

**การพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์สำหรับการก่อสร้างผนังดินอัด
กรณีศึกษา ดินพื้นที่จังหวัดขอนแก่น**
**THE DEVELOPMENT OF LOESS SOIL MIXED CEMENT FOR CONSTRUCTION
RAMMED EARTH WALL : A CASE STUDY OF SOIL IN KHONKAEN PROVINCE**

วันที่รับ : 20 มกราคม 2566

วันที่แก้ไข : 13 มีนาคม 2566

วันที่ตอบรับ : 17 มีนาคม 2566

วีระวัฒน์ วรรณกุล¹,

อนุชาติ ลื่อนันต์ศักดิ์ศิริ^{1*} และ วรวิทย์ โพธิ์จันทร์¹

Weerawat Wannakul¹,

Anuchat Leeanansaksiri^{1*} and Worawit Phojan¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น 40000

¹Faculty of Engineer, Northeastern University, Khon Kaen 40000

*corresponding author e-mail: anuchat.lee@neu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด และศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผนังดินอัด โดยปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมซีเมนต์และดินลมหอบขอนแก่นที่อัตราส่วน 1:6 บดอัดโดยวิธีมาตรฐาน ด้วยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 9.40 % ทดสอบการดูดกลืนน้ำโดยใช้ตัวอย่างขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 เซนติเมตร และทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยการจำลองเป็นแบบผนังขนาดเล็ก ตัวอย่างขนาด 0.60 x 0.60 เมตร ที่ความหนา 7.5, 10, 12.5 และ 15 เซนติเมตร และระยะเวลาในการบ่ม 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ จากผลการวิจัยพบว่า การก่อสร้างผนังดินอัดเมื่อทำการบดอัดชั้นแรกด้วยความสูง 60 เซนติเมตรแล้วเสร็จ จะต้องปล่อยให้ผนังดินอัดใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงจะเริ่มดำเนินการบดอัดชั้นต่อไปได้ หลังจากนั้นทำการบ่มผนังดินอัดไว้ 14 วัน ก่อนการใช้งานเพื่อให้ผนังดินอัดได้พัฒนากำลังรับแรงอัด โดยมีกำลังอัดเทียบเท่าผนังอิฐก่อทั่วไป สำหรับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมผนังดินอัดมีการดูดกลืนน้ำที่แช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 10.56% ความหนาของผนังดินอัดที่เหมาะสมมีความหนาเท่ากับ 12.5 เซนติเมตร เนื่องจากค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน เท่ากับ 45.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีอัตราส่วนความชื้นสูงสุดที่สูงที่สุดที่มีกำลังรับแรงอัดผ่านค่ากำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อชนิดต่าง ๆ ในกรณีผนังก่อแบบไม่รับแรง ผลการวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อประชาชนทั่วไปที่ต้องการนำดินในพื้นที่มาสร้างผนังดินอัดผสมซีเมนต์ รวมถึงการประยุกต์ทำอิฐดินอัดผสมซีเมนต์เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้กับชุมชน

คำสำคัญ: ดินลมหอบ, บ้านดิน, ผนังดินอัด, ผนังอิฐก่อ

ABSTRACT

The objectives of this study were 1) develop Khon Kaen loess soil for use in the construction of earth house with compressed grinding techniques, and 2) to investigate the engineering properties of the rammed earth wall by mixing cement and loess soils at a ratio of 1:6 compressed by standard method with optimum moisture content of 9.40 %. The test of water absorption was performed with a sample of 7.5 x



7.5 x 7.5 cm. And test of the compressive strength was also performed by simulating it as a small wall model, and the sample was 0.60 x 0.60 m. at 7.5, 10, 12.5 and 15 cm. thick with the curing ages of 7, 14 and 28 days, respectively. The results showed that the construction of rammed earth wall with the first layer of compression grinding with a height of 60 cm. was completed, the rammed earth wall must be allowed for a setting time of 24 hours before the next layer was compacted. After that, the rammed earth wall was cured for 14 days before being used for the development of the compressive strength of the masonry infill wall. The engineering properties of rammed earth wall of 24-hour water absorption was 10.56%. The optimum thickness of rammed earth wall in was found to be 12.5 cm. thick due to the compression capacity value at 14-day curing time of 45.16 ksc. with the highest slenderness ratio with compression capacity through the compression capacity of different types of masonry prism. The results of this study were helpful for general people who would like to use the soil in the area to build the rammed earth wall and the application of the bricks mixed with cement to generate income for the community.

Keywords: Loess Soil, Earth House, Rammed Earth Wall, Masonry Infill Wall

บทนำ

ดินลมหอบ คือ ดินที่เกิดจากการพัดพาของลม ดินชนิดนี้มักเกิดจากดินเม็ดละเอียดที่แห้ง เช่น หายละเอียด หรือ ดินตะกอน แต่มักไม่เกิดกับดินเหนียว ทั้งนี้เพราะ เม็ดดินเหนียวจะเกาะกันเป็นก้อนใหญ่จนทำให้ลมไม่สามารถพัดพาไปได้ การเกิดมักเกิดจากที่ต่ำไปที่สูง ระหว่างการพัดพาเม็ดดินของลมอาจจะมีการขัดสีกันเองหรือขัดสีกับก้อนหินใหญ่ ๆ ทำให้ เม็ดดินมีลักษณะโค้งมนเกิดขึ้นดินในบริเวณจังหวัดขอนแก่นมักจะมีสีแดง โดยเป็นดินลมหอบ คือ เป็นดินที่มีส่วนผสมของ ดินตะกอน กับทรายเม็ดละเอียด มีลักษณะการเรียงตัวแบบรวงผึ้ง เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะมีความแข็งแรงสูง แต่เมื่อมีความชื้น เพิ่มขึ้นกำลังจะลดลงแบบฉับพลัน ทำให้เกิดการทรุดตัวเมื่อ มีแรงภายนอกมากระทำ (ชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์, 2561, น.18)

จึงได้มีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นฐานของดินลมหอบขอนแก่น ด้วยการผสมซีเมนต์ และน้ำ ที่ความชื้นเหมาะสม บดอัดให้แน่นเพื่อลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินและเพิ่มความหนาแน่น ที่เรียกว่า ดินซีเมนต์ (Davidson et al., 1962; Terrel et al., 1979) ในการพัฒนาและนำไปใช้ในงานก่อสร้างผนังดินอัด ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านดิน (Morel & Pkla, 2002; Maniatidis & Walker, 2008) การนำดินมาทำเป็นผนังมีประโยชน์ในเรื่องการต้านทานความร้อนสูง ซึ่งเป็นการช่วยกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ นอกจากนั้นยังมีสีสันสวยงามตามความแตกต่างกันของดิน ผนังดินอัดเป็นวัสดุท้องถิ่นที่ถูกใช้งานมาอย่างยาวนาน นอกจากไม่ร้อนแล้ว ยังช่วยปล่อยไอน้ำออกมา ทำให้บรรยากาศโดยรอบมีความเย็นสบาย อีกทั้งยังมีข้อดีที่หลากหลาย เช่น มีแรงยึดเกาะตามธรรมชาติ วัสดุหาได้ง่าย ไม่มีส่วนผสมของสารเคมี ทำให้มีกลิ่นหอมจากธรรมชาติ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะไม่มีกรรมวิธีการเผา ซึ่งปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และต้นทุนในการก่อสร้างมีราคาต่ำกว่าปูนซีเมนต์

บ้านดิน กำลังเป็นที่สนใจและเป็นกระแสทางเลือกที่เกิดขึ้นจากการสำนึกในธรรมชาติ และที่คิดจะอยู่ร่วมกับธรรมชาติ โดยเทคนิคการทำบ้านดินนั้น จะใช้วัสดุจากดินนำมาบดอัด ขึ้นรูปเป็นผนังรับแรง สำหรับในต่างประเทศได้มีการทำบ้านดินกันมานานแล้ว และพัฒนาจนมีมาตรฐานรองรับ มีความแข็งแรงคงทนทานถาวร (Vyncke et al., 2018; Pacheco-Torgal & Jalali, 2012) ส่วนในประเทศไทยยังจำกัดอยู่ในวงแคบของคนบางกลุ่มโดยเฉพาะในต่างจังหวัด ซึ่งอาศัยประสบการณ์และภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ได้ถ่ายทอดกันมา การสร้างบ้านดินยังคงไม่สามารถขับเคลื่อนได้มากนัก ถ้าหากภาครัฐเองยังไม่ให้ความสำคัญของการสร้างบ้านดิน เพื่อเป็นการลดทรัพยากรธรรมชาติ และลดต้นทุนในการก่อสร้าง อีกประเด็นหนึ่งคือการใช้ดินเป็นวัสดุ ก่อยังไม่มีความก้าวหน้าเท่าที่ควรและเพื่อที่จะกำหนดออกมาเป็นมาตรฐานทางด้านวิศวกรรมเหมือนเช่นวัสดุก่ออื่น ๆ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาในส่วนของผนังบ้านดินทั้งในส่วนที่เป็นกำลังรับแรงภายในแบบผนังทึบและผนังแบบมีช่องเปิด จากการศึกษาพบว่าผนังบ้านดินที่ใช้ดินในพื้นที่แต่ละประเทศเมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่

เหมาะสมทำให้ผนังบ้านดินสามารถรับกำลังได้ดี สามารถนำมาผลิตเป็นผนังบ้านดินได้ (Bui et al., 2009; Maniatidis & Walker, 2008) และในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้วัสดุดินในท้องถิ่นมาผลิตอิฐดินซีเมนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อผนัง นิยมใช้ดินในท้องถิ่นผสมซีเมนต์ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการส่งเสริมการก่อสร้าง อิฐดินซีเมนต์มีความคงทนแข็งแรงในด้านกำลังรับแรง พบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ส่งผลต่อกำลังรับแรงที่เพิ่มขึ้น (Jose & Kasthurba, 2021; Arun et al., 2021) สำหรับงานวิจัยทางด้านการศึกษาการส่งผ่านความร้อนของผนังดินอัดโดยการวัดค่าผนังในบ้านและผนังนอกบ้าน ซึ่งพบว่าผนังดินอัดมีค่าการส่งผ่านความร้อนในช่วง $0.13 - 0.422 \text{ m}^2\text{K/W}$ ซึ่งการส่งผ่านความร้อนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ฤดูกาล ความหนาของผนังดินอัด สถานที่แต่ละประเทศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าการส่งผ่านความร้อน (Balaguer et al., 2019) ในส่วนงานวิจัยในประเทศการก่อสร้างผนังดินดิบส่วนใหญ่ยังเป็นการนำเอาวัสดุในภาคเกษตรกรรม มาประยุกต์ผสมกับดินเพื่อขึ้นรูปทำเป็น อิฐดินดิบ สำหรับงานก่อสร้างผนังบ้านดิน เช่น การนำใบกล้วยและขุยมะพร้าวเพื่อผลิตอิฐดินดิบจากการศึกษาพบว่าการผสมของใบกล้วย และขุยมะพร้าวร้อยละ 3 มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้งานผนังก่อได้ (ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ และสุรน รุ่งเรือง, 2562) และการใช้ฟางข้าว เถ้าแกลบ แกลบสด มาผสมดินเพื่อทำเป็นอิฐดินดิบ สามารถลดต้นทุนในการผลิตอิฐและยังทำให้ผนังอิฐดินดิบมีอุณหภูมิลดลงเมื่อเทียบกับผนังก่ออิฐทั่วไป (วิหาร ติปัญญา และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2560) เมื่อสรุปประเด็นงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ การทำบ้านดินดิบส่วนใหญ่ยังคงทำในรูปแบบของการอัดขึ้นรูปเป็นอิฐดินดิบโดยการทิ้งให้ตัวอย่างแข็งตัวด้วยการตากแดดเมื่อตัวอย่างได้กำลังที่เหมาะสมก็จะนำไปทำการก่อผนังบ้านดิน เพื่อเป็นการลดขั้นตอนการก่อสร้างบ้านดินงานวิจัยนี้จึงได้คิดเทคนิคการสร้างผนังดินอัดด้วยเทคนิคการบดอัดที่มีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนด้วยการขึ้นรูปผนังดินอัดหน้างานก่อสร้างในขั้นตอนเดียว โดยไม่ต้องทำเป็นอิฐดินดิบแล้วค่อยนำไปก่อเหมือนงานวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงใช้เทคโนโลยีพื้นฐานที่สามารถใช้อุปกรณ์ในชุมชนในการบดอัดผนังดินอัดได้ และการสร้างผนังดินอัดใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยลดปัญหาโลกร้อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของพื้นที่ต่างจังหวัดที่ต้องการนำวัสดุในพื้นที่ของตนเองมาสร้างที่อยู่อาศัยโดยปัญหาที่พบในพื้นที่ส่วนใหญ่พบว่า ครอบครัวในพื้นที่ต่างจังหวัดมีรายได้น้อยส่วนใหญ่จะทำอาชีพเกษตรกรรม ไม่มีงบประมาณในการสร้างที่อยู่อาศัยแบบคงทนถาวรได้เป็นส่วนใหญ่ งานวิจัยพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์ สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัดจึงเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาของการก่อสร้างเนื่องด้วยงบประมาณที่ก่อสร้างงานผนังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าวัสดุผนังชนิดอื่น ๆ เช่น ผนังอิฐมอญ ผนังอิฐบล็อก และผนังอิฐมวลเบา เป็นต้น ผนังดินอัดผสมซีเมนต์สามารถใช้ดินในพื้นที่มาใช้ในการก่อสร้างเพื่อลดต้นทุนวัสดุได้และมีความสามารถในการรับกำลังที่สูงผ่านมาตรฐานงานผนังอิฐก่อ พร้อมกันนี้งานวิจัยผนังดินอัดผสมซีเมนต์ ยังได้เล็งเห็นความสำคัญที่จะขยายการให้ความรู้ให้แก่ชาวบ้านในพื้นที่อื่น ๆ ได้นำเทคนิคผนังดินอัดไปใช้ในการพัฒนาอื่น ๆ เช่น การสร้างนวัตกรรมอิฐดินลมหอบเพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้กับชุมชนให้มีรายได้เพิ่มขึ้นนอกเหนือจากการทำเกษตรกรรม โดยในการวิจัยได้มีการคิดที่จะทำต้นแบบของผนังดินอัดในพื้นที่อำเภอภูเวียงจังหวัดขอนแก่น โดยการสร้างผนังดินอัดด้วยเทคนิคการบดอัด เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความคงทนของผนังดินอัดต่อไปในอนาคต และยังสามารถเป็นแหล่งการเรียนรู้การสร้างบ้านดินให้กับทางชาวบ้านรวมถึงผู้ที่สนใจได้ศึกษาต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างผนังบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผนังดินอัดที่พัฒนาจากดินลมหอบผสมซีเมนต์

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยในรูปแบบ การวิจัยเชิงทดลอง โดยมีแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ดินลมหอบขอนแก่น โดยทำการเก็บตัวอย่างดินเป็นแบบถูกรบกวน (Disturbed Sample) เป็นดินบริเวณโครงการปรับปรุงซ่อมแซมสนามกีฬา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ระดับความลึกไม่เกิน 0.50 เมตร ปูนซีเมนต์ในการผสมผนังดินอัดใช้

ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 และในการวิจัยได้ทำการสร้างแบบหล่อพร้อมชุดอัดผนังดินแบบมาตรฐาน เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด ใช้เครื่อง UTM 100 กิโลนิวตัน

2. การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบนำดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในสนามมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น นำออกจากตู้อบผึ่งให้แห้งโดยอากาศ แล้วเก็บใส่ถังปิดไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปได้ ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินลมหอบดังต่อไปนี้ หาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ตามมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials, 2002) การทดสอบหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ตามมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials, 2018) การทดสอบความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินตามมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials, 2014) และการทดสอบพิกัดัดเตอร์เบอร์กตามมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials, 2000) จากการทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ ข้างต้น จะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานของดินเพื่อมาจำแนกชนิดของดินด้วยวิธี USCS ได้ พร้อมทั้งจะได้ข้อมูลปริมาณความชื้นที่เหมาะสมการบดอัด (Optimum Moisture Content : O.M.C.) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) กับปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัด ซึ่งหาได้จากการทดสอบด้วยการบดอัดแบบมาตรฐาน เมื่อนำค่าความหนาแน่นแห้งกับค่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัด ของแต่ละอัตราส่วนมาเขียนกราฟ จะทำให้ได้ค่า Optimum Moisture Content (O.M.C.) ที่ต้องการเพื่อใช้เป็นค่าปริมาณความชื้นของส่วนผสมในการเตรียมตัวอย่าง นำมาบดอัดตามวิธีทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน (Standard Procter Test)

3. การทดสอบกำลังรับแรงอัดและค่าการดักก้นน้ำของผนังดินอัด

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของผนังดินอัดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วนผสมของดินลมหอบขอนแก่นผสมซีเมนต์ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเท่ากับ 1 : 6 ตามงานวิจัยของ (อริปัติย์ อภิชาโรจนศักดิ์, 2561) กับ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาตรฐาน ตามมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials, 2021) หลังจากนั้นนำอัตราส่วนผสมดินลมหอบขอนแก่นผสมซีเมนต์ และ O.M.C. มาบดอัดในแบบหล่อ ขนาด กว้าง 0.6 เมตร และสูง 0.60 เมตร ที่ความหนา 7.5, 10, 12.5 และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยคำนวณพลังงานในการบดอัด ดังสมการที่ 1 นำตัวอย่างผนังดินที่บดอัดไปบ่มที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตัวอย่างในการทดสอบได้ใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งความหนา เพื่อเป็นการหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดก่อนตัวอย่างซึ่งเป็นพื้นฐานของการทดสอบกำลังทางด้านวิศวกรรม รวมตัวอย่างทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ก่อนนำกำลังรับแรงอัดมาเฉลี่ยจำเป็นต้องตรวจสอบเช็คค่ากำลังของก้อนตัวอย่างมีค่ากำลังรับแรงต่างกันไม่เกินร้อยละ 15 ถึงจะนำตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด และการทดสอบจะนำตัวอย่างไปบ่มโดยใช้การห่อด้วยพลาสติกหุ้มการใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเท่ากับ 1 : 6 ดังกล่าวเป็นการประยุกต์นำอัตราส่วนของการทำดินซีเมนต์ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในการพิจารณาใช้ปริมาณปูนที่เหมาะสมขั้นต่ำโดยมีขั้นตอนการก่อสร้างผนังดินอัด ดังตาราง 1

$$\text{พลังงานบดอัด} = (\text{น้ำหนักก้อน} \times \text{ระยะยก} \times \text{จำนวนครั้ง} \times \text{จำนวนชั้น}) / \text{ปริมาตรของแบบ} \quad (1)$$

ตาราง 1 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังดินอัด

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำผนังดินอัด
	1. เตรียมส่วนผสมได้แก่ ซีเมนต์และดินลมหอบขอนแก่นในอัตราส่วน 1 : 6 หลังจากนั้นผสมซีเมนต์และดินลมหอบให้เข้ากันแล้วเติมน้ำในอัตราส่วนที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมในการผสมจะใช้มือผสมหรือเครื่องผสมก็ได้

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำผนังดินอัด
	2. เข้าแบบไม้ และเทส่วนผสมเข้าในแบบ บดอัดเป็นชั้น ชั้นละ 10 เซนติเมตร
	3. เมื่อผนังดินอัดแข็งตัวแล้วสามารถถอดแบบและทำการบดอัดชั้นต่อไป โดยความสูงที่บดอัดในแต่ละชั้นไม่เกิน 60 เซนติเมตร
	4. บ่มตัวอย่างทดสอบโดยใช้การห่อด้วยพลาสติกหุ้ม บ่มตัวอย่างที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน แล้วทำการทดสอบกำลังค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดก่อนตัวอย่าง

2) การทดสอบการดูดกลืนน้ำของผนังดินอัด

การทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำ สำหรับตัวอย่างที่ใช้ทดสอบขนาดความ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 7.5 x 7.5 x 7.5 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำที่ตัวอย่างดูดกลืนน้ำได้ภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ค่าการดูดกลืนน้ำหาได้จากสมการที่ 2

$$W_{ap} = \left[\frac{W_2 - W_1}{V} \right] \quad (2)$$

เมื่อ W_{ap} = ค่าการดูดกลืนน้ำ
 W_2 = น้ำหนักวัสดุรวมละเอียดในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (กิโลกรัม)
 W_1 = น้ำหนักของวัสดุรวมละเอียดอบแห้ง (กิโลกรัม)
 V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างผนังบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด

ผลการพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์ในการก่อสร้างผนังบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด ซึ่งได้อธิบายขั้นตอนการทำผนังบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัดดังแสดงในตารางที่ 1 การบดอัดจำเป็นต้องคำนวณพลังงานในการบดอัดและใช้อุปกรณ์การบดอัดเพื่อให้สอดคล้องกับการบดอัดด้วยวิธีมาตรฐาน ตามมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials, 2021) การพัฒนาผนังบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัดจึงทำให้ตัวอย่างผนังดินอัดมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันรวมถึงชั้นของการบดอัดมีความสวยงามและง่ายต่อการก่อสร้างผนังดินอัด

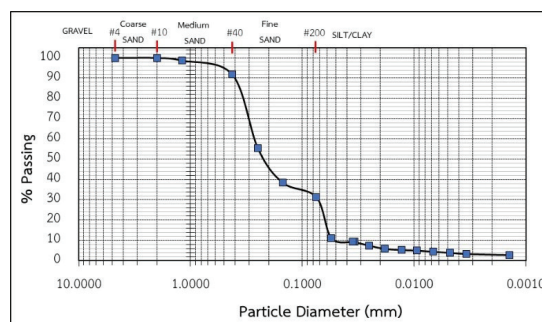
2. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบ

การทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังตาราง 2 จากข้อมูลพื้นฐานของดินลมหอบ พบว่าดินลมหอบขอนแก่น ที่ใช้ในการทดสอบเป็นดิน Silty Clayed Sand (SM-SC) เมื่อทำการจำแนกตามระบบ USCS ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.96 ตันต่อลูกบาศก์เมตร การวิจัยได้อ้างอิงผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของ

เม็ดดิน และผลการทดสอบหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ เพื่อหาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังภาพ 1 ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินลมหอบเท่ากับ 2.68 และการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform grade)

ตาราง 2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ประเภทคุณสมบัติ	ค่าที่ได้
พิกัดเหลว (Liquid Limit : L.L.)	20 %
พิกัดเหนียว (Plastic Limit : P.L.)	14.41 %
ดัชนีพลาสติก (Plastic Index : P.I.)	5.59 %
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density : γ_d)	1.96 T/m ³
% Passing sieve # 200	46.15 %
ประเภทของดิน (USCS)	SM-SC



ภาพ 1 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

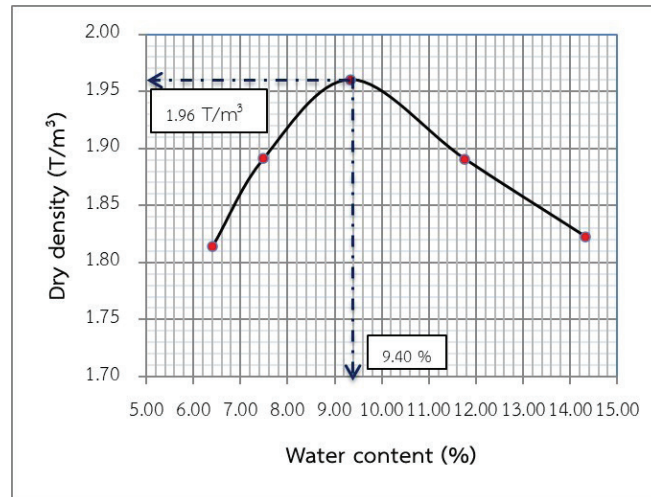
3. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของผนังดินอัดผสมซีเมนต์

1) อัตราส่วนผสมของผนังดินอัดผสมซีเมนต์

จากการศึกษาได้ทำการทดสอบการบดอัดดินด้วยวิธีบดอัดความแน่นแบบมาตรฐาน ด้วยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเท่ากับ 1 : 6 ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม เท่ากับ 9.40 % ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 1.96 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 เมื่อทราบค่าหน่วยน้ำหนักของดินลมหอบ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม สามารถคำนวณอัตราส่วนผสมของตัวอย่างผนังดินอัดในแบบหล่อ ขนาดกว้าง x สูง เท่ากับ 0.60 x 0.60 เมตร ที่ความหนา 7.5, 10, 12.5 และ 15 เซนติเมตร ดังแสดงอัตราส่วนผสมผนังดินอัดตามตาราง 3

ตาราง 3 อัตราส่วนผสมของผนังดินอัดผสมซีเมนต์ที่ปริมาณความชื้น 9.4%

ความหนาของผนัง (cm)	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักดินลมหอบ (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m ³)
7.5	6.71	41.23	4.97	52.92	1,960.00
10	8.95	54.98	6.63	70.56	
12.5	11.19	68.72	8.29	88.20	
15	13.42	82.47	9.95	105.84	



ภาพ 2 ผลการบดอัดดินลมหอบด้วยวิธีบดอัดความแน่นแบบมาตรฐาน

2) ผลการคำนวณพลังงานในการบดอัดผนังดินอัดผสมซีเมนต์

นำอัตราส่วนผสมดินลมหอบคอนแกนผสมซีเมนต์ และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 9.40% มาบดอัดในแบบหล่อ ขนาดกว้าง x สูง เท่ากับ 0.60 x 0.60 เมตร ที่ความหนา 7.5, 10, 12.5 และ 15 เซนติเมตร เมื่อทราบค่าพลังงานที่ใช้ คำนวณน้ำหนักคอน ค่าระยะยก และค่าจำนวนชั้น สามารถคำนวณจำนวนครั้งในการบดอัด แต่ละชั้นได้จากสมการที่ 1 ซึ่งได้สรุปผลของการคำนวณพลังงานการบดอัดของผนังดินอัดดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ผลการคำนวณพลังงานในการบดอัดผนังดินอัดผสมซีเมนต์

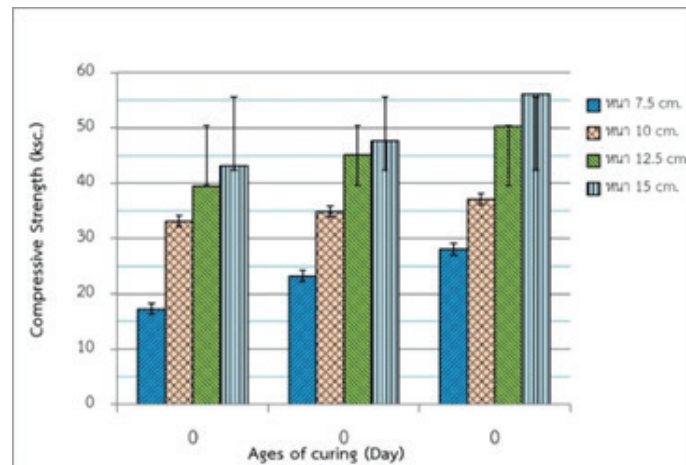
ขนาดความหนาของผนัง (เซนติเมตร)	ความสูงต่อชั้น (เซนติเมตร)	จำนวนครั้ง ในการบดอัดต่อชั้น (ครั้ง)	จำนวนชั้น ในการบดอัด(ชั้น)	หมายเหตุ
7.5	10	94	6	ผนังสูง 60 (เซนติเมตร)
10	10	125	6	
12.5	10	156	6	
15	10	187	6	

4. ผลเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด

นำตัวอย่างผนังดินที่บดอัด ขนาดกว้าง x สูง เท่ากับ 0.60 x 0.60 เมตร ที่ความหนา 7.5, 10, 12.5 และ 15 เซนติเมตร ไปบ่มที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เมื่อตัวอย่างครบอายุบ่มตามที่กำหนด นำตัวอย่างไปทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐานการทดสอบ (American Society for Testing and Materials, 2018) ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด ดังแสดงในตาราง 5 และภาพ 3

ตาราง 5 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดก่อนตัวอย่าง

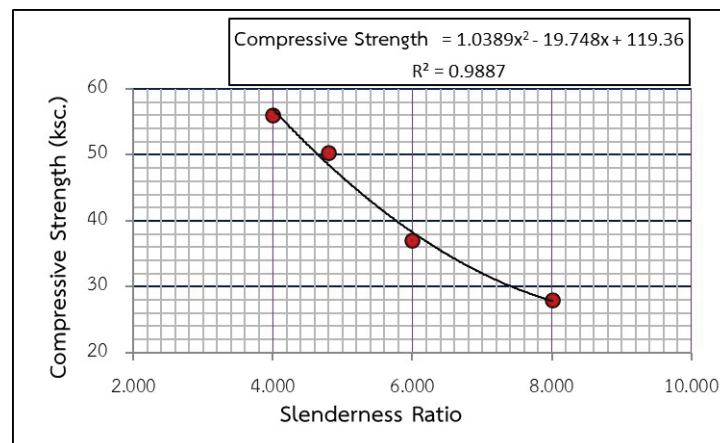
ความหนา (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน
7.5	17.29	23.24	28.08
10	33.15	34.88	37.11
12.5	39.46	45.16	50.32
15	43.11	47.61	56.12



ภาพ 3 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดก่อนตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพ 3 พบว่าผนังดินอัดมีการพัฒนากำลังตามอายุของการบ่ม กำลังรับแรงอัดของผนังดินอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ผนังดินอัดที่มีความหนา 7.5 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 10 เซนติเมตร ได้กำลังรับแรงเพิ่มขึ้น 32.16% ผนังดินอัดที่มีความหนา 10 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 12.5 เซนติเมตร ได้กำลังรับแรงเพิ่มขึ้น 35.60% และผนังดินอัดที่มีความหนา 12.5 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 15 เซนติเมตร ได้กำลังรับแรงเพิ่มขึ้น 11.53 %

อัตราส่วนความชะลูดของผนัง (h/t) มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด โดยที่อัตราส่วนความชะลูดของผนังที่มีความหนา 7.5 , 10 , 12.5, และ 15 เซนติเมตร มีอัตราส่วนความชะลูดของผนัง (h/t) เท่ากับ 8 , 6 , 4.8 และ 4 ตามลำดับ ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 28.08 , 37.11 , 50.32 และ 56.12 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ สามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัด กับ อัตราส่วนความชะลูด ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 4 กำลังรับแรงอัดของผนังดินอัดที่อายุการบ่ม 7 , 14 และ 28 วัน

จากภาพ 4 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชะลูดของผนังดินอัดและค่ากำลังรับแรงอัดนำมาทำการ Normalize โดยใช้สมการ Regression analysis ในรูปของสมการฟังก์ชันไม่เชิงเส้นตรง (nonlinear) ซึ่งตัวแปรตาม (y) คือค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด และตัวแปรอิสระ (x) ได้แก่ อัตราส่วนความสูง (h) ต่อความหนาของผนังดินอัด (t) ซึ่งตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ จากสมการพบว่ามีความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง R2 เท่ากับ 0.9627 โดยมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่ากราฟมีความสัมพันธ์กันดีมาก (Draper & Smith, 1996) อัตราส่วนความชะลูดของผนัง (h/t) มีค่าลดลงส่งผลให้ผนังดินอัด มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น

ค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัดที่ทดสอบได้ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน เมื่อนำมาเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อแต่ละชนิด ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามการศึกษาของ (อนุชาติ ลื่อนันต์ศักดิ์ศิริ, 2565) กำลังรับแรงผนังอิฐก่อภายใต้การทดสอบด้วยเพนดูลัมเทสโดยมีอิฐ 4 ชนิด ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัดเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดของปริซึมอิฐก่อแต่ละชนิด

ชนิดอิฐ และ ความหนา	ค่ากำลังรับแรงอัด แบบปริซึม (kg/cm ²)	ความหนา ของผนังดินอัด (cm)	ค่ากำลังรับแรงอัด ของผนังดินอัด (kg/cm ²)
อิฐมอญ หนา 6 cm	33.97	7.5	28.08
อิฐบล็อก หนา 7 cm	31.19	10	37.11
อิฐมวลเบา หนา 7.5 cm	29.76	12.5	50.32
อิฐประสาน หนา 12 cm	45.53	15	56.12

จากตาราง 6 พบว่าผนังดินอัดที่ความหนา 7.5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับอิฐก่อชนิดต่าง ๆ มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบปริซึมอิฐก่อน้อยกว่าอิฐทั้ง 4 ชนิด ผนังดินอัดที่ความหนา 10 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับอิฐก่อชนิดต่าง ๆ มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบปริซึมมากกว่า อิฐมอญ, อิฐบล็อก และอิฐมวลเบา แต่จะมีค่ากำลังรับแรงอัดแบบปริซึมน้อยกว่าอิฐประสาน ผนังดินอัดที่ความหนา 12.5 เซนติเมตรขึ้นไป เมื่อเทียบกับอิฐก่อชนิดต่าง ๆ มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบปริซึมมากกว่าอิฐทั้ง 4 ชนิด ดังนั้นผนังดินอัดที่เหมาะสมในการก่อสร้างบ้านดิน คือ 12.5 เซนติเมตร บ่มที่ระยะเวลา 14 วัน ซึ่งมีความเหมาะสมในการก่อสร้างและมีต้นทุนเฉลี่ยในการก่อสร้างเท่ากับ 170 บาทต่อตารางเมตร โดยแสดงตารางการคำนวณต้นทุนของผนังดินดิบดังตาราง 7

ตาราง 7 ต้นทุนเฉลี่ยของผนังดินอัด คิรราคาต่อตารางเมตร

รายการวัสดุ	ปริมาณวัสดุที่ใช้ ต่อ 1 ตารางเมตร	หน่วย	ราคาวัสดุ (บาท)	รวมราคาค่าวัสดุ (บาท)
ปูนซีเมนต์	34.31	กิโลกรัม	2.68	92
ดินลมหอบ	0.037	ลูกบาศก์เมตร	400	15
ไม้แบบ + ไม้คร่าว	0.3	ตารางเมตร	210	63
รวม				170

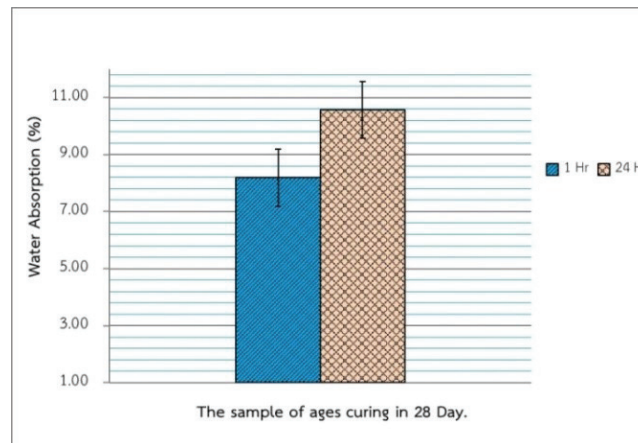
หมายเหตุ: ไม่คิดค่าแรง และราคาค่าวัสดุอ้างอิงจากสำนักงานพาณิชย์จังหวัดขอนแก่น

5. ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของผนังดินอัด

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบขนาดความ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 7.5 x 7.5 x 7.5 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน ได้ค่าดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 5 ก้อน ภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และภายหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการทดสอบ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ ได้ค่าดังแสดงในตาราง 8 และแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนน้ำดังแสดงในภาพ 5

ตาราง 8 ผลการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของผนังดินอัด

ระยะเวลาแช่น้ำ (ชม.)	ค่าการดูดกลืนน้ำ เฉลี่ยจาก 5 ก้อนตัวอย่าง (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
1	8.19	0.66
24	10.56	0.57



ภาพ 5 ค่าการดูดกลืนน้ำของผนังดินอัดที่อายุ 28 วัน

ค่าการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างผนังดินอัดที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง ผ่านค่ามาตรฐาน เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานการดูดกลืนน้ำที่ยอมให้ของ อิฐบล็อกประสาน, อิฐมอญตัน, อิฐมอญกลวง และคอนกรีตบล็อก โดยมีค่าการดูดกลืนน้ำอยู่ในช่วง 10-20% ดังนั้นผนังดินอัดจึงมีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ก่อผนังอาคาร ทั้งผนังภายในและผนังภายนอกอาคาร จากการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างทั้ง 5 ก้อน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างทดสอบที่ระยะการแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.66 และ 0.57 ตามลำดับ แสดงให้เห็นชุดข้อมูลมีความแตกต่างกันน้อย

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์ สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด โดยใช้ดินลมหอบในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นในการสร้างผนังดินอัด ซึ่งงานวิจัยได้ทำการศึกษาคูณสมบัติเบื้องต้นของดินลมหอบพบว่า มีความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินลมหอบเท่ากับ 2.68 และการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเป็นแบบสม่ำเสมอค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.96 ตันต่อลูกบาศก์เมตร สอดคล้องกับการศึกษาของชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์ (2561) ได้กล่าวว่าดินลมหอบที่ศึกษาเป็นดินประเภท Silty Clayed Sand โดยการจำแนกประเภทจากตามระบบ USCS ซึ่งเป็นการจำแนกประเภทดินทางวิศวกรรมจากการพิจารณาผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดของผนังดินลมหอบผสมซีเมนต์ ผลการทดสอบ พบว่าขนาดความหนาของผนังดินอัด และระยะเวลาในการบ่มมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ โมเรลและพิคลา (Morel & Pkla, 2002) ได้กล่าวว่า ผนังดินอัดที่มีความหนาและมียุทธะเวลาการบ่มนานจะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าผนังดินอัดที่มีความหนาน้อยและมียุทธะเวลาการบ่มน้อย โดยระยะเวลาในการบ่มเกิดจากกลไกปฏิกิริยาเคมีระหว่างดินและปูนซีเมนต์ โดยเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เป็นหลัก ซึ่งปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นในดินซีเมนต์คล้าย ๆ กับปฏิกิริยาไฮเดรชันในคอนกรีต กล่าวคือ เมื่ออนุภาคปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำ ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า ไฮเดรชัน ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวจะก่อให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน คือ Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium Aluminate Hydrate (CAH) และ Line (Calcium Hydroxide, Ca(OH)_2) สาร CSH และ CAH จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึด โดยสามารถเกาะยึดมวลดินเข้าด้วยกันทำให้รวมตัวกันเป็นมวลดินขนาดใหญ่ที่มีความแข็งแรงสูง Ca(OH)_2 ที่เกิดจะทำปฏิกิริยากับ Silica และ Alumina ในดินต่อไปอีก ทำให้เกิดสาร CSH และ CAH เพิ่มเติมจากปฏิกิริยาที่เกิดจากปูนซีเมนต์โดยตรง และอิทธิพลของอัตราส่วนความชะลูดของผนัง (h/t) มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด ซึ่งอัตราส่วนความชะลูดของผนังที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของสำเนียง อนุสุพันธุ์กุลม และคนอื่น ๆ (2559) ได้กล่าวว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักของผนังดินอัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แปรผันตรงตามความหนาของผนังที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง ในขณะที่ความสูงของผนังเท่าเดิม แต่มีการเพิ่มขนาดความหนาของผนังดินอัด ส่งผลให้อัตราส่วนความชะลูดมีค่าลดลง จึงทำให้ผนังมีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น

เมื่อพิจารณาด้านราคามันดินอัดผสมซีเมนต์เปรียบเทียบกับอิฐก่อชนิดอื่น ๆ ได้แก่ อิฐมอญ อิฐบล็อก อิฐมวลเบาและอิฐประสาน เทียบกับราคาค่าวัสดุของผนังก่ออิฐประเภทต่าง ๆ ต่อตารางเมตร โดยพิจารณาตามหลักเกณฑ์วิธีการคำนวณราคากลางงานก่อสร้างอาคาร ของกรมบัญชีกลาง และราคาวัสดุอ้างอิงจากสำนักงานพาณิชย์จังหวัดขอนแก่น เดือน ธันวาคม 2564 ราคาที่ดินคิดจากหลักเกณฑ์การคำนวณงานดินของกรมบัญชีกลาง โดยคิดค่าเสื่อมราคาจากราคาน้ำมันดีเซลที่อำเภอเมืองขอนแก่น ลิตรละ 29.50 บาท จากการศึกษาได้ราคาวัสดุของ อิฐมอญ อิฐบล็อก อิฐมวลเบา อิฐประสาน และผนังดินอัด เท่ากับ 369.27, 248.01, 295.24, 518.62 และ 170 บาท ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของอริย์ชัย อภิชาโรจนศักดิ์ (2561) ได้กล่าวว่าต้นทุนการทำผนังดินอัดซึ่งมีอัตราส่วนผสมของดินลมหอบขอนแก่นผสมซีเมนต์ อัตราส่วนผสมดินต่อมวลรวมเท่ากับ 1 : 6 มีต้นทุนในการผลิตผนังดินอัดในช่วง 160 – 220 บาท ขึ้นอยู่กับความหนาของผนังดินอัด

ดังนั้นในการวิจัยได้มีแนวความคิดการทำต้นแบบของผนังดินอัดในพื้นที่อำเภอภูเวียงจังหวัดขอนแก่นโดยในอนาคตไม่ช้าจะมีการสร้างบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความคงทนของผนังดินอัดต่อไปในอนาคตและยังสามารถเป็นแหล่งการเรียนรู้การสร้างบ้านดินให้กับทางชาวบ้านรวมถึงผู้ที่สนใจได้ศึกษาต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยการพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์ สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านดินด้วยเทคนิคการบดอัด สามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

ด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผนังดินอัดที่พัฒนาจากดินลมหอบผสมซีเมนต์ ซึ่งในการทดสอบได้ทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด และการดูดกลืนน้ำ พบว่าผนังดินอัดมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดตามอายุของการบ่ม ความหนาของผนังดินอัดที่เหมาะสมนำมาใช้งานที่ความหนา 12.5 เซนติเมตร ให้ค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างผนัง และอัตราส่วนความชะลูดของผนัง (h/t) มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของผนังดินอัด เมื่อค่าอัตราส่วนความชะลูดลดลงจะมีผลต่อการรับกำลังของผนังดินอัดที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่าการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างผนังดินอัดที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ผ่านค่ามาตรฐาน เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานการดูดกลืนน้ำที่ยอมให้ของ อิฐบล็อกประสาน, อิฐมอญดิน, อิฐมอญกลวง และคอนกรีตบล็อก โดยมีค่าการดูดกลืนน้ำ อยู่ในช่วง 10-20%

ด้านเทคนิคการบดอัดดินลมหอบผสมซีเมนต์สำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างผนังบ้านดิน จากการศึกษาสามารถนำเทคนิคการบดอัด นำไปก่อสร้างเป็นผนังบ้านดินทั้งผนังภายในและผนังภายนอก เนื่องจากมีความสามารถในการรับแรงอัดที่ได้มาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับผนังอิฐก่อชนิดอื่น ๆ ที่มีการขายตามท้องตลาด และเพื่อเป็นการลดขั้นตอนการก่อสร้างบ้านดินเนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนด้วยการขึ้นรูปผนังดินอัดหน้างานก่อสร้างในขั้นตอนเดียว โดยไม่ต้องทำเป็นอิฐดินดิบแล้วค่อยนำไปก่อผนัง รวมถึงใช้เทคโนโลยีพื้นฐานที่สามารถใช้อุปกรณ์ในชุมชนในการบดอัดผนังดินอัดได้ และการสร้างผนังดินอัดใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยลดปัญหาโลกร้อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สามารถนำงานวิจัยดังกล่าวซึ่งเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด โดยเป็นทางเลือกในการประกอบการพิจารณาส่วนผสมที่ใช้สำหรับการทำผนังดินอัดเพื่อเป็นทางเลือกให้ชาวบ้านในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีความสนใจในการก่อสร้างบ้านดิน
2. สามารถนำเทคนิคผนังดินอัดไปใช้ในการก่อสร้างในชุมชน เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่ายในการก่อสร้างและให้ความแข็งแรงกว่าการก่อผนังอิฐ
3. นำส่วนผสมที่ได้จากงานวิจัยเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่ของตนเองเพื่อใช้ในการสร้าง อิฐดินดิบ

ข้อเสนอแนะการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำการศึกษาวิจัยต่อยอดในส่วนของอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินเชิงอุทกวิทยา เพื่อจัดกลุ่มการแทนอัตราส่วนซีเมนต์ของแต่ละประเภทดิน ซึ่งดินทางด้านอุทกแบ่งได้ 4 กลุ่ม คือ ดิน A, B, C และ D โดยกลุ่ม A เป็นกลุ่มดินทราย กลุ่ม B เป็นดินร่วนปนทราย กลุ่ม C และ D เป็นกลุ่มดินเหนียว
2. ควรทำการศึกษาคุณสมบัติความเป็นฉนวนของดินแต่ละประเภทให้ครอบคลุมดินเชิงอุทกวิทยาทั้ง 4 กลุ่ม
3. ควรทำการศึกษาความคงทนของผนังดินอัดเนื่องจากดินเป็นวัสดุที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่ายดังนั้นความคงทนต่อสภาพอากาศจึงเป็นปัจจัยสำคัญหลักที่ควรศึกษาเพิ่มเติม

4. ควรทำการศึกษาด้านการลดต้นทุนต่อการทำนังดินอัดด้วยเทคนิคการบดอัดจากขบวนการผลิต เครื่องจักร และทางด้านแรงงาน เพื่อเป็นการต่อยอดการผลิตในเชิงพาณิชย์ในชุมชนเพื่อให้เกิดรายได้ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมผู้วิจัย คุณจิระพงศ์ พิมพ์ทรายมูล, คุณธรรมบุญ ธรรมะ และคุณประทีป ศรีภักดี สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์. (2561). *ปฐพีกลศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 5). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ และสุธน รุ่งเรือง. (2562). การพัฒนาก่อนอิฐดินดิบผสมใบกล้วยและขุยมะพร้าวเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับบ้านดิน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 4(1), 8-15.
- วิหาร ดีปัญญา และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2560). *การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม* (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. https://repository.rmutp.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/3152/ENG_62_03.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- สำเนียง อนุพันธ์กุล, วราธร แก้วแสง และสาโรจน์ ดำรงค์สี. (2559). พฤติกรรมทางกลของผนังดินซีเมนต์บดอัดภายใต้แรงกดอัดสำหรับบ้านดิน. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1: เรื่อง นวัตกรรมอาคาร 2559* (น. 11-20). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- อธิปัตย์ อภิชาโรจนศักดิ์. (2561). *การพัฒนาอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักโดยใช้ดินลมหอบผสมกับแกลบ* [วิทยานิพนธ์ไม่มีการตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ. (2565). การศึกษากำลักรับแรงผนังอิฐก่อภายใต้การทดสอบด้วยเพนดูลัมเทส. *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติครั้งที่ 9 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ* (น. 503-514). มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- American Society for Testing and Materials. (2000). ASTM D4318: *Standard test method for liquid limit plastic limit and plasticity index of soil*. ASTM International. [https://kashanu.ac.ir/Files/D%204318 %20-%2000%20%20_RDQZMTG_.pdf](https://kashanu.ac.ir/Files/D%204318%20-%2000%20%20_RDQZMTG_.pdf)
- _____. (2002). ASTM D422: *Standard test method for particle-size analysis of soils*. ASTM International. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/sedc_2004-2005_append.pdf
- _____. (2014). ASTM D854: *Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*. ASTM International. <https://tajhizkala.ir/doc/ASTM/D854-14.pdf>
- _____. (2018). ASTM C39: *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Ed Webster. <https://www.scribd.com/document/426461320/ASTM-C39-Compressive-Strength-of-Cylindrical-Concrete-Specimens-pdf>
- _____. (2018). ASTM D4221: *Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer*. ASTM International. <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmd422118>
- _____. (2021). ASTM D698: *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort*. ASTM International. <https://www.astm.org/d0698-12r21.html>
- Arun, L., Sarangapani, G., & Prasanna, H. S. (2021). Characteristics of high strength stone masonry using cement-soil mortar. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(10), 3826-3841.

- Balaguer, L., Vegas López-Manzanares, F., Mileto, C., & García-Soriano, L. (2019). Assessment of the thermal behaviour of rammed earth walls in the summer period. *Sustainability*, 11, 1-12.
- Bui, Q. B., Morel, J. C., Reddy, B. V., & Ghayad, W. (2009). Durability of rammed earth walls exposed to 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5), 912-919.
- Davidson, D. T., Pitre, G. L., Mateos, M., & George, K. P. (1962). Moisture - density, Moisture - strength and compaction characteristic of cement - treated soil mixture, *41st Annual Meeting of the Highway Research Board* (pp. 42-63). Highway Research Board.
- Draper, N. R. & Smith, DH. (1996). Applied Regression Analysis. (3rd Ed.). *Wiley Series in Probability and Statistics* (pp. 707-713). John Wiley & Sons, Ltd.
- Jose, A. & Kasthurba, A. (2021). Stabilization of lateritic soil for masonry applications. *Magazine of Civil Engineering*, 101(1), 10109.
- Maniatidis, V. & Walker, P. (2008). Structural capacity of rammed earth in compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(3), 230-238.
- Morel, J. C. & Pkla, A. (2002). A model to measure compressive strength of compressed earth blocks with the 3 points bending test. *Construction and Building Materials*, 16, 303-310.
- Pacheco-Torgal, F. & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512-519.
- Terrel, R. L., Epps, J. A., Barenberg, E. J., Michell, J. K., & Thomson, M. R. (1979). *Soil stabilization in pavement structures. A user's manual, volume 2. mixture design considerations*. Washington : Government Printing Office.
- Vyncke, J., Kupers, L., & Denies, N. (2018). Earth as Building Material – an overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics. *MATEC Web of Conferences*, 149(4).