

การเพิ่มประสิทธิภาพการขึ้นรูปก้อนดินสำหรับสร้างบ้านดิน ด้วยชุดอุปกรณ์อัดขึ้นรูป

Increasing productivity of clay brick forming to build a clay house
using compressive forming equipment

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา^{1*} สมหมาย สารมารถ¹ พุทสาयัน นราพินิจ¹ ณัฐชนน ไทยเครือ¹
เกรียงศักดิ์ สุปินนะ¹ และ ไตรลักษณ์ ยาวิชัย¹

Chaiwat Kittidecha^{1*}, Sommai Saramath¹, Puttasayan Narapinij¹, Nutchanon Thaikrua¹,
Kriangsuk Supinna¹ and Triluk Yawichai¹

บทคัดย่อ

ชุมชนดอยปู่หมื่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ชายขอบประเทศไทยซึ่งใช้ไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์และพลังงานน้ำ มีการพัฒนาและต้องการสร้างบ้านดินไว้เป็นที่พักอาศัยและรองรับนักท่องเที่ยว กระบวนการผลิตก้อนดินที่มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ในปัจจุบันใช้วิธีอัดดินผสมแกลบลงในแบบไม้ซึ่งใช้เวลาการอัดเฉลี่ย 150 วินาทีต่อก้อน เวลารอให้ก้อนดินแห้งเฉลี่ย 30 วัน และต้นทุนค่าแรง 1.56 บาทต่อก้อน ถือว่าเป็นปัญหาที่ทำให้การสร้างบ้านดินล่าช้า จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูปที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขึ้นรูปได้โดยใช้เวลาการอัดเฉลี่ย 84 วินาทีต่อก้อน หรือลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ เวลารอให้ก้อนดินแห้งเฉลี่ย 18 วัน หรือลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าแรง 0.88 บาทต่อก้อน หรือลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก การวิเคราะห์อัตราส่วนดินผสมแกลบที่เหมาะสมใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม ซึ่งอัตราส่วนดินเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนแกลบเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นน้ำหนักดิน 12 กิโลกรัม แกลบ 4 กิโลกรัม โดยใช้ส่วนผสม 3 กิโลกรัมต่อการอัดขึ้นรูปก้อนดิน 1 ก้อน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ต้นทุนการสร้างชุดอุปกรณ์อัดขึ้นรูป 13,500 บาท ผลตอบแทนจากการลงทุน 136 บาทต่อวัน คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนได้เท่ากับ 3.30 เดือน

คำสำคัญ: การขึ้นรูปก้อนดิน บ้านดิน การออกแบบการทดลองแบบผสม

Abstract

Doi Pu Muen Community, Fang District, Chiang Mai Province, is located on the edge of Thailand where the electricity is produced from solar cells and hydropower. Building a clay house was developed and planned for staying and supporting the tourists. The process of clay lumps production with dimensions of 20 centimeters wide, 35 centimeters long, and 12 centimeters high is currently using the method of compacting the soil mixed with rice husks into the wood

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

* Corresponding author. E-mail: chaiwatkit@rmutl.ac.th

form, which takes an average of 150 seconds per lump. The average waiting time for drying the clay lumps is 30 days and the labor cost of 1.56 baht per lump which causes to delay of clay house construction problem. According to those problems, the researchers designed and built a compression molding kit that was able to increase molding efficiency with an average compression time of 84 seconds per lump, 44% reduction, using the average drying time of 18 days, or 40% reduction, labor cost 0.88 baht per piece or 44% reduction, the density and water absorption values were not much different. The analysis of the optimum soil mix ratio using the mixed experimental design technique. The soil ratio was 75% and the rice husk ratio was 25% or equal to 12 kg of soil weight, 4 kg of rice husk, using 3 kg of water for mix clay extrusion of one lump which was the appropriate ratio. Totally, the cost of compressive forming equipment was 13,500 baht while the benefit of investment is 136 baht per day, so that we can calculate the payback period of 3.30 months.

Keywords: clay brick forming, clay house, mixed experimental design

บทนำ

บ้านดินเป็นบ้านที่สามารถสร้างได้ด้วยตนเอง ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านปูนแล้วต่ำกว่าและไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Kererat, & Rungruang, 2019) เนื่องจากบ้านดินใช้วัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ไม่ต้องใช้ปูนซีเมนต์ในการก่อสร้าง ลดการตัดต้นไม้ทำลายป่า ใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุหลักในการผลิตก้อนดินซึ่งโดยทั่วไปแล้วต้องมีการผสมวัสดุทางการเกษตรเช่น แกลบ ฟางข้าว หรือใบกล้วย เพื่อช่วยการยึดเกาะตัว ไม่แตกหรือหดตัว และสร้างความแข็งแรงเมื่อก่อนดินแห้ง (Lertwattanaruk, & Tungsirisakul, 2007) โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับบ้านดินที่สร้างในประเทศไทยเพื่อสร้างเป็นสถานปฏิบัติธรรมบ้านพักชาวเขา (Kamput, 2005) หรือประวัติความเป็นมาเกี่ยวกับภูมิปัญญาการสร้างบ้านดินในแถบภาคอีสาน (Laoakka, 2021) รวมทั้งเทคนิคการก่อสร้างและคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการสร้างบ้านดิน (Saouchai, 2014) การศึกษาความต้านทานต่อการชะล้างด้วยฝนของวัสดุภายนอกด้วยดินผสมยางพารา (Baanjongguiang, Wattanachai, & Parichartpricha,

2016) ส่วนผสมของแกลบและทรายกับดินชุดสระบุรีที่เหมาะสมต่อการผลิตก้อนอิฐดินดิบ (Yimming, Trakoonyingcharoen, Sangkhasila, Inboonchuy, & Chungopast, 2016) การผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดินเหนียว แกลบ ฟางข้าว แกลบสด น้ำยากันซึม และน้ำประปา หล่อขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีตเป็นผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อน (Deepanya, & Suweero, 2019) เป็นต้น

ชุมชนดอยปู่หมื่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ชายขอบประเทศไทยโดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำเป็นหลัก ได้มีการพัฒนาและต้องการสร้างบ้านดินไว้เป็นที่พักอาศัย ห้องน้ำ ห้องสุขา เพื่อรองรับนักท่องเที่ยว (Figure 1) ก้อนดินสำหรับสร้างที่พักนั้นชุมชนใช้ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร โดยใช้วิธีอัดดินผสมกับแกลบด้วยมือลงในแบบไม้ ใช้เวลาการอัดเฉลี่ย 150 วินาทีต่อก้อน และต้องรอให้แห้ง 30-35 วัน ดัง (Figure 2) ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการสร้างบ้านทำได้ล่าช้า ต้องใช้แรงงาน

จำนวนมากในขั้นตอนการอัดขึ้นรูป อีกทั้งยังพบว่าแบบไม่มีความแข็งแรงทนทานน้อย เกิดความเสียหายได้ง่ายทางผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการขึ้นรูปก้อนดินด้วยการสร้างชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูปที่ใช้แรงคนในการอัดซึ่งเหมาะกับชุมชนที่มีพลังงานไฟฟ้ายังไม่พอเพียง ลดเวลาการขึ้นรูปลดเวลาการรอให้แห้ง ลดจำนวนแรงงานและลดการสูญเสียของแบบไม้ ในส่วนของการหาอัตราส่วนระหว่างดินกับแกลบที่เหมาะสมกับชุดอุปกรณ์อัดขึ้นรูปได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม (mixture design) โดยกำหนดให้ปัจจัยหรือตัวแปรอื่น ๆ มีค่าคงที่



Figure 1 Clay toilet rooms.



Figure 2 Clay pressing by hand method.

วิธีการศึกษา

1. การศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปและการออกแบบชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูป

กระบวนการอัดขึ้นรูปก้อนดินโดยแบบไม้ จะเริ่มจากผสมดินกับแกลบในอัตราส่วนผสมประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และแกลบ 30 เปอร์เซ็นต์ ใส่ น้ำพอให้ดินเปียก โดยมีน้ำหนักดิน 10 กิโลกรัม แกลบ 4 กิโลกรัม และน้ำ 3 กิโลกรัม ต่อการขึ้นรูปก้อนดิน 1 ก้อน นำดินที่ผสมแล้วมาอัดในแบบไม้ใช้เวลาเฉลี่ย 150 วินาทีต่อก้อน ถอดแบบไม้ออกตากทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 30-35 วัน จึงสามารถนำก้อนดินไปสร้างบ้านดินต่อไป ในการปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปทางผู้วิจัยมีแนวคิดออกแบบชุดอุปกรณ์การอัดโดยใช้แรงงานคนโดยไม่ใช้แหล่งต้นกำลังที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากชุมชนดอยปู่หมื่นยังมีพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอับความต้องการ พลังงานไฟฟ้าหลักได้มาจากพลังงานทดแทนคือจากระบบแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำ ระบบการทำงานของชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปต้องไม่ซับซ้อนง่ายต่อการบำรุงรักษา การออกแบบการทำงาน ofชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูป กำหนดขนาดคือกว้าง 0.60 เมตร ยาว 1.70 เมตร สูง 1.20 เมตร โดยมีส่วนประกอบย่อยคือ 1) ชุดโครงเครื่อง 2) ฐานรอง 3) ชุดคันโยก 4) ชุดแขนยก 5) ตลับลูกปืน และ 6) ชุดปล่องดิน ดัง (Figure 3) และเมื่อดำเนินการสร้างชุดอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดัง (Figure 4)

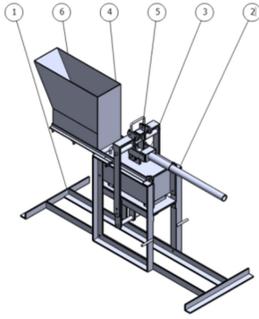


Figure 3 Compressive forming equipment drawing.



Figure 4 Compressive forming equipment.

อุปกรณ์ที่สำคัญในการส่งกำลังคือชุดคั่นโยก ทำหน้าที่รับแรงกดจากแรงคนและส่งแรงกดไปอัดก้อนดิน โดยใช้สูตรการเลือกขนาดเพลานในชุดอุปกรณ์

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times \tau_d} \sqrt{(M_t \times k_t)^2 + (M_b \times k_b)^2}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times 121} \sqrt{(1373400 \times 2)^2}$$

$$d = 48.72 \text{ mm}$$

กำหนดให้ d ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาน

$$\tau_d \text{ Design Shear Stress} = \sigma_d / N = 121 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_d \text{ Yield Shear Stress} = 363 \text{ N/mm}^2$$

$$N \text{ Safety Factor} = 3$$

$$M_t \text{ Twisting Moment} = 0 \text{ Nmm (ไม่มีโมเมนต์บิด)}$$

$$M_b \text{ Bending Moment} = PL = 1,373,400 \text{ Nmm}$$

$$P \text{ แรงที่ใช้ในการกดก้อนดินกด} = 1,962 \text{ N (200 kg)}$$

$$L \text{ ความยาวของเพลาน} = 700 \text{ mm}$$

$$k_t \text{ ค่าประกอบความล้าเนื่องจากการดัด} = 2 \text{ (กรณีเพลานอยู่นิ่งและแรงกระทำ)}$$

$$k_b \text{ ค่าประกอบความล้าเนื่องจากการบิด} = 2 \text{ (กรณีเพลานอยู่นิ่งและแรงกระทำ)}$$

การอัดขึ้นรูปนี้ตามการคำนวณ ดังสมการ (1) (Ungbhakorn, & Thanadngarn, 2003) กำหนดแรงที่ใช้ในการกดก้อนดินเท่ากับ 1,962 N ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลานอย่างน้อย 48.72 มิลลิเมตร ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เพลานขนาด 50 มิลลิเมตร ทำจากเหล็ก St37 สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

วิธีการใช้งานชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูปก้อนดิน เริ่มจากนำดินผสมใส่ลงไปในชุดปล่องดิน โรยเกลบลงในบริเวณบล็อกอัดเพื่อไม่ให้ก้อนดินติดบริเวณภายในบล็อก เลื่อนปล่องดินเข้าเพื่อให้ดินผสมที่อยู่ในปล่องดินตกลงในบล็อกอัด เมื่อดินผสมเต็มบล็อกแล้วให้เลื่อนปล่องใส่ดินออกเพื่อปรับหน้าดินให้เรียบ โรยเกลบลงบนที่ผิวหน้าดินอีกครั้งเพื่อไม่ให้ผิวหน้าดินติดกับฝาปิด ปิดฝาและนำแขนยกขึ้นมาวางบนฝาปิด โยกคั่นโยกลงเพื่ออัดขึ้นรูปก้อนดิน นำแขนยกลงและเปิดฝา ดันคั่นโยกและแขนยกลงเพื่อยกฐานอัดและก้อนดินขึ้น แล้วจึงนำก้อนดินที่ทำการอัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วไปตากแห้ง ดัง (Figure 5)



Figure 5 How to use compressive forming equipment.

2. การศึกษาอัตราส่วนของดินและแกลบที่เหมาะสมสำหรับชุดอุปกรณ์การอัด

การออกแบบการทดลองแบบผสม คือ การทดลองวิเคราะห์ค่าผลตอบที่เป็นฟังก์ชันของเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบ สำรวจผลตอบสนองเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละส่วนประกอบที่จะทำให้ผลตอบมีค่าที่ดีที่สุดหรือเป็นไปตามที่ผู้ทดลองต้องการ (Keawploy, 2014) โดยใช้โปรแกรม Minitab สำหรับการออกแบบการทดลองแบบผสมและการคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของการทดลองได้ถูกนำมาใช้ในการหาอัตราส่วนของดินและแกลบที่เหมาะสมสำหรับชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูป กำหนดปัจจัยแบบการออกแบบจุดศูนย์กลางซิมเพล็กซ์ (simplex centroid design) เป็นการออกแบบการทดลองที่แต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัย สิ่งทดลองประกอบด้วยจุดที่เป็นส่วนผสมเดี่ยวต่าง ๆ เช่น สิ่งทดลองที่มีปัจจัย 100

เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 1 หรือส่วนผสมคู่ 0.50, 0.50 และส่วนผสม 3 ชนิดเป็น 1/3, 1/3, 1/3 เป็นต้น (Rodkour, & Kitchaijaruan, 2017) ผลการกำหนดระดับปัจจัยดัง (Table 1) โดยกำหนด 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนผสมของอัตราส่วนของดิน (% clay) ระดับต่ำเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ระดับสูงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยที่ 2 คืออัตราส่วนผสมแกลบ (% husk) ระดับต่ำเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ระดับสูงเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อรวมปัจจัยทั้งสองกันแล้วต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นน้ำหนักรวม 16 กิโลกรัมต่อก่อน กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคกที่คือ 3 กิโลกรัม จากนั้นทำการประเมินคุณภาพของการอัดขึ้นรูปแต่ละครั้งโดยกำหนดระดับคะแนนการประเมินแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (5 point Likert scale) คือมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน เพื่อหาระดับปัจจัยปัจจัยที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

- คะแนนการประเมินคุณภาพของการอัดขึ้นรูป (rank)
- 1 = ลักษณะกายภาพก้อนดินมีรอยแตกและการอัดขึ้นรูปต้องออกแรงมาก
 - 2 = ลักษณะกายภาพก้อนดินมีรอยแตกและการอัดขึ้นรูปออกแรงปานกลาง
 - 3 = ลักษณะกายภาพก้อนดินไม่มีรอยแตกและการอัดขึ้นรูปต้องออกแรงมาก
 - 4 = ลักษณะกายภาพก้อนดินไม่มีรอยแตกและการอัดขึ้นรูปออกแรงปานกลาง
 - 5 = ลักษณะกายภาพก้อนดินไม่มีรอยแตกและการอัดขึ้นรูปออกแรงน้อย

Table 1 Factors and levels in experiment.

factors	low levels	high levels
% clay	50	100
% husk	0	50

การสร้างสมการทำนายอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วยโมเดลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณมีเทอมปฏิสัมพันธ์ (multiple regression analysis model with interaction term) เป็นโมเดลการวิเคราะห์ถดถอยใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร กรณีที่มีอิทธิพลทั้งอิทธิพลหลักจาก X, Z และอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ (X*Z) ต่อตัวแปรตาม ดังสมการ (2)

$$Y = b_0 + b_1X + b_2Z + b_3XZ + e \quad (2)$$

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเลือกตัวแปรต้นใส่เข้าในสมการถดถอย ดำเนินการทดสอบสมมุติฐานเพื่อตัดสินใจปฏิเสธหรือไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลักและ

แปลความหมาย ใช้เกณฑ์การตัดสินใจจากค่า p คือ ถ้าผลการทดสอบพบว่า $p < \alpha$ ให้ตัดสินใจปฏิเสธสมมุติฐานหลักหรือตัวแปรต้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถ้าผลการทดสอบพบว่า $p > \alpha$ ให้ตัดสินใจไม่ปฏิเสธหรือตัวแปรต้นไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้โดยทั่วไปกำหนดค่า $\alpha = 0.05$ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์หรือค่า R^2 เป็นการอธิบายระดับความสัมพันธ์ว่าการแปรผันของตัวแปร Y เป็นผลเนื่องมาจากการมีสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปร X (Virutchai, 2010)

3. การศึกษาวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (payback period)

ระยะเวลาคืนทุนของชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นคือจำนวนวันในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละวันมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณกรณีผลตอบแทนสุทธิต่อวันเท่ากัน (Choowan, 2020) ดังสูตร (3) ทั้งนี้ในกำหนดเงินลงทุนเริ่มแรกมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดอุปกรณ์อัดก้อนดิน และผลตอบแทนสุทธิต่อวันคิดจากมูลค่าที่ได้ประโยชน์เพิ่มขึ้นจากการใช้ชุดอุปกรณ์นี้ ซึ่งคิดประมาณการณจากต้นทุนค่าแรงที่ลดลงในระยะเวลา 1 วัน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุนเริ่มแรก} / \text{ผลตอบแทนสุทธิต่อวัน} \quad (3)$$

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

นำเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสมมาหาอัตราส่วนของดินและแกลบที่เหมาะสมสำหรับชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูป โดยมีอัตราส่วนผสมและผลการประเมินคุณภาพของการอัดขึ้นรูปกำหนด 2 ปัจจัยคือ อัตราส่วนผสมของอัตราส่วนของดิน (50-100

เปอร์เซ็นต์) และแกลบ (0-50 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งรวมกันแล้วเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำหนักรวมดินผสมแกลบ 16 กิโลกรัม กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคงที่ คือ 3 กิโลกรัม กำหนดผู้ทำการทดลอง คือ เพศชาย 1 คน ซึ่งจะเป็นผู้ประเมินคุณภาพการอัด ระหว่างการทดลองแต่ละครั้งผู้ทำการทดลองจะพักเป็นเวลา 5 นาที การทดลองจำนวนซ้ำ 4 ครั้ง ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง ดัง (Table 2) นำมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab

Table 2 Runs of experiment and results.

run order	%clay	%husk	rank
1	0.62	0.38	4
2	0.50	0.50	2
3	1.00	0.00	1
4	0.50	0.50	2
5	0.75	0.25	5
6	0.50	0.50	2
7	0.75	0.25	5
8	1.00	0.00	2
9	1.00	0.00	1
10	0.75	0.25	5
11	0.50	0.50	1
12	0.62	0.38	3
13	0.75	0.25	4
14	0.62	0.38	4
15	0.88	0.12	3
16	0.88	0.12	3
17	0.62	0.38	4
18	0.88	0.12	4
19	0.88	0.12	3
20	1.00	0.00	1

นำผลการทดลองและการประเมินมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการอัดขึ้นรูปก้อนดินด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (regression analysis) ดัง (Table 3) โดยพบว่าพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการอัดขึ้นรูปก้อนดินซึ่งมีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ดิน (clay) แกลบ (husk) และอิทธิพลร่วมระหว่างดินและแกลบ (clay*husk) สมการถดถอยประมาณค่าคุณภาพการอัดขึ้นรูปก้อนดิน ดังสมการ (4) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R² เท่ากับ 87.69 เปอร์เซ็นต์ แปลความว่าในความผันแปรของค่าคุณภาพการอัดขึ้นรูปทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมการถดถอยนี้สามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องถึง 87.69 เปอร์เซ็นต์

Table 3 Regression for mixtures and model summary.

term	Coef	SE Coef	T-value	P-value	VIF
clay	1.150	0.24	.	.	2.63
husk	-21.65	2.40	.	.	40.49
clay * husk	48.00	4.42	10.85	0.00	48.14
model summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	
0.52	87.69%	86.24%	6.29	82.98%	

$$Y = 1.15 \text{ Clay} - 21.65 \text{ Husk} + 48.00 \text{ Clay} * \text{Husk} \quad (4)$$

โดยที่ Y = ค่าประเมินคุณภาพการอัดขึ้นรูปก้อนดิน
 clay = อัตราส่วนของดิน มีค่าระหว่าง 50-100 เปอร์เซ็นต์
 husk = อัตราส่วนของแกลบ มีค่าระหว่าง 0-50 เปอร์เซ็นต์

เพื่อตรวจสอบว่าผลสมการถดถอยเชิงเส้นว่าสามารถนำไปพยากรณ์หรือกำหนดรูปแบบอัตราส่วนผสม

การอัปเดตขึ้นรูปก้อนดินได้หรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ดัง (Table 4) ซึ่งพบว่าสมการถดถอยแบบเส้นตรง (linear) และสมการถดถอยสมการกำลังสองหรือเส้นโค้ง (quadratic) มีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แปลความว่าสมการถดถอยทั้งสองรูปแบบที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ค่าประเมินคุณภาพการอัปเดตขึ้นรูป ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งในการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ที่สุด (response optimization) ต่อไปเนื่องจากเป็นรูปแบบที่เหมาะสมมากกว่าสมการถดถอยแบบเส้นตรง นอกจากนี้ค่า lack of fit มีค่า P-value เท่ากับ 0.24 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แปลความว่าสมการที่ได้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือเพียงพอในการพยากรณ์ จากนั้นนำมาตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการถดถอยได้ ดัง (Figure 6) และวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ดัง (Figure 7)

Table 4 Analysis of variance for rank.

source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
regression	2	32.40	32.40	16.20	60.53	0.00
linear	1	0.90	26.14	26.14	97.67	0.00
quadratic	1	31.50	31.50	31.50	117.69	0.00
clay*husk	1	31.50	31.50	31.50	117.69	0.00
residual error	17	4.55	4.55	0.27		
lack-of-fit	2	0.80	0.80	0.40	1.60	0.24
pure error	15	3.75	3.75	0.25		
total	19	36.95				

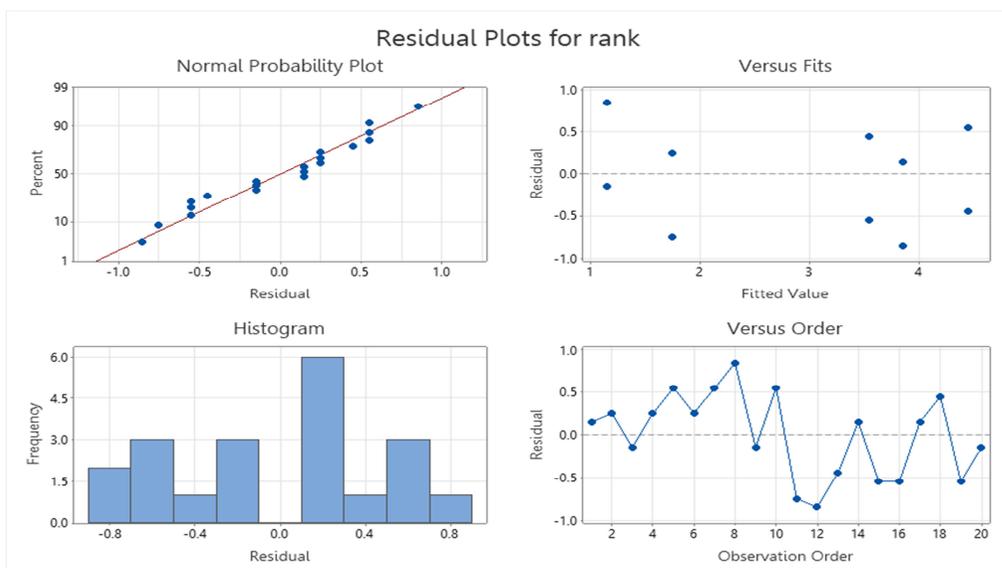


Figure 6 Residual plots.

จาก (Figure 6) เป็นการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการถดถอยและการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งมี 3 เงื่อนไขคือ 1) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (normality test) พบว่ากราฟ normal probability plot ข้อมูลที่ได้มีลักษณะเกาะเส้นตรงสีแดงไม่มีจุดใดที่ออกจากเส้นสีแดงมากนัก แปลความว่าข้อมูลมีความเป็นปกติ 2) การทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (variance stability test) พบว่ากราฟ residual versus fits ข้อมูลไม่มีลักษณะกระจายตัวที่ผิดปกติ แปลความว่าความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มเท่ากัน และ 3) การทดสอบความอิสระของข้อมูล (independence test) พบว่ากราฟ residual versus order ข้อมูลทั้งด้านส่วนบวกลบและส่วนลบไม่ได้มีการกระจายที่เป็นรูปแบบ แปลความว่ามีความอิสระของข้อมูลหรือข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่ม ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ

การวิเคราะห์สมการถดถอยและการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถทำได้และมีความน่าเชื่อถือ

การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดดัง (Figure 7) โดยกำหนดค่าคุณภาพการอัดขึ้นรูปมากที่สุด (maximum) ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 พบว่าเงื่อนไขของที่ค่าเหมาะสม (composite desirability) ที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.73 คือ ระดับอัตราส่วนดิน (clay) เท่ากับ 74 เปอร์เซ็นต์ และระดับอัตราส่วนแกลบ (husk) เท่ากับ 26 เปอร์เซ็นต์ แต่เพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติงานจริงจึงกำหนดอัตราส่วนผสมดินกับแกลบที่ใช้สำหรับชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูปไว้ที่อัตราส่วนดินเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนแกลบ เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นน้ำหนักดิน 12 กิโลกรัม แกลบ 4 กิโลกรัม น้ำหนักดินผสมแกลบรวม 16 กิโลกรัม โดยใช้ส่วนผสม 3 กิโลกรัมต่อการอัดขึ้นรูปก้อนดิน 1 ก้อน

Response Optimization

Parameters

Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
rank Maximum	3	5	5	1	1

Global Solution

Components
 Clay = 0.737374
 Husk = 0.262626

Predicted Responses

rank = 4.45750 , desirability = 0.728750

Composite Desirability = 0.728750

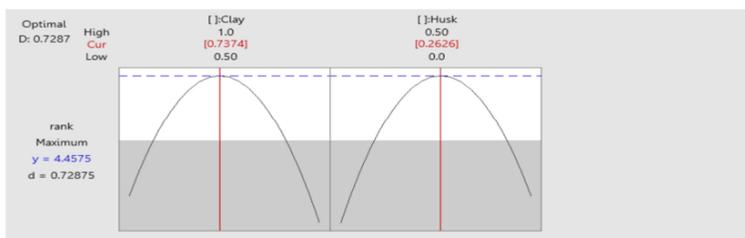


Figure 7 Response optimization.

ผู้วิจัยได้ทวนสอบผลการศึกษาโดยนำดินผสม ในอัตราส่วนดินเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน แกลบเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ มาอัดขึ้นรูปด้วยชุดอุปกรณ์ อัดขึ้นรูปจำนวน 3 ก้อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง จากการขึ้นรูปแบบเดิมที่ใช้แบบไม้ โดยมีการเปรียบเทียบ ดังนี้ 1) เวลาเฉลี่ยของการอัดขึ้นรูป 2) เวลาเฉลี่ยของ การตากก้อนดินให้แห้ง โดยใช้การสังเกตลักษณะ ก้อนดิน 3) ความหนาแน่นของก้อนดิน ซึ่งคำนวณ จากน้ำหนักก้อนดินหารด้วยปริมาตร 4) ค่าการดูดซึมน้ำ โดยชั่งมวลก้อนดินที่แห้งสนิท หลังจากตากทิ้งไว้ 30 วัน ก่อนนำมาแช่น้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วชั่ง น้ำหนักอีกครั้ง โดยคำนวณค่าเป็นเปอร์เซ็นต์การ ดูดซึมน้ำเท่ากับผลต่างน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ

หารด้วยน้ำหนักก่อนแช่น้ำ 5) ต้นทุนค่าแรงต่อก้อน และ 6) ลักษณะภายนอกของก้อนดินแห้ง (หลังจาก ตากทิ้งไว้ 30 วัน) ผลการเปรียบเทียบ ดัง (Table 5) พบว่าก้อนดินที่ขึ้นรูปด้วยชุดอุปกรณ์ใช้เวลาการ อัดขึ้นรูปน้อยกว่าแบบเดิม 44 เปอร์เซ็นต์ เวลารอให้ แห้งลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เพิ่มพื้นที่ลานตากจาก เดิมใช้เวลา 30 วัน มีก้อนดินสะสมต้องใช้เวลาที่เยอะ เยอะลดมาเหลือ 18 วัน ใช้พื้นที่ตากสะสมลดลง ค่าความชื้น ในฐานแห้งประมาณ 5-9 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าของ ก้อนดินที่เหมาะสมกับการใช้งานในขั้นตอนต่อไป ส่วนความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่าง กันมากนัก ลักษณะภายนอกของก้อนดินแห้งไม่มี รอยแตกทั้งสองรูปแบบ

Table 5 Brick forming method comparisons.

topics	hand method	forming equipment method	difference
1. forming time per brick (seconds)	150	84	reduce 44%
2. drying time (days)	30	18	reduce 40%
3. density (kg/m ³)	1,667	1,905	increase 14%
4. water absorption (%)	9.10	8.90	reduce 2.20%
5. wage cost per brick (baht)	1.56	0.88	reduce 44%
6. external physics	no cracking	no cracking	same

ผลการวิจัยโดยภาพรวมพบว่า สามารถเพิ่ม ผลประสิทธิภาพกระบวนการขึ้นรูปด้วยชุดอุปกรณ์ การอัดที่จัดสร้างขึ้นมา เดิมต้นทุนด้านค่าแรงงาน (300 บาทต่อวัน) จากแบบขึ้นรูปด้วยมือเท่ากับ 1.56 บาทต่อก้อน (1 วันขึ้นรูปได้ 192 ก้อน) แต่ต้นทุนค่าแรง แบบขึ้นรูปด้วยชุดอุปกรณ์เท่ากับ 0.88 บาทต่อก้อน (1 วัน ขึ้นรูปได้ 342 ก้อน) หรือลดลง 0.68 บาทต่อก้อน หรือลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ จากสมการ (3) ต้นทุนการสร้าง ชุดอุปกรณ์เท่ากับ 13,500 บาท มูลค่าที่ได้ประโยชน์

เพิ่มขึ้นจากการใช้ชุดอุปกรณ์นี้คิดประมาณการณ์จาก ต้นทุนค่าแรงที่ลดลงเท่ากับ 136 บาทต่อวัน (โดยปกติ อัดขึ้นรูปเฉลี่ย 200 ก้อนต่อวัน) คิดเป็นระยะเวลาการ คืนทุนได้เท่ากับ 99 วันหรือ 3.30 เดือน ชุดอุปกรณ์การ ขึ้นรูปมีความแข็งแรงทนทานมากกว่าการขึ้นรูป แบบเดิมที่ใช้แบบไม้ซึ่งเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่า ก้อนดินที่ขึ้นรูปจากชุดอุปกรณ์ที่สร้างสามารถนำมา สร้างบ้านดินได้เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kererat, & Rungruang (2019) ที่พบว่าสามารถสร้างบ้านดินได้

โดยไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม หรืองานวิจัยของ Kamput (2005) ที่สร้างบ้านดินสำหรับสถานปฏิบัติธรรมบ้านพักชาวเขา ลักษณะของการอัดได้ชิ้นงานได้ตรงตามประสงค์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yubolket, & Settheetham (2017) ที่สร้างเครื่องอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะเศษใบไม้ และกับงานวิจัยของ Surbkar, & Jarimopas (1999) ที่สร้างเครื่องอัดซีเมนต์ซึ่งมีลักษณะใช้แรงในการอัดเหมือนกัน ในส่วนผสมของก้อนดินที่ผู้วิจัยเลือกดินและแกลบเป็นส่วนผสมหลักสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lertwattanaruk, & Tungsirakul (2007) ที่ใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุหลักร่วมกับวัสดุทางการเกษตร เช่น แกลบ ช่วยให้เกิดการยึดเกาะตัว ไม่แตกหรือหดตัว และสร้างความแข็งแรงเมื่อก้อนดินแห้ง และในส่วนของ การหาอัตราส่วนผสมดินและแกลบที่เหมาะสมโดยนำเทคนิค การออกแบบการทดลองแบบผสมมาใช้ พบว่าสามารถ กำหนดสูตรอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมได้จริงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การหาคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการสร้างบ้านดิน (Saouchai, 2014) หรือ การหาส่วนผสมของแกลบและทรายกับดินชุดสระบุรี ที่เหมาะสมต่อการผลิตก้อนอิฐดินดิบ (Yimming, Trakoonyingcharoen, Sangkhasila, Inboonchuy, & Chungopast, 2016) และเป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) แบบมีส่วนร่วมก่อให้เกิดนวัตกรรม ต้นแบบในการสร้างเครื่องมือประกอบอาชีพเช่นเดียว งานวิจัยของ Srisongkram, & Luejai (2021) ที่พัฒนา เครื่องจักรตอกเพื่องานหัตถกรรมชุมชนแบบกึ่งอัตโนมัติ

สรุป

ชุมชนดอยปู่หมื่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ได้มีการพัฒนาและต้องการสร้างบ้านดินไว้เป็น

ที่พักอาศัย ห้องน้ำ ห้องสุขา เพื่อรองรับนักท่องเที่ยว ก่อนดินสำหรับสร้างที่พักนั้นชุมชนใช้ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ใช้วิธีอัดดินผสมกับแกลบด้วยมือลงในแบบไม้ ใช้เวลาการอัดเฉลี่ย 150 วินาทีต่อก้อน เวลารอบให้ก้อนดินแห้งเฉลี่ย 30 วัน และต้นทุนค่าแรง 1.56 บาทต่อก้อน ซึ่งเป็น ปัญหาที่ทำให้การสร้างบ้านดินล่าช้า ทางผู้วิจัยได้ ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การอัดขึ้นรูปที่สามารถ เพิ่มประสิทธิภาพการขึ้นรูปโดยใช้เวลาการอัดเฉลี่ย 84 วินาทีต่อก้อน หรือลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ เวลารอบให้ ก้อนดินแห้งเฉลี่ย 18 วัน หรือลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นในฐานแห้งประมาณ 5-9 เปอร์เซ็นต์ เป็น ค่าของก้อนดินที่เหมาะสมกับการใช้งานในขั้นตอน ต่อไป ต้นทุนค่าแรง 0.88 บาทต่อก้อน หรือลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมดินผสมแกลบที่ เหมาะสมใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม ซึ่งอัตราส่วนผสมเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมดินเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นน้ำหนักดิน 12 กิโลกรัม แกลบ 4 กิโลกรัม โดยใช้ส่วนผสม 3 กิโลกรัม ต่อการอัดขึ้นรูปก้อนดิน 1 ก้อน เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ต้นทุนการสร้างชุดอุปกรณ์เท่ากับ 13,500 บาท ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะพัฒนาต่อยอดต่อไปคือควรออกแบบวิธีการขนย้ายก้อนดินหลังจากอัดขึ้นรูปแล้วนำไปตากแห้งให้มีความสะดวกสบาย รวดเร็วและปลอดภัย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณชุมชนดอยปู่หมื่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล เงินทุนในการสร้างชุดอุปกรณ์อัดขึ้นรูป ที่พักและอาหาร

เอกสารอ้างอิง

- Baanjongguiang, A., Wattanachai, P., & Parichartpricha, R. (2016). The study of the rain washing resistance of external rubber-clay plaster of adobe walls under accelerated climate condition simulating. *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University*, 11(2), 452-464. (in Thai)
- Choowan, T. (2020). *A study of the economic value of the paperless system in the company P.C. Takashima (Thailand) Co., Ltd.* (Master's thesis). National Institute of Development Administration, Bangkok. (in Thai)
- Deepanya, W., & Suweero, K. (2019). Development of precast adobe wall panel with high corrosion resistance and good thermal insulation for energy and environmental conservation building. *RMUTT Journal of Engineering*, 17(1), 55-64. (in Thai)
- Kamput, P. (2005). The introduction of earthen house (Part 1). *RMUTT Journal of Engineering*, 6, 29-50. (in Thai)
- Keawploy, S. (2014). The optimization of developed formula for chicken ball mixed with domestic vegetables by design of experiment method. *Proceeding of Rethink: Social Development for Sustainability in ASEAN Community* (pp. 357-263). Khon Kaen: Khon Kaen University. (in Thai)
- Kererat, C., & Rungruang, S. (2019). Development of adobe bricks mixed with banana leaves fiber and coir as construction materials for earthen house. *RMUTL Engineering Journal*, 4(1), 8-15. (in Thai)
- Laoakka, S. (2021). Wisdom of building a clay house for living in Maha Sarakham province. *Journal of Cultural Approach*, 22(42), 34-43. (in Thai)
- Lertwattananaruk, P., & Tungsirirakul, J. (2007). Effect of natural materials o properties of adobe brick for earth construction. *The Journal of Architectural/ Planning Research and Studies*, 5(1), 187-199. (in Thai)
- Rodkour, P., & Kitchaijaruan, M. (2017). Formula development of Wapee (*Clausena lansium* (L.) Skeels) fruit leather product. *Proceeding of Creative RMUT and Sustainable Innovation for Thailand 4.0* (pp. 47-51). Bangkok: Rajamangala University of Technology Rattanakosin. (in Thai)
- Saouchai, T. (2014). The clay house: suitable attributes for construction and usage in Thailand. *Sripatum review of science and technology*, 6(1), 109-119. (in Thai)
- Srisongkram, W., & Lueja, W. (2021). Semi-automatic bamboo-stripes machine for community handicraft. *RMUTSB Academic Journal*, 9(2), 237-249. (in Thai)
- Surbkar, R., & Jarimopas, B. (1999). Development of sawdust-compressing machine for mushroom culture. *Thai Agricultural Research Journal*, 17(3), 268-275. (in Thai)
- Ungbhakom, V., & Thanadngarn, C. (2003). *Machine design*. Bangkok: Se-Education. (in Thai)
- Virutchai, N. (2010). *Research in curriculum and instruction*. Bangkok: Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai)
- Yimming, P., Trakoonyingcharoen, P., Sangkhasila, K., Inboonchuay, T., & Chungopast, S. (2016). The appropriate mixing of rice husk and sand with Saraburi series to make adobe brick for earth construction. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44(2), 321-326. (in Thai)
- Yubolket, V., & Settheetham, D. (2017). Quality comparison of leaf-trash chunk-compressed fuel by compressor and hand. *KKU Research Journal*, 17(4), 85-96. (in Thai)