ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากขยะเศษหิน

ณรงค์เดช ยังสุขเกษม[1*] ธวัชระพงษ์ วงศ์กสุล[2] สุดารัตน์ ปีนะภา[3] และเมษยา บุญสีลา[4]
[1*,2,3] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

*ผู้นิพนธ์ประสานงานบทความ อีเมล: Narongdet.ys@bru.ac.th โทรศัพท์ 08 6871 6570
รับเมื่อ 11 มีนาคม 2562 **แก้ไขเมื่อ** 19 เมษายน 2562 **ตอบรับเมื่อ** 10 มิถุนายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากขยะเศษหินมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของขยะเศษหินเปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสานโดยออกแบบส่วนผสมระหว่างดินและขยะเศษหินทั้งหมด 3 ส่วนผสมในแต่ละส่วนผสมแปรผันปริมาณซีเมนต์ 3 ค่าภายหลังจากเตรียมตัวอย่างแล้วบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วันภายใต้การทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาตรฐานและทดสอบกำลังอัดแกนเดียวผลจากการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุผสมมีแนวโน้มแปรผันโดยตรงตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเศษหินในส่วนผสมความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับปริมาณซีเมนต์ของวัสดุผสมมีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันรวมทั้งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านการดูดกลืนน้ำแม้ไม่ต้องปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยซีเมนต์ท้ายที่สุดจากผลการทดสอบยังสามารถสร้างสมการทำนายอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมเพื่อให้ผ่านเกณฑ์บล็อกประสานประเภทไม่รับน้ำหนักได้

คำสำคัญ: ดินซีเมนต์ อิฐบล็อกประสาน ขยะเศษหิน

Interlocking Block products from Stone Waste

Narongdet yangsukkasem[1*] Tawatcharapong Wongsagoon[2] Sudarat Peenapa[3] and Maysaya Boonsrila[4]
[1*,2, 3] Civil Engineering Technology, Faculty of industrial of Technology, Buriram Rajabhat University.
[4] Industrial management Engineering, Faculty of industrial of Technology, Buriram Rajabhat University.

*Corresponding author. E-mail: Narongdet.ys@bru.ac.th Tel. 08 6871 6570
Received: March 11, 2019; **Revised:** April 19, 2019; **Accepted:** June 10, 2019

Abstract

Research on the development of Interlocking block products from stone waste is aimed to design and development of Interlocking Block containing Stone Waste and comparing the results of the test with the standard of the community products. The mixture of 3 ratios of natural soil and stone waste was mixed with each of the 3 cement contents. After preparation, the samples were incubated at room temperature for 28 days under standard compaction and unconfined compression test. The results of the test found. The relationship between optimum moisture content and maximum dry density of composites tended to vary according to the change in stone waste content in the mixture. The relationship between compressive strength and cement content of composites is likely to be directly correlated. All of the ingredients are standardized in terms of water absorption. Finally, the results of the tests can be used to predict the optimum ratio of composite materials to meet the non-load-bearing capacity.

Keywords: Interlocking block, Stone waste, Soil cement

1. บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ทำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete) ของโรงงานผลิตภายในจังหวัดบุรีรัมย์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างงานชั้นผิวทางลาดยางยังมีเศษหินที่เหลือจากกระบวนการคัดแยกวัตถุดิบเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในปริมาณมากโดยเศษวัตถุดิบเหล่านี้จะนำไปกองไว้ในสถานที่เก็บเป็นขยะไม่ได้ใช้งานและยังมีปัญหาเรื่องของฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมต่อพื้นที่บริเวณข้างเคียงโรงงานเป็นอย่างมากในแต่ละปีมีการเพิ่มขึ้นของขยะเศษหินเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องอย่างไรก็ตามข้อดีของขยะเศษหินคือเป็นวัสดุคุณภาพดีที่มีเศษของหินเป็นส่วนผสมหลัก

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำมาผสมกับดินในท้องถิ่นภายในจังหวัดบุรีรัมย์เพื่อการประยุกต์ใช้และพัฒนาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตบล็อกประสานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาการผลิตอิฐบล็อกประสานโดยใช้วัสดุเศษหินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและเพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกประสานที่ผลิตได้กับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน

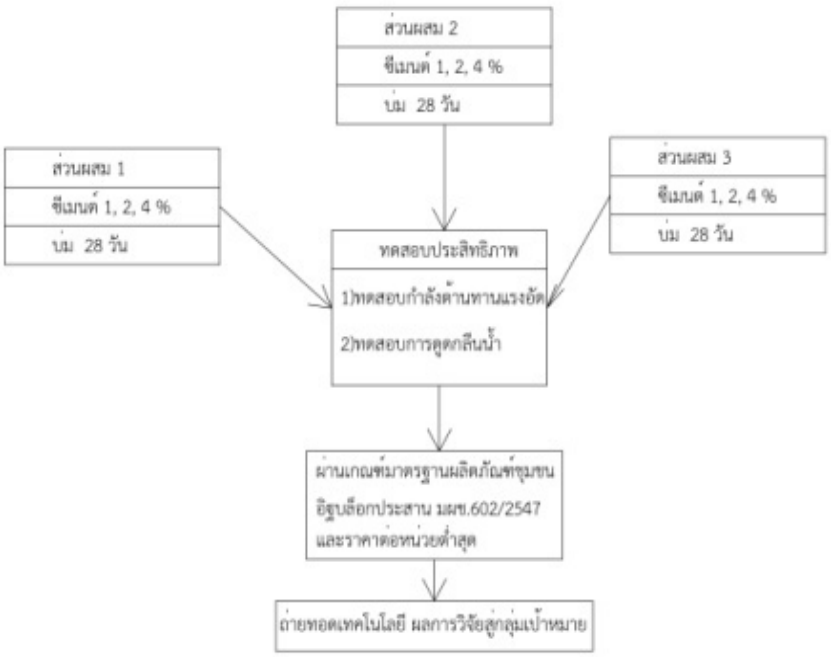
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาการผลิตอิฐบล็อกประสานโดยใช้วัสดุเศษหินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกประสานที่ผลิตได้กับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน

3. ขอบเขตของการวิจัย

บทความวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งการศึกษาออกแบบและพัฒนาอิฐบล็อกประสานผสมขยะเศษหินโดยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขอบเขตการวิจัย

4. สมมติฐานของการวิจัย

การที่จะนำดินที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ผลิตบล็อกประสานโดยตรงอาจประสบปัญหาการใช้งานเนื่องจากการบดอัดดินอาจทำได้ไม่ดีจากอิทธิพลของขนาดคละที่มีอยู่ในเนื้อดินที่มีแนวโน้มเป็นวัสดุเม็ดละเอียดอย่างไรก็ตามหากนำมาผสมกับขยะของเศษหินจากกระบวนการคัดแยกวัตถุดิบเพื่อทำถนนชั้นลาดยางซึ่งมีแนวโน้มเป็นวัสดุเม็ดหยาบผู้วิจัยคาดว่าวัสดุผสมระหว่างดินและเศษหินจะมีขนาดคละที่ดีขึ้นเมื่อผสมในอัตราส่วนที่พอเหมาะซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังต้านทานแรงอัดที่สูงขึ้นและการดูดซึมน้ำที่ลดลงเมื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์เพียงพอที่บล็อกประสานที่ผลิตจากวัสดุผสมนี้จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มผช.602/2547 [1]

5. ทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในต่างประเทศได้นำดินลูกรังตามธรรมชาติมาใช้ในงานก่อสร้างนานแล้วโดยเริ่มในปีค.ศ. 1917 วิศวกรชาวอังกฤษได้นำดินลูกรังมาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังให้ดีขึ้นสำหรับนำไปก่อสร้างถนนส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มมีการใช้อย่างจริงจังในปี ค.ศ. 1935 [2] สำหรับประเทศไทยไม่มีเอกสารยืนยันแน่นอนแต่คาดว่ามีการใช้มาแล้วไม่น้อยกว่า 50 ปีส่วนการนำดินลูกรังมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตบล็อกประสานสำหรับประเทศไทยนั้นเริ่มเข้ามาตั้งแต่โครงการอีสานเขียวและได้กระจายไปทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยบล็อกประสานมีชื่อเรียกหลายอย่างเช่น บล็อกประสาน บล็อกประสาน วว. ดินซีเมนต์บล็อก และอิฐดินแดง เป็นต้น [3] หน่วยงานที่ให้การสนับสนุนการใช้บล็อกประสานอย่างจริงจังได้แก่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยโดยบล็อกประสานเป็นวัสดุก่อสำหรับอาคารในระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนักช่วยลดต้นทุนค่าก่อสร้างและระยะเวลาการก่อสร้าง [4] อิฐบล็อกประสาน คือ อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรังผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมหรืออาจผสมวัสดุอื่นๆเช่นหินฝุ่นทรายและผสมให้เข้ากันหลังจากนั้นจึงเทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่องและเดือยแล้วจึงอัดเป็นก้อนและบ่มให้แข็งตัว [5]

อย่างไรก็ตามในอดีตที่ผ่านมาการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบล็อกประสานมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้งานของบล็อกประสานที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่จะเน้นการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติการรับน้ำหนักสำหรับก่อสร้างเป็นบล็อกประสานของบ้านระบบกำแพงรับน้ำหนักที่ผ่านมามีการนำวัสดุเหลือทิ้งมาเป็นส่วนผสมของบล็อกประสานโดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

การศึกษาคุณสมบัติของบล็อกประสานที่ใช้ยิบซั่มสังเคราะห์เป็นวัสดุผสมแทนปูนซิเมนต์จากการทดสอบพบว่าเมื่อผสมยิบซั่มลงในมวลรวม 5 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มกำลังอัดของอิฐบล็อกประสานได้ดีที่สุดนอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อผสมยิบซั่มจะสามารถประหยัดปูนซีเมนต์ลงได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นเงินต่อก้อนประมาณ 0.20 บาทหรือประมาณร้อยละ 5 ของราคารวมซึ่งในอุตสาหกรรมบล็อกประสานที่มีกำลังการผลิตสูงๆจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากรวมทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์แทนการนำไปทิ้งอีกทางหนึ่งด้วย [6]

การศึกษาคุณสมบัติของบล็อกประสานที่ใช้หน้าดินขาวจากเมืองแร่ภายในจังหวัดระนองเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยการผสมกับวัตถุดิบในท้องถิ่นที่อัตราส่วน 1:5 1:7 และ 1:9 โดยน้ำหนักและทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะอายุบ่ม 3 7 14 และ 28 วันจากการทดลอง พบว่า บล็อกประสานหน้าดินขาวมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นตามอายุบ่มและค่ากำลังรับแรงอัดจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยมากภายหลังอายุบ่มที่ 28 วันอย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าบล็อกประสานที่มีหน้าดินขาวเป็นส่วนผสมมีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีต

บล็อกประเภทรับน้ำหนักคือมากกว่า 70 กก./ตร.ซม. สามารถนำหน้าดินขาวมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตบล็อกประสานได้ [7]

ศึกษาการทำอิฐบล็อกประสานจากฝุ่นโรงโม่หินมาแทนที่การใช้ซีเมนต์จากผลการศึกษาพบว่าค่าการรับกำลังอัดของอิฐบล็อกประสานผ่านมาตรฐานมผช 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนักในทุกอัตราส่วนผสมตั้งแต่ระยะเวลาบ่ม 7 วันแรกที่ค่าความต้านแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัลส่วนชนิดรับน้ำหนักนั้นมีบางอัตราส่วนที่ไม่ผ่านโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาบ่มถึง 28 วันจึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่น้อยกว่า 7.0 เมกะพาสคัลค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยมีค่าไม่เกินร้อยละ 8.0 ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานมผช 602/2547 กำหนดอยู่ระหว่างร้อยละ 11.20-17.14 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอิฐบล็อกประสานที่ทำจากจากฝุ่นโรงโม่หินสามารถใช้ทำเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักและรับน้ำหนักได้ [8]

จะเห็นได้ว่าวัสดุก่อสร้างประเภทนี้เป็นวัสดุที่ช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้างโดยเน้นการใช้เศษวัสดุหรือวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นก่อสร้างง่ายประหยัดราคาในการก่อสร้างเพราะลดเวลาและค่าแรงงานในการก่อสร้างสร้างงานและอาชีพเสริมให้แก่ประชาชนในท้องถิ่นตลอดจนยังเป็นการช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งโดยลดการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำมาใช้ธุรกิจการก่อสร้างด้วย

6. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บรวบรวมข้อมูล การศึกษาและเตรียมงานเบื้องต้นโดยการ จัดเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัย จัดเตรียมวัตถุดิบ เช่น ซีเมนต์ ดินคัดเลือก และเศษหินเพื่อดำเนินการคัดแยกขนาดตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษารายละเอียดเพื่อออกแบบการทดลอง ศึกษาและออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 เตรียมเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ทดสอบ จัดเตรียมเครื่องมือในการทดลอง ศึกษาและรวบรวมมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีรายละเอียดดังนี้ ปรับปรุงขนาดคละของวัสดุผสมระหว่างขยะเศษหินและดินคัดเลือก 5 อัตราส่วนผสม บดอัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐาน (standard compaction Test) เพื่อหาปริมาณความชื้นเหมาะสมของแต่ละอัตราส่วนผสม หลังจากนั้นวัสดุผสมทั้งหมดจะถูกปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปริมาณซีเมนต์ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุผสม และบดอัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมของแต่ละอัตราส่วนผสม แล้วจึงบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน เมื่อครบอายุบ่มตามต้องการ นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัด (Compressive strength) และค่าการดูดกลืนน้ำ (Water absorption) ตลอดจนพิจารณาผลทดสอบดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มผช.602/2547 [8] พร้อมทั้งวิเคราะห์ความคุ้มค่าในแง่ของเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุนของการผลิตต่อหน่วยในลำดังถัดไป

ขั้นตอนที่ 5 การสรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา วิเคราะห์และสรุปผล ตลอดจนการประเมินเปรียบเทียบผลทดสอบ พร้อมกับพัฒนาหาแนวทางปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุที่ผลิตได้ด้านกระบวนการและกรรมวิธีการผลิต

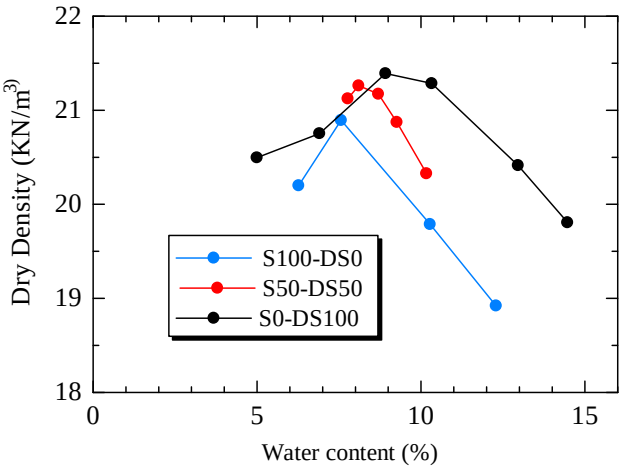
ขั้นตอนที่ 6 ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ หน่วยงานภาครัฐ ภาคประชาชนภายในชุมชนและท้องถิ่น รวมถึงภาคเอกชนผู้ผลิตและผู้ใช้บล็อกประสานภายในจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียง

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

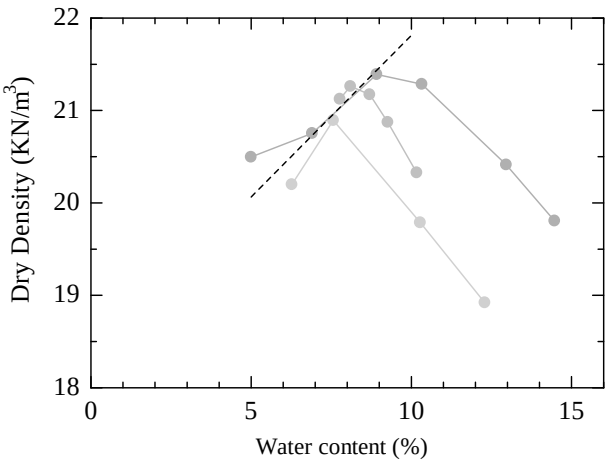
ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานได้ค่าดัชนีคุณสมบัติคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของบล็อกประสานจากขยะเศษหิน ดังนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM C- 150 เท่ากับ 3.14 และปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (ตามมาตรฐาน ASTM D 2216-98) ของดินลูกรังและขยะเศษหินประมาณ 2.7% และ 3.2% ตามลำดับ

7.1 ปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด

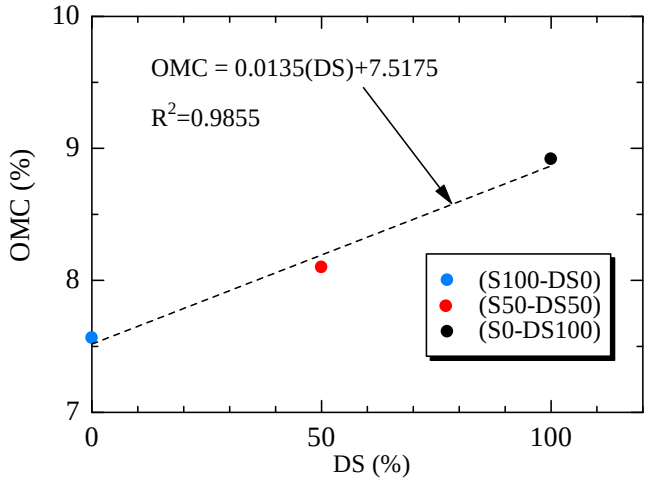
จากการทดสอบบดอัดแบบมาตรฐาน (ตามมาตรฐาน ASTM D 698 - 70) ของวัสดุผสมระหว่างดินลูกรังและขยะเศษหินที่อัตราส่วนผสม 100 : 0, 50 : 50 และ 0 : 100 โดยน้ำหนัก ได้ปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดตาม ดังนี้ 7.5 % และ 20.9kN/m^3 , 8.0 % และ 21.3kN/m^3, 9.4 % และ 21.4kN/m^3 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 2 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุผสมทั้งสามมีแนวโน้มแปรผันโดยตรงตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเศษหินในส่วนผสม แสดงดังภาพที่ 3 ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเศษหินในส่วนผสมกับปริมาณความชื้นเหมาะสมและหนาแน่นแห้งสูงสุดแสดงดังภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ แสดงดังสมการที่ 1 และ 2



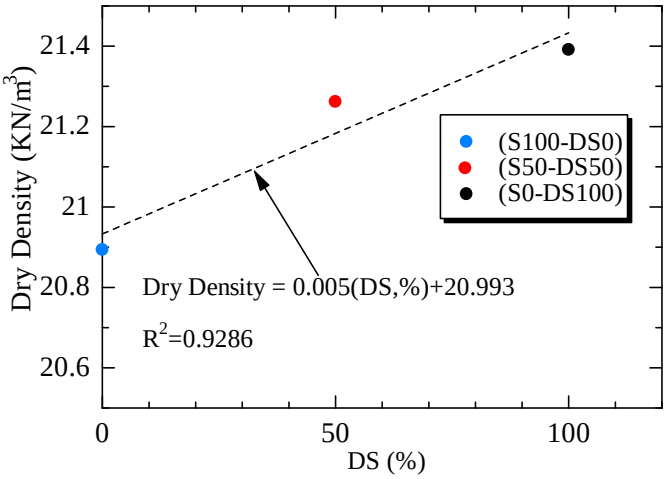
ภาพที่ 2 ผลทดสอบการบดอัดตัวอย่าง



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสมและเปอร์เซนต์ขยะเศษหิน



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและเปอร์เซนต์ขยะเศษหิน

$$OMC = 0.0135(DS,\%) + 7.5175 \quad (1)$$

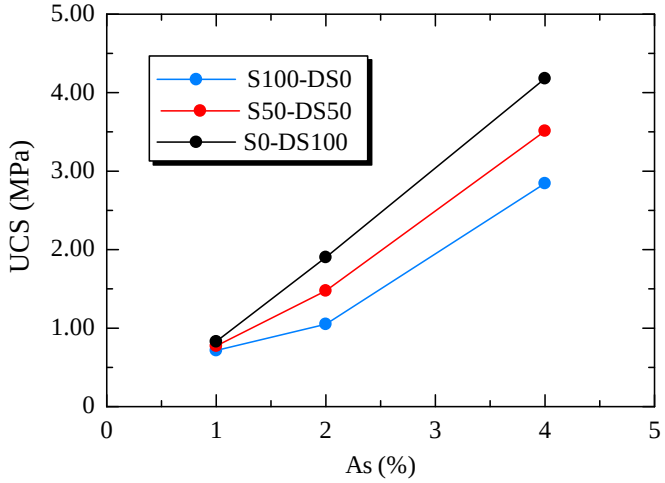
$$\gamma_d = 0.005(DS,\%) + 20.993 \quad (2)$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 1 และ 2 จะมีประโยชน์อย่างมากต่อการทำนายปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุผสมหากต้องการปรับเปลี่ยนปริมาณของขยะเศษหินในวัสดุผสมในการสถานที่ผลิตบล็อกประสานจริง

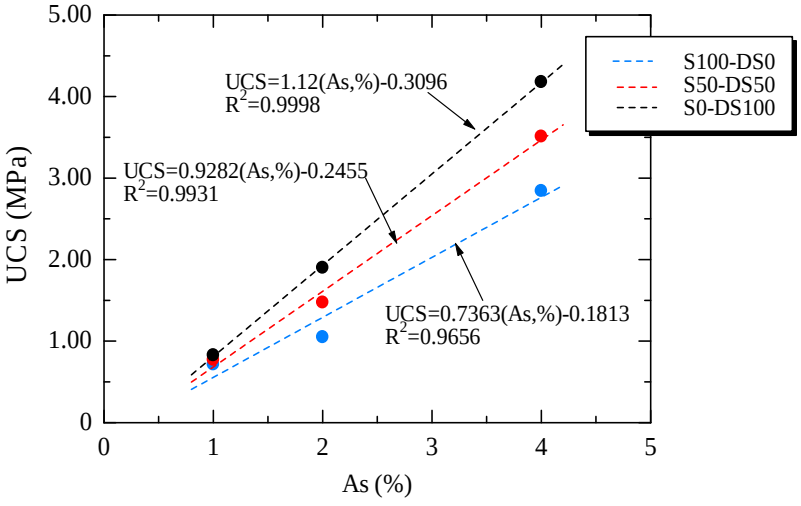
7.2 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

ผลทดสอบอัดแกนเดียวของวัสดุผสมสำหรับผลิตบล็อกประสานจากห้องปฏิบัติการ แสดงดังภาพที่ 6 จากการศึกษาพบค่ากำลังอัดแกนเดียวของทุกอัตราส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่มากขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 3.55 เท่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์จาก 1 เปอร์เซ็นต์เป็น 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุผสม S50:DS50 เป็นต้น ตลอดจนการเพิ่งขึ้นของกำลังอัดแกนเดียวยังมีค่ามากขึ้นตามปริมาณขยะเศษหินในส่วนผสมที่มากขึ้น ที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากัน เช่นกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นประมาณ 46

เปอร์เซ็นต์เมื่อปริมาณขยะเศษหินเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณซีเมนต์ 4 เปอร์เซ็นต์เป็นต้น อย่างไรก็ตาม จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวยังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับปริมาณซีเมนต์ของแต่ละวัสดุผสมมีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์โดยตรงต่อกัน ด้วยเหตุนี้เอง คณะผู้วิจัยจึงสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปของคณิตศาสตร์แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีประโยชน์อย่างมากต่อการใช้ทำนายกำลังอัดแกนเดียวของแต่ละวัสดุผสมเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ ดังสมการที่ 3 ถึง 5 จากสมการดังกล่าว หากต้องการทำนายปริมาณซีเมนต์เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนักซึ่งกำหนดค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7.0 MPa ต้องใช้ซีเมนต์ 9.75, 7.81 และ 6.53 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุผสม S100:DS0, S50:DS50 และ S0:DS100 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างความสัมพันธ์เพื่อทำนายปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณขยะเศษหินในส่วนผสมแสดงดังภาพที่ 7 และภาพที่ 8



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวและเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

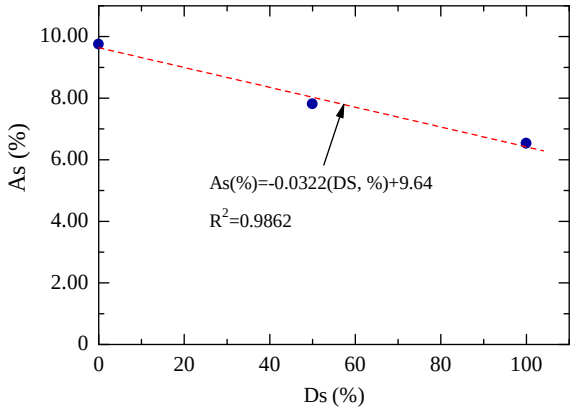


ภาพที่ 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวและเปอร์เซนต์ซีเมนต์

$$UCS = 0.7363(A_s,\%) - 0.1813, For(S100 - DS0) \quad (3)$$

$$UCS = 0.9282(A_s,\%) - 0.2455, For(S50 - DS50) \quad (4)$$

$$UCS = 1.12(\%A_s) - 0.3096, For(S0 - DS100) \quad (5)$$

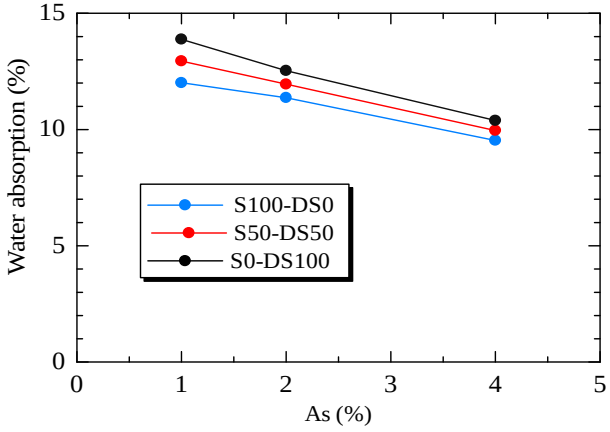


ภาพที่ 8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณขยะเศษหินและปริมาณซีเมนต์

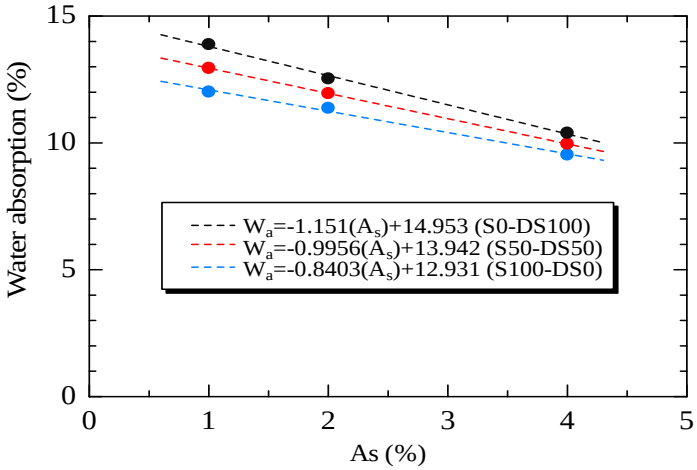
$$As(\%) = -0.0322(DS,\%) + 9.64 \quad (6)$$

7.3 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

จากการศึกษาพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานที่ผลิตได้มีค่าลดลงตามปริมาณซีเมนต์แต่มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะเศษหินที่เพิ่มขึ้น ในส่วนผสม ตัวอย่างเช่น วัสดุผสมระหว่างดินลูกรังและขยะเศษหินที่อัตราส่วนผสม S50:DS50 เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมจาก 1 เป็น 4 เปอร์เซ็นต์พบว่าค่าการดูดซึมน้ำลดลงประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มปริมาณขยะเศษหินมากยิ่งขึ้น (S100:DS0 เป็น S0:DS100) ที่ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากันค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์แสดงดังภาพที่ 9, 10และสมการที่ 4 ถึง 6 ตามลำดับอย่างไรก็ตาม หากต้องการทำนายปริมาณซีเมนต์เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนัก ซึ่งกำหนดค่าเฉลี่ยมาตรฐานของการดูดกลืนน้ำสำหรับบล็อกประสานที่มีน้ำหนักมากกว่า 2 กิโลกรัมต่อก้อน ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนน้ำสูงสุดเฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อนต้องไม่เกิน 208 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรด้วยเหตุนี้ จากขนาดบล็อกประสานที่วิจัยในครั้งนี้โดยเฉลี่ย 0.003125 ลูกบาศก์เมตรค่าการดูดกลืนน้ำสูงสุดเฉลี่ยต้องไม่เกิน 0.65 กิโลกรัมต่อก้อน (32.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของบล็อกประสาน) จากสมการ 4 ถึง 6 พบว่าทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านการดูดกลืนน้ำแม้ไม่ต้องปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยซีเมนต์ก็ตาม



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนน้ำและปริมาณซีเมนต์



ภาพที่ 10 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าการดูดกลืนน้ำและปริมาณซีเมนต์

$$W_a(\%) = -1.151(A_s,\%) + 14.953 \quad (7)$$

$$W_a(\%) = -0.9956(A_s,\%) + 13.942 \quad (8)$$

$$W_a(\%) = -0.8403(A_s,\%) + 12.931 \quad (9)$$

7.4 ตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

ผลการทำนายกำลังอัดของบล็อกประสานและค่าจากการทดสอบจริง พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานมีค่าแตกต่างจากการออกแบบเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่รับได้ในเชิงวิศวกรรม และบล็อกประสานสามารถนำไปใช้เป็นบล็อกประประเภทไม่รับน้ำหนักได้อย่างไรก็ตาม หากต้องการผลิตบล็อกประสานเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนักได้ กระบวนการการผลิตควรเพิ่มปริมาณซีเมนต์จากค่าที่คำนวณได้อีกเล็กน้อย นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้นำเสนอค่าประสิทธิภาพของเครื่องมืออัดขึ้นรูปบล็อกประสานซึ่งมีค่าประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์

8. สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยโดยสรุปเป็นประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้ที่อายุบ่ม 28 วัน ค่าเฉลี่ยของขนาดบล็อกประสานจากขยะเศษหินเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนบล็อกประสาน มผช. 602-2547 กระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ว่าต้องมีลักษณะทั่วไปและมิติ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตรจากการตรวจสอบ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยลักษณะภายนอกไม่มีรอยแตกหักและรอยบิ่นอย่างไรก็ตามผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกประสานที่ผลิตได้กับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน สรุปเป็นประเด็นต่างๆได้ดังนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุผสมมีแนวโน้มแปรผันโดยตรงตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเศษหินในส่วนผสมและความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับปริมาณซีเมนต์ของวัสดุผสมมีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันรวมทั้งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านการดูดกลืนน้ำแม้ไม่ต้องปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยซีเมนต์ นอกจากนี้จากผลการทดสอบยังสามารถสร้างสมการทำนายอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมเพื่อให้ผ่านเกณฑ์บล็อกประสานประเภทรับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนบล็อกประสาน มผช. 602-2547 โดยมีขั้นตอนการทำนายดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกปริมาณขยะเศษหิน (เปอร์เซ็นต์) ในส่วนผสมตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาปริมาณความชื้นเหมาะสมของวัสดุผสมจากขั้นตอนที่ 1 จากสมการ

$$\mathrm{OMC} = 0.0135(\mathrm{DS},\%) + 7.5175$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดเพื่อหาน้ำหนักวัสดุผสมสำหรับขึ้นรูปบล็อกประสานจากสมการ $\gamma_d = 0.005(\mathrm{DS},\%) + 20.993$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อให้กำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนจากสมการ $As(\%) = -0.0322(DS,\%) + 9.64$

จากผลการทำนายกำลังอัดของบล็อกประสานและค่าจากการทดสอบจริง พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานมีค่าแตกต่างจากการออกแบบเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่รับได้ในเชิงวิศวกรรม และบล็อกประสานสามารถนำไปใช้เป็นบล็อกประสานประประเภทไม่รับน้ำหนักได้

9. ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบหากต้องการทำนายอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณซีเมนต์ เพื่อให้กำลังอัดและการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานผ่านเกณฑ์มาตรฐานของบล็อกประสานประเภทรับน้ำหนัก

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ เลขที่ 81/2561 “Development of Interlocking Block products from Stone Waste” ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช 602/2547).” [สืบค้นเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2559]. จาก http://app.tisi.go.th/otop/standard/standards.html.

[2] Andrews, W.P. “Cement and soil-cement roads.” Contractors record Ltd., London, 1960.

[3] เขม เกศทอง. “คู่มือการสร้างบ้านด้วยบล็อกประสาน.” สำนักพิมพ์สยาม, 2545.

[4] ประณต กุลประสูติ, “เทคนิคงานปูน-คอนกรีต”, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[5] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. “เทคโนโลยีบล็อกประสาน วว.” เพื่อการสร้างอาคารราคาประหยัด. [สืบค้นเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2559]. จาก goo.gl/cPt3n2.

[6] วุฒินัย กกกำแหง และวิทยา วุฒิจำนง. “การประยุกต์ใช้ยิปซั่มในการผลิตบล็อกประสาน.” เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, พิษณุโลก, 2-4 พฤษภาคม 2550.

[7] วุฒินัย กกกำแหง และนรา รัตนวงศ์. “บล็อกประสานจากหน้าดินขาว.” เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, พัทยา, 14-16 พฤษภาคม 2551.

[8] นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล. “การใช้ฝุ่นจากโรงโม่หินแทนที่ซีเมนต์ในการทำอิฐบล็อกประสาน.” วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, มกราคม-เมษายน 2560, หน้า 126-135. [สืบค้นเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2560]. จาก goo.gl/okjwHS.