

การก่อสร้างและค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุอาคารผนังดินอัด Construction and Embodied Energy Rammed Building

ยุทธนา เกะกิ่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาการออกแบบและบริหารงานก่อสร้าง
คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี 25000

Yutthana Korking

Assistant Professor, Department of Construction Design and Management
Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut's University of Technology
North Bangkok Prachinburi Campus Prachin Buri Province, Thailand, 25000
Email: yutthana.k@fitm.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย คือการทดสอบคุณสมบัติของดิน โดยการทดลองใช้ดิน 2 ชนิด คือ ดินเหนียวและดินลูกรัง ที่ผสมแกลบและฟาง และจัดทำตารางเพื่อช่วยออกแบบผนังดินอัดก่อสร้างเพื่อสรุปขั้นตอนและเทคนิค ทั้งคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากกรอบอาคาร และหาค่าพลังงานสะสมเปรียบเทียบกับวัสดุผนังอื่น ๆ

ผลการวิจัยพบว่า ค่ากำลังแรงอัดของดินเหนียวจะสูงกว่าดินลูกรัง แรงอัดของดินเหนียวที่มีอายุ 28 วัน คือ 15.02 กก./ตร.ซม. ขณะที่ดินลูกรัง คือ 3.71 กก./ตร.ซม. เครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นตารางที่สามารถออกแบบอาคารได้สองชั้น ความหนาของผนัง 40-60 ซม. และความสูง 2.50-3.50 ม. ขนาดห้อง 3.00-4.50 ม. ดินลูกรัง เป็นดินที่ถูกนำไปสร้างอาคารผนังดินอัด เพราะที่อยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้าง กำลังแรงอัดที่ใช้ในการออกแบบคือ 1.39 กก./ตร.ซม. อาคารผนังดินอัดที่ได้ก่อสร้าง มีพื้นที่ใช้สอย 171.00 ตร.ม. สำหรับการก่อสร้างดินอัดใช้แรงงานมากกว่าการก่อสร้างทั่วไป ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ OTTV อยู่ที่ 22.01 วัตต์/ชั่วโมง การหาค่าพลังงานสะสมวัสดุรวมอาคารผนังดินอัด คือ 11,285.07 กิโลวัตต์ ซึ่งน้อยกว่าผนังอิฐและผนังบล็อกซีเมนต์

คำสำคัญ: ผนังดินอัด, การถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร, ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุ

Abstract

Research Objectives are soil properties testing by experiment was performed using two types of soil: clay and red soil that mixed with husk and straw. And Making the table to help design the Rammed Earth wall. That to Construction and summarize procedures and techniques. Calculation the heat transfers from the building. Compare with other wall materials.

The research found the compressive strength of clay is higher than that of clay soils. The compressive strength days of clay 28th clay soil is 15.02 ksc, whereas red soil is 3.71 ksc. The Tool was developed is tables that can design a building is two-story, wall thickness are 40-60 cm. And height of 2.5-3.50 meters. The room size is 3.00-4.50 meters. Red soil is used to build the rammed earth building, because of that near the construction site. The compressive strength used in the design was 1.39 ksc. The building had two types walls with area of 171.00 square meters. For Rammed construction use labors than general construction, because of use that labors for compaction a wall, but use less skill labor. The total heat transfer of OTTV is 22.01 Watt/hour. The cumulative energy value of wall in the rammed building is 11,285.07 kw, which is less than the brick wall and cement block wall.

Keywords: Rammed House, Overall Thermal Transfer Value, Embodied Energy

Received: December 19, 2019; **Revised:** December 23, 2019; **Accepted:** December 30, 2019

1. บทนำ

Ciancio, Daniela & Beckett, Christopher. (2013) กล่าวไว้ว่า การใช้วัสดุก่อสร้างประเภทต่าง ๆ จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลถึงภาวะโลกร้อนแนวความคิดการประหยัดพลังงานในอาคารไม่ใช่คำนึงถึงทิศทางแต่ลดการใช้ระบบปรับอากาศการใช้ฉนวนกันความร้อนเท่านั้นต้องพิจารณาถึงการใช้พลังงานทั้งระบบของวัสดุในวัฏจักร (Life-Cycle) ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ การผลิตของวัสดุ การใช้งานอาคาร การรื้อถอนอาคาร การนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้น จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาการออกแบบและการก่อสร้างบ้านผนังดินอัดที่ใช้วัสดุในท้องถิ่นกระบวนการก่อสร้างไม่ซับซ้อนจะสามารถลดปัญหาทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดการใช้พลังงานในวัฏจักรของวัสดุพร้อมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยได้จริง โดยหากเผยแพร่แก่นักออกแบบ ผู้ประกอบการ ผู้รับเหมาก่อสร้าง วิศวกร และประชาชนโดยทั่วไป จะเป็นทางเลือก ในการปลูกสร้างจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังลดสภาวะโลกร้อนให้น้อยลง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อทดสอบวัสดุและพัฒนาวิธีการการออกแบบอาคารผนังดินอัด 2 ชั้น
- 2.2 เพื่อก่อสร้างอาคารผนังดินอัด 2 ชั้น ให้สร้างได้จริง
- 2.3 เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนและพลังงานสะสมวัสดุของอาคารผนังดินอัด

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การก่อสร้างด้วยเทคนิคดินอัด (Rammed Earth)

Bui, Q.B., Morel, J.C., Venkatarama Reddy, B.v. and Ghayad, (2009) และ McHenry, Paul Graham. (1984) ได้กล่าว ไว้ว่า เป็นวิธีการก่อสร้างที่ใช้ผนังรับแรง โดยการอัดดินที่ผสมกับน้ำทำให้เกิดความชื้นเพื่อการบดอัด โดยการกระทุ้งด้วยอุปกรณ์ภายในแบบหล่อที่สร้างชั้นที่มีช่องในการบดอัดเท่ากับความกว้างของผนังเมื่อแห้งแล้วก็ถอดแบบออกค่อย ๆ ทำสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ เหมือนการหล่อผนังคอนกรีต Richard Burt (2005) ซึ่งอยู่ในคณะวิจัยของ Texas A & M University ได้ทำการก่อสร้างบ้านดินอัดตามภาพที่ 1 โดยแสดงการคัดเลือกดิน การออกแบบและก่อสร้างบ้านดินอัดและสรุปขั้นตอนไว้ Matthew Hall and Youcef Djerbib, (2004). ได้ระบุไว้ว่า ซึ่งวิธีดังกล่าวทำให้ผนังแข็งแรงมากสามารถก่อสร้างได้มากกว่า 2 ชั้น



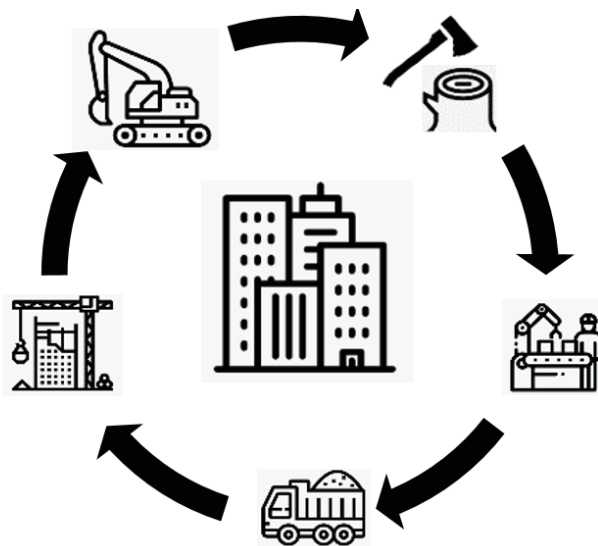
ภาพที่ 1 วิธีการสร้างอาคารด้วยเทคนิคดินอัด
ที่มา: Richard Burt (2005)

3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) หมายถึง ดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่ที่มีการปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังอาคารจะเริ่มต้นโดยการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังในแต่ละด้าน (OTTVi) ก่อน จากนั้น จึงนำค่าที่ได้ของผนังแต่ละด้านมาคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามขนาดพื้นที่ของผนังและในด้านรวมกันเพื่อให้ได้ค่า OTTV

3.3 พลังงานสะสมรวมวัสดุ (Embodied Energy)

การหาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุ คือการหาปริมาณพลังงานที่ใช้กับวัสดุตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ การผลิต การขนส่ง การก่อสร้าง และรื้อถอนอาคาร สะสมรวมทุกขั้นตอน การวิเคราะห์ หาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุจะต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐาน ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุของหน่วยย่อยวัสดุ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุจากการศึกษาของ (Richard Burt, 2005) ได้ศึกษา ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุในการก่อสร้างมาศึกษา และนำค่าต่าง ๆ มาพัฒนาต่อเพื่อใช้ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 2 พลังงานสะสมวัสดุที่ได้จากขั้นตอนต่าง ๆ

4. วิธีวิจัย

โดยมีขั้นตอนตามหัวข้อ และรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบสัดส่วนผสมดิน

ผู้วิจัยทำการทดลองนำดิน 2 กลุ่ม ได้แก่ ดินเหนียวและดินลูกรัง ใช้ในการทดลอง โดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำพวกแกลบและฟางข้าวมาผสมร่วมกับดิน แบ่งเป็นอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมทดลอง

ลำดับ	ส่วนผสม	อัตราส่วนโดยปริมาตร ดิน : แกลบ : ฟางข้าว
1	ดินเหนียว	-
2	ดินเหนียวผสมแกลบ	4 : 1.5
3	ดินเหนียวผสมฟางข้าว	4 : 1.5
4	ดินเหนียวผสมแกลบและฟางข้าว	4 : 1.0 : 1.0
5	ดินลูกรังล้วน	-
6	ดินลูกรังผสมแกลบ	4 : 1.5
7	ดินลูกรังผสมฟางข้าว	4 : 1.5
8	ดินลูกรังผสมแกลบและฟางข้าว	4 : 1.0 : 1.0

4.2 การทดสอบกำลังอัดของก้อนดิน

การทดสอบกำลังอัดของก้อนดิน จากที่ Jayasinghe, c. and Kamaladasa, N. (2007) ได้กล่าวไว้ในเรื่องของการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการทดสอบตามมาตรฐาน ที่แสดงการทดสอบกำลังอัดของดินตัวอย่าง โดยใช้แบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม. เพื่อหาค่าการรับน้ำหนักหน่วยแรงอัดสูงสุด ในระยะเวลาที่ 7, 14 และ 28 วัน โดยการนำก้อนตัวอย่างมาทดสอบหาค่าหน่วยแรงอัด และเปรียบเทียบการรับน้ำหนักหน่วยแรงอัด ซึ่งการทดสอบในขั้นตอนนี้ได้นำดินใส่แบบลูกบาศก์ใส่จำนวน 3 ชั้น แล้วตบเป็นชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง นำดินมาตากแดดแล้วเก็บไว้ในที่ร่ม เพื่อจะนำมาทดสอบ กำลังอัด (Compression Test) ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing โดยทำการทดสอบทั้งหมด 72 ตัวอย่าง จาก 8 ส่วนผสมที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้



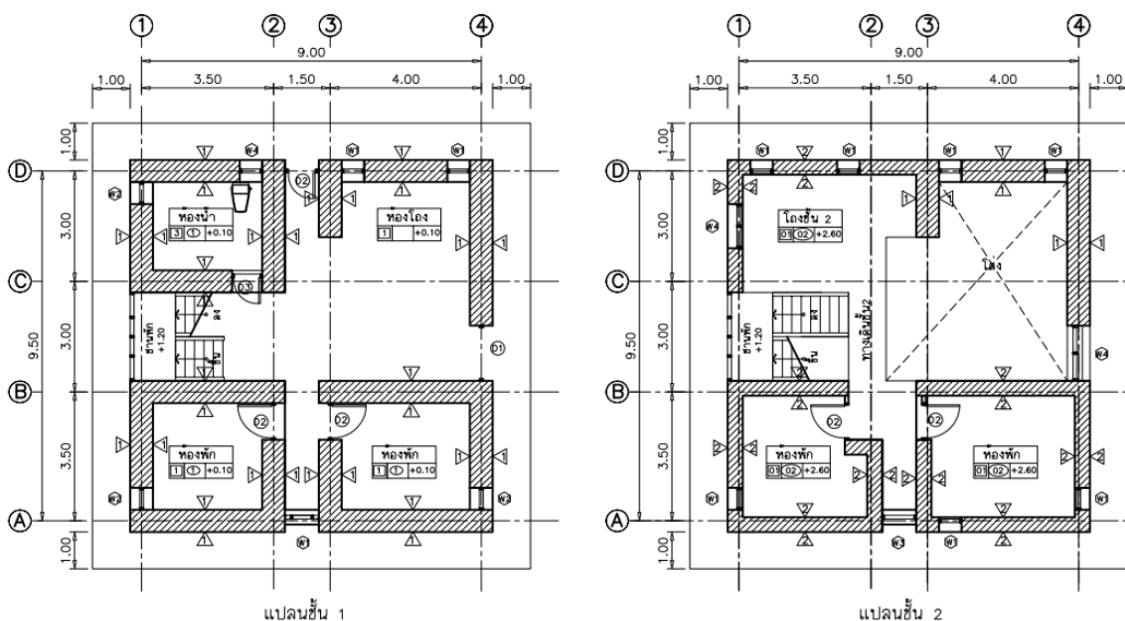
ภาพที่ 3 การทดสอบค่ากำลังอัดของดินด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing

4.3 การออกแบบผนังดินอัด

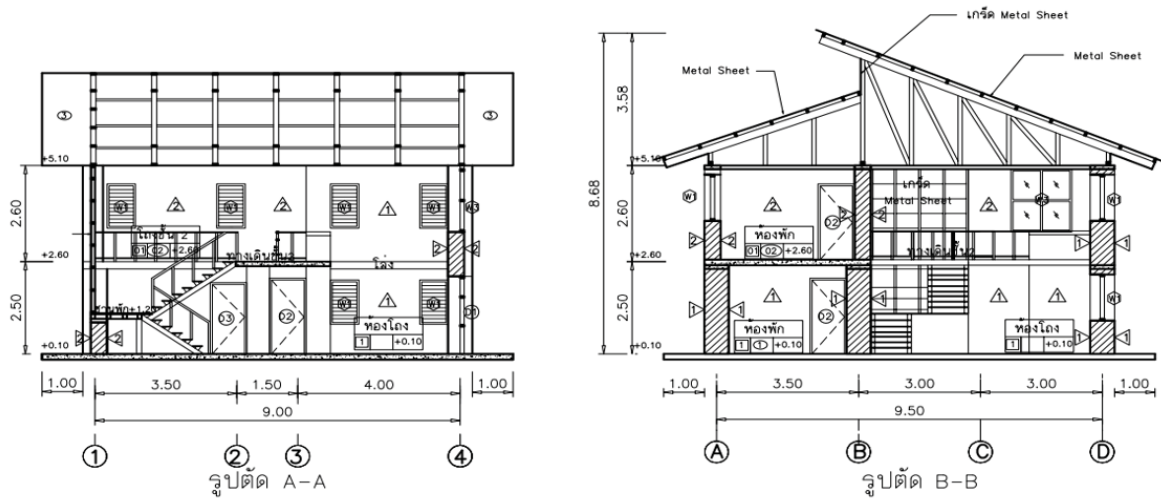
Gerald W.May (1983) ได้แสดงค่าหน่วยแรงอัดและอัตราขูดที่ยอมรับได้ของดิน โดยกำหนดเป็นค่าแรงอัดของดินที่ใช้ในการออกแบบ หมายถึง ดินจะมีหน้าที่รับแรงอัดจากน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักจร เพื่อความปลอดภัย ผู้วิจัยจะนำวิธีลดค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีต มาประยุกต์ใช้กับดินอัด จากพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่กำหนดค่าหน่วยแรงอัดแรงอัดคอนกรีตใช้งานออกแบบ (f_c) ไม่เกินร้อยละ 37.50 ของค่าหน่วยแรงอัดประลัยคอนกรีต ($f_{c'}$) หรือ $f_c = 0.375f_{c'}$ แต่ต้องไม่เกิน 65 กก./ตร.ซม. ซึ่งงานวิจัยนี้จะเรียกว่า ค่าหน่วยแรงอัดดิน ใช้งานออกแบบ (f_c) มาจัดทำตารางค่าหน่วยแรงอัดเพื่อการออกแบบผนังดินอัด จากการทดลอง หาค่าหน่วยแรงอัดของดินที่ทำการทดลองของดิน 8 ชนิด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หาค่าหน่วยแรงอัดดินอัดเพื่อการออกแบบ

ลำดับ	ประเภทดิน	f_c '(ที่ 28 วัน)	ค่าหน่วยแรงอัดเพื่อการออกแบบผนังดินอัด(f_c) 0.375 $f_{c'}$ (กก./ตร.ซม.)
		กก./ตร.ซม.	
1	ดินเหนียว	15.02	5.63
2	ดินเหนียว + แกลบ	12.71	4.77
3	ดินเหนียว + ฟางข้าว	10.88	4.08
4	ดินเหนียว+แกลบ	9.61	3.60
5	ดินลูกรัง	3.71	1.39
6	ดินลูกรัง + แกลบ	2.14	0.80
7	ดินลูกรัง + ฟางข้าว	2.74	1.03
8	ดินลูกรัง+แกลบ+ฟางข้าว	2.44	0.92
2	ดินเหนียว + แกลบ	12.71	4.77



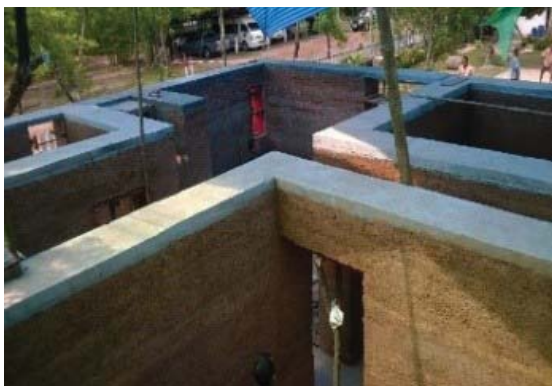
ภาพที่ 4 แปลนอาคาร



ภาพที่ 5 รูปตัดอาคาร

4.4 การก่อสร้างอาคารดินอัด

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองนำดินลูกรัง ซึ่งเป็นดินที่มีทั่วไปในพื้นที่วิจัย นำมาก่อสร้างอาคารผนัง ดินอัด โดยเป็นผนังลักษณะดินลูกรังอัดโดยไม่มีการฉาบผิว การก่อสร้างจะใช้วิธีการกระทุ้งดิน ให้แน่นโดยตุ้มน้ำหนัก ขนาด 7 กก. ทำการอัดขึ้นทีละชั้น ๆ ละประมาณ 10 ซม. ให้ได้ความสูงของผนังที่ออกแบบ ในการเคลือบผิวใช้แป้งเปียกผสมน้ำมันพืช และใช้ไม้ไผ่ช่วยในการเสริมแทนเหล็กเสริม และช่องประตูและหน้าต่าง สำหรับงานโครงสร้างอื่น ๆ เช่น หลังคา พื้น จะเป็นการใช้โครงสร้างที่ใช้อยู่ทั่วไปได้ แสดงตามภาพที่ 6





ภาพที่ 6 ขั้นตอนการก่อสร้าง

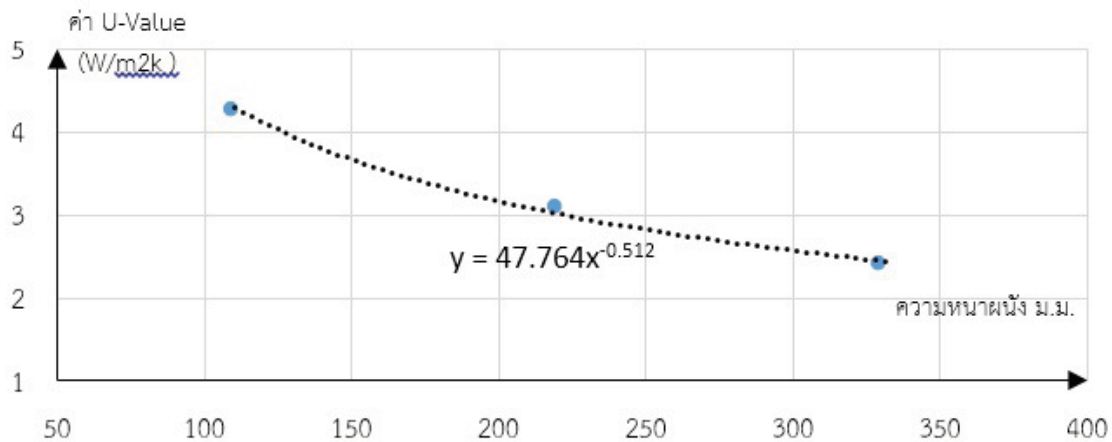
4.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value ; OTTV)

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2554) ได้กำหนดวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร โดยค่า OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนด้านนอกของผนังด้านที่พิจารณา โดยมีหน่วยเป็น วัตต์/ตร.ม. ประเทศไทยนั้น ได้มีเกณฑ์ให้อาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานต้องมีค่า OTTV เช่น อาคารสำนักงาน ต้องมีค่า OTTV เท่ากับหรือน้อยกว่า 50 วัตต์/ตร.ม. แต่ข้อบังคับดังกล่าว ไม่ถูกบังคับใช้กับบ้านพักอาศัย ผู้วิจัยจะใช้วิธีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยต้องทำการหาขนาดพื้นที่ของผนัง ตามตารางที่ 3 ที่ได้จากอาคารที่ออกแบบไว้ตามทิศต่าง ๆ เพราะแต่ละทิศจะมีวิธีหาค่าถ่ายเทความร้อนแตกต่างกันเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาค่า OTTV

ตารางที่ 3 สรุปค่าพื้นที่ผนังและพื้นที่หน้าต่าง

ทิศของผนัง	พื้นที่ผนัง(ตารางเมตร)	พื้นที่หน้าต่าง(ตารางเมตร)
ทิศเหนือ	58.76	5.28
ทิศใต้	50.31	5.04
ทิศตะวันออก	52.40	6.20
ทิศตะวันตก	56.00	4.40

สำหรับค่าความร้อนที่สูญเสียต่อตารางเมตร หรือ U-Value ของวัสดุที่สัมพันธ์กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก ผู้วิจัยได้นำงานศึกษาของ McHenry, Paul Graham (1984) ที่ได้ศึกษาสำหรับ U-Value ของผนังดินอัด พบว่า มีการศึกษาที่ความหนา 110 มม. 220 มม. และ 330 มม. ซึ่งผนังที่จะสร้างมีขนาดที่แตกต่างกัน คือ 400 มม. และ 600 มม. ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการพัฒนากราฟสำหรับหาค่า U-Value ของผนังดินอัดในความหนาอื่น ๆ ตามภาพที่ 7 จากรูปพบว่า หากผนังดินอัดหนา 400 มม. ค่า U-Value จะมีค่า 2.22 W/m²K. ผนังดินอัด หนา 500 มม. ค่า U-Value จะมีค่า 1.98 W/m²K. และผนังดินอัดหนา 600 มม. ค่า U-Value จะมีค่า 1.81 W/m²K.



ภาพที่ 7 กราฟหาค่า U-Value ของผนังดินอัดความหนาต่าง ๆ

4.6 การหาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุ (embodied energy)

การหาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุ คือ การหาปริมาณพลังงานที่ใช้กับวัสดุตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัสดุ การผลิต การขนส่ง การก่อสร้าง และรื้อถอนอาคาร สะสมรวมทุกขั้นตอน โดยเป็นการหาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุของผนังดินอัด และเปรียบเทียบกับพลังงานสะสมรวมวัสดุของวัสดุ ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังอิฐบล็อกฉาบปูน จะต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐาน ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุของหน่วยย่อยวัสดุ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้หาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุจากการศึกษาของ Richard Burt. (2005) และ Miloslave Bagona, Dusan Katunsky. (2010) ที่ได้ศึกษาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุในการก่อสร้าง และรวมถึงผนังดินอัดไว้ดังตารางที่ 4 ค่าพลังงานจะทำการหาค่าออกมาเป็นปริมาณพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนคือ BTU ซึ่ง 1 BTU มีค่าเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ 3.414442595 กิโลวัตต์ (kw) ในงานวิจัยนี้จะหาค่าพลังงานออกมาเป็นกิโลวัตต์

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุ

รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าพลังงานสะสม(BTU)
ปูนทราย	8	กก./ตร.ม.	71,603.20
อิฐมอญ 21/2"x31/2"x71/2" นิ้ว	0.38	กก./ก้อน	13,570.00
อิฐบล็อก 39x19 ซม. หนา 3 นิ้ว	7.60	กก./ก้อน	29,018.00
อิฐมวลเบา 20x60 ซม. หนา 7.5 ซม.	5.56	กก./ก้อน	19,040.00
ก้อนดินขนาด 20x10x40 ซม.	13.67	กก./ก้อน	2,500.00

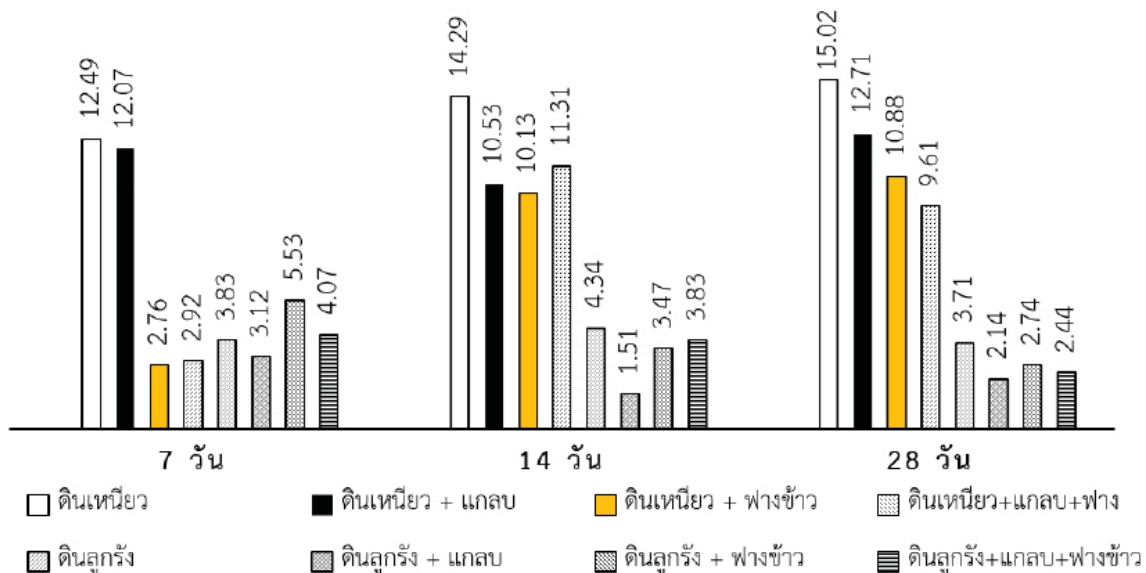
ที่มา: Richard Burt. (2005) และ Miloslave Bagona, Dusan Katunsky. (2010)

5.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของดินแต่ละชนิด

จากผลการทดสอบการรับกำลังอัดของดินตัวอย่างในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม. ตามภาพที่ 8 พบว่าดินเหนียวที่มีค่าการรับกำลังมากที่สุดอยู่ที่ 14 วัน 14.29 กก./ตร.ซม. ดินเหนียวที่มีส่วนผสมแกลบที่มีค่าการรับกำลังมากที่สุดอยู่ที่ 28 วัน มีค่า 12.71 กก./ตร.ซม. ดินลูกรังที่มีค่าการรับกำลังมากที่สุดอยู่ที่ 14 วัน มีค่า 4.34 กก./ตร.ซม. ดินลูกรังที่มีส่วนผสมฟางข้าวที่มีค่าการรับกำลังมากที่สุด อยู่ที่ 7 วัน มีค่า 5.53 กก./ตร.ซม. โดยสังเกตได้ว่า กลุ่มดินเหนียวโดยเฉลี่ย จะสามารถรับกำลังได้ดีกว่ากลุ่มดินลูกรัง

5.2 การสร้างตารางการออกแบบผนังดินอัด

ผู้วิจัยได้พัฒนาตารางเพื่อการเลือกขนาดความหนาผนังและความสูงของผนัง โดยสามารถ ในการออกแบบอาคารดินอัดอาคารไม่เกิน 2 ชั้น จำนวนทั้งหมด 41 ตาราง ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชนิดผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing Structure) สำหรับพื้นที่สำเร็จรูปซึ่งเป็นการถ่ายน้ำหนักพื้นแบบ 2 ทาง โดยกำหนดไว้ 4 ช่วง คือ ช่วงพาด 3.00 3.50 4.00 และ 4.50 ม. เพื่อนำไปเลือกขนาดผนังจากตารางที่ได้พัฒนาขึ้น โดยสามารถนำไปใช้ได้กับดินทุกประเภท การออกแบบจะใช้ค่าหน่วยแรงอัดของดินเป็นหลัก ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องแยกตารางของดินแต่ละประเภทอีก เพื่อความปลอดภัยงานวิจัยนี้ ได้นำพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งกำหนดน้ำหนักบรรทุก เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ดังนั้น จึงทำการกำหนดค่าน้ำหนักทั้งค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ทั้งค่าน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ซึ่งตารางที่ใช้ในการออกแบบในงานวิจัยนี้ แสดงตามตารางที่ 5



ภาพที่ 8 ค่าพลังงานสะสมวัสดุผนังแต่ละประเภท (kw)

ตารางที่ 5 ตารางสำหรับใช้หาขนาดผนังดินอัดตามความสูงผนัง

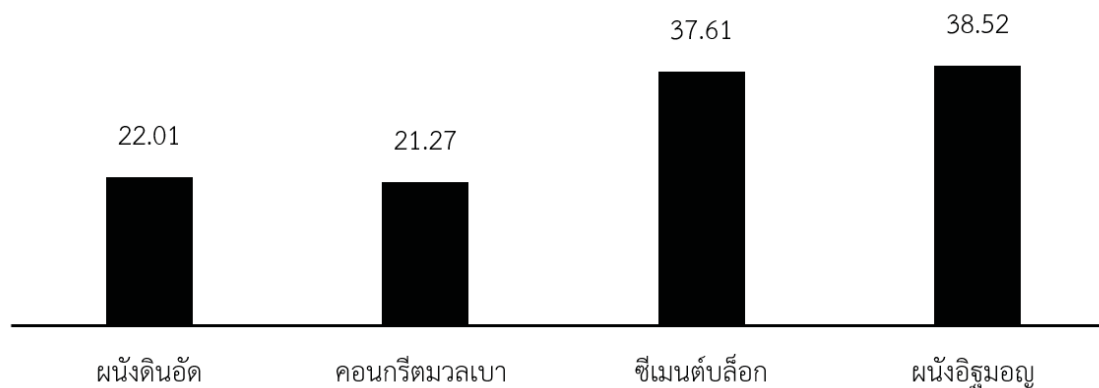
ความสูงผนัง(ม.)	น้ำหนักบรรทุก(ก.ก.)/ความหนาผนัง(ซ.ม.)และ น้ำหนักกระทำต่อตารางเซนติเมตร (ksc)									
	40	ksc	45	ksc	50	ksc	55	ksc	60	ksc
6.00	9,292.07	2.32	9,827.81	2.18	10,363.55	2.07	11,435.03	2.08	10,899.29	1.82
5.80	9,077.78	2.27	9,586.73	2.13	10,095.68	2.02	11,113.59	2.02	10,604.63	1.77
5.50	8,863.48	2.22	9,345.65	2.08	9,827.81	1.97	10,792.14	1.96	10,309.98	1.72
5.00	8,649.19	2.16	9,104.56	2.02	9,559.94	1.91	10,470.70	1.90	10,015.32	1.67
4.80	8,434.89	2.11	8,863.48	1.97	9,292.07	1.86	10,149.26	1.85	9,720.66	1.62
4.50	8,220.59	2.06	8,622.40	1.92	9,024.20	1.80	9,827.81	1.79	9,426.01	1.57
4.25	8,006.30	2.00	8,381.32	1.86	8,756.33	1.75	9,506.37	1.73	9,131.35	1.52
4.00	7,792.00	1.95	8,140.23	1.81	8,488.46	1.70	9,184.92	1.67	8,836.69	1.47

ตารางที่ 5 ตารางสำหรับใช้หาขนาดผนังดินอัดตามความสูงผนัง (ต่อ)

ความสูงผนัง (ม.)	น้ำหนักรรทุก(ก.ก.)/ความหนาผนัง(ซ.ม.)และ น้ำหนักกระทำต่อตารางเซนติเมตร (ksc)									
	40	ksc	45	ksc	50	ksc	55	ksc	60	ksc
3.50	7,577.71	1.89	7,899.15	1.76	8,220.59	1.64	8,863.48	1.61	8,542.04	1.42
3.25	7,309.84	1.83	7,658.07	1.70	7,952.73	1.59	8,542.04	1.55	8,247.38	1.37
3.00	7,149.12	1.79	7,416.99	1.65	7,684.86	1.54	8,220.59	1.49	7,952.73	1.33
2.80	6,934.82	1.73	7,175.90	1.59	7,416.99	1.48	7,899.15	1.44	7,658.07	1.28
2.50	6,720.53	1.68	6,934.82	1.54	7,149.12	1.43	7,577.71	1.38	7,363.41	1.23

5.3 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร

ค่า OTTV รวมของอาคาร ผนังคอนกรีตมวลเบา คือ 21.27 วัตต์/ตร.ม ซึ่งมีค่าต่ำสุดใกล้เคียงกับผนังดินอัดที่ 22.01 วัตต์/ตร.ม OTTV ของซีเมนต์บล็อก คือ 37.61 วัตต์/ตร.ม และ OTTV รวมของบ้านผนังอิฐมวลเบา คือ 38.52 วัตต์/ตร.ม พบว่า ผนังดินอัดจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังต่ำ โดยใช้ความหนาของผนังวัสดุดินที่มีความเป็นฉนวนในวัสดุ นั้นแสดงถึง อาคารดินอัด จะลดการเปิดเครื่องทำความเย็นลงไปได้

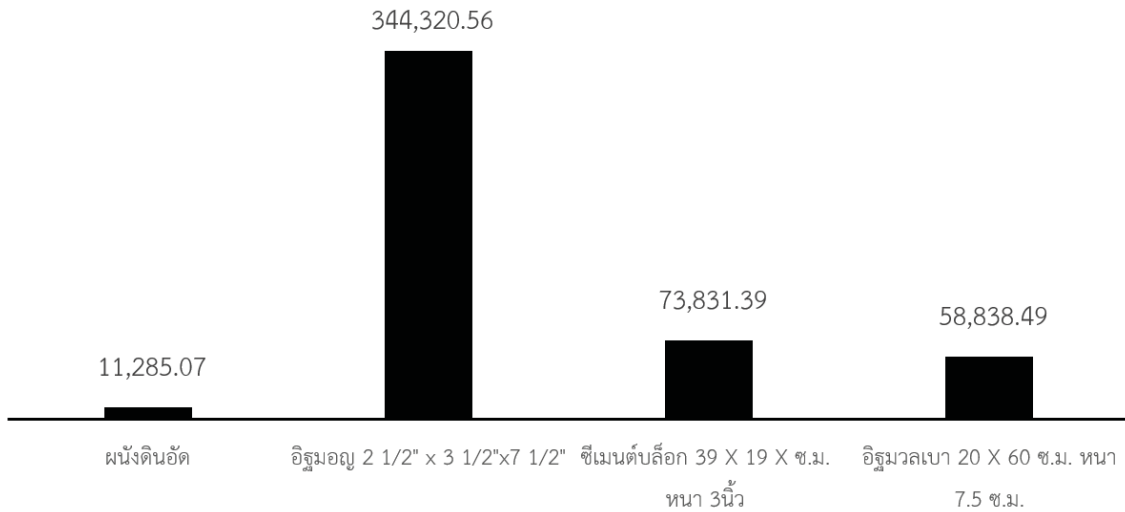


ภาพที่ 9 ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังต่อตารางเมตร (OTTV) ระหว่างวัสดุ (วัตต์/ตร.ม)

5.4 การหาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุ (embodied energy)

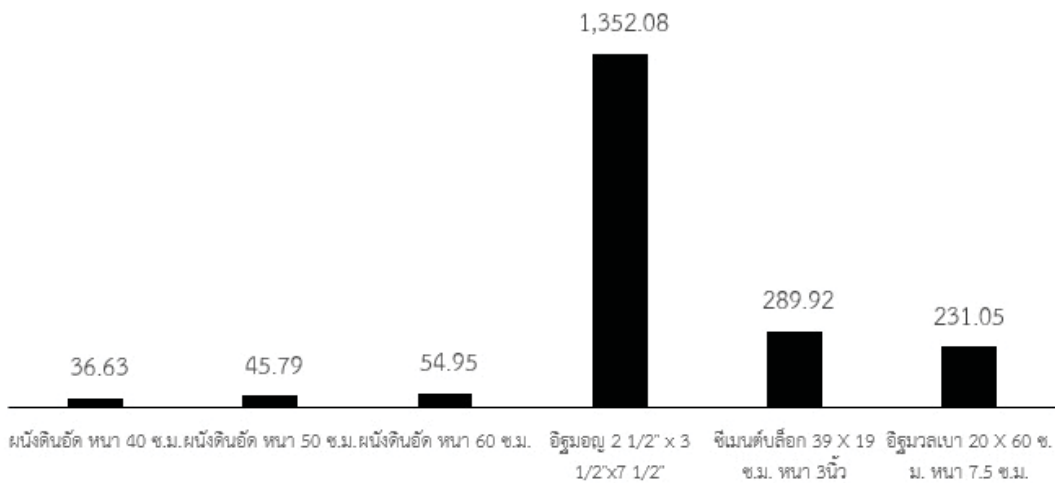
ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุสะสมรวมทุกขั้นตอน ของอาคารที่สร้างขึ้นจากดินอัด ในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับอาคารที่สมมุติว่าสร้างจากวัสดุผนังที่ถูกเลือกมาเปรียบเทียบในขนาดอาคารที่เท่ากัน โดยการเปรียบเทียบการหาค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุเฉพาะส่วนของผนังทั้งอาคาร พบว่า อาคารที่สร้างจากผนังดินในงานวิจัยนี้ใช้พลังงาน 11,285.07 กิโลวัตต์ หากสร้างอาคารที่สร้างจากผนังซีเมนต์บล็อกจะใช้พลังงาน 73,831.39 กิโลวัตต์ และหากสร้างอาคารที่สร้างจากผนัง

อิฐมวลเบาจะใช้พลังงาน 58,838.49 กิโลวัตต์ สุดท้าย หากสร้างอาคารที่สร้างจากผนังอิฐมวลเบามีค่าสูงสุด จะใช้พลังงาน 344,320.56 กิโลวัตต์ ซึ่งแสดงตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุทั้งอาคาร (kw)

หากทำการเปรียบเทียบผนังทั้ง 3 ประเภท ต่อพื้นที่ผนัง 1 ตร.ม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการนำไปคิดพลังงานสะสมวัสดุต่อผนังทั้งอาคารได้สะดวก ทำการแยกความหนาของผนังดินอัด 3 ความหนา ได้แก่ ผนังดินอัดหนา 40.00 50.00 และ 60.00 ซม. พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 36.63-54.95 กิโลวัตต์ ขณะที่ผนังซีเมนต์บล็อกและผนังอิฐมวลเบา พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันคือ 289.92 และ 231.05 กิโลวัตต์ สำหรับผนังอิฐมวลเบามีค่าสูงสุดและสูงแตกต่างจากผนังชนิดอื่นมาก คือ 1,352.08 กิโลวัตต์ ซึ่งแสดงตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุต่อตารางเมตร (kw)

6. สรุป

ในงานวิจัยนี้ ต้องการหาทางวิธีการก่อสร้างอาคารที่สามารถลดการใช้พลังงานสะสมรวม ของวัสดุ โดยทำการทดสอบ วัสดุและพัฒนาวิธีการการออกแบบที่ใช้วัสดุดินในพื้นที่ และทำการก่อสร้างอาคารผนังดินอัด พร้อมหาค่าการถ่ายเทความร้อนและพลังงานสะสมวัสดุของอาคารผนังดินอัด พบว่า ดินเหนียวมีคุณสมบัติด้านกำลังดีกว่าดินลูกรัง ผู้วิจัยได้พัฒนาตารางที่สามารถใช้ในการออกแบบอาคารดินอัดอาคารไม่เกิน 2 ชั้น โดยใช้ได้ทั้งดินเหนียว หรือ ดินลูกรัง ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ โดยผู้วิจัยใช้ค่ากำลังอัดอยู่ที่ 1.39 กก./ตร.ซม. เพื่อเป็นค่าความปลอดภัย ในตารางในการนำไปใช้งาน ค่า OTTV ผนังดินอัดที่ 22.01 วัตต์/ตร.ม แต่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบา สูงสุดคือผนังอิฐมอญ คือ 38.52 วัตต์/ตร.ม ค่าพลังงานสะสมรวมวัสดุทุกชั้นตอนของอาคารที่สร้างขึ้นจากดินอัดในงานวิจัยนี้ใช้พลังงาน 11,285.07 กิโลวัตต์ ซึ่งต่ำกว่าผนังชนิดอื่น โดยเฉพาะหากสร้างอาคารจากผนังอิฐมอญซึ่งมีค่าสูงสุด จะใช้พลังงาน 344,320.56 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้วัสดุดิบจากดินเหมือนกัน แต่อิฐมอญ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวน่าจะมาจากอิฐมอญมีกระบวนการผลิตที่ใช้การเผา และมีการขนส่งจากแหล่งผลิต จึงส่งผลให้มีค่าสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า อาคารผนังดินอัดสามารถสร้างและนำมาอาศัยได้จริง รวมถึง สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ โดยเลือกวัสดุดิบที่มีในพื้นที่เพื่อลดพลังงานในการขนส่งและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปเหมือนวัสดุผนังประเภทอื่น แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านเทคนิคและการยอมรับจากผู้คนโดยทั่วไปที่ไม่คุ้นเคยในการอยู่อาศัยในบ้านลักษณะดังกล่าว ตลอดจน การดูแลและซ่อมแซม รวมถึง บางภูมิภาคที่อาจสร้างบ้านลักษณะดังกล่าวไม่ได้ คือบริเวณที่น้ำท่วมถึงเพราะจะส่งผลต่อความแข็งแรงต่อผนังโดยตรง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่มอบทุนวิจัย ในครั้งนี้ และ คณะเทคโนโลยี และการจัดการอุตสาหกรรม ที่ให้เวลาในการทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณ นางเพ็ญใจ แสงวิจิตร ผู้อำนวยการทันตสถาน เปิดบ้านเนินสูง ที่ให้ความกรุณา มอบพื้นที่เพื่อการก่อสร้างอาคารผนังดินอัด และข้าราชการเจ้าหน้าที่ทันตสถานเปิดบ้านเนินสูงทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าออกทันตสถาน สุดท้าย ขอขอบคุณครอบครัว ที่ให้กำลังใจ ในการทำวิจัย ในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- กาญจน์กรอง สุอังคะ. (2557). การประเมินด้านการประหยัดพลังงานของการออกแบบและการใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัย. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2557). พลังงานของประเทศไทย ปี 2542. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.dedp.go.th> [สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2559].
- กรมโยธาและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. กฎหมายด้านโยธาและผังเมือง. (2560). พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. [ออนไลน์]. ได้จาก: [http:// https://www.dpt.go.th/th](http://https://www.dpt.go.th/th) [สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2560].
- พิมลมาศ วรรณคณาพล. (2544). ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างอาคารในช่วงก่อสร้างและรื้อถอน. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิตยกรรมศาสตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิเชษฐ์ ตีคลี. (2561). คุณสมบัติดินมูลกระบือ บ้านหนองโนใต้ ตำบลนาคู อำเภอนาดูน จังหวัด มหาสารคาม. วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบ และการก่อสร้าง, 1(1), 22-37.

- Bui, T., & Quoc-Bao, M. (2014). Failure of rammed earth walls: From observations to quantifications. *Construction and Building Materials*, 51(1), 295-302.
- Bui, Q.B., Morel, J.C., Venkatarama Reddy, B.v., & Ghayad, T. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5), 912-919.
- Ciancio, D., & Beckett, C. (2013). *Rammed earth: An overview of a sustainable construction material. Sustainable Construction Materials and Technologies: Proceedings of the 3rd International conference.* (193-198). West Sussex, UK: IMP.
- Gerald, W. (1984). *Structural Engineering for Earth Buildings, Adobe and Rammed Earth Buildings: Design and Construction.* Tucson: University of Arizona Press, 984. London, Routledge.
- Hall, M., & Djerbib, Y. (2004). Rammed Earth Sample Production. *Construction and Building Material*, 18(4), 281-286.
- Jayasinghe, c., & Kamaladasa, N. (2007). Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls. *Construction and Building Materials*, 21(11), 1971-1976.
- Matthew, H. & Youcef, D. (2004). Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. *Construction and Building Materials*, 18(4), 281-286.
- Malhotra, M. (2018). *EARTHSHACK Showcasing Rammed Earth Construction.* Rammed Earth Solar Home. [Online]. Retrieved from: <http://www.rammedearthhomes.com/technical.html>. [accessed 30 May 2015].
- McHenry, P.G. (1984). *Adobe and Rammed Earth Buildings: Design And Construction.* Tucson: University of Arizona.
- Miloslave, B., & Dusan, K. (2010). Embodied Energy of Stabilized Rammed Earth. *Energy and Buildings*, 42(3), 380-385.
- Odum, Howard T., Brown Mark, T., & Brandt-Williams, S. (2001). *Handbook of Energy Evaluation.* A compendium of Data for Emery Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences, University of Florida.
- Richard, B. (2005). *Showcasing Rammed Earth Construction.* USA. Texas A&M University.