



# การศึกษาปัจจัยช่องเปิดของบ้านดินต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว

## A study of the opening factor for seismic resistance of earthen buildings

วัชรินทร์ จินต์วุฒิ<sup>1</sup>  
Watcharin Jinwuth<sup>1</sup>

Received: 2020-05-01

Revised: 2020-06-20

Accepted: 2020-06-23

### บทคัดย่อ

บ้านดินที่ปลูกสร้างด้วยระบบผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบ เป็นระบบโครงสร้างที่ง่ายต่อการเสียหายจากแรงแผ่นดินไหว จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าอาคารประเภทนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียมากมายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากก่อสร้างง่าย ราคาไม่สูงและไม่ใช้ทักษะมาก ปัจจุบันการปลูกสร้างบ้านดินในประเทศไทยได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศ ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวตามกฎหมายกำหนด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาปัจจัยช่องเปิดที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของอาคารผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบผังรูปทรงกลมและผังรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยดำเนินการทดสอบหุนจำลองบ้านดินของสองรูปทรงตามมาตรฐาน 1:3 ทั้งแบบผนังทึบและแบบมีช่องเปิด ด้วยวิธีโต๊ะที่ปรับเอียงตามทฤษฎีแรงสถิตเทียบเท่า โดยน้ำหนักของหุนจำลองถูกแปลงเป็นแรงกระทำด้านข้างเพื่อประเมินความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวของแต่ละรูปทรง ผลการศึกษาพบว่ารูปทรงอาคารและช่องเปิดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่สร้างด้วยระบบผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบ โดยหุนจำลองรูปทรงกลมนั้นมีความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวที่ดีกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และการมีช่องเปิดของหุนจำลองนั้นส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากทำให้น้ำหนักโดยรวมของหุนจำลองนั้นเบาลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกระทำด้านข้างสูงสุดของโครงสร้างนั้นมากขึ้น ทั้งนี้บ้านดินที่สร้างในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวจึงควร

<sup>1</sup> คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

(Faculty of Architecture, Naresuan University)

ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: watcharinj@nu.ac.th

พิจารณาเรื่องการลดน้ำหนักของอาคาร และการออกแบบรูปทรงอาคารเป็นผังรูปทรงกลม เพื่อลดความเสียหายของอาคาร และความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินที่จะเกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวในอนาคต

**คำสำคัญ:** บ้านดิน อิฐดินดิบ ความต้านทานแผ่นดินไหว วิธีสถิติเทียบเท่า

## Abstract

Unreinforced mud-brick (adobe) structures are extremely vulnerable when subjected to seismic forces that can result in human casualties and asset damage. The majority of unreinforced adobe structures are usually found in developing countries as their construction is easy, cheap and requires little skill. There are many adobe buildings located in the northern part of Thailand, an area classified by the Thai government as a seismic hazard area. This research investigated the seismic performance between circular and square construction of unreinforced adobe buildings, both with and without openings. Static tilt tests were carried out to evaluate the seismic performance of square and circular adobe models constructed at a scale of 1: 3. The models were subjected to an increasing lateral load when tilted from the vertical on a tilting table. The lateral component of model weight was used as a parameter to quantify the maximum seismic force for each model and indicated that the shapes and the openings of unreinforced adobe buildings are important factors in the seismic resistant performance. The circular shape indicated a better seismic resistance than the square as did buildings with openings. The lighter weight of the models with openings influenced the ability to resist the lateral forces. Adobe constructions in seismic areas should be built in a circular shape and designed to minimize the overall weight. This will assist in decreasing potential damage to the structures, reduce fatalities and asset losses during any earthquake event.

**Keywords:** adobe construction, mud-brick, earthquake resistance, static analysis

## บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยพลังงานเพื่อลดความเครียดที่สะสมไว้ในโลกออกมา เพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ โดยประเทศไทยมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557 ขนาดความรุนแรง 6.3 Magnitude สร้างความเสียหายอย่างมากที่สุดในครั้งประวัติศาสตร์ (Lakkhunaprasit, 2014) บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางได้รับความเสียหายอย่างหนัก เกิดความเสียหายทั้งต่ออาคารบ้านเรือนกว่า 50 หลัง ระบบสาธารณูปโภค การสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน กับอาคารต่างๆ รวมทั้งวัด และโรงเรียนกว่า 50 หลัง รวมทั้งมีผู้เสียชีวิต 1 คน สามารถรับรู้ถึงการสั่นไหวได้ที่จังหวัด เชียงราย แพร่ แม่ฮ่องสอน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก เชียงใหม่ และตึกสูงในกรุงเทพมหานคร (Earthquake Observation Division, 2020)



ภาพที่ 1 ภาพการวิบัติของบ้านผนังอิฐดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่จังหวัดเชียงราย  
ที่มา: Voice TV (2014)

ผลสำรวจความเสียหายของอาคารจากผลกระทบเหตุการณ์แผ่นดินไหวดังกล่าว พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ เกิดจากการที่อาคารเหล่านั้นไม่ได้ถูกออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว เช่น อาคารราชการ และวัด (Lakkhunaprasit, 2014) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างผนังอิฐ (masonry structures) ที่ไม่ได้มาตรฐาน ประเภทของอาคารชนิดนี้ได้แก่ อาคารที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐดินดิบ ผนังอิฐมอญ ผนังอิฐบล็อกประสาน และ ผนังคอนกรีตบล็อก เป็นต้น วัสดุก่อสร้างเหล่านี้มีค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความเหนียวของวัสดุที่ต่ำ ส่งผลให้ผนังของอาคารเกิดการแตกร้าว และพังทลาย เมื่อมีแรงกระทำด้านข้างที่เกิดจากแผ่นดินไหวเข้ากระทำ ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557 ที่ผ่านมา พบการวิบัติของอาคารผนังอิฐดินดิบ หรือบ้านดิน จำนวน 1 หลัง ดังรูปภาพที่ 1

บ้านดิน (earthen buildings) เป็นสถาปัตยกรรมที่มนุษย์ใช้เป็นที่อยู่อาศัยมายาวนาน โดยปัจจุบันมีประชากรประมาณ 1 ใน 3 ทั่วโลกอยู่อาศัยภายใต้อาคารชนิดนี้ (Houben & Guillaud, 1994; Wojciechowska, 1967) ปัจจุบันมีการปลูกสร้างอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัย รวมทั้งเป็นที่พักสำหรับนักท่องเที่ยว บ้านดินเหล่านี้ส่วนใหญ่ทำการก่อสร้างด้วยระบบผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบ (adobe or mud-brick construction) ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างที่ทำให้เกิดการสูญเสียจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวมากที่สุด เมื่อเทียบกับโครงสร้างผนังอิฐรับน้ำหนักประเภทอื่นๆ (Smith, 1941) ผนังอิฐดินดิบนั้นเป็นระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก ไม่มีเสา โดยผนังรับน้ำหนักของหลังคาและถ่ายแรงลงสู่พื้นโดยตรง สำหรับอิฐดินดิบนั้นมีขนาด กว้าง 8 นิ้ว ยาว 16 นิ้ว หนา 4 นิ้ว ก่อผนังโดยเรียงอิฐสลับกัน (Jandai, 2012)

ทั้งนี้กรมโยธาธิการและผังเมืองได้ออกกฎหมายควบคุมอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว 22 จังหวัด เพื่อบังคับให้มีการออกแบบก่อสร้างอาคารให้สามารถรับแรงแผ่นดินไหวเป็นไปตามมาตรฐานทางวิศวกรรมกำหนด โดยได้จัดทำมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เพื่อให้อาคารได้รับการออกแบบให้มีความเหนียว สามารถโยกไหวตัวเกินพิกัดยืดหยุ่นของโครงสร้างได้ เพิ่มความสามารถในการรับแรงสั่นสะเทือนให้กับอาคาร สำหรับผังอาคารควรมีรูปทรงที่เรียบง่าย สมมาตร และสม่ำเสมอ รวมทั้งควรออกแบบช่องเปิดอาคารให้มีขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสม (Department of Public Works and Town & Country Planning, 2018) แต่เนื่องด้วยผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบเป็นโครงสร้างที่มีความเปราะ (brittle structure) ซึ่งมีพฤติกรรมของโครงสร้างแตกต่างจากโครงสร้างที่มีความเหนียว เมื่อถูกกระทำภายใต้แรงจากแผ่นดินไหว (Tolles, et al., 2000) จึงทำให้ไม่อาจนำข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมดังกล่าวมาใช้กับอาคารประเภทนี้ได้ รวมทั้งการก่อสร้างบ้านดินโดยทั่วไป เจ้าของจะเป็นผู้ดำเนินการปลูกสร้างด้วยตนเอง (D.I.Y) ไม่ได้ใช้วิศวกรในการคำนวณโครงสร้าง (non-engineering structures) และไม่ยื่นขออนุญาตปลูกสร้างจากหน่วยงานภาครัฐ ส่งผลให้ผู้ที่อยู่อาศัยในอาคารโครงสร้างอิฐดินดิบมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากแผ่นดินไหว หากปลูกสร้างอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของอาคารบ้านดิน เพื่อลดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยพิจารณาปัจจัยของช่องเปิดอาคารว่าส่งผลอย่างไรต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว โดยทดสอบกับโต๊ะที่ปรับเอียงตามทฤษฎีแรงสถิตเทียบเท่า (static tilt- testing) เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบและก่อสร้างอาคารบ้านดินที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยของช่องเปิดที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของอาคารผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบผังรูปวงกลมและผังรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

## ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาปัจจัยของช่องเปิดของอาคารผนังรับน้ำหนักอิฐดินชั้นเดียว เฉพาะรูปแปลนอาคารที่เป็นสมมาตรใน 2 ลักษณะ คือ แปลนรูปทรงกลม และแปลนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เนื่องด้วยเป็นรูปทรงนิยมก่อสร้างอาคารอิฐดิน
2. ปัจจัยทางด้านรูปทรงของหลังคาบ้านดินเป็นสิ่งทำงานวิจัยนี้ไม่ได้ดำเนินการศึกษา โดยพิจารณาเฉพาะน้ำหนักของหลังคาที่กระทำต่อผนังเท่านั้น
3. งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวระหว่างผนังที่เปรียบเทียบกับผนังที่มีช่องเปิด โดยกำหนดให้ตำแหน่งช่องเปิดให้อยู่ด้านข้างอาคาร ขนาดไปกับทิศทางของแรงแผ่นดินไหว

## การทบทวนวรรณกรรม

เนื้อหาของทบทวนวรรณกรรมมีเป้าหมายเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมอาคารผนังรับน้ำหนักอิฐดินดิบเมื่อต้องเผชิญกับแรงแผ่นดินไหว ซึ่งประกอบไปด้วยการทบทวนวรรณกรรม 4 ส่วนดังต่อไปนี้ 1. สถาปัตยกรรมบ้านดิน 2. แนวทางการสร้างบ้านพักอาศัยในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว 3. ลักษณะการวิบัติของบ้านดิน และ 4. แนวทางการประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว โดยแสดงรายละเอียดแต่ละหัวข้อ ดังนี้

### 1. สถาปัตยกรรมบ้านดิน

บ้านดินเป็นสถาปัตยกรรมที่มนุษย์ใช้เป็นที่อยู่อาศัยมายาวนานที่สุด โดยปัจจุบันมีประชากรประมาณ 1 ใน 3 ทั่วโลกอยู่อาศัยภายใต้อาคารชนิดนี้ (Houben & Guillaud 1994; Wojciechowska 1967) โดยส่วนใหญ่เป็นผู้มีรายได้น้อยและอยู่อาศัยในประเทศที่กำลังพัฒนา บ้านดินส่วนใหญ่ปลูกสร้างโดยใช้อิฐดินดิบตากแห้ง (adobe) แล้วนำมาก่อเป็นผนังรับน้ำหนัก แปลนอาคารส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นผังรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปวงกลม อิฐดินดิบเป็นวัสดุก่อสร้างที่ไม่มีความเหนียว จึงง่ายต่อความเสียหายจากแรงเฉือนและแรงดึง (Webster, 2002) บ้านดินเริ่มมีการนำมาก่อสร้างในประเทศไทยครั้งแรกในช่วงการอพยพเข้ามาตั้งถิ่นฐานของชนชาติจีน (Uthaipattrakoon, 2004) ปัจจุบันบ้านดินในประเทศไทยกำลังเป็นที่นิยมจากชนชั้นกลางเพิ่มขึ้น สำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัย หรือโรงแรม ในฐานะของสิ่งปลูกสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงาน โดยได้รับความนิยมน้อยมากบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งในขณะเดียวกันก็เป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวตามกรมโยธาธิการและผังเมืองกำหนด รูปภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของรูปแบบสถาปัตยกรรมที่นิยมก่อสร้างในประเทศไทย



ภาพที่ 2 ภาพบ้านดินที่สร้างจากระบบผนังอิฐดินดิบ

## 2. แนวทางการสร้างบ้านพักอาศัยในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

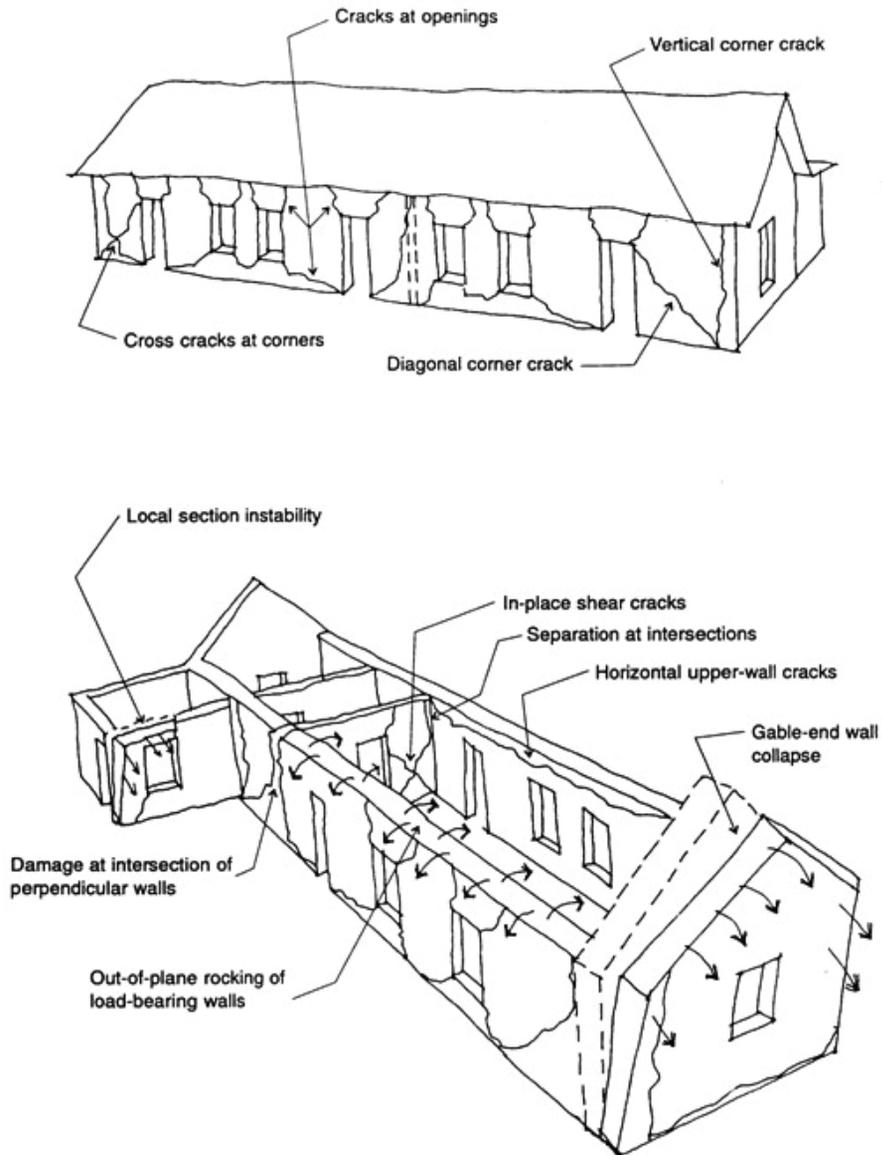
กฎหมายว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวไม่ได้บังคับให้การก่อสร้างบ้านพักอาศัยในพื้นที่เสี่ยงภัยที่มีความสูงไม่เกิน 15 เมตรต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ อย่างไรก็ตามหากการก่อสร้างบ้านพักอาศัยดังกล่าวได้มีการให้รายละเอียดที่เหมาะสมเพิ่มเติมจากการออกแบบปกติแล้วจะทำให้สมรรถนะในการต้านแรงแผ่นดินไหวของบ้านดังกล่าวสูงขึ้นในระดับหนึ่ง

สำหรับการก่อสร้างบ้านดินบนพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวนั้น ผังอาคารมีความสำคัญอย่างมากต่อความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ควรสร้างในลักษณะผังที่เป็นรูปสมมาตร ได้แก่ ผังรูปวงกลมหรือสี่เหลี่ยม และควรมีน้ำหนักของหลังคาที่เบา (Walker & Standards Australia, 2002; Jinwuth, 2017; National Information Centre of Earthquake Engineering, 2018) สำหรับปัจจัยของช่องเปิดที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของบ้านดินนั้น Minke (2001) กล่าวว่าช่องเปิดที่มีขนาดกว้างเกินไปเมื่อเทียบกับสัดส่วนความสูง และมีระยะห่างระหว่างช่องเปิดกับมุมผนัง หรือระยะห่างระหว่างช่องเปิดประตูกับหน้าต่างที่สั้นเกินไป จะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของผนังได้

## 3. ลักษณะการวิบัติของบ้านดิน

จากการศึกษาลักษณะพฤติกรรมการพังทลายของผนังอิฐดินดิบ ด้วยแรงแผ่นดินไหว พบว่ามีลักษณะความเสียหาย จนเป็นสาเหตุให้เกิดการวิบัติอาคาร ดังนี้

1. Vertical corner cracks ลักษณะการแตกร้าวแนวตั้งบริเวณด้านมุมผนัง
2. Diagonal shear cracking ลักษณะการแตกร้าวแนวทะแยงอันเนื่องมาจากแรงเฉือน
3. Horizontal upper-wall cracks ลักษณะการแตกร้าวแนวขอบผนังด้านบน



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะความเสียหายจากแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐดินดิบ  
ที่มา: Ginell & Tolles (2013)

จากลักษณะการวิบัติของอาคารดังกล่าว พบว่าผู้เสียชีวิตส่วนใหญ่เสียชีวิตจากการโดนผนังและหลังคาถล่มทับ โดยเฉพาะลักษณะอาคารบ้านดินที่ฝังอาคารไม่สมมาตร ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ในต่างประเทศ มุ่งเน้นในการเสริมความแข็งแรงสำหรับอาคารบ้านดินที่ก่อสร้างขึ้นใหม่ ด้วยวิธีการเสริมไม้ไผ่หรือเหล็กเส้น ในส่วนกลางของอิฐดินดิบ รวมทั้งการเสริมลวดตาข่ายไว้โดยรอบผนังก่อนการฉาบ อย่างไรก็ตาม Blondet (2011) กล่าวว่าอาคารเสริมความแข็งแรงของบ้านดินยังมีปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายเนื่องจากพบว่าบางท้องถิ่นไม่สามารถหาวัสดุได้

#### 4. แนวทางการประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว

ในการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างนั้น โดยทั่วไปสามารถดำเนินการทดสอบได้ 2 วิธี คือ วิธีพลศาสตร์ (dynamic analysis) และวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (static analysis) (Boonyachut, 2006) สำหรับวิธีทางพลศาสตร์นั้น เป็นการทดสอบพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของโครงสร้างที่เกิดขึ้นจริงในขณะเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง (Arros, 2003) แต่วิธีการทดสอบนี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูง และขั้นตอนการทดสอบที่ยุ่งยาก ทำให้เกิดเป็นข้อจำกัดสำหรับทำงานวิจัยด้านแผ่นดินไหว สำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่า โครงสร้างจะถูกประเมินจากกำลังรับแรงสถิตย์ที่กระทำในแนวนอน (horizontal forces) แล้วทำการเปรียบเทียบกับสถิตแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลองที่ต่ำกว่า และขั้นตอนทดลองที่ไม่ยุ่งยาก กรมโยธาธิการและผังเมือง (Department of Public Works and Town & Country Planning, 2018) กล่าวว่าวิธีแรงสถิตเทียบเท่า เป็นการคำนวณหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (seismic base shear,  $V$ ) จากนั้นจึงกระจายแรงไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคาร แรงที่เกิดขึ้นภายในองค์อาคารต่าง ๆ เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่า ที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวดิ่งของอาคารจะเป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ออกแบบกำลังต้านทานขององค์อาคาร การประเมินความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่านี้ สามารถแบ่งย่อยออกได้ 2 วิธี คือ วิธีคำนวณจากสมการแรงสถิตเทียบเท่า (equivalent-static-force analysis) และ วิธีการทดสอบด้วยโต๊ะที่ปรับเอียง (static tilt-table testing) สำหรับวิธีคำนวณจากสมการแรงสถิตเทียบเท่านี้ มีระบุไว้ในมาตรฐานการออกแบบอาคารสำหรับต้านแรงแผ่นดินไหวของประเทศต่างๆ เช่น กฎกระทรวงฉบับที่ 49 พ.ศ.2540 ของประเทศไทย มาตรฐานออสเตรเลีย AS 1170.4 เป็นต้น โดยวิธีนี้ใช้สมมติฐานที่ว่าแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้าง ( $V$ ) สามารถคำนวณได้จากตัวแปรต่างๆ ตามสมการด้านล่างนี้

$$V = k_p \times Z \times C_h(T_1) \times S_p / \mu \times W_1 \text{ (Standards Australia, 2007)} \quad (1)$$

โดย

$k_p$  = Probability factor for the annual probability of exceedance

= 1 (for an annual probability of exceedance 1/500)

$Z$  = Hazard factor (ground acceleration) for specific locations

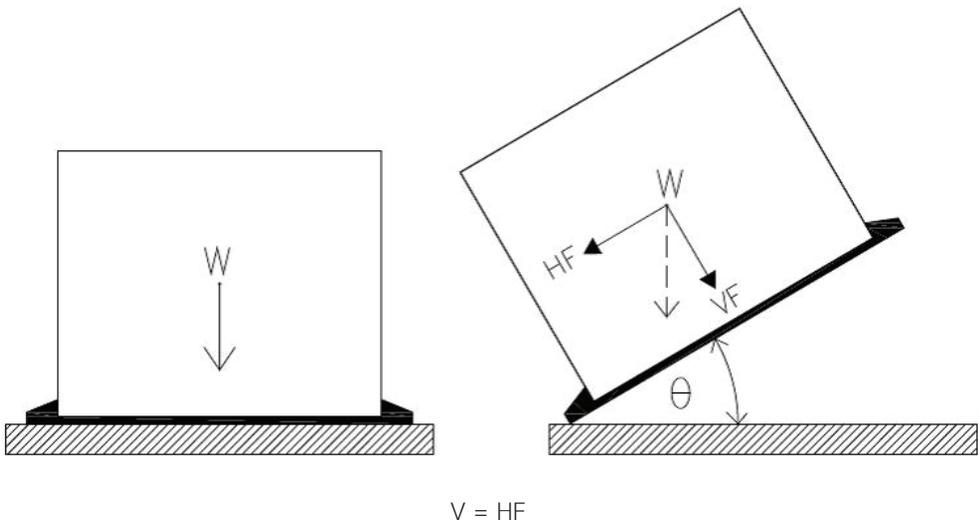
- $C_h(T_1)$  = Spectral shape factor dependent on sub soil and period
- $\mu$  = Ductility factor = 1.25 (สำหรับผนังอิฐดินดิบ)
- $S_p$  = Structural performance factor = 0.77 (สำหรับผนังอิฐดินดิบ)
- $W_1$  = น้ำหนักโดยรวมของโครงสร้าง

ทั้งนี้การคำนวณด้วยวิธีแทนค่าในสมการดังกล่าว มีข้อจำกัดที่นำไปใช้ได้เฉพาะอาคารที่มีรูปทรงปกติและวัสดุก่อสร้างมาตรฐานเท่านั้น เนื่องจากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของอาคาร ( $C_h(T_1)$ ) สำหรับรูปทรงอาคารที่ผิดปกติ หรือใช้วัสดุก่อสร้างที่ไม่มีมาตรฐานควบคุม เช่น อิฐดินดิบ เป็นต้น มีขั้นตอนคำนวณหาค่าความถี่อาคารที่ยุ้งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

สำหรับวิธีทดสอบด้วยโต๊ะที่ปรับเอียงนั้น โครงสร้างของหุ่นจำลองจะถูกกระทำจากแรงกระทำด้านข้าง (Horizontal force, HF) ที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้าง ( $W_1$ ) คูณด้วยมุม  $\sin\theta$  ของโต๊ะปรับเอียงตามสมการ (Jinwuth, et al., 2010) ดังนี้

$$HF = \sin \theta \times W_1 \quad (2)$$

ในรูปภาพที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการแปลงน้ำหนักของหุ่นจำลอง ( $W_1$ ) ไปเป็นแรงกระทำด้านข้าง ( $HF$ ) เมื่อโต๊ะที่ปรับเอียงถูกยกขึ้นที่มุมองศาเท่ากับ  $\theta$  ซึ่งเทียบได้กับแรงกระทำด้านข้างจากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างในสถานการณ์จริง



ภาพที่ 4 แสดงแนวคิดของการทดสอบความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีโต๊ะที่ปรับเอียง

ดังนั้นเมื่อหุ่นจำลองถูกยกเอียง จนถึงจุดที่สังเกตเห็นรอยแตกแสดงการวิบัติของโครงสร้าง องค์ประกอบของมุมเอียงที่ปรากฏจึงบอกความสามารถในการรับแรงกระทำด้านข้างสูงสุดของโครงสร้างนั้น สามารถนำไปประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวของหุ่นจำลองได้ Jinwuth (2017) กล่าวว่าการทดสอบหุ่นจำลองบ้านดิน มาตรฐาน 1:3 ด้วยวิธีโต๊ะที่ปรับเอียงนั้น ให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกับการทดสอบด้วยโต๊ะที่สั่นไหว (shake table-testing) ดังแสดงภาพในภาพที่ 5 ดังนั้นการประเมินความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสามารถนำไปใช้ในการทดสอบผนังอิฐดินดิบได้ (Vargas & Ottazzi, 1981)



ภาพที่ 5 แสดงการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการประเมินรับแรงแผ่นดินไหวระหว่างโต๊ะที่สั่นไหวกับโต๊ะที่ปรับเอียง  
ที่มา: Jinwuth (2017)

## วิธีการดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมหุ่นจำลองบ้านอิฐดินดิบ

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการสร้างหุ่นจำลองบ้านดินจำนวน 4 หลัง ขนาดมาตรฐาน 1:3 จากอิฐดินตากแห้งจำนวนประมาณ 400 ก้อนต่อหลัง (จำนวนอิฐแต่ละหลังไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสัดส่วน) โดยหุ่นจำลองถูกสร้างทั้งแบบมีช่องเปิด ขนาด 0.60 x 0.24 เมตร (ย่อส่วนจากประตูทั่วไป ขนาด 1.80 x 0.70 เมตร) และแบบไม่มีช่องเปิด เพื่อทำการเปรียบเทียบผลความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวในแต่ละรูปทรง ประกอบด้วย 1. หุ่นจำลองผังรูปสี่แบบจัตุรัสแบบไม่มีช่องเปิด จำนวน 1 หลัง 2. หุ่นจำลองผังรูปวงกลมแบบไม่มีช่องเปิด จำนวน 1 หลัง 3. หุ่นจำลองผังรูปสี่แบบจัตุรัสแบบมีช่องเปิด จำนวน 1 หลัง 4. หุ่นจำลองผังรูปวงกลมแบบมีช่องเปิด จำนวน 1 หลัง โดยขนาดของอิฐย่อส่วนมาจากขนาดอิฐดินดิบที่นิยมใช้ในเมืองไทย ขนาด 0.30 x 0.20 x 0.10 เมตร (Uthaiattraakoon, 2004) อิฐแต่ละก้อนมีน้ำหนักประมาณ 375 กรัม ส่วนผสมของอิฐดินดิบประกอบไปด้วย ดิน 2 ส่วน ททราย 2 ส่วน และแกลบข้าว 1 ส่วน จากผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐดินดิบดังกล่าว พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 667 kPa หลังจาก

ที่อิฐดินดิบทั้งหมดแห่งสนิทจากการตากแดด จึงนำมาถือเป็นผนังหุ่นจำลอง สำหรับดินก่อที่ใช้ในการประสานระหว่างอิฐแต่ละก้อน ใช้ส่วนผสมเดียวกับการทำอิฐดินดิบแต่มีความเหลวกว่า ซึ่งมีความหนาของดินก่อเท่ากับ 10-12 มิลลิเมตร โดยรายละเอียดขนาดของหุ่นจำลองแสดงไว้ตามตารางที่ 1 เมื่อก่อผนังอิฐดินดิบได้ตามความสูงที่ต้องการ หุ่นจำลองจะถูกนำมาตากแดด ทิ้งไว้จนกว่าผนังจะแห้งสนิทประมาณ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ

ตารางที่ 1 รายละเอียดขนาดของหุ่นจำลองผนังอิฐดินดิบ

model shape	wall thickness (m)	plan dimension (m)	wall height (m)	roof load pressure (kN/m <sup>2</sup> )	total roof load (kN)	total wall load (kN)	opening (m)
circular	0.031	1.2 (Diameter)	0.82	2	2.25	1.56	NO
square	0.031	1.2 x 1.2	0.82	2	2.25	1.98	NO
circular	0.031	1.2 (Diameter)	0.82	2	2.25	1.56	YES (0.6 x 0.26)
square	0.031	1.2 x 1.2	0.82	2	2.25	1.98	YES (0.6 x 0.26)

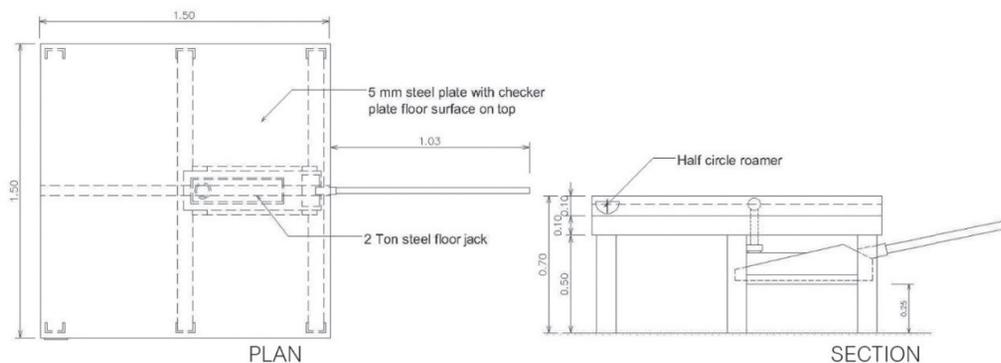
หลังจากที่ผนังหุ่นจำลองแห้งสนิท หุ่นจำลองจะถูกติดตั้งหลังคาแผ่นไม้อัด และวางถุงทรายไว้บริเวณด้านบน เพื่อเพิ่มน้ำหนักของหลังคาให้ได้เท่ากับ 2 kN/m<sup>2</sup> ทั้งนี้เพื่อจำลองรูปแบบการรับน้ำหนักของผนังหุ่นจำลองให้เหมือนกับอาคารต้นแบบที่มีน้ำหนักหลังคากระทำ รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการติดตั้งหลังคา



ภาพที่ 6 แสดงติดตั้งหลังคาและถุงทรายก่อนทำการทดสอบ

## 2. การเตรียมโต๊ะที่ปรับเอียง (tilt table testing)

ในการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของบ้านดินนั้น ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่า (static analysis) แบบการทดสอบด้วยโต๊ะที่ปรับเอียง เพื่อสังเกตพฤติกรรมการวิบัติ และประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยโต๊ะที่ปรับเอียงนี้สามารถยกเอียงทำมุมได้สูงสุด 55 องศา มีแผ่นเหล็กแบนความหนา 2 มิลลิเมตร สูง 5 เซนติเมตรที่บริเวณฐานหุ่นจำลอง และถูกเชื่อมติดตั้งฉากกับตัวพื้นโต๊ะ เพื่อป้องกันการวิบัติจากแรงเฉือนบริเวณฐานของหุ่นจำลองในขณะที่ยกเอียง ซึ่งกรณีการวิบัติดังกล่าวไม่ได้เกิดขึ้นกับอาคารประเภทนี้ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริง



ภาพที่ 7 รายละเอียดขนาดของโต๊ะที่ปรับเอียงที่ออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับการทดลอง

### การทดสอบหุ่นจำลอง

หลังจากที่หุ่นจำลองได้รับการติดตั้งหลังคาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โต๊ะที่ปรับเอียงจะค่อยๆ ถูกยกขึ้นเริ่มจากมุม 0 องศา โดยยกขึ้นด้วยความเร็วสม่ำเสมอ จนปรากฏให้เห็นรอยร้าวแรกบริเวณผนังของหุ่นจำลอง (first shear crack) ผู้วิจัยจดบันทึกมุมมองของโต๊ะ หลังจากนั้นโต๊ะจะถูกยกให้เอียงเพิ่มขึ้น จนกระทั่งหุ่นจำลองเกิดการวิบัติหรือพังทลายทั้งหมด (total failure) ผู้วิจัยทำการบันทึกมุมมองอีกครั้ง หลังจากนั้นนำมุมมองที่ได้ไปคำนวณหาแรงเฉือนสูงสุดที่ฐาน หรือแรงกระทำด้านข้างสูงสุด ตามสมการที่ (2) ในส่วนของน้ำหนักหุ่นจำลอง (W) นั้น ได้จากการนำอัตราดินและดินก่อก่อที่ใช้ในการก่อสร้างหุ่นจำลองทั้งหมดนำมาชั่งน้ำหนัก และนำไปรวมกับน้ำหนักของหลังคา เพื่อหาน้ำหนักรวมของอาคาร



ภาพที่ 8 แสดงการทดลองเปรียบเทียบระหว่างหุ่นจำลองผังรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบไม่มีช่องเปิดและแบบมีช่องเปิด



ภาพที่ 9 แสดงการทดลองเปรียบเทียบระหว่างหุ่นจำลองผังรูปทรงกลมแบบไม่มีช่องเปิดและแบบมีช่องเปิด

## ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว ของหุ่นจำลองบ้านอิฐดินดิบผังรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลมทั้งแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด พบว่าบ้านดินรูปทรงกลมมีความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวได้ดีกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทั้งแบบมีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด นอกจากนี้ยังพบว่าหุ่นจำลองที่มีช่องเปิดมีความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวได้ดีกว่าหุ่นจำลองที่มีผนังทึบ โดยแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการทดลององค์ที่เก็ตรอยร้าวแสดงการวิบัติของหุ่นจำลองรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Square Shapes Testing	Square without opening		Square with opening	
	First shear crack	Total failure	First shear crack	Total failure
Angle	20	25	29	29.5
Horizontal force (kN)	1.45	1.78	2.01	2.04

ตารางที่ 3 ผลการทดลององค์ที่เก็ตรอยร้าวแสดงการวิบัติของหุ่นจำลองรูปทรงกลม

Circular Shapes Testing	Circular without opening		Circular with opening	
	First shear crack	Total failure	First shear crack	Total failure
Angle	29	32	34	34.5
Horizontal force (kN)	1.73	2.02	2.08	2.11

นอกจากนั้น ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นรูปแบบการวิบัติของหุ่นจำลองทั้งสองรูปทรงที่แตกต่างกัน คือหุ่นจำลองรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีลักษณะการวิบัติเป็นการแตกร้าวแนวตั้งที่บริเวณด้านมุมผนัง (vertical corner crack) ซึ่งส่งผลให้ผนังด้านที่ตั้งฉากกับแรงกระทำพังทลายลงมา สำหรับลักษณะการวิบัติของหุ่นจำลองผังรูปทรงกลมเป็นการแตกร้าวแนวทแยงเนื่องจากแรงเฉือน (diagonal shear cracking) โดยเกิดรอยร้าวลักษณะแนวเฉียงเริ่มจากด้านบนของผนัง ไปยังส่วนล่างของผนังด้านที่ตั้งฉากกับแรงกระทำ

## อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า รูปทรงอาคารและช่องเปิดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารบ้านดิน โดยอาคารรูปทรงกลมนั้นมีความสามารถในการต้านแรงแผ่นดินไหวที่ดีกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และช่องเปิดของอาคารนั้นส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากการเจาะช่องเปิดทำให้น้ำหนักโดยรวมของตัวอาคารเบาลง จึงส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกระทำด้านข้างสูงสุดของโครงสร้างนั้นมากขึ้น ทั้งนี้ควรพิจารณาขนาดสัดส่วนของช่องเปิดและระยะห่างระหว่างช่องเปิดถึงมุมผนัง (Minke, 2001) ดังนั้นข้อเสนอแนะสำหรับการก่อสร้างบ้านดินระบบผนังรับน้ำหนักที่ตั้งอยู่บนพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว จึงควรพิจารณาถึงการลดน้ำหนักของอาคาร เช่น การเจาะช่องเปิด การใช้วัสดุอื่นที่มีน้ำหนักเบาประกอบ การใช้โครงสร้างหลังคาที่เบา เป็นต้น รวมทั้งควรพิจารณาการออกแบบรูปทรงอาคารเป็นแบบผังรูปทรงกลม เพื่อลดความเสียหายของอาคาร และความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินที่จะเกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- Arros, J. K. (2003). **Dynamics of structures**. In Chen, W. F. & Scawthorn, C. (Eds.) **Earthquake engineering handbook**. (pp.105-106). Boca Raton: CRC Press.
- Blondet, M., et al. (2011). **Earthquake-resistant construction of adobe buildings: a tutorial**. In Charleson, A. (Ed.). California: Earthquake Engineering Research Institute.
- Boonyachut, S. (2006). **Karn oakbab khongsang phuea rab raeng phaendinwai**. (In Thai) [Seismic design of structures]. Bangkok: Paliving Printing.
- Department of Public Works and Town & Country Planning. (2018). **Mattrathan karn oakbab arkhan tanthan karn sansathuean khong phaendinwai**. (In Thai) [Earthquake resistant building design standards]. Bangkok: S.P.M. printing.
- Earthquake Observation Division. (2020). **Sathiti khomun phaendinwai tee mee phonkrathob tor prathet Thai**. (In Thai) [Statistics of earthquake that affect Thailand]. Retrieved May 23, 2020, from <https://earthquake.tmd.go.th/home.html>
- Ginell, W.S. & Tolles, E.L. (2013). Seismic stabilization of historic adobe structures. **Journal of the American Institute for Conservation**, 39 (1), 147-163.
- Houben, H. & Guillaud, H. (1994). **Earth construction-A comprehensive guide**. London: ITDG.
- Jandai, J. (2012). **Yu kab din :16 pi karn pan din pen ban**. (In Thai) [Living with the soil: 16 years molding clay as a house]. Chiang Mai: Pun Pun.
- Jinwuth, W. (2017). **Ban din tan phaendinwai**. (In Thai) [Seismic Resistance of Adobe Building]. **Proceeding of Naresuan research conference**. (pp.2182-2192). Phitsanulok: Naresuan University Press.
- Jinwuth, W., et al. (2010). A Study into the earthquake resistance of circular adobe buildings using static tilt tests. **Proceeding of Australian earthquake engineering Society 2010 conference**. (pp.1-8). Perth: The Australian Earthquake Engineering Society.
- Lakkhunaprasit, P. (2014). **Pattanakarn khong witsawakam phaendinwai nai prathet Thai chak adit su anakhot**. (In Thai) [The development of earthquake engineering in Thailand - from the past to the future]. **Proceedings of the lessons Mae Lao's earthquake in Chiang Rai, disaster close to us**. (pp.1-12). Bangkok: Department of Mineral Resources.
- Minke, G. (2001). **Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth**. Retrieved May 23, 2020, from <http://www.gtz.de/basin>.

- National Information Centre of Earthquake Engineering. (2018). **IITK-BMTPC Earthquake tips: learning seismic design and construction**. Retrieved May 23, 2020, from <https://www.nicee.org/EQTips.php>.
- Smith, J. W. (1941). **Vibration of structures: applications in civil engineer design**. Bristol: J.W. Arrowsmith.
- Standards Australia. (2007). **AS1170.4: Structure design actions part 4: earthquake actions in Australia**. Sydney: Standards Australia.
- Tolles, E. L., et al. (2000). **Seismic stabilization of historic adobe buildings : final report of the Getty Seismic Adobe project**. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Uthaipattrakoon, T. (2004). **Sang ban duai din chak din su ban**. (In Thai) [Build a house with soil from the soil to the house]. Bangkok: Fueang Fa Printing.
- Vargas, J. & Ottazzi, G. (1981). **Investigaciones en adobe**. (In Spanish) [Investigation of adobe]. Lima: Pontifical Catholic University of Peru.
- Voice TV. (2014). **Pramual phab kwam siahai chak het phaendinwai tee Chiang Rai**. (In Thai) [Photo gallery: the damage from the earthquake in Chiang Rai]. Retrieved May 23, 2020, from <https://www.voicetv.co.th/read/104843>
- Walker, P. & Standards Australia. (2002). **The Australian earth building handbook**. Sydney: Standards Australia.
- Webster, F. (2002). **Some thoughts on adobe codes**. Retrieved August 15, 2002, from <http://www.deatech.com/natural/cobinfo/adobe.html>
- Wojciechowska, P. (1967). **Building with earth: a guide to flexible-form earthbagconstruction**. N.P. : Chelsea Green Publishing.