

การปรับปรุงคุณภาพดินตะกอนจากน้ำท่วมจังหวัดเชียงรายด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เพื่อนำไปผลิตเป็นบล็อกดินซีเมนต์สำหรับกำแพงป้องกันดินถล่ม (TOR Block) Improvement of Alluvial Soil Quality from Flood in Chiang Rai Province Using Portland Cement for Producing Soil-Cement Blocks for Landslide Protection Walls (TOR Block)

เชมวิชญ์ วรรณศิริ¹ อมเรศ มธุรส^{2*} สุรเดช ต่างเพชร³ และสุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์⁴

^{1,2,3} สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: amaras.mat@crru.ac.th

บทคัดย่อ

อุทกภัยครั้งใหญ่ในจังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2567 ส่งผลกระทบต่อชีวิตและเศรษฐกิจ รวมถึงการทับถมของดินตะกอนในเขตที่อยู่อาศัยและพื้นที่เศรษฐกิจ ก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินตะกอนโดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เพื่อนำไปผลิตบล็อกดินซีเมนต์สำหรับก่อสร้างกำแพงป้องกันดินถล่ม (TOR Block) โดยเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่น้ำท่วมมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและความเป็นพิษ จากนั้นดำเนินการออกแบบส่วนผสมโดยปรับปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่าง 5–30% เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นบล็อก เนื่องจากโรงงานผลิตตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลและมีเป้าหมายส่งเสริมการพึ่งพาตนเอง จึงได้ศึกษาแนวทางควบคุมคุณภาพภาคสนามโดยใช้วิธีปล่อยก้อนตัวอย่างตกกระทบพื้นอย่างอิสระ ผลการศึกษาพบว่าดินจากอำเภอแม่สายเหมาะสมต่อการผลิต TOR Block เนื่องจากมีปริมาณเพียงพอ เข้าถึงสะดวก และใช้ปูนซีเมนต์น้อยกว่าดินจากพื้นที่อื่น โดยปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 15% โดยน้ำหนักของดินแห้ง ซึ่งให้กำลังอัดมากกว่า 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน ผลการทดลองการปล่อยตกกระทบพื้นมีความสอดคล้องกับค่าที่คำนวณจากหลักกลศาสตร์ โดยหากใช้ปูนซีเมนต์ 15% ระยะปล่อยตกที่เหมาะสมคือ 50–60 เซนติเมตร และหากใช้ 20% ควรอยู่ในช่วง 150–180 เซนติเมตร วิธีดังกล่าวสามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพในพื้นที่ห่างไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ดินตะกอนน้ำท่วม, ปรับปรุงคุณภาพดิน, ดินซีเมนต์, น้ำท่วมเชียงราย, การตกอย่างอิสระของวัตถุ

Abstract

The major flood that struck Chiang Rai Province in 2024 caused significant disruptions to lives and the economy, including the widespread deposition of alluvial soils in residential and economic areas. These accumulations posed challenges for post-disaster waste material management. This study aims to improve the quality of alluvial soils using Portland cement to produce soil-cement blocks for constructing landslide protection walls, known as TOR Blocks. Soil samples collected from flood-affected areas were tested for their basic engineering properties and toxicity. Subsequently, a mix design

was developed by varying the cement content from 5% to 30% to determine the optimal proportion for block formation. As the production facility is located in a remote area and aims to promote community self-reliance, a practical field quality control method using a free-falling object technique was also investigated. The findings indicate that alluvial soils from Mae Sai District are most suitable for producing TOR Blocks due to their sufficient availability, ease of access, and lower cement demand compared to soils from other areas. An optimal cement content of 15% by dry soil weight achieved a compressive strength exceeding 10 kg/cm² at 7 days. The results from the free-falling object experiments were consistent with values calculated based on mechanical principles. Specifically, with 15% cement content, the appropriate drop height was 50–60 cm, while with 20% cement, the suitable height was 150–180 cm. This method offers an effective and practical approach for quality control in remote locations.

Keywords: Alluvial Soils, Soil improvement, Soil-cement, Chiang Rai flood, Free-falling object

1. บทนำ

เหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ในจังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2567 ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมและดินถล่มในหลายพื้นที่ สร้างความเสียหายอย่างรุนแรงทั้งในด้านชีวิตและเศรษฐกิจ ดินตะกอนที่ถูกพัดพามากับกระแสน้ำได้ทับถมในเขตชุมชนและพื้นที่เศรษฐกิจเป็นบริเวณกว้าง ส่งผลให้เกิดปัญหาการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากภัยพิบัติ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำดินตะกอนดังกล่าวมาปรับปรุงคุณภาพ เพื่อนำไปผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับโครงสร้างป้องกันดินถล่มในพื้นที่จังหวัดเชียงราย อันเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากวัสดุท้องถิ่นอย่างยั่งยืน และเป็นการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นวัสดุที่สามารถใช้ป้องกันภัยพิบัติในอนาคต โดยแนวคิดนี้สอดคล้องกับโครงการ "พาดินโคลนกลับบ้าน" ของมูลนิธิมดชนะภัย ซึ่งได้ริเริ่มแนวทางการนำดินตะกอนจากน้ำท่วมมาใช้ผลิตกำแพงกันดินถล่ม ภายใต้ชื่อโครงการ "From Flood Mud to Slope Protection Block" ซึ่งเป็นการรณรงค์ที่มุ่งเน้นการฟื้นฟูพื้นที่ประสบภัยด้วยทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้รับรางวัล Creativity for Sharing Award จากงาน AdPeople 2024 จัดโดยสมาคมโฆษณาแห่งประเทศไทย และเป็น

หนึ่งใน 10 ไอเดียสร้างสรรค์ที่โดดเด่นที่สุดของปี ด้วยแนวคิดที่เน้นการคืนทรัพยากรให้กับชุมชน ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการฟื้นฟูพื้นที่ที่ยั่งยืน [1-3]

ในปัจจุบันนี้ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement) ซึ่งในที่นี้จะเรียกโดยย่อว่า ปูนซีเมนต์ นับเป็นวิธีที่ได้รับการนิยมน้อยแพร่หลาย โดยจะทำให้ดินตามธรรมชาติมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมที่ดีขึ้น เช่น เพิ่มกำลังรับแรงดึงและแรงเฉือน เพิ่มความทนทานต่อการสึกกร่อน และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เป็นต้น เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยปูนซีเมนต์จึงเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตดินซีเมนต์ (Soil Cement) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการผสมดินธรรมชาติกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้วัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงและทนทาน เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้ในประเทศไทยเป็นครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2508 ในการก่อสร้างถนนที่มีชั้นทางเป็นดินซีเมนต์โดยกรมทางหลวงได้นำดินซีเมนต์มาก่อสร้างเป็นชั้นพื้นทางสายวารินชำราบ-เดชอุดม เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือขาดแคลนวัสดุหินคลุกที่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นพื้นทางของถนน [4]

จากการศึกษาที่ผ่านมา นักวิจัยได้นำเอาดินประเภทต่าง ๆ มาทดลองปรับปรุงคุณสมบัติด้วยปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่มอื่น ๆ [5-9] ซึ่งผลการศึกษาโดยส่วนใหญ่พบว่า สามารถปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดและสามารถนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ คณะอนุกรรมการพัฒนาหลักเกณฑ์มาตรฐานการบริหารทรัพยากรน้ำ ได้จัดทำคู่มือฝายดินซีเมนต์ [10] เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการก่อสร้างฝายดินซีเมนต์ขนาดเล็กเพื่อชุมชนโดยเน้นการพึ่งพาตนเอง ซึ่งมีเนื้อหาประกอบด้วยแนวทางการพัฒนาโครงการ การออกแบบฝายดินซีเมนต์ ขั้นตอนการก่อสร้างฝายดินซีเมนต์ ตลอดจนการดูแลและบำรุงรักษา

นอกจากนี้ยังมีการทดลองปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยปูนซีเมนต์เพื่อนำไปผลิตเป็นบล็อกประสานสำหรับงานก่ออิฐในอาคาร [11] ซึ่งพบว่าดินซีเมนต์ที่มีสัดส่วนปูนซีเมนต์เหมาะสมสามารถพัฒนาเป็นบล็อกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานด้านวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากการศึกษาของ รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และคณะนักวิจัยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก (GERD) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้พัฒนาชิ้นส่วนของบล็อกประสานดินซีเมนต์ที่ใช้ประกอบกันเป็นกำแพงกันดินแบบโมดูลาร์บล็อก (Modular Block) ซึ่งต่อมาได้จดสิทธิบัตรในนาม TOR Block เป็นการนำเอาวัสดุที่หาได้จากท้องถิ่นต่าง ๆ เช่น น้ำดินที่เกิดจากดินถมไปผสมกับปูนซีเมนต์แล้วนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นบล็อกประสานที่ใช้ในงานป้องกันดินถล่ม [12-14]

ด้วยเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำดินตะกอนน้ำท่วมมาปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ เพื่อนำไปผลิตเป็นบล็อกดินซีเมนต์ สำหรับกำแพงป้องกันดินถล่ม TOR Block โดยได้เก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่ถูกน้ำท่วมและเกิดการทับถมของตะกอนจากเหตุการณ์น้ำท่วมในจังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2567 ได้แก่ บริเวณแม่น้ำกก อ.เมืองเชียงราย และบริเวณแม่น้ำสาย อ.แม่สาย จังหวัดเชียงราย เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของดิน จำแนกประเภทของดินตามเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ และทดสอบหาความเป็นพิษในดิน แล้วออกแบบและทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างดินและปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยปรับเปลี่ยนปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้ดินซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นบล็อกและใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยที่สุด จากนั้นทำการศึกษาวิธีการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตจริงด้วยวิธีการปล่อยตกกระทบพื้นอย่างอิสระของก้อนตัวอย่าง เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตจริงจะดำเนินการในพื้นที่ใกล้แหล่งวัสดุ ซึ่งอยู่

ห่างไกลจากห้องปฏิบัติการทดสอบ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาแนวทางการควบคุมคุณภาพในภาคสนามที่สามารถดำเนินการได้จริงในพื้นที่ห่างไกล โดยมุ่งเน้นให้สะดวกต่อการใช้งาน และเหมาะสมกับบริบทของชุมชนท้องถิ่น ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายหลักของงานวิจัยที่ต้องการส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของชุมชนอย่างยั่งยืน

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินและปูนซีเมนต์ โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปทดสอบกำลังรับแรงอัด และความสามารถในการต้านทานแรงดึง จากนั้นทำการศึกษาวิธีการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตจริง โดยใช้เทคนิคการปล่อยตกกระทบพื้นอย่างอิสระกับก้อนตัวอย่างที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เพื่อประเมินความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ในสภาวะใช้งานจริง

เนื้อหาในหัวข้อนี้ประกอบด้วย การคัดเลือกแหล่งวัสดุและการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน การทดสอบความเป็นพิษในดิน การประเมินปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการบดอัด การออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างดินและปูนซีเมนต์ การทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง การศึกษาการควบคุมคุณภาพในภาคสนาม และรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งาน TOR Block สำหรับกำแพงป้องกันดินถล่ม

2.1 การคัดเลือกแหล่งวัสดุและคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

งานวิจัยนี้ดำเนินการคัดเลือกแหล่งวัสดุจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยในจังหวัดเชียงราย โดยมุ่งเน้นพื้นที่ที่มีการทับถมของดินตะกอนจากน้ำท่วม ซึ่งมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตดินซีเมนต์ โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในปี พ.ศ. 2567 จากบริเวณที่มีน้ำท่วมและเกิดการสะสมของตะกอน 2 พื้นที่หลัก ได้แก่

- (1) พื้นที่ริมแม่น้ำกกในเขตอำเภอเมืองเชียงราย ได้แก่ ชุมชนเกาะลอย
- (2) พื้นที่ริมแม่น้ำสายในเขตอำเภอแม่สาย ได้แก่ ชุมชนถ้ำผาง ชุมชนเกาะทราย และบ่อทั้งดินน้ำท่วม

รูปที่ 1 แสดงการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยในอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ได้แก่ ชุมชนถ้ำผาง และชุมชนเกาะทราย ซึ่งเป็นพื้นที่หนึ่งในแหล่งที่เกิดการทับถมของตะกอนดินจากน้ำท่วม



(ก) ชุมชนถ้ำผาง

(ข) ชุมชนเกาะทราย

รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่น้ำท่วมในอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย

ตัวอย่างดินจากแต่ละพื้นที่จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมและทางเคมี เพื่อประเมินความเหมาะสมของดินก่อนการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ รายการทดสอบและมาตรฐานที่ใช้มีดังนี้

- (1) ชีดจำกัดความชันเหลว (Atterberg Limits) ได้แก่ ค่าความชื้นในสถานะของเหลว (LL) และสถานะพลาสติก (PL) และการคำนวณค่าดัชนีความเหนียว (PI) ตามมาตรฐาน ASTM D4318 [15]

(2) การกระจายขนาดของเม็ดดิน (Particle Size Distribution) โดยใช้การร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) และการตกตะกอน (Hydrometer Test) ตามมาตรฐาน ASTM D422 [16]

(3) การจำแนกประเภทดินตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D2487 [17]

(4) การจำแนกประเภทดินตามระบบ United States Department of Agriculture (USDA) โดยใช้สัดส่วนของทราย ตะกอน และดินเหนียวในการจัดกลุ่มตามสามเหลี่ยมเนื้อดิน (Soil Textural Triangle)

(5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามมาตรฐาน ASTM D4972 [18]

(6) ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (Organic Content) ตามมาตรฐาน AASHTO T 194 [19]

ข้อมูลจากการทดสอบดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเลือกแหล่งวัสดุที่เหมาะสม ร่วมกับการพิจารณาปัจจัยด้านระยะทางจากแหล่งวัสดุถึงโรงงานผลิต และความสะดวกในการขนส่ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและต้นทุนในการผลิตวัสดุปลูกดินซีเมนต์

2.2 การทดสอบความเป็นพิษในดิน

การทดสอบความเป็นพิษในดินมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบระดับการปนเปื้อนของสารอันตรายในดินตะกอนจากพื้นที่น้ำท่วม เพื่อประเมินความปลอดภัยและความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตวัสดุก่อสร้าง โดยเฉพาะในกรณีที่ประชาชนอาจสัมผัสโดยตรง ทั้งในบริบทของการเกษตร การพาณิชย์ และการก่อสร้าง

ในการศึกษานี้ ได้เก็บตัวอย่างดินจากอำเภอแม่สายและอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นพื้นที่รองรับตะกอนจากน้ำหลากที่อาจพัดพาสารอันตรายจากแหล่งต้นน้ำ โดยเฉพาะพื้นที่ชายแดนและพื้นที่เพาะปลูก การทดสอบสารปนเปื้อนจึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์โลหะหนักที่มีแนวโน้มสะสมในสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ได้แก่ สารหนู (As), แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb) และแมงกานีส (Mn)

การวิเคราะห์ใช้วิธีการทดสอบที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล โดยสารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ทดสอบด้วยวิธี In-house method TE-CH-329 ซึ่งอ้างอิงจากคู่มือการวิเคราะห์ดิน (A Handbook of Soil Analysis) [20] และวิธีมาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency: EPA) Method 3052 [21] ส่วนแมงกานีสวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) ตามแนวทางเดียวกันกับ EPA Method 3052 [21]

การทดสอบทั้งหมดดำเนินการโดย ศูนย์สิ่งแวดล้อมและทดสอบผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (Environment and Product Testing Center) โดยผลการวิเคราะห์จะถูกเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน [22] เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์

2.3 การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัด

การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัด หรือปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินสามารถบดอัดได้จนเกิดความหนาแน่นสูงสุด โดยดำเนินการทดสอบบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ตามมาตรฐาน ASTM D698 [23] กับดินที่ไม่ผสมปูนซีเมนต์ และดินที่ผสมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 15% และ 20% โดยน้ำหนักของดินแห้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดสัดส่วนวัสดุสำหรับการผลิตบล็อกดินซีเมนต์

นอกจากนี้ ได้มีการประเมินลักษณะทางกายภาพของส่วนผสมหลังการเติมน้ำ เช่น ความสามารถในการบดอัดด้วยมือ โดยวัสดุที่มีปริมาณน้ำเหมาะสมจะต้องสามารถคงรูปได้โดยไม่แห้งหรือเหลวจนเกินไป เนื่องจากเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ในดินเพิ่มขึ้น ความต้องการความชื้นก็จะเพิ่มตามไปด้วย ประกอบกับความชื้นของวัสดุในสภาพการใช้งานจริงมีความไม่แน่นอนและควบคุมได้ยาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการผลิตจริงซึ่งมักดำเนินการในพื้นที่ห่างไกลจากห้องปฏิบัติการ ทำให้การควบคุมคุณภาพด้วยวิธีทางวิศวกรรมศาสตร์แบบเฉพาะทางทำได้ยาก และไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดของชุมชน ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาแนวทางการประเมินคุณภาพของส่วนผสมด้วยวิธีทางกายภาพควบคู่กัน ทั้งในด้านความสามารถในการบดอัดขึ้นรูปและความสามารถในการบดอัดได้ของวัสดุ เพื่อให้สามารถประเมินปริมาณน้ำที่เหมาะสมได้อย่างง่าย สะดวก และเหมาะสมกับบริบทของการผลิตในพื้นที่จริง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยที่มุ่งเน้นการส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของชุมชนในการผลิตวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน

2.4 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์และดิน

ในการศึกษานี้ ได้ดำเนินการออกแบบส่วนผสมของดินซีเมนต์โดยอ้างอิงแนวทางจากคู่มือฝ่ายดินซีเมนต์ [10] เป็นหลัก โดยพิจารณาเลือกปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมตามประเภทของดิน ซึ่งจำแนกจากแผนภาพสามเหลี่ยมเนื้อดินตามระบบ USDA ให้สอดคล้องกับกลุ่มชุดดิน โดยกำหนดให้ค่ากำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength: UCS) ต้องไม่น้อยกว่า 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุครบ 7 วัน

ในการทดลอง ได้ผสมปูนซีเมนต์กับดินในอัตราส่วน 5%, 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% โดยน้ำหนักของดินแห้ง และใช้น้ำในปริมาณที่เท่ากับค่าความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัด (Optimum Moisture Content: OMC) ซึ่งได้จากการทดสอบบดอัดดิน หลังจากเตรียมส่วนผสมแล้วจึงนำไปหาค่าความชื้น และดำเนินการบดอัดดินตามมาตรฐาน ASTM D698 [23] เพื่อขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่างทดสอบ

โดยรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนของการบดตัวอย่างทดสอบทั้งสอง ได้แก่

(1) การบดแบบแห้ง (Unsoaked) หลังถอดแบบจะหุ้มพลาสติกและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

(2) การบดแบบเปียก (Soaked) หลังถอดแบบจะหุ้มพลาสติกเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปแช่น้ำจนครบ 7 วัน

รูปแบบการบดทั้งสองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของสภาพแวดล้อมต่อพฤติกรรมของดินซีเมนต์ รวมถึงการศึกษาความสามารถในการคงตัวและกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเปียกในขณะที่กำลังพัฒนากำลังอัด



(ก) บดแบบแห้ง

(ข) บดแบบเปียก

รูปที่ 2 การบดตัวอย่างทดสอบ

2.5 การทดสอบหากล้างรับแรงอัดแบบแกนเดียวและการทดสอบ

ความสามารถในการต้านทานแรงดึง

การทดสอบหากล้างรับแรงอัดหลังจากบ่มจนครบกำหนด ดำเนินการโดยนำแท่งตัวอย่างออกจากห่อพลาสติกหรือขึ้นจากน้ำ แล้วปล่อยให้แห้งในอากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบหากล้างรับแรงอัดแบบแกนเดียว (UCS) ตามมาตรฐาน ASTM D2166 [24] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบหากล้างรับแรงอัดแบบแกนเดียวของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์

เนื่องจากบล็อกที่ผลิตขึ้นจะถูกขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งอาจได้รับแรงกระแทกขณะขนย้าย การประเมินความสามารถในการต้านทานแรงดึงของวัสดุจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM C496 [25] เพื่อประเมินความแข็งแรงของก้อนตัวอย่าง โดยเฉพาะในการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการแตกร้าวขณะขนย้ายหรือใช้งานจริง

นอกจากนี้ ยังได้นำผลการทดสอบนี้มาประกอบการศึกษาวิธีการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตจริง โดยอาศัยการทดลองปล่อยก้อนตัวอย่างตกกระทบพื้นอย่างอิสระ เพื่อเลียนแบบสถานการณ์ในภาคสนามที่อาจเกิดการกระแทก ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานแตกร้าวหรือเสียหาย

การนำค่าแรงกดสูงสุดจากการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก ไปใช้ในการคำนวณหาระยะปล่อยตกสูงสุดที่ไม่ทำให้อ่อนตัวอย่างเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงนั้น ทำได้โดยนำก้อนตัวอย่างทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร วางในแนวนอนบนเครื่องทดสอบแรงอัด โดยให้แกนตามยาวขนานกับพื้น จากนั้นจึงกดทดสอบจนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตกในแนวตั้งตามเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นจึงนำค่าแรงกดสูงสุดไปคำนวณหาค่ากำลังต้านทานแรงดึง (Splitting Tensile Strength) ตามสมการที่ (1)

$$f_s = \frac{2P}{\pi dL} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) กำหนดให้ f_s คือ กำลังต้านทานแรงดึง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร), P คือ แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม), d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง (เซนติเมตร) และ L คือ ความยาวของตัวอย่าง (เซนติเมตร)



รูปที่ 4 การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Strength Test)

2.6 การศึกษาวิธีการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตจริง

เนื่องจากโรงงานผลิตตั้งอยู่ห่างไกลจากห้องปฏิบัติการ และงานวิจัยนี้เป่าหมายเพื่อส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของชุมชน จึงได้มีการศึกษาวิธีการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตจริง โดยใช้วิธีการปล่อยก้อนตัวอย่างตกกระทบพื้นอย่างอิสระ เพื่อประเมินความแข็งแรงของวัสดุที่ผลิตขึ้น

แนวคิดดังกล่าวอ้างอิงหลักการทางกลศาสตร์ว่าด้วยงาน พลังงาน และแรงกระแทก (Mechanics of Work, Energy, and Impact) โดยพิจารณาพฤติกรรมของวัตถุที่ตกกระทบพื้นอย่างอิสระ (Impact from a Falling Object) ซึ่งพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ และถ่ายโอนเป็นแรงกระแทกเมื่อชนกับพื้นผิว ก่อให้เกิดความเสียหายต่อก้อนตัวอย่าง โดยได้คำนวณหาระยะปล่อยตกที่น้อยที่สุดซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง ตามสมการที่ (2)

$$F = \frac{mg}{d} \quad (2)$$

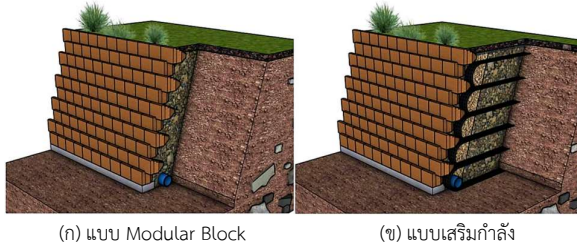
จากสมการที่ (2) กำหนดให้ F คือ แรงกระแทกที่เกิดจากการตกกระทบ ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีกในข้างต้น (นิวตัน), m คือ มวลของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม), g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร/วินาที²), h คือ ระยะปล่อยตกอย่างอิสระ (เมตร) และ d คือ ระยะยุบตัวของพื้นเมื่อถูกกระแทก (เมตร)

2.7 บล็อกที่ใช้สำหรับกำแพงป้องกันดินถล่ม TOR Block

TOR Block เป็นชิ้นส่วนของบล็อกประสานดินซีเมนต์ที่พัฒนาขึ้นโดยรองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดี ศรีลัมภ์ และคณะนักวิจัยจากศูนย์วิจัย GERD มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยมีแนวคิดพื้นฐานจากระบบกำแพงกันดินแบบ Modular Block และต่อมาได้รับการจดสิทธิบัตรในชื่อ TOR Block ซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนอนุสิทธิบัตรเลขที่ 14827 และสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์เลขที่ 73584 และ 73585 [12-14] การพัฒนา TOR Block มุ่งเน้นการนำวัสดุจากท้องถิ่น เช่น ดินที่เกิดจากดินถล่ม มาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อขึ้นรูปเป็นบล็อกสำหรับงานป้องกันดินถล่มและงานโยธาในพื้นที่ลาดชัน

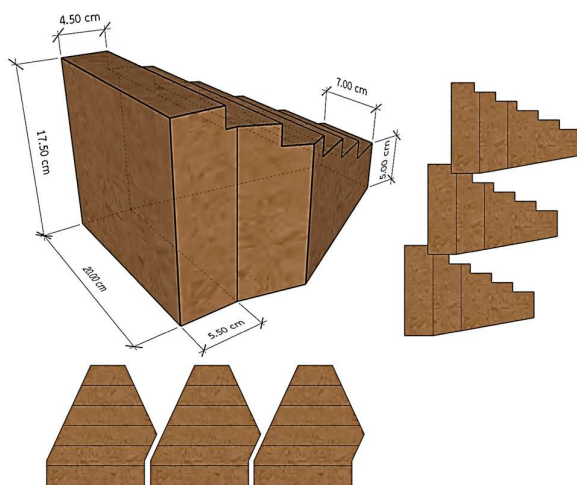
รูปที่ 5 แสดงกำแพงป้องกันดินถล่มโดยใช้ TOR Block ใน 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่หนึ่งคือ กำแพงกันดินแบบ Modular Block ซึ่งทำหน้าที่เสริมหน่วยแรงกด (Normal Stress) บริเวณผิวลาดดิน ซึ่งโดยธรรมชาติมีหน่วยแรงในบริเวณนี้ต่ำ จึงมีแนวโน้มเกิดการเลื่อนหลุดของผิวดินได้ง่ายเมื่อฝนตก โดยเฉพาะในพื้นที่ลาดชัน ทั้งยังช่วยป้องกันการไหลออกของมวลดินบริเวณตีนลาดจากการไหลของน้ำผิวดิน ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้เป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาดินถล่มในพื้นที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก)

TOR Block ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุปิดหน้า (Facing) สำหรับกำแพงกันดินแบบเสริมกำลังด้วยวัสดุทางธรณีเทคนิค (Geosynthetic-Reinforced Soil: GRS หรือ Mechanically Stabilized Earth: MSE) ซึ่งสามารถสร้างกำแพงกันดินที่มีความชันและรองรับแรงได้มากกว่ารูปแบบ Modular Block ทั่วไป โดยลักษณะของกำแพงกันดินดังกล่าวเป็นการป้องกันดินถล่มโดยใช้ TOR Block ในรูปแบบที่สอง คือ กำแพงกันดินแบบเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข)



รูปที่ 5 กำแพงป้องกันดินถล่มโดยใช้ TOR Block

TOR Block มีลักษณะรูปร่างเป็นทรงพีระมิดหัวตัดตามแบบจำลองในรูปที่ 6 โดยออกแบบให้มีส่วนที่เรียกว่า ร่องกันเฉือน (Shear Key) ซึ่งช่วยให้ก้อนบล็อกในแต่ละชั้นสามารถยึดเกาะและขัดกันได้ดี ลดความเสี่ยงต่อการเลื่อนหลุดออกจากกัน บริเวณช่องว่างแนวตั้งระหว่างก้อนบล็อกจะมีการแทรกวัสดุจำพวกหิน เช่น หินเกล็ดหรือกรวด เพื่ออุดช่องว่างระหว่างชั้นและช่วยในการระบายน้ำ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการลดแรงดันน้ำด้านหลังกำแพง การวาง TOR Block ในการก่อสร้างกำแพงกันดินมีลักษณะดังนี้ โดยสามารถปรับตำแหน่งของก้อนบล็อกในแนวราบให้เลื่อนเข้า-ออกได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งทำให้สามารถปรับความลาดของกำแพงให้ใกล้เคียงกับความลาดของดินเดิมในพื้นที่จริงได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่ลาดชันที่มีลักษณะภูมิประเทศไม่สม่ำเสมอ วัสดุที่ใช้ในการผลิต TOR Block ประกอบด้วยวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น ดิน หินทราย หรือหินปูนผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปเป็นก้อนบล็อก เพื่อให้ได้วัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งานในงานป้องกันดินถล่มและโครงสร้างกำแพงกันดินในภูมิประเทศหลากหลายรูปแบบ



รูปที่ 6 แบบจำลองรูปร่างและการจัดเรียง TOR Block สำหรับงานก่อสร้างกำแพงกันดิน [14]

TOR Block ได้รับการออกแบบให้สามารถวางต่อกันได้อย่างอิสระโดยมีระยะการเลื่อนเข้า-ออกระหว่างก้อน ซึ่งช่วยให้สามารถสร้างกำแพงที่มีความลาดชันใกล้เคียงกับความลาดของดินธรรมชาติได้ โครงสร้างของกำแพงจะขึ้นอยู่กับ Hinge Height ซึ่งเป็นค่าความสูงของกำแพงที่สามารถทรงตัวได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องเสริมกำลังเพิ่มเติม

สำหรับเกณฑ์กำลังรับแรงอัดของ TOR Block งานวิจัยนี้กำหนดให้วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปบล็อกต้องมีกำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียว (UCS) ไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทดสอบที่อายุครบ 7 วัน เพื่อให้สามารถใช้งานในพื้นที่ลาดชันได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงภายนอกที่กระทำต่อกำแพง ค่ากำลังรับแรงอัดดังกล่าวได้มาจากการคำนวณความเค้นที่เกิดจากการตรวจสอบ การพลิกคว่ำ (Overturning) และการเยื้องศูนย์ (Eccentricity) ของกำแพง ซึ่งเป็นเกณฑ์การออกแบบที่ใช้ในงานวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินชนิดไม่มีระบบเสริมกำลัง เพื่อให้มั่นใจว่ากำแพงสามารถทรงตัวและต้านทานแรงกระทำจากมวลดินได้อย่างเพียงพอ กรรมวิธีก่อสร้าง TOR Block สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากมาตรฐาน มยผ.1917-62 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง [26]

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

จากระเบียบวิธีการวิจัยที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย การคัดเลือกแหล่งวัสดุจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยในจังหวัดเชียงราย การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานและความปลอดภัยของดิน การออกแบบอัตราส่วนผสมของดินและปูนซีเมนต์ ตลอดจนการพัฒนาแนวทางการควบคุมคุณภาพในภาคสนาม หัวข้อนี้มุ่งนำเสนอผลการทดสอบที่ได้จากการดำเนินงานตามกระบวนการดังกล่าว เพื่อประเมินความเหมาะสมของดินตะกอนในการผลิตบล็อกดินซีเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปแบบ TOR Block สำหรับงานป้องกันดินถล่ม ซึ่งต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงเพียงพอภายใต้สภาวะใช้งานจริง

เนื้อหาในหัวข้อนี้ครอบคลุมตั้งแต่ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน การทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัด การประเมินกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของวัสดุ ไปจนถึงการทดลองปล่อยตกกระทบพื้นเพื่อศึกษาความเสียหายของก้อนตัวอย่าง ซึ่งเป็นแนวทางการควบคุมคุณภาพที่ออกแบบให้สอดคล้องกับบริบทการผลิตในชุมชนท้องถิ่น ผลการทดสอบเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างจากทรัพยากรในท้องถิ่นได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ

3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินและการจำแนกประเภทของดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยในจังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2567 ได้แก่ (1) ชุมชนถ้ำผาจอม (2) ชุมชนเกาะทราย (3) บ่อทิ้งดินน้ำท่วม ในอำเภอมะนัง และ (4) ชุมชนเกาะลอย ในอำเภอเมือง ได้ดำเนินการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของดิน ทั้งด้านกายภาพ เช่น การกระจายขนาดเม็ดดินและค่าขีดจำกัดความชื้นเหลว และด้านเคมี ได้แก่ ค่า pH และปริมาณสารอินทรีย์ เพื่อประเมินความเหมาะสมของแหล่งวัสดุก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์

ผลการร่อนผ่านตะแกรงของดินจากบ่อทิ้งดินน้ำท่วม อำเภอมะนัง ซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่เป้าหมายของการศึกษา โดยได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D422 [16] ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างดินมีสัดส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ #200) เท่ากับ 26% ของน้ำหนักรวม ซึ่งบ่งชี้ว่าดินมีปริมาณอนุภาคละเอียดปนอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดและการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

เนื่องจากสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ และเมื่อพิจารณาพร้อมกับข้อมูลเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ #4 และ #10 ซึ่งมีค่าสูงถึง 99% และ 98% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ดินมีองค์ประกอบหลักเป็นทราย และจัดเป็นดินเนื้อหยาบประเภททรายที่มีอนุภาคละเอียดปน

ตารางที่ 1 ผลการร่อนผ่านตะแกรงของดินจากบ่อทั้งดินน้ำท่วม อำเภอแม่สาย

รายการผลทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ผ่าน (Finer, %)
ตะแกรงเบอร์ 3/8"	100
ตะแกรงเบอร์ #4	99
ตะแกรงเบอร์ #10	98
ตะแกรงเบอร์ #40	93
ตะแกรงเบอร์ #200	26

ในตารางที่ 2 แสดงค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน ซึ่งได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4318 [15] ได้แก่ ค่าความชื้นในสถานะของเหลว (Liquid Limit: LL), ค่าความชื้นในสถานะพลาสติก (Plastic Limit: PL) และค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index: PI) ซึ่งใช้ในการจำแนกประเภทของดินตามระบบ USCS ตามมาตรฐาน ASTM D2487 [17] พบว่า ดินจากอำเภอแม่สาย ได้แก่ ชุมชนถ้ำผางาม ชุมชนเกาะทราย และบ่อทั้งดินน้ำท่วม มีลักษณะเป็นดินทรายละเอียดปนทรายละเอียด (Poorly Graded Sand with Silt: SP-SM), ดินทรายปนดินเหนียว (Clayey Sand: SC) และดินทรายละเอียด (Silty Sand: SM) ตามลำดับ โดยในบางพื้นที่สามารถวัดค่า PL และ PI ได้ แต่ในบางพื้นที่ไม่สามารถวัดค่าเหล่านี้ได้ เนื่องจากดินมีลักษณะเนื้อหยาบและไม่มีพฤติกรรมพลาสติก (non-plastic) จึงไม่สามารถบ่งบ่งตัวอย่างดินให้เป็นเส้นได้ตามเกณฑ์การทดสอบ

ดินจากอำเภอแม่สาย ส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อหยาบประเภทดินทราย ซึ่งมีส่วนผสมของทรายละเอียดในสัดส่วนสูง โดยบางพื้นที่พบว่าดินมีลักษณะปนดินเหนียว แม้จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างพื้นที่ แต่ดินโดยรวมไม่มีพฤติกรรมพลาสติก หรือมีค่า PI ต่ำ ซึ่งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเหมาะสมต่อการผลิตบล็อกดินซีเมนต์ที่มีความแข็งแรง

ขณะที่ดินจากชุมชนเกาะทราย อำเภอเมือง เป็นดินตะกอนที่มีความเหนียวต่ำ (Sandy Silt: ML) ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดและมีค่า PI ต่ำ โดยเปรียบเทียบแล้ว ดินจากอำเภอแม่สายมีลักษณะเนื้อหยาบกว่า ซึ่งเอื้อต่อการกระบวนการไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างภายในของบล็อกดินซีเมนต์ได้ดีกว่า

ในด้านระบบ USDA จากการทดสอบการตกตะกอนของอนุภาคดินตามมาตรฐาน ASTM D422 [16] พบว่า ดินจากอำเภอแม่สาย ได้แก่ ชุมชนถ้ำผางามและบ่อทั้งดินน้ำท่วม อยู่ในกลุ่มดินทรายปนดินร่วน (Loamy Sand: LoSa) ส่วนดินจากชุมชนเกาะทราย อยู่ในกลุ่มดินร่วน (Loam: Lo) และดินจากชุมชนเกาะทราย อ.เมือง เป็นดินร่วนเหนียวปนตะกอน (Silty Clay Loam: SiCLLo)

ตารางที่ 2 ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวและการจำแนกประเภทดิน

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน (%)			ระบบการจำแนกประเภทของดิน	
	LL	PL	PI	USCS	USDA
ชุมชนถ้ำผางาม อ.แม่สาย	31.00	non-plastic		SP-SM	LoSa
ชุมชนเกาะทราย อ.แม่สาย	47.75	34.98	12.77	SC	Lo
บ่อทั้งดินน้ำท่วม อ.แม่สาย	28.86	non-plastic		SM	LoSa
ชุมชนเกาะทราย อ.เมือง	48.47	41.38	7.09	ML	SiCLLo

ในการนี้ คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกตัวอย่างดินจำนวน 2 พื้นที่ ได้แก่ (1) ดินจากบ่อทั้งดินน้ำท่วม อำเภอแม่สาย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณดินเพียงพอเข้าถึงได้สะดวก และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ และ (2) ดินจากพื้นที่ชุมชนเกาะทราย อำเภอเมืองเชียงราย ซึ่งมีลักษณะทางธรณีวิทยาแตกต่างจากพื้นที่แรกอย่างชัดเจน โดยการคัดเลือกดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบได้อย่างครอบคลุม โดยเลือกตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของกลุ่มดินหลักในพื้นที่ศึกษาทั้งสองประเภท และลดความซ้ำซ้อนในการดำเนินการทดสอบ

สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของดินด้านเคมี ได้ทำการทดสอบค่า pH และวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ ผลการทดสอบพบว่า ดินจากทั้งสองพื้นที่ ได้แก่ บ่อทั้งดินน้ำท่วม อำเภอแม่สาย และชุมชนเกาะทราย อำเภอเมือง มีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ซึ่งจะส่งเสริมการพัฒนาโครงสร้างของดินที่ได้รับการปรับปรุง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินทั้งสองแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการยึดเกาะระหว่างอนุภาคดินกับผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	ค่า pH	ปริมาณสารอินทรีย์ (%)
บ่อทั้งดินน้ำท่วม อ.แม่สาย	7.16	9.09
ชุมชนเกาะทราย อ.เมือง	6.58	11.91

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ดินจากอำเภอแม่สาย โดยเฉพาะจากบ่อทั้งดินน้ำท่วม มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมและทางเคมีที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์มากที่สุด ทั้งในด้านโครงสร้างเม็ดดิน ความเป็นกลางของค่า pH และปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่รบกวนการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณดินเพียงพอ เข้าถึงได้สะดวก และตั้งอยู่ใกล้บริเวณลาดชันที่มีความเสี่ยงต่อปัญหาหินถล่ม จึงเอื้ออำนวยต่อการเก็บตัวอย่างและการดำเนินงานภาคสนามอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่า ค่า pH ของดินจากบ่อทั้งดินน้ำท่วม และชุมชนเกาะทรายอยู่ในช่วง 6.58–7.16 และปริมาณสารอินทรีย์ในดินอยู่ระหว่าง 9.09–11.91% ซึ่งเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ สอดคล้องกับผลการศึกษาในอดีตที่พบว่าดินที่มีค่า pH ใกล้เคียง 7 มีแนวโน้มช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ดินที่มีค่า pH ต่ำประมาณ 3–5 จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงและกำลังรับแรงอัดลดต่ำลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่า 12% มีแนวโน้มที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ กล่าวคือ ปริมาณสารอินทรีย์ในระดับต่ำไม่รบกวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ขณะที่หากปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่า 12% จะส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์ และนำไปสู่การลดลงของกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ดินจากพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่งจัดอยู่ในกลุ่มดินตะกอนน้ำท่วมที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งมีลักษณะเป็นดินที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้สภาพเคมีของดินยังคงมีความเป็นกลางและเหมาะสมต่อการเสริมกำลังด้วยปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ การควบคุมสภาพความเป็นกรดในดินมีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และลดผลกระทบจากไอออนโลหะหนัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการเสริมกำลังดิน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปัจจัยเหล่านี้ ดินจากพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่งจึงมีคุณสมบัติทั้งด้านโครงสร้างเม็ดดิน สภาพเคมี และปริมาณสารอินทรีย์ที่ส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดเพียงเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ใน

ระดับที่สามารถใช้งานได้ต่อการเสริมกำลังเชิงวิศวกรรมด้วยปูนซีเมนต์ [27–29]

นอกจากนี้ จากการศึกษาที่ผ่านมา [10] พบว่า ดินทรายสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าดินตะกอน และใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกำลังอัดเท่ากัน ซึ่งช่วยลดต้นทุนการปรับปรุงดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับคุณสมบัติของดินจากอำเภอแม่สายที่จัดอยู่ในกลุ่มดินทราย จึงพิจารณาเลือกใช้ดินจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งวัสดุหลักในการศึกษา

3.2 ความเป็นพิษในดิน

ผลการวิเคราะห์ความเป็นพิษของดินจากตัวอย่างบริเวณบ่อทิ้งดินน้ำท่วม ในอำเภอแม่สาย ซึ่งเป็นพื้นที่หลักในการศึกษา จากการพิจารณาเลือกในหัวข้อที่ 3.1 พบว่า ปริมาณของสารอันตรายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As), แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb) และแมงกานีส (Mn) อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดที่กำหนดไว้ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน [22] ทั้งในกลุ่มพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัย และในกลุ่มพื้นที่เพื่อการค้าขาย เกษตรกรรม และกิจการอื่น ๆ

โดยเฉพาะสารหนูและตะกั่ว ซึ่งเป็นสารพิษที่มีกพบในดินตะกอนจากพื้นที่ดินน้ำ ยังพบอยู่ในระดับที่ไม่เกินเกณฑ์และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ส่วนแคดเมียมไม่พบในตัวอย่างดินเลย ขณะที่แมงกานีส ซึ่งเป็นธาตุโลหะธรรมชาติที่จำเป็นต่อพืช พบในระดับที่ต่ำกว่าค่าที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 ปริมาณสารพิษในดินเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

รายการทดสอบ	ค่าที่ทดสอบได้ (mg/kg)	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน (mg/kg) [22]	
		กลุ่มพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัย	กลุ่มพื้นที่เพื่อการค้าขาย เกษตรกรรม และกิจการอื่น ๆ
สารหนู (As)	16.2	< 6	< 25
แคดเมียม (Cd)	ไม่พบ	< 67	< 762
ตะกั่ว (Pb)	23.4	< 400	< 800
แมงกานีส (Mn)	499	< 1710	< 19,640

จากผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4 ชี้ให้เห็นว่า ดินจากบ่อทิ้งดินน้ำท่วม อำเภอแม่สาย มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในด้านการผลิตวัสดุก่อสร้าง เช่น บล็อกดินซีเมนต์ เนื่องจากไม่มีการปนเปื้อนของสารอันตรายในระดับที่เกินมาตรฐาน และไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของแรงงานก่อสร้างหรือผู้ใช้งานในระยะยาว

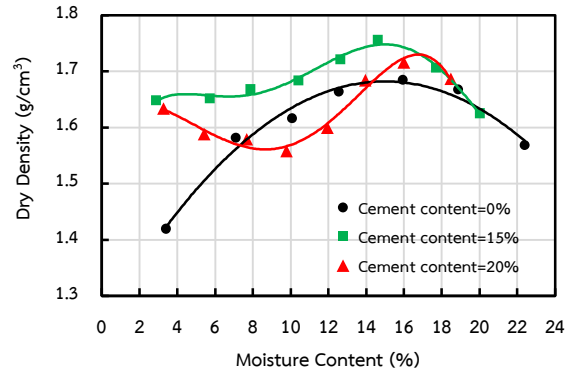
3.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัด

การทดสอบการบดอัดได้ดำเนินการกับดินที่ไม่ผสมปูนซีเมนต์ และดินที่ผสมปูนซีเมนต์ (Cement Content) ในอัตราส่วน 15% และ 20% โดยน้ำหนักของดินแห้ง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (Moisture Content) และความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และหาความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัด (OMC) สำหรับใช้ในการผลิตบล็อกดินซีเมนต์

จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ดินที่ผสมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 15% ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density: MDD) สูงที่สุด เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ผสมปูนซีเมนต์และดินที่ผสมซีเมนต์ในอัตราส่วน 20% โดยใช้ปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของส่วนผสมในเชิงการบดอัดที่ดี อย่างไรก็ตาม ค่า MDD ของทั้งสามกลุ่มดินมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับ

การบดอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 14–18% ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในภาคสนาม และสามารถปรับใช้ได้ตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก่อสร้าง

นอกจากนี้ ได้มีการประเมินลักษณะทางกายภาพของดินหลังเติมน้ำในระดับ OMC เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพในภาคสนาม พบว่า วัสดุที่มีความชื้นใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบ สามารถปั้นขึ้นรูปด้วยมือได้อย่างเหมาะสม คือ มีความสามารถในการคงรูปโดยไม่แห้งหรือเปื่อยจนเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัยที่มุ่งพัฒนาเทคนิคการผลิตที่สามารถถ่ายทอดสู่ชุมชนได้โดยง่าย



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินที่ผสมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

3.4 ผลการทดสอบแรงอัดแบบแกนเดียว

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียว (UCS) ของก้อนตัวอย่างที่มีอายุ 7 วัน กับปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 5–30% โดยควบคุมค่า OMC ให้อยู่ในช่วง 14–18% ตามผลการทดสอบในหัวข้อที่ 3.3 และเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่บ่มแบบแห้ง (Unsoaked) กับตัวอย่างที่บ่มแบบเปียก (Soaked) ซึ่งได้กล่าวถึงวิธีการบ่มไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.4

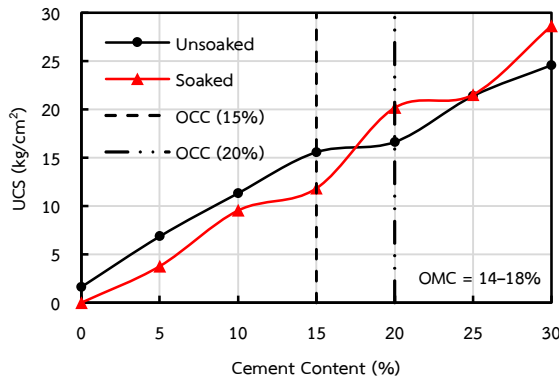
จากผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกลไกของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยในช่วงที่ใช้ปูนซีเมนต์ไม่เกิน 15% ตัวอย่างที่บ่มแบบเปียกให้ค่ากำลังต่ำกว่าตัวอย่างที่บ่มแบบแห้ง แสดงให้เห็นว่าดินซีเมนต์ที่มีปูนในปริมาณต่ำยังไม่สามารถต้านทานผลกระทบจากน้ำได้นัก

อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ 20% ขึ้นไป พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างแบบเปียกสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับแบบแห้ง ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการคงตัวของวัสดุและพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับมอร์ตาร์หรือคอนกรีต

จากผลการทดสอบทั้งหมด พบว่า ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Cement Content: OCC) ในงานวิจัยนี้คือ 15% ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดที่ทำให้ตัวอย่างทั้งสองแบบมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ตามเกณฑ์ดังกล่าวในหัวข้อที่ 2.7) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ดินซีเมนต์ที่มีปูนในปริมาณต่ำยังไม่สามารถต้านทานผลกระทบจากน้ำได้นัก แต่เมื่อพิจารณาจากค่าแรงอัดที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ประกอบกับต้นทุนการผลิตที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับงานทั่วไป

สำหรับกรณีที่ต้องการวัสดุที่มีสมรรถนะสูงขึ้น หรือใช้งานในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูง ควรใช้ปริมาณปูนซีเมนต์อย่างน้อย 20% โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ในโครงสร้างที่มีความสำคัญหรือในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น กำแพงกัน

ดินในเขตชุมชนหรือพื้นที่ลาดชัน ซึ่งหากเกิดการวิบัติอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้อย่างรุนแรง แม้จะมีต้นทุนสูงขึ้น แต่จะได้ค่ากำลังที่มั่นคงและทนทานในระยะยาวมากยิ่งขึ้น



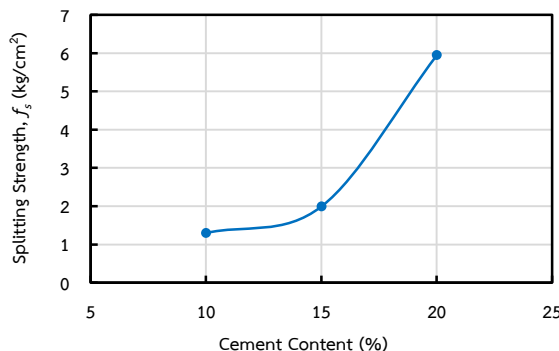
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียว (UCS) ของก้อนตัวอย่างที่มีอายุ 7 วัน กับปริมาณปูนซีเมนต์ 15% และ 20%

3.5 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึง

การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการรับแรงดึงของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ ที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในระดับที่เหมาะสม ได้แก่ 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักของดินแห้ง (อ้างอิงจากหัวข้อที่ 3.4) โดยผลการทดสอบยังนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตภาคสนาม ผ่านการเปรียบเทียบกับผลของการปล่อยก้อนตัวอย่างตกระหับพื้นอย่างอิสระ

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงดึง (Splitting Strength, f_s) ของตัวอย่างที่มีอายุ 7 วัน กับปริมาณปูนซีเมนต์ (Cement Content) พบว่า ปริมาณซีเมนต์ 10% ให้ค่ากำลังต้านทานแรงดึง เท่ากับ 1.30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, ปริมาณซีเมนต์ 15% เท่ากับ 2.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และปริมาณซีเมนต์ 20% เท่ากับ 5.95 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็นสัดส่วนเทียบกับค่ากำลังอัดแบบแกนเดียว (UCS) เท่ากับ 11.5%, 12.8% และ 29.5% ตามลำดับ

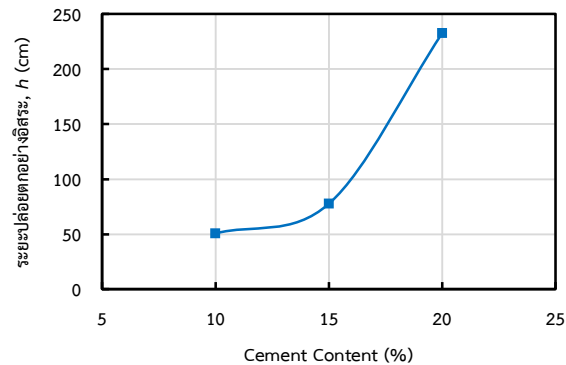
แนวโน้มของกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ และจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณซีเมนต์ถึง 20% ขึ้นไป แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์มีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะเชิงกลของวัสดุ โดยเฉพาะในด้านความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานแรงกระแทก



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงดึงของก้อนตัวอย่างที่มีอายุ 7 วัน กับปริมาณปูนซีเมนต์ 10%, 15% และ 20%

3.6 วิธีการควบคุมคุณภาพด้วยการปล่อยตกระหับพื้น

เนื่องจากสถานที่ผลิตบล็อกตั้งอยู่ห่างไกลจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ และเพื่อส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของชุมชนในระดับท้องถิ่น งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตบล็อกดินซีเมนต์โดยใช้วิธีการปล่อยตกระหับพื้นอย่างอิสระ ซึ่งอ้างอิงหลักการทางกลศาสตร์ว่าด้วยงาน พลังงาน และแรงกระแทกจากวัตถุตกกระทบ ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.6 โดยความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยตกอย่างอิสระที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) กับปริมาณปูนซีเมนต์ 10%, 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยตกอย่างอิสระที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) กับปริมาณปูนซีเมนต์ 10%, 15% และ 20%

ในการคำนวณนั้นกำหนดให้พื้นมีค่าการยุบตัว 5 มิลลิเมตร (ซึ่งเทียบเท่าความหนาของกล่องกระดาดที่ใช้รองรับการกระแทก) และใช้ค่าแรงกดสูงสุด (F) ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก เป็นตัวแปรในการคำนวณหาค่าระยะปล่อยตกอย่างอิสระ (h) เพื่อประเมินระดับความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับก้อนตัวอย่าง หากถูกกระแทกจากความสูงที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการคำนวณพบว่า ระยะปล่อยตกอย่างอิสระที่จะทำให้ก้อนตัวอย่างเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงมีค่าเท่ากับ 50.73 เซนติเมตร, 77.70 เซนติเมตร และ 232.50 เซนติเมตร สำหรับตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ

เพื่อยืนยันผลจากการคำนวณดังกล่าว ได้ดำเนินการทดลองปล่อยตกอย่างอิสระของก้อนตัวอย่างจริง โดยในรูปที่ 11 แสดงผลการทดลองของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 15% ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร พบว่าที่ระยะ 50 เซนติเมตร ก้อนตัวอย่างที่ตกกระแทกลงบนพื้นที่มีกล่องกระดาดหนา 5 มิลลิเมตรรองรับ ไม่เกิดความเสียหายรุนแรง แต่ที่ระยะ 100 เซนติเมตร ก้อนตัวอย่างแตกเสียหายอย่างรุนแรง ซึ่งสอดคล้องกับระยะปล่อยตกจากสมการที่ (2) ที่ระบุไว้คือ 77.70 เซนติเมตร

ในทำนองเดียวกัน รูปที่ 12 แสดงการทดลองปล่อยตกของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ 20% ที่ระยะ 100, 190 และ 250 เซนติเมตร โดยพบว่าตัวอย่างไม่เกิดความเสียหายที่ระยะ 100 และ 190 เซนติเมตร แต่เกิดความเสียหายรุนแรงที่ระยะ 250 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าระยะปล่อยตกที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) ที่ 232.50 เซนติเมตร

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าระยะปล่อยตกที่คำนวณได้จากสมการมีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริงในภาคสนาม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวิธีควบคุมคุณภาพอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพใน

กระบวนการผลิตบล็อกดินซีเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่สามารถเข้าถึงเครื่องทดสอบในห้องปฏิบัติการได้อย่างสะดวก



รูปที่ 11 การทดลองปล่อยตกอย่างอิสระของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์ 15% ที่ระยะยก 50 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร

ทั้งนี้ ก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และความสูง 30 เซนติเมตร แม้จะมีรูปร่างแตกต่างจาก TOR Block แต่ได้รับการออกแบบให้มีน้ำหนักใกล้เคียงกับบล็อกที่ใช้จริง เพื่อจำลองผลกระทบจากการตกกระแทกได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม กลไกของการเกิดความเสียหายอาจมีปัจจัยร่วมหลายประการ เช่น รูปร่างของก้อนบล็อก มุมตกกระทบ หรือความสม่ำเสมอของวัสดุภายในก้อนตัวอย่าง ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมนี้ในภาคสนาม ควรดำเนินการควบคู่กับการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันผลการควบคุมคุณภาพก่อนนำไปใช้งานจริง



รูปที่ 12 การทดลองปล่อยตกอย่างอิสระของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์ 20% ที่ระยะยก 100 เซนติเมตร, 190 เซนติเมตร และ 250 เซนติเมตร

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินตะกอนจากน้ำท่วมในจังหวัดเชียงราย โดยใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นวัสดุเสริม เพื่อผลิตเป็นบล็อกดินซีเมนต์สำหรับกำแพงป้องกันดินถล่ม TOR Block ซึ่งเป็นระบบกำแพงกันดินแบบ Modular Block ที่ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับพื้นที่ลาดชันและภูมิประเทศที่มีความเสี่ยงจากดินถล่ม โดยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ที่เกิดการทับถมของตะกอนน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2567 และนำมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมี รวมถึงจำแนกประเภทของดินตามระบบมาตรฐาน USCS และ USDA นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบความเป็นพิษของดินเพื่อประเมินความปลอดภัยในการนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมโยธา

ภายหลังจากการวิเคราะห์คุณสมบัติดินเบื้องต้น ได้ดำเนินการออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างดินและปูนซีเมนต์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปเป็นบล็อกดินซีเมนต์ โดยใช้เกณฑ์การประเมินกำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียว (UCS) และความสามารถในการต้านทานแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Strength) ที่อายุ 7 วัน จากผลการทดสอบพบว่า ดินจากพื้นที่อำเภอมะนังมีความเหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็น TOR Block มากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณเพียงพอ เข้าถึงได้สะดวก และสามารถพัฒนากำลังอัดได้โดยใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าดินจากแหล่งอื่น โดยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 15% โดยน้ำหนักของดินแห้ง ซึ่งให้ค่ากำลังอัดเกินกว่า 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามเกณฑ์ขั้นต่ำสำหรับการใช้งานในงานป้องกันดินถล่ม อย่างไรก็ตาม หากต้องการใช้งานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง หรือมีข้อกำหนดด้านอายุการใช้งานที่มากขึ้น ควรเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เป็นอย่างน้อย 20% แม้ว่าจะมีผลต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นก็ตาม

เนื่องจากโรงงานผลิตตั้งอยู่ห่างไกลจากห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ และงานวิจัยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของชุมชน จึงได้พัฒนาแนวทางการควบคุมคุณภาพในภาคสนาม โดยใช้วิธีการปล่อยก้อนตัวอย่างตกกระทบพื้นอย่างอิสระ ซึ่งอ้างอิงหลักการทางกลศาสตร์ของวัตถุตกกระทบในการคำนวณแรงกระแทก และระยะปล่อยตกที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อก้อนตัวอย่าง จากการทดลองโดยใช้ก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร และรองพื้นด้วยกระดาษแข็งหนา 5 มิลลิเมตร พบว่า ระยะปล่อยตกที่คำนวณได้จากสมการมีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริง กล่าวคือ สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 15% ระยะปล่อยตกที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงอยู่ในช่วง 50-60 เซนติเมตร และสำหรับอัตราส่วน 20% อยู่ในช่วง 150-180 เซนติเมตร

อย่างไรก็ตาม กลไกของการเกิดความเสียหายจากแรงกระแทกของก้อนดินซีเมนต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ยังคงมีความซับซ้อน และอาจได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น รูปร่างของก้อนตัวอย่าง ความสม่ำเสมอของวัสดุภายใน การกระจายน้ำหนัก และมุมของการตกกระทบ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการทดสอบการตกกระทบในสภาพจริงควบคู่กับการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันความสอดคล้องของผลลัพธ์และความน่าเชื่อถือของกระบวนการควบคุมคุณภาพก่อนนำวัสดุไปใช้งานจริงในภาคสนาม ทั้งนี้ รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างการนำ TOR Block ไปใช้งานจริงในการก่อสร้างกำแพงป้องกันดินถล่ม ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย-ไม้กลายเป็นหิน อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุดินซีเมนต์ที่ผ่านกระบวนการควบคุมคุณภาพอย่างเหมาะสม จึงสามารถสรุปได้ว่า วัสดุดินซีเมนต์ที่ได้รับการปรับปรุงและผ่าน

การประเมินอย่างรอบด้านมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างด้านวิศวกรรมโยธา ทั้งในด้านประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และความยั่งยืนในการใช้งานระยะยาว



รูปที่ 13 ตัวอย่างการใช้ TOR Block ในการก่อสร้างกำแพงป้องกันดินถล่ม (รูปโดย สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณมูลนิธิมิตรชนกภัยเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการสนับสนุนงบประมาณและแนวทางในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ ทั้งนี้ขอขอบคุณศูนย์บริการวิศวกรรมโยธา และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ อุปกรณ์ และการสนับสนุนทางวิชาการตลอดกระบวนการทดสอบ ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อความสำเร็จและความเรียบร้อยของงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] บ้านสิงห์โคล มุลนิธิมิตชนกภัย. (2568). From Flood Mud to Slope Protection Block โครงการพาดินโคลนกลับบ้าน จากดินโคลนบนภูเขาไหลลงมาท้นถมเป็นขยะเมือง. Facebook. สืบค้นจาก <https://www.facebook.com/share/p/16JFi78wuL/>
- [2] Suttisak Sorallump. (2568). โครงการพาดินโคลนกลับบ้าน: การนำดินตะกอนจากน้ำท่วมกลับมาใช้สร้างกำแพงป้องกันดินถล่ม. Facebook. สืบค้นจาก <https://www.facebook.com/share/p/1ASWMcpUou/>
- [3] ทงกลด บางยี่ขัน. (2567). 10 ไอเดียสร้างสรรค์สังคมใน AdPeople 2024 ที่คมสุดในรอบปีและคว้า CS Awards. The Cloud. สืบค้นจาก <https://readthecloud.co/adpeople-2024-creativity-for-sharing/>
- [4] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2562). การออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์. กรมทางหลวง.
- [5] อภิชาติ คำภาหล้า, พชรพล บรรจงกิจ และ คำภี จิตชัยภูมิ (2560). กำลัของดินเหนียวผสมซีเมนต์หมุนเวียนที่ปรับปรุงด้วยเถ้าลอย และเส้นใยโพลีพรพิลีน. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 12, เพชรบุรี, 15-17 กุมภาพันธ์ 2560, หน้า GTE-10-GTE-15.
- [6] พานิช วุฒิพฤกษ์, วิไลลักษณ์ สระมูล, ชัยรัตน์ ชีระวัฒน์สุข และ อธิพล มีผล (2564). สมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวปรับปรุงด้วยซีโอโลเมอรดินขาวเถ้าแกลบกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์. วารสารวิชาการวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, ปีที่ 12, ฉบับที่ 3, หน้า 11-23.
- [7] ศิริศักดิ์ จินดาพล, สยาม ยัมศิริ, สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และ สัณชัย มิตรธม (2549). การปรับปรุงคุณภาพของดินในสภาพแห้งน้ำด้วยการ

ใช้ปูนซีเมนต์และปูนขาว. วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 20, ฉบับที่ 59, หน้า 52-60.

- [8] ศุภกิจ นนทนนท์ และ กมล อมรฟ้า (2545). การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยใช้ซีเมนต์และปูนขาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, ขอนแก่น, 23-25 ตุลาคม 2545, หน้า GTE-120-GTE-125.
- [9] ธนศ ทองเดชศรี, ศุภกิจ นนทนนท์, สิทธิพันธ์ น้อยภาษี, ศรีณยู เรืองฉาย และ อภินิติ โชติสังกาศ (2564). การปรับปรุงคุณภาพดินตะกอนประปด้วยปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในวัสดุงานทาง. วารสารวิชาการวิศวกรรมโยธา มจร., ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, พฤษภาคม-สิงหาคม 2564, หน้า 12-23.
- [10] คณะอนุกรรมการพัฒนาหลักเกณฑ์นวัตกรรมการบริหารทรัพยากรน้ำ สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (2567). คู่มือฝายดินซีเมนต์. สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ.
- [11] อภิชาติ จิรัฐติยางกูร และ ปิติพร ตอพรหม (2550). การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์เพื่อผลิตบล็อกดินซีเมนต์. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4, นครปฐม, 6-7 ธันวาคม 2550, หน้า 201-208.
- [12] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, วิทวัส ศรีเรือง, ฐปนกรณ์ ผลมานะ และ ยุทธพล จิรัฐติกร (2558). การพัฒนากำแพงกันดิน TOR-BLOCK เพื่อป้องกันดินถล่มและแผ่นดินไหว. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [13] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, จักรวรินทร์ วชรเลิศวานิช, นรพรธน์ ถวิลพนันท์ และ วิชญพร พรธชา (2559). การพัฒนากำแพงกันดิน TOR-BLOCK สำหรับการผลิิตเชิงอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [14] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, จักรวรินทร์ วชรเลิศวานิช, นรพรธน์ ถวิลพนันท์ และ วิชญพร พรธชา (2560). บล็อกเชื่อมต่อป้องกัน การพังทลายของหน้าดิน. อนุสิทธิบัตรเลขที่ 14827, สิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์เลขที่ 73584 และ 73585.
- [15] ASTM D4318-10 (2010). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [16] ASTM D422-63 (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [17] ASTM D2487-17. (2017). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [18] ASTM D4972-01 (2007). Standard Test Method for pH of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [19] AASHTO T 194-14 (2014). Standard Method of Test for Organic Matter in Soils by Loss on Ignition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [20] Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer-Verlag.
- [21] U.S. Environmental Protection Agency. (1996). Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and

- organically based matrices*. December 1996, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- [22] ราชกิจจานุเบกษา (2564). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่มที่ 138, หน้า 20–24.
- [23] ASTM D698-91 (1992). Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³). *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- [24] ASTM D2166/D2166M-13 (2013). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- [25] ASTM C496/C496M-17 (2017). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- [26] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2562). *มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา มยผ.1917-62*, หน้า 51–94.
- [27] เกษม เพชรเกตุ และ โกศล ไกรพัฒน์พงศ์ (2544). การศึกษาผลกระทบของโซเดียมคลอไรด์ สารอินทรีย์ และค่าความเป็นกรดต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ผสมซีเมนต์แบบเปียก. *การสัมมนาวิศวกรรมทาง ครั้งที่ 1*, กรุงเทพมหานคร, 16–17 กรกฎาคม 2544, หน้า 326–345.
- [28] สมศักดิ์ วังโน (2515). กรดอินทรีย์ในดินนา. *เกษตรสาร*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 3, หน้า 217–220.
- [29] ศิราณี วงศ์กระจ่าง และ บัญชา รัตน์ทุ (2557). การจัดการดินกรดโดยใช้ปูนและอินทรีย์วัตถุ. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 103–112.