

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

ขั้นตอนและวัตถุประสงค์การศึกษา แสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ขั้นตอนและวัตถุประสงค์ในการศึกษา

กิจกรรมที่ทำ	วัตถุประสงค์
1. รวบรวมข้อมูลอาคารโรงเรียนในเขตเทศบาล	เก็บข้อมูลอาคารโรงเรียน
2. คัดกรองข้อมูลโดยวิธีการสำรวจด้วยสายตา (RVS)	ประเมินความสามารถขั้นต้นของอาคาร
3. คัดเลือกอาคาร โรงเรียนตัวแทนเพื่อการวิเคราะห์เชิงละเอียด	อาคารตัวแทนที่มีลักษณะส่วนมาก
4. ทำการวิเคราะห์เชิงละเอียดโดยวิธี Capacity Spectrum Method	ประเมินความสามารถเชิงละเอียดของอาคารและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์
4.1 วิเคราะห์ Capacity Curve แบ่งเป็น 2 กรณี	
(ก) วิเคราะห์แบบกำหนด Plastic Hinge (โปรแกรม SAP2000)	
(ก.1) กำหนด Plastic Hinge โดยโปรแกรมเอง	
(ก.2) กำหนด Plastic Hinge โดยระบุเฉพาะ	
(ข) วิเคราะห์แบบกำหนดคุณลักษณะของวัสดุไว้เชิงเส้นและใช้ Fiber Model ในการวิเคราะห์ (โปรแกรม SeismoStruct)	
4.2 Response Spectrum	
4.3 การประเมิน Performance Point	
5. การวิเคราะห์เสริมกำลังกรณีต่าง ๆ	แนะนำการเสริมกำลังโดยวิธีต่าง ๆ
5.1 การวิเคราะห์เสริมกำลังโดยวิธีขยายหน้าตัดเสา	
5.2 การวิเคราะห์เสริมกำลังโดยวิธีเสริมค้ำยันแนวทแยง	
5.3 การวิเคราะห์เสริมกำลังโดยวิธีเสริมกำแพงรับแรงเฉือน	
6. สรุปผลการศึกษา	สรุปผลการวิเคราะห์

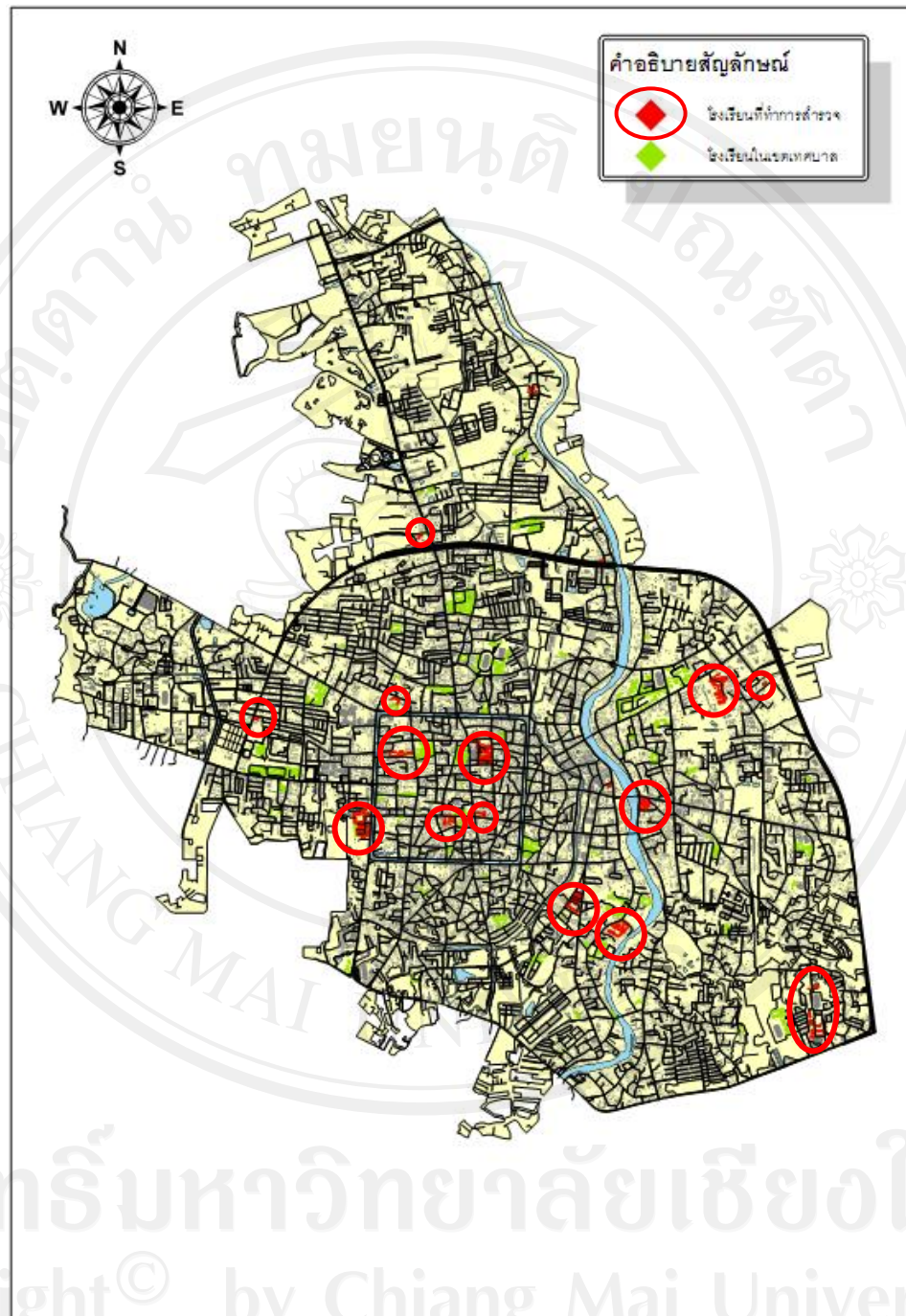
3.1 รวบรวมข้อมูล

3.1.1 ข้อมูลอาคารโรงเรียนโดยทั่วไป

จากข้อมูลอาคารโรงเรียนในเขตเทศบาล เมืองเชียงใหม่ พบว่ามีจำนวนโรงเรียนทั้งหมด 106 โรงเรียน เฉพาะโรงเรียนประเภทระดับประถมศึกษา และมัธยมศึกษา ทั้งนี้ได้ทำการเลือกจำนวน 101 อาคารของจำนวนกลุ่ม 25 โรงเรียน สามารถแบ่งกลุ่มตามประเภทวัสดุก่อสร้างได้ 3 ประเภทคือ อาคารที่ทำจากวัสดุคอนกรีต อาคารที่ทำจากเหล็กและอาคารที่ทำจากไม้ จากการสำรวจเบื้องต้น พบว่าอาคารเรียนส่วนมากเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแบบคาน-เสา ผนังก่ออิฐไม่มีการเสริมเหล็กในส่วนของผนัง อาคารส่วนใหญ่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านหน้าอาคารกว้าง และส่วนมากมีความสูงประมาณ 3-4 ชั้น มีใต้ถุนอาคารยกสูงเปิดโล่งเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมภายในโรงเรียน อาคารส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานเป็นระยะเวลานานมากกว่า 10 ปี ส่วนใหญ่ก่อสร้างก่อนที่จะมีการกำหนดกฎกระทรวง ฉบับที่ 49 ในปี พ.ศ. 2540 แต่มีบางอาคารที่พบว่าเป็นอาคารลักษณะผสม กล่าวคือ มีโครงสร้างของไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กผสมกัน แต่โครงสร้างหลักของอาคารยังคงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพียงแต่มีส่วนโครงสร้างของไม้เพียงเล็กน้อยถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่ออาคารทั้งอาคารแล้ว รูป 3.1 แสดงตำแหน่งของอาคารโรงเรียนที่สำรวจในพื้นที่

3.1.2 การประเมิน RVS

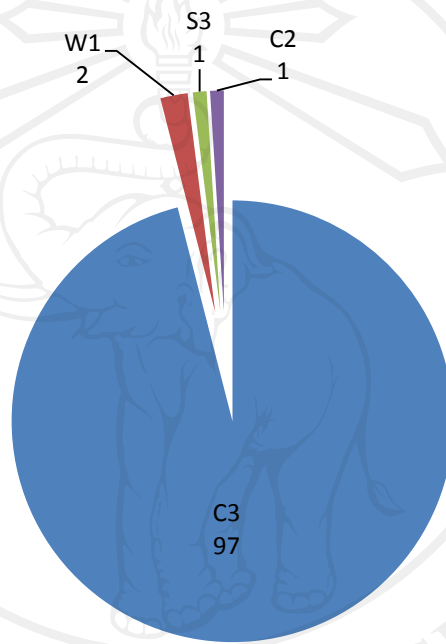
ได้สำรวจสมรรถภาพอาคารด้านทานแผ่นดินไหวขั้นต้นโดยวิธีสังเกตด้วยตาอย่างรวดเร็ว Rapid Visual Screening Of Buildings For Potential Seismic Hazards, RVS) จากกลุ่มตัวอย่างอาคารโรงเรียนที่ทำการศึกษาประเมิน เป็นอาคารที่สุ่มจากโรงเรียนในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่เป็นจำนวนที่ประเมินรวม 101 อาคาร ใน 25 โรงเรียน จากทั้งหมด 106 โรงเรียน ผลการศึกษาที่ได้ จะแสดงให้เห็นข้อมูลในภาพรวมโดยคร่าวของอาคารโรงเรียน ได้แก่ ประเภทโครงสร้างของอาคาร รูปทรงของอาคาร และข้อมูลประกอบอื่น ๆ ที่เป็นปัจจัยต่อคุณสมบัติในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยแสดงผลเป็นคะแนนการประเมิน



รูป 3.1 ตำแหน่งของอาคารโรงเรียนที่สำรวจในพื้นที่

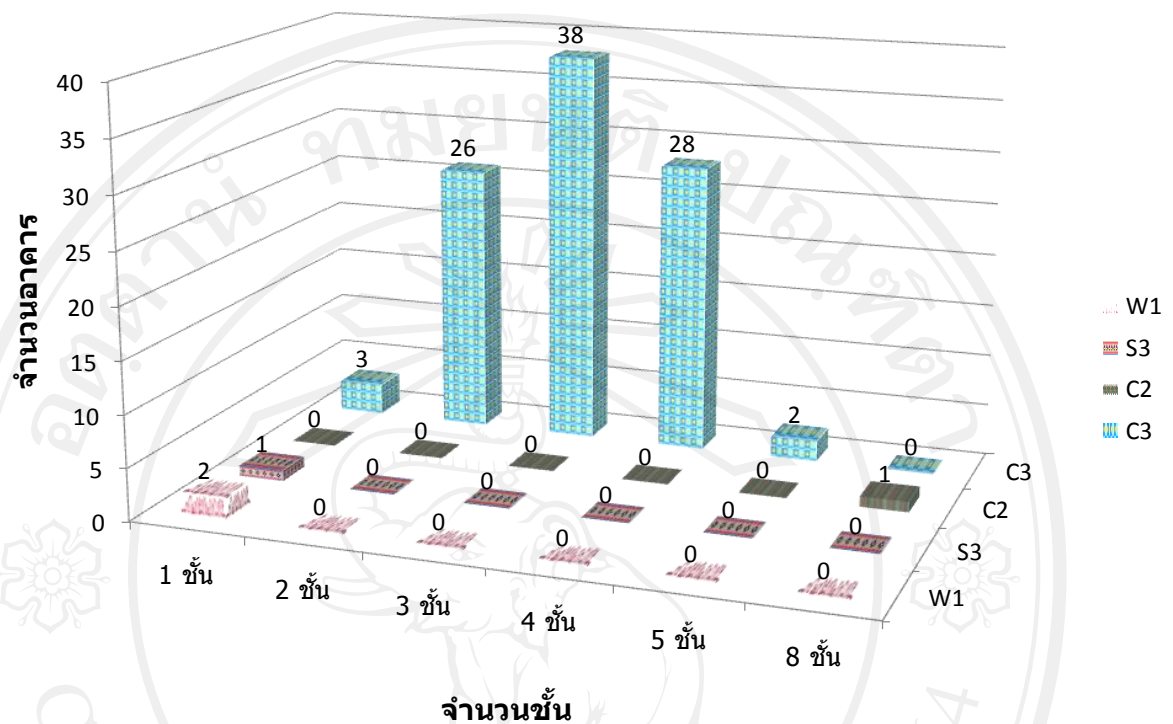
เมื่อพิจารณาข้อมูลอาคารเรียนที่สำรวจทั้งหมด 101 อาคาร จะสามารถจำแนกออกตามประเภทของระบบโครงสร้างได้เป็น 4 กลุ่มคือ 1.) กลุ่มอาคารประเภทโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำแพง

ก่ออิฐแบบที่ไม่เสริมเหล็ก หรือ C3 จำนวน 97 อาคาร 2.) กลุ่มอาคารประเภทโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำแพงรับแรงเฉือน หรือ C2 จำนวน 1 อาคาร 3.) กลุ่มอาคารประเภทโครงสร้างไม้ที่ใช้เป็นที่พักอาศัยและเชิงพาณิชย์ ที่มีพื้นที่น้อยกว่า 5000 ตารางฟุต หรือ W1 จำนวน 2 อาคาร และ 4.) กลุ่มอาคารประเภทโครงสร้างเหล็กขนาดเล็ก หรือ S3 จำนวน 1 อาคาร รูป 3.2 แสดงสัดส่วนและลักษณะโครงสร้างอาคารที่ได้ทำการสุ่มสำรวจในพื้นที่



รูป 3.2 แสดงสัดส่วนและลักษณะ โครงสร้างอาคารที่ได้ทำการสุ่มสำรวจในพื้นที่

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาแยกแต่ละกลุ่มตามจำนวนชั้นของอาคารจะพบว่า อาคารส่วนใหญ่มีจำนวน 2 ถึง 4 ชั้น ดังแสดงในรูป 3.3

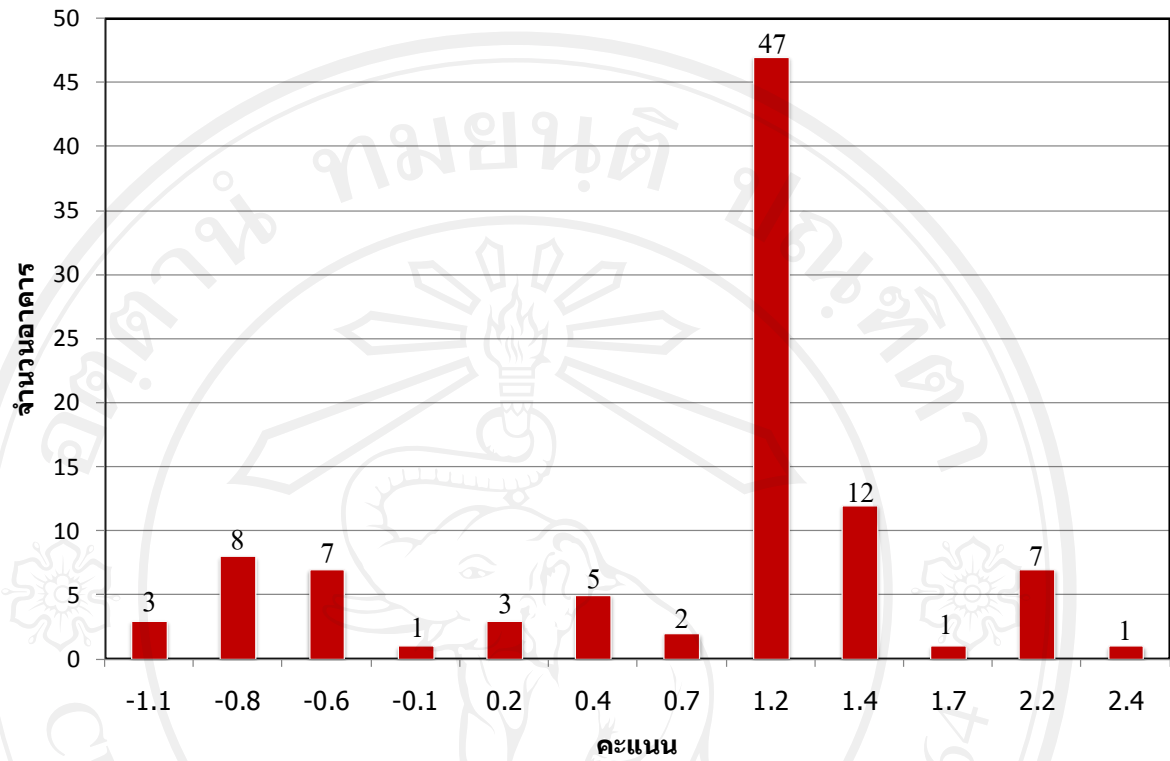


รูป 3.3 จำนวนอาคารแยกตามชนิดระบบโครงสร้างและจำนวนชั้น

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่า หากตัวแทนอาคารที่สุ่มมาสามารถเป็นตัวแทนของประชากรอาคารเรียนในเขตเทศบาลเมืองเชียงใหม่ได้ จะสามารถกล่าวได้ว่า อาคารเรียนโดยส่วนใหญ่จะเป็นอาคารที่มีระบบโครงสร้างอาคารชนิดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำแพงก่ออิฐแบบที่ไม่เสริมเหล็ก หรือ C3 โดยที่เป็นอาคารที่มีความสูงส่วนใหญ่ในช่วง 2 ถึง 4 ชั้น หรือคิดเป็นร้อยละ 90 ของอาคารทั้งหมด

3.2 ผลการประเมินด้วยวิธี RVS

สำหรับการศึกษาการประเมินความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคารโรงเรียนโดยการสังเกตด้วยตาเปล่านี้ ตั้งอยู่ในสมมติฐานที่ให้พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่อยู่ในเขตแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงปานกลางซึ่งข้อมูลการประเมินอาคารโรงเรียนด้วยวิธี RVS ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 101 อาคาร ได้แสดงไว้ในตาราง 3.2



รูป 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอาคารและคะแนนที่ได้จากการประเมินโดยวิธี RVS ของอาคารประเภท C3 เมื่อกำหนดให้พื้นที่สำรวจอยู่ในเขตแผ่นดินไหวระดับปานกลาง (Moderate Seismicity)

จากคะแนนการประเมินที่กำหนดให้พื้นที่สำรวจจัดอยู่ในเขตพื้นที่แผ่นดินไหวระดับปานกลาง (Moderate Seismicity) อาคารในกลุ่มประเภท W1 และ S3 ผ่านเกณฑ์การประเมินทั้งหมด แต่อาคารในกลุ่มประเภท C2 นั้นมีคะแนนเท่ากับ 0.3 คะแนน ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ประเมิน สำหรับในกรณีของกลุ่มอาคารประเภท C3 นั้น มีผลของคะแนนการประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 0.94 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.03 ดังแสดงในรูป 3.4 มีอาคารเรียนที่ผ่านเกณฑ์การให้คะแนนเพียง 8 อาคารที่ผ่านเกณฑ์การให้คะแนน และมีอาคารเรียนจำนวนถึง 89 อาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์การให้คะแนน คือมีคะแนนต่ำกว่า 2 คะแนน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 88 จากจำนวนอาคารทั้งหมด และอาคารเรียนโดยส่วนใหญ่มีคะแนนอยู่ที่ 1.2 คะแนน

ตาราง 3.2 ค่าเฉลี่ยคะแนนรวม (ทั้งหมด) และปัจจัย (ลบ) ต่าง ๆ ที่มีผลต่ออาคารกลุ่ม C3 ที่มีคะแนนไม่ผ่านเกณฑ์ประเมิน

ความ รุนแรง แผ่นดิน ไหว	คะแนนรวม เฉลี่ย (ทั้งหมด)	ปัจจัยคะแนนปรับแก้						
		Mid rise	High rise	Vertical Irregularity	plan Irregularity	Pre-code	Post Benchmark	soil type D
ปานกลาง	0.94 (1.03)	0.06 (0.09)	0.00 (0.00)	-0.61 (0.92)	-0.03 (0.12)	-0.89 (0.32)	0.00 (0.00)	-1.00 (0.83)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 การประเมินความอ่อนแอของอาคารอย่างละเอียดโดยวิธี Capacity Spectrum Method

1. การศึกษาข้อมูลทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างของอาคาร

- ศึกษาแบบก่อสร้างอาคารที่ทำการคัดเลือก หรือ แบบอาคารเรียนทั่วไป
- ทำการสร้างแบบจำลอง FEM
- ระบุคุณสมบัติวัสดุ กำหนดเงื่อนไขพลาสติก
- กำหนดแรงกระทำทั้งในแนวดิ่งและในแนวราบที่กระทำกับอาคาร

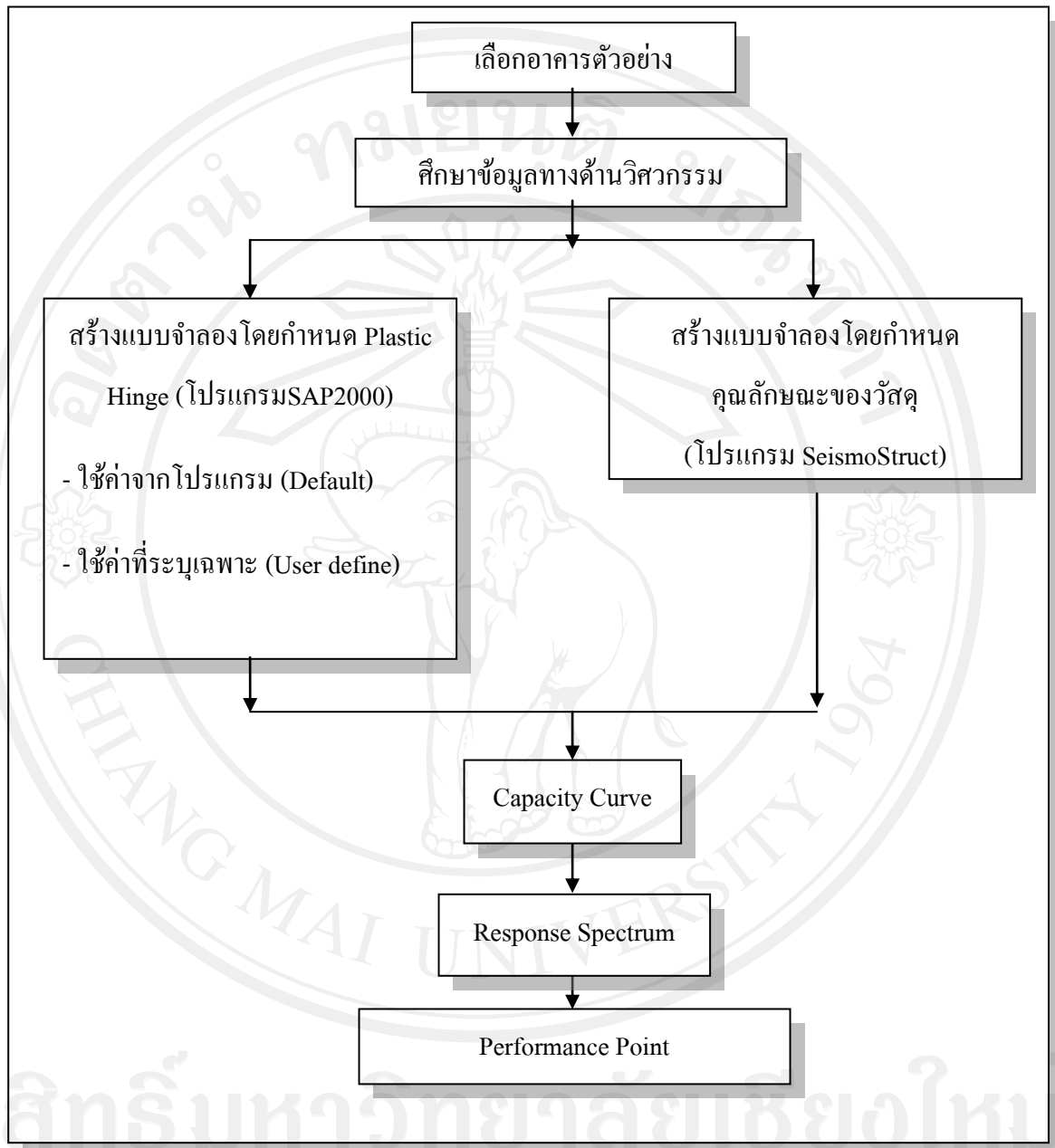
2. การวิเคราะห์

- วิเคราะห์อาคารภายใต้แรงกระทำในแนวดิ่ง จากน้ำหนักโครงสร้างและบรรทุกใช้งาน
- วิเคราะห์ Nonlinear Pushover ของอาคาร

3. แสดงผล

- สร้าง Demand Spectrum ของพื้นที่ศึกษา
- ระบุ Performance Point และประเมินพฤติกรรมของอาคารในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว รวมถึง ลักษณะการวิบัติของอาคาร

ขั้นตอนการวิเคราะห์ Capacity Spectrum Method แสดงดังรูป 3.5



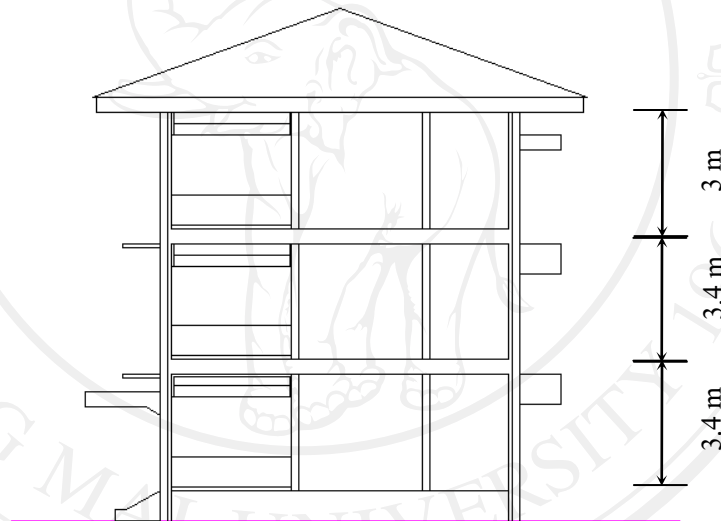
รูป 3.5 ขั้นตอนการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

3.4 อาคารโรงเรียนตัวอย่างที่ทำการศึกษา

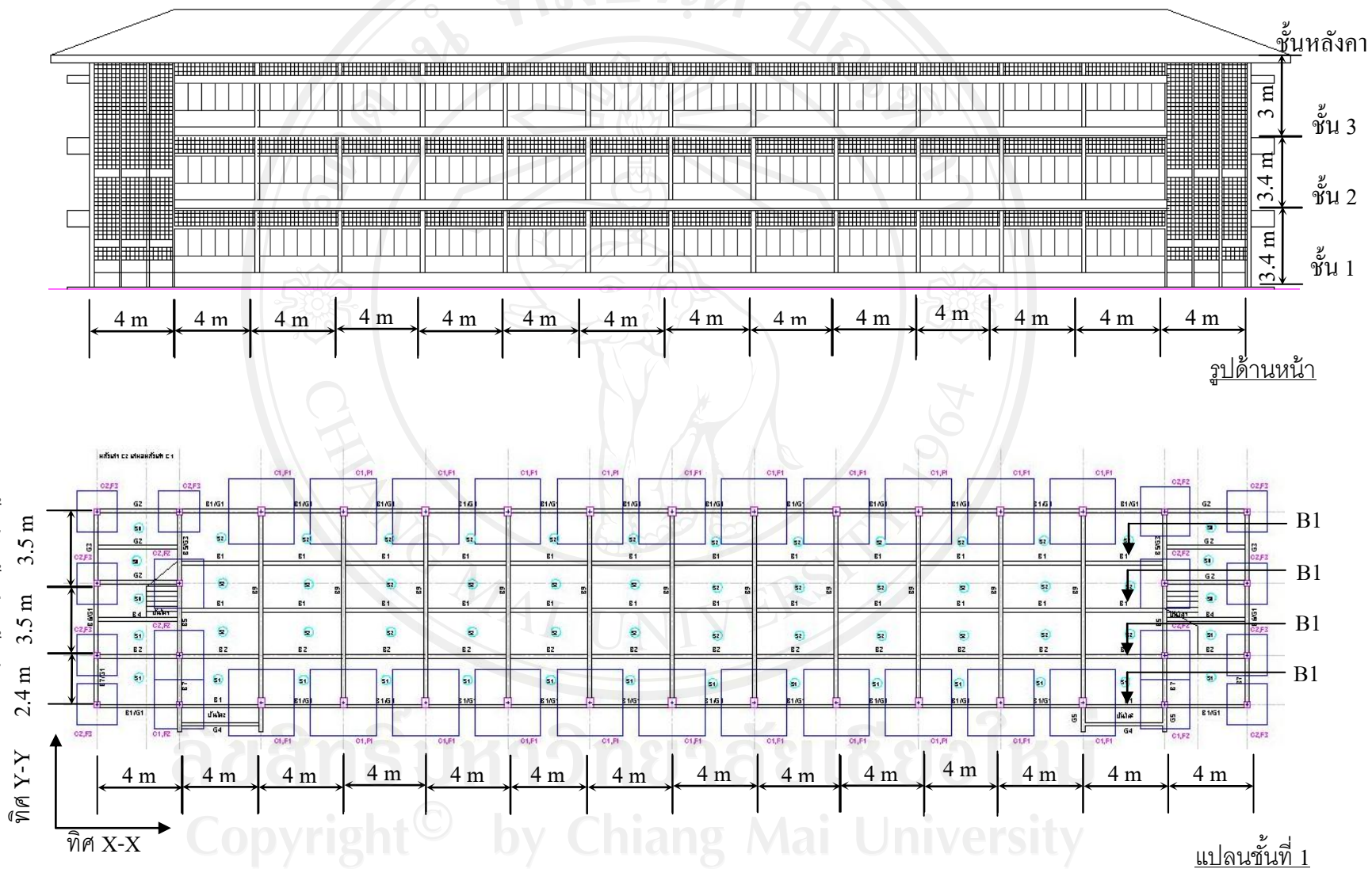
อาคารที่ทำการศึกษาวเคราะห์อย่างละเอียด เป็นอาคารที่มีรูปแบบใกล้เคียงกับลักษณะอาคารที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษาโดยส่วนใหญ่ โดยมีคุณสมบัติดังนี้

3.4.1 ลักษณะอาคาร (ดังรูป 3.6)

- เป็นอาคาร 3 ชั้น มีความสูง 3.4, 3.4 และ 3 เมตร ตามลำดับ
- อาคารกั้นผนังด้วยอิฐก่อมอญ แบ่งเป็นห้องเรียนขนาด 8 x 7 เมตร
- เป็นอาคารประเภทอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคานเสา
- แปลนอาคารมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง 9.4 เมตร มีความยาว 60 เมตร

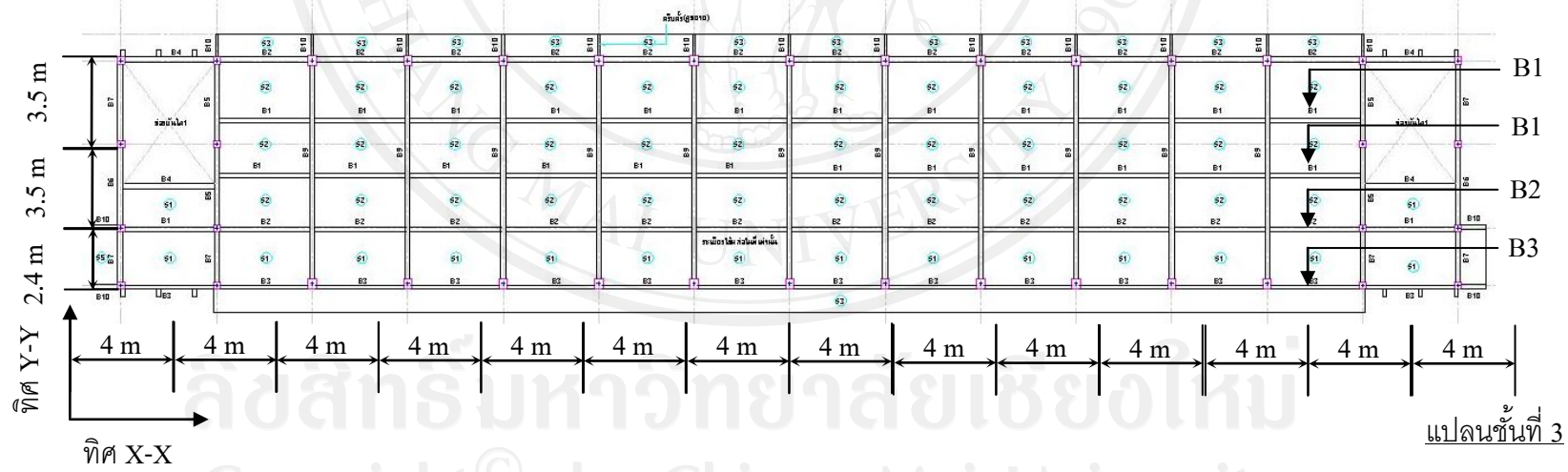
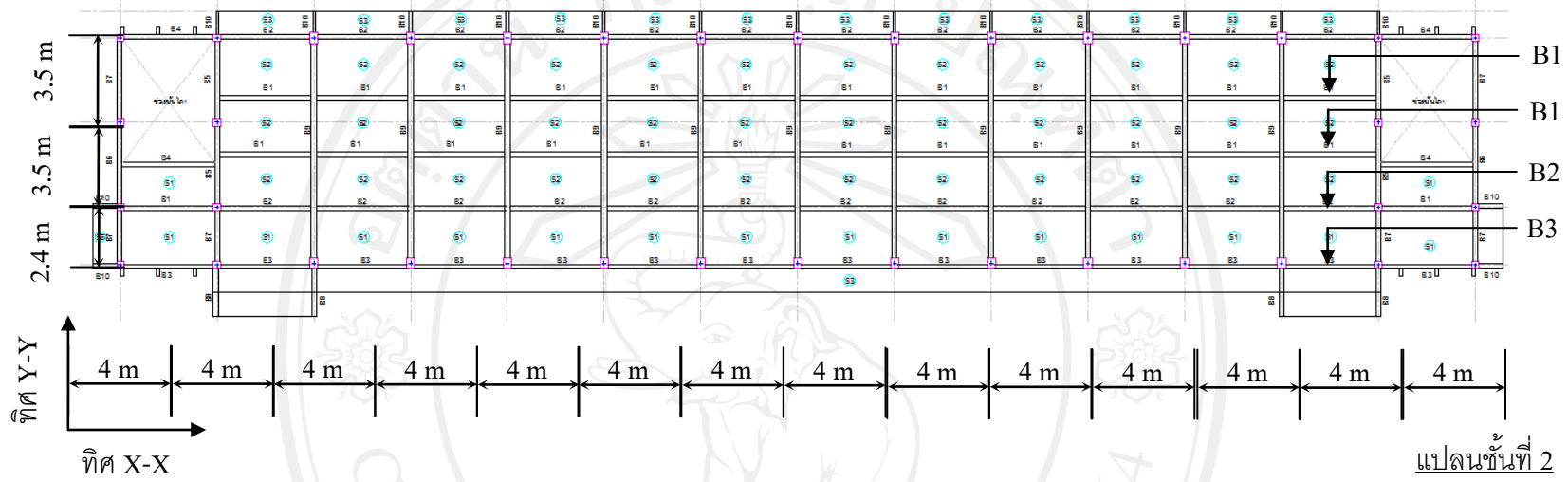


รูป 3.6 รูปด้านหน้า และแบบแปลนอาคารที่ศึกษา

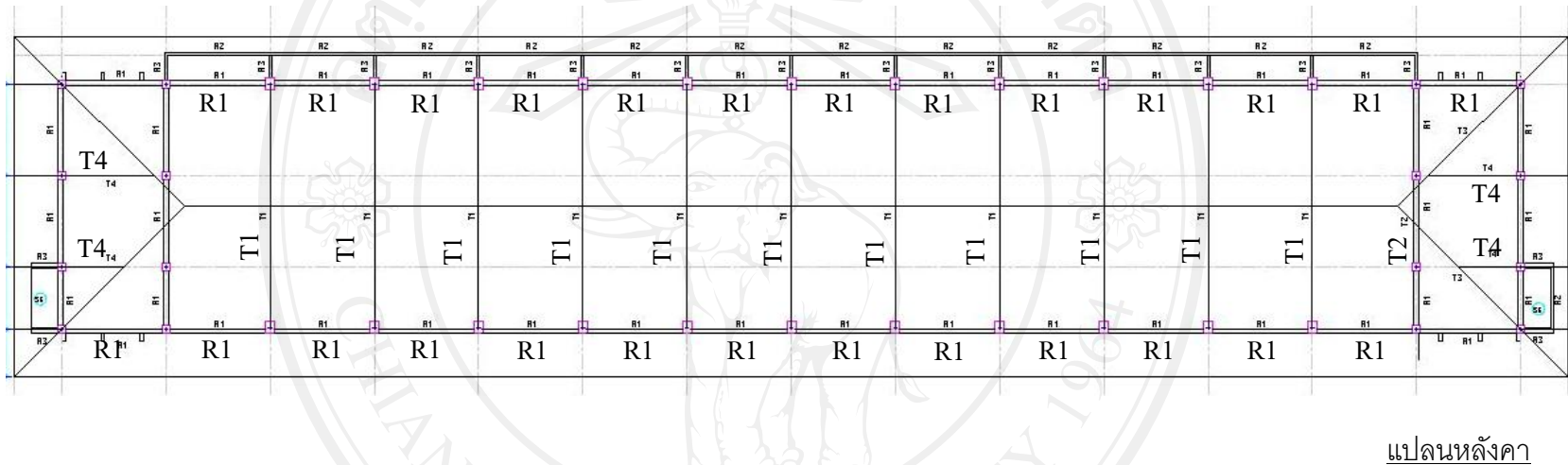


(๑๒) เสาแบบอิสระ เสาแฉ่งนอก

รูปที่ ๕ แสดง ๒ ชั้น ๑ ชั้น เสาแฉ่งนอก ๑ ชั้น เสาแฉ่งใน ๑ ชั้น



รูป 3.7 รูปด้านหน้าและแปลนอาคารชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และ



3.4.2 คุณสมบัติวัสดุ

คุณสมบัติวัสดุ ตามที่ระบุในแบบก่อสร้าง มีรายละเอียดดังนี้

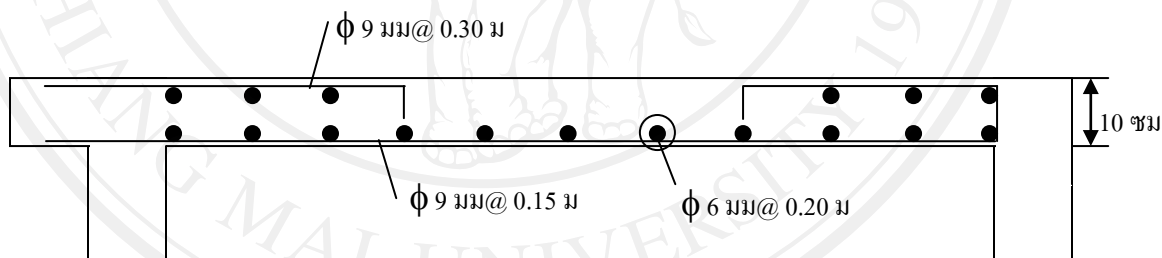
คอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างอาคาร โรงเรียนที่ทำการศึกษามีค่ากำลังอัดประลัย เท่ากับ 24 MPa เหล็กเสริมที่ใช้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เหล็กเส้นกลม SR24 และ เหล็กข้ออ้อย SD30 ซึ่งมีค่ากำลังดึงคราก เท่ากับ 240 MPa และ 300 MPa และกำลังดึงประลัย เท่ากับ 390 MPa และ 490 MPa ตามลำดับ

3.4.3 พื้น

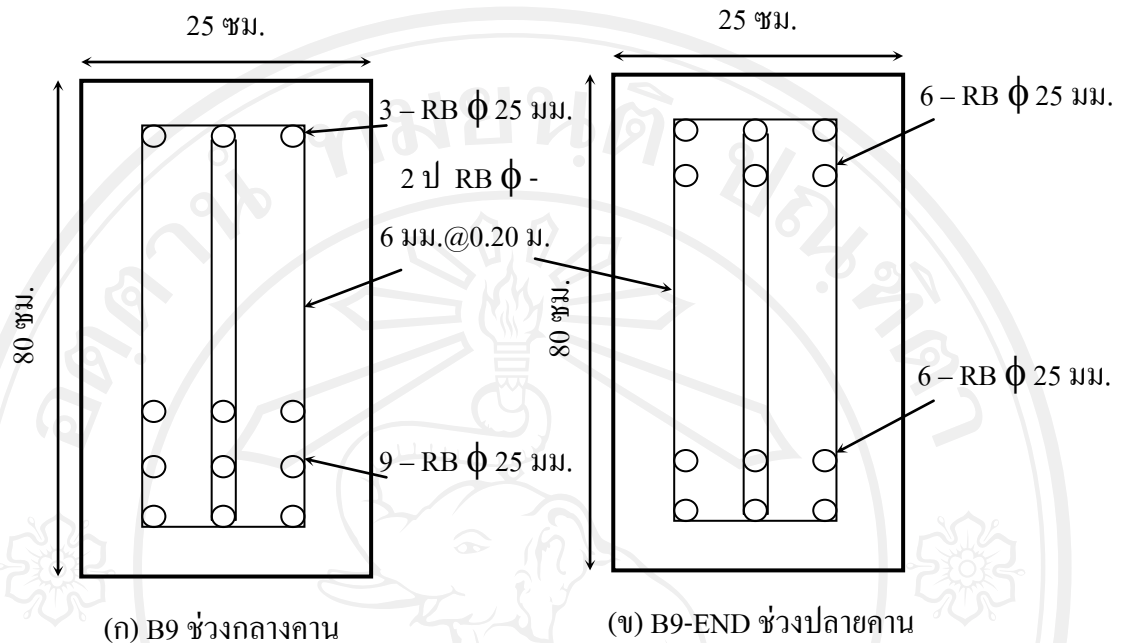
โครงสร้างพื้นอาคารเป็นระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่แอ่นตัวทิศทางเดียว (One way slab) เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ภาพหน้าตัดของพื้นแสดงในรูป 3.8

3.4.4 คาน

ลักษณะคานทั่วไปของอาคารโรงเรียน เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยรายละเอียดของคานมีดังต่อไปนี้จากรูป 3.9 คาน(B9) พาดบนเสาตามแนว Y-Y มีความยาว 9.4 เมตร และหน้าตัดของคานมีขนาดเท่ากับ 25 x 80 เซนติเมตร และมีรายละเอียดการเสริมเหล็กดังที่แสดงในรูป 3.9

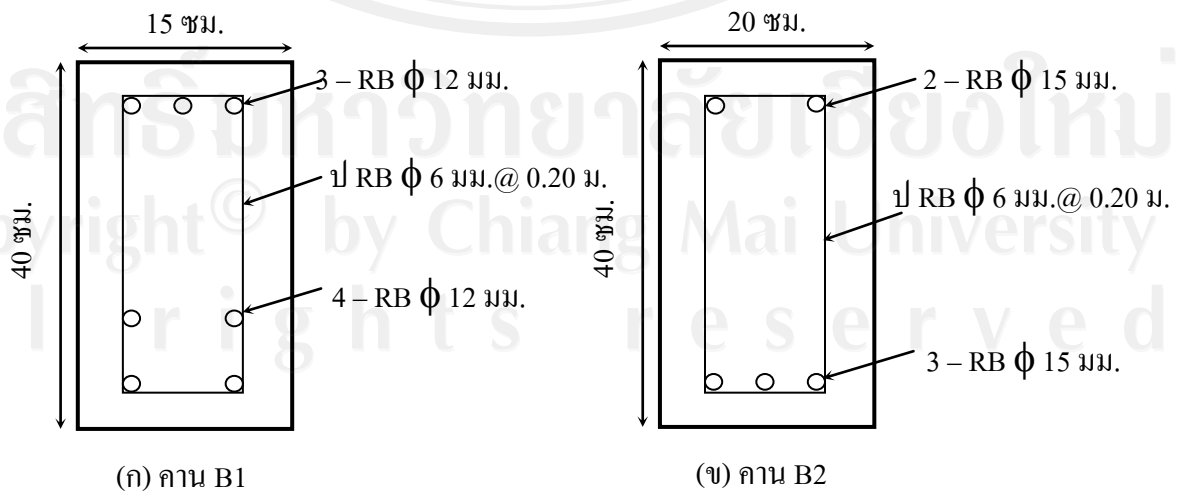


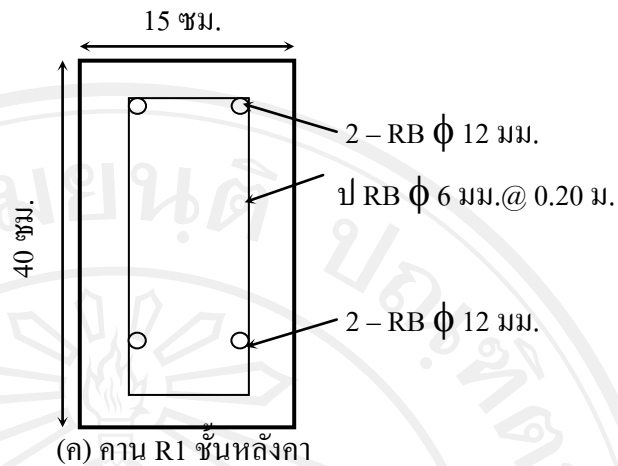
รูป 3.8 โครงสร้างพื้นอาคาร



รูป 3.9 รูปตัดคานในทิศ Y-Y

สำหรับในกรณีที่พิจารณาโครงสร้างในแนวแกน X-X จะเห็นว่า ในแนวแกนนี้มีทั้งหมด 14 ช่วง พาด แต่ละช่วงพาดมีความยาวเท่ากับ 4 เมตร รวมทั้งหมดมีความยาวทั้งสิ้น 56 เมตร ดังที่แสดงในรูป 3.7 คานในระนาบ X-X ประกอบด้วยคานสองขนาดคือ คาน (B1) และ คาน (B2) ความยาว 4 เมตร และ หน้าตัดของคานมีขนาดเท่ากับ 15x40 เซนติเมตร และ 20x40 เซนติเมตร ตามลำดับ มีรายละเอียดการ เสริมเหล็กดังที่แสดงในรูป 3.10

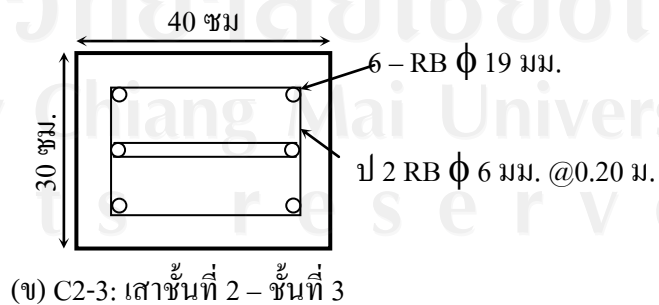
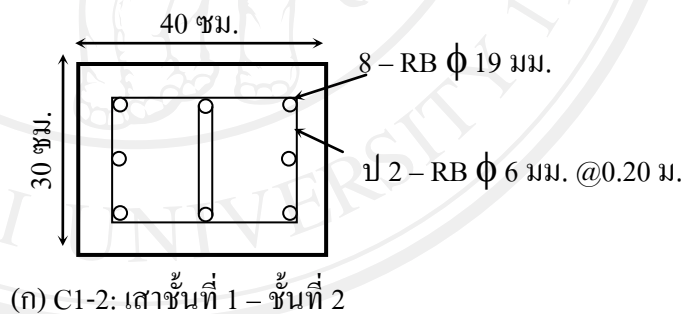


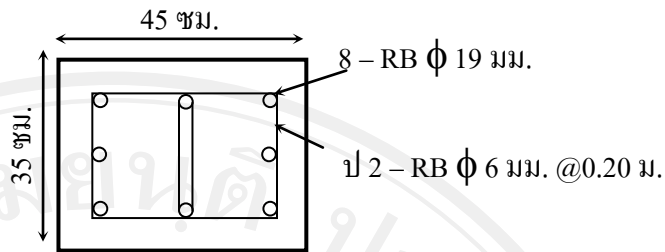


รูป 3.10 รายละเอียดคานในทิศ X-X

3.4.5 เสา

โครงสร้างเสาของอาคารโรงเรียนตัวอย่าง มีอยู่สองหน้าตัด คือ เสาระหว่าง ชั้นที่ 1 - ชั้นที่ 2 มีขนาดหน้าตัด 30x40 เซนติเมตร และมีการเสริมเหล็กดังแสดงในรูป 3.11(ก) ส่วน เสาระหว่าง ชั้นที่ 2 - ชั้นที่ 3 มีขนาดหน้าตัด 30x40 เซนติเมตรเช่นกัน และมีการเสริมเหล็กดังแสดงในรูป 3.11(ข) ส่วน ตอม่อ มีขนาดหน้าตัด 35x45 เซนติเมตร และมีการเสริมเหล็กดังแสดงในรูป 3.11(ค)





(ค) C-F: เสาตอม่อ

รูป 3.11 หน้าตัดเสา

3.5 แบบจำลองการวิเคราะห์

- ชิ้นส่วนเป็น Beam – Column element จำลองอยู่ในรูปแบบ 2D
- ลักษณะการจำลองเป็น Lump model นำความหนาของคานเสาคูณด้วยจำนวนเฟรม และคาน้ำหนักทั้งหมดของอาคาร
- กำหนดให้จุดต่อมีคุณสมบัติเป็นจุดแข็งเกร็ง (Rigid)
- ไม่คิดชิ้นส่วนหลังคาในด้าน Y-Y เนื่องจากเป็นโครงสร้างเหล็ก แต่คาน้ำหนักของหลังคา
- ฐานรากกำหนดให้มีคุณสมบัติแบบยึดแน่น (Fix) สมมติให้มีตอม่อยาว 1 เมตร

3.6 น้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำ

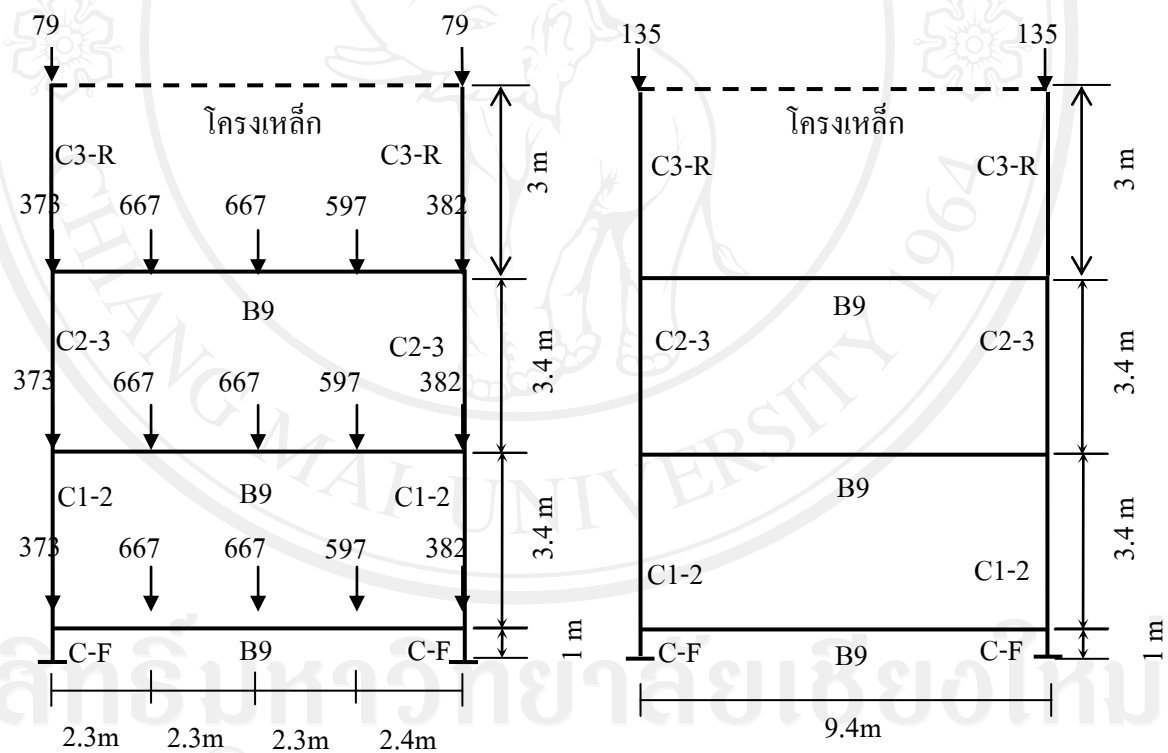
น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างอาคารที่วิเคราะห์ประเมินมีอยู่สองลักษณะ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกและแรงที่กระทำในแนวดิ่ง และ แรงกระทำด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหว รายละเอียดของแรงทั้งสองประเภทมีดังต่อไปนี้

3.6.1 น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง

แรงกระทำในแนวดิ่ง สำหรับอาคารตัวอย่างนี้ได้แก่ น้ำหนักของโครงสร้าง เช่น เสา คาน พื้น น้ำหนักของสิ่งที่ไม่ใช่โครงสร้าง ได้แก่ กำแพง แผ่นปูพื้น ฝ้าเพดาน ฯลฯ ซึ่งคำนวณจากขนาดของชิ้นส่วนและหน่วยน้ำหนักของวัสดุแต่ละชนิด และ พิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุกจรขนาด 300 กิโลกรัม ต่อตารางเมตร และลดลงเหลือร้อยละ 25 ทั้งนี้เนื่องจากคาน้ำหนักของโต๊ะและเก้าอี้ น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งที่วิเคราะห์เป็นขนาดน้ำหนักที่รวมทั้งหมดที่กระทำบนพื้นอาคาร (Lumped mass) ขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในแนวดิ่งของแบบจำลองที่ทำการวิเคราะห์ในทิศทาง Y-Y และ X-X แสดงไว้ในรูป 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

3.6.2 แรงกระทำด้านข้าง

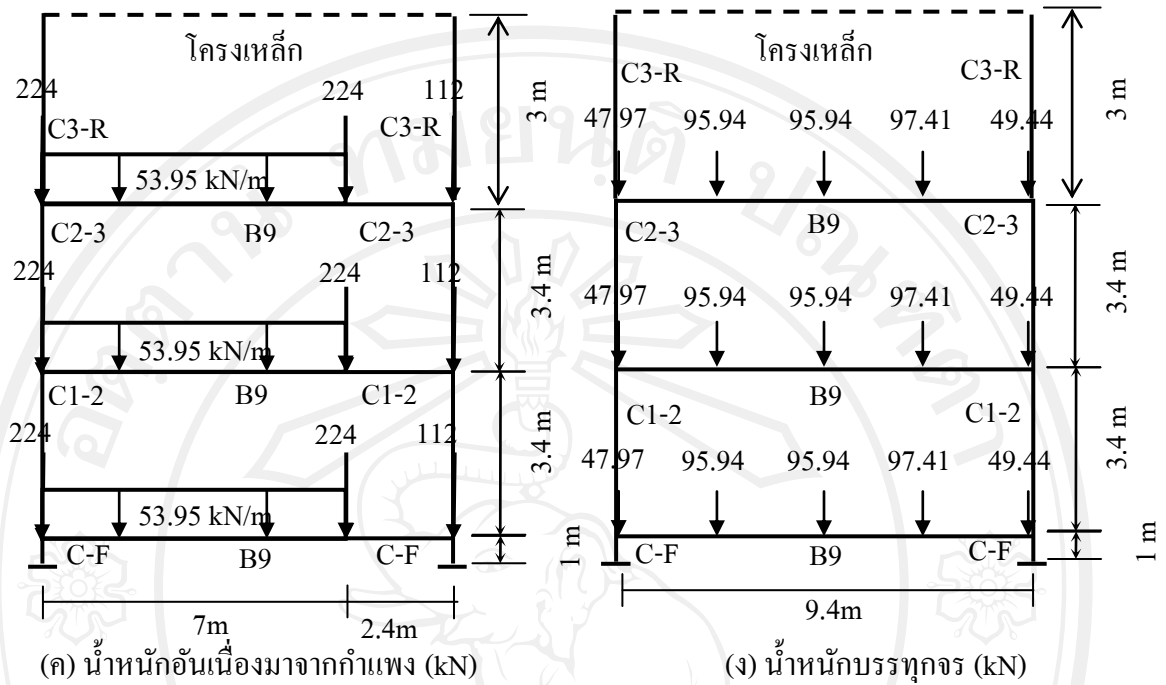
ในการวิเคราะห์ได้ให้แรงกระทำด้านข้างภายหลังจากแรงกระทำแนวตั้งข้างต้น โดยเพิ่มขนาดของแรงขึ้นเรื่อย ๆ โดยแรงกระทำมีรูปแบบการกระจายตามแรงแผ่นดินไหวซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอ้างอิงจาก มยพ. 1302 โดยที่ลักษณะของแรงที่กระทำจะแสดงในรูปแบบแรงสถิตกระทำแปรเปลี่ยนตามความสูงของอาคารและมวลของอาคาร ขนาดแรงกระทำที่คำนวณตามข้อกำหนดมาตรฐาน แสดงในรูป 3.12



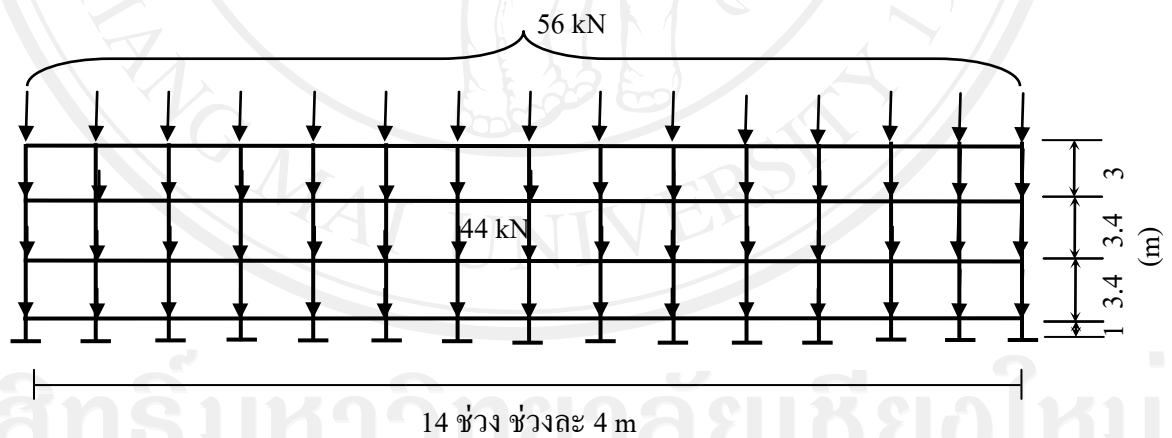
(ก) น้ำหนักจากพื้นและคาน: ถ่าน้ำหนัก

(ข) น้ำหนักจากโครงหลังคาและคานชั้นบนสุด (kN)

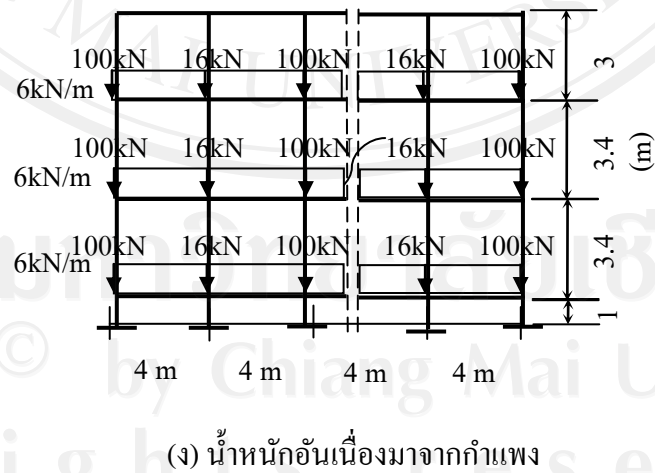
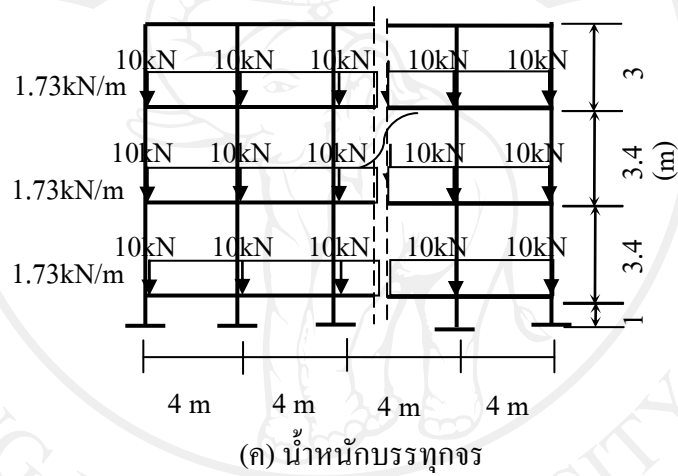
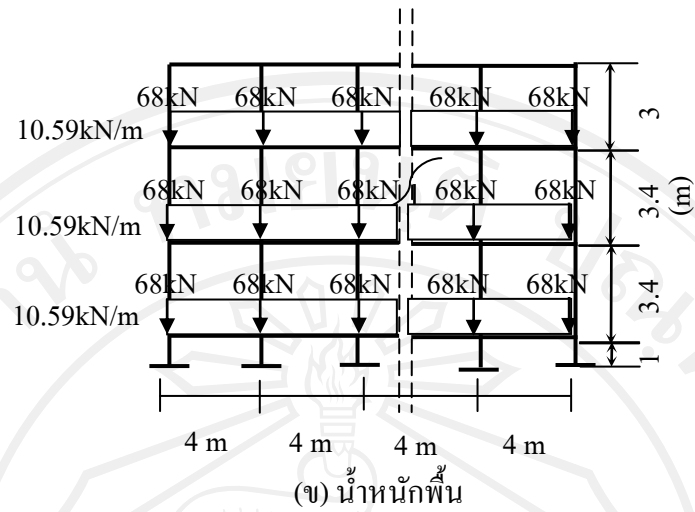
บรรทุกเป็นจุดจากคานย่อย (kN)



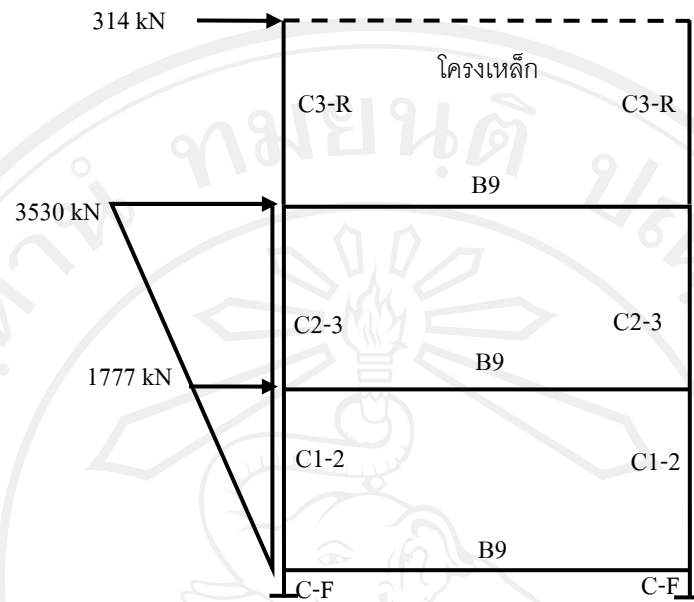
รูป 3.12 น้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำในแนวดิ่ง ในทิศ Y-Y



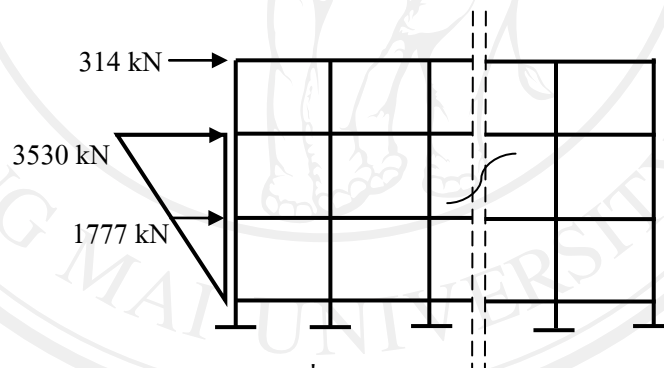
(ก) น้ำหนักจากคานในทิศ X-X



รูป 3.13 น้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำในแนวดิ่ง ในทิศ X-X



(ก) แรงกระทำด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหวในทิศ Y-Y



(ข) แรงกระทำด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหวในทิศ X-X

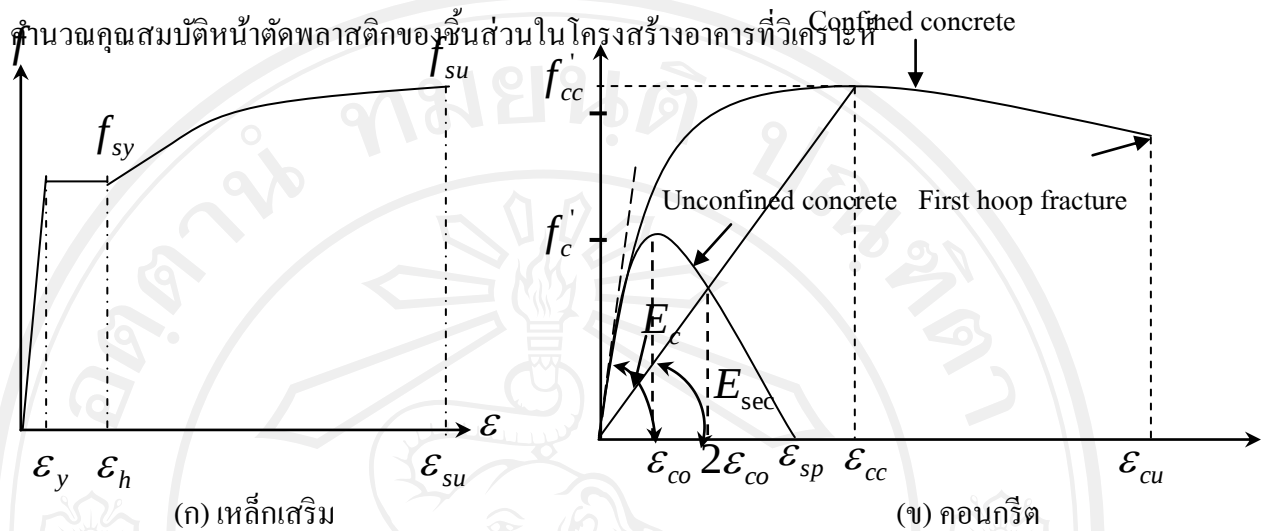
รูป 3.14 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับองค์อาคารเนื่องมาจากแรงแผ่นดินไหวที่คำนวณ

3.7 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3.7.1 แบบจำลองโดยการกำหนดหน้าตัดพลาสติก

การกำหนดคุณสมบัติพลาสติกของหน้าตัด จะอาศัยพฤติกรรมอินอีลาสติกของวัสดุ ได้แก่ โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) ดังแสดงในรูป 3.15 และตาราง 3.3 ในกรณีของการวิเคราะห์แบบหน้าตัดพลาสติก นั้นได้แยกเป็น 2 กรณี 1.กำหนดโดย

โปรแกรมเอง (Default) และ 2.กำหนดแบบระบุเฉพาะ (User define) ตาราง 3.4 แสดงค่าที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติหน้าตัดพลาสติกของชิ้นส่วนในโครงสร้างอาคารที่วิเคราะห์



รูป 3.15 ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดของเหล็กเสริม และคอนกรีต

ตาราง 3.3 คุณสมบัติของวัสดุในการคำนวณหน้าตัดพลาสติก

คุณสมบัติ	SAP2000		หมายเหตุ
	Default	User Define	
Concrete			
Compressive strength	24	24	MPa
Poisson ratio	0.2	0.2	-
Specific weight	23,535	23,535	N/m ³
Modulus of elasticity	23,392	23,392	MPa
Rebar SR24			
Modulus of elasticity	204,000	204,000	MPa
Poisson ratio	0.3	0.3	-
Yield Stress, f_{sy}	348	348	MPa
Ultimate Tensile Stress, f_{su}	565	565	MPa
Specific weight	76,972	76,972	N/m ³

ตาราง 3.4 ตัวแปรในการคำนวณหน้าตัดพลาสติกของคานและเสา

คุณสมบัติ	SAP2000		หมายเหตุ
	Default	User Define	
Concrete B9-END			
Confinement Material	SR24	SR24	
ϵ_{cu}	0.034	0.034	
ϵ_{cc}	0.001	0.001	
f'_{cc}	23	23	MPa
f'_{cu}	6	6	MPa
Concrete B1-END			
Confinement Material	SR24	SR24	
ϵ_{cu}	0.05	0.05	
ϵ_{cc}	0.0026	0.0026	
f'_{cc}	23	23	MPa
f'_{cu}	2	2	MPa
Concrete B2			
Confinement Material	SR24	SR24	
ϵ_{cu}	0.046	0.046	
ϵ_{cc}	0.0025	0.0025	
f'_{cc}	23	23	MPa
f'_{cu}	8	8	MPa

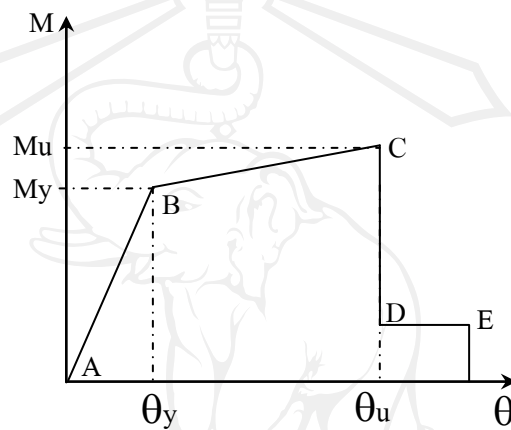
ตาราง 3.4 ตัวแปรในการคำนวณหน้าตัดพลาสติกของคานและเสา(ต่อ)

คุณสมบัติ	SAP2000		หมายเหตุ
	Default	User Define	
Concrete R			
Confinement Material	SR24	SR24	
$\mathcal{E}_{cu}$	0.05	0.05	
$\mathcal{E}_{cc}$	0.0026	0.0026	
f'_{cc}	23	23	MPa
f'_{cu}	2	2	MPa
Concrete C-F			
Confinement Material	SR24	SR24	
$\mathcal{E}_{cu}$	0.022	0.022	
$\mathcal{E}_{cc}$	0.0024	0.0024	
f'_{cc}	24	24	MPa
f'_{cu}	6	6	MPa
Concrete C1-2			
Confinement Material	SR24	SR24	
$\mathcal{E}_{cu}$	0.019	0.019	
$\mathcal{E}_{cc}$	0.002	0.002	
f'_{cc}	23	23	MPa
f'_{cu}	5	5	MPa

ตาราง 3.4 ตัวแปรในการคำนวณหน้าตัดพลาสติกของคานและเสา(ต่อ)

คุณสมบัติ	SAP2000		หมายเหตุ
	Default	User Define	
Concrete C2-3			
Confinement Material	SR24	SR24	
ϵ_{cu}	0.019	0.019	
ϵ_{cc}	0.002	0.002	
f'_{cc}	23	23	MPa
f'_{cu}	5	5	Mpa
Rebar SD30			
ϵ_y	0.00191	0.00191	
ϵ_h	0.02	0.02	
ϵ_{su}	0.12	0.12	
f_{sy}	390	390	MPa
f_{su}	585	585	MPa
Rebar SR24			
ϵ_y	0.00171	0.00171	
ϵ_h	0.02	0.02	
ϵ_{su}	0.12	0.12	
f_{sy}	348	348	MPa
f_{su}	565	565	MPa

ในกรณีของการวิเคราะห์แบบหน้าตัดโมเมนต์พลาสติก นั้นปัจจัยสำคัญคือความสัมพันธ์ระหว่าง Moment – Rotation ขององค์อาคารที่จะแสดงถึงพฤติกรรมความเสียหายของอาคารดังรูป 3.16 และตาราง 3.5 แสดงคุณสมบัติหน้าตัดพลาสติกของชิ้นส่วนที่วิเคราะห์



รูป 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Moment – Rotation

ตาราง 3.5 คุณสมบัติของหน้าตัดโมเมนต์ดัดพลาสติกของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (kN-m)

B9-END					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	9,281	0	B	10,349	0
C	11,993	0.052	C	11,383	0.025
D	2,399	0.052	D	2,070	0.025
E	2,399	0.079	E	2,070	0.05

ตาราง 3.5 คุณสมบัติของหน้าตัดโมเมนต์คดพลาสติกของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (kN-m)(ต่อ)

B1-END					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	50	0	B	60	0
C	74	0.073	C	66	0.025
D	15	0.073	D	12	0.025
E	15	0.110	E	12	0.05
B2					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	144	0	B	118	0
C	136	0.048	C	130	0.025
D	27	0.048	D	24	0.025
E	27	0.073	E	24	0.05

ตาราง 3.5 คุณสมบัติของหน้าตัดโมเมนต์คดพลาสติกของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (kN-m)(ต่อ)

R					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	50	0	B	53	0
C	68	0.078	C	58	0.025
D	14	0.078	D	11	0.025
E	14	0.117	E	11	0.05
C1-2 at <10% Pb					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	2,288	0.001	B	1,912	0
C	2,543	0.019	C	2,104	0.02
D	509	0.019	D	382	0.02
E	509	0.029	E	382	0.03

Copyright ©

by Chiang Mai University

All rights reserved

ตาราง 3.5 คุณสมบัติของหน้าตัดโมเมนต์คดพลาสติกของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (kN-m)(ต่อ)

C1-2 at <40% Pb					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	2,790	0.000	B	2,884	0
C	3,100	0.008	C	3,172	0.015
D	620	0.008	D	577	0.015
E	620	0.012	E	577	0.025
C2-3 at <10% Pb					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	2,012	0.002	B	1,912	0
C	2,236	0.039	C	2104	0.02
D	447	0.039	D	382	0.02
E	447	0.058	E	382	0.03

ตาราง 3.5 คุณสมบัติของหน้าตัดโมเมนต์คดพลาสติกของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (kN-m)(ต่อ)

C2-3 at <40% Pb					
USER			DEFAULT		
จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)	จุด	โมเมนต์(kN-m)	มุมหมุน (m-rad)
A	0	0	A	0	0
B	2,788	0.000	B	2,884	0
C	3,098	0.010	C	3,172	0.015
D	620	0.010	D	577	0.015
E	620	0.015	E	577	0.025

3.7.2 การวิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์

ในการจำลองแบบอาคารโดยใช้การวิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์นั้นจะแตกต่างกับการจำลองแบบกำหนดหน้าตัดพลาสติก คือพฤติกรรมอินเลาสติกจะพิจารณาเป็นระดับเซลล์ ซึ่งต้องกำหนดค่าการแบ่งเซลล์ให้เหมาะสมกับหน้าตัด การวิเคราะห์จะวิเคราะห์ทีละเซลล์ ยิ่งแบ่งมากยิ่งได้ค่าที่ถูกต้อง

ตาราง 3.6 แสดงคุณสมบัติวัสดุที่กำหนดในการคำนวณ

ตาราง 3.6 คุณสมบัติของวัสดุ (สำหรับโปรแกรม SeismoStruct)

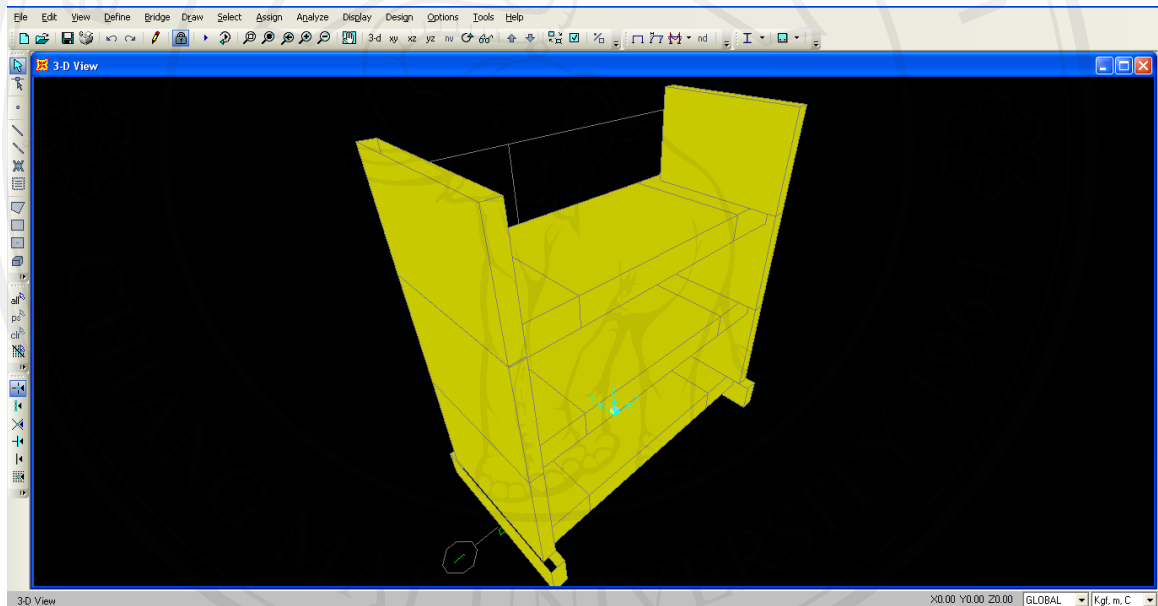
คุณสมบัติ	ค่าคุณสมบัติ	หมายเหตุ
Concrete		
Compressive strength	23	MPa
Tensile strength	2	MPa
Strain at peak stress	0.002	m/m
Poisson ratio	0.2	-
Yield strength of transverse steel	348	MPa
Modulus of elasticity of trans. Steel	204,000	MPa
Strain hardening parameter of trans. Steel	0.008	-
Diameter of transverse steel	0.006	m
Spacing of transverse steel	0.2	m
Specific weight	23,544	N/m ³
Modulus of elasticity	23,392	MPa

3.7.2 แบบจำลองโครงสร้าง

อาคารที่ศึกษานี้ เนื่องจากตัวอาคารมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม และมีลักษณะเหมือนกันในทุกเฟรมในทั้งสองระนาบที่พิจารณา ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองอาคารดังกล่าวจึงทำการวิเคราะห์ในแบบสองมิติที่ละแนว X-X และ Y-Y

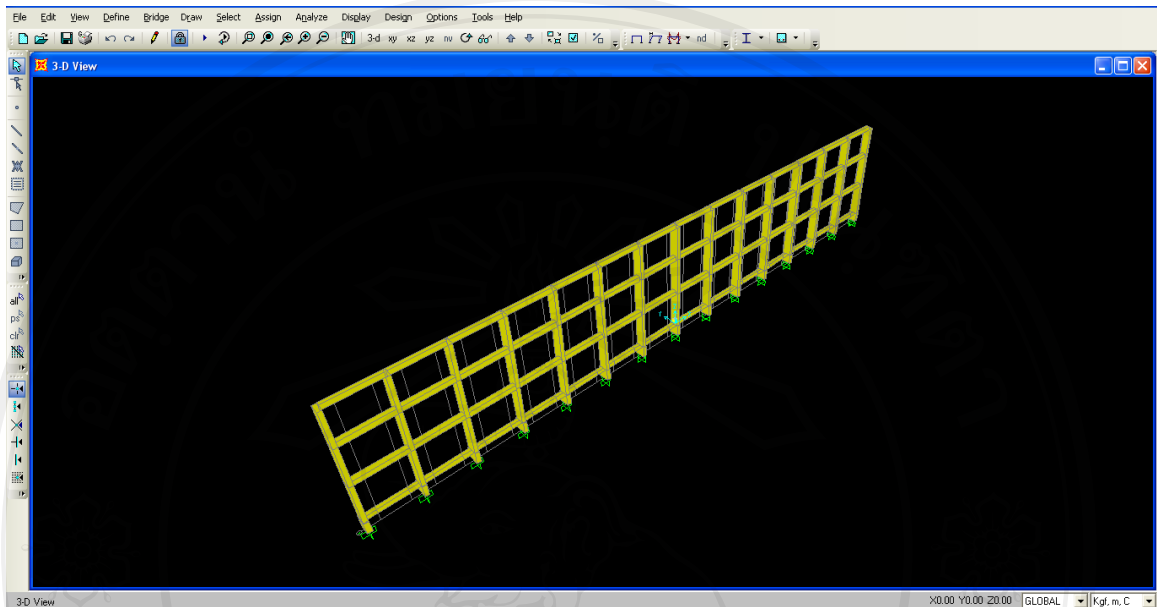
แบบจำลองในระนาบ Y-Y แสดงดังรูป 3.16 แบบจำลองมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ เสา คาน พื้น ที่อาคารมีขนาด 9.4 เมตร x 6.8 เมตร มีจำนวนทั้งสิ้น 3 ชั้น โดยที่แต่ละชั้นสูง 3.4 3.4 และ 3 เมตร

และเพื่อให้อาคารแสดงพฤติกรรมของอาคารทั้งหลังจึงทำการรวมโครงข้อแข็งเป็นชุด (Lump Model) โดยรวมเฟรมซึ่งมีจำนวนเฟรมที่ทำการรวมทั้งสิ้น 15 เฟรม นอกจากนี้ได้ทำการตัดแปลงในส่วนของ กำแพงและคานชั้นบนสุดของอาคาร เนื่องจากกำแพงดังกล่าวไม่ได้เป็นโครงสร้างหลักของอาคารและ ในชั้นบนสุดของอาคารที่ไม่ใช่คานหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กมีเพียง โครงหลังคาเหล็กเท่านั้น จึงไม่นำมาวิเคราะห์เป็นโครงสร้างหลักแต่ยังพิจารณาเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นที่ 3 สำหรับแบบจำลองนี้มี จำนวน โหนดทั้งสิ้น 10 จุด และมีชิ้นส่วนย่อยในการวิเคราะห์จำนวน 11 ชิ้น แบ่งเป็นชิ้นละ 100 เอลิเมนต์ รวมเป็น 1100 เอลิเมนต์



รูป 3.17 แบบจำลองในระนาบ Y-Y

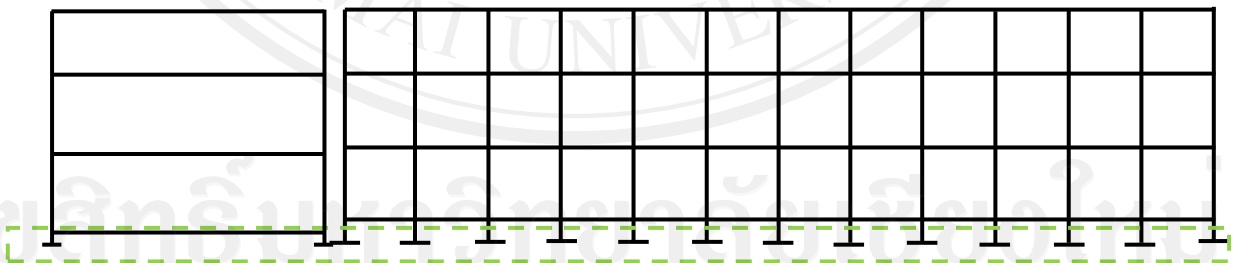
ส่วนแบบจำลองในแกน X-X ดังแสดงในรูป 3.18 สำหรับแบบจำลองในระนาบนี้มีส่วนประกอบทางโครงสร้างที่สำคัญดังนี้ เสา คาน พื้นที่มีขนาด 60 เมตร x 9.8 เมตร โดยแต่ละระยะช่วงพาดยาว 4 เมตร มีจำนวนทั้งสิ้น 15 ช่วงพาด แบบจำลองมีทั้งสิ้น 3 ชั้น แต่ละชั้นสูง 3.4 เมตร และชั้นสุดท้ายสูง 3 เมตร และเพื่อให้แบบจำลองแสดงพฤติกรรมของอาคารทั้งหลังจึงได้ทำการยุบแบบจำลองทั้งสองเฟรมเข้าด้วยกันตามแบบวิธีการรวมโครงข้อแข็งเป็นชุด (Lumped model) สำหรับแบบจำลองนี้มีจำนวน โหนดทั้งสิ้น 75 จุด และมีชิ้นส่วนย่อยในการวิเคราะห์จำนวน 116 ชิ้น แบ่งเป็นชิ้นละ 50 เอลิเมนต์ รวมเป็น 5800 เอลิเมนต์



รูป 3.18 แบบจำลองในระนาบ X-X

3.7.3 สภาวะค่าขอบของแบบจำลอง

เนื่องจากอาคาร โรงเรียนมีฐานรากเป็นแบบฐานแผ่ซึ่งวางอยู่บนชั้นดินที่ค่อนข้างแข็งและมีเสถียรภาพในกรณีนี้จึงกำหนดให้สภาวะของฐานรากของอาคารเป็นแบบยึดแน่นดังรูป 3.19



รูป 3.19 สภาวะค่าขอบของแบบจำลอง