# การควบคุมการสั่นไหวของอาคารโดยใช้ถังเก็บน้ำ

# Building vibration control using water tanks

**สงวน วงษ์ชวลิตกุล**
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันท์ จังหวัดนครราชสีมา
**Sanguan Vongchavalitkul**
Faculty of Engineering, Phanomwan College of Technology, Nakhon Ratchasima
E-mail : sanguan1234.sv@gmail.com

**Received: July 2, 2025; Revised: November 26, 2025; Accepted November 30, 2025**

**บทคัดย่อ**

วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อควบคุมการสั่นไหวของอาคารโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ อาคารที่ใช้ในการศึกษาทำการจำลองแบบรวมมวล ( lumped mass model ) โดยใช้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 6 ชั้น ที่มีการออกแบบเผื่อให้รับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักได้ไม่เกิน 40%ของน้ำหนักมวลชั้นที่ 6 และใช้คลื่นความเร่งแผ่นดินไหว El Centro ที่มีความรุนแรงระดับ 2g (ความเร่งของโลก) เป็นแรงกระทำ โดยการติดตั้งถังเก็บน้ำร้อยละเทียบกับน้ำหนักมวลของชั้นบนสุด กรณีที่ 1 ติดตั้งถังเก็บน้ำร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวม กรณีที่ 2 ติดตั้งถังเก็บน้ำร้อยละ 20 ของน้ำหนักมวลรวม และ กรณีที่ 3 ติดตั้งถังเก็บน้ำร้อยละ 30 ของน้ำหนักมวลรวม ผลการศึกษาเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีถังเก็บน้ำ พบว่า กรณีที่ 1 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึงร้อยละ 15.22 กรณีที่ 2 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึงร้อยละ 28.21 และ กรณีที่ 3 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึงร้อยละ 40.95 ตามลำดับ ผลการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวจะเห็นว่ากรณีที่ 1 สามารถลดการสั่นไหวได้ร้อยละ 15.22 นั้นน่าจะเพียงพอต่อการลดการสั่นไหวของอาคารได้

**คำสำคัญ** : ระบบการควบคุมแบบแอ็คทีฟ ระบบการควบคุมแบบพาสซีฟ แบบจำลองแบบรวมมวล

**ABSTRACT**

This experimental study aimed to control the vibration of the building by using the mathematical model. The existing building used in this study was a 6- story reinforced concrete building that was designed to withstand the increase in weight not exceeding 40% of the mass of the 6th floor and using the El Centro earthquake acceleration wave with the intensity of 2g (the acceleration of the earth) as the force. The experiments were divided into 3 cases, i.e. water tank with 10%, 20% and 30% in weight compared to the lump mass

of the sixth floor of the building. It was found that Case Study 1 could reduce the vibration by 15.22 percent, Case Study 2 could reduce the vibration by 28.21 percent and Case Study 3 could reduce the vibration by 40.95 percent, respectively. The results of the simulation showed that Case Study 1, which could reduce the vibration by 15.22 percent, should be sufficient to reduce the vibration of the building.

**KEYWORDS** : Active control system, Passive control system, lumped mass model

**บทนำ**

ในปัจจุบัน ประเทศไทยและหลายประเทศทั่วโลกยังมีอาคารจำนวนมากที่ถูกออกแบบมาโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบจากแผ่นดินไหว โดยเฉพาะอาคารเก่าและอาคารในพื้นที่ที่เคยถูกประเมินว่ามีความเสี่ยงต่ำ อย่างไรก็ตาม จากสถิติแผ่นดินไหวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่เพิ่มขึ้น รวมถึงเหตุการณ์ความเสียหายจากแผ่นดินไหวในประเทศเพื่อนบ้าน เช่น เมียนมาและลาว สะท้อนให้เห็นว่าการเตรียมความพร้อมสำหรับภัยพิบัตินี้เป็นเรื่องเร่งด่วน

การควบคุมการสั่นสะเทือนของอาคารในพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวหรือลมแรงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาเสถียรภาพและความปลอดภัยของโครงสร้าง โดยเฉพาะสำหรับอาคารสูงหรืออาคารที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรับแรงดังกล่าว การควบคุมการสั่นไหวของอาคารที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีทั้งระบบการควบคุมแบบแอ็กทีฟ (Active Control System) และระบบการควบคุมแบบพาสซีฟ (Passive Control System) (Yang, J.N. et al.,1994, Vongchavalitkul,S. ,2003, 2004) สำหรับการควบคุมแบบพาสซีฟเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือ การใช้อุปกรณ์คู่ควบ (passive control devices) เช่น ระบบถังเก็บน้ำบนอาคาร ซึ่งอาศัยหลักการดูดซับพลังงานในลักษณะการปรับจูนความหน่วงของของเหลว (Tuned Liquid Damper: TLD) จากการสั่นสะเทือนผ่านการเคลื่อนที่ของน้ำภายในถัง (Son et al., 2018; Petchsasithon & Saingam, 2015; Roy et al., 2017) ระบบนี้ไม่เพียงช่วยลดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างแต่ยังเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ (Bhattacharyya & Ghosh, 2013; Konar, 2024)

อย่างไรก็ดี งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ TLD ในอาคารเดิมที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหวยังมีจำกัด ปัจจุบัน ถังเก็บน้ำบนอาคารมีความจำเป็นอย่างยิ่งทั้งในด้านการสำรองน้ำสำหรับการใช้งานและเพิ่มแรงดันน้ำภายในอาคาร ดังนั้น การศึกษาการใช้ถังเก็บน้ำในบทบาทสองทาง (dual-purpose) คือทั้งการจัดหาน้ำและควบคุมการสั่นสะเทือน จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจและควรได้รับการวิจัยอย่างเร่งด่วน เพื่อเพิ่มทางเลือกในการเสริมความแข็งแกร่งให้อาคารเก่าอย่างยั่งยืนและคุ้มค่าต่อการลงทุน

**วัตถุประสงค์**

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของการติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคารเพื่อลดการสั่นสะเทือนของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 6 ชั้นที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับแผ่นดินไหว โดยพิจารณาผลกระทบของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากถังเก็บน้ำและแรงกระทำจากคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ความรุนแรง 2g

**สมมติฐาน**

1 อาคารเดิมสมมติให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก ไม่เกิน 30 % ของการรับน้ำหนักเดิม จากทฤษฎีออกแบบอาคารโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ตามมาตรฐานการออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูประถัมภ์

2 แบบจำลองคณิตศาสตร์อาคารที่ใช้ในการศึกษาจะทำการจำลองแบบรวมมวล (lumped mass model) โดยพิจารณาเพียงการสั่นสะเทือนในทิศทางแนวนอนทิศทางเดียว (On Dimensional Horizontal Vibration) และไม่พิจารณาแรงบิดของอาคาร

3 แรงสั่นสะเทือนที่มากระทำเป็นแรงแผ่นดินไหว ในระดับความรุนแรง 2g (g = gravitational acceleration, $m/s^2$)

**ประโยชน์ที่ได้รับ**

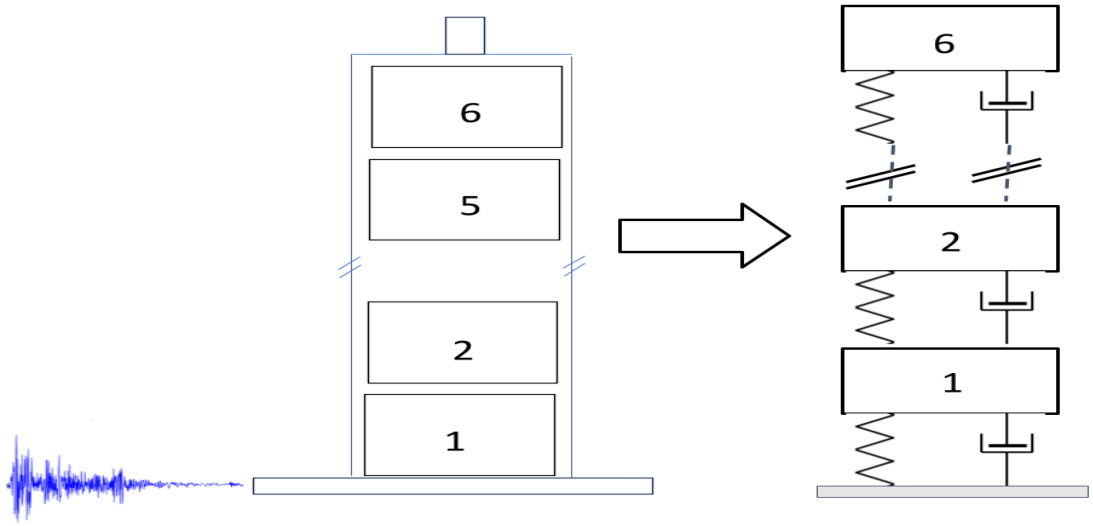
1 เพิ่มความปลอดภัยของอาคาร: ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มถังเก็บน้ำบนอาคารสามารถช่วยลดการสั่นสะเทือนของอาคารจากแผ่นดินไหวได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารเก่าที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว

2 เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคาร: ผลลัพธ์จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงหรือเสริมความแข็งแรงให้กับอาคารเดิม เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับมือกับภัยพิบัติทางธรรมชาติ

3 สนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบ: ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว ให้สามารถรับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนได้อย่างเหมาะสม

**วิธีดำเนินการวิจัย**

การศึกษาครั้งนี้จะใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์อาคารที่ใช้ในการศึกษาจะทำการจำลองแบบรวมมวล ( lumped mass model ) ที่มีขนาด 6 ดีกรีอิสระ ตามภาพที่ 1 และ สมการที่ (1) ดังนี้




**ภาพที่ 1** แสดงแบบจำลองของอาคาร 6 ชั้น ชั้นบนมีถังเก็บน้ำ แปลงไปยังแบบจำลองแบบรวมมวล ( Lumped mass Model )

$$M\ddot{X}(t) + C\dot{X}(t) + KX(t) = -MH\ddot{a}_g(t) \quad (1)$$

โดยที่

M,C,K = แมทตริกซ์ ของ มวล, ความหน่วง และ สตีฟเนส ขนาด 6 x 6

X(t) = เวกเตอร์ระยะขจัด แรง ขนาด 6

H = เวกเตอร์ระบุตำแหน่ง [1 0 0 ... 0 0]' ขนาด 6

$\ddot{a}_g(t)$ = ความเร่งของแผ่นดินไหว

ทำการจัดรูปสมการที่ (1) เพื่อเข้าสู่รูปสมการในการใช้วิเคราะห์เชิงตัวเลข ตามรูปสมการที่ (2)

$$\dot{Z}(t) = \begin{Bmatrix} \dot{X}(t) \\ \ddot{X}(t) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{X}(t) \\ \ddot{X}(t) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -H \end{Bmatrix} \ddot{a}_g(t) \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) สามารถลดรูปสมการลงเป็นสมการที่ (3)

$$\dot{Z}(t) = AZ(t) + F(t) \quad (3)$$

สมการที่ (2) และ (3) นี้จะใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารเมื่อรับแผ่นดินไหว โดยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเปรียบเทียบ ก่อนมีการติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคาร และหลังการติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคาร

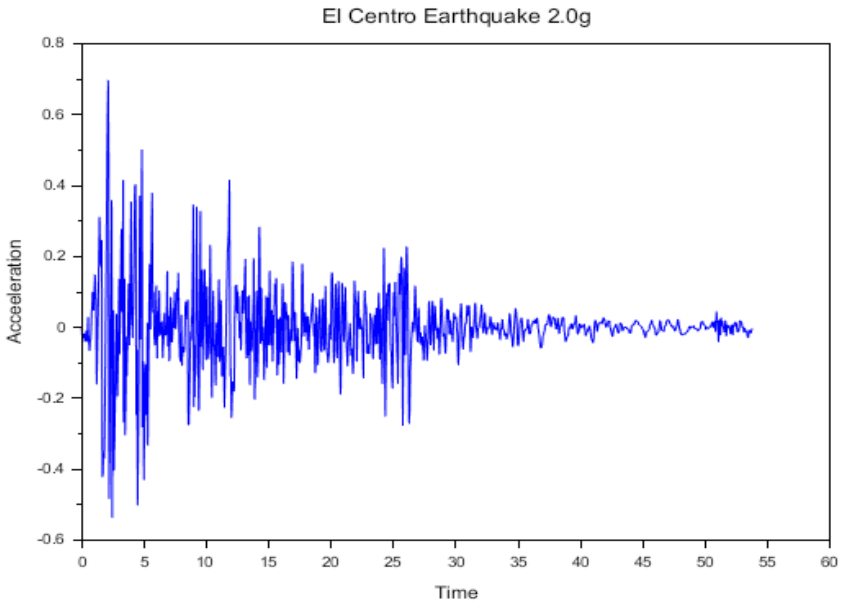
**การจำลองสถานการณ์เชิงตัวเลข**

ในการจำลองสถานการณ์ของอาคารซึ่งได้ตรวจสอบรายการคำนวณย้อนกลับ พบว่าสามารถที่จะรับน้ำหนักชั้นบนซึ่งปกติได้ออกแบบสำหรับวางถังเก็บน้ำไว้สำรองเมื่อเกิดภาวะขาดแคลนน้ำ โดยจะรับน้ำหนักได้ 10%ของมวลรวมชั้นบน ซึ่งจากการคำนวณย้อนกลับพบว่าสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น 35% แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาการเพิ่มถังน้ำขึ้น 10% 20% และ 30% เท่านั้น โดยอาคารที่ศึกษามีคุณสมบัติเชิงกลของอาคารดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงคุณสมบัติเชิงกลของอาคาร

| ชั้นที่ | มวล(M) Kg | ค่าความแกร่ง(K) N/m | ค่าความหน่วง(C) N·s/m |
|---|---|---|---|
| 1 | 184,320 | $13.5 \times 10^9$ | $1.58 \times 10^6$ |
| 2 | 184,320 | $13.5 \times 10^9$ | $1.58 \times 10^6$ |
| 3 | 184,320 | $13.5 \times 10^9$ | $1.58 \times 10^6$ |
| 4 | 184,320 | $13.5 \times 10^9$ | $1.58 \times 10^6$ |
| 5 | 184,320 | $13.5 \times 10^9$ | $1.58 \times 10^6$ |
| 6 | 184,320 | $13.5 \times 10^9$ | $1.58 \times 10^6$ |

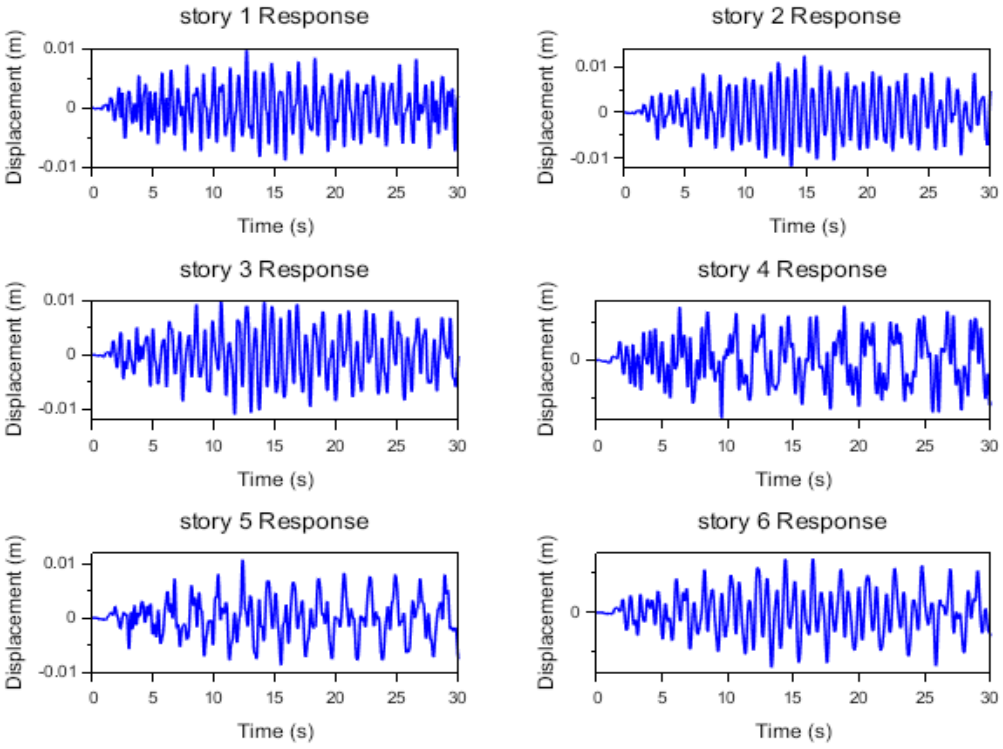
ความเร่งของแผ่นดินไหวจะใช้จากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่เมือง El Centro ในปี ค.ศ. 1940 ในวันที่ 18 พฤษภาคม (05:35 น. UTC ของวันที่ 19 พฤษภาคม) ในหุบเขาอิมพีเรียลทางตะวันออกเฉียงใต้ของแคลิฟอร์เนียใต้ ใกล้กับพรมแดนระหว่างประเทศของสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก มาใช้เป็นความเร่ง $\ddot{a}_g(t)$ กระทำต่ออาคาร 6 ชั้น ซึ่งมีความรุนแรงขนาด 2g (g= ความเร่งของโลก) ตามภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** แสดงความเร่งแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 2g ($m/s^2$)

**ผลการวิจัย**

จากการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่อาคารไม่ได้ติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคาร พบว่าอาคารแต่ละชั้นมีการสั่นไหว ดังปรากฏในรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าการขจัดสูงสุดของชั้นที่ 6 ซึ่งเป็นชั้นที่มีการสั่นไหวเท่ากับ 0.0138 เมตร



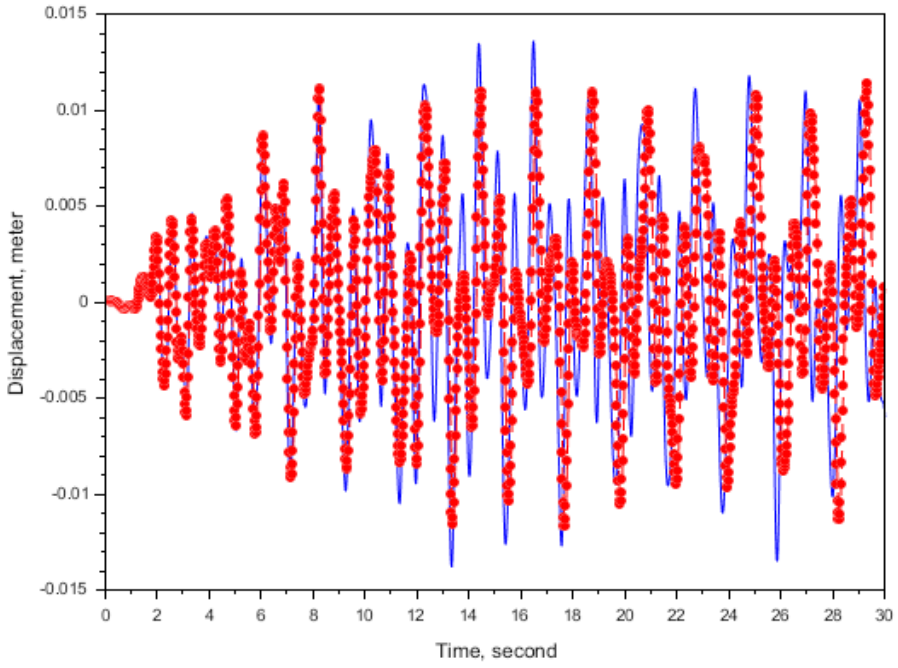

**ภาพที่ 3** แสดงการพล็อตค่าการขจัดของแต่ละชั้นเมื่อถูกกระทำด้วยแรงแผ่นดินไหวขนาด 2g

การจำลองสถานการณ์ในการควบคุมการสั่นไหวของอาคาร โดยการติดตั้งถังเก็บน้ำบนชั้นสูงสุดของอาคาร ในกรณีศึกษานี้คือชั้นที่ 6 จะกระทำทั้งหมด 3 กรณีศึกษา โดยการติดตั้งถังเก็บน้ำที่มีมวลเป็นร้อยละเทียบกับน้ำหนักมวลของชั้นบนสุด คือ กรณีที่ 1 จะติดตั้งถังเก็บน้ำ 10%, กรณีที่ 2 จะติดตั้งถังเก็บน้ำ 20% และ กรณีที่ 3 จะติดตั้งถังเก็บน้ำ 30%

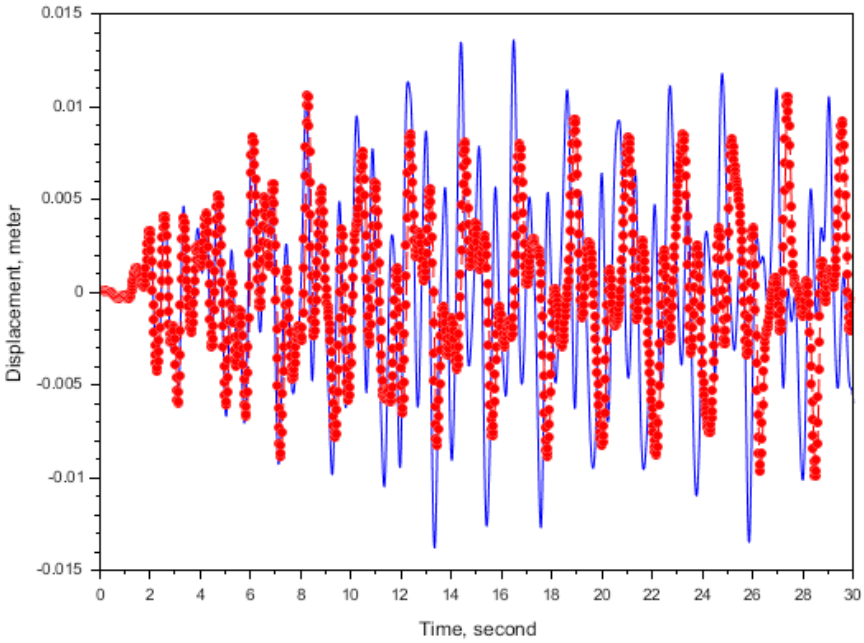
ผลของการเคลื่อนตัวสูงสุดจะวัดเฉพาะการเคลื่อนตัวของชั้นบนสุดของอาคารเท่านั้น ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 และรูปเปรียบเทียบแต่และกรณีศึกษาแสดงไว้ในภาพที่ 4-

**ตารางที่ 2** แสดงค่าการเคลื่อนตัวของอาคารชั้นที่ 6 ในแต่ละกรณีศึกษา

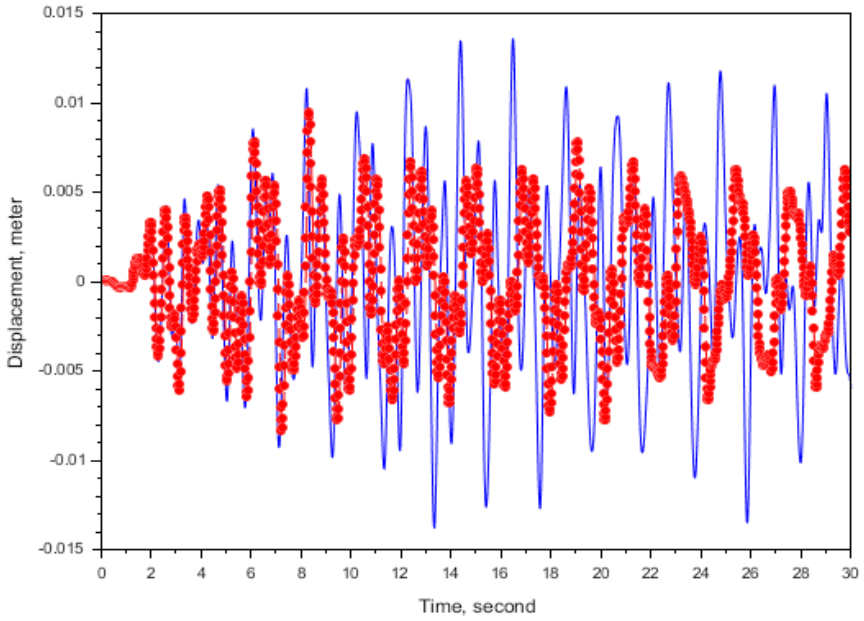
| กรณีศึกษาที่1 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| ระยะการขจัดสูงสุด (ม.) | 0.0117 | 0.0105 | 0.0095 |




**ภาพที่ 4** ค่าการขจัดของชั้นที่ 6 กรณีมีถังน้ำ 10% --- เทียบกับกรณีไม่มีถังเก็บน้ำ ——




**ภาพที่ 5** ค่าการขจัดของชั้นที่ 6 กรณีมีถังน้ำ 20% --- เทียบกับกรณีไม่มีถังเก็บน้ำ ——




**ภาพที่ 6** ค่าการขจัดของชั้นที่ 6 กรณีมีถังน้ำ 30% --- เทียบกับกรณีไม่มีถังเก็บน้ำ ——

จากทั้งสามกรณีศึกษาพบว่าเมื่อมีการติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคารแล้วสามารถลดการสั่นไหวของอาคารลงได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นค่าร้อยละ กับการไม่ได้ติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคาร จะพบว่า กรณีศึกษาที่ 1 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึง 15.22%, กรณีศึกษาที่ 2 สามารถลดการสั่น

ไหวลงได้ถึง 28.21% และ กรณีศึกษาที่ 3 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึง 40.95% ตามลำดับ ดังปรากฏผลตามตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** แสดงค่าการขจัดที่ลดลงในแต่ละกรณีศึกษา

| กรณีศึกษาที่ | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| ร้อยละที่ลดลง | 15.22 | 28.21 | 40.95 |

**สรุปผลการวิจัย**

จากการจำลองสถานการณ์ พบว่าการติดตั้งถังเก็บน้ำบนอาคารนอกจากใช้ประโยชน์ในการเก็บกักน้ำในช่วงขาดแคลน และเพื่อลดการสั่นไหวของอาคารแล้ว พบว่าอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็กสูง 6 ชั้นที่ใช้เป็นอาคารกรณีศึกษานี้ ซึ่งได้ทำการตรวจสอบรายการคำนวณความปลอดภัยว่าสามารถที่จะติดตั้งถังเก็บน้ำได้ถึง 40% ของน้ำหนักมวลของชั้นที่ 6 สามารถลดการสั่นไหวของอาคารในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว โดยที่ความเร่งแผ่นดินไหวที่นำมาใช้กับแบบจำลองในครั้งนี้คือ El Centro เกิดขึ้นที่เมือง El Centro ซึ่งเคยเกิดขึ้นในปี ค.ศ.1940 ในหุบเขาอิมพีเรียลทางตะวันออกเฉียงใต้ของแคลิฟอร์เนียใต้ ใกล้กับพรมแดนระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก และเป็นที่นิยมของนักวิจัยในการนำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร ความเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวครั้งนี้จะใช้ที่ระดับความรุนแรง 2 เท่าความเร่งของโลก ผลการศึกษาแบ่งออกทั้งหมด 3 กรณีศึกษา พบว่าค่าร้อยละการขจัดของชั้นที่6เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีถังเก็บน้ำนั้นคือ กรณีศึกษาที่ 1 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึง ร้อยละ 15.22, กรณีศึกษาที่ 2 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึง ร้อยละ 28.21 และ กรณีศึกษาที่ 3 สามารถลดการสั่นไหวลงได้ถึง ร้อยละ 40.95 ตามลำดับ ผลการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวจะเห็นว่ากรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งสามารถลดการสั่นไหวได้ร้อยละ 15.22 นั้นน่าจะเพียงพอต่อการลดการสั่นไหวของอาคารได้มากพอควร แต่หากลดมากกว่านี้จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นและเพิ่มภาระต่อการรับน้ำหนักของอาคาร

**ข้อเสนอแนะ**

1 ศึกษาเพิ่มเติมในกรณีอื่น ๆ: ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีศึกษาอื่น ๆ ที่มีความหลากหลายของประเภทอาคาร ความสูงของอาคาร และลักษณะคลื่นแผ่นดินไหว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและแม่นยำยิ่งขึ้น

2 พิจารณาปัจจัยด้านต้นทุนและโครงสร้าง: ควรมีการพิจารณาถึงปัจจัยด้านต้นทุนในการติดตั้งถังเก็บน้ำและผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารโดยรวมอย่างรอบด้าน ก่อนนำไปประยุกต์ใช้จริง

3 ทดสอบภาคสนาม: ควรมีการทดสอบภาคสนามหรือการจำลองสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อยืนยันผลการศึกษาที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

**เอกสารอ้างอิง**


Bhattacharyya, S., & Ghosh, A. D. (2013). A frequency domain study on the seismic response mitigation of elevated water tanks by multiple tuned liquid dampers. *Key Engineering Materials*, 270–277. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.569-570.270

Konar, T. (2024). Seismic vibration control of a building by overhead water tank designed as slender tuned sloshing damper. *Practice Periodical on Structural Design and Construction, 29*(2), 04024004. https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1393.

Konar, T., & Ghosh, A. D. (2022). *A study on the economic perspective of utilizing liquid tanks as dynamic vibration absorbers in building structures*. In S. A. Babu (Ed.), 5th World Congress on Disaster Management: Volume I (pp. 115–122). Routledge. https://doi.org/10.1201/9781003341956-15.

Petchsasithon, A., & Saingam, P. (2015). A study on behavior of tuned mass dampers using water tank to reduce vibrations of buildings from earthquake. *International Journal of Civil and Structural Engineering, 2*(2), 38–42.

Roy, A., Ghosh, A. D., & Chatterjee, S. (2017). Influence of tuning of passive TLD on the seismic vibration control of elevated water tanks under various tank-full conditions. *Structural Control & Health Monitoring, 24*(6), e1924. https://doi.org/10.1002/stc.1924

Son, L., Bur, M., & Satria, E. (2018). Vibration response suppression of space structure using two U-shaped water container. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 8*(6), 2472–2478. https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.6.7195.

Vongchavalitkul, S. (2003). *Active control of structures using pole assignment*. J. Material & Structural Reliability.

Vongchavalitkul, S. (2004, August 25-27). *Pole assignment for structural active control. ICCAS2004, The Shangri-La Hotel*, Bangkok, THAILAND.

Yang, J. N., Li, Z., & Vongchavalitkul, S. (1994). *A generalization of optimal control theory: Linear and non – linear control*. J. Engrg. Mech., ASCE, 120(2).