 เท่า (ก)



ขยาย 500 เท่า



ขยาย 1,000 เท่า (ข)

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของคอนกรีตบล็อก

ลักษณะพื้นผิวของคอนกรีตบล็อกเมื่อใช้เซรามิกบดย่อยทดแทนหินปูนที่กำลังขยายต่างกัน พบว่าที่กำลังขยายต่ำ พื้นผิวของคอนกรีตบล็อกมีความขรุขระ มีเหลี่ยมมุม ไม่เรียบ เนื่องจากเนื้อของบล็อกใช้วัสดุหลายชนิดที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเพิ่มกำลังขยายเห็นได้ว่าเนื้อผิวของเศษเซรามิกมีลักษณะเป็นแผ่น มีผิวขรุขระเป็นทางยาว แตกต่างจากเนื้อซีเมนต์เพสต์อย่างชัดเจน แต่ในบางมุมของเซรามิกพบว่ามีผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าเศษเซรามิกมีขนาดใหญ่แทรกตัวอยู่ในเนื้อของซีเมนต์เพสต์ สามารถนำมาใช้แทนหินปูนในการสังเคราะห์คอนกรีตบล็อกได้

4.7 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานโครงการวิจัย "ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม" สามารถสรุปได้เป็น 4 ข้อ ตามวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

4.7.1 ขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 1.) ได้ผลดังนี้

การดำเนินงานวิจัย ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ได้ทำการทดลองออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น โดยใช้เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยทดแทนหินฝุ่นหินปูนทั้งหมด กำหนดอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปกติสำหรับใช้เทียบ คือ ปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูน เท่ากับ 1:9 โดยน้ำหนัก และใช้เศษเซรามิกบดย่อยทดแทนหินฝุ่นหินปูนเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1:7, 1:8, 1:9, 1:10, 1:11, 1:12 และ 1:13 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากันที่ 0.6 ทำการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดบล็อกแบบสั่นเขย่า ได้เป็นก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด $7 \times 19 \times 39$ ซม. บ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในร่มที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน นำไปทำการทดสอบสมบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.58-2533

4.7.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 2.) ผลการทดสอบพบว่า

4.7.2.1 ผลการทดสอบสมบัติเฉพาะเบื้องต้นของวัสดุผสม พบว่าเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยมีค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลให้คอนกรีตบล็อกที่ใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมมีน้ำหนักต่อน้ำหนักที่เบาลง ความหนาแน่นลดลง จึงทำให้รับกำลังได้น้อยลงกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ ส่วนสมบัติของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูนแสดงว่ามีความละเอียดมากกว่า จึงมีความต้องการน้ำในปริมาณที่สูงกว่า ประกอบกับร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูนมาก จึงส่งผลให้การกำหนดอัตราส่วนปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกต้องสูงมากกว่าปกติ อีกทั้งร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยนั้นก็ยังส่งผลให้คอนกรีตบล็อกมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย

4.7.2.2 ผลการทดสอบสมบัติตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ประกอบด้วย ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป ของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเศษเซรามิกบดย่อย พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด คือ มีมิติไม่คลาดเคลื่อน มีความหนา ความเรียบ ได้ฉาก และมีขอบคม ไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว เช่นเดียวกันกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นหินปูน ส่วนความต้านทานแรงอัดที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 25 กก./ตร.ซม. พบว่าอัตราส่วนที่ผ่านตามข้อกำหนดเมื่อใช้เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ต่อ เศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อย ต่อ น้ำประปา เท่ากับ 1 : 9 : 0.6 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงอัด 2.59 เมกะพาสคัล

4.7.2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านอื่น ๆ ที่ไม่ได้ถูกกำหนดตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ประกอบด้วย ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นการดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเศษเซรามิกบดย่อยมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูนซึ่งเมื่อนำไปผสมเป็นมวลรวมในคอนกรีตบล็อกจึงส่งผลให้

คอนกรีตบล็อกมีค่าการดูดซึมน้ำสูงมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งการผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้นจากการที่ซีเมนต์เพสต์เข้าไปเคลือบผิวของเศษเซรามิกบดย่อยได้ไม่ทั่วถึง น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปอยู่ในช่องว่างของเนื้อคอนกรีตบล็อกและมีบางส่วนก็ถูกดูดเข้าไปในเนื้อของเศษเซรามิกบดย่อยอีกด้วย เมื่อคอนกรีตบล็อกเกิดการแห้งตัวก็ส่งผลต่อค่าของการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรเป็นไปในลักษณะที่ไม่มากนักจึงถือได้ว่าไม่มีผลต่อการทำงานเมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยไปใช้งานก่อ-ฉาบผนัง ส่วนปริมาณการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นมากตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นก็ยังไม่ถึงร้อยละ 25 ที่เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภท 1 กำหนดไว้ จึงไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาการดูดน้ำของปูนฉาบแต่อย่างใด ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มต่ำลงก็เป็นไปตามแนวทางของวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อย โดยที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.234 วัตต์/ม.-องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูนเท่ากับ 1:9 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 0.336 วัตต์/ม.-องศาเซลเซียส

4.7.3 ผลการทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 3.) ผลการทดสอบพบว่า

4.7.3.1 การทดสอบสภาพการใช้งานจริง ได้นำคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 มาทำการก่อสร้างเป็นอาคารจำลองขนาด $3 \times 3 \times 3$ ลบ.ม. โดยทำการทดสอบการเลื้อย ตัด เจาะ ตอก ก่อผนัง พบว่าสามารถปฏิบัติงานได้ด้วยเครื่องมือช่างปกติทั่วไปเหมือนคอนกรีตบล็อกปกติ เมื่อสร้างเสร็จแล้วทำการทดสอบการซึมผ่านน้ำจากผนังด้านนอกเข้าสู่ด้านในอาคาร และวัดอุณหภูมิภายในอาคารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยมีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกปกติ ถึงประมาณ 2 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยที่มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ ดังนั้นเมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยไปใช้ในการก่อสร้างจะส่งผลให้ประหยัดพลังงานภายในอาคารลงได้

4.7.3.2 การคิดวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติตามท้องตลาด ได้ดำเนินการร่วมกับผู้ประกอบการ โดยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 ส่วนคอนกรีตบล็อกปกติใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูนเท่ากับ 1:9 เช่นเดียวกัน โดยคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ ใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน คือ 0.6 กำหนดวิธีการผสมอัตราส่วนทั้งหมดใช้การชั่งน้ำหนัก พบว่าการใช้เศษเซรามิกบดย่อยนั้นเมื่อรวมค่าขนส่งและใช้จ่ายในการบดย่อยร้อนแยกขนาดแล้วมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการใช้มวลรวมจากหินฝุ่นหินปูนในการผลิตคอนกรีตบล็อกแบบปกติอยู่ร้อยละ 3.37 ซึ่งเมื่อจำหน่ายในราคาเท่ากันที่ก้อนละ 6-8 บาท ก็สามารถทำกำไรได้มากกว่า แสดงว่าเศษเซรามิกบดย่อยสามารถใช้ทดแทนหินฝุ่นหินปูนได้ดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า อีกทั้งการที่คอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยมีน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตปกติก็ทำให้ลดต้นทุนในการขนส่งลงได้ และเมื่อทำการฉาบผิวหน้าเพื่อป้องกันการซึมผ่านน้ำโดยใช้ปูนกาวจะแช่สีกิมโค้ท 16 ส่วน ต่อ สีฝุ่น (แดง เหลือง ฟ้า เขียว ขาว) 1 ส่วน โดยน้ำหนัก พบว่าต้นทุนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นก้อนละ 1.55-1.86 บาท โดยประมาณ ซึ่งสีขาวมีต้นทุนต่ำที่สุดรองลงมาเป็นสีแดง สีเหลือง สีฟ้า และสีเขียว มีต้นทุนสูงสุดตามลำดับ แต่ก็ถือว่าไม่ต่างกันมากนัก โดยสามารถตั้งราคาขายส่งได้ไม่ต่ำกว่าก้อนละ 10 บาท จากโรงงาน สามารถมีส่วนต่างของกำไรมากขึ้น และผู้บริโภคก็มีความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำงานมากขึ้น คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยจึงคุ้มค่าแก่การลงทุนทั้งแบบฉาบผิวหน้าและไม่ฉาบผิวหน้า

4.7.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี ให้กับกลุ่มเป้าหมาย (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 4.) ดำเนินการดังนี้

การถ่ายทอดเทคโนโลยีจากองค์ความรู้ของงานวิจัยได้ทำการถ่ายทอดให้กับภาคเอกชนที่เข้าร่วมสนับสนุนโครงการวิจัยโดยการจัดอบรมให้กับบุคลากร พนักงาน ของโรงงานที่ผลิตวัสดุก่อสร้าง ทั้งขั้นตอนการบดย่อยกระเบื้องเซรามิก การกำหนดอัตราส่วนผสม การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มอก. และมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนทำการขยายผลถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ที่สนใจทั่วไป อีกทั้งได้ดำเนินการจัดนิทรรศการร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ และนำผลงานวิจัยไปประกวดในเวทีระดับนานาชาติเพื่อเผยแพร่ให้กับประชาชนทั่วไปทั้งภายในประเทศและต่างประเทศได้ทราบถึงนวัตกรรมใหม่ของประเทศไทย ในด้านวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5

การอภิปรายผลและ ข้อเสนอแนะ

การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ของโครงการวิจัย "'ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษ กระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม" ประกอบด้วย (1) ผลการทดสอบสมบัติ ของวัสดุมวลรวม (2) ผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกตามข้อบังคับของ มอก.58-2533 (3) ผลการ ทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533 ไม่ได้บังคับ (4) ผลการทดสอบการใช้งาน จริง (5) การคิดต้นทุนการผลิต และ (6) ข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุมวลรวม

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยมีค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักต่ำกว่า หินฝุ่นหินปูน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลให้คอนกรีตบล็อกที่ใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมมีน้ำหนักต่อ ก้อนที่เบาลง ความหนาแน่นลดลง จึงทำให้รับกำลังได้น้อยลงกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ (ประชุม, 2560 : ประชุม และคณะ, 2558) ส่วนสมบัติของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำกว่าหินฝุ่น หินปูนแสดงว่ามีความละเอียดมากกว่า จึงมีความต้องการน้ำในปริมาณที่สูงกว่า ประกอบกับร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูนมากจึงส่งผลให้การกำหนดอัตราส่วนปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกต้องสูง มากกว่าปกติ (โดยทั่วไปคอนกรีตบล็อกปกติใช้ปริมาณน้ำประมาณ 0.5 ก็เพียงพอกับการขึ้นรูป) อีกทั้งร้อยละ การดูดซึมน้ำที่สูงของเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยนั้นก็ยังส่งผลให้คอนกรีตบล็อกมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นตาม ไปด้วย

5.2 ผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกตามข้อบังคับของ มอก.58-2533

5.2.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน และลักษณะทั่วไป

ผลการวัดขนาด ความคลาดเคลื่อน และการตรวจพินิจก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิก บดย่อยทดแทนหินฝุ่นหินปูนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติ (Standard) โดยคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสม ของเศษเซรามิกบดย่อยทุกอัตราส่วนที่ทำการขึ้นรูปทดสอบผ่านตามข้อกำหนด คือ มีมิติไม่คลาดเคลื่อน มี ความหนา ความเรียบ ได้ฉาก และมีขอบคม ไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว เช่นเดียวกันกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ ผสมหินฝุ่นหินปูน แต่ทั้งนี้ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อย เท่ากับ 1:12 และ 1:13 มีความยากใน การขึ้นรูปและการเคลื่อนย้ายก้อนตัวอย่างไปบ่มเนื่องจากเนื้อคอนกรีตบล็อกมีความร่วนเพราะปริมาณ ปูนซีเมนต์ต่อน้ำ (w/c) น้อย ปริมาณน้ำที่มาทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์จึงน้อยลง (ปราโมทย์ และกิตติพงษ์, 2558) อีกทั้งปริมาณเศษเซรามิกบดย่อยที่อาจมากไป จึงต้องทำการเคลื่อนย้ายด้วยความระมัดระวังมากกว่า อัตราส่วนที่มีปริมาณเศษเซรามิกบดย่อยน้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปผลิตใช้งานที่ต้องการความรวดเร็วใน การผลิต ดังนั้นการป้องกันเหตุดังกล่าวนี้อาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้น หรือทำให้เศษเซรามิกบด ย่อยอยู่ในสภาพพอมัตัวผิวแห้ง และการลงทุนใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกของโรงงาน หรือวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม ก็สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตคอนกรีตบล็อกให้มีลักษณะทั่วไปที่ผ่านตามเกณฑ์ มาตรฐานได้โดยง่ายมากขึ้น

5.2.2 ความต้านทานแรงอัด

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละ อัตราส่วนที่อายุการบ่มต่าง ๆ พบว่า ค่าความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุของคอนกรีตบล็อกที่มากขึ้น ซึ่ง เป็นไปตามทฤษฎีระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต (ปริญญญา และชัย, 2555) เมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อย ทดแทนหินฝุ่นหินปูนในปริมาณที่มากขึ้นนั้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลงตามลำดับ โดยที่อัตราส่วน 1:10, 1:11, 1:12 และ 1:13 พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดว่าความ ต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล. เนื่องจากเศษเซรามิกบดย่อยมีความ

ถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูนดังตารางที่ 4.1 เมื่อใช้ทดแทนหินฝุ่นหินปูนจึงมีผลทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกลดลง อีกทั้งการผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณมากก็ทำให้ปริมาณน้ำตอก่อนในการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์มีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย จึงอาจมีน้ำไม่เพียงพอในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (ปริญญา และชัย, 2555) ซึ่งในการทดลองครั้งต่อไปควรมีการกำหนดปริมาณน้ำให้มีความเหมาะสมกับแต่ละอัตราส่วน โดยวิธีการควบคุมปริมาณความชื้นของอัตราส่วนผสมหรือการพรมน้ำให้กับเศษเซรามิกบดย่อยอยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง ก็จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นได้ โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานที่อายุ 28 วัน คืออัตราส่วน 1:9 ในขณะที่คอนกรีตบล็อกปกติ (ปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นหินปูน เท่ากับ 1:9) สามารถใช้งานคอนกรีตบล็อกได้เมื่ออายุ 14 วัน ส่วนที่อัตราส่วน 1:7 สามารถใช้งานได้อายุ 21 วัน

5.3 ผลการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพอื่น ๆ ที่มาตรฐาน มอก.58-2533 ไม่ได้บังคับ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2-4.4 แสดงผลการทดสอบ ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร พบว่าเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเศษเซรามิกบดย่อยมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าหินฝุ่นหินปูนซึ่งเมื่อนำไปผสมเป็นมวลรวมในคอนกรีตบล็อกจึงส่งผลให้คอนกรีตบล็อกมีค่าการดูดซึมน้ำสูงมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งการผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นทำให้มีช่องว่างในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้นจากการที่ซีเมนต์เพสต์เข้าไปเคลือบผิวของเศษเซรามิกบดย่อยได้ไม่ทั่วถึง น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปอยู่ในช่องว่างของเนื้อคอนกรีตบล็อกและมีบางส่วนก็ถูกดูดเข้าไปในเนื้อของเศษเซรามิกบดย่อยอีกด้วย และจากการที่คอนกรีตบล็อกมีปริมาณความชื้นในตัวเองมาก และเมื่อสัมผัสกับน้ำก็เกิดการดูดซึมน้ำมากขึ้นนั้น จึงส่งผลต่อค่าของการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรเมื่อคอนกรีตบล็อกเกิดการแห้งตัว คอนกรีตบล็อกจะเกิดการหดตัวมากขึ้นกว่าการใช้เศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่น้อย อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรเป็นไปในลักษณะที่ไม่มากนักจึงถือได้ว่าไม่มีผลต่อการทำงานเมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยไปใช้งานก่อ-ฉาบผนัง ส่วนปริมาณการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นมากตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นก็ยังไม่ถึงร้อยละ 25 ที่เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภท 1 กำหนดไว้ จึงไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาการดูดน้ำของปูนฉาบแต่อย่างใด อีกทั้งสมบัติด้านปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร ก็ไม่ได้ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น เพียงแต่งานวิจัยนี้เสนอสมบัติดังกล่าวเพื่อให้เห็นแนวทางในการนำผลงานวิจัยไปพัฒนาในขั้นต่อไป ดังนั้นการพิจารณาสมบัติสำคัญของคอนกรีตบล็อกประเภทนี้ นอกจากพิจารณาถึงลักษณะทั่วไปของก้อนคอนกรีตบล็อกแล้ว สิ่งที่เป็นตัวกำหนดว่าสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่นั้น คือค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยที่ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกลดลงตามลำดับ เนื่องจากเศษเซรามิกบดย่อยมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.32 และหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,047 กก./ลบ.ม. ที่ต่ำกว่าหินฝุ่นหินปูนซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.68 และหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,426 กก./ลบ.ม. จึงทำให้น้ำหนักตอก่อนต่ำลง ความหนาแน่นลดลง ซึ่งแปรผันตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก สามารถวัดค่าได้ด้วยการทดสอบสภาพการนำความร้อน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของคอนกรีตบล็อกเพื่อต้องการทราบว่า การนำเศษเซรามิกบดย่อยเป็นส่วนผสมทดแทนหินฝุ่นหินปูนในการผลิตคอนกรีตบล็อกนั้น จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกที่ได้มีความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้นหรือไม่

เพียงใด โดยส่งตัวอย่างคอนกรีตขนาด 30 x 30 x 5 ลบ.ซม. ไปทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ตามมาตรฐาน ASTM C518 (2015) พบว่าเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มต่ำลงตามลำดับ ทั้งนี้เป็นไปตามแนวทางของวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ (ธัญชัย และคณะ, 2549) ซึ่งก็แสดงว่าการใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมทดแทนหินฝุ่นหินปูนนั้น ช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้นได้ โดยที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษเซรามิกบดย่อยเท่ากับ 1:9 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.234 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 0.336 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน

5.4 ผลการทดสอบการใช้งานจริง

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 เป็นการทดสอบอุณหภูมิในช่วงเดือนมีนาคม ซึ่งวันที่ทำการทดสอบมีเมฆปกคลุม ไม่มีแสงแดดจ้า พบว่าช่วงเวลา 14.00-15.00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงสุดในรอบวัน โดยที่อุณหภูมิอากาศปกติมีค่าสูงถึงเกือบ 35.5 องศาเซลเซียส ซึ่งหากเป็นช่วงหน้าร้อนที่แดดจัดจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เมื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ก่อด้วยผนังคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติ เห็นได้ว่าผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยมีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกปกติ ถึงประมาณ 2 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยที่มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ ดังนั้นเมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยไปใช้ในการก่อสร้างจะส่งผลให้ประหยัดพลังงานภายในอาคารจากเครื่องปรับอากาศได้ถึงร้อยละ 20

ส่วนด้านการทดสอบการนำคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยไปใช้งาน การเลื่อย ตัด เจาะ ตอก ก่อผนังด้วยเครื่องมือช่างปกติทั่วไป ก็พบว่าสามารถทำได้ตามปกติเหมือนกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป และการตรวจการซึมผ่านน้ำจากผนังด้านนอกเข้าสู่ด้านในด้วยการพ่นน้ำจำลองฝนเทียมเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ก็ไม่พบการซึมผ่านน้ำแต่อย่างใด

โดยผลจากงานวิจัยในครั้งนี้ทางผู้ประกอบการที่ให้การสนับสนุนและนำไปใช้ประโยชน์ได้พิจารณาเห็นประโยชน์ทั้งในส่วนของการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ใช้ก่ออิฐฉาบปูนปกติเพื่อจำหน่ายโดยใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นส่วนผสมมวลรวมทั้งหมดในตลาดแข่งขันกับคอนกรีตบล็อกปกติโดยสร้างจุดขายในเรื่องของการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีกว่า และการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีสีสันสำเร็จรูปไม่ต้องใช้ปูนก่อและปูนฉาบ (ใช้การยาแนวเหมือนกับกระเบื้องหรือยาแนวด้วยซิลิโคนสำหรับใช้ภายนอกอาคาร) เป็นสินค้าที่จำหน่ายให้กับกลุ่มเป้าหมายเฉพาะทั้งเป็นผนังหลักของอาคารและผนังสำหรับตกแต่ง ที่สร้างเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับอาคารประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

5.5 การคิดต้นทุนการผลิต

จากตารางที่ 4.6 การคิดต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่น้ำหนักต่อก้อนประมาณ 7.5 กิโลกรัม ที่อัตราส่วน 1:9 ทั้งคอนกรีตบล็อกปกติและคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อย ที่สุด โดยมีค่าสมบัติต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ทำการคิดต้นทุนการผลิตโดย บริษัท.พี.เอ็น.บล็อก จำกัด คลองห้า จ.ปทุมธานี พบว่าการใช้เศษเซรามิกบดย่อยนั้นเมื่อรวมค่าขนส่งและใช้จ่ายในการบดย่อยร้อนแยกขนาดแล้วมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการใช้มวลรวมจากหินฝุ่นหินปูนในการผลิตคอนกรีตบล็อกแบบปกติอยู่ร้อยละ 3.37 ซึ่งเมื่อจำหน่ายในราคาเท่ากันที่ก้อนละ 6-8 บาท ก็สามารถทำกำไรได้มากกว่า แสดงว่าเศษเซรา

มิกบดย่อยสามารถใช้ทดแทนหินฝุ่นหินปูนได้ดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า อีกทั้งการที่คอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยมีน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตปกติก็ทำให้ลดต้นทุนในการขนส่งลงได้เนื่องจากสามารถขนส่งจำนวนก้อนต่อเที่ยวได้มากกว่า

จากตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอัตราส่วน 1:9 โดยทำการฉาบหุ้มผิวหน้าแบบบาง ๆ ด้วยปูนกาวจะแซ้สกินโคมผสมสีฝุ่น ที่อัตราส่วนปูนกาวต่อสีฝุ่น เท่ากับ 16:1 โดยน้ำหนัก พบว่าต้นทุนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่ก้อนละ 1.55-1.86 บาท โดยประมาณ ซึ่งสีขาวมีต้นทุนต่ำที่สุดรองลงไปเป็นสีแดง สีเหลือง สีฟ้า และสีเขียว มีต้นทุนสูงสุดตามลำดับ แต่ก็ถือได้ว่าไม่ต่างกันมากนัก คอนกรีตบล็อกที่ทำการฉาบสีผิวหน้านี้นี้มีต้นทุนเพิ่มขึ้นก้อนละไม่ถึงร้อยละ 33 แต่สามารถตั้งราคาขายส่งได้ไม่ต่ำกว่าก้อนละ 10 บาท จากโรงงาน จึงสามารถมีส่วนต่างของกำไรมากขึ้น และผู้บริโภคก็มีความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำงานมากขึ้น จึงคุ้มค่าแก่การลงทุนทั้งแบบฉาบผิวหน้าและไม่ฉาบผิวหน้า

5.6 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะแบ่งออกเป็นข้อเสนอแนะในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ ด้านเทคโนโลยี ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ด้านธุรกิจ และด้านนโยบาย โดยได้ให้ข้อเสนอแนะดังนี้

5.6.1 ด้านวิชาการ ผลจากงานวิจัยนี้สามารถได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนที่เหมาะสม และกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ใช้เศษเซรามิกเหลือทิ้งบดย่อยเป็นส่วนผสม โดยนำไปเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ และนำมาใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยเสนอแนะให้ใช้เศษเซรามิกเหลือทิ้งจากหลายแหล่งด้วยกันมาทำการเปรียบเทียบ เนื่องจากแต่ละที่แต่ละโรงงานจะมีสูตรผสมที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยด้วย อีกทั้งยังสามารถศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทอื่น ๆ เช่น คอนกรีตบล็อกแบบรับน้ำหนัก อิฐบล็อกประสาน คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คอนกรีตบล็อกปูพื้น หรือคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น เพื่อให้สามารถนำเศษเซรามิกเหลือทิ้งไปใช้งานให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวางมากขึ้น

5.6.2 ด้านเทคโนโลยี ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เทคโนโลยีในการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดแบบสั่นเขย่ากึ่งอัตโนมัติโดยใช้เท้าเหยียบสำหรับการทดลองเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ และปรับส่วนผสมให้ดีขึ้นด้วยการปรับปริมาณความชื้นให้เหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกของโรงงานวัสดุก่อสร้างที่ร่วมวิจัย ซึ่งสูตรที่ได้ไม่แตกต่างกันเนื่องจากลักษณะเครื่องจักรมีความใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากวิสาหกิจชุมชนนำไปใช้กับเครื่องอัดแบบตำมือที่มีราคาถูกลงจะต้องทำการปรับปริมาณความชื้นของมวลรวมใหม่ให้สามารถทำงานได้ และถอดแบบก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกออกมาได้อย่างไม่แตกหักหรือเสียหาย ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป

5.6.3 ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม การใช้ประโยชน์จากเศษเซรามิกเหลือทิ้งเป็นการช่วยลดปริมาณเศษขยะเหลือทิ้งจากโรงงานที่เป็นขยะที่มีความเสี่ยงก่อให้เกิดอันตราย จึงช่วยลดปัญหาของสิ่งแวดล้อม ทำให้ชุมชนที่อยู่บริเวณในพื้นที่มีสุขภาวะที่ดี และหากชุมชนสามารถสร้างรายได้เพิ่มจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ก็จะช่วยให้มีชุมชนมีความเป็นอยู่ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดผลกระทบในด้านบวกต่อสังคมโดยรวม

5.6.4 ด้านธุรกิจ นอกจากงานวิจัยนี้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเศษเซรามิกเหลือทิ้งของโรงงานโดยการนำไปใช้ประโยชน์ในงานวัสดุก่อสร้างแล้ว ยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายวัสดุก่อสร้างอีกด้วย และหากนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นในอนาคตก็จะเป็นชุดผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างจากเซรามิกที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้

5.6.5 ด้านนโยบาย ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำเสนอเป็นข้อมูลให้กับองค์กรปกครองท้องถิ่นใช้เป็นนโยบายในการบริหารจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานในเขตพื้นที่รับผิดชอบ อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางส่งเสริมการสร้างอาชีพให้กับวิสาหกิจชุมชน ในการผลิตวัสดุก่อสร้างจากวัสดุเหลือทิ้งได้

เอกสารอ้างอิง

- _____, 2554. สถานการณ์อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทย ณ วันที่ 10 มกราคม 2554, **ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.**
- คชินท์ สายอินทวงศ์, 2551. **แนวทางการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิก, (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก** http://www.thaiceramicsociety.com/ts_waste.php
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุต, 2540, **คอนกรีตเทคโนโลยี, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 5, หน้า 25-30.**
- ชุดพิงค์ เอื้อจิตาภรณ์, 2555. การศึกษากำลั้งอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตและเศษอิฐมวลเบาเป็นวัสดุผสมรวม, **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยสุรนารี, 97 หน้า**
- ธัญชัย ปทุมวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies. Volume 4. 2006. Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.**
- ธารินทร์ หาระวี, ธนาวัฒน์ คมสร, อภิสิทธิ์ คำภา และสุรพล จักรชัยกุล. 2559. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเซรามิกชนิด Bone China, **หนังสือรวมเล่มบทความ การประชุมวิชาการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร ครั้งที่ 1, ณ ห้องประชุมเฟื่องเหนือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 28 พฤษภาคม 2559. หน้า 201-210.**
- นันทชัย ชูศิลป์, พรนารายณ์ บุญราศรี, ทรงวุฒิ ขวัญยืน, ธวัชชัย ไกรรัตน์ และภูริวัจน์ แซ่เลี้ยว, 2557. สมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้วเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง, **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. หน้า 664-674.**
- บัณฑิต ทองคำ, 2557. การศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากงานก่อสร้างมาทดแทนมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต, **การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 7 หน้า 169-174.**
- ประจักษ์ ทูลกลสิกร, วิรัชชาติ ตั้งจิรภัทร และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2557. **การใช้เถ้าแกลบบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัดและความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557. จังหวัดขอนแก่น. หน้า 624-629.**
- ประชุม คำพุฒ, กิตติพงษ์ สุวิโร และ นิรมล บันลาย, 2558. **การใช้เศษหินพิมพ์สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาเพื่อชุมชน, การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ การพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 5, ณ โรงแรมเซ็นทารา แอนด์ คอนเวนชันเซ็นเตอร์, อำเภอเมือง, ขอนแก่น, 24-25 ธันวาคม 2558, หน้า 968-974.**
- ประชุม คำพุฒ, 2560. **ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาจากเถ้ากะลามะพร้าวสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, การประชุมวิชาการระดับชาติ มศว.วิจัย ครั้งที่ 10, ณ อาคารนวัตกรรมศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ, 20-21 กรกฎาคม 2560, หน้า 679-688.**
- ปราโมทย์ วีรานุกูล และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2558. **การพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากเถ้ากะลามะพร้าวสำหรับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. นครราชสีมา. 1-3 กันยายน 2558. 8 หน้า**
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, 381 หน้า.**

- พัชรพล โพธิ์ศรี, เจริญชัย ฤทธิรุทธ, อานันท์ หนูบุญ, ณัฐวรรษ ศรีลาเรือง, ชาญณรงค์ เหลาเสน, สุรสิทธิ์ เลิศนิมุลชัย และปริญญญา จินดาประเสริฐ, 2558. **อิทธิพลของมวลรวมขนาดละเอียดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมมวลรวมรีไซเคิลบล็อก**, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558. จังหวัดชลบุรี. 5 หน้า
- ภาณุพงศ์ พันพิพัฒน์, คมกร ไชยเดชชาธร, จิระยุทธ สืบสุข, ธนากร ภูเงินคำ และวีรพันธุ์ เจียมมีปรีชา, 2559. **กำลังอัดของคอนกรีตที่ไซ่วัสตุรีไซเคิลจากขยะผิวทางเป็นมวลรวมหยาบ: การศึกษาเบื้องต้น**, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559. จังสงขลา. หน้า 714-718.
- กิม เหนือคลอง, วันชัย สะตะ และปริญญญา จินดาประเสริฐ, 2559. **ผลกระทบของการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่เถ้าลอยบางส่วนต่อสมบัติทางกลของซีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากเศษวัสดุ**, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559. จังสงขลา. หน้า 610-614.
- ภูมิปัญญาอภิวัฒน์, 2556. **กระบวนการผลิตเซรามิค**, (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://www.budmgt.com/industry/idy01/ceramic-process.html>
- มนต์ชัย วงศ์สันติราษฎร์ และคณะ, 2548. **คอนกรีตบล็อกจากเถ้าลิกไนต์. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. กรุงเทพฯ.
- รัฐพล สมณา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2554. **การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า**, **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร**. ปีที่ 34 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2554.
- วรพงษ์ เทียมสอน, 2554. **ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์และแก้วจากกากเหลือทิ้งอุตสาหกรรม**, **Energy & Environment**. สิงหาคม-กันยายน 2554, Vol.38 No.218 หน้า 68-72.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2527. **คอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2544. **คอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ.
- วีระศักดิ์ แสงขาว, นันทชัย ชูศิลป์ และจรรยา เจริญเนตรกุล, 2557. **สมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตผสมเศษกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้ว**, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557. จังหวัดขอนแก่น. หน้า 878-884.
- ศักดิ์สิทธิ์ พันทวี, 2551. **การศึกษาเปรียบเทียบการใช้โดอะตอมไมท์และเพอร์ไลท์ในงานคอนกรีตมวลเบา**, **วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 171 หน้า.
- สะตะ วันชัย, 2557. **การใช้เศษวัสดุเป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตพูน**, **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยรหัสโครงการ MRG5480004**, ระยะเวลาโครงการ 15 มิถุนายน 2554 ถึง 14 มิถุนายน 2556, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก**, กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อาทร ชูพลสัตย์, 2557. **บล็อกประสานจากขยะคอนกรีต**, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557. จังหวัดขอนแก่น. หน้า 579-583.
- American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Vol 04.02, Philadelphia.

- American Society for Testing and Materials, 2016. ASTM C426-16 Standard Test Method for Linear Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units, **ASTM International**, West Conshohocken, PA.
- Ann, K.Y., Moon, H.Y., Kim, Y.B., and Ryou, J., 2008, Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials, **Waste Management**, Vol. 28, No. 6, pp. 993-999.
- Buck, A.D., 1997, Recycled concrete as a source of aggregate, **ACI Journal**, Vol. 74, No. 5, pp. 212-219.
- Hansen, T.C. and Narud, H., 1983, Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate, **Concrete International**, Vol. 5, No. 1, pp. 79-83.
- Katz, A., 2004, Treatments for the Improvement of Recycled Aggregate, **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 16, No. 6, pp. 597-603.
- Kou, S.C., Poon, K.C., and Chan, D., 2007, Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete, **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 19, No. 9, pp. 709-717.
- Olorunsogo, F.T. and Padayachee, N., 2002, Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes, **Cement and Concrete Research**, Vol. 32, No. 2, pp. 179-185.
- Rahal, K., 2007, Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate, **Building and Environment**, Vol. 42, pp. 407-415.
- Ravindrajah, R.S. and Tam, C.T., 1985, Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate, **Magazine of Concrete Research**, Vol. 37, Issue 130, March, pp. 29-38.
- Tangchirapat, W., Buranasing, R., and Jaturapitakkul, C., 2010, Use of high fineness of fly ash to improve properties of recycled aggregate concrete, **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 22, pp. 565-571.
- Tangchirapat, W., Buranasing, R., Jaturapitakkul, C., and Chindaprasirt, P., 2008, Influence of rice husk-bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates, **Construction and Building Materials**, Vol. 22, No. 8, pp. 1812-1819.
- Xiao, J., Li, J., and Zhang, C.H., 2005, Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading, **Cement and Concrete Research**, Vol. 35, No. 6, pp. 1187-1194.

ภาคผนวก

ผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้นำไปเผยแพร่
(การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22)



ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิคเหลือทิ้ง

Hollow Non-Load-Bearing Concrete Block Products from Fragments of Ceramic Tiles

ประชุม คำพุ่ม*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*Corresponding author; E-mail address: choomy_gtc@hotmail.com, prachoom.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเศษกระเบื้องเซรามิคเหลือทิ้งบดย่อยทดแทนหินปูน กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1: เศษกระเบื้องเซรามิคบดย่อย: น้ำประปา เท่ากับ 1: 7: 0.6, 1: 8: 0.6, 1: 9: 0.6, 1: 10: 0.6, 1: 11: 0.6, 1: 12: 0.6 และ 1: 13: 0.6 โดยน้ำหนัก ผสมและขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบอัตโนมัติ ทำการทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า เมื่อผสมเศษกระเบื้องเซรามิคบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ ค่าความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง ส่วนปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราส่วน 1: 9: 0.6

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อก, เศษกระเบื้องเซรามิคบดย่อย, กำลังอัด

Abstract

This research aims to test the properties of concrete block mixed with ceramic chips as aggregates in products. The mix ratios of Portland cement type1: ceramic chips: water are 1: 7: 0.6, 1: 8: 0.6, 1: 9: 0.6, 1: 10: 0.6, 1: 11: 0.6, 1: 12: 0.6 and 1: 13: 0.6 by weight. The concrete block samples were mixed and casted in 7 x 19 x 39 centimeter by the concrete block molding machine. The concrete block sample testing follows the TIS 58-2533 standard on non-load bearing concrete blocks. From the results, the density, compressive strength, and thermal conductivity of concrete block mixed with ceramic chips lower than the common concrete block. In addition, the moisture content, water absorption and volumetric change are higher than the common concrete block. The optimal ratio in this work 1: 9: 0.6

Keywords: Concrete block, Ceramic chips, Compressive strength

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิคเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญที่ภาครัฐให้การสนับสนุนและส่งเสริม เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ใช้เซรามิคในการตกแต่งผิวหน้าพื้นหรือผนังให้มีความสวยงาม หรือใช้เป็นสุขภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งเมื่อทำการซ่อมแซมหรือรื้อถอนอาคาร จะเหลือเป็นเศษของเซรามิค ที่ย่อยสลายในธรรมชาติได้ยากเนื่องจากมีความแข็งแรง โดยทำการกำจัดทิ้งด้วยวิธีการขนไปฝังกลบหรือถมที่ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้งเป็นอย่างมาก เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเศษเซรามิคที่แตกหักเสียหาย พบว่าเศษเซรามิคมีการแตกเป็นเหลี่ยมคม ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามลักษณะมวลรวมที่ดีในการผสมคอนกรีต [1] เมื่อนำไปบดย่อยให้มีขนาดเท่ากับมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ลักษณะของเศษเซรามิคย่อย (ซ้าย) และหินปูน (ขวา)

ซึ่งจากลักษณะภายนอกที่ใกล้เคียงกันของเศษเซรามิคบดย่อยและหินปูน ก็คาดว่าเศษเซรามิคบดย่อยจะสามารถช่วยให้คอนกรีตรับกำลังได้ และข้อดีอีกประการหนึ่ง คือการที่เซรามิคมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.87 ซึ่งต่ำกว่ามวลรวมปกติ คือ หยาบ เท่ากับ 2.69 และ หิน เท่ากับ 2.88 ตามลำดับ [2] ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะได้นวัตกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากการนำเศษเซรามิคที่บดย่อยแล้วไปผสมทดแทนมวลรวมปกติทั้งทรายและหิน โดยคอนกรีตบล็อกที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีค่าเป็นอุณหภูมิความร้อนที่ต่ำขึ้นสามารถนำไปใช้ส่งเสริมขยายผลการผลิตเป็นสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงานประกอบด้วย

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1
- 2) เศษเซรามิกจากลูกกอล์ฟที่ผ่านการบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4
- 3) หินปูนจากจังหวัดสระบุรี
- 4) น้ำประปา
- 5) เครื่องบดย่อยเซรามิก (รูปที่ 2)
- 6) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 7) เครื่องผสมคอนกรีต (รูปที่ 3)
- 8) เครื่องอัดขึ้นรูปบล็อก ขนาด 7 x 19 x 39 ซม. (รูปที่ 4)
- 9) ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ
- 10) เครื่องทดสอบบดแรงกระแทก (UTM)
- 11) ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



รูปที่ 2 เครื่องบดย่อยเซรามิกติดตั้งตะแกรงเบอร์ 4



รูปที่ 3 เครื่องผสมคอนกรีต



รูปที่ 4 เครื่องอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

2.2 อัตราส่วนในการขึ้นรูปตัวอย่าง

ทำการกำหนดส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในการทดลอง โดยอ้างอิงจากส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกทั่วไป คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ ต่อหินปูนต่อน้ำประปา เท่ากับ 1: 9: 0.6 แล้วทำการแทนที่หินปูนทั้งหมดด้วยเศษเซรามิกบดย่อย และปรับอัตราส่วนของเศษเซรามิกบดย่อยให้มากขึ้นและน้อยลงอีก 6 อัตราส่วนเพื่อเปรียบเทียบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมมากที่สุด ทำการขึ้นรูปก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกและทดสอบสมบัติต่าง ๆ อย่างละเอียดตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [3] โดยอัตราส่วนทั้งหมดที่ทำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	หินปูน	เซรามิกบด	น้ำประปา
บล็อกปกติ	1	9	-	0.6
1:7:0.6	1	-	7	0.6
1:8:0.6	1	-	8	0.6
1:9:0.6	1	-	9	0.6
1:10:0.6	1	-	10	0.6
1:11:0.6	1	-	11	0.6
1:12:0.6	1	-	12	0.6
1:13:0.6	1	-	13	0.6

2.3 การขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกและการทดสอบสมบัติ

ทำการผสมและขึ้นรูปก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกและทำการทดสอบสมบัติทั้งหมด ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [3] ดังขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ทำความสะอาดเศษเซรามิกเหลือทิ้ง และหีบเศษเซรามิกให้มีขนาดไม่เกิน 5 เซนติเมตร (รูปที่ 5)
- 2) บดย่อยเซรามิกที่ผ่านการหีบแล้ว ด้วยเครื่องบดย่อยที่ติดตั้งตะแกรงเบอร์ 4 (รูปที่ 6)
- 3) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดของคอนกรีตบล็อก ตามอัตราส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 1
- 4) ผสมปูนซีเมนต์ เศษเซรามิกบดย่อย และน้ำประปาให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมคอนกรีตแบบกระทะ
- 5) นำส่วนผสมทั้งหมดที่ผสมเข้ากันดีแล้ว ไปเทใส่ในแบบของเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกจนเต็ม
- 6) ทำการอัดคอนกรีตบล็อก ได้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ขนาด 7 x 19 x 39 ซม.
- 7) นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด แล้วใช้แท่นพลิกคอนกรีตบล็อก เพื่อทำการถอดแบบ
- 8) ภายหลังจากก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้นำคอนกรีตบล็อกที่ได้ไปกองบ่มในสภาพอากาศปกติ (รูปที่ 7) ตามระยะเวลาที่ต้องการ 7, 14, 21 และ 28 วัน แล้วจึงนำคอนกรีตบล็อกไปทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร ความต้านทานแรงอัด (รูปที่ 8) และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน [4]



รูปที่ 5 หุ่นเศษเซรามิกให้มีขนาดไม่เกิน 5 ซม.



รูปที่ 6 บดย่อยเซรามิกด้วยเครื่องบดย่อยที่ติดตั้งตะแกรงเบอร์ 4



รูปที่ 7 การกองบ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

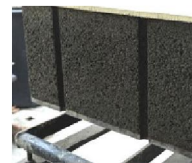


รูปที่ 8 การทดสอบความต้านทานแรงอัด

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ลักษณะทั่วไป

จากการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อยที่มีส่วนผสมตามตารางที่ 1 พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเศษเซรามิกบดย่อยมีสีอ่อนกว่าคอนกรีตบล็อกปกติเล็กน้อย (รูปที่ 9) และมีผิวสัมผัสที่หยาบกว่าเล็กน้อย ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 1:7:0.6, 1:8:0.6, 1:9:0.6, 1:10:0.6 และ 1:11:0.6 ไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว สันขอบมีรอยบิ่นเล็กน้อยตามปกติของการถอดแบบ มิติของคอนกรีตบล็อกทั้งหมดไม่มีความคลาดเคลื่อน ส่วนอัตราส่วน 1:12:0.6 และ 1:13:0.6 มีรอยร้าวเล็กน้อยที่ตรงกลางขอบด้านบน ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีความชื้นมากกว่าอัตราส่วนอื่นเพราะมีส่วนผสมของเศษเซรามิกบดย่อยจำนวนมากทำให้ปริมาณน้ำตอก่อนน้อยลงมาก ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายตัวอย่างคอนกรีตบล็อกต้องใช้ความระมัดระวังมากเป็นพิเศษ จึงไม่เหมาะกับการนำไปผลิตใช้งาน



ก) บล็อกปกติ

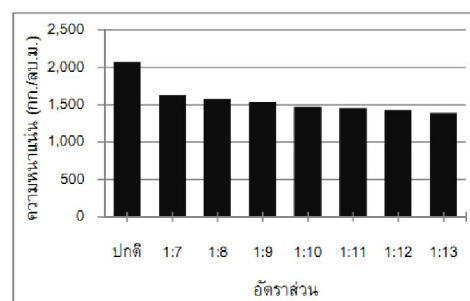


ข) บล็อกผสมเศษเซรามิกบดย่อย

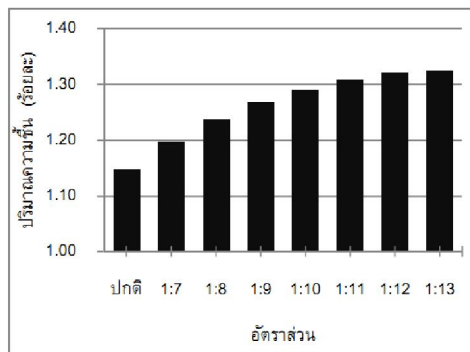
รูปที่ 9 ลักษณะสีผิวของคอนกรีตบล็อก

3.2 ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ

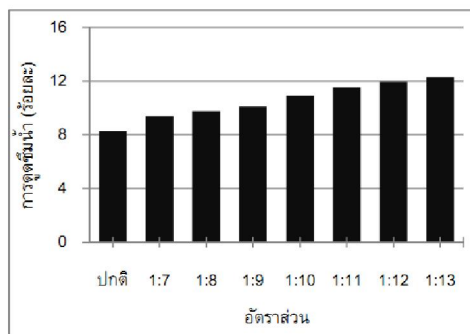
เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามกำหนดระยะเวลา 28 วัน จึงนำมาทำการทดสอบความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 เรื่อง วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อสร้างด้วยคอนกรีต [5] ที่อายุ 28 วัน โดยทำการทดสอบอัตราส่วนละ 30 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย (ตามมาตรฐานกำหนดให้ชักตัวอย่าง 10 ก้อน) ได้ผลการทดสอบตามรูปที่ 10-12 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 11 ปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน



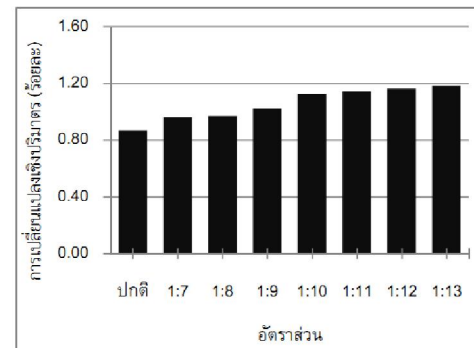
รูปที่ 12 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อผสมเศษเซรามิคบดย่อยในปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกลดลงตามลำดับ (คอนกรีตทั่วไป มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,400 กก./ลบ.ม. และ คอนกรีตบล็อกทั่วไปมีความหนาแน่น 1,700-2,100 กก./ลบ.ม.) ในขณะที่ปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเศษเซรามิคบดย่อยมีน้ำหนักเบากว่าหินปูน และมีค่าตัวจำเพาะต่ำกว่าหินปูนและปูนซีเมนต์ (ค่าความถ่วงจำเพาะของเศษเซรามิคบดย่อยมีค่าต่ำเพียง 1.87 ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และหินปูน มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.15 และ 2.72 ตามลำดับ) เมื่อนำเศษเซรามิคบดย่อยไปแทนที่หินปูนทั้งหมดในอัตราส่วน 1:9 เท่ากัน จึงทำให้คอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นลดลง จาก 2,077 กก./ลบ.ม. เหลือเพียง 1,534 กก./ลบ.ม. และเมื่อผสมเศษเซรามิคบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงตามลำดับ ส่วนในด้านของปริมาณความชื้นที่มีแนวโน้มสูงขึ้นนั้น เนื่องจากเนื้อของเศษเซรามิคบดย่อยผ่านการเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิสูงจึงมีความพรุนมากกว่าหินปูน ส่งผลทำให้คอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิคบดย่อยที่ได้จากการทดลองมีความชื้นสูงมากขึ้นตามลำดับของการใส่ปริมาณเศษเซรามิคบดย่อยที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อผสมเศษเซรามิคบดย่อยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณน้ำยังคงเท่าเดิมนั้น ทำให้น้ำที่หาปฏิริยาไฮเดรชันกับ

ปูนซีเมนต์อาจไม่เพียงพอแสดงให้เห็นได้จากการแตกร้าวของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วน 1:12 และ 1:13 อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นไปในลักษณะที่ไม่มากนักจึงถือว่าไม่มีผลต่อการทำงาน เมื่อนำคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิคบดย่อยไปใช้งานก่อน-คาบหนึ่ง ส่วนปริมาณการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและอยู่ภายในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้คือต้องไม่มากกว่าร้อยละ 25 (ซึ่งทุกอัตราส่วนที่ทำการทดสอบมีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 8-13) จึงไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาการดูดน้ำของปูนฉาบแต่อย่างใด

3.3 การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร

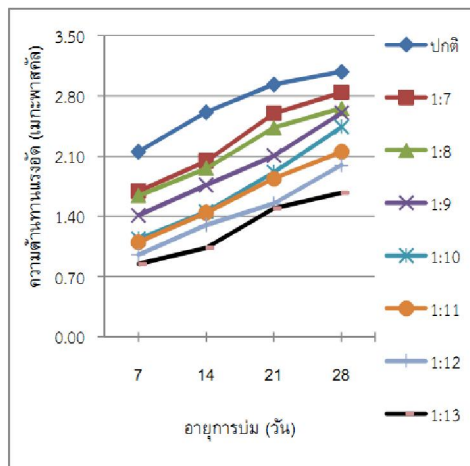
ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรโดยการนำคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุ 28 วัน ไปทำการอบ และนำมาวัดมิติเชิงปริมาตรได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 13 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิคบดย่อยที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเศษเซรามิคบดย่อยมีเนื้อที่พรุนกว่าหินปูนจึงมีการดูดน้ำสูงขึ้นเมื่อผสมเศษเซรามิคบดย่อยในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตบล็อกมีอัตราการหดตัวขยายตัวมากกว่า แต่ก็มีปริมาณน้อยมากจึงไม่ส่งผลต่อการนำไปก่อเป็นผนังอาคาร



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน

3.4 ความต้านทานแรงอัด

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเศษเซรามิคบดย่อยที่อัตราส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ไม่ผสมเศษเซรามิคบดย่อย ทำการทดสอบแรงอัดปลายของก้อนคอนกรีตบล็อกแต่ละอัตราส่วน ตามจำนวนอายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน แล้วคำนวณเป็นค่าความต้านทานแรงอัด โดยใช้ค่าเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนละ 30 ก้อน ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 14



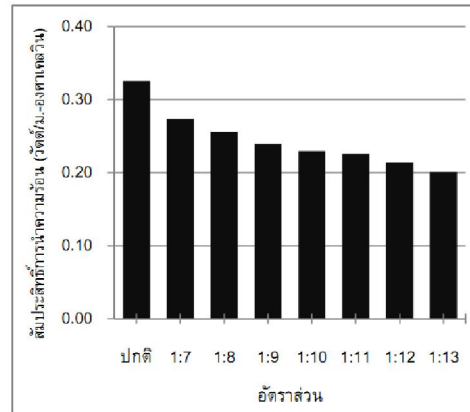
รูปที่ 14 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่มต่าง ๆ

จากรูปที่ 14 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุของคอนกรีตบล็อกที่มากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต [1] เมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยทดแทนหินปูนที่อัตราส่วน 1:9 ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลงจาก 3.08 เมกะพาสคัล เหลือ 2.6 เมกะพาสคัล ซึ่งยังคงผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดที่กำหนดว่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นก็ทำให้ความต้านทานแรงอัดมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากเศษเซรามิกบดย่อยมีความฉ่ำน้ำและความหนาแน่นต่ำกว่าหินปูนเมื่อเข้าไปแทนที่หินปูนจึงมีผลทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกลดลง อีกทั้งการผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณมากก็ทำให้ปริมาณน้ำต่อน้ำในการปฏิบัติกับปูนซีเมนต์มีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย จึงอาจมีน้ำไม่เพียงพอในการปฏิบัติกรีธาไฮเดรชัน โดยผลจากการทดลองพบว่ามีเพียงแค่ 3 อัตราส่วน ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 คือ อัตราส่วน 1:7:0.6, 1:8:0.6 และ 1:9:0.6 ตามลำดับ ที่สามารถนำไปใช้ผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

3.5 สภาพการนำความร้อน

การทดสอบสภาพการนำความร้อนโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเพื่อต้องการทราบว่า การนำเศษเซรามิกบดย่อยมาเป็นส่วนผสมแทนที่หินปูนในการผลิตคอนกรีตบล็อกนั้น จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกที่ได้มีความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ขึ้นหรือไม่เพียงพอ โดยส่งตัวอย่างคอนกรีตขนาด 30 x 30 x 5 ซม. ไปทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ตามมาตรฐาน ASTM C177 [4] ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 15 พบว่าเมื่อผสมเศษเซรามิกบดย่อยในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมีแนวโน้มต่ำลงตามลำดับ ทั้งนี้เป็นไปตามแนวทางของวัสดุที่

มีความหนาแน่นน้อยก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ ซึ่งแสดงว่าเศษเซรามิกบดย่อยมีส่วนช่วยทำให้คอนกรีตบล็อกมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้นได้ โดยที่อัตราส่วน 1:9:0.6 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.24 วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส ดังนั้นเศษเซรามิกบดย่อยจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นมวลรวมในการผสมพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติในการช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารและเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้



รูปที่ 15 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน

3.6 ต้นทุนการผลิตและการนำไปใช้ประโยชน์

การนำไปใช้ประโยชน์ของโครงการ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้ง ปัจจุบันได้มีการผลิตและจัดจำหน่ายโดย บริษัท อริยะสุขธิอินเตอร์เทรด จำกัด ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 กองคอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยเพื่อรอจำหน่าย

การคำนวณต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นส่วนผสม เนื่องจากเศษเซรามิกเป็นวัสดุเหลือทิ้งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพราะต้องจ้างไปขนทิ้งอยู่แล้ว แต่ต้องนำมาทำความสะอาดและบดย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายในการบดย่อย

เซรามิกจำนวน 10 บาท ต่อ 100 กิโลกรัม ซึ่งจะมีต้นทุนต่ำกว่าการซื้อหินปูนมาผลิตเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อคิดต้นทุนในการผลิตรวมทั้งหมดแล้ว คอนกรีตบล็อกที่ใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมที่อัตราส่วน 1:9 จะมีต้นทุนการผลิตก่อนละ 3.65 บาท ในขณะที่คอนกรีตบล็อกปกติที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมมีต้นทุนการผลิตก่อนละ 3.95 บาท ดังนั้นการใช้เศษเซรามิกบดย่อยเป็นมวลรวมทดแทนหินปูนทั้งหมดจึงคุ้มค่าแก่การลงทุนและเหมาะสมกับการส่งเสริมเป็นวิสาหกิจชุมชน วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) อีกด้วย

4. สรุปผล

การนำเศษเซรามิกบดย่อยมาใช้แทนที่หินปูนในการผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 ได้ทำการกำหนดส่วนผสมโดยใช้เศษเซรามิกบดที่เลือกทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อสร้าง มาบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 โดยกำหนดส่วนผสม ปูนซีเมนต์:เศษเซรามิกบดย่อย:น้ำ เท่ากับ 1:7:0.6, 1:8:0.6, 1:9:0.6, 1:10:0.6, 1:11:0.6, 1:12:0.6 และ 1:13:0.6 โดยน้ำหนัก ทำการผสมและขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ขนาด 7 x 19 x 39 ซม. ด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบอัตโนมัติ ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ผลการทดสอบพบว่า เมื่อผสมเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ ค่าความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด มีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการทดสอบสภาพการนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C177 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลงซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่ต่ำลง ที่ผลการทดสอบเป็นเช่นนี้เนื่องจากความต่างจำเพาะและความแข็งแรงของเซรามิกที่ต่ำกว่าหินปูน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับคอนกรีตบล็อกปกติที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์:หินปูนเท่ากับ 1:9 พบว่าคอนกรีตบล็อกปกติมีความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่า โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดในการนำไปผลิตเชิงพาณิชย์ คืออัตราส่วน 1: 9: 0.6

โดยการวิจัยในขั้นต่อไปควรมีการเพิ่มสिलิกาในส่วนผสมและใส่สารผสมเพิ่มที่ช่วยต้านทานการซึมน้ำ เพื่อพัฒนาไปสู่คอนกรีตบล็อกที่ไม่ต้องใช้ปูนฉาบ สำหรับเป็นช่องทางในการจัดจำหน่ายเพิ่มขึ้น และการทดลองในครั้งนี้ได้ทำการควบคุมปริมาณน้ำให้เท่ากันทุกอัตราส่วน จึงอาจส่งผลต่อการรับกำลังของคอนกรีตบล็อกและการขนย้ายก่อนคอนกรีตบล็อกหลังจากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดบล็อกทันที ทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย โดยต้องคอยระวังไม่ให้แตกร้าว ซึ่งหากทำการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมมากที่สุดในแต่ละอัตราส่วนแล้ว ก็จะทำให้มีความคล่องตัวในการผลิต ลดระยะเวลา และลดค่าใช้จ่ายลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการวิจัย มุ่งเป้า (SME) งบประมาณประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2555). *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต*. พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, 381 หน้า.
- [2] นันทชัย ชูศิลป์, พรนารถ บุญราศรี, ทรงวุฒิ ขวัญอิน, ธวัชชัย ไกรรัตน์ และ ภูริวัจน์ แซ่เลี้ยว (2557). สมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิกที่ใช้แล้วเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5*, หน้า 664-674.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2533). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก*. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- [4] American Society for Testing and Materials (2013). ASTM C177 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by means of Guarded Hot Plate Apparatus, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2533). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.109 เรื่อง วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อสร้างทำด้วยคอนกรีต*. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.

ผนวก ข

การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทและกลุ่มเป้าหมาย



นักวิจัยจาก RISC มาดูงานการผลิตคอนกรีตบล็อก



บรรยายให้ความรู้กับชุมชน



ถ่ายทอดองค์ความรู้ให้วิสาหกิจชุมชน



ให้ความรู้กับผู้ประกอบการ



ให้ความรู้กับอาจารย์และนักวิจัย



ฝึกการผลิตคอนกรีตบล็อกให้ลูกจ้างบริษัท

รูปที่ผนวก ข การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทและกลุ่มเป้าหมาย

ผนวก ค

ภาพการประกวดผลงานระดับนานาชาติ



นักวิจัยไทยนำผลงานร่วมประกวด IWIS2017



บรรยากาศการประกวดผลงาน



บูทติดตั้งผลงานได้รับเชิญจากสมาคม ATIP



ใบประกาศ



งานแถลงข่าวผู้ที่ได้รับรางวัลจากการประกวด ณ ห้องประชุมจอมพล สฤษดิ์ ธนะรัชต์ (วช.)



อธิบายผลงานให้กับ พล.อ.อ.ประจิน จั่นตอง และเลขาธิการ วช. ได้ทราบ

รูปที่ผนวก ค การประกวดผลงาน IWIS2017 ณ กรุงวอร์ซอ สาธารณรัฐโปแลนด์

ผนวก ง

ภาพการจัดนิทรรศการร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ



กับป้ายนิทรรศการสิ่งประดิษฐ์นานาชาติ



กับท่านอธิการบดี มทร.ธัญบุรี



กับ ผอ.สวพ. มทร.ธัญบุรี



ร่วมฟังการบรรยายในงานวันนักประดิษฐ์



ร่วมพิธีเปิดงานวันนักประดิษฐ์



ร่วมแถลงข่าวเปิดงานวันนักประดิษฐ์

รูปที่ผนวก ง การจัดนิทรรศการในงานวันนักประดิษฐ์ 2561

ผนวก จ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1619 (พ.ศ. 2533)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

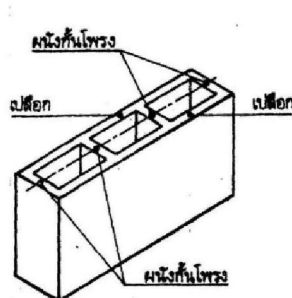
เรื่อง แกะไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (แก้ไขครั้งที่ 1)

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก.58-2530

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก.58-2530 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1295 (พ.ศ. 2530) ลงวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2530 ดังต่อไปนี้

1. ให้แก้หมายเลขมาตรฐานเลขที่ “มอก.58-2530” เป็น “มอก.58-2533”
2. ให้ยกเลิกความในข้อ 1.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภทและสัญลักษณ์ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุ คุณสมบัติที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินและการทดสอบคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก”
3. ให้ยกเลิกความในข้อ 2.3 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “2.3 เปลือก (face-shell) หมายถึง ผนังของคอนกรีตบล็อก ซึ่งเชื่อมต่อด้วยผนังกันโพรง ดังแสดงในรูปที่ 1”
4. ให้เพิ่มรูปต่อไปนี้เป็นรูปที่ 1



รูปที่ 1 เปลือกของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
(ข้อ 2.3)

5. ให้ยกเลิกความในข้อ 3. และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “3. ประเภทและสัญลักษณ์
 - 3.1 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ
 - 3.1.1 ประเภท 1 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 1
 - 3.1.2 ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 2”
6. ให้แก้ความจาก “รูปที่ 1” เป็น “รูปที่ 2” ทุกแห่ง
7. ให้ยกเลิกความในข้อ 6.2 และข้อ 6.3 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “6.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
 - ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อนต้องเป็นไปตามตารางที่ 2
 - การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.109
 - 6.3 ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภท 1)
 - ต้องเป็นไปตามตารางที่ 3”
8. ให้ยกเลิกชื่อตารางที่ 3 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “ตารางที่ 3 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภท 1)”
9. ให้ยกเลิกความในหมายเหตุ ¹⁾ ท้ายตารางที่ 3 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “หมายเหตุ¹⁾ ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (ในกรณีที่ยังไม่มีประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 426)”
10. ให้ยกเลิกความใน (1) ของข้อ 7.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
 - “(1) สัญลักษณ์แสดงประเภท”

11. ให้ยกเลิกความในข้อ 8.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
- “8.2 การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบ ให้กระทำ ณ สถานที่ผลิต และต้องใช้เวลาสำหรับการทดสอบจนครบทุกรายการอย่างน้อย 10 วัน”
12. ให้ยกเลิกความในข้อ 8.3.1 และข้อ 8.3.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน
- “8.3.1 การชักตัวอย่าง
- ให้เป็นไปตาม มอก.109 โดยคัดตัวอย่างที่บกพร่องเนื่องจากการขนส่งออกเสียก่อน แล้วจึงชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันมาทำเป็นตัวอย่างทดสอบ
- 8.3.2 เกณฑ์ตัดสิน
- ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 6. ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ในกรณีที่มีตัวอย่างใดไม่เป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 6.1 ข้อ 6.2 หรือข้อ 6.3 รายการใดรายการหนึ่ง ให้ชักตัวอย่างจากรุ่นเดียวกันจำนวน 2 เท่าของชุดตัวอย่าง มาทดสอบซ้ำในรายการนั้น ผลการทดสอบซ้ำ ตัวอย่างทุกชุดต้องเป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 6.1 ข้อ 6.2 หรือข้อ 6.3 แล้วแต่กรณี จึงจะถือว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ยกเว้นรายการความต้านแรงอัด ตัวอย่างต้องมีความต้านแรงอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2 จึงจะยอมให้ทดสอบซ้ำในรายการความต้านแรงอัดได้”
- ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 270 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

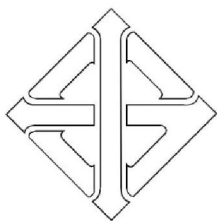
ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2533

พลตำรวจเอก ประमाण อธิเรกสาร

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 ตอนที่ 119

วันที่ 10 กรกฎาคม พุทธศักราช 2533



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 58— 2530

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

STANDARD FOR HOLLOW NON-LOAD-BEARING CONCRETE MASONRY
UNITS

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 691.327— 478 : 69.022.324/.324

ISBN 974-8111-71-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มอก. 58 – 2530

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 105 ตอนที่ 8
วันที่ 14 มกราคม พุทธศักราช 2531

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภท ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุ คุณสมบัติที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 คอนกรีตบล็อก (hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับก่อผนังหรือกำแพง มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวฐานน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน
- 2.2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (hollow non-load-bearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง
- 2.3 เปลือก (face-shell) หมายถึง ผนังด้านนอกของคอนกรีตบล็อก

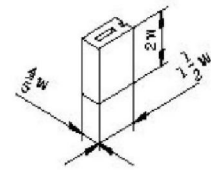
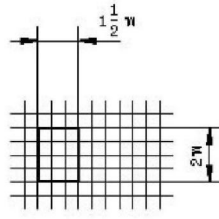
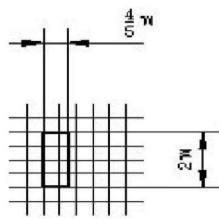
3. ประเภท

- 3.1 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ
- 3.1.1 ประเภทควบคุมความชื้น
- 3.1.2 ประเภทไม่ควบคุมความชื้น

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

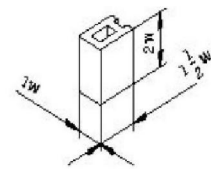
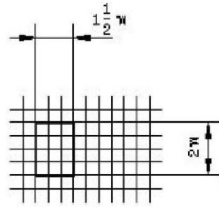
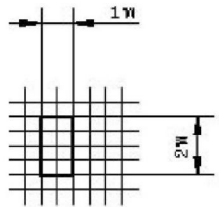
- 4.1 ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร
- 4.2 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักให้มีขนาดดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

มอก. 58-2530



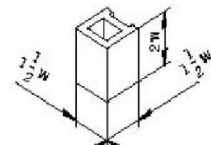
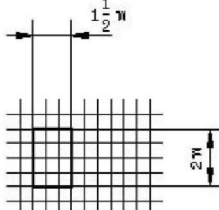
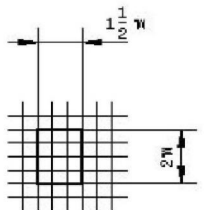
มิติปกติ $\frac{4}{5} \times 2 \times 1\frac{1}{2}$

ขนาดที่ 70 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 140 มิลลิเมตร



มิติปกติ $1 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$

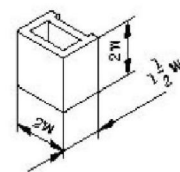
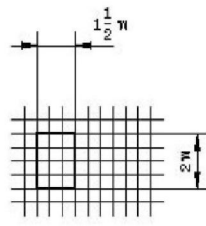
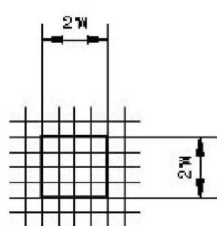
ขนาดที่ 90 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 140 มิลลิเมตร



มิติปกติ $1\frac{1}{2} \times 2 \times 1\frac{1}{2}$

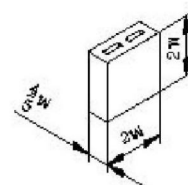
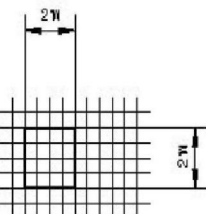
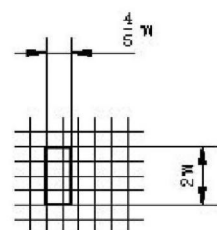
ขนาดที่ 140 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 140 มิลลิเมตร

รูปที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
(ข้อ 4.2)



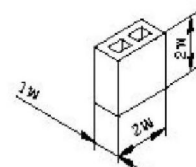
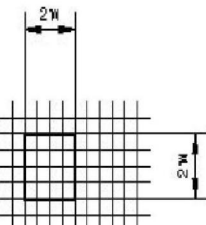
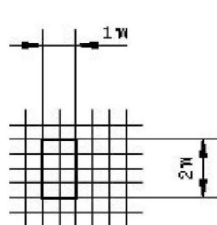
มิติปกติ $2 \times 2 \times 1 \frac{1}{2}$

ขนาดที่ 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 140 มิลลิเมตร



มิติปกติ $\frac{4}{5} \times 2 \times 2$

ขนาดที่ 70 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร

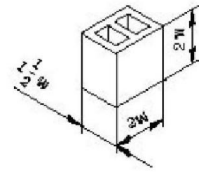
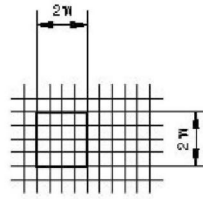
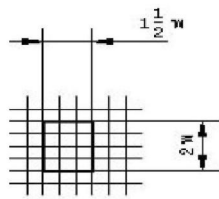


มิติปกติ $1 \times 2 \times 2$

ขนาดที่ 90 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร

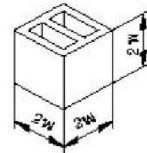
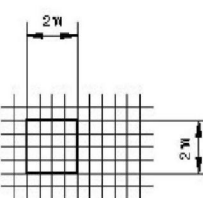
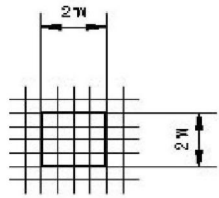
รูปที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (ต่อ)

มอก. 58-2530



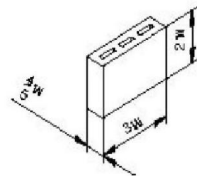
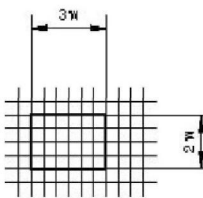
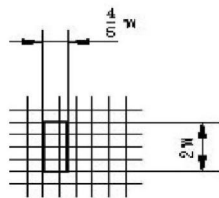
มิติพิกัด $1\frac{1}{2} \times 2 \times 2$

ขนาดที่ทํา 140 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร



มิติพิกัด $2 \times 2 \times 2$

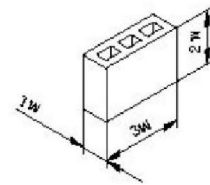
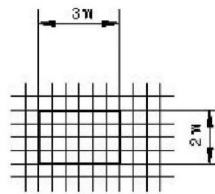
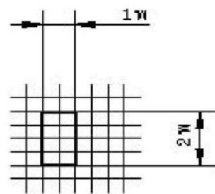
ขนาดที่ทํา 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร



มิติพิกัด $\frac{4}{5} \times 2 \times 3$

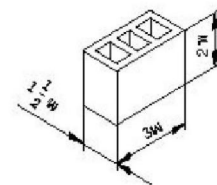
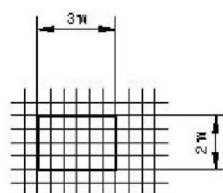
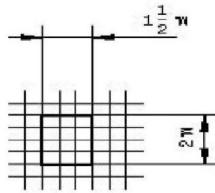
ขนาดที่ทํา 70 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 290 มิลลิเมตร

รูปที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (ต่อ)



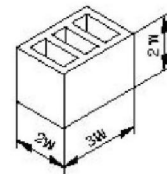
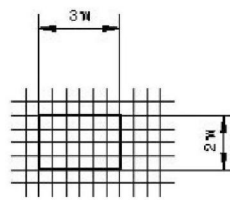
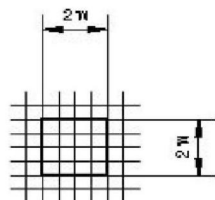
มิติพิกัด $1 \times 2 \times 3$

ขนาดที่เท่า 90 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 290 มิลลิเมตร



มิติพิกัด $1 \frac{1}{2} \times 2 \times 3$

ขนาดที่เท่า 140 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 290 มิลลิเมตร

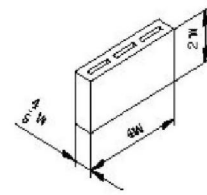
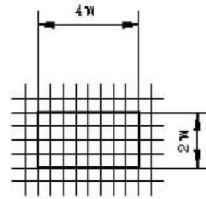
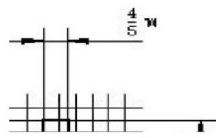


มิติพิกัด $2 \times 2 \times 3$

ขนาดที่เท่า 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 290 มิลลิเมตร

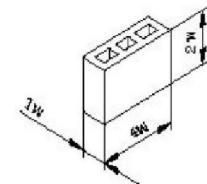
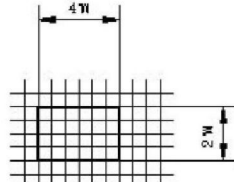
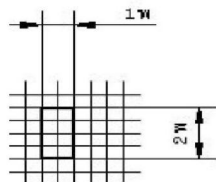
รูปที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (ต่อ)

มอก. 58-2530



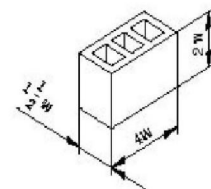
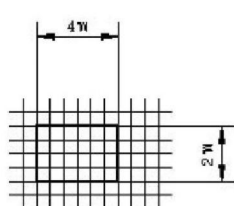
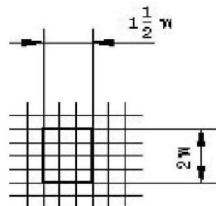
มิติพิกัด $\frac{4}{5} \times 2 \times 4$

ขนาดที่ท่า 70 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 390 มิลลิเมตร



มิติพิกัด $1 \times 2 \times 4$

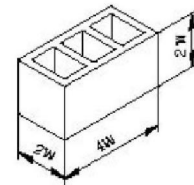
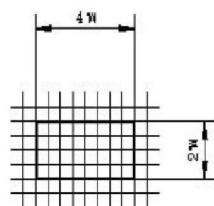
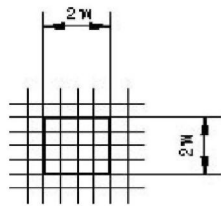
ขนาดที่ท่า 90 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 390 มิลลิเมตร



มิติพิกัด $1\frac{1}{2} \times 2 \times 4$

ขนาดที่ท่า 140 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 390 มิลลิเมตร

รูปที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (ต่อ)



มิติปกติ $2 \times 2 \times 4$

ขนาดที่ทำ 190 มิลลิเมตร $\times$ 190 มิลลิเมตร $\times$ 390 มิลลิเมตร

รูปที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (ต่อ)

ตารางที่ 1 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
(ข้อ 4.2)

มิติปกติ หนา × สูง × ยาว พ	ขนาดที่ทำ หนา × สูง × ยาว มิลลิเมตร × มิลลิเมตร × มิลลิเมตร
$\frac{4}{5} \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	70 × 190 × 140
$1 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	90 × 190 × 140
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	140 × 190 × 140
$2 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	190 × 190 × 140
$\frac{4}{5} \times 2 \times 2$	70 × 190 × 190
$1 \times 2 \times 2$	90 × 190 × 190
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 2$	140 × 190 × 190
$2 \times 2 \times 2$	190 × 190 × 190
$\frac{4}{5} \times 2 \times 3$	70 × 190 × 290
$1 \times 2 \times 3$	90 × 190 × 290
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 3$	140 × 190 × 290
$2 \times 2 \times 3$	190 × 190 × 290
$\frac{4}{5} \times 2 \times 4$	70 × 190 × 390
$1 \times 2 \times 4$	90 × 190 × 390
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 4$	140 × 190 × 390
$2 \times 2 \times 4$	190 × 190 × 390

หมายเหตุ ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่กำหนดนี้ เป็นขนาดที่ออกแบบ เพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิคัดในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิคัดมูลฐาน พ ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และกำหนดความหนาของปูนก่อในรอยต่อมาตรฐานเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

5. วัสดุ

5.1 ปูนซีเมนต์ให้ใช้อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

5.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

5.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐานเลขที่ มอก.80

5.2 มวลผสมคอนกรีต

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.566 ยกเว้นเกณฑ์ กำหนดการคัดขนาดมวลผสมคอนกรีต

5.3 ส่วนผสมอื่นๆ

ตัวทำฟองอากาศ สี สารกันน้ำ ฯลฯ ที่นำมาใช้ ควรเป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีต และควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

6.1.1 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

6.1.2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี

6.1.3 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเฉย ด้านผิวเฉยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่น ๆ ถ้าในการสังเคราะห์หนึ่งก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่า ร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

เมื่อส่งถึงที่ก่อสร้าง ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อน ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.109

ตารางที่ 2 ความต้านแรงอัด
(ข้อ 6.2)

ความต้านแรงอัด ต่ำสุด เมกะพาสคัล (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.5	2.0

- 6.3 ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น)
เมื่อสิ่งของที่ก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น)
(ข้อ 6.3)

การหัดตัวทางยาว ¹⁾ ร้อยละ	ความชื้น สูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย ร้อยละ ²⁾		
	น้อยกว่า 50	50 ถึง 75	มากกว่า 75
0.03 และน้อยกว่า	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	25	30	35

หมายเหตุ ¹⁾ ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการหัดแห้งของคอนกรีตบล็อก (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 426) และทดสอบก่อนกำหนดจำหน่าย ไม่เกิน 12 เดือน

²⁾ อาศัยสถิติตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานที่ที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

7. เครื่องหมายและฉลาก

- 7.1 ที่คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
- (1) ประเภท
 - (2) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า
- ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น
- 7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- 8.2 การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบ ให้กระทำ ณ สถานที่ผลิต และต้องให้เวลาอย่างน้อย 10 วัน เพื่อทดสอบให้เสร็จ
- 8.3 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- 8.3.1 การชักตัวอย่าง
ให้เป็นไปตาม มอก.109
 - 8.3.2 เกณฑ์ตัดสิน
ในกรณีที่ทดสอบแล้วไม่ผ่าน อาจคัดบางส่วนออก แล้วเลือกชักตัวอย่างใหม่จากส่วนที่เหลือเพื่อทดสอบใหม่ ถ้าตัวอย่างใหม่จากชุดที่สองนี้ทดสอบแล้วไม่ผ่านอีก ให้ถือว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทั้งรุ่นไม่เป็นไปตามมาตรฐานนี้

ผนวก จ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. เพื่อศึกษาขั้นตอนและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและผสมสีเพื่อเพิ่มมูลค่า สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม 2. เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม 3. เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม 4. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยผสมสีให้กับกลุ่มเป้าหมาย	ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม	ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม	1. ที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยและฉาบสีเพื่อเพิ่มมูลค่า สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม 2. ทราบสมบัติตาม มอก.58-2533 และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกบดย่อยฉาบสี สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม 3. ทราบผลของการนำคอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยในอัตราส่วนที่เหมาะสมไปใช้งานในสภาพเหมือนจริง 4. สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตบล็อกจากเศษเซรามิกบดย่อยให้กับกลุ่มเป้าหมาย นำเสนอบทความในการประชุมวิชาการ เผยแพร่ผลงานในนิตยสารการ และประกวดผลงานเวทีนานาชาติ
	เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก	เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก	
	อัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามสูตรที่ได้ทำการออกแบบไว้	อัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามสูตรที่ได้ทำการออกแบบไว้	
	ทดสอบความชื้น และ การดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	ทดสอบความชื้น และ การดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	
	ทดสอบความหนาแน่นและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	ทดสอบความหนาแน่นและการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	
	ทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	
	ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	
	ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกในสถานที่จริง	ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกในสภาพการใช้งานเสมือนจริง	
	วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย	วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย	
	จัดทำเอกสารเผยแพร่ และแผ่นพับประชาสัมพันธ์	จัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ เอกสารเผยแพร่ ประชุมวิชาการ เผยแพร่ผลงานในนิตยสารการ ประกวดผลงานเวทีนานาชาติ	
	ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย	ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มเป้าหมาย	
	จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และปิดโครงการ	จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	

ผนวก ข

หนังสือรับรองการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์



ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์)
261/257 หมู่ 4 ถ.รังสิต-นครนายก ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

หนังสือรับรองการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย เรื่อง “ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม”

ข้าพเจ้า นายรัชชัย อริยะสุทธิ ตำแหน่ง หัวหน้าผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) ขอยืนยันว่า ผลจากโครงการวิจัย เรื่อง “ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม” สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับห้างหุ้นส่วนฯ ได้ถึง ร้อยละ 5 และเพิ่มรายได้ให้กับห้างหุ้นส่วนฯ ร้อยละ 20

ในการนี้ทาง ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์) จึงขอแสดงความขอบคุณมายังท่านหัวหน้าโครงการวิจัย ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ด้วยดีเช่นนี้อีก ในโอกาสต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(ลงชื่อ) 

(นายรัชชัย อริยะสุทธิ)

(ตำแหน่ง).....หัวหน้าผู้จัดการ

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เคแอนด์พี อินโนเวชั่น (ไทยแลนด์)

....25..../...พฤษภาคม..../....2561....

ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และได้จริง

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเศษกระเบื้องเซรามิกเหลือทิ้งสำหรับ
วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม
สรุป (ร่าง) รายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางเปรียบเทียบผลผลิต(Output)ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ดำเนินการได้จริงในรอบ 12 เดือน

ผลผลิต (Output)		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่าน ระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/ หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม	100%	-
2. เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และออกแบบส่วนผสม ของคอนกรีตบล็อก	100%	-
3. จัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามสูตรที่ได้ทำ การออกแบบไว้	100%	-
4. ทดสอบความชื้น และ การดูดซึมน้ำ ของ ตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	100%	-
5. ทดสอบความหนาแน่นและ การเปลี่ยนแปลง เชิงปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	100%	-
6. ทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่าง คอนกรีตบล็อก	100%	-
7. ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	100%	-
8. ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก ในสถานที่จริง	100%	-
9. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย	100%	-
10. จัดทำบทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ และแผ่นพับประชาสัมพันธ์	100%	-
11. ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย	100%	-
12. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และปิดโครงการ	100%	-

ลงนาม.....

(นายประชุม คำพุด)

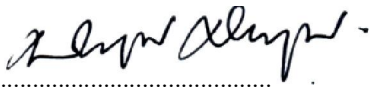
วันที่.....1 กันยายน 2561.....

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

☐ ประชุม..... จำนวน ครั้ง

☐

☐

ลงนาม..... 

(นายประชุม คำพุด)

วันที่..... 1 กันยายน 2561.....