

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

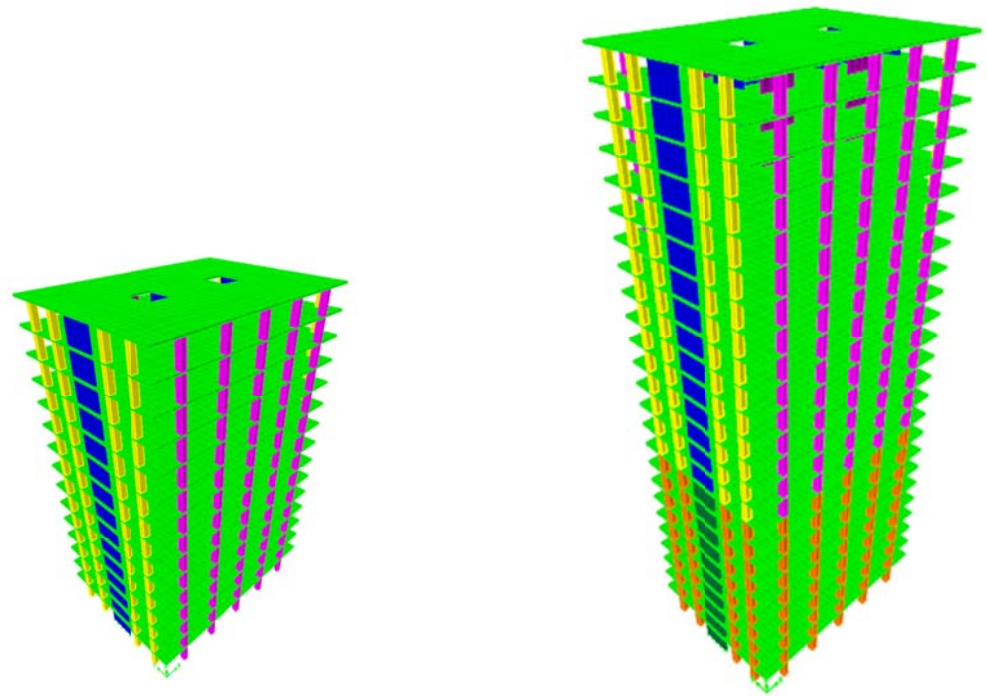
การศึกษานี้เป็นการออกแบบและประเมินโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนด้านทานแรงแผ่นดินไหวสำหรับอาคารสูงปานกลาง มุ่งเน้นการศึกษาพฤติกรรมของผนังรับแรงเฉือนในอาคารขณะรับแรงแผ่นดินไหวเบื้องต้น ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

- ก. เลือกรูปแบบอาคารสูงปานกลาง ที่มีลักษณะเหมาะสม และปรับรูปแบบอาคารให้ง่ายต่อการศึกษาซึ่งการศึกษานี้ใช้อาคารตัวอย่าง 2 ระดับ ความสูง 15 ชั้น และ 25 ชั้น
- ข. ออกแบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือน โดยใช้แรงต้านข้างจากการวิเคราะห์ แรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ.1302-52 และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ACI 318-02
- ค. ตรวจสอบแบบจำลองผนังรับแรงเฉือน โดยวิธีการวิเคราะห์การผลักแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear pushover analysis)
- ง. ประเมินสมรรถนะของผนังรับแรงเฉือน โดยวิธีการวิเคราะห์แบบประวัติเวลาไม่เชิงเส้น (Nonlinear time-history analysis) โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวจำลอง จำนวน 12 คลื่น จากผลการศึกษาของ ปณิธาน ลักษณะประสิทธิ์ และคณะ (2551) จำนวน 6 คลื่น และธรรมรัฐ บุญเสนอ (2555) จำนวน 6 คลื่น

3.2 ลักษณะอาคารที่ใช้ศึกษา

อาคารที่ใช้ในการศึกษานี้มีความสูง 15 ชั้น และ 25 ชั้น โดยมีการจัดผังให้มีลักษณะสมมาตรทางวิศวกรรมเพื่อให้สะดวกต่อการศึกษา ความสูงในแต่ละชั้นเท่ากับ 3.30 เมตร ดังรูปที่ 3.1

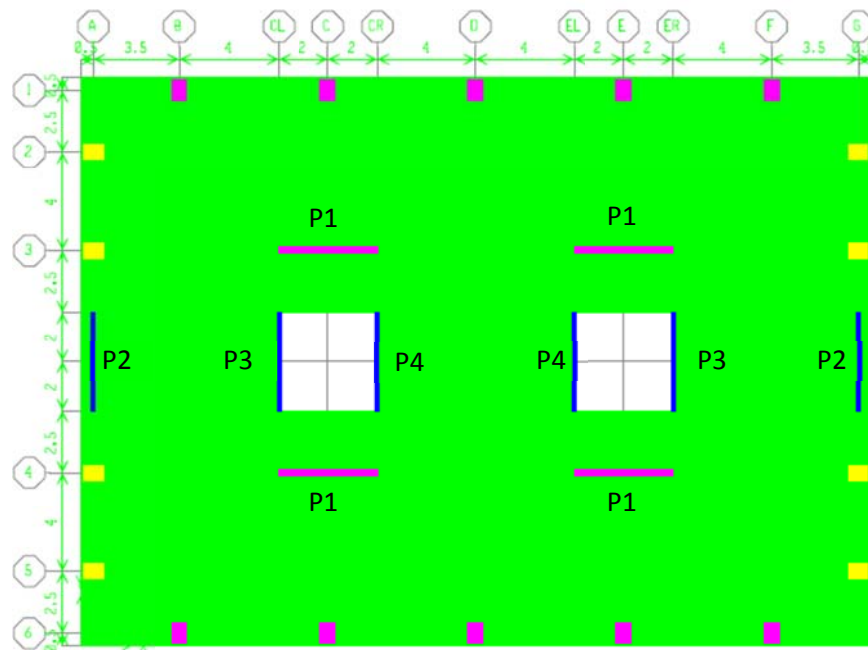
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารมีความกว้างและยาวเท่ากับ 23.00x32.00 เมตร ประกอบด้วยเสาจำนวน 18 ต้น ผนังรับแรงเฉือนในทิศทาง X จำนวน 4 แฉก ทิศทาง Y จำนวน 6 แฉก ระบบโครงสร้างพื้นเป็นพื้นคอนกรีตแบบอัดแรงที่หลัง ซึ่งมีขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1



อาคารสูง 15 ชั้น (ความสูงรวม = 49.5 เมตร)

อาคารสูง 25 ชั้น (ความสูงรวม = 82.5 เมตร)

รูปที่ 3.1 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ



รูปที่ 3.2 แผนผังพื้น อาคาร 15 ชั้น และ 25 ชั้น

ตารางที่ 3.1 ขนาดชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารสูง 15 ชั้น และอาคารสูง 25 ชั้น

องค์ประกอบของอาคาร		อาคารสูง 15 ชั้น	อาคารสูง 25 ชั้น
ความกว้างxความยาว (เมตร)		23.00x32.00	23.00x32.00
ความสูงแต่ละชั้น (เมตร)		3.30	3.30
ความสูงรวม (เมตร)		49.5	82.5
ความหนาพื้น (เมตร)		0.25	0.25
ขนาดเสา (เมตร)		ชั้นที่ กว้างxยาว G – 15 0.60x0.80	ชั้นที่ กว้างxยาว 11 – 25 0.60x0.80 G – 10 0.80x0.80
ขนาดผนังรับแรงเฉือน P1 (เมตร)		ชั้นที่ กว้างxยาว G – 15 0.25x4.00	ชั้นที่ กว้างxยาว 11 – 25 0.20x4.00 6 – 10 0.30x4.00 G – 5 0.40x4.00
ขนาดผนังรับแรงเฉือน P2 (เมตร)		ชั้นที่ กว้างxยาว G – 15 0.15x4.00	ชั้นที่ กว้างxยาว 11 – 25 0.15x4.00 G – 10 0.25x4.00
ขนาดผนังรับแรงเฉือน P3 (เมตร)		ชั้นที่ กว้างxยาว G – 15 0.15x4.00	ชั้นที่ กว้างxยาว 11 – 25 0.15x4.00 G – 10 0.25x4.00
ขนาดผนังรับแรงเฉือน P4 (เมตร)		ชั้นที่ กว้างxยาว G – 15 0.15x4.00	ชั้นที่ กว้างxยาว 11 – 25 0.15x4.00 G – 10 0.25x4.00

ในการศึกษานี้จะเลือกที่จะประเมินโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนเฉพาะผนัง P1 เท่านั้น เหตุผลสำคัญคือ ผนังในทิศทาง X มีเพียง 4 แฉก และสมมาตรกัน ในการวิเคราะห์จะสมมุติให้แรงทางด้านข้างทั้งหมดถูกรับไปโดยผนังรับแรงเฉือน โดยผนัง P1 จะมีมวลประสิทธิผลเท่ากับ 1 ใน 4 ของมวลทั้งหมด ทั้งนี้โดยไม่คำนึงถึงความแข็งแกร่งของระบบโครงสร้างในแนวดิ่ง และเนื่องจากอาคารนี้ใช้พื้นคอนกรีตอัดแรงที่หลัง ซึ่งมีความแข็งแกร่งน้อย ค่าตอบที่ได้รับจะมีความแตกต่างจากการวิเคราะห์แบบ 3 มิติเพียงเล็กน้อย (T.Y.Yang , 2010)

3.2.1 ที่ตั้งของอาคาร

การศึกษานี้ ตั้งสมมุติฐานให้อาคารตั้งอยู่ในพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ โซน 5 ตามมาตรฐาน มยผ.1302-52 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่แหล่งความเจริญ เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ (ที่มา: มยผ.1302-52, พ.ศ.2552)

3.2.2 ประเภทการใช้อาคาร

เพื่อให้ผลการศึกษาสะท้อนถึงลักษณะของโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ จึงกำหนดให้เป็นอาคารเอนกประสงค์ โดยให้มีประเภทความสำคัญปกติ

3.3 ข้อกำหนดการออกแบบ

การออกแบบผนังรับแรงเฉือนและชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ จะเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318-02 โดยกำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่เท่ากับน้ำหนักของโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ส่วนเพิ่มเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แรงกระทำทางด้นข้างคำนวณตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และ มยผ.1302-52

3.3.1 แรงลม

สำหรับอาคาร 15 ชั้น มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างด้านที่แคบที่สุดจึงใช้วิธีการคำนวณแรงลมที่กระทำด้วยวิธีอย่างง่าย ส่วนอาคาร 25 ชั้น มีความสูงเกิน 80 เมตร

และมีความสูงเกิน 3 เท่าของความกว้างด้านที่แคบที่สุด จึงต้องคำนวณแรงลมที่กระทำโดยวิธีอย่างละเอียด เนื่องจากพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ โซน 5 ตามมาตรฐาน มยผ.1302-50 ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างมีลักษณะภูมิประเทศหลากหลาย จึงเลือกกำหนดให้ตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ B สำหรับใช้คำนวณแรงลม โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณดังตารางที่ 3.2

3.3.2 แรงแผ่นดินไหว

เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมของผนังรับแรงเฉือนในอาคารสูงปานกลาง ดังนั้นแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบผนังรับแรงเฉือน จึงใช้แรงแผ่นดินไหวที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพลศาสตร์แบบสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ระบบโครงสร้างโดยรวมเป็นระบบโครงอาคารทำงานร่วมกับผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดาทั้งสองทิศทาง โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณดังตารางที่ 3.2

3.3.3 กำลังวัสดุ

วัสดุหลักสำคัญในการออกแบบและประเมินโครงสร้าง คือคอนกรีตใช้กำลังอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเหล็กเสริมกำลังที่จุดครากเท่ากับ 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขั้นตอนการออกแบบจะพิจารณากำลังของวัสดุจากความสัมพันธ์ความเค้นความเครียดในช่วงเชิงเส้น และเนื่องจากเลือกใช้ผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดาจะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงพิเศษที่ขอบผนัง (Boundary Element) แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปการให้รายละเอียดเหล็กเสริมผนังรับแรงเฉือนมักจะมีการเสริมเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกเท่ากับ 0.30 เมตร ที่ขอบผนังในแต่ละชั้น และในส่วนนี้จะกำหนดวัสดุคอนกรีตที่จะใช้ในการประเมินกำลังเป็นคอนกรีตที่มีการโอบรัด

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการคำนวณแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

พารามิเตอร์สำคัญ	อาคารสูง 15 ชั้น	อาคารสูง 25 ชั้น
แรงลม		
ประเภทความสำคัญของอาคาร (I_w)		
- ภาวะจำกัดด้านกำลัง	1.0	1.0
- ภาวะจำกัดด้านการใช้งาน	0.75	0.75
สภาพภูมิประเทศ	B	B
แรงแผ่นดินไหว		
ประเภทความสำคัญของอาคาร (I)	1.0	1.0
ระบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนแบบธรรมดา		
- R	5	5
- Ω_0	2.5	2.5
- C_d	4	4
คาบการสั่นพื้นฐาน (T) วินาที		
- ในทิศทาง X	3.46	6.26
- ในทิศทาง Y	2.93	5.27

3.3.4 การรวมแรง

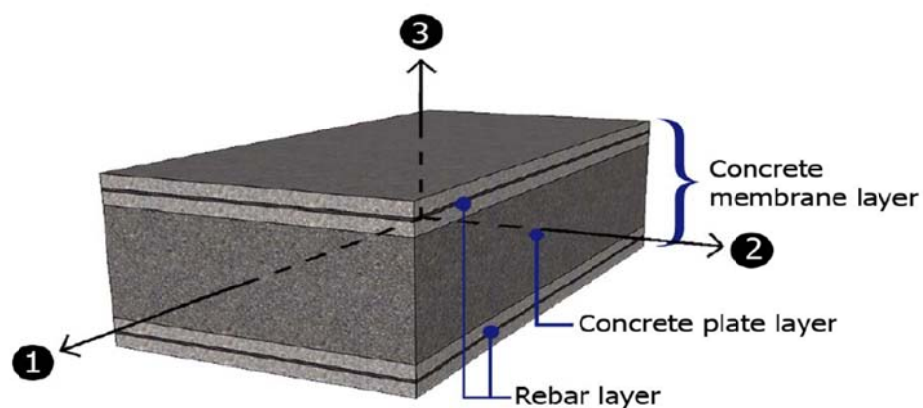
การรวมแรง (load combination) สำหรับการออกแบบ มีการรวมแรงที่กระทำในแนวดิ่งที่ได้จากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรร่วมกับแรงที่กระทำในแนวราบที่ได้จากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว มีรายละเอียดการรวมแรงตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และมยผ. 1302-52

3.3.5 แบบจำลองโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของผนังรับแรงเฉือน

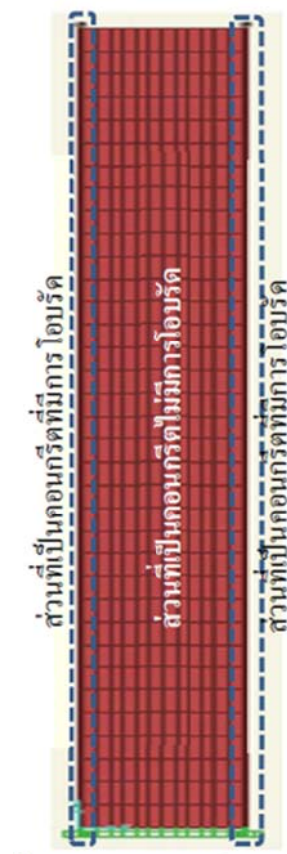
แบบจำลองโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของผนังรับแรงเฉือน ในขั้นตอนการประเมินโครงสร้าง จะสร้างชิ้นส่วนเปลือกบางแบบหลายชั้น (Layered shell element) หลายๆ ชั้นประกอบกันเป็นผนัง ในแต่ละชั้นส่วนจะประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น (Layer) เป็นคอนกรีตและเหล็กเสริม ดังรูปที่ 3.4

ในการจัดทำแบบจำลองจะกำหนดให้แต่ละชั้นส่วนมีความสูงเท่ากับ ความสูงของแต่ละชั้นส่วน ความกว้างของแต่ละชั้นส่วนจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมโดยมีความกว้างประมาณ 0.60 m. และชั้นส่วนบริเวณขอบผนังที่เป็นคอนกรีตแบบที่มีการโอบรัดจะกำหนดให้มีความกว้างใกล้เคียงกับความหนาของผนังในแต่ละชั้น จุติรองรับจะสมมุติให้เป็นแบบยึดแน่นที่ฐานของผนังทุกจุดของชั้นส่วนลักษณะแบบจำลองที่ใช้เป็น ดังรูปที่ 3.5

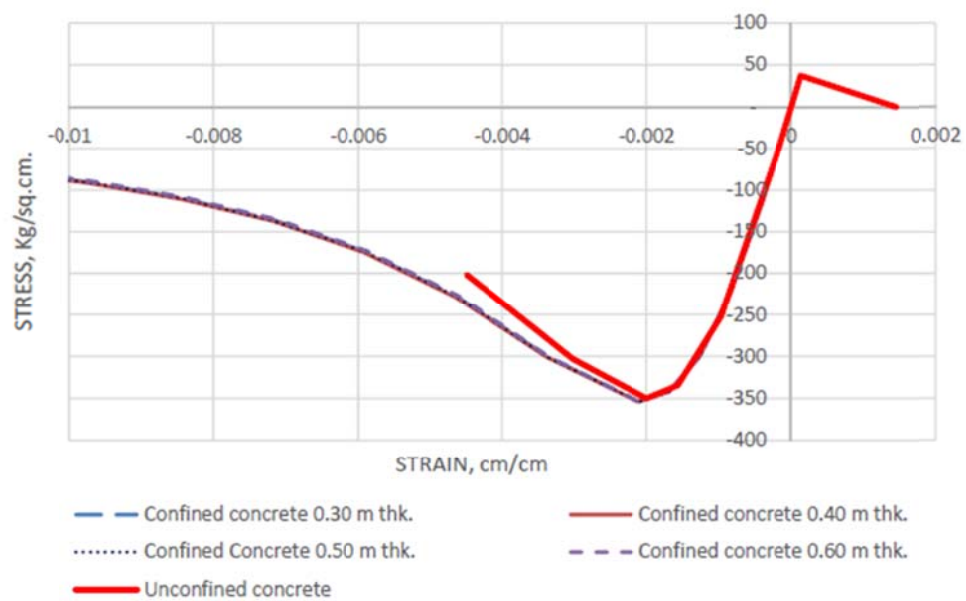
คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในขั้นตอนการประเมิน จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของวัสดุในช่วงไม่เชิงเส้น โดยความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ในการศึกษานี้แสดง ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



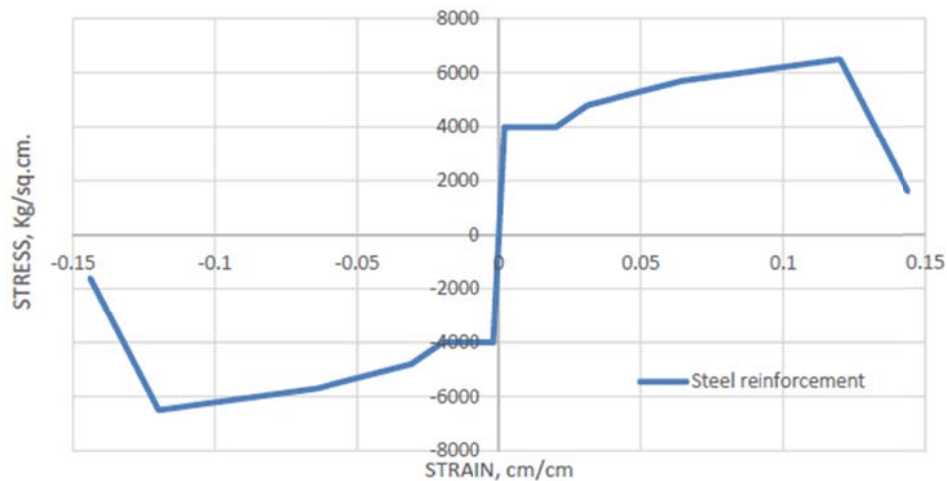
รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนเปลือกบางแบบหลายชั้น (Multi-layer Shell Element)



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างรูปด้านของแบบจำลองโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของผนังรับแรงเฉือน P1 ของอาคารสูง 25 ชั้น



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของคอนกรีต (ที่มา: เสด็จ พูลกลิ่น, พ.ศ.2556)



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม (ที่มา: เสด็จ พูลกลิ่น, พ.ศ.2556)

ตารางที่ 3.3 ค่าคาบธรรมชาติในรูปแบบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง

ค่าคาบธรรมชาติในรูปแบบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง	อาคารสูง 15 ชั้น	อาคารสูง 25 ชั้น
แบบจำลอง 3 มิติ (ขั้นตอนการออกแบบ, วินาที)	3.46	6.26
แบบจำลอง 2 มิติ (ขั้นตอนการประเมิน, วินาที)	5.51	12.68

จากตารางที่ 3.3 คาบธรรมชาติในรูปแบบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างที่ได้จากแบบจำลอง 3 มิติ และแบบจำลอง 2 มิติ มีค่าที่แตกต่างกันมาก สาเหตุเกิดจากการปฏิสัมพันธ์ของระบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือน-โครงข้อแข็ง ส่งผลทำให้แบบจำลองโครงสร้าง 2 มิติ มีคาบธรรมชาติมากกว่าแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ เพราะในแบบจำลองโครงสร้าง 2 มิติ ได้โมเดลเฉพาะผนังรับแรงเฉือนเท่านั้น ดังนั้นในการประเมินจะเป็นการศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนเบื้องต้นเท่านั้น

การกำหนดมวลและน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงดึงดูดโลกให้กับผนังรับแรงเฉือนเพื่อพิจารณาแรงแผ่นดินไหวจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนี้

- ก. การกำหนดมวล จะตั้งสมมุติฐานให้ผนังรับแรงเฉือน P1 เป็นโครงสร้างหลักที่รับแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X และรับแรงแผ่นดินไหวทั้งหมด 1 ใน 4 ของทั้งอาคาร
- ข. การกำหนดน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงดึงดูดโลกนอกจากน้ำหนักของผนังรับแรงเฉือนเอง ยังมีน้ำหนักจากโครงสร้างพื้นและน้ำหนักบรรทุกคงที่ส่วนเพิ่ม ซึ่งในส่วนนี้จะจัดสรรให้

ผนัง P1 ในแต่ละชั้นรับไว้ตามสัดส่วนพื้นที่รับผิชอบ (tributary area) ของโครงสร้างในแนวดิ่ง

3.4 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

คลื่นแผ่นดินไหวที่ไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้คลื่นแผ่นดินไหวจำลองสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครที่ได้จากการศึกษาของปณิธาน ลักคุณประสิทธิ์และคณะ (2551) จำนวน 6 คลื่น และจากการศึกษาของธรรมรัฐ บุญเสมอ (2555) จำนวน 6 คลื่น ซึ่งคลื่นจากทั้งสองการศึกษานี้ถูกพัฒนาขึ้น จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่บันทึกในประเทศไทยจำนวน 3 คลื่น และจากเหตุการณ์ที่บันทึกได้จากสหรัฐอเมริกาอีกจำนวน 3 คลื่น โดยมีการปรับค่าให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่มีความน่าจะเป็นที่จะรุนแรงเกินร้อยละ 10 ใน 50 ปี หรือเทียบเท่ากับแผ่นดินไหวที่มีคาบการเกิด 475 ปี

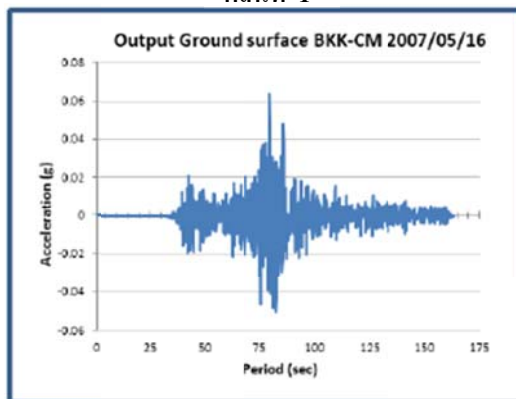
ตารางที่ 3.4 รายชื่อแผ่นดินไหวที่ใช้พัฒนาคลื่นจำลอง (ที่มา: ปณิธานและคณะ, พ.ศ.2551)

ศูนย์กลาง	วันที่	สถานีตรวจวัด	ระยะห่าง (กม.)	ขนาด (Mw)
ลาว	16/05/2007	เชียงใหม่	278	6.3
เมียนมาร์	23/06/2006	เชียงใหม่	318	5.6
เมียนมาร์	30/07/2007	เชียงใหม่	335	5.6
Loma Prieta	17/10/1989	Cliffhouse	80	6.9
Loma Prieta	17/10/1989	Diamond Heights	80	6.9
Kern County	12/07/1952	Pasadena	127	7.4

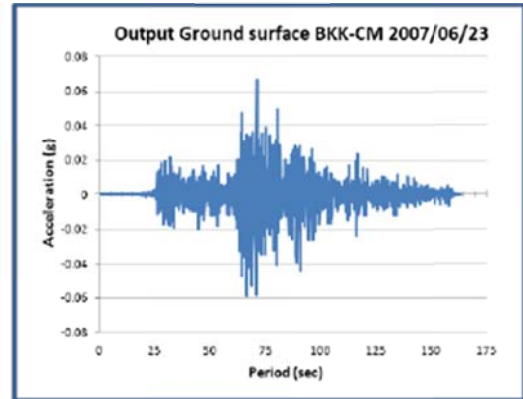
3.4.1 คลื่นแผ่นดินไหวจำลองจากการศึกษาของ ปณิธาน ลักษณะประสิทธิและคณะ (2551)

ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินจำลองสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากผลการศึกษาของ ปณิธาน ลักษณะประสิทธิและคณะ (2551) มีรายละเอียดตามตารางที่ 3.3 และมีรูปคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.8 ในการศึกษานี้กำหนดให้เป็นคลื่นที่ 1-6

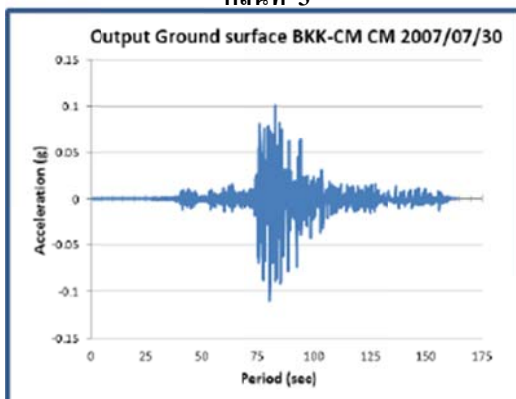
คลื่นที่ 1



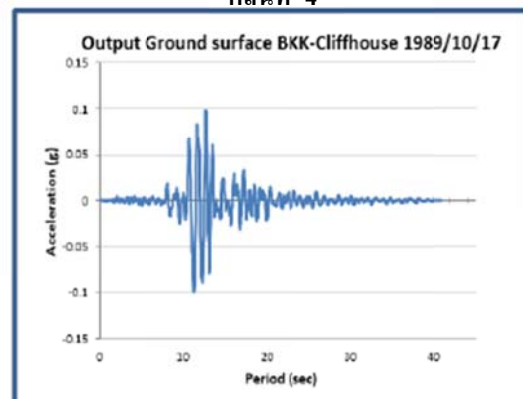
คลื่นที่ 2



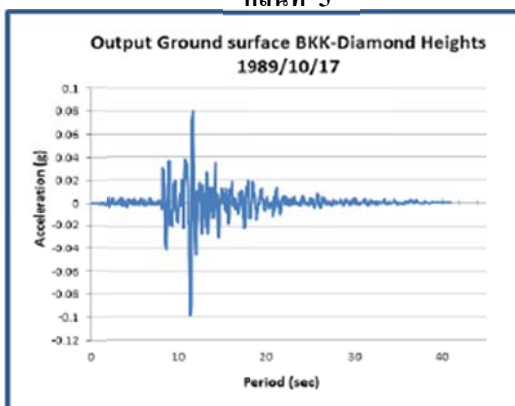
คลื่นที่ 3



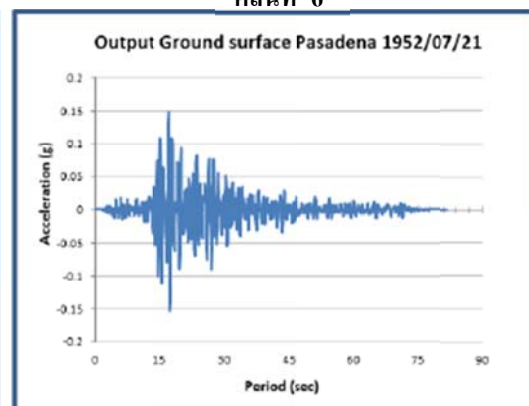
คลื่นที่ 4



คลื่นที่ 5



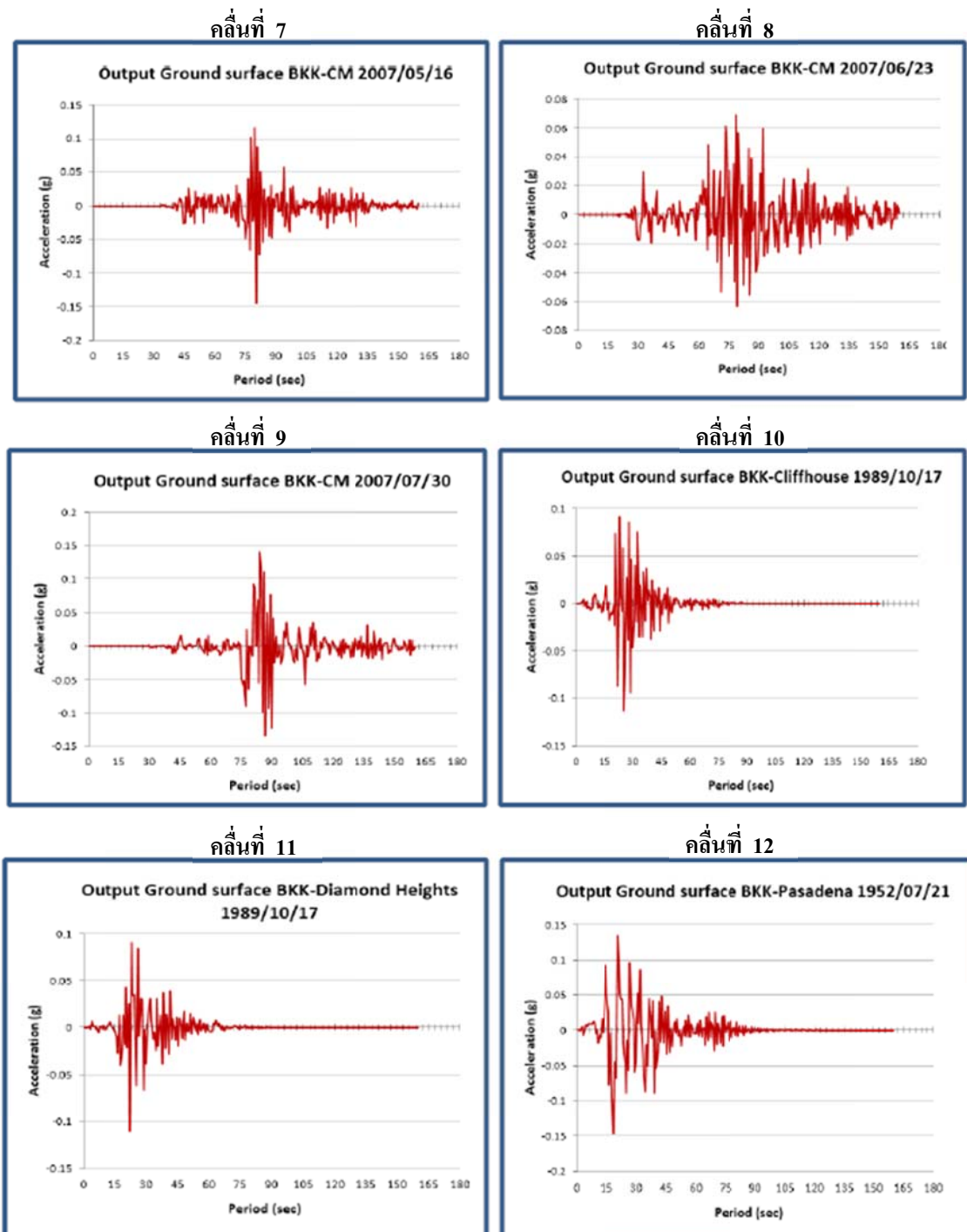
คลื่นที่ 6



รูปที่ 3.8 คลื่นแผ่นดินไหวจำลองจากการศึกษาของ ปณิธาน ลักษณะประสิทธิและคณะ (2551)

3.4.2 คลื่นแผ่นดินไหวจำลองจากการศึกษาของ ธรรมรัฐ บุญเสนอ (2555)

ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินจำลองสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากการศึกษาคือของ ธรรมรัฐ บุญเสนอ (2555) มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.9 และในการศึกษานี้กำหนดให้เป็นคลื่นที่ 7-12



รูปที่ 3.9 คลื่นแผ่นดินไหวจำลองจากการศึกษาของ ธรรมรัฐ บุญเสนอ (2555)

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะอาศัย

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้น คือ
โปรแกรม Etabs 9.7.3 สำหรับการออกแบบและโปรแกรม Sap2000 V.14 สำหรับการประเมิน
สมรรถนะ