



SEISMIC RESPONSE ANALYSIS BY APPROXIMATE METHOD  
FOR SERVICEABILITY ASSESSMENT OF BUILDING

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

การวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อแผ่นดินไหวโดยวิธีการประมาณเพื่อตรวจสอบการใช้งานของอาคาร  
SEISMIC RESPONSE ANALYSIS BY APPROXIMATE METHOD FOR SERVICEABILITY  
ASSESSMENT OF BUILDING

พีระพัฒน์ บุญธรรม และนคร ภู่วโรดม

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. 02-5643001-9 โทรสาร 02-5643017

Email: pee\_kmitl@hotmail.com, pnakhorn@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์โดยประมาณสำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมด้านการใช้งานของอาคารภายใต้แผ่นดินไหว วิธีการประมาณนี้ใช้ค่าอัตราส่วนของสติฟเนส แบบเฉือนต่อแบบดัด ( $\alpha_0$ ) และค่าคาบการสั่นพื้นฐานของอาคารเป็นข้อมูลเริ่มต้น การศึกษาแสดงขั้นตอนของวิธีและเสนอค่า  $\alpha_0$  เพื่อใช้งานสำหรับอาคารตัวอย่าง 4 หลัง ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารตัวอย่างพบว่ามีผลสอดคล้องกับผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเฉพาะในโหมดต่ำและสำหรับอาคารสูง จากนั้นได้ทำการสร้างคลื่นแผ่นดินไหวจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่กรุงเทพมหานครเพื่อใช้วิเคราะห์ผลตอบสนองของอาคารและพบว่าวิธีการประมาณให้ผลที่ค่อนข้างถูกต้องเมื่อเทียบกับผลจากวิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา โดยมีความแตกต่างประมาณ 5% สำหรับค่าการเสียรูปที่ชั้นบนสุดและ 15% สำหรับค่าความเร่งสูงสุดที่ชั้นบนสุด

ABSTRACT

An alternative of approximate seismic analysis for serviceability design of buildings is investigated in this paper. The approximate analysis requires mainly information of the ratio of shear and bending stiffness ( $\alpha_0$ ), and fundamental period of the building. This paper applied the technique to 4 buildings to explain the procedures and propose the value of  $\alpha_0$  parameter. The results of the approximate dynamic properties of the buildings were in agreement with the results from finite element model, especially for lower modes and tall buildings. The simulated ground motions appropriate for Bangkok were used for seismic response analysis of the buildings. The approximate analysis could yield satisfactory result comparing with the result from linear response history analysis. The different were about 5% for the maximum roof displacement and 15% for the maximum roof acceleration.

## 1. บทนำ

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อประเทศไทยในอดีตนั้นมีความรุนแรงไม่มากจนถึงระดับที่ทำให้โครงสร้างหลักเกิดการวิบัติ แต่มีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น ผนังอิฐก่อ ฝ้าเพดาน และเกิดผลกระทบต่อความรู้สึกของผู้ที่ใช้อาคารให้ตื่นตระหนกเท่านั้น เนื่องจากปัญหาการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อพิจารณาผลจากแผ่นดินไหวจัดเป็นปัญหาใหม่และมีความซับซ้อนสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้หากผู้วิเคราะห์ขาดความเข้าใจหลักการอย่างตีพอ ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์โดยการประมาณสำหรับใช้วิเคราะห์เบื้องต้นและตรวจสอบกับผลการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน บทความนี้จึงทำการนำเสนอวิธีใช้การวิเคราะห์ผลตอบสนองของโครงสร้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีการประมาณ ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์มีผลมาจากความสูง ความแข็งแรงแรงเฉือนและความแข็งแรงแรงดัดในการประมาณสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างที่มีอยู่เดิม การออกแบบโครงสร้างเบื้องต้นและการตรวจสอบโครงสร้างในสภาวะใช้งานของอาคาร โดยพิจารณาแผ่นดินไหวกับตัวอย่างอาคาร ในกรุงเทพมหานคร และทำการเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Linear response time history analysis, LRHA) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการประมาณ

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อใช้วิธีและเสนอค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองของอาคารเนื่องจากแผ่นดินไหวโดยวิธีการประมาณ สำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้งานของอาคาร

## 3. การวิเคราะห์การตอบสนองโดยวิธีการประมาณ

การวิเคราะห์การตอบสนองโดยวิธีการประมาณที่ใช้ในการศึกษานี้มีสมมุติฐานสำคัญ ดังนี้

- พิจารณาระดับแผ่นดินไหวที่ไม่รุนแรง ดังนั้นโครงสร้างยังมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น
- โครงสร้างมีมวลและสติฟเนสสม่ำเสมอตลอดความสูง
- ผลการตอบสนองใช้การรวมผลโหมดลำดับแรกๆ ซึ่งใช้เท่ากับ 3 โหมดในงานวิจัยนี้
- ความหน่วงของอาคารมีค่าเท่ากับ 5%
- จำลองคลื่นแผ่นดินไหวตามสภาพของชั้นดินใน กทม.

การตอบสนองของระบบโครงสร้างแบบจำลอง สามารถแสดงได้ในรูปสมการการเคลื่อนที่ของระบบต่อเนื่อง ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\rho}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + \frac{c}{EI} \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + \frac{1}{H^4} \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} - \frac{\alpha_0^2}{H^2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = -\frac{\rho}{EI} \frac{\partial^2 u_g(t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  คือมวลต่อหน่วยความสูงของอาคาร,  $u(x,t)$  คือการเสียรูปด้านข้างของโครงสร้างที่ความสูง  $x$  ที่เวลา  $t$  ใดๆ,  $H$  คือความสูงของอาคาร,  $c$  คือค่าคงที่ความหน่วงโดยสมการที่ (1) เทอมที่ 1 เป็นผลของแรงเฉื่อย เทอมที่ 2 เป็นผลเนื่องจากความหน่วง เทอมที่ 3 และ 4 เป็นผลของสติฟเนสจากความแข็งแรงแรงดัด ( $EI$ ) และความแข็งแรงแรงเฉือน ( $GA$ ) ตามลำดับและเทอมที่ 5 เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของพื้น ( $u_g$ ) โดยที่  $\alpha_0$  คือค่าอัตราส่วนของสติฟเนสแบบเฉือนต่อแบบดัดที่นิยามดังนี้

$$\alpha_0 = H \left( \frac{GA}{EI} \right)^{1/2} \quad (2)$$

ค่าคงที่  $\alpha_0$  สามารถแสดงถึงลักษณะการเสียรูปของอาคาร โดยรวมผลของการเสียรูปแบบดัด (Flexural deformation) และการเสียรูปแรงเฉือน (Shear deformation) ของแบบจำลอง โดยที่  $\alpha_0$  ที่มีค่าต่ำเกิดในโครงสร้างมีการเสียรูปแบบดัดเป็นหลัก แต่หากค่า  $\alpha_0$  สูงหมายถึงโครงสร้างมีการเสียรูปแบบเฉือนเป็นหลัก

งานวิจัยของ Miranda [4] ได้แนะนำค่า  $\alpha_0$  ตามลักษณะของโครงสร้างทั่วไปโดยที่ไม่ระบุถึงความสูงของโครงสร้างดังนี้ โครงสร้างที่มีการค้ำยันหรือมีผนังรับแรงเฉือนค่า  $\alpha_0$  อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.5 โครงสร้างที่เป็นโครงข้อแข็งร่วมกับผนังรับแรงเฉือนหรือมีการค้ำยันค่า  $\alpha_0$  อยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 5 และโครงสร้างที่เป็นโครงข้อแข็งต้านทานแรงดัดอย่างเดียวค่า  $\alpha_0$  อยู่ระหว่าง 5 ถึง 20 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากับอาคารที่มีความสูงต่างๆ เพื่อเสนอค่า  $\alpha_0$  ที่จะใช้กับโครงสร้างเหล่านั้นในประเทศไทย โดยค่า  $\alpha_0$  ที่เสนอนั้นมาจากการเลือกค่าที่ทำให้รูปร่างการสั่นไหว (Mode shape) ของโหมดที่ 1 จากการประมาณมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากที่สุด

#### 4. คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของโครงสร้าง

Miranda [4] เสนอสมการหาค่าคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของโครงสร้างโดยวิธีการประมาณจากการแก้สมการที่ 1 ได้ตั้งนี้ค่า  $\gamma_n$  คำนวณจากการหาค่า Eigenvalue สำหรับโหมดการสั่นที่  $n$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับค่าพารามิเตอร์  $\alpha_0$  ดังสมการที่ (3)

$$2 + \left[ 2 + \frac{\alpha_0^4}{\gamma_n^2(\alpha_0^2 + \gamma_n^2)} \right] \cos(\gamma_n) \cosh(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}) + \frac{\alpha_0^2}{\gamma_n \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}} \sin(\gamma_n) \sinh(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}) = 0 \quad (3)$$

ค่า  $\gamma_n$  ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปมาก เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับคำนวณ รูปร่างการสั่นไหว ( $\phi_n(x)$ ) และคาบการสั่น ( $T_n$ ) สำหรับโหมดที่  $n$  ของอาคาร โดยจากการศึกษาพบว่าต้องใช้ค่า  $\gamma_n$  ด้วยความละเอียดถึงทศนิยม 5 ตำแหน่ง

$T_n$  สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 และ  $\phi_n(x)$  สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 ซึ่งแสดงไว้ว่า ค่าสำหรับโหมดลำดับที่  $n$  สามารถคำนวณโดยการประมาณจากพารามิเตอร์  $\alpha_0$  และคาบของโหมดที่ 1 เท่านั้น

$$\frac{T_n}{T_1} = \frac{\gamma_n}{\gamma_1} \sqrt{\frac{\gamma_1^2 + \alpha_0^2}{\gamma_n^2 + \alpha_0^2}} \quad (4)$$

$$\phi_n(x) = \frac{\sin(\gamma_n x) - \gamma_n (\alpha_0^2 + \gamma_n^2)^{-1/2} \sinh(x\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}) + \eta_n \left[ \cosh(x\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}) \right]}{\sin(\gamma_n) - \gamma_n (\alpha_0^2 + \gamma_n^2)^{-1/2} \sinh(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}) + \eta_n \left[ \cosh(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2}) \right]} \quad (5)$$

$$\text{เมื่อ } \eta_n = \frac{\gamma_n^2 \sin(\gamma_n) + \gamma_n \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2} \sinh(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2})}{\gamma_n^2 \cos(\gamma_n) + \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2} \cosh(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_n^2})} \quad (6)$$

การตรวจสอบความถูกต้องของ  $\phi_n(x)$  จากการประมาณ ใช้การเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วย Modal Assurance Criterion, MAC ดังนิยามในสมการที่ 7 โดยค่าที่เท่ากับ 100% หมายถึงมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์

$$MAC = \frac{|\{\phi_n\}^T \{\phi_A\}|}{(\{\phi_n\}^T \{\phi_n\})(\{\phi_A\}^T \{\phi_A\})} \times 100 \quad (7)$$

$\{\phi_n\}$  ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีการประมาณ และ  $\{\phi_A\}$  ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

## 5. การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของอาคารต่อแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

สำหรับโครงสร้างที่มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น สามารถประมาณค่าการตอบสนองโดยการรวมผลการตอบสนองถึงโหมดที่  $m$  โดยที่ค่าการเสียรูป  $u(x,t)$  หาได้จากสมการ

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^m u_n(x,t) \quad (8)$$

เมื่อ  $u_n(x,t)$  คือค่าการเสียรูปโหมดที่  $n$  ที่เขียนได้ดังนี้

$$u_n(x,t) = \Gamma_n \phi_n(x) D_n(t) \quad (9)$$

$\Gamma_n$  คือ modal participation factor ของโหมดการสั่นที่  $n$  และ  $D_n(t)$  คือค่าการเสียรูปตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Displacement response spectrum) ของโหมดที่  $n$  สามารถหาได้จากสมการการเคลื่อนที่ภายใต้แผ่นดินไหว  $\ddot{u}_g(t)$

$$\ddot{D}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -\ddot{u}_g(t) \quad (10)$$

เมื่อ  $\omega_n = 2\pi/T_n$  สำหรับโครงสร้างที่มีมวลกระจายสม่ำเสมอค่า  $\Gamma_n$  สามารถหาได้จากสมการ

$$\Gamma_n = \frac{\int_0^1 \phi_n(x) dx}{\int_0^1 \phi_n^2(x) dx} \quad (11)$$

ความเร่งตำแหน่งที่ความสูงใดๆ  $\ddot{u}(x,t)$  สามารถประมาณได้จากผลรวมการสั่น  $m$  โหมด และความเร่งของพื้น ดังนี้

$$\ddot{u}(x,t) = \ddot{u}_g(t) + \sum_{n=1}^m \Gamma_n \phi_n(x) \ddot{D}_n(t) \quad (12)$$

เมื่อ  $\ddot{D}_n(t)$  คือค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Acceleration response spectrum) ของโหมดที่  $n$  ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

การวิเคราะห์การตอบสนองโดยวิธีการประมาณมีขั้นตอนดังนี้

- ประมาณค่า  $\alpha_0$  จากลักษณะของโครงสร้าง
- หาค่า  $\gamma_n$  โดยแทนค่า  $\alpha_0$  ลงในสมการที่ (3)
- แทนค่า  $\alpha_0$  และ  $\gamma_n$  ในสมการที่ (4) เพื่อหาค่าคาบการสั่นของโหมดที่  $n$  ใด ๆ
- แทนค่า  $\alpha_0$  และ  $\gamma_n$  ในสมการที่ (6) เพื่อหาค่า  $\eta_n$
- แทนค่า  $\alpha_0$ ,  $\gamma_n$  และ  $\eta_n$  ลงในสมการที่ (5) เพื่อหา  $\phi_n(x)$  ของแต่ละโหมด
- หาค่า  $D_n(t)$  และ  $\ddot{D}_n(t)$  โดยใช้หลักการหา Response spectrum ของสมการที่ (10)
- แทนค่า  $\phi_n(x)$  ลงในสมการที่ (11) เพื่อหาค่า  $\Gamma_n$
- แทนค่า  $\Gamma_n$ ,  $\phi_n(x)$  และ การเสียรูปเชิงสเปกตรัม  $D_n(t)$  ลงในสมการที่ (9) เพื่อหาการเสียรูปแต่ละโหมดและนำมารวมกันตามสมการที่ (8) ได้เป็นค่าการเสียรูปของโครงสร้าง
- แทนค่า  $\Gamma_n$ ,  $\phi_n(x)$ ,  $\ddot{D}_n(t)$  และความเร่งที่พื้น  $\ddot{u}_g(t)$  ในสมการที่ (12) ได้เป็นค่าความเร่งสูงสุดที่แต่ละชั้น

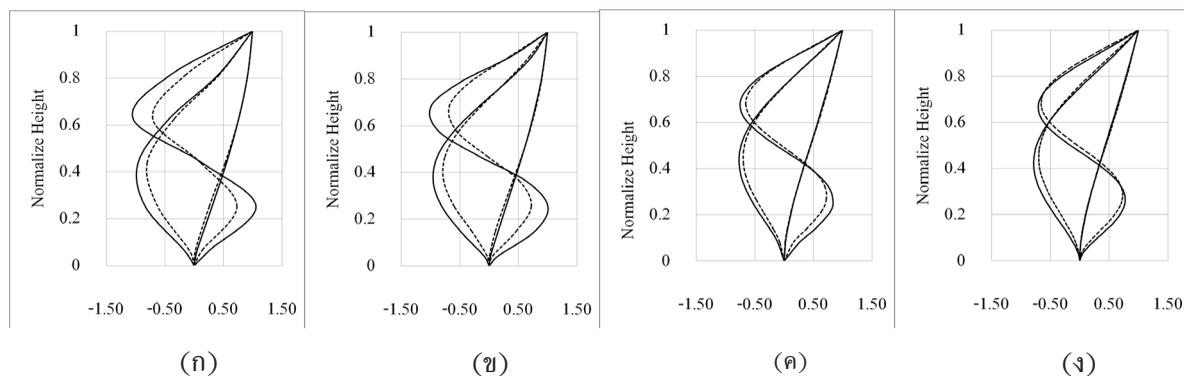
## 6. ผลการศึกษา

ในการศึกษาได้เลือกตัวอย่างอาคารจำนวน 4 หลัง โดยในแต่ละตัวอย่างเริ่มจากการเลือกค่า  $\alpha_0$  ที่เหมาะสมเพื่อเสนอเป็นแนวทางใช้กับอาคารอื่นที่มีความสูงใกล้เคียงกัน โดยเลือกจากค่าที่ทำให้รูปร่างการสั่นไหวของโหมดที่ 1 จากการประมาณใกล้เคียงกับผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของอาคารและค่า  $\alpha_0$  ที่เสนอ จากนั้นได้ใช้คลื่นแผ่นดินไหว  $\ddot{u}_g(t)$  ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ที่ Hector mine California วันที่ 26 ตุลาคม 2542 ขนาด 7.1 (เป็นคลื่นที่ใช้คำนวณสร้างความเร็วตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับมาตรฐาน มยผ. 1302 [1]) ป้อนที่ชั้นหินใต้ กทม. และเลือกกำหนดให้มีค่าความเร่งสูงสุด (Peak rock acceleration, PRA) 3 ระดับ คือ 0.025g, 0.05g และ 0.075g เพื่อคำนวณเป็นคลื่นที่พื้นดินโดยการวิเคราะห์ชั้นดินแบบเชิงเส้นเทียบเท่าด้วยโปรแกรม SHAKE [5]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอาคารตัวอย่าง

อาคารที่	จำนวนชั้น	ความสูง (m.)	กำลังอัดของคอนกรีต $f_c'$ (ksc.)		โมดูลัสยืดหยุ่น E (ksc.)		$\alpha_0$
			เสา คาน พื้น	ผนังรับแรงเฉือน	เสา คาน พื้น	ผนังรับแรงเฉือน	
1	6	15	240	-	235,000	-	9.0
2	10	22.5	240	-	235,000	-	7.8
3	18	72	280	320	250,000	272,000	3.3
4	53	168	350	500	285,000	340,000	3.0

ผลในรูปที่ 1 (ก) ถึง (ง) แสดง  $\phi_n(x)$  ของอาคาร 6 ชั้น 10 ชั้น 18 ชั้น และ 53 ชั้นตามลำดับ โดยที่เส้นทึบเป็น  $\phi_n(x)$  ที่คำนวณจากวิธี FEM และเส้นประเป็น  $\phi_n(x)$  ที่คำนวณจากวิธีประมาณ ซึ่งพบว่ามีคุณสมบัติคล้ายกันดีโดยเฉพาะกับโหมดต่ำ และสำหรับอาคารสูง



รูปที่ 1  $\phi_n(x)$  ของอาคารตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ถึง 5 ได้แสดงผลการคำนวณคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารตัวอย่าง ซึ่งมีผลที่สำคัญคือ

- ค่าคาบการสั่น  $T_1$  ไม่ต่างกัน เนื่องจากเลือกใช้เท่ากันในตอนเริ่มต้น โดยหากไม่มีข้อมูลใดๆ อาจประมาณจากสมการใน มยผ1302 คือ  $T_1 = 0.02H$  เมื่อ  $H$  คือความสูงของอาคาร (เมตร)
- คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร ได้แก่  $T_n$ ,  $\phi_n(x)$  (ค่า MAC) และ  $\Gamma_n$  จากการประมาณ มีแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ในโหมดสูงและในอาคารเตี้ย ดังนั้นวิธีการประมาณจึงสามารถใช้หาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารสูงได้ดี

- ค่า  $\alpha_0$  ที่เหมาะสมกับอาคาร 6 ชั้นมีค่าประมาณ 9.0 อาคาร 10 ชั้นมีค่าประมาณ 7.8 อาคาร 18 ชั้น มีค่าประมาณ 3.3 และอาคาร 53 ชั้นประมาณ 3.0 ซึ่งอาคาร 6 และ 10 ชั้นมีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งรับแรงดัดอย่างเดียว ค่า  $\alpha_0$  ที่ Miranda [4] แนะนำไว้คือ 5-20 ส่วนอาคาร 18 และ 53 ชั้นมีผนังรับแรงเฉือน ค่า  $\alpha_0$  ที่แนะนำไว้คือ 1.5-5 ค่า  $\alpha_0$  ที่เสนอสำหรับอาคารตัวอย่างศึกษาเหล่านี้อยู่ในช่วงดังกล่าว

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร 6 ชั้น

ค่าพารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์		คลาดเคลื่อน (%)
	FEM.	วิธีประมาณ	
T1 =	0.42	0.42	-
T2 =	0.14	0.13	9.56
T3 =	0.09	0.07	21.15
G1 =	1.27	1.26	0.88
G2 =	-0.33	-0.18	45.11
G3 =	0.29	0.55	85.56
MAC	โหมดที่ 1 99.88 %	โหมดที่ 2 98.34 %	โหมดที่ 3 95.14 %

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร 10 ชั้น

ค่าพารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์		คลาดเคลื่อน (%)
	FEM.	วิธีประมาณ	
T1 =	0.65	0.65	-
T2 =	0.23	0.20	9.83
T3 =	0.13	0.10	19.66
G1 =	1.31	1.30	1.31
G2 =	-0.43	-0.33	23.39
G3 =	0.29	0.52	81.46
MAC	โหมดที่ 1 99.89 %	โหมดที่ 2 98.40 %	โหมดที่ 3 96.28 %

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร 18 ชั้น

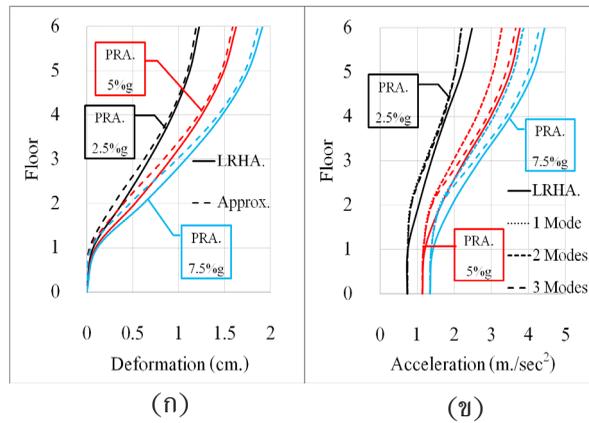
ค่าพารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์		คลาดเคลื่อน (%)
	FEM.	วิธีประมาณ	
T1 =	1.74	1.74	-
T2 =	0.46	0.45	2.97
T3 =	0.21	0.19	10.94
G1 =	1.44	1.43	0.84
G2 =	-0.65	-0.62	5.63
G3 =	0.36	0.47	28.03
MAC	โหมดที่ 1 99.99 %	โหมดที่ 2 99.64 %	โหมดที่ 3 98.88 %

ตารางที่ 5 คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร 53 ชั้น

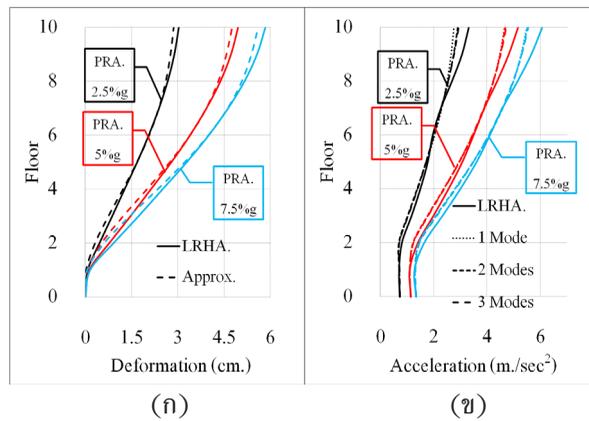
ค่าพารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์		คลาดเคลื่อน (%)
	FEM.	วิธีประมาณ	
T1 =	3.79	3.79	-
T2 =	0.98	0.95	3.24
T3 =	0.45	0.39	13.57
G1 =	1.50	1.48	1.37
G2 =	-0.76	-0.79	4.17
G3 =	0.43	0.48	12.49
MAC	โหมดที่ 1 99.99%	โหมดที่ 2 99.22%	โหมดที่ 3 98.30%

ค่าการเสียรูปและค่าความเร่งสูงสุดของอาคารแสดงในรูปที่ 2 ถึง 5 ที่ได้จากวิธีประมาณและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา (LRHA) ของแต่ละอาคาร โดยแสดงสำหรับทุกค่า PRA สำหรับการประเมินผลกระทบด้านความเหมาะสมต่อการใช้งานของอาคารที่ระดับความรุนแรงแผ่นดินไหวต่าง ๆ และได้แสดงผลของการรวมจำนวนโหมดคือคิด 1 โหมด 2 โหมด และ 3 โหมดในการวิเคราะห์โดยวิธีประมาณไว้ด้วย ผลพบว่า

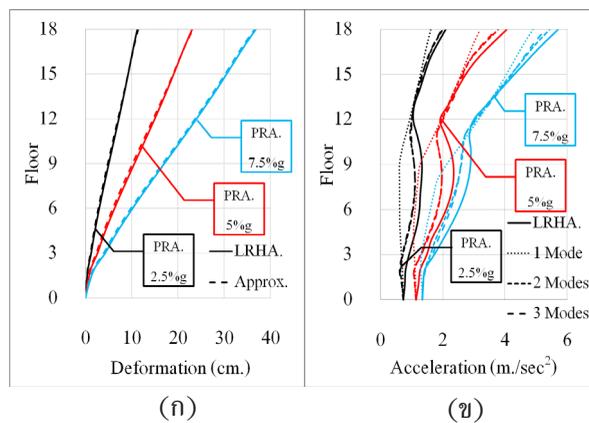
- วิธีการประมาณสามารถให้ผลค่าการเสียรูปและค่าความเร่งสูงสุดใกล้เคียงกับผลจากวิธี LRHA
- การคิดผลรวมของโหมดจำนวนมากขึ้น ทำให้ได้ผลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น และได้ว่าการรวมผลจำนวน 3 โหมด ให้ความถูกต้องได้ดีโดยเฉพาะกับอาคารเตี้ย
- ความแตกต่างของค่าการเสียรูปที่ชั้นบนสุดระหว่างผลจากวิธีประมาณกับ LRHA สำหรับอาคารสูง 6 ชั้น 10 ชั้น 18 ชั้น และ 53 ชั้นเมื่อรวม 3 โหมด คือ 2.6% 5% 1% และ 5% ตามลำดับ
- ความแตกต่างของค่าความเร่งสูงสุดที่ชั้นบนสุดระหว่างผลจากวิธีประมาณกับ LRHA สำหรับอาคารสูง 6 ชั้น 10 ชั้น 18 ชั้น และ 53 ชั้นเมื่อรวม 3 โหมด คือ 3% 10% 8% และ 14% ตามลำดับ



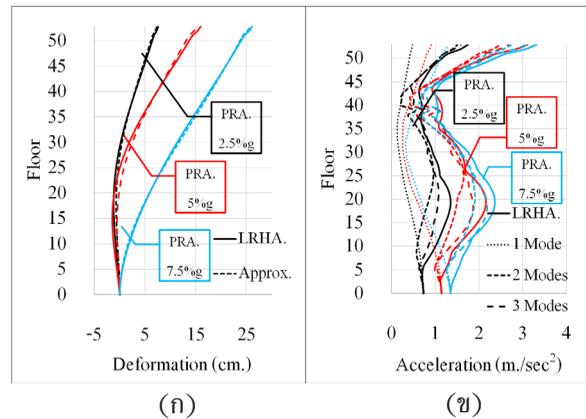
รูปที่ 2 การเสียรูปและความเร่งสูงสุดของอาคาร 6 ชั้น



รูปที่ 3 การเสียรูปและความเร่งสูงสุดของอาคาร 10 ชั้น



รูปที่ 4 การเสียรูปและความเร่งสูงสุดของอาคาร 18 ชั้น



รูปที่ 5 การเสียรูปและความเร่งสูงสุดของอาคาร 53 ชั้น

## 7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการประมาณและเสนอแนวทางการวิเคราะห์เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการวิเคราะห์เบื้องต้นกับอาคารภายใต้ผลของแผ่นดินไหว โดยพิจารณาระดับแผ่นดินไหวที่ไม่รุนแรงและโครงสร้างยังมีพฤติกรรมยืดหยุ่นเชิงเส้น เพื่อการใช้ตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้งานของอาคาร ผลการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบกับผลจากวิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา (LRHA) โดยมีข้อสรุปที่สำคัญคือ

- ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องใช้ในการประมาณคือ พารามิเตอร์ของอัตราส่วนสติเฟเนสแบบเนียนต่อแบบดัด  $\alpha_0$  ซึ่งได้นำมาใช้กับตัวอย่างอาคารที่ศึกษา และคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร
- วิธีการประมาณให้ค่าคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารตัวอย่างศึกษาได้ใกล้เคียงค่าที่ถูกต้อง โดยเฉพาะกับโหมดต่ำ และสำหรับอาคารสูง
- วิธีการประมาณสามารถให้ผลค่าการเสียรูปและค่าความเร่งสูงสุดใกล้เคียงกับผลจากวิธี LRHA และการรวมผลจำนวน 3 โหมด ให้ความถูกต้องได้ดีโดยเฉพาะกับอาคารเตี้ย
- ความแตกต่างของค่าการเสียรูปที่ชั้นบนสุดระหว่างผลจากวิธีประมาณกับ LRHA มีค่าไม่เกิน 5% สำหรับอาคารที่ศึกษา
- ความแตกต่างของค่าความเร่งสูงสุดที่ชั้นบนสุดระหว่างผลจากวิธีประมาณกับ LRHA มีค่าไม่เกิน 15% สำหรับอาคารที่ศึกษา

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโยธาธิการและผังเมือง, มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว, มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1302, พ.ศ. 2552
- [2] Computers and Structures, Inc., "CSI Analysis Reference Manual" Berkeley, California, 2011.
- [3] E. Miranda, "Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings", Journal of Structural Engineering, ASCE., Vol. 125, No.4, Apr. 1999, pp.417-425.
- [4] E.Miranda and S.Taghavi, "Approximate Floor Acceleration Demands in Multistory Buildings I: Formulation", Journal of Structural Engineering, ASCE., Vol. 131, No.2, Feb. 2005, pp.203-211.
- [5] I. M. Idriss and J. I. Sun, "User manual for SHAKE91", Center for Geotechnical Modeling. Dept. of Civil & Environ. Eng. University of California. Davis, California, 1992.