# การก่อสร้างแบบดินอัด: ทางเลือกสำหรับสถาปัตยกรรมยั่งยืน

**Rammed Earth Construction: An Alternative for Sustainable Architecture**

อ.ดร.ภัทรนันท์ ทักขนนท์[1]

Pattaranan Takkanon, PhD.[1]

## บทคัดย่อ

ในยุคของการหวนหาสถาปัตยกรรมเขียว สถาปัตยกรรมที่อนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม ดินเป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจ เพราะไม่มีกรรมวิธีการเผาซึ่งปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับโลกเช่นกรรมวิธีของการผลิตอิฐที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างอาคาร เทคนิคการก่อสร้างโดยใช้ดินวิธีหนึ่งคือ การอัดกระทุ้ง (Ramming) โดยมีการใช้ผนังดินอัด (Rammed earth) เพื่อเป็นผนังรับน้ำหนักสำหรับอาคารที่ให้ทั้งความแข็งแรงทางโครงสร้างและความสวยงาม เป็นลักษณะเฉพาะของวัสดุ นอกจากนี้ ยังสะท้อนความเป็นสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นที่อยู่ได้อย่างยั่งยืนกับธรรมชาติ บทความนี้จึงเป็นการศึกษาวิจัยการก่อสร้างโดยใช้ดินประเภทผนังดินอัดในเชิงการออกแบบ ส่วนผสม เทคนิคการก่อสร้าง และการประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการป้องกันความร้อนและสร้างสภาวะน่าสบายในอาคาร

## คำสำคัญ

การก่อสร้างแบบดินอัด, วัสดุทางเลือก, สถาปัตยกรรมยั่งยืน

## Abstract

In search of green architecture, energy-efficient and environmentally friendly architecture, earth is an alternative material that currently captures people's interest. Unlike brick which is widely used for building construction, earth is made using non-firing process, therefore, it produces no carbon emission. One of earth construction techniques is ramming. Rammed earth wall is a load-bearing wall so it has both strength as being a structure as well as unique beauty of material. Moreover, it reflects characteristics of vernacular architecture that lives sustainably with nature. The article reveals a study of earth construction with ramming technique in particular. The study focuses on design, mixture of materials, construction technique, and application of rammed earth wall for heat protection and providing indoor thermal comfort.

## Keyword

Rammed earth construction, alternative materials, sustainable architecture

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900, ประเทศไทย.

[1] Division of Building Technology, Faculty of Architecture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

## ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการก่อสร้างในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่มักใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและก่อผนังด้วยอิฐ ที่มาจากการผลิตของภาคอุตสาหกรรม สำหรับวัสดุที่ช่างไทยมีความชำนาญในการก่อ คือ อิฐมอญ ได้จากการนำวัตถุดิบ คือ ดิน ที่มีความละเอียดในระดับ Clay ไปผ่านกระบวนการเผา ส่วนคอนกรีตมวลเบาที่เริ่มมีการใช้โดยทั่วไปเช่นกัน ได้มาจากการผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม น้ำและสารกระจายฟองอากาศ ผ่านกระบวนการอบด้วยเตาความร้อนสูงจึงเรียกว่า Autoclaved Aerated Concrete เมื่อพิจารณาจากมุมมองด้านความยั่งยืนของงานสถาปัตยกรรมโดยประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของวัสดุ (Life Cycle Assessment) จะพบว่าวัสดุเหล่านี้มีการใช้พลังงานอย่างมหาศาลนับตั้งแต่ขั้นวัตถุดิบไปจนถึงกระบวนการผลิต ส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเช่นกัน เพื่อที่จะส่งเสริมให้เกิดสถาปัตยกรรมยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม จึงควรมีทางเลือกอื่นของวัสดุและการก่อสร้างที่ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าและลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

ดินเป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งที่สอดคล้องกับแนวทางด้านความยั่งยืนดังกล่าว โดยเป็นวัสดุที่หาได้ในธรรมชาติ แม้จะมีคุณสมบัติต่างกันตามแต่ละภูมิภาค ในการก่อสร้างมักถูกใช้เพื่อสร้างผนังรับน้ำหนักที่มีความแข็งแรงทนทานโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผา และแม้เมื่อหมดอายุการใช้งานอาคารแล้วก็สามารถย่อยสลายกลับคืนสู่ธรรมชาติได้ดีกว่าวัสดุอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในท้องตลาด

เทคนิคการก่อสร้างโดยใช้ดินมีมากมาย แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย คือ เทคนิคดินปั้น (Cob) อิฐดินดิบ (Adobe) และบล็อกดินอัด (Compressed Earth Block) ซึ่งแต่ละเทคนิคต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดของตนเอง ส่วนอีกเทคนิคหนึ่งที่เป็นที่นิยมในต่างประเทศแต่ยังมีการใช้น้อยในประเทศไทย คือ ดินอัด (Rammed Earth) ซึ่งใช้ส่วนผสมและการอัดคล้ายคลึงกับบล็อกดินอัดหากแต่สามารถแสดงความงามของสีและชั้นดินที่เกิดจากการอัดได้ดีกว่า จึงน่าที่จะได้มีการศึกษาให้ลึกซึ้งทางด้านการออกแบบและเทคนิคการก่อสร้างเพื่อสามารถนำดินอัดมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน

## เนื้อหาสำคัญ

- **ดินกับสถาปัตยกรรมยั่งยืน**

จากปัญหาความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและการลดลงของทรัพยากรของโลก เกิดความเคลื่อนไหวในวงการสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม โดยมีการเผยแพร่แนวคิดดังกล่าวในรูปแบบงานเขียนนับตั้งแต่ทศวรรษ 1950 ที่เน้นเรื่องการออกแบบโดยคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศและบริบทแวดล้อม อาทิ Bioclimatic Approach to Architecture (Olgyay, 1953), Design with Climate (Olgyay, 1965), Manual of Tropical Housing and Building (Koenigsberger et al., 1973) กอปรกับการเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในทศวรรษ 1970 ทำให้ทั่วโลกหันมาให้ความสนใจกับเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากรมากขึ้น เมื่อเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานในภาคส่วนต่างๆ การใช้พลังงานในงานอาคารเป็นปัจจัยหลักปัจจัยเดียวที่มีสัดส่วนการบริโภคพลังงานถึงประมาณ 40% ของพลังงานทั้งหมด (IEA, 2009) และยังส่งอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆด้วย กลุ่มสถาปนิกและผู้ทำงานในสาขาที่เกี่ยวข้องเล็งเห็นบทบาทของของสถาปัตยกรรมในการใช้พลังงานดังกล่าวจึงได้มีการจัดประชุมวิชาการด้านสถาปัตยกรรมที่มีชื่อว่า Passive Low Energy Architecture (PLEA) ขึ้นเป็นครั้งแรกในปีค.ศ.1983 ซึ่งการประชุมดังกล่าวได้จัดขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปีมาจวบจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามในช่วงต้นมีการให้นิยาม “สถาปัตยกรรมเขียว (Green Architecture)” โดยมุ่งเน้นไปที่การประหยัดพลังงานเท่านั้น ต่อมาในปีค.ศ.1992 มีการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ณ นครริโอ เดอ จาเนโร ประเทศบราซิล และผลจากการประชุมดังกล่าว คือ การ

ประกาศ Agenda 21 เป็นแผนแม่บทของโลกเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและสภาพแวดล้อม โดยในด้านสภาพแวดล้อมมีการกล่าวถึงเรื่องการปกป้องสภาพแวดล้อมในด้านต่างๆ และแนวคิดเรื่องการพัฒนาที่ยั่งยืนนี้ก็ได้ถ่ายทอดมาสู่แวดวงสถาปัตยกรรมด้วย

ปัจจุบันมีผู้นิยมเรียกสถาปัตยกรรมว่าอยู่ในรูปแบบทั้ง"อาคารเขียว (Green Building)", "สถาปัตยกรรมเขียว (Green Architecture)" และ "สถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture)" ซึ่งแท้จริงแล้วมีข้อแตกต่างในเรื่องขอบเขตของความยั่งยืนที่สถาปัตยกรรมยั่งยืนให้ความสำคัญกับสมดุลเชิงนิเวศ (Ecological Balance) ด้วย ในขณะที่อาคารเขียวและสถาปัตยกรรมเขียวมักมุ่งเน้นที่การประหยัดพลังงานเป็นสำคัญ นอกจากนี้คำว่า อาคารเขียวกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีกระแสของการประเมินอาคารเขียวโดยองค์กรต่างๆในหลากหลายประเทศทั่วโลก แต่ไม่ว่าจะมีผู้ให้คำนิยามใดกับสถาปัตยกรรมเหล่านี้ ทั้งสถาปัตยกรรมเขียวและสถาปัตยกรรมยั่งยืนต่างก็เป็นสถาปัตยกรรมที่ลดผลกระทบด้านลบที่มีต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ วัสดุ ทรัพยากร และกระบวนการต่างๆที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยเป็นการสร้างและจัดการสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างเพื่อสุขภาพที่ดีโดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการออกแบบเชิงนิเวศ (Kibert, 1994)

แม้ในปัจจุบันอาจยังไม่มีวิธีการประเมินความยั่งยืนของงานสถาปัตยกรรมได้อย่างแม่นยำที่สุด แต่วิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินงานหรือโครงการต่างๆได้อย่างครอบคลุมที่สุด คือ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ของอาคาร อย่างไรก็ดี การประเมินดังกล่าวขึ้นอยู่กับการกำหนดขอบเขตของการประเมินว่าครอบคลุมกระบวนการใดที่เกี่ยวกับอาคารบ้างและการเปรียบเทียบยังขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้ประเมิน หากพิจารณาภายในขอบเขตเฉพาะวัสดุที่นำมาใช้กับงานอาคาร มีการเปรียบเทียบวัสดุต่างๆในเชิงของค่าพลังงานสะสมรวม (Embodied Energy) ที่นับพลังงานที่แฝงอยู่ในกระบวนการก่อสร้างนับตั้งแต่การนำวัตถุดิบมาผลิตวัสดุ กระบวนการผลิต ขนส่ง และจำหน่ายวัสดุไปยังโครงการ โดยไม่รวมพลังงานที่ใช้ในการทำงานของอาคารเมื่อเปิดใช้งานอาคารแล้วและเมื่อทิ้งวัสดุ

หากประเมินรายวัสดุ โดยรวมจะพบว่าวัสดุที่ผ่านกระบวนการในการผลิตมากย่อมมีค่าพลังงานสะสมรวมมากด้วย แต่เมื่อมีการใช้งานอาคาร อาจเป็นไปได้ที่มีการใช้วัสดุที่มีค่าพลังงานสะสมรวมต่ำ เช่น คอนกรีต อิฐ และไม้ในปริมาณมาก และใช้วัสดุที่มีค่าพลังงานสะสมรวมสูง เช่น เหล็ก ในปริมาณน้อย โดยทั่วไปการเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสมรวมเป็นรายองค์ประกอบทั้งระบบที่ใช้วัสดุแต่ละประเภทจึงเป็นประโยชน์มากกว่า ดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าระบบผนังดินอัดแบบมีซีเมนต์ผสม 5% มีค่าพลังงานสะสมรวมต่อตารางเมตรน้อยกว่าระบบผนังอิฐและคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานสะสมรวมของผนังประเภทต่างๆ

| **ASSEMBLY** | **PER EMBODIED ENERGY (MJ/m²)** |
|---|---|
| Single Skin AAC Block Wall | 440 |
| Single Skin AAC Block Wall gyprock lining | 448 |
| Single Skin Stabilised (Rammed) Earth Wall (5% cement) | 405 |
| Cavity Clay Brick Wall | 860 |
| Cavity Clay Brick Wall with plasterboard internal lining and acrylic paint finish | 906 |
| Cavity Concrete Block Wall | 465 |

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lawson (1996)

- **การก่อสร้างโดยใช้ดิน**

ดินมีบทบาทสำคัญในการก่อสร้างมาแต่โบราณ โดยเทคนิคการก่อสร้างด้วยดินซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 10 เทคนิค ดังนี้

1. ดินปั้น (Cob)
2. ดินอัด (Rammed Earth)
3. อิฐดินดิบ (Adobe)
4. ก้อนฟาง (Strawbale)
5. ดินหล่อผสมยิปซัม (Cast Earth)
6. ดินเทผสมซีเมนต์ (Poured Earth)
7. ดินในยางรถยนต์ (Earthship)
8. ดินฉาบบนโครงไม้ (Wattle and Daub)
9. กระสอบทราย (Earth Bag หรือ Sand Bag)
10. บล็อกดินอัด (Compressed Earth Block, CEB)

ในประเทศไทย บ้านดินส่วนใหญ่ใช้เทคนิคดินปั้น (Cob) อิฐดินดิบ (Adobe) และบล็อกดินอัด (Compressed Earth Block) หรือที่มีชื่อเรียกในเชิงพาณิชย์ว่า บล็อกประสาน (Interlocking Block) ทั้งนี้สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทำหน้าที่ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตบล็อกประสานไปอย่างแพร่หลาย โดยมีการจัดอบรมให้ผู้สนใจทำธุรกิจขนาดเล็กหรือผู้สนใจสร้างบ้านดินจากบล็อกประสาน รวมทั้งรับทดสอบดินจากแหล่งต่างๆทั่วประเทศ ผลสำเร็จของโครงการวัดจากการเติบโตของอุตสาหกรรมบล็อกประสานในประเทศไทย

สำหรับดินอัด (Rammed Earth) มีความคล้ายคลึงกับบล็อกประสานในการเป็นผนังรับน้ำหนักและมีส่วนผสมของวัสดุเช่นเดียวกัน โดยประกอบด้วยดินที่มีความละเอียดระดับทราย (Sand) ซีเมนต์ และน้ำ แต่บล็อกประสานมีข้อจำกัดในเรื่องรูปแบบและขนาดของบล็อกเนื่องจากผลิตด้วยเครื่องอัด Cinva Ram ที่ให้แม่พิมพ์เพียงบล็อกสี่เหลี่ยมสำหรับก่อผนังและบล็อกโค้งที่ใช้กับการสร้างบ่อน้ำหรือกำแพงโค้งรัศมีจำกัดตามกำหนดของเครื่องอัด การก่อสร้างผนังดินอัดจึงให้อิสระกับการออกแบบสถาปัตยกรรมมากกว่า โดยรูปแบบของผนังขึ้นอยู่กับการสร้างแม่แบบสำหรับการอัดกระทุ้งดิน (Takkanon & Yeung, 2008)

ภาพที่ 1 เทคนิคดินปั้น
(ที่มา: พันพรรณ จ.เชียงใหม่)

ภาพที่ 2 เทคนิคบล็อกดินอัด
(ที่มา:http://www.yimwhan.com)

- **การก่อสร้างแบบดินอัด**

เทคนิคดินอัดเป็นที่นิยมในหลายภูมิภาคทั่วโลก แหล่งใหญ่ของการก่อสร้างประเภทนี้ ได้แก่ แอฟริกาเหนือ ออสตราเลเซีย ภูมิภาคในอเมริกาเหนือและใต้ จีนและยุโรป โดยเฉพาะฝรั่งเศส เยอรมนี และสเปน นอกจากผนังดินอัดจะเป็นผนังรับน้ำหนักที่แสดงความสวยงามของสีดินแต่ละชั้นที่กระทุ้งอัดลงในแม่แบบแล้ว ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของผนังดินอัด คือ คุณสมบัติการเป็นมวลสารหน่วงความร้อน (Thermal Mass)[1] โดยพบว่าอาคารที่ก่อสร้างโดยใช้ผนังดินอัดมีระดับอุณหภูมิภายในอาคารค่อนข้างคงที่ตลอดวัน สามารถใช้ได้กับทั้งภูมิอากาศเขตอบอุ่น และเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย ช่วยสร้างสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) ให้แก่ผู้อยู่อาศัย

อย่างไรก็ตาม แม้ผนังดินอัดจะมีข้อดีหลายประการดังที่กล่าวมา เทคนิคการก่อสร้างดังกล่าวยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทยเนื่องจากต้องมีการสร้างแม่แบบ (Formwork) หากเป็นแม่แบบไม้มักใช้รับการอัดกระทุ้งได้เพียงครั้งเดียวแล้วต้องทิ้งซึ่งเป็นความสิ้นเปลือง แม่แบบเหล็กจึงมีความทนทานสามารถใช้ซ้ำได้มากกว่าแต่มีราคาแพง ในต่างประเทศมีการนำแม่แบบเหล็กที่ใช้กับการก่อสร้างคอนกรีตมาปรับใช้กับดิน (Dahman & Ochsendorf, 2005) แต่สำหรับประเทศไทยยังมีงานวิจัยเรื่องผนังดินอัดและการพัฒนาแม่แบบเหล็กสำหรับการก่อสร้างดังกล่าวจำนวนจำกัด

ภาพที่ 3 เทคนิคดินอัด
(ที่มา:http://unews.utah.edu/news_releases/rosie-joe-house-to-receive-aia-award-this-weekend/)

ภาพที่ 4 เทคนิคดินอัด
(ที่มา:http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/nkmip-desert-cultural-centre-rammed-earth-wonder.html

- **ส่วนผสมและวิธีการก่อสร้าง**

ส่วนผสมหลักสำหรับการก่อสร้างผนังดินอัด คือ ดิน ซีเมนต์ และน้ำ โดยอนุภาคของดินมีความสำคัญมากในการขึ้นรูปของโครงสร้าง หากแบ่งขนาดอนุภาคของดินตามมาตรฐานอังกฤษ จะได้ดังนี้

- Gravel (60 มม.ถึง 2 มม.)
- Sand (2 มม.ถึง 0.06 มม.)
- Sile (0.06 มม. ถึง 0.002 มม.) และ

[1] http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/thermal_mass.pdf

- Clay (เล็กกว่า 0.002 มม.)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการกำหนดช่วงขนาดอนุภาคของดินอย่างหลากหลาย (ACI Materials Journal, 1990; Alley, 1948; Jaggard, 1921; Middleton, 1992) โดยมีข้อแนะนำว่าสำหรับผนังดินอัดแบบที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ ควรมีสัดส่วนของ Sand ไม่น้อยกว่า 50% และควรมีถึง 75% หากเป็นไปได้โดยให้ส่วนที่เป็น Clay ซึ่งมีความละเอียดสูงมีน้อยกว่า 25% (Maniatidis & Walker, 2003)

สำหรับดินที่มีการนำมาใช้ในการก่อสร้างผนังดินอัดมักเป็นดินลูกรัง ซึ่งดินจากแต่ละแหล่งมีลักษณะเฉพาะในเชิงคุณสมบัติ ขนาดอนุภาค และสีแตกต่างกัน

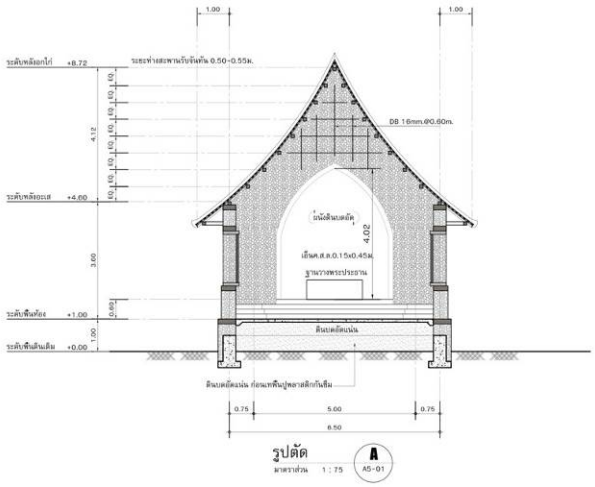
การออกแบบผนังดินอัดต้องคำนึงถึงสัดส่วนความสูงและความหนาของผนัง และเนื่องจากเป็นผนังรับน้ำหนัก ผนังจึงมักมีความหนาไม่น้อยกว่า 20-30 เซนติเมตร การก่อสร้างต้องมีการเตรียมฐานรากเพื่อรับน้ำหนักของโครงสร้างด้วย ทั้งนี้กำลังอัดที่ต้องการต้องไม่น้อยกว่า 70 ksc และอัตราการซึมน้ำต้องไม่เกิน 15% โดยน้ำหนัก

ภาพที่ 5 ฐานราก คสล. สำหรับรับน้ำหนักโครงสร้าง

ภาพที่ 6 ผนังดินอุโบสถภาคเหนือ

- **กรณีศึกษา**

โครงการก่อสร้างอุโบสถดิน 4 ภาค 9 แห่ง ตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อน้อมเกล้าถวายเป็นกุศล ในวโรกาสมหามงคลที่สมเด็จพระญาณสังวร สมเด็จพระสังฆราช สกลมหาสังฆปริณายก เจริญพระชนมายุ 100 พรรษา เป็นโครงการเพื่อให้วัดที่ยังขาดแคลนอุโบสถ ได้มีอุโบสถประกอบสังฆกรรมตามกิจของสงฆ์ และเป็นการฝึกวิชาชีพแก่ผู้สนใจการทำบ้านดิน เพื่อนำไปประยุกต์ในการก่อสร้างบ้านหรืออาคารที่มีประโยชน์ใช้สอยเหมาะสมกับท้องถิ่นต่อไป




ภาพที่ 7 แบบอุโบสถภาคเหนือ วัดป่าห้วยปางห้วยเม็งเฉลิมพระเกียรติ ต.ดอนเปา อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่

จากโครงการดังกล่าว สามารถเรียนรู้เทคนิคการก่อสร้างแบบดินอัด ได้ดังนี้

- *การเลือกดิน* สำหรับการก่อสร้างแบบดินอัด ควรหาแหล่งดินจากพื้นที่ใกล้กับที่ตั้งโครงการ โดยไม่ใช้หน้าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ เลือกดินในพื้นที่ซึ่งอยู่ระหว่างการขุดบ่อเพื่อเก็บกักน้ำทางการเกษตร ความลึกประมาณ 8-10 เมตร ระยะทางห่างจากสถานที่ก่อสร้างประมาณ 10 กิโลเมตร ได้ดินที่มีองค์ประกอบที่เหมาะสม 2 โทนสี

ภาพที่ 8 การเลือกดินในพื้นที่ใกล้กับที่ตั้งโครงการ

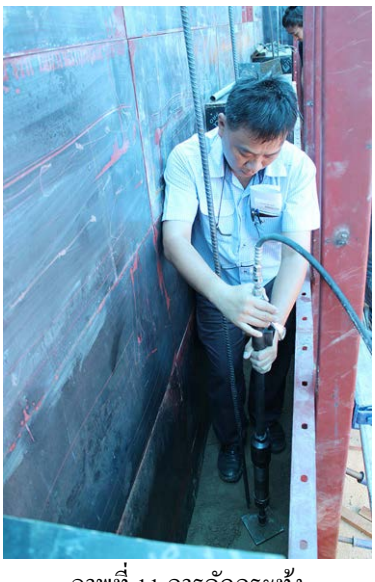
ภาพที่ 9 การเตรียมแม่แบบเหล็ก

- *การเตรียมพื้นที่* โดยเตรียมฐานรากคสล. สำหรับความหนาผนัง 40 เซนติเมตร เสริมเหล็กข้ออ้อยขนาด 5 หุน ในแนวตั้งตลอดความสูง ทะลุขึ้นไปเชื่อมกับอะเสเหล็ก

- *การจัดเตรียมแม่แบบ* ใช้แบบเหล็ก ขนาด 0.5 x 1.5 เมตร พร้อมเหล็กเข้ามุม ยึดด้วยเสาเหล็ก ขนาด 4 x 4 นิ้ว สูง 4 เมตร พร้อมระบบค้ำยัน 4 จุด ตลอดระยะความสูง โดยไม่มี tie rod ร้อยระหว่างแบบ ทำให้จะได้ผิวสัมผัสที่เรียบขึ้นและพื้นที่ในการอัดได้สะดวกขึ้น

- *การเตรียมส่วนผสม* นำดินมาร่อนเศษพืชและหินก้อนใหญ่ออกด้วยตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว จากนั้นจึงผสมดินกับปูนซีเมนต์ขาวปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วน 10 : 1 (ประมาณ 9 %) พร้อมควบคุมความชื้นประมาณ 10 % ขณะอัด

ภาพที่ 10 การเตรียมส่วนผสม



ภาพที่ 11 การอัดกระทุ้ง

- *การอัดกระทุ้ง* เทส่วนผสมลงในแบบแล้วทำการอัดกระทุ้งทุกระยะความสูง 10 เซนติเมตร โดยบดอัดด้วยเครื่อง Pneumatic Rammer ขับเคลื่อนด้วยปั๊มลมโรตารี่ ขนาด 90 แรงม้า พร้อมกัน 4 ชุด

ภายหลังการอัดกระทุ้งสามารถถอดแบบออกได้ทันทีเพราะดินเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นในการยึดเกาะของอนุภาค สามารถคงรูปได้ ภายหลังถอดแบบควรปล่อยผนังทิ้งไว้โดยไม่มีการบ่ม เป็นการปล่อยให้ผนังดินได้"หายใจ" แลกเปลี่ยนความชื้นภายในกับอากาศภายนอก อุโบสถนี้ใช้เวลาสร้างผนังโดยรอบรวม 14 วัน ทั้งนี้ระหว่างก่อสร้างต้องควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมให้พอเหมาะ เมื่อสัมผัสจะไม่แห้งหรือเปียกแฉะจนเกินไปที่จะทำให้ผิวผนังดินเกาะติดแม่แบบ หากมีความชื้นเหมาะสมเมื่อถอดแบบจะได้ผนังดินอัดผิวเรียบ มีความแข็งแกร่งและสวยงาม

โดยสรุปการก่อสร้างแบบดินอัด เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรพิจารณาสำหรับการออกแบบและก่อสร้างสถาปัตยกรรมยั่งยืน เนื่องจากมีต้นทุนวัสดุและพลังงานในการผลิตต่ำจึงเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมและยังดีต่อการต้านทานความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร โครงการที่เหมาะสำหรับการก่อสร้างแบบนี้ควรตั้งอยู่ใกล้แหล่งดินธรรมชาติที่มีลักษณะเหมาะแก่การทำโครงสร้างผนังดินรับน้ำหนัก แต่เพื่อลดความยุ่งยากในการทำแม่แบบ ควรได้มีการศึกษาวิจัยขั้นต่อไปเพื่อพัฒนาแม่แบบที่มีความแข็งแรง ใช้ก่อสร้างได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว อันจะทำให้เทคนิคการก่อสร้างแบบดินอัดนี้เป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมมากขึ้น

## การอ้างอิง


- ACI Materials Journal Committee Report, 1990. State-of-the-art Report on Soil Cement, *ACI Materials Journal*. July-August, pp. 395-417.
- Alley, P.J., 1948. Rammed Earth Construction, *New Zealand Engineering*, June 10, pp.582.
- Dahman, J. & Ochsendorf, J., 2005. Boston Society of Architects Design Research Grants.
- El-Haggar, S.M., 2007. *Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to-Cradle for Sustainable Development*, Academic Press.
- International Energy Agency (IEA), 2009. *Key World Energy Statistics*, Paris.
- Jaggard, W.R.,1921. Experimental Cottages; A report of the work of the Department at Amesbury, Wiltshire, HMSO: Department of Scientific and Industrial Research, London, UK.
- Kibert, C.J., 1994. Principles of Sustainable Construction, *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Construction*, Tampa, Florida, pp. 1-9.
- Koenigsberget, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A. and Szokolay, S.V., 1973. *Manual of Tropical Housing and Building: pt.1: Climatic Design*. Longman, London.
- Lawson, B., 1996. Buildings Materials, Energy and the Environment, RAIA, Canberra.
- Maniatidis, V. & Walker, P., 2003. A review of Rammed Earth Construction. [internet]. Available at: http://staff.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf [เข้าเยี่ยมชม 13 กันยายน 2556]
- Olgyay, V., 1953. Bioclimatic Approach to Architecture. Bldg. Res. Adv. Board, Conf. Report No.5. National Research Council, Washington DC.
- Olgyay, V., 1965. *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, Princeton.
- Takkanon, P. & Yeung, L., 2008. The Use of Construction Debris for Rammed Earth Construction, *Proceedings of CDAST 2008*, The Council of Deans of Architecture School of Thailand, Phitsanulok.