

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาค่ากำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมแรงกระทำให้ใกล้เคียงกับสภาพเหตุการณ์แผ่นดินไหวให้มากที่สุด ในการพัฒนาวิธีการนี้ จำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สูงสุด ซึ่งใช้ในการผลักอาคารแบบวัฏจักร พร้อมทั้งการกำหนดรูปแบบการกระจายของแรงผลักตลอดความสูงอาคาร (Lateral force distribution) และรูปแบบประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History) ผลตอบสนองของอาคารที่ได้จากการผลักอาคารแบบวัฏจักร ได้แก่ ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติก เป็นต้น จะนำไปเปรียบเทียบกับ วิถีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Dynamic Analysis) ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือ ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวมีจำนวน 10 คู่ เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

ในการศึกษานี้ เลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารที่พักอาศัยตามแบบมาตรฐานของการเคหะแห่งชาติมาเป็นกรณีศึกษา และมีการออกแบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกปกติ โดยไม่ได้มีการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว โดยทำการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง RUAUMOKO ผลของวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าการเคลื่อนที่สูงสุดบนยอดอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของแต่ละชั้นอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติกและระดับความเสียหาย และนำไปเปรียบเทียบกับ วิถีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Dynamic Analysis) ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือ ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวมีจำนวน 10 คู่ เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และเปรียบเทียบกับวิธีการผลักแบบรวมโหมด (Modal Pushover Analysis) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการทำงานเป็นดังนี้

ก. เลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารที่พักอาศัยตามแบบมาตรฐานของการเคหะแห่งชาติมาเป็นกรณีศึกษา โดยมีการออกแบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกปกติตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 6 ซึ่งไม่ได้มีการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

ข. การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สูงสุด ซึ่งใช้ในการผลักราอาคารแบบวิถัจกร พร้อมทั้งการกำหนดรูปแบบการกระจายของแรงผลักลดความสูงอาคาร (Lateral force distribution) และรูปแบบประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History)

ค. ดำเนินการผลักราอาคารแบบวิถัจกร โดยข้อมูลจากข้อ ข. และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Dynamic Analysis) โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 10 คู่ ซึ่งเป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ผลตอบสนองที่ใช้ ได้แก่ ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติก เป็นต้น

ง. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีการผลักรแบบรวมโหมด (Modal Pushover Analysis)

3.3 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยมีดังนี้คือ

ก. เครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น Pentium IV 2.4 Ghz ใช้ในการประมวลผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี Nonlinear Pushover Analysis และ Nonlinear Dynamic Analysis

ข. โปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้างที่สามารถวิเคราะห์ Nonlinear Response Analysis ได้แก่ โปรแกรม RUAUMOKO (Carr, 2006)

3.4 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้าง

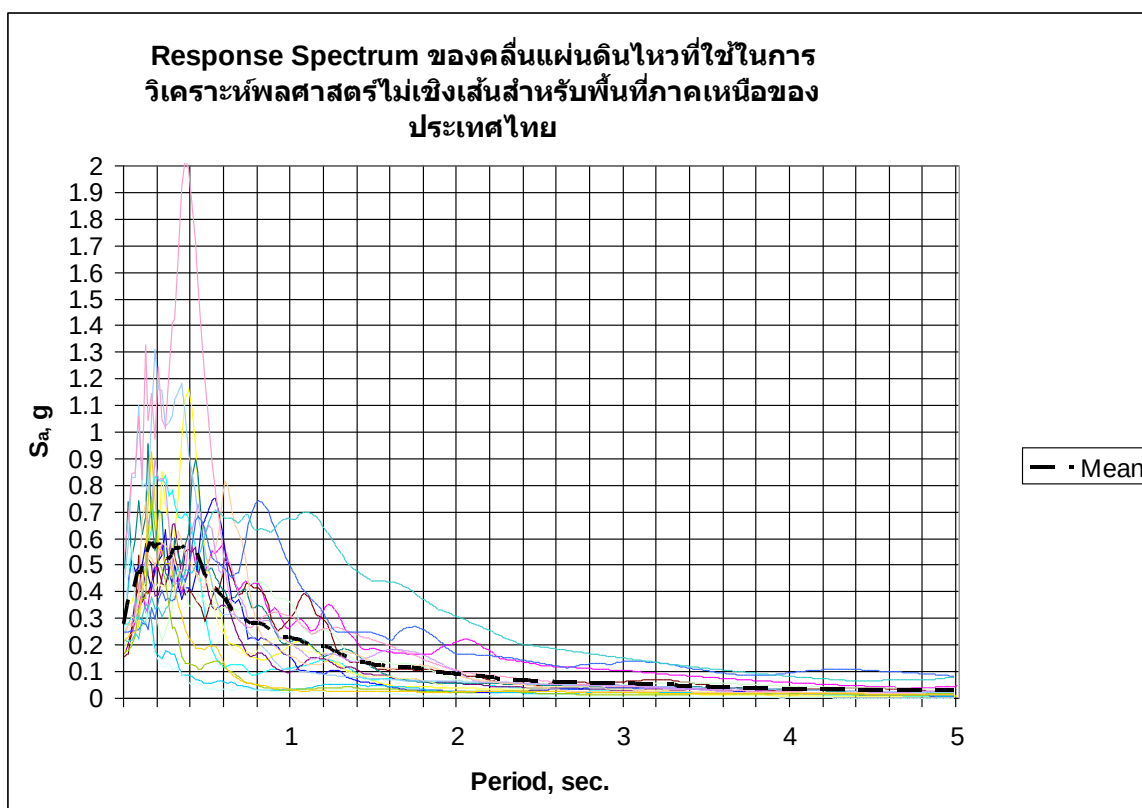
ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น จะต้องใช้คลื่นแผ่นดินไหวแต่ละคลื่นกระทำทางด้านข้างอาคาร คลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกมาใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่บันทึกได้จากเหตุการณ์จริง ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวมีจำนวน 10 คู่ แต่ละคู่ประกอบด้วยความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทาง รวมเป็น 20 คลื่นโดยมีขนาดความรุนแรงประมาณ 6-7 ริกเตอร์ และมีระยะห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงสถานที่ตรวจวัด ไม่เกิน 30 กิโลเมตร ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกมาทั้งหมดนี้ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ไม่เชิงเส้นสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของ
ประเทศไทย

No	Record	Earthquake	Magnitude	Station	Geology	Ep. Distance (km.)	Comp.	PGA (g)
1	IMP-1	Imperial Valley 1940	6.3 (M _L)	El Centro	Alluvium soil	8	N-S	0.348
2	IMP-2						E-W	0.214
3	PARK-1	Parkfield 1966	6.1 (M _L)	Temblor	Rock	9.9	E-W	0.357
4	PARK-2						N-S	0.272
5	IMP-3	Imperial Valley 1979	6.6 (M _L)	Cerro Prieto	Very dense soil	26.5	E-W	0.169
6	IMP-4						N-S	0.157
7	MAM-1	Mammoth Lake 1980	6.1 (M _L)	Long Valley Dam	Rock	15.5	E-W	0.430
8	MAM-2						N-S	0.271
9	NAHAN-1	Nahanni, Canada 1985	6.9 (M _S)	6099 Site 3	Rock	16	N-S	0.148
10	NAHAN-2						E-W	0.139
11	SPI-1	Spitak, Armenia 1988	7.0 (M _S)	Gukasian	Rock	30	E-W	0.199
12	SPI-2						N-S	0.175
13	LOMA-1	Loma Prieta 1989	7.1 (M _S)	Gilroy Array 1	Hard Rock	11.2	E-W	0.411
14	LOMA-2						N-S	0.473
15	LOMA-3	Loma Prieta 1989	7.1 (M _S)	Anderson Dam	Very dense soil	21.4	N-S	0.244
16	LOMA-4						E-W	0.240
17	LOMA-5	Loma Prieta 1989	7.1 (M _S)	Hollister City Hall	Soft soil	28.2	N-S	0.247
18	LOMA-6						E-W	0.215
19	NORTH-1	Northridge 1994	6.7 (M _S)	Lake Hughes #9	Hard Rock	26.8	E-W	0.165
20	NORTH-2						N-S	0.217

คลื่นแผ่นดินไหวเหล่านี้ มีการปรับระดับความรุนแรงเพื่อให้เทียบเท่ากับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบตามร่างมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวปี 2552 ในการคูณปรับค่าจะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม SRSS ของแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินมีค่าไม่น้อยกว่าสเปกตรัมสำหรับออกแบบที่ทุกคาบการสั่นระหว่าง 0.2T ถึง 1.5T โดยที่ T คือ คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์

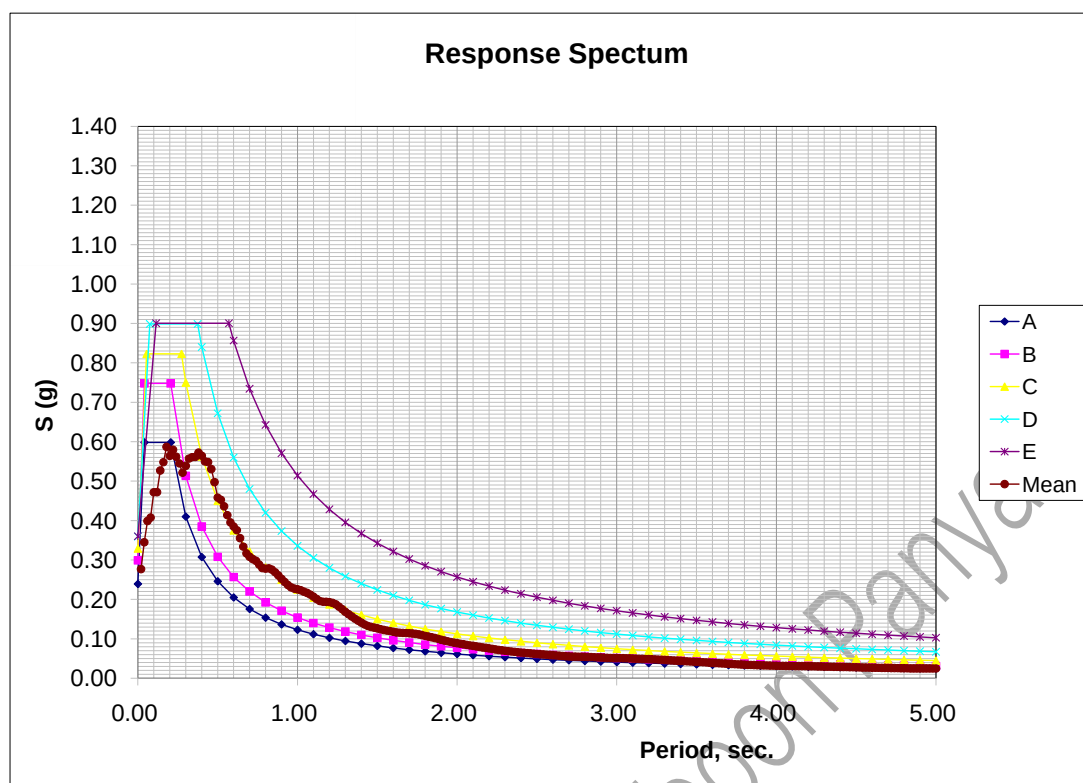
ผลการวิเคราะห์ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 20 คลื่น และค่าเฉลี่ยของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม แสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

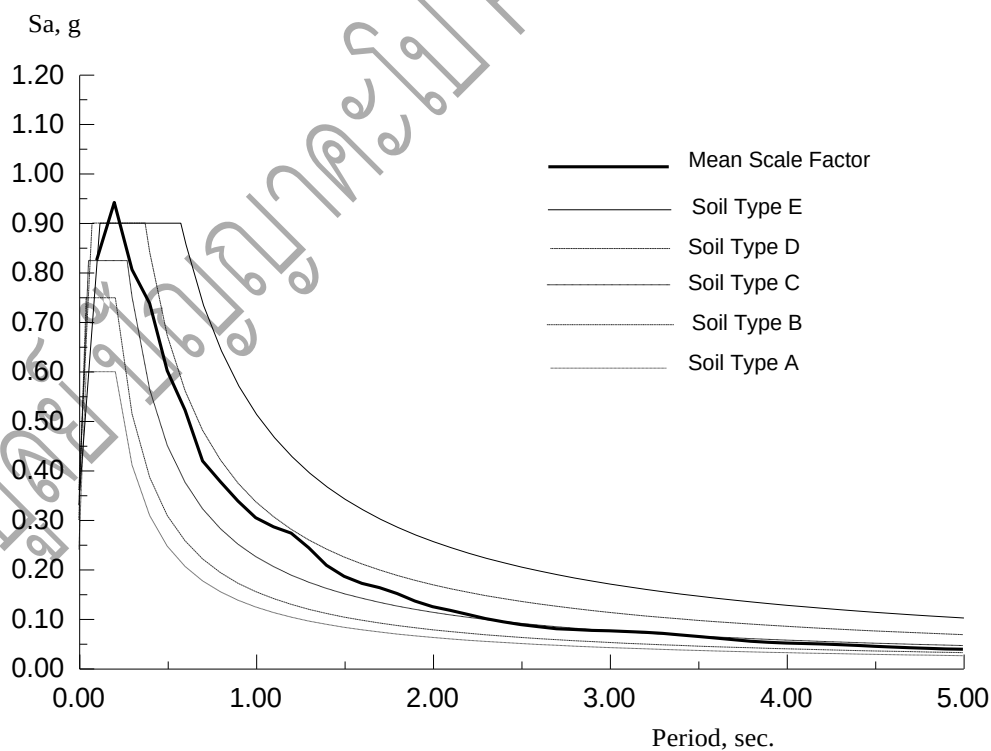
เมื่อนำค่าเฉลี่ยของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบตามร่างมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวปี 2552 มยพ.1302-52 สำหรับสภาพชั้นดิน 6 ประเภท คือ A (หินแข็ง), B (หิน), C (ดินแข็ง), D (ดินปกติ), E (ดินอ่อน) โดยใช้แผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงสูงสุด ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงกว่าระดับที่พิจารณา (Probability of Exceedance) เท่ากับร้อยละ 2 ในช่วงเวลา 50 ปี เทียบเท่ากับ return period 2,500 ปี ดังแสดงในภาพที่ 30 จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกมานี้ มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมการตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบสำหรับสภาพชั้นดินประเภท A (หินแข็ง)

เมื่อใช้ตัวคูณปรับสำหรับแต่ละคลื่นแผ่นดินไหว ตามตารางที่ 4 ทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมของแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินมีค่าไม่น้อยกว่าค่าสเปกตรัมสำหรับออกแบบ สำหรับสภาพชั้นดินประเภท C (ดินแข็ง) ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 30 ค่าเฉลี่ยของความเร่งตอบสนองเชิงสเปคตรัมและกราฟการออกแบบตาม มยผ.1302-52

Scaled Mean Response Spectrum and Design Spectra



ภาพที่ 31 กราฟปรับค่าของความเร่งตอบสนองเชิงสเปคตรัมและกราฟการออกแบบตาม มยผ.1302-52

ตารางที่ 4 คลื่นแผ่นดินไหวที่ปรับค่าเทียบกับมาตรฐาน มยผ.1302

No	Record	Earthquake	Magnitude	Epicentral Distance (km.)	PGA (g)	Scale Factor
1	IMP-1	Imperial Valley 1940	6.3 (M _L)	8	0.348	0.85
2	IMP-2				0.214	1.25
3	PARK-1	Parkfield 1966	6.1 (M _L)	9.9	0.357	1.22
4	PARK-2				0.272	1.79
5	IMP-3	Imperial Valley 1979	6.6 (M _L)	26.5	0.169	1.49
6	IMP-4				0.157	1.44
7	MAM-1	Mammoth Lake 1980	6.1 (M _L)	15.5	0.430	1.08
8	MAM-2				0.271	1.26
9	NAHAN-1	Nahanni, Canada 1985	6.9 (M _S)	16	0.148	6.78
10	NAHAN-2				0.139	9.17
11	SPI-1	Spitak, Armenia 1988	7.0 (M _S)	30	0.199	1.69
12	SPI-2				0.175	1.50
13	LOMA-1	Loma Prieta 1989	7.1 (M _S)	11.2	0.411	1.00
14	LOMA-2				0.473	0.63
15	LOMA-3	Loma Prieta 1989	7.1 (M _S)	21.4	0.244	1.07
16	LOMA-4				0.240	1.17
17	LOMA-5	Loma Prieta 1989	7.1 (M _S)	28.2	0.247	1.33
18	LOMA-6				0.215	1.27
19	NORTH-1	Northridge 1994	6.7 (M _S)	26.8	0.165	3.91
20	NORTH-2				0.217	2.96

การวิเคราะห์พลศาสตร์ไม่เชิงเส้นหรือการวิเคราะห์ด้วยคลื่นแผ่นดินไหวเหล่านี้ ข้อกำหนด FEMA-273 เสนอแนะว่าหากใช้คลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 3 คู่ ให้ใช้ค่าผลตอบสนองสูงสุดในการออกแบบ ถ้าหากใช้คลื่นแผ่นดินไหวจำนวนตั้งแต่ 7 คู่ขึ้นไป ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองสูงสุดที่ได้จากการคำนวณแต่ละครั้งเพื่อใช้ในการออกแบบ

3.5 การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สูงสุดในการผลักแบบวัฏจักร

ในการศึกษานี้ จะวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ใช้ในการผลักอาคารแบบวัฏจักร โดยมีขั้นตอน ดังนี้

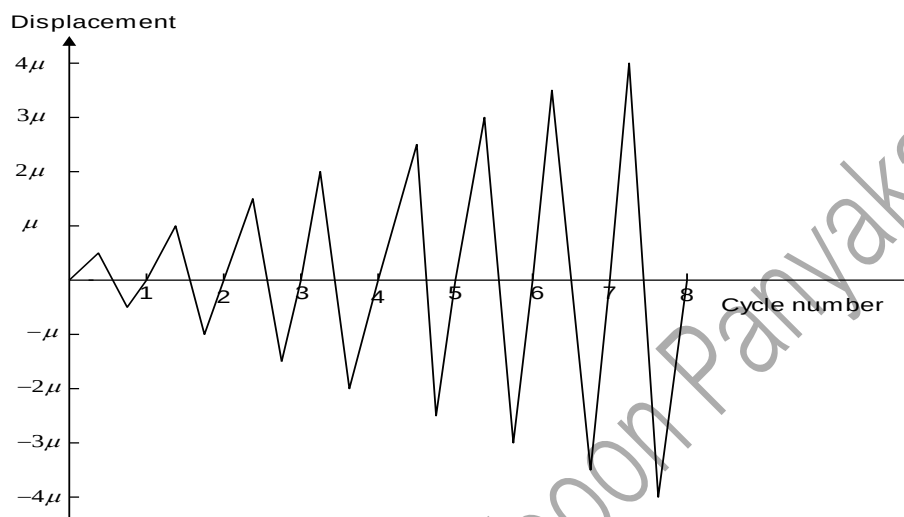
ก) ทำการผลักอาคารให้เคลื่อนที่ไปในช่วงอินอีลาสติก ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรไม่เชิงเส้น (Nonlinear Cyclic Pushover Analysis) โดยใช้แรงกระทำกระจายตามแบบโหมดแรก ดังนี้

$$s = m\phi \quad (3.1)$$

และใช้รูปแบบประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History Pattern) แปลตามค่าความเหนียวดังนี้

ตารางที่ 5 รูปแบบประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History Pattern)
แปรตามค่าความเหนียว (μ)

รอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8
การเคลื่อนที่	0.5μ	μ	1.5μ	2μ	2.5μ	3μ	3.5μ	4μ



ภาพที่ 32 กราฟประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History)

ข) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเฉือนพื้นฐานอาคารและค่าการเคลื่อนที่ที่ยอดอาคาร ($V_b - u_r$)

จากการผลักอาคารแบบวัฏจักรสำหรับระบบ MDOF

ค) คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าอัตราเร่งเสมือนและค่าการเคลื่อนที่ ($A - D$) สำหรับระบบ เทียบเท่า SDOF

ง) คำนวณหาค่าการเคลื่อนที่สูงสุด ($D_{\max}$) ในระบบ SDOF ด้วยการแก้สมการการเคลื่อนที่ (2.13)

$$\ddot{D}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{D}_n + \frac{F_{sn}}{L_n} = -\ddot{u}_g(t) \text{ โดยใช้ค่า } F_s / L = A$$

จ) คำนวณหาค่าการเคลื่อนที่สูงสุด ($u_{\max}$) ของหลังคาอาคารในระบบ MDOF ด้วยสมการ

$$u_{\max} = D_{\max} \Gamma \phi_{\text{roof}} \quad (3.2)$$

3.6 การวิเคราะห์กำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร

(Analysis of Seismic Capacity by Cyclic Pushover Method)

ในงานวิจัยนี้ จะคำนวณหากราฟกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร โดยการผลักไปที่ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดตามที่ได้แสดงในหัวข้อ 3.5 และใช้โปรแกรม RUAUMOKO ซึ่งสามารถวิเคราะห์ Inelastic Dynamic Analysis ได้ และเปรียบเทียบกับวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น

(Nonlinear Dynamic Analysis) ด้วยคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ขั้นตอนรายละเอียดที่สำคัญ มีดังนี้

ก. จัดทำแบบจำลอง Finite element ของอาคาร ที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาพฤติกรรม การตอบสนองของอาคาร เมื่อถูกแรงกระทำด้านข้างในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นและเกินพิกัดยืดหยุ่น

ข. นำแรงสถิติกระทำด้านข้างอาคาร โดยมีแรงกระทำแปรเปลี่ยนตามการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในโหมดพื้นฐานหรือโหมดที่หนึ่ง (Fundamental Mode or First Mode) เนื่องจากอาคารที่ใช้ในการศึกษามีความสูง 5 ชั้น จึงใช้สมมุติฐานว่า การสั่นในโหมดพื้นฐานเป็นผลตอบสนองที่สำคัญของโครงสร้าง ซึ่งสมมุติฐานนี้ใช้ได้ดีสำหรับโครงสร้างที่มีคาบการสั่นไม่เกิน 1 วินาที แรงกระทำที่แต่ละระดับชั้นอาคารคำนวณจาก

$$F_i = \frac{\phi_i W_i}{\sum_{i=1}^N \phi_i W_i} V \quad (3.3)$$

โดยที่ F_i คือ ค่าแรงกระทำทางด้านข้างของแต่ละระดับชั้น i

ϕ_i คือ ค่าการเคลื่อนที่ของแต่ละระดับชั้น i

W_i คือ น้ำหนักของอาคารของแต่ละระดับชั้น i

N คือ จำนวนชั้นของอาคาร

V คือ ค่าแรงเฉือนที่ฐาน

ค. แบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างแบบวัฏจักร (hysteretic model) ขององค์อาคารคานและเสาจะใช้แบบ Wayne Steward Degrading Stiffness Hysteresis (Stewart, 1987) ซึ่งมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรมากที่สุด

ง. วิเคราะห์หาการเปลี่ยนรูป (lateral deformation) ของอาคารที่เกิดจากแรงกระทำนี้ โดยค่อยๆ ปรับระดับของแรงเพิ่มขึ้นเป็นขั้นๆ ในแต่ละชั้น ค่ากำลังและสติฟเนส ของแต่ละองค์อาคารจะถูกปรับให้เป็นไปตามสภาพภายหลังการรับแรงในแต่ละชั้น ทำการวิเคราะห์ในลักษณะนี้อย่างต่อเนื่อง เพื่อผลักให้อาคารมีการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามค่าประวัติการเคลื่อนที่

(Displacement History) ที่กำหนด

จ. การผลักแบบ Cyclic Pushover การเคลื่อนที่ของอาคารจะมีการกำหนดให้มี

ลักษณะเคลื่อนที่ไป-กลับแบบวัฏจักร ตามระยะการเคลื่อนที่ซึ่งกำหนดไว้ เมื่ออาคารถูกผลักให้เคลื่อนที่ไปจนระยะที่กำหนด ก็จะถูกผลักให้เคลื่อนที่กลับในทิศทางตรงกันข้าม เป็นไปตามการกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร (displacement history) รูปแบบค่าการเคลื่อนที่ ดังนี้

ตารางที่ 6 รูปแบบประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History Pattern)
เป็นจำนวนเท่าของ $u_{\max}$

จำนวนรอบ	2	2	2	2	2	2	2	2
การเคลื่อนที่	0.125	0.25	0.375	0.50	0.625	0.75	0.875	1.0

หมายเหตุ ค่าการเคลื่อนที่คูณด้วยค่าการเคลื่อนที่สูงสุด $u_{\max}$

- จ. คำนวณค่าระดับความเสียหายของโครงสร้างด้วยแบบจำลองความเสียหาย Park-Ang Damage Model (Park and Ang, 1985) โดยจะคำนวณตามลำดับดังนี้
สำหรับความเสียหายของชิ้นส่วนขององค์อาคาร (component) คำนวณจาก

$$DI_{\text{component}} = \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_u - \theta_r} + \frac{\beta}{M_y \theta_u} E_h \quad (3.4)$$

สำหรับความเสียหายของแต่ละระดับชั้นอาคาร (story) คำนวณจาก

$$DI_{\text{story}} = \sum [(\lambda_i)(DI)]_{\text{component}}; (\lambda_i)_{\text{component}} = \left(\frac{E_i}{\sum E_i} \right)_{\text{component}} \quad (3.5)$$

สำหรับความเสียหายของโครงสร้างอาคารรวมทั้งหมด (overall) คำนวณจาก

$$DI_{\text{overall}} = \sum [(\lambda_i)(DI)]_{\text{story}}; (\lambda_i)_{\text{story}} = \left(\frac{E_i}{\sum E_i} \right)_{\text{story}} \quad (3.6)$$

DI คือ ค่าดัชนีความเสียหาย (damage index) ของโครงสร้าง

M_y คือ โมเมนต์ที่จุดครากขององค์อาคารแต่ละชั้น

θ_m คือ ค่า rotation สูงสุดขององค์อาคารแต่ละชั้น

θ_u คือ ค่า rotation capacity ขององค์อาคารแต่ละชั้น

θ_r คือ ค่าการหมุนคืนกลับ (recoverable rotation) ขององค์อาคารแต่ละชั้นเมื่อปล่อยแรง

กระทำ

E_h, E_i คือ พลังงานที่ดูดซับและกระจายไปขององค์อาคารแต่ละชั้นภายใต้พฤติกรรมแบบ
วัฏจักร

λ_i คือ ตัวคูณตามน้ำหนักของค่าพลังงาน (energy weighting factor) ขององค์อาคาร

ข. นำผลการวิเคราะห์มาแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ยอดอาคาร ซึ่งเป็นกราฟการผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic

Pushover curve) มาแสดงเฉพาะเส้นขอบนอก Envelop Curve และเปลี่ยนเป็นแผนผังกำลัง

ต้านทานของอาคาร Capacity Diagram ตามสมการ (2.16-2.17) วิธีการที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

นั่นคือแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Pseudo-acceleration, (S_a or A) และ Pseudo-displacement, (S_d or D)

3.7 วิธีการตรวจสอบสมรรถนะของอาคาร (Building Performance Check)

3.7.1 การตรวจสอบโดยวิธีเชิงเส้นเทียบเท่า

(Equivalent Linearization Method, FEMA-440)

ขั้นตอนการตรวจสอบพฤติกรรมการรับแรงของอาคาร เพื่อหาจุดสมรรถนะของโครงสร้างอาคาร โดยหลักการความเหนียวคงที่ ใช้วิธีการที่ปรับปรุงใหม่ตามเอกสาร FEMA-440 (ดูภาพประกอบ 27) ดังนี้

- ก. สร้างแผนผังความต้องการกำลัง (Demand diagram) สำหรับค่าระดับความเหนียวต่างๆ ($\mu = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)
- ข. สร้างแผนผังความต้านทานกำลัง (Capacity diagram) จากวิธีการ Nonlinear Pushover Analysis
- ค. นำเอาแผนผังความต้องการกำลังและแผนผังความต้านทานกำลังมาเขียนลงในรูปเดียวกัน โดยมีแกนตั้งแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Base shear coefficient, V_b/W) ส่วนแกนนอนเป็นค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง (Deformation, D) เรียกว่า Demand - Capacity Diagram
- ง. คำนวณค่าคาบการสั่นรวมชาติของโครงสร้างแบบ secant stiffness, T_{sec}
- จ. กำหนดจุดตัดกันระหว่างเส้นกราฟ Capacity diagram สำหรับค่าความเหนียวต่างๆ กับเส้นคาบการสั่นรวมชาติของโครงสร้างแบบ secant stiffness, T_{sec} ลากเชื่อมเส้นที่ผ่านจุดตัดเหล่านี้ เรียกว่า เส้นทางเดินของจุดสมรรถนะที่เป็นไปได้
- ฉ. กำหนดจุดตัดระหว่างเส้นทางเดินของจุดสมรรถนะที่เป็นไปได้และกราฟกำลังต้านทานแผ่นดินไหว ซึ่งจะเป็นจุดสมรรถนะของโครงสร้าง

3.7.2 การตรวจสอบโดยหลักการความเสียหายคงที่ (Constant-Damage Concept)

ขั้นตอนการตรวจสอบพฤติกรรมการรับแรงของอาคาร เพื่อหาจุดสมรรถนะของโครงสร้างอาคาร โดยหลักการความเสียหายคงที่ (ดูภาพประกอบ 28) ดังนี้

- ก. สร้างแผนผังความต้องการกำลัง (Demand diagram) สำหรับค่าระดับความเสียหายต่างๆ

($DI = 0.1-1.0$) จากสมการที่ 2.34 - 2.35

- ข. สร้างแผนผังความต้านทานกำลัง (Capacity diagram) จากวิธีการ Cyclic Pushover Analysis
- ค. นำเอาแผนผังความต้องการกำลังและแผนผังความต้านทานกำลังมาเขียนลงในรูปเดียวกัน โดยมีแกนตั้งแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Base shear coefficient, V_b/W) ส่วนแกนนอนเป็นค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง (Deformation, D) และมีแกนรัศมีแสดงค่าคาบการสั่นธรรมชาติของโครงสร้าง (Natural period, T) แผนผังที่ได้ใหม่นี้เรียกว่า Demand-Capacity Diagram
- ง. กำหนดจุดตัดกันระหว่างเส้นกราฟ Capacity diagram กับ Demand diagram นำค่าความสัมพันธ์ระหว่าง V_b/W และ D ที่จุดตัดเหล่านี้มาเขียนลงในตารางพร้อมกับค่าดัชนีความเสียหายของแต่ละกราฟ ($DI_{capacity}$ และ DI_{demand}) ณ จุดตัดเหล่านี้
- จ. ตรวจสอบหาจุดที่ให้ค่า $DI_{demand} = DI_{capacity}$ บันทึกค่า V_b/W และ D ที่ ณ ตำแหน่งนั้นซึ่งจะเป็นจุดสมรรถนะของโครงสร้าง