NUEJ
NARESUAN UNIVERSITY
ENGINEERING JOURNAL

การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานโดยผสมทราย
Engineering Properties Improvement of Interlocking Block by Mixing with Sand

กมล อมรฟ้า

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
E-mail: fengkma@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บล็อกประสานเป็นวัสดุก่อสร้างที่นำดินลูกรังมาผสมปูนซีเมนต์และอัดขึ้นรูปเป็นก้อนบล็อก เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างกำแพงรั้ว ผนังอาคาร ถังเก็บน้ำ หรือตกแต่งสวน โดยที่ดินลูกรังซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักต้องทดสอบขนาดคละก่อน หากดินลูกรังมีขนาดคละไม่เหมาะสม จะนิยมผสมด้วยทรายหรือหินฝุ่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและขนาดคละของทรายที่ผสมกับดินลูกรัง ที่มีผลต่อสมบัติทางวิศวกรรม โดยแทนที่ดินลูกรังด้วยทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 โดยน้ำหนัก การทดลองใช้ทรายสามชนิดที่มีขนาดต่างกัน ผลศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณทรายหรือเพิ่มขนาดทรายทำให้กำลังรับแรงอัด ความคงทน และการดูดกลืนน้ำดีขึ้น แต่ความสวยงามของผิวตัวอย่างลดลง ดังนั้นการเลือกปริมาณและขนาดของทรายต้องพิจารณาทั้งสมบัติทางวิศวกรรมและเรื่องความสวยงามของผิวบล็อกด้วย

คำสำคัญ: บล็อกประสาน, ดินลูกรัง, ทราย, ดินซีเมนต์, สมบัติทางวิศวกรรม, ผิว

Abstract

Interlocking block is a construction material produced by lateritic soil mixed with cement and compressed as rectangular-shape block and used for construction of fence, building wall, water tank or garden decoration. Lateritic soil as main raw material is needed to be gradation tested before using. In case of poor gradation, lateritic soil is needed to be mixed with sand or dust stone. The objective of this research is to study effect of sand content and sand particle size on engineering properties of interlocking block. The experiments are conducted by replacing lateritic soil by sand at 0, 20, 40, 60, 80, and 100% by weight and using sand with three different particle sizes. The result of this research indicates that compressive strength, durability, and water absorption are significantly improved due to increasing of sand content and sand particle size but the beauty of block surface would be properly decreased. Therefore, the selection of sand content and sand particle size should consider both engineering properties of the blocks and preferred beautiful surfaces.

Keywords: interlocking block, lateritic soil, sand, soil-cement, engineering properties, block surface

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการสนับสนุนการพัฒนาท้องถิ่นในรูปแบบของเทคโนโลยีชาวบ้านจากหน่วยงานต่างๆในประเทศ ทำให้เทคโนโลยีก่อสร้างระดับท้องถิ่นเกิดขึ้นมากมาย และบล็อกประสานก็เป็นอีกนวัตกรรมหนึ่งที่ถูกพัฒนาและนิยมนำไปใช้ บล็อกประสาน (Interlocking block) หรืออิฐดินซีเมนต์ (Soil-cement brick) คือวัสดุก่อรับน้ำหนักที่พัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อสามารถยึดต่อกันได้อย่างแข็งแรง (รูปที่ 1) โดยนิยมใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น ได้แก่ ดินลูกรังสีส้ม ทรายหรือหินฝุ่น ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วอัดให้เป็นก้อนด้วยเครื่องอัดบล็อกให้มีรูปแบบตามแบบหล่อ แล้วบ่มประมาณเจ็ดวัน จะได้บล็อกที่มีความแข็งแรง สามารถใช้ก่อสร้างผนังอาคาร ถังเก็บน้ำ หรือตกแต่งสวน ได้อย่างรวดเร็วและประหยัด มีสี และผิวสวยงาม จึงไม่จำเป็นต้องฉาบปิดผิวของบล็อกเหมือนวัสดุก่อประเภทอื่น

รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปของบล็อกประสาน

บล็อกประสานในประเทศไทยถูกคิดและพัฒนาจากหลายหน่วยงาน ทั้งยังมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง ทั้งความแข็งแรงจากสัดส่วนในการผสมต่างๆ [1-5] หรือการนำวัสดุเหลือใช้มาผสมเพิ่มเช่น เถ้าแกลบ เถ้าใยปาล์มน้ำมัน เถ้าชานอ้อย ยิปซั่ม ตะกอนน้ำประปา [6-10] ส่วนใหญ่อ้างอิงรูปแบบของบล็อกประสานขนาด 12.5x25.0x10.0 เซนติเมตร มีรูและเดือยเป็นแบบดอกกลมกลวงที่พัฒนาโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วว.) ทั้งขั้นตอนการเลือกวัตถุดิบและการผลิตบล็อก สถาบัน วว. [11] แนะนำว่าขนาดของดินลูกรังที่ใช้ผสมควรมีขนาดคละที่เหมาะสม คือจะต้องบดหรือร่อนให้มีขนาดเล็กกว่า 4 มิลลิเมตร เพื่อทำให้บล็อกเรียบและสวยงาม และมีส่วนของดินเม็ดละเอียดหรือฝุ่นดิน (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตรหรือเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เพราะถึงแม้ว่าดินเม็ดละเอียดจะเป็นวัสดุอุดช่องว่างทำให้บล็อกแข็งแรง มีสีและผิวเรียบสวยงาม แต่หากมีมากเกินไปจะทำให้บล็อกแข็งแรงลดลง หากดินลูกรังที่ใช้มีดินเม็ดละเอียดมากเกินไปให้ผสมทรายหรือหินฝุ่น (ขนาดระหว่าง 0.075 ถึง 4 มิลลิเมตร) เพิ่มจนกว่าจะได้สัดส่วนของดินเม็ดละเอียดไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

ดังนั้น ทรายจึงเป็นวัสดุที่นิยมใช้ผลิตบล็อกประสาน เพื่อปรับปรุงให้แข็งแรงขึ้น จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาวิจัยผลของปริมาณและขนาดของทรายที่มีต่อสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสาน เพื่อหาปริมาณและขนาดของทรายที่เหมาะสมและมีความสวยงามของผิวของบล็อกประสานด้วย

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ: 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานกับปริมาณทรายที่ใช้ผสม และ 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานกับขนาดทรายที่ใช้ผสม

3. การวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 : ผลของปริมาณทราย

3.1 วัสดุที่ใช้

3.1.1 ดินลูกรัง

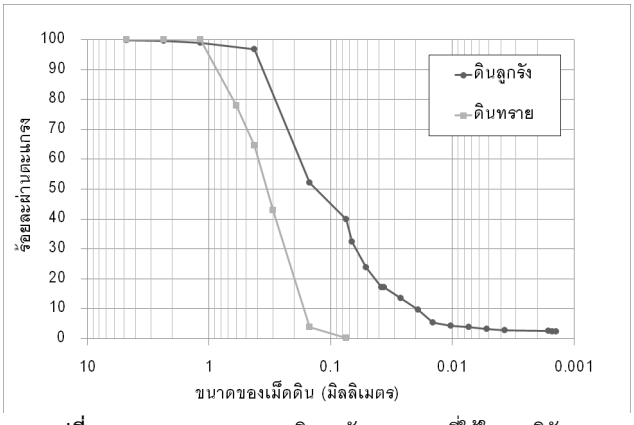
ดินลูกรังจากบ่อดินในอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี สีน้ำตาลส้มเนื้อละเอียด ซึ่งเป็นสีที่สวยงาม มีผลทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 1) เมื่อจำแนกชนิดของดินพบว่าจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ A-4 ตามระบบ AASHTO และ SC-SM (Silty, Clayey Sand) ตามระบบ Unified Soil Classification System โดยส่วนของดินเม็ดละเอียดหรือฝุ่นดิน (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร) มีปริมาณร้อยละ 39.8 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก จึงต้องเติมทรายลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงตามคำแนะนำของสถาบัน วว.

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย

สมบัติทางกายภาพ	ผลทดสอบ
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 4	99.8
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200	39.8
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.66
Liquid limit	13.9
Plasticity index	5.4

3.1.2 ทราย

ทรายที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นทรายที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปจากแหล่งทรายในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ร้อยละ 100.0 และผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ร้อยละ 0.2 การกระจายขนาดดังแสดงในรูปที่ 2 ความถ่วงจำเพาะ 2.71 โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.75 จำแนกอยู่ในชั้นคุณภาพ A-3 ตามระบบ AASHTO และ SP (Poorly Graded Sand) ตามระบบ Unified Soil Classification System



รูปที่ 2 การกระจายขนาดของดินลูกรังและทรายที่ใช้ในงานวิจัย

3.2 วิธีทดสอบ

ทดลองผสมดินลูกรังกับทราย โดยแทนที่ดินลูกรังด้วยทรายด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 แล้วผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ 3.14 ด้วยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:7 (ร้อยละ 14.3 โดยน้ำหนัก) และ 1:9 (ร้อยละ 11.1 โดยน้ำหนัก) โดยใช้น้ำที่ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองอัดบล็อกประสานจริง จากนั้นขึ้นรูปเป็นตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร โดยควบคุมความหนาแน่นรวมให้ใกล้เคียงกับความหนาแน่นของบล็อกประสานที่อัดจากเครื่องอัดซินวาแรม จากนั้นบ่มทิ้งไว้จนครบอายุการทดสอบ

ทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้ตัวอย่างอายุ 7 และ 28 วัน (รูปที่ 3) เพื่อหากำลังรับแรงอัดประลัย ตามมาตรฐาน ASTM C109

รูปที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C109

ทดสอบความคงทน (Durability Test) ของตัวอย่างอายุบ่ม 7 วัน ในภาวะเปียกสลับแห้ง (Wet and Dry Process) ตามมาตรฐาน ASTM D559 โดยแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 5 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส นาน 42 ชั่วโมง แล้วขัดถูผิวด้านข้างตัวอย่างทั้งสี่ด้านในแนวดิ่งขึ้นลงด้านละยี่สิบครั้งโดยใช้แปรงลวด ส่วนผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างขัดถูด้านละสามครั้ง ด้วยแรงประมาณ 1.33 กิโลกรัม (รูปที่ 4) เพื่อหาการสึกกร่อนโดยการชั่งน้ำหนัก ถือเป็นหนึ่งรอบเปียกสลับแห้ง ทำซ้ำตั้งแต่การแช่น้ำอีกให้ครบ 12 รอบ แล้วอบดินซีเมนต์ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วหาค่าการสูญเสียน้ำหนักของดินซีเมนต์ (Soil-cement loss)

รูปที่ 4 การทดสอบความคงทนของตัวอย่าง

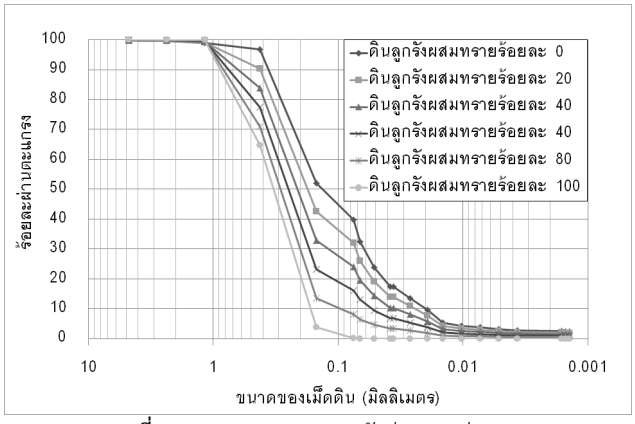
3.3 ผลวิจัยและอภิปราย

3.3.1 ขนาดคละของดินที่ผสมด้วยทราย

เนื่องจากดินลูกรังมีขนาดค่อนข้างละเอียด ในขณะที่ทรายมีขนาดที่ใหญ่กว่า ดังนั้นการผสมดินลูกรังด้วยทรายทำให้มีสัดส่วนของดินเม็ดละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร) น้อยลง โดยพบว่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีค่าลดลงตามปริมาณทรายที่ผสม (ตารางที่ 2 และรูปที่ 5)

ตารางที่ 2 ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ของสัดส่วนผสมต่างๆ

ร้อยของการแทนที่ดินลูกรังด้วยทราย	ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200
0	39.8
20	31.9
40	24.0
60	16.0
80	8.1
100	0.2

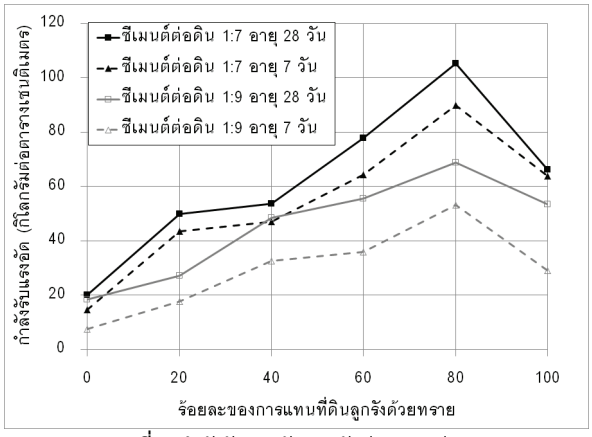


รูปที่ 5 การกระจายขนาดของสัดส่วนผสมต่างๆ

3.3.2 กำลังรับแรงอัด

ความแข็งแรงหรือกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สมบัติของดิน ชนิดและปริมาณของปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำในการผสม วิธีการบดอัด วิธีและระยะเวลาในการบ่ม แต่ที่สำคัญคือปริมาณปูนซีเมนต์และขนาดคละของเม็ดดิน จากรูปที่ 6 พบว่ากำลังรับแรงอัดของ

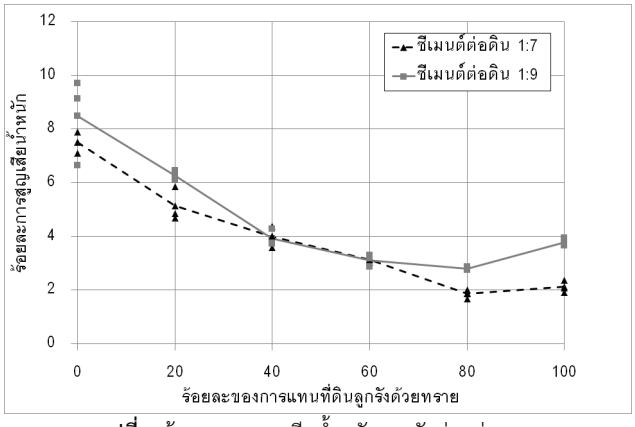
อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินที่ 1:7 สูงกว่าอัตราส่วน 1:9 และในช่วงสัดส่วนทรายร้อยละ 0 ถึง 80 กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณทรายที่ผสม โดยกำลังรับแรงอัดสูงสุดเมื่อสัดส่วนทรายร้อยละ 80 เนื่องจากมีอนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น แต่สัดส่วนทรายร้อยละ 100 (ใช้ทรายเพียงอย่างเดียว) กลับให้กำลังรับแรงอัดต่ำเนื่องจากไม่มีดินเม็ดละเอียดอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายทำให้ขนาดคละไม่ดี ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง



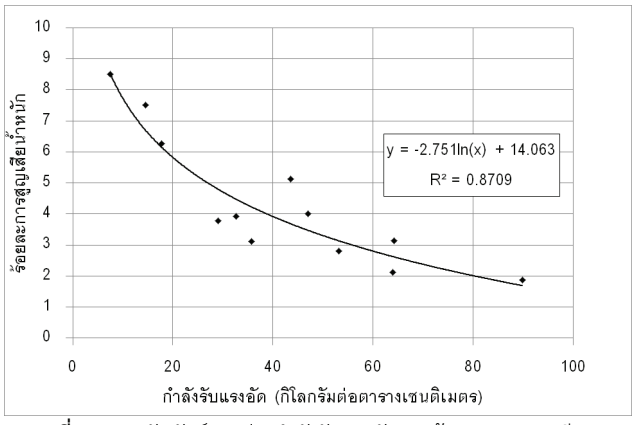
รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของสัดส่วนผสมต่างๆ

3.3.3 ความคงทน

การทดสอบความคงทนของตัวอย่างพบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับกำลังรับแรงอัด (รูปที่ 7) คือในช่วงสัดส่วนทรายร้อยละ 0 ถึง 80 ค่าการสูญเสียน้ำหนักลดลงตามปริมาณทรายที่ผสม โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อสัดส่วนทรายร้อยละ 80 แต่การใช้ทรายเพียงอย่างเดียวกลับสูญเสียน้ำหนักสูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและความคงทน (รูปที่ 8) พบว่ากำลังรับแรงอัดมีความสัมพันธ์อย่างเป็นนัยกับการสูญเสียน้ำหนัก เมื่อกำลังรับแรงอัดมากขึ้นการสูญเสียน้ำหนักจะลดลงหรือตัวอย่างคงทนมากขึ้น



รูปที่ 7 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของสัดส่วนต่างๆ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก

3.3.4 ความสวยงาม

ความสวยงามของบล็อกประสานจะพิจารณาจากสีและผิวของบล็อกประสาน ซึ่งนิยมให้มีสีส้มและผิวเรียบเนียน รูปที่ 9 แสดงสีและลักษณะผิวของตัวอย่างที่สัดส่วนผสมต่างๆ การใช้ดินลูกรังโดยไม่มีทรายผสม (สัดส่วนทรายร้อยละ 0) ตัวอย่างจะมีสีส้มและผิวเรียบ การผสมทรายทำให้สีส้มลดลงเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น และเมื่อผสมทรายร้อยละ 80 ถึง 100 ตัวอย่างเป็นสีเทาอย่างชัดเจน และผิวของบล็อกขรุขระมากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าบล็อกประสานยังมีความสวยงามหากผสมทรายไม่เกินร้อยละ 60

รูปที่ 9 สีและลักษณะผิวของตัวอย่างที่สัดส่วนผสมต่างๆ

3.3.5 สัดส่วนที่เหมาะสม

สถาบัน วว. แนะนำว่า ดินลูกรังที่ใช้ควรมีดินเม็ดละเอียดผสมไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก จากการวิจัยพบว่าดินลูกรังจากแหล่งนี้อาจใช้ทรายผสมร้อยละ 20 ก็จะทำให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 35 อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาสมบัติอื่นประกอบด้วย เทียบเคียงมาตรฐานของบล็อกประสานตาม มอก. 57-2530 มอก. 58-2530 และ มผช. 602-2547 ระบุว่าบล็อกต้องมีความแข็งแรงไม่ต่ำกว่า 7 เมกะปาสคาล (ประมาณ 71.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) กรณีเป็นบล็อกรับน้ำหนัก และมีความแข็งแรงไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะปาสคาล (ประมาณ 25.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) กรณีเป็นบล็อกไม่รับน้ำหนัก [12-14] ดังนั้นหากเป็นกรณีใช้เป็นบล็อกไม่รับ

น้ำหนัก สัดส่วนที่เหมาะสมคือผสมทรายร้อยละ 20 และใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:9 (กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 27.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ 28 วัน) แต่หากใช้เป็นบล็อกรับน้ำหนัก แม้จะผสมทรายร้อยละ 80 และใช้ปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:7 จะให้กำลังสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาความสวยงามแล้วมีสีเทามาก ดังนั้นสัดส่วนที่เหมาะสมคือผสมทรายที่ร้อยละ 60 และใช้ปูนซีเมนต์ต่อดินที่ 1:7 ซึ่งกำลังรับแรงอัดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (77.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ 28 วัน) อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ตัวอย่างมีสีสัมมากขึ้นอาจผสมทรายน้อยลง เช่น ร้อยละ 20 ถึง 40 แต่เพิ่มปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:6 หรือ 1:5 ส่วนความคงทนยังไม่มีมาตรฐานกำหนด สถาบัน วว. แนะนำว่าการสูญเสียน้ำหนักควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 7 และเทียบกับมาตรฐานของดินซีเมนต์อื่นๆ เช่น มาตรฐานดินซีเมนต์เพื่องานทางของ U.S. Army ระบุว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักต้องไม่เกินร้อยละ 11 สำหรับดินเม็ดหยาบที่มี Plasticity index น้อย [15] และมาตรฐานดินซีเมนต์เพื่องานตลิ่งแม่น้ำของ U.S. Army ระบุว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักต้องไม่เกินร้อยละ 6 [16] จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อผสมด้วยทรายร้อยละ 20 ขึ้นไป ค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 7 จึงถือว่าคงทนเพียงพอใช้งาน

4. การวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 2 : ผลของขนาดทราย

4.1 วัสดุที่ใช้

4.1.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรังในขั้นตอนนี้มีการเปลี่ยนจากวัตถุประสงค์ที่ 1 โดยเลือกดินที่มีส่วนเม็ดละเอียดมากขึ้น เพื่อต้องผสมทรายมากขึ้นและแสดงความแตกต่างของผลทดสอบจากขนาดทรายที่ต่างกันได้ชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกดินลูกรังจากบ่อดินในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เป็นดินลูกรังสีน้ำตาลส้มเนื้อละเอียดเหมาะทำบล็อกประสาน โดยมีผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 3) จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ A-4 ตามระบบ AASHTO และ CL (Lean Clay) ตามระบบ Unified Soil Classification System โดยดินเม็ดละเอียดหรือฝุ่นดิน (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร) ร้อยละ 57.1 ซึ่งเกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก จึงต้องเติมทรายลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงตามคำแนะนำของสถาบัน วว. ในอัตราส่วนการแทนที่ดินลูกรังด้วยทรายร้อยละ 40 ซึ่งทำให้ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีค่าต่ำกว่า 35

ตารางที่ 3 ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย

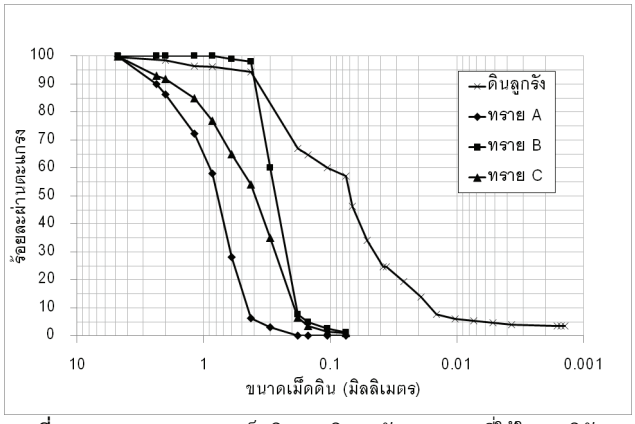
สมบัติทางกายภาพ	ผลทดสอบ
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 4	99.7
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200	57.1
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.63
Liquid limit	23.7
Plasticity index	12.1

4.1.2 ทราย

ใช้ทรายก่อสร้างจากแหล่งทรายในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยนำทรายมาคัดขนาดเป็น 3 ชนิดคือ ทราย A ที่ส่วนใหญ่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 40 (Coarse Sand) ทราย B คือทรายที่ส่วนใหญ่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 และค้างตะแกรงเบอร์ 200 (Fine Sand) และทราย C คือทราย A และทราย B ผสมกันอย่างละครึ่ง (ร้อยละ 50) โดยน้ำหนัก (Mixed Sand) ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 10

ตารางที่ 4 การกระจายขนาดของทรายที่ใช้ในการวิจัย

สมบัติทางกายภาพ	ทราย A	ทราย B	ทราย C
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 4	99.9	100	99.8
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 40	6.3	98.1	54.1
ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200	0	1.2	1.0
โมดูลัสความละเอียด	3.07	1.36	2.19
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.71	2.71	2.71



รูปที่ 10 การกระจายขนาดเม็ดดินของดินลูกรังและทรายที่ใช้ในงานวิจัย

4.2 วิธีทดสอบ

การวิจัยนี้ทดลองผสมดินลูกรังกับทราย A B และ C ด้วยอัตราส่วนแทนที่ดินลูกรังด้วยทรายร้อยละ 40 ซึ่งทำให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ต่ำกว่าร้อยละ 35 แล้วผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ 3.14 ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:7 (ร้อยละ 14.3 โดยน้ำหนัก) ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 10 โดยน้ำหนักซึ่งได้จากการทดลองอัดบล็อกประสานจริง ขึ้นรูปตัวอย่างรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องอัดก้อนตัวอย่างควบคุมความหนาแน่นรวมให้ใกล้เคียงกับความหนาแน่นของบล็อกประสานที่อัดจากเครื่องอัดซินวาแรม บ่มทิ้งไว้จนครบอายุทดสอบ

โดยการขึ้นรูปตัวอย่างในครั้งนี้มีการพัฒนาจากการทดลองในข้อ 3.2 ซึ่งขึ้นรูปด้วยการกดด้วยมือในแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร เปลี่ยนเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ได้ก้อนตัวอย่างทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร เพื่อให้ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ลดค่าความผันแปรของความหนาแน่นตัวอย่างได้ โดย

ความหนาแน่นจากการกดด้วยมือในแบบหล่อลูกบาศก์มีค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นร้อยละของค่าเฉลี่ย) เท่ากับร้อยละ 5.47 ตัวอย่างทรงกระบอกจากเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกมีค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรเท่ากับร้อยละ 2.79

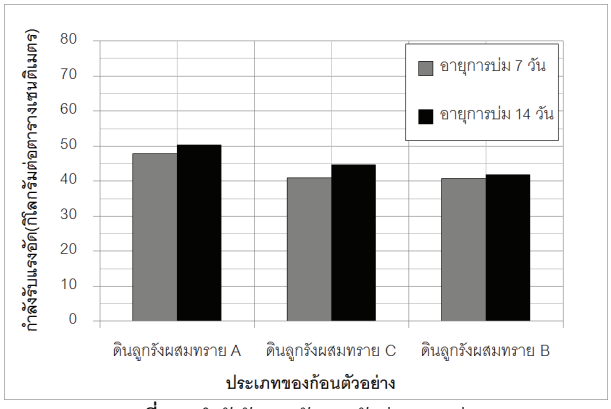
ทดสอบกำลังรับแรงอัดตัวอย่างที่อายุ 7 และ 14 วัน เพื่อหากำลังรับแรงอัดประลัย ตามมาตรฐาน ASTM D2166

ทดสอบการดูดกลืนน้ำ (Water absorption) ของตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วัน ใช้ก้อนตัวอย่างที่แช่จมอยู่ในน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักในน้ำ แล้วยกขึ้นจากน้ำ ทิ้งไว้ให้น้ำระบายออก 1 นาที วางก้อนตัวอย่างลงบนตะแกรงขนาด 9 มิลลิเมตรหรือหยาบกว่า หยดน้ำตามผิวที่มองเห็นด้วยตาเปล่าใช้ผ้าซับออกแล้วชั่งทันที ทำให้แห้งในตู้อบระบายอากาศที่มีอุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จนกว่าการชั่งน้ำหนักสองครั้งห่างกัน 2 ชั่วโมง โดยน้ำหนักที่สูญเสียเพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งครั้งก่อน แล้วคำนวณค่าการดูดกลืนน้ำ

4.3 ผลวิจัยและอภิปราย

4.3.1 กำลังรับแรงอัด

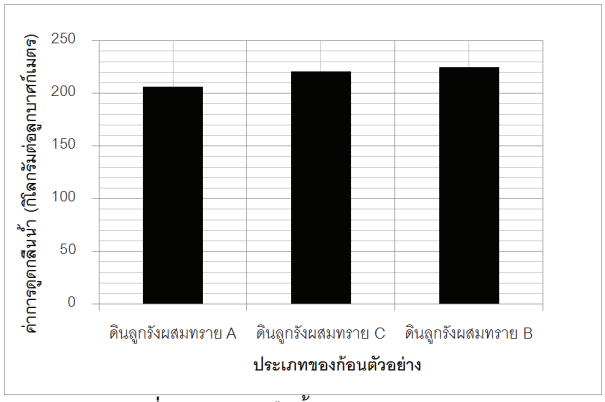
กำลังรับแรงอัด (รูปที่ 11) พบว่า บล็อกประสานที่ใช้ดินลูกรังผสมทราย A กำลังสูงที่สุด รองลงมาคือ ทราย C และทราย B ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าขนาดของทรายมีผลกับกำลังอัดของบล็อกประสาน โดยทรายขนาดอนุภาคใหญ่กว่าก็จะให้กำลังมากกว่า



รูปที่ 11 กำลังรับแรงอัดของสัดส่วนผสมต่างๆ

4.3.2 การดูดกลืนน้ำ

ผลทดสอบการดูดกลืนน้ำของก้อนตัวอย่าง (รูปที่ 12) พบว่าบล็อกประสานที่ใช้ดินลูกรังผสมทราย A ดูดกลืนน้ำน้อยที่สุด ทราย C และทราย B ดูดกลืนน้ำมากขึ้นตามลำดับ สรุปได้ว่าดินลูกรังผสมทรายที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีแนวโน้มดูดกลืนน้ำได้มากกว่าทรายที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนดูดกลืนน้ำไม่เกินค่ามาตรฐานตามที่ มอก. 57-2530 กำหนดไว้ที่ 240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับบล็อกที่มีความหนาแน่นในช่วง 1.841 – 1.920 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.886 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 12 การดูดกลืนน้ำของสัดส่วนผสมต่างๆ

4.3.3 ความสวยงาม

ความสวยงามของบล็อกประสานพิจารณาจากสีและลักษณะผิว นิยมให้มีสีส้มและผิวเรียบเนียน รูปที่ 13 แสดงสีและผิวของตัวอย่างสัดส่วนผสมต่างๆ พบว่าดินลูกรังผสมทราย A มีผิวที่หยาบไม่เรียบเนียนชัดเจน ทราย C และทราย B มีผิวเรียบเนียนมากขึ้นตามลำดับ โดยสีไม่ต่างกันมากนัก แม้ทรายอนุภาคใหญ่จะให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่า แต่ความสวยงามอาจลดลง

รูปที่ 13 สีและลักษณะผิวของตัวอย่างที่สัดส่วนผสมต่างๆ

4.3.4 ขนาดทรายที่เหมาะสม

การวิจัยนี้เนื่องจากควบคุมปริมาณทรายที่ผสมร้อยละ 40 และปริมาณปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:7 ส่วน ผลของขนาดของทรายทั้งสามชนิด กำลังรับแรงอัดของทุกตัวอย่างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของบล็อกรับน้ำหนัก ควรเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ให้มากกว่านี้ แต่ถ้านำไปใช้เป็นบล็อกไม่รับน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของทุกตัวอย่างผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สามารถนำไปใช้ได้ สัดส่วนที่เหมาะสมในการเลือกใช้คือดินลูกรังผสมทราย **B** ที่มีความสวยงามที่สุด ผลวิจัยชี้ให้เห็นว่าทรายขนาดใหญ่จะให้กำลังที่มากกว่าแต่อาจทำให้ผิวหยาบ ควรเลือกขนาดให้เหมาะสมทั้งความแข็งแรงและความสวยงาม

5. สรุปผลการวิจัย

การผสมทรายเพิ่มในดินลูกรังเพื่อผลิตบล็อกประสานช่วยให้บล็อกประสานมีสมบัติทางวิศวกรรม คือ กำลังรับแรงอัด การดูดกลืนน้ำ และความคงทน ดีขึ้นเพราะปรับขนาดคละของดินให้เหมาะสมยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม หากใส่ทรายมากเกินไปหรือไม่ใช้ดินลูกรังเลย (มากกว่าร้อยละ 80) ก็อาจทำให้ความแข็งแรงและความคงทนลดลงได้ และการใส่ทรายมากเกินไป (มากกว่าร้อยละ 60) หรือขนาดใหญ่เกินไป (โมดูลัสความละเอียดมากกว่า 3) อาจทำให้สีและผิวของตัวอย่างไม่สวยงาม จึงควรกำหนดทั้งขนาดและปริมาณทรายที่ผสม โดยคำนึงถึงสมบัติทางวิศวกรรมให้เป็นไปตามมาตรฐาน และความสวยงามของผิวบล็อกซึ่งส่งผลต่อความรู้สึกน่าใช้และยอดขายด้วย ในกรณีที่ไม่สามารถคัดเลือกขนาดทรายที่เหมาะสม หรือมีความจำเป็นต้องใช้ทรายในปริมาณมาก อาจต้องพิจารณาเทคนิคอื่น เช่น การผสมสี หรือ การเคลือบผิว มาใช้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และความร่วมมือในการทดลองและเก็บข้อมูลจากนายปวีณวัช ยอดดำเนิน นายวรุต นัยประสิทธิ์ นายอำนาจ สีชมพู นางสาววัจนพร พิญญพงษ์ และนายประดิพัฒน์ พิสิฐนฤดม นิสิตภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้เขียนขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วุฒินัย กกกำแหง และ วินัย วงศ์วนวรวิทย์, “การเปรียบเทียบความสามารถในการรับกำลังอัดของบล็อกประสานกับอิฐมอญและอิฐทนไฟ,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14,* 13-15 พฤษภาคม 2552, นครราชสีมา, 2552.

[2] พรเทพ พวงประโคน และ วัฒนพงศ์ หิรัญมาลย์, “การศึกษากำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานจากหลายอัตราส่วนผสม,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14*, 13-15 พฤษภาคม 2552, นครราชสีมา, 2552.

[3] วุฒินัย กกกำแหง, สุวัฒน์ชัย ทองน้อย, วัฒนพงศ์ หิรัญมาลย์, และ พรเทพ พวงประโคน, “ค่ากำลังอัดและดูดกลืนน้ำของบล็อกประสาน วว.,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15*, 12-14 พฤษภาคม 2553, อุบลราชธานี, 2553.

[4] ยุวดี หิรัญ, วัจน์วงค์ กรีพละ, และ ก้องรัฐ นกแก้ว, “การปรับปรุงคุณภาพบล็อกประสานที่ทำจากดินลูกรังสกลนครด้วยทรายขี้เป็ด,” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16*, 18-20 พฤษภาคม 2554, ชลบุรี, 2554.

[5] วสันต์ ธีระเจตกูล, ศุภชัย สินถาวร, และ วุฒินัย กกกำแหง, “คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานจากดินลูกรังผสมซีเมนต์,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 17*, 9-11 พฤษภาคม 2555, อุดรธานี, 2555.

[6] วุฒินัย กกกำแหง และ วิทยา วุฒิจำนงค์, “การประยุกต์ใช้ยิปซั่มในการผลิตบล็อกประสาน,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12*, 2-4 พฤษภาคม 2550, พิษณุโลก, 2550.

[7] นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ และ เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์, “การใช้ตะกอนน้ำประปาเพื่อเป็นส่วนผสมในบล็อกประสาน,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12*, 2-4 พฤษภาคม 2550, พิษณุโลก, 2550.

[8] จรูญ เจริญเนตรกุล และ พรนรายณ์ บุญราศรี, “อิฐบล็อกประสานผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมัน,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 17*, 9-11 พฤษภาคม 2555, อุดรธานี, 2552.

[9] ปิยาลัคน์ เงินชูกลิ่น, ธนธร เงินชูกลิ่น, วุฒินัย กกกำแหง, สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ, และ ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต, “การประยุกต์ใช้เถ้าแกลบในการผลิตบล็อกประสาน,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 17*, 9-11 พฤษภาคม 2555, อุดรธานี, 2555.

[10] ปวีณวัช ยอดดำเนิน และ กมล อมรฟ้า, “การประยุกต์ใช้เถ้าชานอ้อยในการผลิตบล็อกประสาน,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 20*, 8-10 กรกฎาคม 2558, ชลบุรี, 2558.

[11] วุฒินัย กกกำแหง, การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), 2551.

[12] *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก*, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 57-2530, 2530.

[13] *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก*, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 58-2530, 2530.

[14] *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน*, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มผช. 602-2547, 2547.

[15] *Soil stabilization for pavements mobilization construction*, U.S. Army Corps of Engineers, EM1110- 3-137. Department of the army, 1984.

[16] *Design and construction of levees*, U.S. Army Corps of Engineers, EM1110-2-1913. Department of the army. 2000.

8. ชีวประวัติ

อ.ดร.กมล อมรฟ้า
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน