

## บทที่ 3

### อาคารเรียนและคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในงานวิจัย

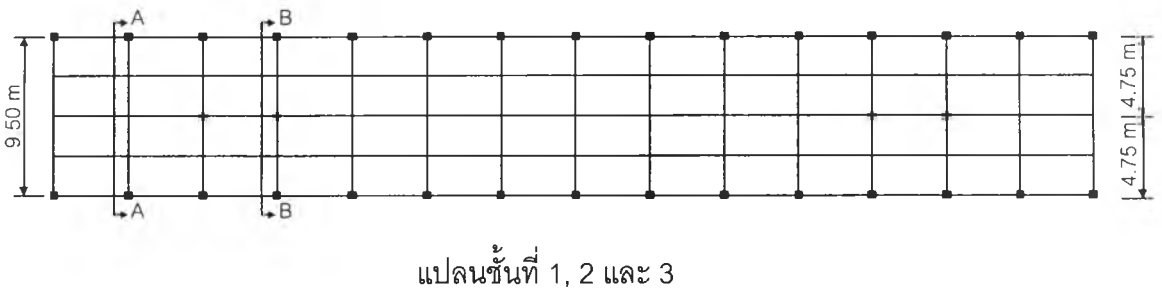
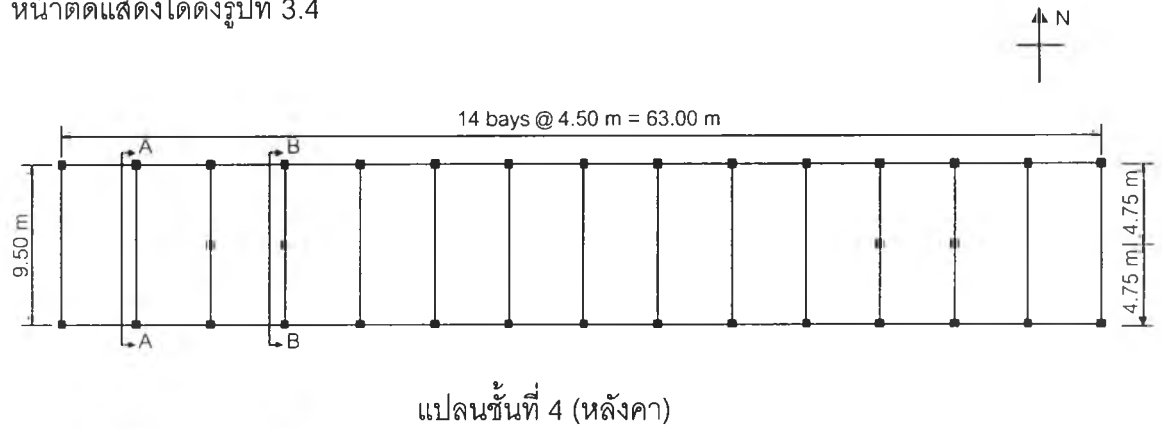
#### 3.1 อาคารเรียน

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารเรียน อาคารเรียนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามี 2 อาคาร คืออาคารเรียน ก. และอาคารเรียน ข. ซึ่งเป็นอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้นและ 2 ชั้น ตามลำดับ รายละเอียดของอาคารจะได้กล่าวในส่วนต่อไป การออกแบบและก่อสร้างกระทำก่อนการบังคับใช้กฎกระทรวงฉบับที่ 49 จึงพิจารณาเฉพาะความสามารถในการรับแรงในแนวดิ่ง การออกแบบใช้น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ  $300 \text{ กก./ม.}^2$  คอนกรีตที่ใช้มีกำลังรับแรงอัดประลัย ( $f_c'$ )  $210 \text{ กก./ซม.}^2$  ใช้เหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางมีกำลังรับแรงดึงคราก ( $f_y$ )  $2400 \text{ กก./ซม.}^2$  (SR24)

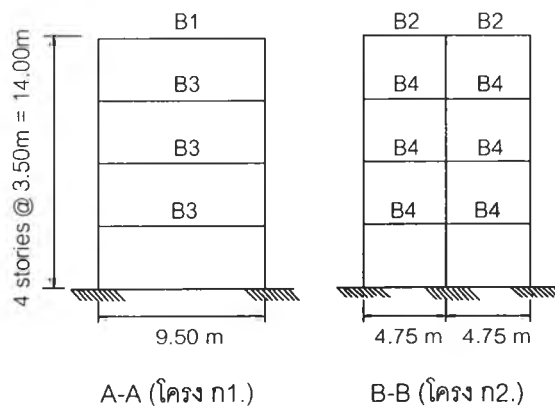
อาคารเรียน ก. เป็นอาคาร 4 ชั้น มีความสูงของแต่ละชั้นวัดจากพื้นถึงพื้น 3.50 เมตร ระบบอาคารเป็นโครงข้อแข็ง โดยมีส่วนโครงสร้างที่รับหลังคาเป็นโครงเหล็ก แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีคานคอนกรีตเสริมเหล็กยึดระหว่างหัวเสาอยู่ใต้โครงเหล็ก รูปแปลนและรูปด้านข้างของอาคารเรียน ก. แสดงในรูปที่ 3.1 จากรูปแปลนของอาคาร จะพบว่ามีโครงข้อแข็ง 2 โครงที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยโครง ก1. เป็นโครงข้อแข็งที่มีความกว้าง 1 ช่วงคาน โดยช่วงคานกว้าง 9.50 เมตร จำนวน 11 โครง และโครง ก2. เป็นโครงข้อแข็งที่มี 2 ช่วงคาน โดยแต่ละช่วงคานมีความกว้าง 4.75 เมตร จำนวน 4 โครง เสามีขนาดเท่ากันทุกชั้นแต่ปริมาณเหล็กเสริมต่างกัน ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวในเสามีค่าระหว่าง 1.63 – 4.90 เปอร์เซ็นต์ และใช้เหล็กปลอกเดี่ยวเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ระยะห่างระหว่างเหล็กปลอก 15 ซม. ในเสาชั้น 2, 3 และ 4 ส่วนเสาชั้นที่ 1 จะใช้เหล็กปลอกคู่ แผ่นพื้นหนา 10 ซม. รายละเอียดของหน้าตัดคาน เสาและพื้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

สำหรับอาคารเรียน ข. เป็นอาคาร 2 ชั้น ระบบอาคารเป็นโครงข้อแข็ง โดยมีส่วนโครงสร้างที่รับหลังคาเป็นโครงเหล็กซึ่งเป็นโครงข้อหมุนเช่นเดียวกับอาคาร ก. แต่ไม่มีคานคอนกรีตเสริมเหล็กยึดระหว่างหัวเสา ยกเว้นโครงที่อยู่ด้านนอกของอาคาร ความสูงของแต่ละชั้นวัดจากพื้นถึงพื้น 3.30 เมตร รูปแปลนและรูปด้านข้างของอาคารเรียน ข. แสดงในรูปที่ 3.3 จากรูปแปลนของอาคาร จะพบว่ามีโครงข้อแข็ง 3 โครง ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โครง ข1. เป็นโครงข้อแข็งที่อยู่ด้านนอกของอาคาร มีความกว้างช่วงคาน 7.00 เมตร ส่วนของคานในชั้นที่ 1 และชั้นหลังคาเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีจำนวน 2 โครง โครง ข2. เป็นโครงที่อยู่ภายในอาคารมีลักษณะคล้ายกับโครง ข1. แต่ไม่มีคานคอนกรีตเสริมเหล็กยึดหัวเสา มีแต่โครงหลังคาเหล็ก มี

จำนวน 4 โครง โครง ข3. เป็นโครงข้อแข็งที่มีโครงหลังคาเหล็กยึดระหว่างหัวเสา และคานในชั้นที่ 1 จะเป็นคานต่อเนื่องซึ่งมีส่วนหนึ่งเป็นคานยื่นเพื่อรองรับน้ำหนักของระเบียงอาคารยาว 2.00 เมตร และส่วนที่ไม่ใช่คานยื่นมีความกว้างช่วงคาน 8.00 เมตร มีจำนวน 13 โครง ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวในเสามีค่าระหว่าง 1.13-1.81 เปอร์เซ็นต์ และใช้เหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. โดยมีระยะห่างระหว่างเหล็กปลอก 15 ซม. แผ่นพื้นหนา 10 ซม. รายละเอียดของหน้าตัดแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

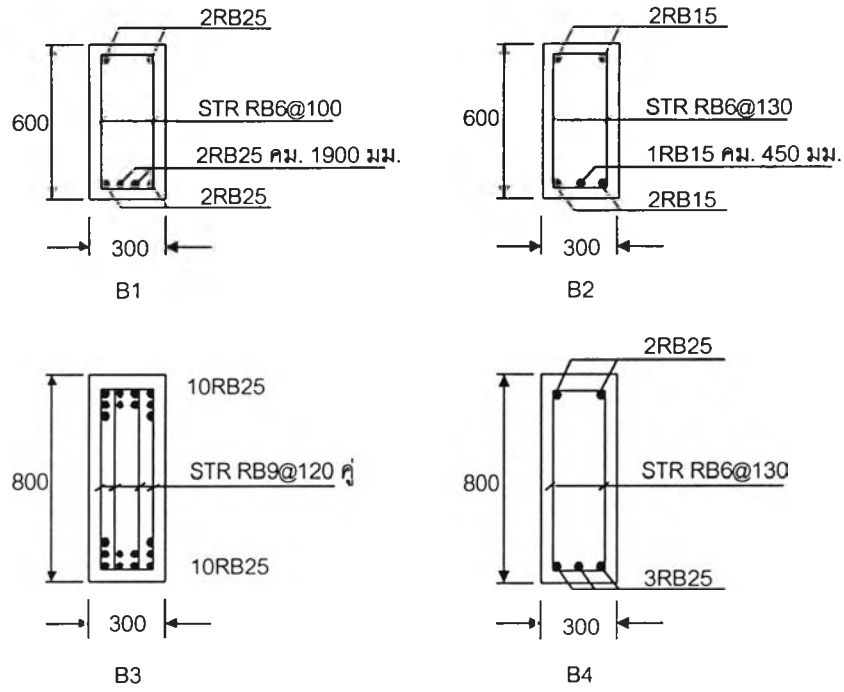


(ก) รูปแปลน

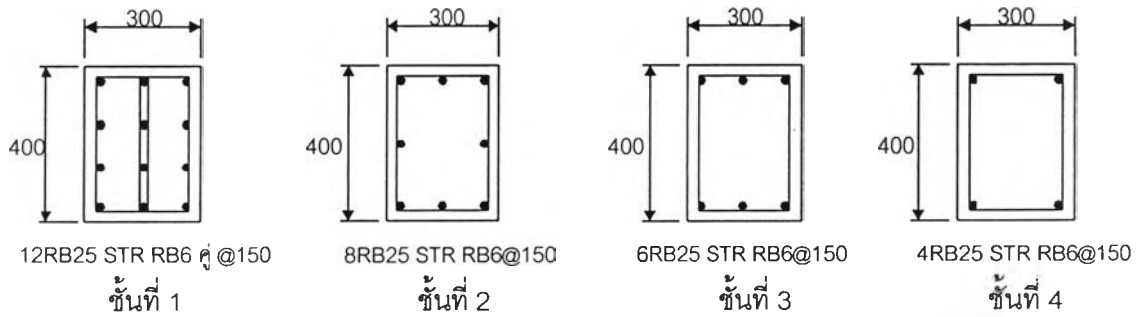


(ข) รูปตัดด้านข้าง

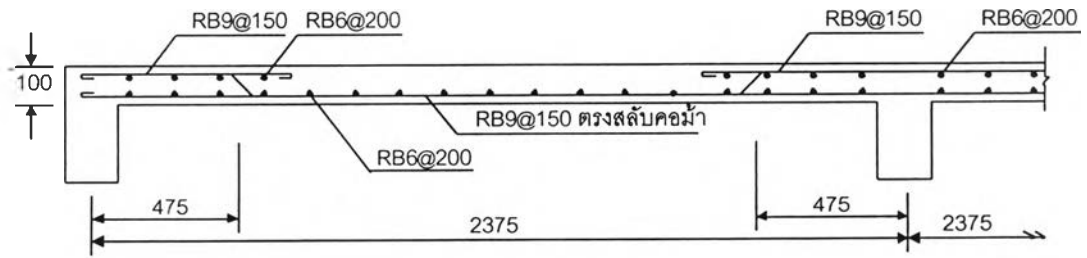
รูปที่ 3.1 รูปแปลนและรูปตัดด้านข้างของอาคารเรียน ก.



ก. รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน

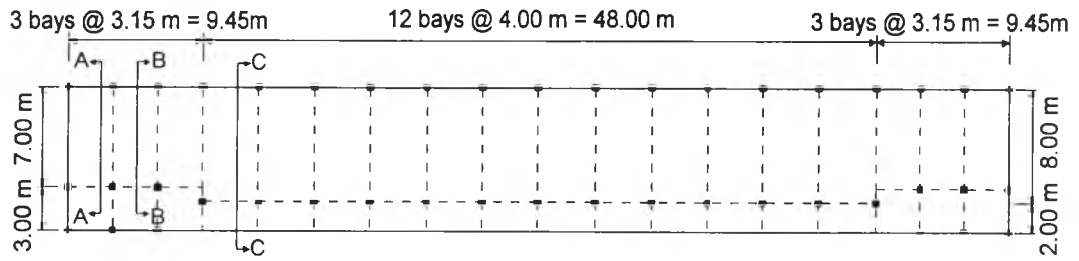


ข. รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา

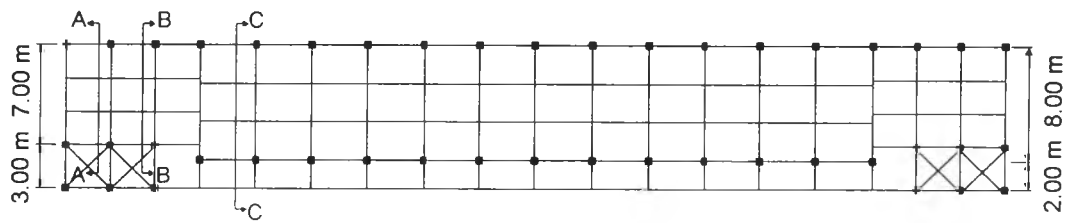


ค. รายละเอียดการเสริมเหล็กในพื้นที่

รูปที่ 3.2 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน เสาและพื้นของอาคารเรียน ก.



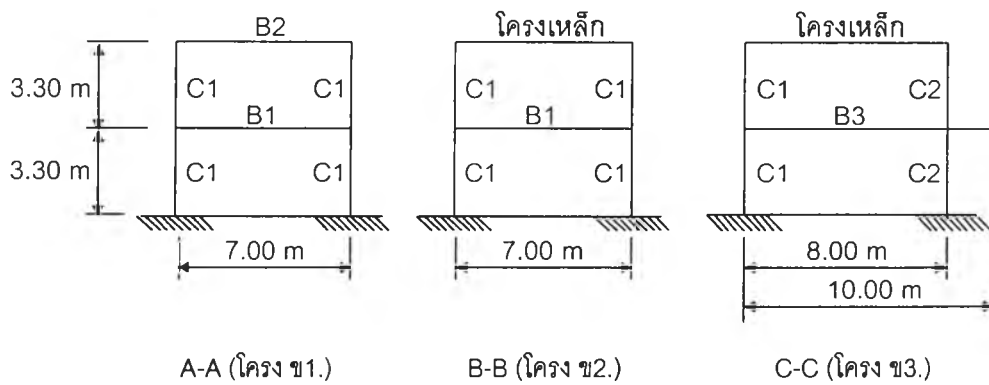
แปลนชั้นที่ 2 (หลังคา)



แปลนชั้นที่ 1

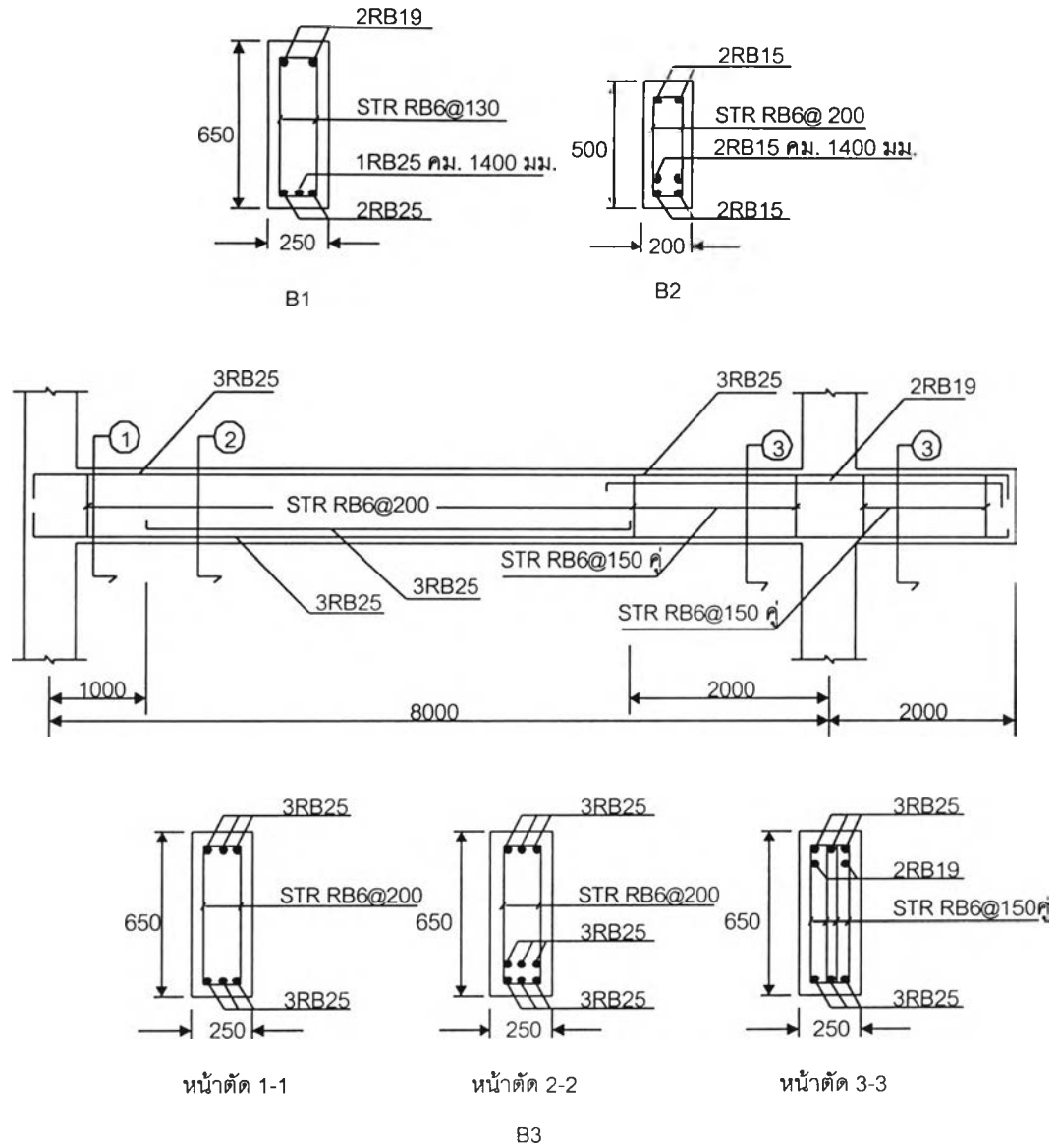
- แนวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
- - - แนวโครงหลังคา

(ก) รูปแปลน

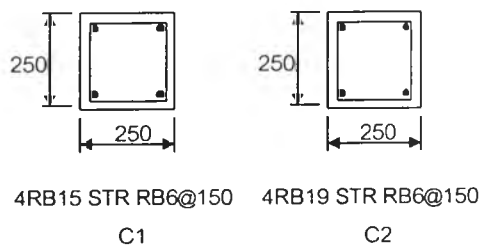


(ข) รูปตัดด้านข้าง

รูปที่ 3.3 รูปแปลนและรูปตัดด้านข้างของอาคารเรียน ข.

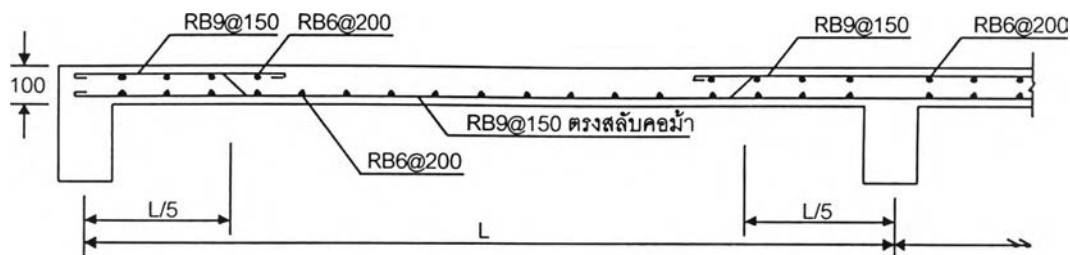


(ก) รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน



(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสาค

รูปที่ 3.4 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน เสา และพื้นของอาคารเรียน ข.



(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในพื้น

รูปที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน เสา และพื้นของอาคารเรียน ข.

### 3.2 การจำลองอาคารเรียนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โครงสร้างในงานวิจัยนี้ จะจำลองอาคารทั้งสองเป็นโครงสร้างแบบ 2 มิติ โดยให้เกิดการสั่นของแผ่นดินไหวในทิศทางเหนือ-ใต้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 และวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC ในกรณีของอาคาร ก. และโครง ข1. จำลองเป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติโดยปกติ ส่วนโครง ข2. และ ข3. มีส่วนรองรับหลังคาเป็นโครงเหล็ก ในขณะที่คานชั้นที่ 1 เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากโปรแกรม IDARC ถูกพัฒนาเพื่อใช้กับการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นจึงพิจารณาจำลองส่วนโครงหลังคาเหล็กเป็นคานซึ่งมีการโก่งตัวในแนวตั้งเท่ากับการโก่งตัวของโครงเหล็กเมื่อมีการรับแรงในแนวตั้งที่เท่ากัน โดยจะไม่พิจารณาถึงความเสียหายในคานดังกล่าว การจำลองชิ้นส่วนคานพิจารณาผลของการช่วยรับแรงของพื้น โดยการจำลองคานเป็นคานรูปตัดตัวที ซึ่งมีความกว้างประสิทธิภาพของปีกคานตามมาตรฐาน ACI 318-89 การคิดมวลของโครงสร้างจะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักคงที่ของอาคาร และใช้วิธีรวมน้ำหนักของเครื่องชั้นบนและล่างไว้ที่ชั้นนั้น และค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างเท่ากับ 2% ของความหน่วงวิกฤตในทุกโหมดของการสั่นทั้งสองอาคาร สำหรับตัวแปรสำหรับแบบจำลองฮิสเทอเรติก (Hysteretic model) ซึ่งใช้จำลองพฤติกรรมแบบไม่ยืดหยุ่นของชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำสลับทิศ ประกอบไปด้วยตัวแปรที่ควบคุมการลดลงของกำลัง สติฟเนส และผลการเลื่อนหลุดและการเปิดปิดของรอยร้าว ในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงค่าที่ได้จากงานวิจัยในต่างประเทศดังนี้

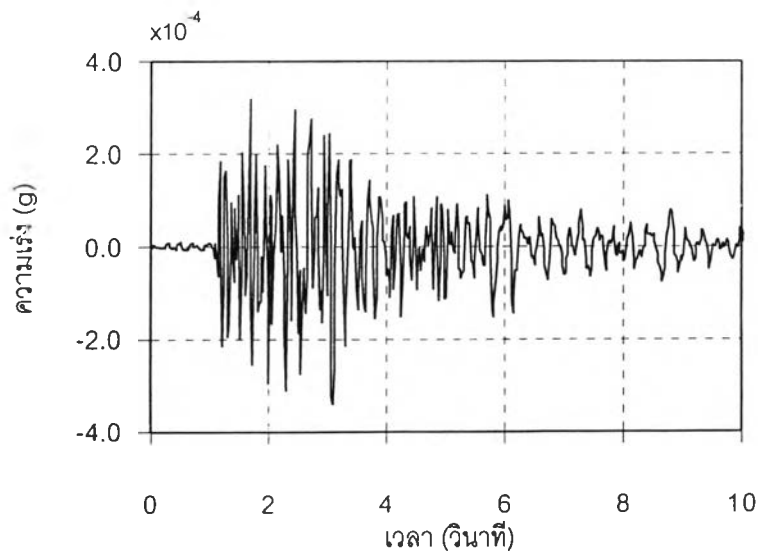
ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรฮิสเทอเรติกที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชิ้นส่วน	HC	HBD	HBE	HS	หมายเหตุ
คาน (ภายใน)	1.5	0.0	0.15	0.3	Kunnath และคณะ (1995)
คาน (ภายนอก)	1.5	0.0	0.15	0.5	Kunnath และคณะ (1995)
เสา	0.5	0.0	0.04	0.7	Bracci และคณะ (1995)
เสาที่หุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก	0.3	0.0	0.10	1.0	Bracci และคณะ (1992)
ผนัง (การตัด)	2.0	0.0	0.10	1.0	Reinhorn และคณะ (1988)
ผนัง (การเฉือน)	0.0	0.0	0.00	1.0	Reinhorn และคณะ (1988)

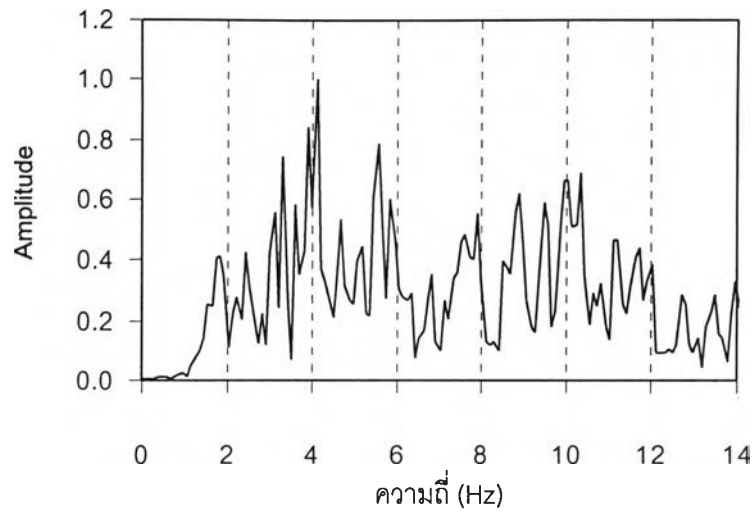
### 3.3 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากการศึกษาการเสริมกำลังรับแรงแผ่นดินไหวให้กับอาคารเรียนภายในประเทศไทย โดยเฉพาะในจังหวัดที่อยู่ในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามประกาศของกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ดังนั้นในช่วงแรกของการศึกษา คลื่นที่นำมาใช้ในการวิจัยจึงได้รวบรวมมาจากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงราย ตาก และกาญจนบุรี ที่บันทึกได้ในช่วงปี พ.ศ. 2541 ถึง พ.ศ. 2543 แต่จากลักษณะของ Pseudo acceleration และการวิเคราะห์ความถี่เด่นชัดของคลื่นโดยวิธี FFT พบว่าแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีพลังงานสูงในย่านความถี่มากกว่าความถี่ของอาคารมาก (ความถี่ธรรมชาติของอาคารเรียน ก. และ ข. เท่ากับ 1.87 และ 2.89 เฮิรท์ท) ทำให้การตอบสนองของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวดังกล่าวมีขนาดเล็ก จึงอาจไม่ครอบคลุม หากใช้เพียงคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ดังกล่าว รูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงลักษณะและผลการวิเคราะห์ของคลื่นแผ่นดินไหวตัวอย่างหนึ่งที่ได้จากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดเชียงราย ซึ่งมีความถี่เด่นชัดประมาณ 4.05 เฮิรท์ท

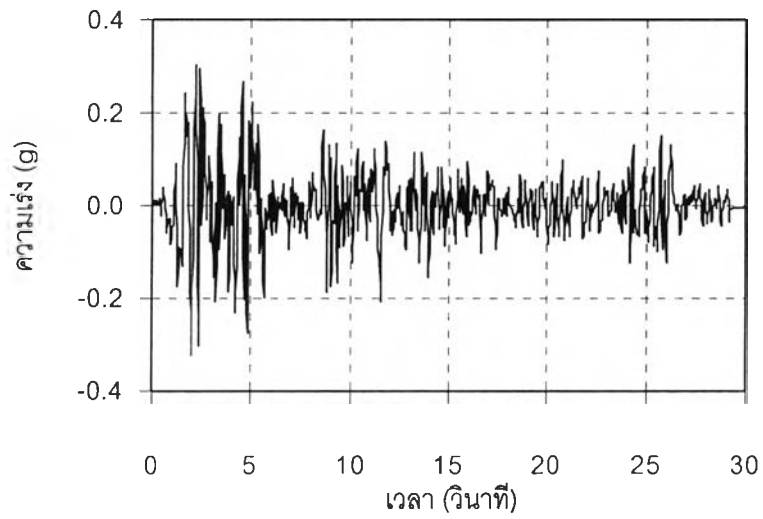
เนื่องจากสาเหตุข้างต้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณาใช้คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งมีการตรวจวัดได้ในต่างประเทศ และมีความถี่เด่นชัดที่แตกต่างกัน โดยเลือกพิจารณาศึกษาคลื่น El Centro 1940 – S00E, Loma Prieta 1989 Corralitos – CHAN1 : 90 Deg และ Northridge 1994 White Oak Covenant Church : 180 Deg รูปที่ 7, 8 และ 9 แสดงลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro, Loma Prieta และ Northridge ตามลำดับ คลื่นทั้งสามเป็นคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในระยะใกล้ ความถี่ของการสั่นของคลื่นอยู่ในช่วงความถี่ธรรมชาติของอาคารเรียน



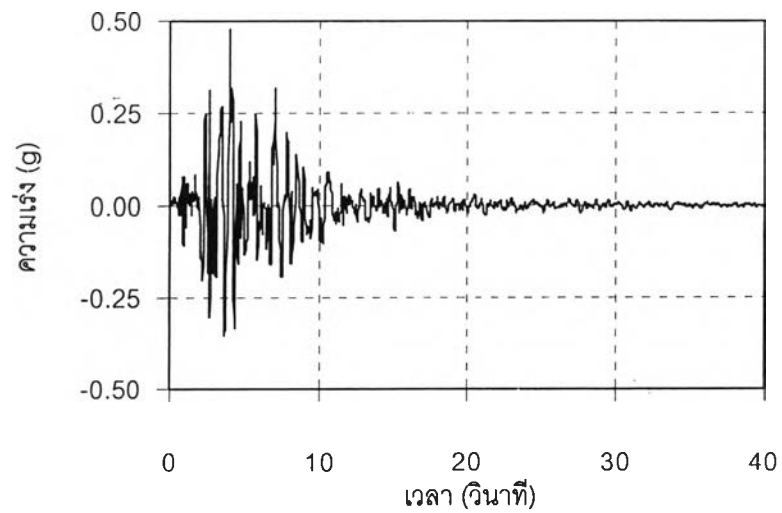
รูปที่ 3.5 คลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai ที่ได้จากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา เมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2543



รูปที่ 3.6 ความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai

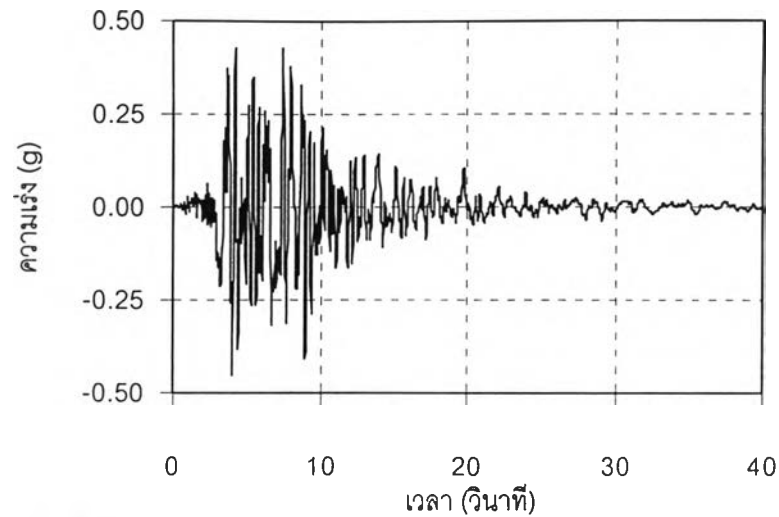


รูปที่ 3.7 คลื่นแผ่นดินไหว คลื่น El Centro 1940 – S00E



รูปที่ 3.8 คลื่นแผ่นดินไหว Loma Prieta 1989 Corralitos – CHAN1 : 90 Deg





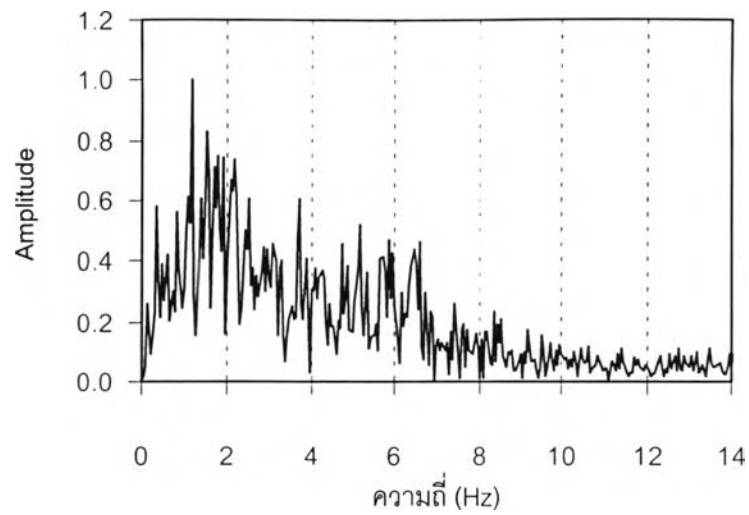
รูปที่ 3.9 คลื่นแผ่นดินไหว Northridge 1994 White Oak Covenant Church : 180 Deg

จากการวิเคราะห์หาค่าความถี่เด่นชัดของคลื่นทั้งสามด้วยวิธี FFT พบว่า คลื่น El Centro มีความถี่เด่นชัดประมาณ 1.17 เฮิรตซ์ คลื่น Loma Prieta มีค่าประมาณ 1.37 เฮิรตซ์ และคลื่น Northridge มีค่าประมาณ 2.44 เฮิรตซ์ แสดงดังรูปที่ 3.10, 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ

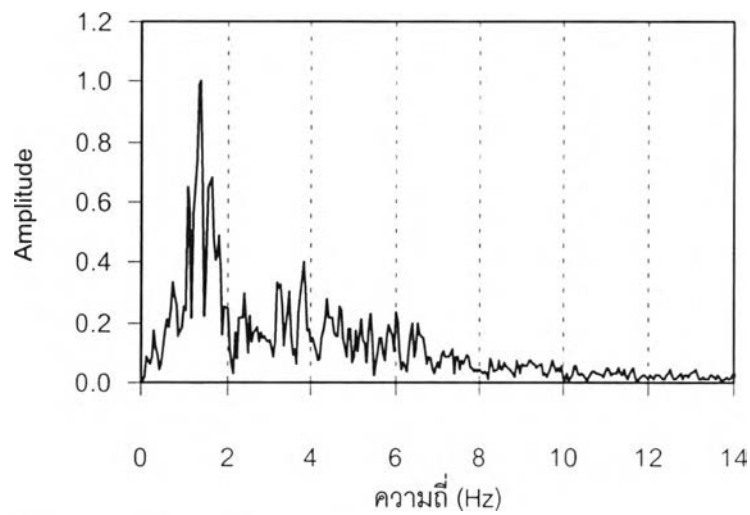
และจากการศึกษาในอดีต ได้มีผู้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง ร่วมกับการวิเคราะห์เพื่อคาดคะเนอัตราเร่งสูงสุดของผิวดินในประเทศไทยไว้หลายกลุ่ม โดยอัตราเร่งสูงสุดของผิวดินที่เกิดขึ้นในประเทศไทย สำหรับความน่าจะเป็นของการเกิดค่าเกินไป (Probability of exceedence) เพียง 10 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 50 ปี ได้ค่าดังนี้

	อัตราเร่งสูงสุดของผิวดิน
ปริญญา นุतालย์ ฯ	0.11g
ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ฯ	0.14g
เป็นหนึ่งในวานิชชัย ฯ	0.27g

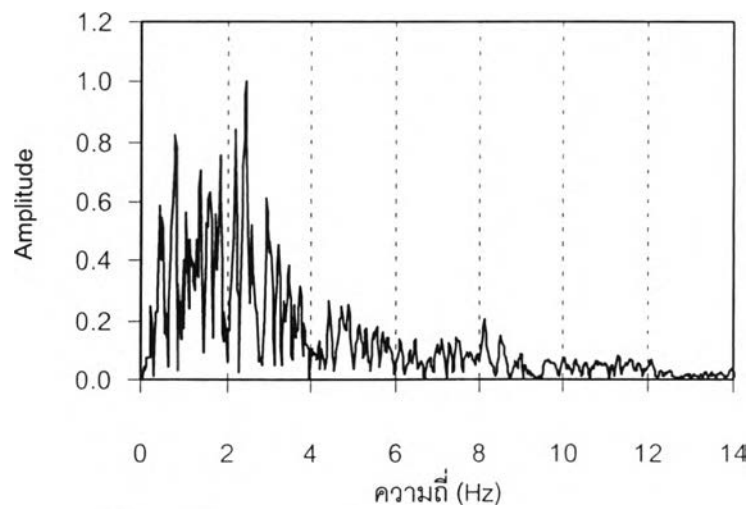
จะพบว่าค่าความเร่งสูงสุดของผิวดินที่ได้ยังมีค่าที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับค่าความเร่งสูงสุดของคลื่นแผ่นดินไหว 2 ค่า คือ 0.10 และ 0.20 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อเป็นตัวแทนของคลื่นที่มีความรุนแรงปานกลางที่มีโอกาสเกิดขึ้น และคลื่นที่มีความรุนแรงมากซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดน้อยกว่า



รูปที่ 3.10 ความถี่ของคลื่น El Centro 1940 – S00E



รูปที่ 3.11 ความถี่ของคลื่น Loma Prieta 1989 Corralitos-CHAN1 : 90 Deg



รูปที่ 3.12 ความถี่ของคลื่น Northridge 1994 White Oak Covenant Church : 180 Deg