พฤติกรรมของอาคารสูงเดิมที่มีชั้นอ่อนภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร
Behavior of Existing High-Rise Building with Soft-Story under Bangkok Earthquakes

เสรี ระสุโสีะ[1,*] และ ประกิต ชมชื่น[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: rahsusoh13@gmail.com*

บทคัดย่อ

การพัฒนาของเทคโนโลยีและข้อจำกัดด้านพื้นที่ส่งผลให้อาคารสูงได้รับความนิยมในกรุงเทพมหานคร ด้วยเงื่อนไขหลายประการส่งผลให้อาคารสูงจำนวนมากได้รับการออกแบบและก่อสร้างโดยมีชั้นอ่อน ชั้นอ่อนดังกล่าวส่งผลให้อาคารอ่อนแอต่อแผ่นดินไหว มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) ที่ประกาศครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2550 และมีการปรับปรุงล่าสุดในปี พ.ศ. 2561 (มยผ. 1301/1302-61) ได้กำหนดเงื่อนไขการพิจารณาความสม่ำเสมอของสตีฟเนสของอาคารในแนวดิ่งไว้ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินว่าอาคารมีชั้นอ่อนหรือไม่ การวิเคราะห์ผลตอบสนองของอาคารที่มีชั้นอ่อนภายใต้แผ่นดินไหวต้องใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประวัติเวลาเท่านั้น การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมภายใต้แรงแผ่นดินไหวในกรุงเทพมหานคร ของอาคารสูงเดิมที่มีการออกแบบและก่อสร้างก่อนมีกฎหมายกำหนดให้คำนึงถึงผลของแผ่นดินไหวและมีชั้นอ่อน อาคารสูงที่เลือกศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีจำนวนชั้นทั้งหมด 34 ชั้น และความสูงทั้งหมด 129.60 เมตร เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ตามมาตรฐานแล้วพบว่าโครงสร้างชั้นที่ 7 ถือเป็นชั้นอ่อน รายละเอียดของผลการตอบสนองของอาคารวิเคราะห์ด้วยวิธีประวัติเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่กำหนดในมาตรฐานสำหรับกรุงเทพมหานคร ได้แสดงและอภิปรายในบทความนี้

คำสำคัญ อาคารที่มีชั้นอ่อน- อาคารสูงเดิม- ผลตอบสนองของอาคารสูงเดิมภายใต้แผ่นดินไหว, การวิเคราะห์แบบประวัติเวลา

Abstract

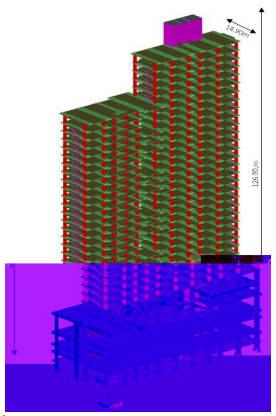
Ufdi opmphjdbmefwfmpqn fout boe tqbdf dpotusbjout i bwf n bef i jhi .sjtf cvjmejohs qpqvmbs jo Cbohlpl / Ovn cfs pg dpoejujpot sftvmufe jo n boz i jhi .sjtf cvjmejohs cf joh eftjhofe boe dpotusvdufe x jui tpgu tupsz/Ui f tpgu tupsz n blft cvjmejohs x fbl up fbsui rvblf t/ Fbsui rvblf .sftjtubou eftjho tuboebse pg ui f Efqbsun fou pg vcnjdlX psls boe Upx o Dpvousz nboojoh)E U x bt boopvodfe jo 3118 boe nbtu vqebufe jo 3129)E U 241202413.72 / o ui jt tuboebse- ui f dpoejujpo gps efufsn jojoh ui f vojgpsn juz pg ui f wf sujdbmtujggoftt pg ui f cvjmejoh- x i jdi jt vtfe bt b dsjufsjpo up kvehf x i fui fs b cvjmejoh i bt b tpgu tupsz ps opu- x bt ftubcnjti fe/Ui f tuboebse bntp tujqvmbuft ui bu ui f sftqpotf bobmztjt pg tpgu tupsz cvjmejohs voefs fbsui rvblf t sfrvjsft pomz ujn f.i jtupsjdbm bobmztjt n fui pet/ Ui jt tuvez gpdvtft po cfi bwjps pg ui f fyjtujoh i jhi .sjtf cvjmejoh x jui tpgu tupsz jo Cbohlpl - ui bu x bt eftjhofe boe dpotusvdufe cfgpsf ui f nbx sfrvjsfe up ublf joup bddpvou ui f fggfdut pg fbsui rvblf t- voefs fbsui rvblf/Ui f dbtf tuvez jo ui jt qbqfs jt bo fyjtujoh i jhi .sjtf sfjogpsdfe dpodsfuf cvjmejoh x jui tpgu tupsz jo Cbohlpl / Ui f sf bsf b upubmpg 45 gmppst boe b upubmi f jhi upg 23: /71 n fufst/ Dpotjefsjoh ui f tuboebse dsjufsjb- ui f 8ui gmpps tusvduvsf jt dpotjefsfe bt b tpgu tupsz/Efubjmt pg ujn f.i jtupsz sftqpotf t pg ui f cvjmejoh voefs ui f fbsui rvblf hspvoe n pujpot gps Cbohlpl bsf b x jmmcf qsftfoufe boe ejtdvttfe jo ui jt qbqfs/

Lfzxpset Tpgu tupsz Cvjmejohs- Fyjtujoh I jhi .Sjtf Cvjmejohs- Sftqpotf t pg Fyjtujoh I jhi .Sjtf Cvjmejohs voefs Fbsui rvblf- Ujn f.I jtupsz Bobmztjt/

1. บทนำ

การพัฒนาของเทคโนโลยีและข้อจำกัดด้านพื้นที่ส่งผลให้อาคารสูงได้รับความนิยมในกรุงเทพมหานคร ด้วยเงื่อนไขหลายประการส่งผลให้อาคารสูงจำนวนมากได้รับการออกแบบและก่อสร้างโดยมีชั้นอ่อน ชั้นอ่อนดังกล่าวส่งผลให้อาคารอ่อนแอต่อแผ่นดินไหว มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง มีการปรับปรุงล่าสุดในปี พ.ศ. 2561 (มยผ. 1301/1302-61) 2 ได้กำหนดเงื่อนไขการพิจารณาความสม่ำเสมอของสตีฟเนสของอาคารในแนวดิ่งไว้

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างโดยใช้วิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น)Mjofbs Ujn f i jtupsz Bobmztjt -NUI B 5 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอาคารสูงเดิมที่มีชั้นอ่อนภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างเดิมดังแสดงในตารางที่ 1-3 เพื่อเปรียบเทียบผลของสติฟเนสแนวดิ่ง (Wf sujdbm Tujggoftt ผลของแรงเฉือนที่ฐานรวม (UpubmCbtf Ti fbs ผลของการเคลื่อนตัวด้านข้าง(I psj poubmEjtqmbdf n fou และผลของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (ouf stupsz esjgu เป็นสำคัญ [1]



รูปที่ 1 ภาพรวมของโครงสร้างอาคารเดิม

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุ	กำลังของวัสดุ (กก/ตร.ซม)	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ (กก/ตร.ซม)
พื้นทั่วไป-พื้นคอนกรีตอัดแรง	320	381-228
เสาและผนังรับแรงเฉือน	400	431-111
เหล็กเสริมพื้น	4-111)TE 40	3-150-111
เหล็กเสริมพื้นคอนกรีตอัดแรง	4-111)TE 40	3-150-111
เหล็กเสริมเสาและผนังรับแรงเฉือน	6-111)TE 50	3-150-111

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างของพื้น เสาและผนังรับแรงเฉือน

ระดับชั้น	ความสูงชั้น)เมตร)	พื้น)เมตร)	D2)เมตร)	D3)เมตร)	X 2-X 3)เมตร)
ชั้นหลังคา	3.00	SD 1 /81	-	.	1 /4
ชั้นถังน้ำ	3.70	SD 1 /81	-	.	1 /4
ชั้นห้องเครื่อง	1.90	SD 1 /81	-	.	1 /4
ชั้น 8.34	4/86	UT 1 /86	-	1 /5y2/7	1 /4
ชั้น 7.8	: /46	UT 1 /86	-	1 /5y3 /5	1 /4
ชั้น 6-7	7/51	UT 1 /86	0.4y2/8	1 /5y3 /5	1 /4
ชั้น 5C-6	2/86	UT 1 /41	0.4y2/8	1 /5y3 /5	1 /4
ชั้น 5B-4C	2/61	UT 1 /41	0.4y2/8	1 /5y3 /5	1 /4
ชั้น 3-4B	3.10	UT 1 /41	0.4y2/8	1 /5y3 /5	1 /4
ชั้น 2-3	4/21	UT 1 /41	0.4y2/8	1 /5y3 /5	1 /4
ชั้น 1-2	4/ 1	SD 1 /41	0.4y2/8	1 /5y3 /5	1 /4

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติมและน้ำหนักบรรทุกจร

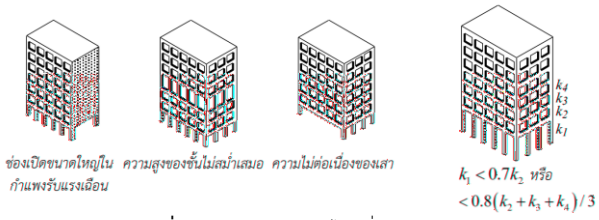
ชั้น	น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม(กก/ตร.ม)	น้ำหนักบรรทุกจร(กก/ตร.ม)
ชั้นดาดฟ้า	-	2-000
ชั้น 7-34	350	200
ชั้น 6	350	500
ชั้น 2-5	-	400
ชั้น 1	350	500

2. มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว (มยผ.1301/1302-61)

2.1 การจำแนกลักษณะรูปแบบอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวดิ่ง (Vertical Structural Irregularities)[1] ดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถแบ่งออกได้ 2 ระดับดังนี้

2.1.1 ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนสหรือมีชั้นที่อ่อน (Tujggof tt. Tpgu Tupsz ssf hvrbsjuz กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง (Mbuf sbmTujggof tt น้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป

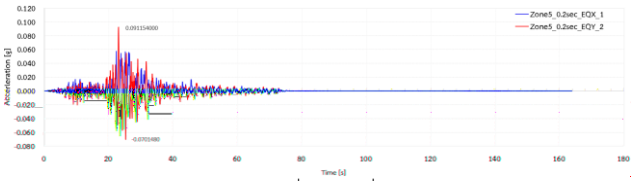
2.1.2 ความไม่สม่ำเสมออย่างมากของสติฟเนสหรือมีชั้นที่อ่อนอย่างมาก (Tujggof tt. Fyusf n f Tpgu Tupsz ssf hvrbsjuz กรณีที่มีชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้าง)Mbuf sbmTujggof tt น้อยกว่าร้อยละ 71 ของค่าในชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป หรือน้อยกว่าร้อยละ 81 ของค่าสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป



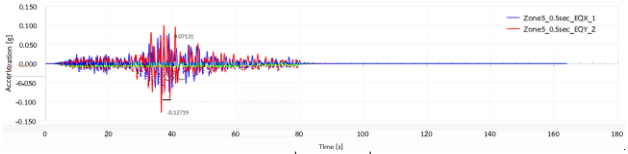
รูปที่ 2 การจำแนกความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส

2.2 ข้อมูลคลื่นความเร่งของผิวดิน (Ground Motion

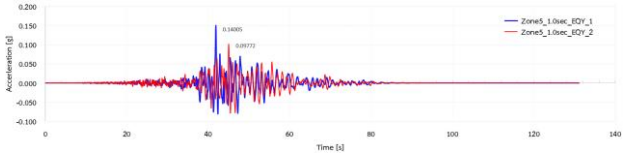
ความเร่งของพื้นดินที่ใช้กระทำที่ฐานอาคาร โดยข้อมูลแบบประวัติเวลาต้องมีจำนวนความเร่งของพื้นดินไม่น้อยกว่า 3 ชุด และคลื่นความเร่งแต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ในกรณีที่ใช้คลื่นความเร่งไม่น้อยกว่า 7 ชุด อนุญาตให้ใช้ค่าเฉลี่ยของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างและการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้ สำหรับอาคารตัวอย่างนี้ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นพื้นที่กระทบแผ่นดินไหว โซน 5 โดยมีชั้นดินคาบการสั่นประเภท E มีค่าความหน่วงของโครงสร้างร้อยละ 2.5 [6] และใช้ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 0.2 วินาที 0.5 วินาที 1.0 วินาที 1.5 วินาที 2.0 วินาที และ 3.0 วินาที รวมทั้งหมด 23 ชุด 2 ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก-ฉ)



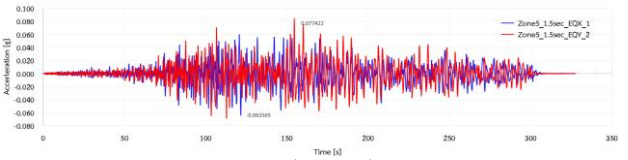
ก/ ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (แกน Y แกน



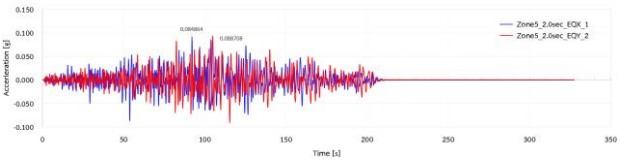
ข/ ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่น 0.5 วินาที (แกน Y แกน



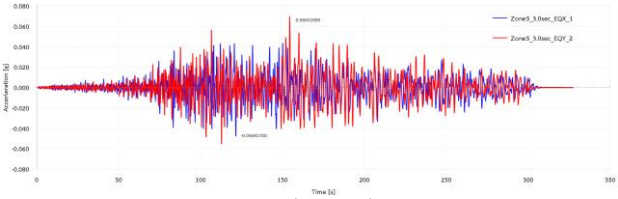
ค/ ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่น 1.0 วินาที (แกน Y แกน



ง/ ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่น 1.5 วินาที (แกน Y แกน



จ/ ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่น 2.0 วินาที (แกน Y แกน



ฉ/ ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่น 3.0 วินาที (แกน Y แกน

รูปที่ 3 ความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคาร

2.3 สมการการเคลื่อนที่

สมการการเคลื่อนที่ของระบบ(N vmoj efhsff pgsgsffepn tztufn -NEP G สามารถใช้หลักการเดียวกับระบบ Tjnfn efhsff pgsgsffepn tztufn -TEP G ซึ่งมีข้อเพิ่มเติมคือพิจารณาสำหรับทุกๆ Efhsff pgsgsffepn tztufn -EP G โดยใช้หลักการสมดุลโดยตรง เพื่อแสดงแรงพลศาสตร์ทั้งหมดที่กระทำแต่ละ EP G และเขียนสมดุลแรงในรูปสมการการเคลื่อนที่ในรูปเมทริกซ์ 2 - 5 ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{k}\mathbf{u} = \mathbf{m}\mathbf{1}\ddot{u}_g(t) \tag{1}$$

เมทริกซ์ของมวล $\mathbf{m}$

$$\mathbf{m} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & m_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & m_N \end{bmatrix} \tag{2}$$

เมทริกซ์ของความหน่วง $\mathbf{c}$

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \cdots & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \cdots & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & c_N \end{bmatrix} \tag{3}$$

เมทริกซ์ของสติฟเนส $\mathbf{k}$

$$\mathbf{k} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \cdots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \cdots & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & k_N \end{bmatrix} \tag{4}$$

เมื่อ $k = \dfrac{12E_c}{h^2\left[\dfrac{1}{\sum k_c} + \dfrac{1}{\sum k_b}\right]}$

เมทริกซ์ของเวกเตอร์ตอบสนอง $\mathbf{u}$ -เมทริกซ์ความเร็วตอบสนอง $\dot{\mathbf{u}}$ และความเร่งตอบสนอง $\ddot{\mathbf{u}}$

$$\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{Bmatrix}, \dot{\mathbf{u}} = \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \vdots \\ \dot{u}_N \end{Bmatrix}, \ddot{\mathbf{u}} = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \vdots \\ \ddot{u}_N \end{Bmatrix} \tag{5}$$

เมทริกซ์ของเวกเตอร์ $\mathbf{m1}$

$$\mathbf{m1} = \sum_{n=1}^{N} \mathbf{S}_n = \sum_{n=1}^{N} \Gamma_n \mathbf{m}\phi_n \tag{6}$$

$$\Gamma_n = \frac{L_n^h}{M_n}, L_n^h = \sum_{n=1}^{N} m_j \phi_{jn}, M_n = \sum_{n=1}^{N} m_j \phi_{jn}^2 \tag{7}$$

เมื่อ φ คือไอเกนเวกเตอร์

ϕ คือรูปร่างการสั่นไหว

Γ_n คือค่าประกอบการมีส่วนร่วมเชิงโหมด

2.4 ความถี่ธรรมชาติในรูปแบบการสั่นไหว (Natural Frequency and Mode Shape)

คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ที่สำคัญของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีมากกว่าหนึ่งประกอบไปด้วยความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหว 6 ดังแสดงในสมการที่ (8.:)

$$\left[\mathbf{k} - \omega^2 \mathbf{m}\right]\boldsymbol{\varphi} = 0 \tag{8}$$

$$\det\left|\mathbf{k} - \omega^2 \mathbf{m}\right| = 0 \tag{9}$$

เมื่อ ω คือความถี่เชิงมุมประจำโหมดใดๆ

φ คือไอเกนเวกเตอร์

2.5 ความหน่วงของโครงสร้างคอนกรีตเหล็ก(Damping ratio)

ความหน่วงที่ใช้สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีค่าแปรผันตามความสูงรวมของอาคาร โดยความสูงรวมของอาคารที่มีค่าน้อยกว่า 16 เมตร จะมีค่าความหน่วงร้อยละ 5.0 ความสูงรวมของอาคารที่มีค่าอยู่ระหว่าง 16-64 เมตร จะมีค่าความหน่วงร้อยละ 2.5-5.0 และความสูงรวมของอาคารที่ค่ามากกว่า 64 เมตรขึ้นไป จะมีค่าความหน่วงร้อยละ 2.5 7 ดังแสดงในสมการที่ (11. 23)

$$\xi = 0.05 \; for H < 16.00m \tag{10}$$

$$\xi = \frac{0.2}{\sqrt{H}} \; for 16.00m \le H \le 64.00m \tag{11}$$

$$\xi = 0.025 \; for H \ge 64.00m \tag{12}$$

2.6 การคำนวณมวลประสิทธิผลหรือน้ำหนักประสิทธิผล

ในแต่ละโหมดการสั่นจะมีมวลประสิทธิผล 2 - 6 ที่ก่อให้เกิดแรงในโครงสร้างที่ไม่เท่ากัน การคำนวณมวลมวลประสิทธิผลหรือน้ำหนักประสิทธิผล M_m หรือน้ำหนักประสิทธิผล W_m จะต้องคำนวณพารามิเตอร์ Npebmn btt M_m และ L_m)Fbsui r vblf qbsujdjqbujpo gbdups ก่อน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (14-25)

$$L_m = \sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{jm} or, L_m = \frac{\sum_{j=1}^{N} W_j \phi_{jm}}{g} \tag{13}$$

$$M_m = \sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{jm}^2 or, L_m = \frac{\sum_{j=1}^{N} W_j \phi_{jm}^2}{g} \tag{14}$$

เมื่อ M_j คือมวลในแต่ละชั้น

W_{jm} คือน้ำหนักในแต่ละชั้น

ϕ_{jm} คือรูปแบบการสั่นในแต่ละชั้นในโหมดที่พิจารณา

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 เมตร/วินาที

มวลประสิทธิผลหรือน้ำหนักประสิทธิผล M_m หรือน้ำหนักประสิทธิผล W_m 2 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15)

$$M_m = \frac{L_m^2}{M_n} or W_m = \frac{L_m^2}{M_n} g \qquad (15)$$

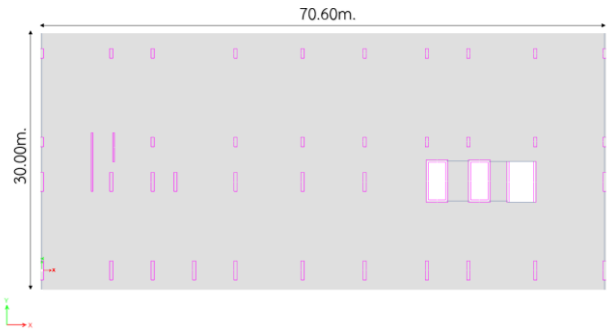
ผลรวมของมวลประสิทธิผลของทุกโหมดที่พิจารณาจะต้องมากกว่าร้อยละ 90 ของมวลทั้งหมดของอาคารหรือเมื่อคำนวณอัตราส่วนของมวล (bujdjqbujpo n btt sbujp - PM ทุกๆโหมดที่พิจารณาแล้วต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 2-6 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (16)

$$PM = \frac{L_m^2 \times 100}{M_m \sum M} = \frac{M_m \times 100}{\sum M} \geq 90 \qquad (16)$$

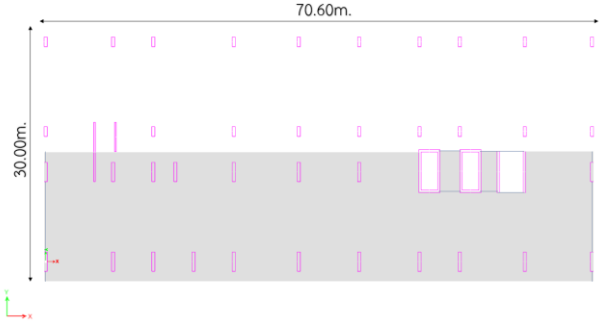
3. อาคารตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างเป็นอาคารสูง 34 ชั้น มีความสูงรวม 129.60 เมตร อาคารตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร วิเคราะห์โครงสร้างแบบวิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น)Mjof bs Ujn f i jtupsz Bobmztjt -NUI B 2 โดยพิจารณาผนังก่ออิฐร่วมรับแรงด้านข้าง พิจารณาผลกระทบของ $P-\Delta$ และไม่รวมฐานรากกับชั้นใต้ดิน

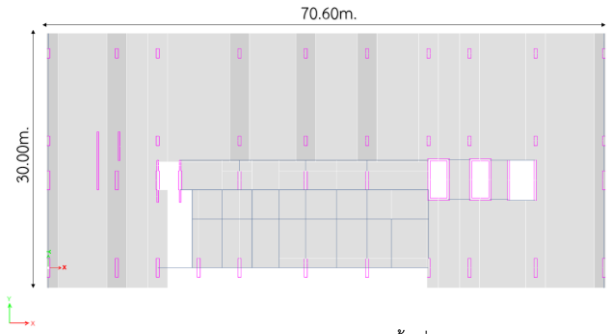
บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอาคารสูงเดิมที่มีชั้นอ่อนและนำผลการวิเคราะห์ค่าสติฟเนส ค่าเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานมยผ.1301/1302-61ที่ยอมให้ 2 โดยมีรายละเอียดของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก-ฉ) และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.7



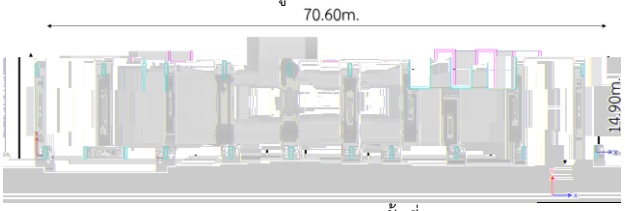
ก/ รูปแปลนอาคารชั้นที่ 1.3



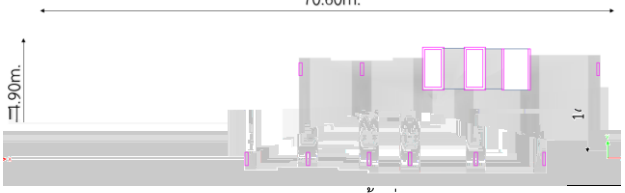
ข/ รูปแปลนอาคารชั้นที่ 3.5



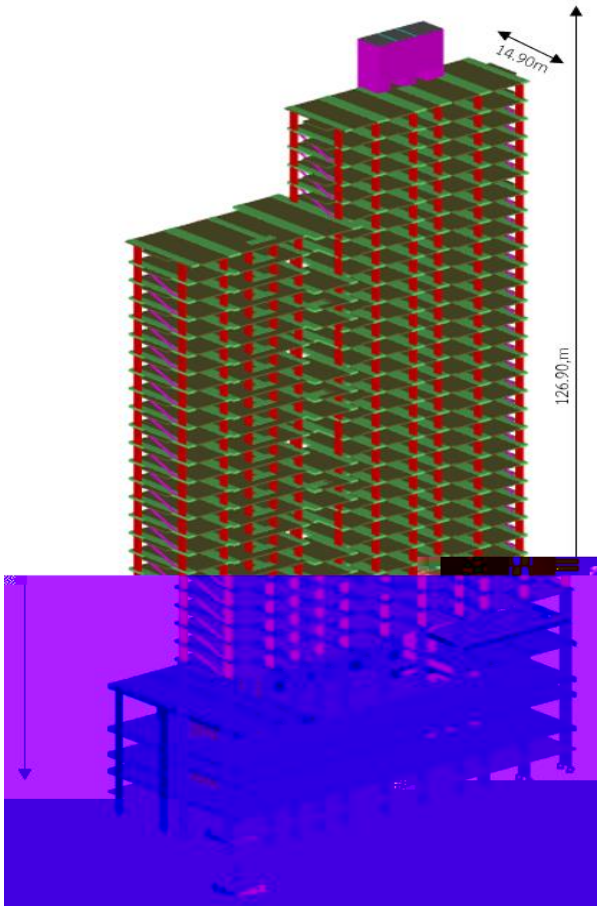
ค/ รูปแปลนอาคารชั้นที่ 7



ง/ รูปแปลนอาคารชั้นที่ 7-32



จ/ รูปแปลนอาคารชั้นที่ 31-ดาดฟ้า



ฉ/ รูปแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ

รูปที่ 4 แบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรม Fubct 5

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์คุณสมบัติของวัสดุงานโครงสร้าง

คุณสมบัติของวัสดุ	กำลังของวัสดุ)กก/ตร.ซม)	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ(กก/ตร.ซม)
พื้นทั่วไป-พื้นคอนกรีตอัดแรง	320	381-228
เสาและผนังรับแรงเฉือน	400	431-111
เหล็กเสริมพื้นทั่วไป	4-111)TE 40	3-151-111
เหล็กเสริมพื้นคอนกรีตอัดแรง	4-111)TE 40	3-151-111
เหล็กเสริมเสาและผนังรับแรงเฉือน	6-111)TE 50	3-151-111

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์พื้น-เสาและผนังรับแรงเฉือน

ระดับชั้น	ความสูงชั้น)เมตร)	พื้น)เมตร)	D2)เมตร)	D3)เมตร)	X 2)เมตร)	X 3)เมตร)
ชั้นหลังคา	3.00	SD 1 /31	-	.	1 /41	1 /41
ชั้นถังน้ำ	3.70	SD 1 /31	-	.	1 /41	1 /41
ชั้นห้องเครื่อง	1.90	SD 1 /31	-	.	1 /41	1 /41
ชั้น 8.34	4/36	UT 1 /36	-	1 /51y2/71	1 /41	1 /41
ชั้น 7.8	: /46	UT 1 /36	-	1 /51y3/51	1 /41	1 /41
ชั้น 6-7	7/51	UT 1 /36	0.40y2/31	1 /51y3/51	1 /41	1 /41
ชั้น 5C-6	2/36	UT 1 /41	0.40y2/31	1 /51y3/51	1 /41	1 /41
ชั้น 5B-4C	2/61	UT 1 /41	0.40y2/31	1 /51y3/51	1 /41	1 /41
ชั้น 3-4B	3.10	UT 1 /41	0.40y2/31	1 /51y3/51	1 /41	1 /41
ชั้น 2-3	4/21	UT 1 /41	0.40y2/31	1 /51y3/51	1 /41	1 /41
ชั้น 1-2	4/ 1	SD 1 /41	0.40y2/31	1 /51y3/51	1 /41	1 /41

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์อื่นๆ

หัวข้อ	รายละเอียด
สถานที่ตั้งของอาคาร	กรุงเทพมหานคร
ขนาดของอาคาร	ชั้นที่ 1-6 กว้าง 30.0เมตร ยาว 70.60เมตร ชั้นที่ 7-30 กว้าง 14.90เมตร ยาว 70.60เมตร ชั้นที่ 31-ดาดฟ้า กว้าง 14.90เมตร ยาว 30.60เมตร-ความสูงรวม 129.60เมตร
น้ำหนักบรรทุกคงที่)EM	คอนรีตเสริมเหล็ก 3-511 กก/ลบ.ม.
น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม)TEM	ห้องพัก-ส่วนกลาง 461กก/ตรม.
น้ำหนักบรรทุกจร)MM	ห้องพัก 200 กก/ตรม.สำนักงานและที่จอดรถ 400 กก/ตรม.พื้นที่ส่วนกลาง 500 กก/ตรม.ห้องระบบไฟฟ้า 500 กก/ตรม. ห้องเครื่องทั่วไป 1-111 กก/ตรม.ห้องเครื่องลิฟท์โดยสาร 2-111 กก/ตรม.
ประเภทของแผ่นดินไหว	ง
ประเภทความสำคัญของอาคาร	
ประเภทของชั้นดิน	E
ความหน่วงของโครงสร้างร้อยละ	3/6
ระบบของโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ
ค่าสติฟเนสขององอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	เสาคอนกรีต $I_{eff} = 0.70I_g$ และ $A_{eff} = 1.0I_g$ กำแพงรับแรงเฉือน $I_{eff} = 0.70I_g$ คานคอนกรีต $I_{eff} = 0.35I_g$ พื้นคอนกรีตอัดแรง $I_{eff} = 0.25I_g$
การเคลื่อนด้านข้างที่ยอมให้	H / 500
การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ร้อยละ	1.5

4. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น (Linear Time history Analysis ,LTHA)

4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงโหมดและรวมของน้ำหนักประสิทธิผล

ผลจากการวิเคราะห์เชิงโหมดและรวมของน้ำหนักประสิทธิผล แกน Y แกน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (17) ผลรวมของมวลประสิทธิผลจำนวน 31 โหมด 2 - 5 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1.1 ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผล ในแนวแกน Y ที่ควบคุมมีจำนวน 6 โหมด ได้แก่โหมดที่ 1-5-7-8-9-22รวมอัตราส่วนของน้ำหนักประสิทธิผล PM ร้อยละ 90.015 2 - 5 ดังแสดงในตารางที่ 8

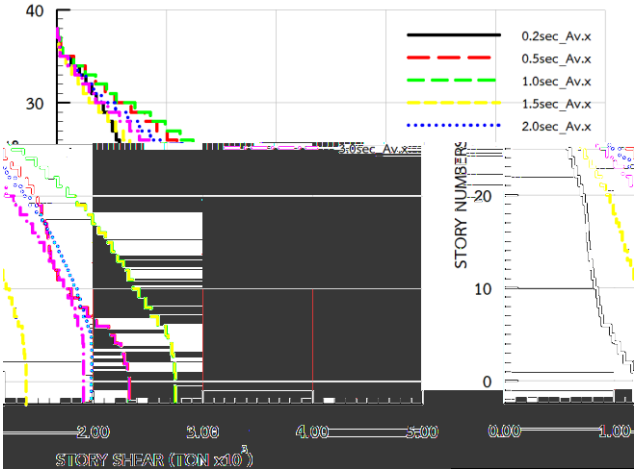
4.1.2 ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผล ในแนวแกน ที่ควบคุมมีจำนวน 12 โหมดได้แก่โหมดที่ 2-3-5-9-10-12-14-15-19-20-25-31รวมอัตราส่วนของน้ำหนักประสิทธิผล PM ร้อยละ 90.054 2 - 5 ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผล แกน Y

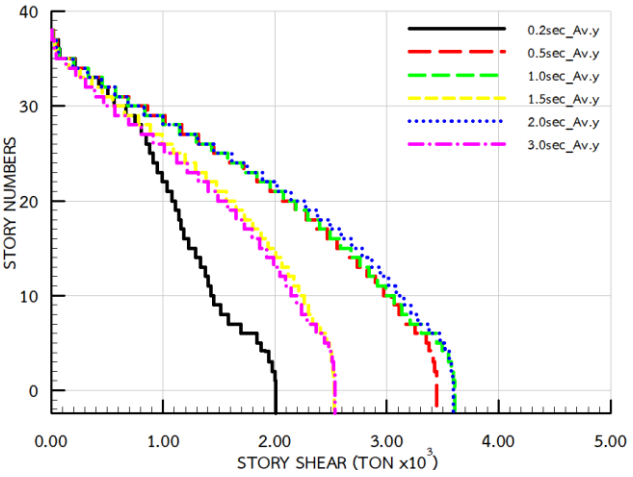
โหมด	คาบการสั่น(วินาที)	เวกเตอร์)Y	ผลรวม X)Y
2	23,815	1/767:	1/767:
5	4,142	1/2219	1,8788
7	2,693	1/1138	1,8815
8	2,489	1/1659	1,9363
9	1,938	1/1584	1,9836
22	1,674	1/13: 1	1/ 126

ตารางที่ 8 ผลรวมของน้ำหนักประสิทธิผล แกน

โหมด	คาบการสั่น(วินาที)	เวกเตอร์)	ผลรวม X)
3	7/ 37		
4	6,611		
6	2/792		
:	1,877		
21	1/7: 5		
23	1,593		
25			
26			
2:			
31			
36			
42	39		



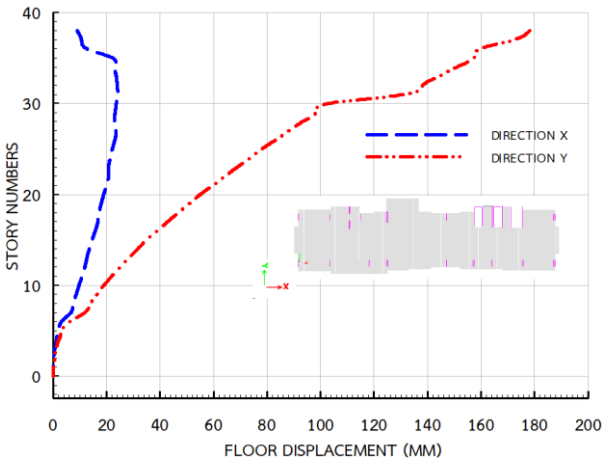
รูปที่ 7 แรงเฉือนที่ฐานรวมเฉลี่ยแกน Y



รูปที่ 8 แรงเฉือนที่ฐานรวมเฉลี่ยแกน

4.4 ผลการเคลื่อนตัวเฉลี่ยด้านข้างของโครงสร้าง

ผลจากของการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้าง แบบอิลาสติก (Fnbtujdl E jtqmbdf n f ou 2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น(Mjof bs Ujn f I jtupsz B obmztjt -NUI B 5] มีการเคลื่อนตัวรวมสูงสุดเฉลี่ยในแกน Y แกน เท่ากับ 35/22 มิลิเมตร 289/17 มิลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมให้ $\frac{H}{500}$ 36: /31มม. 1] ดังแสดงในรูปที่ 9



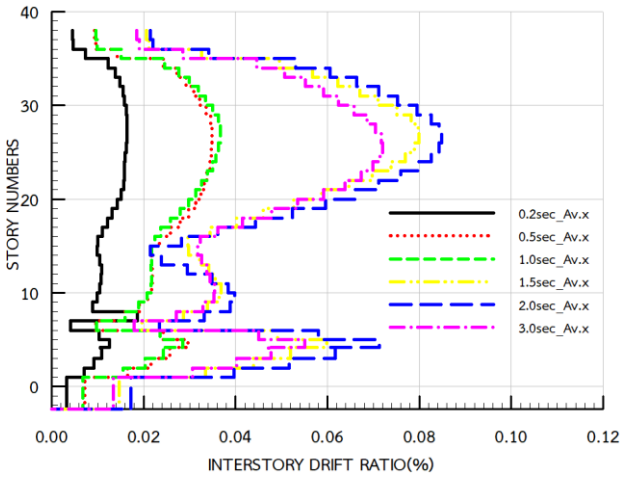
รูปที่ 9 การเคลื่อนด้านข้างเฉลี่ยแกน Y-

4.5 ผลของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

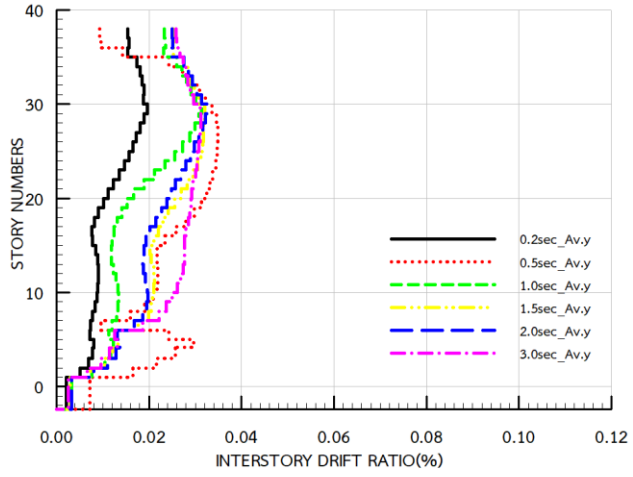
ผลของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้แสดงผลค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยใช้ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 0.2 วินาที 0.5 วินาที 1.0 วินาที 1.5 วินาที 2.0 วินาที และ 3.0 วินาที 2] ดังแสดงในรูปที่ 4 ในแนวแกน Y- จากสมการที่)2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างประวัติเวลาแบบเชิงเส้น (Mjof bs Ujn f I jtupsz B obmztjt -NUI B 4 สามารถสรุปได้ดังนี้

5/6/2 ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคารใน แนวแกน Y ที่คาบการสั่น 3/1 วินาทีมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุด ถัดลงมาคือคาบการสั่น 2/6 วินาที- คาบการสั่น 4/1 วินาที- คาบการสั่น 1/6 วินาที- คาบการสั่น 2/1 และคาบการสั่น 1/3 วินาที [2 ตามลำดับ ทั้งนี้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ Δ_a 2/6& ของความสูงระหว่างชั้น [2 ดังแสดงในรูปที่ 21

4.5.3 ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคารในแนวแกน ที่คาบการสั่น 1/6 วินาทีมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุด ถัดลงมาคือคาบการสั่น 4/1 วินาที-คาบการสั่น 2/6 วินาที-คาบการสั่น 3/1 วินาที-คาบการสั่น 1.0 และคาบการสั่น 0.2 วินาที 2] ตามลำดับ ทั้งนี้ การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ Δ_a 2/6& ของความสูงระหว่างชั้น 2 ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 10 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ย แกน Y



รูปที่ 11 การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ย แกน

5. สรุปผล

ผลจากการศึกษาพฤติกรรมของอาคารสูงเดิมที่มีชั้นอ่อนภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ขนาด 34 ชั้น มีความสูงรวมทั้งหมด 129.60 เมตร โดยการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนสหรือมีชั้นที่อ่อน ด้วยวิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น)Mjofbs Ujn f I jtupsz Bobmztjt -NUI B 1 และเปรียบเทียบผลของสติฟเนสแนวดิ่ง)Wfsujdbm Tujggoftt ผลของค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนที่ฐานรวม (UpubmCbtf Tifbs ผลของการเคลื่อนตัวด้านข้าง(Ipsj poubm Ejtqmbdfnfou และผลของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (oufstupsz esjgu กับข้อกำหนดมาตราฐาน มยผ.1301/1302-61 2] สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างสร้างเดิมร่วมกับผนังก่อ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าโครงสร้างพื้นชั้น 7 มีค่าสติฟเนสด้านแนวดิ่ง แกน Y แกน ร้อยละ 39.40 -52/41 ของชั้นถัดไปตามลำดับ และร้อยละ 41.30-54/ 1 ของค่าเฉลี่ยของสามชั้นถัดไปตามลำดับ น้อยกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 1 ดังนั้นโครงสร้างพื้นชั้น 7 มีพฤติกรรมเป็นชั้นที่อ่อนมาก

5.2 ผลของค่าเฉลี่ยแรงเฉือนรวมที่ฐาน โดยใช้ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 1/3 วินาที 1/6 วินาที 2/1 วินาที 2/6 วินาที 3/1 วินาที และ 4/1 วินาที 2 ในแนวแกน Y แกน พบว่าค่าแรงเฉือนรวมที่ฐานมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน ทั้งแกน 3 แกน มีค่าผลตอบสนองที่แตกต่างกัน โดยในแนวแกน Y มีค่าตอบสนองสูงสุดที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 1.0 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 7 และในแนวแกน มีค่าตอบสนองมากที่สุดที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 3/1 วินาที 2]

5.3 ค่าเคลื่อนตัวด้านข้างเฉลี่ยของอาคารในแนวแกน Y และแกน มีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดมีค่าเท่ากับ 24.11 มิลิเมตร 178.06 มิลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 อยู่เกณฑ์ค่าที่ยอมให้ $\frac{H}{500}$ =259.20 มิลิเมตร 2]

5.4 ค่าเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยของอาคารในแนวแกน Y แนวแกน มีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดที่ชั้น 7 มีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นร้อยละ 0.081 - 0.046 ตามลำดับ โดยค่าเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นน้อยกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [1] อยู่เกณฑ์ค่าที่ยอมให้ร้อยละ 1.5 ของความสูงระหว่างชั้น

6. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับอาคารสูงเดิมในกรุงเทพมหานครที่อาคารมีความไม่สม่ำเสมออย่างมากของสติฟเนสหรือมีชั้นที่อ่อนอย่างมาก (Tujggoftt.Fyusfnf Tpguu Tupsz ssfhvsbujuz ด้วยวิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น)Mjofbs Ujn f I jtupsz Bobmztjt -NUI B โดยใช้ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 1/3 วินาที 1/6 วินาที 2/1 วินาที 2/6 วินาที 3/1 วินาที และ 4/1 วินาที ตามมาตราฐาน มยผ. 1301/1302-61 1 และใช้ค่าความหน่วงของโครงสร้างร้อยละ 2.5 7 ซึ่งพบว่าโครงสร้างมีความไม่สม่ำเสมออย่างมากของสติฟเนสที่ชั้น 7 แต่โครงสร้างอาคารยังสามารถต้านทานต่อแรงแผ่นไหวได้อย่างปลอดภัย ผู้วิจัยเห็นว่าถ้าต้องการทราบถึงประสิทธิภาพหรือสมรรถนะความต้านทานแผ่นดินไหวจริงๆของโครงสร้างอาคารจะต้องวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีประวัติเวลาแบบไม่เชิงเส้น)Opomjofbs Ujn f i jtupsz Bobmztjt -ONUI B

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ต้องขอขอบคุณอาจารย์ ที่ปรึกษา ดร.ประกิต ชมชื่น ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกด้าน ของงานวิจัย และขอขอบคุณน้อง ๆ ที่คอยสนับสนุนในการทำวิจัย

8. การอ้างอิง

2 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของ แผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 ปี 2561- กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย- กรุงเทพ- ประเทศไทย

3 นคร ภู่วโรดม (2561). *พลศาสตร์โครงสร้างพื้นฐาน สำหรับการออกแบบต้านทานแรงลมและแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว* สำนักพิมพ์ บริษัท เอส.พี.เอ็ม.การพิมพ์ จำกัด กรุงเทพ-ประเทศไทย

4 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านการสั่นสะเทือนของ แผ่นดินไหว มยผ. 1303-63 ปี 2563- กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย- กรุงเทพ- ประเทศไทย

5 Dpnqvufst boe Tusvduvsft- od/- oufhsbufe Cvjmejoh Efthho Tpguxbsf- Vtfst hvjef FUBCT wfstjpo 2018.1.1- VTB/ 2018.1.1

6 Dipqsb BL-)1995 /Tusvduvsbm Ezobnjdt pg tusvduvsft Uifpsz boe bqqmjdbujpot Fbsuirvblf fohjoffsjoh gpvui fejujpo- Vojwfstjuz pg Dbmjgpsojb bu Cfslfhz/

7 bdkgjd Fbsuirvblf Sftfbsdi Dfoufs)2017). UbmmCvjmejoh ojujbujwf Hvjefmjoft gps fsgpsn bodf Cbtfe Tfjtnjd Efthho pg UbmmCvjmejohs- Sfqpsu op./2017/06- Cfslfhz- DB