

# การศึกษาความต้านทานต่อการสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวของอาคารเตี้ยตามแบบก่อสร้างมาตรฐาน The Study of Resistance to Seismic Vibrations of Low-Rise Buildings According to Standard Construction Drawings

อนิรุทธ์ นุชประเสริฐ<sup>1</sup> และ ชูชัย สุจิวรรกุล<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup> สาขาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

\*Corresponding author; E-mail address: chuchai.suj@kmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15 เมตร ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย 3 บริเวณ ตามกฎกระทรวง พ.ศ.2564 ตัวอย่างอาคารที่ใช้ในการศึกษามี 3 ลักษณะ ตามแบบมาตรฐานของหน่วยงานราชการต่างๆ ประกอบด้วย อาคารเรียน อาคารสำนักงาน และบ้านพักอาศัย อาคารเหล่านี้ถูกวิเคราะห์โครงสร้างในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า และวิธีสเปกตรัมการตอบสนองเชิงเส้นซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มยพ.1302-2561 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ Etabs V.17 ถูกใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร จากผลการศึกษาพบว่า อาคารตามแบบมาตรฐานที่มีโครงสร้างลักษณะสมมาตรและตั้งอยู่ในบริเวณที่ 1 และบริเวณที่ 2 จะปลอดภัยจากการเกิดแผ่นดินไหว ขณะที่อาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ 3 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแรงแผ่นดินไหวระดับรุนแรงสูงถึงสูงมากในประเทศไทย อาจไม่ปลอดภัยจากแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากจะเกิดโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในเสาที่สูงกว่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของเสานั้น ดังนั้นอาคารเหล่านี้ควรมีการปรับปรุงรายละเอียดโครงสร้างเพื่อลดทอนแรงภายในที่เกิดขึ้นในเสา หรือโครงสร้างเสาควรมีการเสริมกำลังโดยการเพิ่มปริมาณเหล็กปลอกและเหล็กยืน

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว, มยพ.1302-2561, สเปกตรัมการตอบสนองเชิงเส้น, อาคารสูงไม่เกิน 15 เมตร

## Abstract

The objective of this research was to study the earthquake resistance of the building with less than 15 meters height located in 3 different earthquake risk areas of Thailand, according to the ministerial regulations of 2564 (2021). This research investigated 3 buildings based on the government standard drawing, consisting of school building, office building

and janitor's house. Those building structures were analyzed for earthquake resistance by using equivalent static analysis and modified response spectrum analysis according DPW1302-61 standard used by Department of Public Work and Town Planning. Finite element program, EtabsV.17, was used to analyze the structures. It was found that the buildings with symmetrical configuration and located in Zone 1 and Zone 2 areas would be safe from earthquake. On the other hand, the buildings located in Zone 3 area, where the highest earthquake force occurs in Thailand, would not be safe from earthquake because the actual moment and shear force in columns would be higher than their moment and shear force capacity. As a result, the structural detail of these buildings should be adjusted in order to reduce internal force in the columns or columns need to be strengthened by adding more tie bars and main rebars in the column section.

Keywords: Buildings with Less Than 15 Meters Height, DPM 1302, Earthquake, Response Spectrum Analysis

## 1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่า แผ่นดินไหวรุนแรงในระดับที่สร้างความเสียหายแก่อาคาร บ้านเรือน และสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ จนส่งผลให้ ผู้คนเป็นจำนวนมากบาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้นั้น มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทยด้วยเหตุนี้ ในปี พ.ศ. 2540 จึงได้มีการออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 [1] ภายใต้ พ.ร.บ ควบคุมอาคารฯ มากำหนดให้มีการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันตก ซึ่งในเวลาต่อมา กฎกระทรวงดังกล่าวได้ถูกแทนที่โดยกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 [2] ซึ่งปรับปรุงขยายพื้นที่ควบคุมให้ครอบคลุมถึงกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และพื้นที่ภาคใต้

ในปัจจุบัน ได้มีการออกกฎกระทรวง พ.ศ. 2564 [3] แทน กฎกระทรวง พ.ศ. 2550 [2] เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการณ์ปัจจุบันที่พบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศมากขึ้น ซึ่งได้มีการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวและกำหนดประเภทอาคารที่การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารให้มีการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเพิ่มเติม รวมทั้งปรับปรุงหลักเกณฑ์การกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน และความคงทนของอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวใหม่ ให้มีความทันสมัยและมีความปลอดภัยแก่ประชาชนในการเข้าใช้อาคารมากยิ่งขึ้น

ที่ผ่านมา ขยานนท์ หรรษภิญโญ [4] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับอาคารเตี้ย ในจังหวัดเชียงใหม่พบว่ากำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารเตี้ยได้แก่ อาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ ที่มีขนาดไม่เกิน 3 ชั้น นั้นมีกำลังน้อยกว่าแรงที่คำนวณตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52) ซึ่งมีผลทำให้อาคารเหล่านี้อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย และรูปแบบการเสียหายจากการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นเกิดการเฉือนขาดของเสา ซึ่งส่งผลให้อาคารมีรูปแบบเสียหายแบบประะ สรวิชัย บัวสี และคณะ [5] ได้ทำการวิจัยพบว่าอาคารตามแบบมาตรฐานของหน่วยงานราชการ อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15 เมตร และมีรูปทรงอาคารที่มีลักษณะสมมาตร หากนำมาใช้ก่อสร้างในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของประเทศไทย คือ พื้นที่บริเวณ 2 อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย สามารถนำแบบอาคารดังกล่าวมาใช้ก่อสร้างได้ แต่ต้องนำแบบอาคารมาปรับปรุงโครงสร้างเสาให้สามารถรับโมเมนต์ที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวได้ นอกจากนี้ วิชวัฒน์ เสมาชัย และวิกรม พนิชการ [6] ทำการศึกษาความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคมจังหวัดเชียงราย พบว่าจากผลการคำนวณวิเคราะห์โครงสร้างอาคารโรงเรียนบริเวณโถงบันไดรับแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตาม มยผ. 1302-52 [7] นั้นเสียหาย ตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง

พรเทพ วัฒนารแก้ว [8] ได้วิเคราะห์อาคารที่ถูกกระทำจากแรงแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงใกล้เคียงกับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่ อ.พาน จ. เชียงราย พบว่าอาคารเดิมให้ค่าอัตราส่วนแรงที่ต้องต้านทานกับกำลังต้านทานของทั้งโครงสร้างเสาและคานส่วนใหญ่มากกว่า 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอาคารเดิมไม่สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงทำเพื่อศึกษาความต้านทานต่อการสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวของอาคารเตี้ยตามแบบก่อสร้างมาตรฐาน ตามกฎกระทรวงที่ได้เปลี่ยนแปลงใหม่

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตามแบบมาตรฐานของหน่วยงานราชการ ที่มีความสูงไม่เกิน 15 เมตร และอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยต่าง ๆ ในประเทศไทย
- 2.2 เพื่อประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังของโครงสร้างเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหว ได้แก่ หน้าตัดเสาคอนกรีต และ ปริมาณเหล็กเสริม

- 2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางปรับปรุงและเสริมความมั่นคงแข็งแรงให้กับอาคาร หากไม่สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดแผ่นดินไหวในปัจจุบัน

## 3. วิธีการศึกษา

### 3.1 บริเวณที่ตั้งของอาคารที่ทำการศึกษา

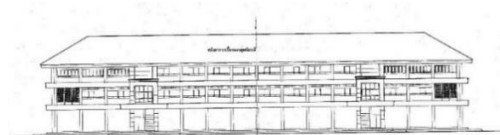
ทำการศึกษาความสามารถต้านทานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกกระทำด้วยแผ่นดินไหว ที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย 4 บริเวณ ดังนี้

- 3.1.1 อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ซึ่งจัดให้เป็นบริเวณที่ 2 ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 เป็น บริเวณที่ 3 ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2564
- 3.1.2 อำเภอเมือง จังหวัดเลย ซึ่งไม่จัดให้เป็นพื้นที่เสี่ยงภัย ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 เป็น บริเวณที่ 1 ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2564
- 3.1.3 อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งจัดให้เป็นพื้นที่เฝ้าระวัง ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 เป็น บริเวณที่ 1 ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2564
- 3.1.4 จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งจัดให้เป็นพื้นที่เฝ้าระวัง ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 เป็น บริเวณที่ 2 ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2564

### 3.2 อาคารตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

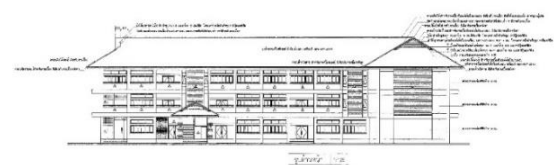
อาคารที่ใช้ทำการศึกษาเป็นแบบอาคารมาตรฐานจากหน่วยงานราชการ จำนวน 4 อาคาร ดังนี้

- 3.2.1 แบบก่อสร้างอาคารเรียน 3 ชั้น ดังรูปที่ 1



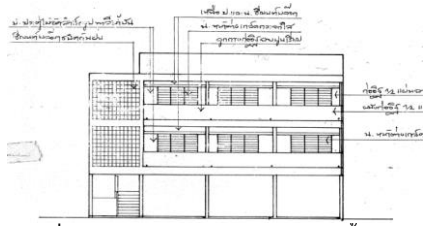
รูปที่ 1 รูปด้านหน้าของอาคารเรียน

- 3.2.2 แบบก่อสร้างอาคารสำนักงาน 3 ชั้น จากหน่วยงานราชการ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปด้านหน้าของอาคารสำนักงาน

- 3.2.3 แบบบ้านพักการโรง 2 ชั้น จากหน่วยงานราชการ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปด้านหน้าของบ้านพักการโรง 2 ชั้น

### 3.3 มาตรฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (seismic base shear,  $V$ ) เป็นไปตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 [9] คำนวณได้จาก

$$V = C_S W \quad (1)$$

โดยที่

$C_S$  คือ สัมประสิทธิ์ผลตอบสนองแรงแผ่นดินไหวคำนวณได้จากสมการ 2

$$C_S = S_a \left( \frac{I}{R} \right) \geq 0.01 \quad (2)$$

$W$  คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของอาคาร

$S_a$  คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับออกแบบที่คาบการสั่นพื้นฐาน ( $T$ ) โดยใช้สเปกตรัมตอบสนองสำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

$R$  คือ ตัวประกอบปรับผลตอบสนองขึ้นอยู่กับลักษณะระบบโครงสร้างที่เลือกใช้ในการออกแบบ

$I$  คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคารขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอาคารดูตารางที่ 2.2

$T$  คือ คาบการสั่นพื้นฐาน มีหน่วยเป็นวินาที โดยสามารถคำนวณดังนี้

$$T = 0.02H \quad (3)$$

$H$  คือ ความสูงอาคาร มีหน่วยเป็นเมตร

3.3.2 การกระจายแรงเฉือนที่ฐานอาคารเป็นแรงกระทำด้านข้างต่ออาคารในชั้นต่าง ๆ

แรงสถิตเทียบเท่าที่กระทำต่ออาคาร ณ ชั้นใด ๆ ในแนวราบ ( $F_a$ ) สามารถคำนวณจาก

$$F_a = C_{vx} V \quad (4)$$

และ

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (5)$$

โดยที่

$C_{vx}$  คือ ตัวประกอบกระจายในแนวดิ่ง

$w_x$  คือ น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลของชั้นที่  $x$

$h_i$  และ  $h_x$  คือ ความสูงชั้นที่  $i$  และ  $x$  ตามลำดับ

$k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง

### 3.3.3 การตรวจสอบกำลังของเสา

ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังตาม มาตรฐานวสท. 011008-21 [10] การประเมินกำลังรับแรงเฉือนของเสาสามารถได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_n = V_c + V_s \quad (6)$$

โดยที่

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (7)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (8)$$

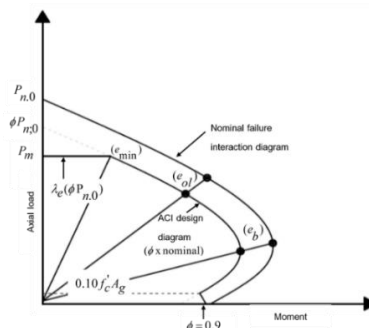
สำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบเสาคอนกรีตรับแรงอัดและโมเมนต์ดัดร่วมกัน ข้อกำหนดมาตรฐาน ACI318-19 [11] ได้ให้ตัวคูณลดกำลังของเสาปลอกเดี่ยว  $\phi = 0.70$  กรณีที่มีการเยื้องศูนย์กลางน้อย (จุด  $e_{min}$ ) ให้ลดทอนความสามารถในการรับแรงอัดของเสา ( $\phi P_n$ ) ลงอีกร้อยละ 20 ซึ่งจะได้

$$P_m = 0.80 \phi P_n \quad (9)$$

โดยที่

$$P_n = \left[ 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad (10)$$

การตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาจะสร้างแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสาที่มีขนาดหน้าตัดและการวางเหล็กเสริมตามที่ระบุ จากนั้นนำค่าโมเมนต์และแรงอัดที่กระทำกับเสาโดยได้จากสมการ (13) และ (14) มา Plot ลงแผนภูมิปฏิสัมพันธ์การออกแบบตาม ACI318-19 [11] หากค่าดังกล่าวยังอยู่ในขอบเขตของแผนภูมิปฏิสัมพันธ์จะถือว่าเสามีความสามารถในการรับน้ำหนักทุกได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ 4 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ตามมาตรฐานการออกแบบของ ACI318-19 [11]

การตรวจสอบกำลังของเสารับแรงอัดและแรงดัดร่วมกันจะใช้แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ [12] ระหว่างความสามารถในการรับแรงอัดและมีแรงดัดของเสา ดังรูปที่ 4 ทั้งนี้การหาค่า  $P_n$  นั้นให้เป็นไปตามสมการ biaxial bending column capacity [12]

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{n0}} \quad (11)$$

### 3.3.4 การตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของคาน

สมการพื้นฐานในการคำนวณออกแบบสำหรับการตัดคือ

$$\phi M_n \geq \text{กำลังตัดที่ใช้ออกแบบ } (M_u) \quad (12)$$

เมื่อ  $M_u$  คือโมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักคานเพิ่มค่า

$M_n$  คือกำลังรับโมเมนต์ที่คำนวณได้จากทฤษฎี (Nominal moment capacity) และ  $\phi$  คือตัวคูณลดกำลังสำหรับการตัด ACI [7] กำหนดให้เท่ากับ 0.90 โดย

$$M_n = \rho f_y b d^2 \left( 1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f_c} \right) \quad (13)$$

### 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์กำลังของโครงสร้าง

3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจะกระทำโดยอาศัยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป ETABS V.17 สร้างแบบจำลองอาคารสามมิติ และทำการวิเคราะห์ด้วยแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหววิธีแรงสถิตเทียบเท่าและสเปกตรัมการตอบสนองเชิงเส้น

3.4.2 ตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาตามแนวแกน และกำลังรับแรงเฉือนของเสา

3.4.3 ตรวจสอบกำลังรับแรงโมเมนต์ดัดของเสาจากแผนภูมิปฏิสัมพันธ์โดยผลจากการรวมแรงสำหรับการออกแบบ

3.4.4 ตรวจสอบกำลังรับแรงโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคาน

3.4.5 การปรับปรุงกำลังชิ้นส่วนของโครงสร้างใช้วิธีกำลังในการออกแบบตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของ วสท. 011008-21 [10]

### 3.5 แรงแผ่นดินไหว

เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวคำนวณได้จาก มยผ.1301/1302-61 [9] โดยใช้วิธีการคำนวณแรงแบบสถิตเทียบเท่าและวิธีสเปกตรัมการตอบสนอง

ตารางที่ 1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ( $S_a$ )

| จังหวัด              | ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ( $S_a$ ) |                                      |
|----------------------|---|--------------------------------------|
|                      | (มยผ. 1302-52) [9]                                      | กฎกระทรวง พท.2564 (มยผ. 1302-61) [6] |
| จังหวัดเชียงราย      | 0.678   | 0.740                                |
| จังหวัดเลย           | 0.255   | 0.229                                |
| จังหวัดสุราษฎร์ธานี  | 0.088   | 0.201                                |
| จังหวัดกรุงเทพมหานคร | 0.129   | 0.191                                |

### 3.6 กำลังวัสดุ

วัสดุในการออกแบบและประเมินอาคาร ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ 28 วันเท่ากับ 240 กก./ตร.ซม. ส่วนเหล็กคานหน่วยแรงดึงที่จุดกลางของเหล็กเสริมข้ออ้อยกำลังที่จุดกลางเท่ากับ 4000 กก./ตร.ซม. และเหล็กกลมกำลังที่จุดกลางเท่ากับ 2400 กก./ตร.ซม.

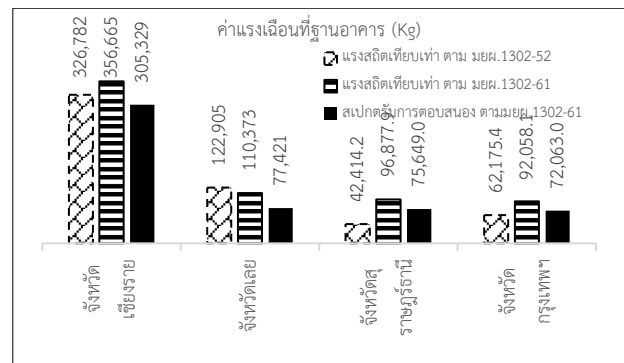
### 3.7 น้ำหนักที่พิจารณา

น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่พิจารณาตาม ซึ่งได้แก่ วัสดุเทผิวทับหน้า 120 กก./ตร.ม. และ อื่นๆ 75 กก./ตร.ม. น้ำหนักบรรทุกจร พิจารณาที่ค่า 300 กก./ตร.ม. ในส่วนหลังคา พิจารณาที่ค่า 30 กก./ตร.ม.

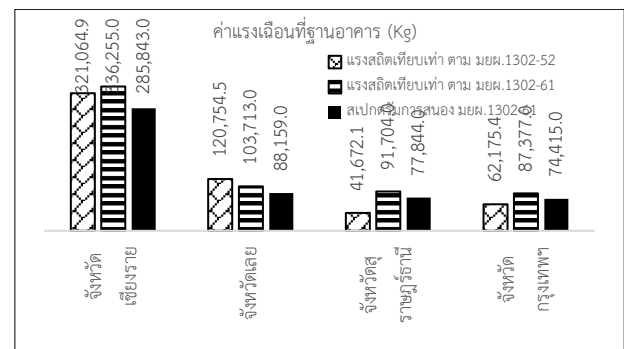
## 4. ผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะการปรับปรุงโครงสร้าง

### 4.1 การเปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐานของอาคารเรียน

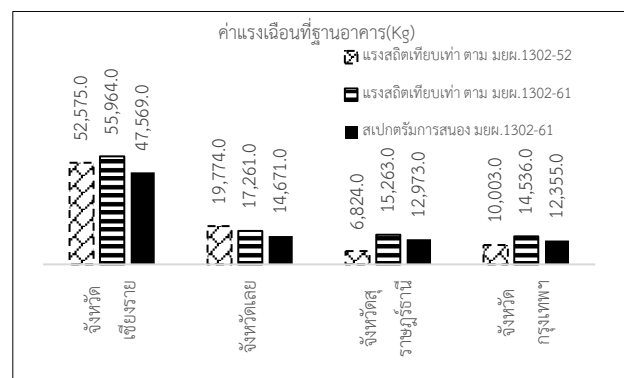
โดยค่าแรงเฉือนที่ฐานตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 [9] ในแต่ละอาคารนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของอาคารแล้วมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 30.8 ของอาคารที่ตั้งในจังหวัดเชียงราย ร้อยละ 9.5 ของอาคารที่ตั้งในจังหวัดเลย ร้อยละ 8.4 ของอาคารที่ตั้งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และ ร้อยละ 8.0 ของอาคารที่ตั้งในกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 5 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐานของอาคารเรียน



รูปที่ 6 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐานของอาคารสำนักงาน



รูปที่ 7 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐานอาคารพังกอาศัย

ผลการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของอาคารนั้นพบว่า โครงสร้างอาคารในจังหวัดเชียงราย จังหวัดสุราษฎร์ธานี และกรุงเทพมหานคร เมื่อคำนวณด้วยวิธีที่ 2 วิธีแรงสถิตเทียบเท่าของ มยพ.1301/1302-61 [9] ได้ผลค่าแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างอาคารมีค่ามากกว่าการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 วิธีแรงสถิตเทียบเท่าของ มยพ.1302-52 [7] โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น ร้อยละ 9.1 , ร้อยละ 128.4 และ ร้อยละ 48.1 ตามลำดับ ส่วนโครงสร้างอาคารจังหวัดเลย มีค่าแรงเฉือนที่ฐานลดลงคิดเป็น ร้อยละ 11.2 ทั้งนี้เป็นเพราะการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 วิธีแรงสถิตเทียบเท่าของ มยพ.1301/1302-61 [9] มีการปรับปรุงค่าสเปกตรัมตอบสนอง ( $S_d$ ) ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมปัจจุบันของแต่ละพื้นที่

ส่วนผลค่าแรงเฉือนที่ฐานจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของอาคาร คำนวณโดยวิธีสเปกตรัมตอบสนองนั้น หลังจากปรับแก้ค่าแล้ว จะมีค่าประมาณ ร้อยละ 85 ของวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ตาม มยพ.1301/1302-61 [9] ซึ่งวิธีนี้จะนำแรงเฉือนที่ฐานกระจายแรงไปแต่ละชั้นเพื่อหาแรงในชิ้นส่วนของโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความต้านทานรับแรงแผ่นดินไหว

#### 4.2 ผลการตรวจสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของเสา

##### 4.2.1 อาคารเรียน

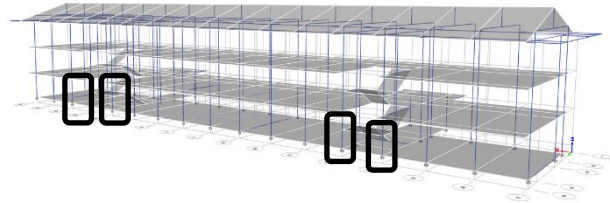
จากการคำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ( $V_u$ ) ในเสาจากแรงแผ่นดินไหวเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) ของอาคารเรียนที่ตั้งในทั้ง 4 จังหวัด พบว่าโครงสร้างเสาส่วนใหญ่ของอาคารในแต่ละจังหวัด มีค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ( $V_u$ ) ในเสาน้อยกว่ากำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) ดังนั้นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารเรียนจึงอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจากแรงเฉือน ยกเว้นค่ารับแรงเฉือน ( $\phi V_n$ ) ของเสา C3 ของอาคารเรียนที่ตั้งในจังหวัดเชียงราย ได้ผลกำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบแรงเฉือนของเสาในอาคารเรียน

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $V_u$ (kg) | $\phi V_n$ (kg) | ผลการตรวจสอบ |
|-----|--------------------|------------|-----------------|--------------|
| C1  | เชียงราย           | 12,383.00  | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C1  | เลย                | 10,770.00  | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C1  | สุราษฎร์ธานี       | 10,649.00  | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C1  | กรุงเทพฯ           | 10,624.00  | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C2  | เชียงราย           | 8,388.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C2  | เลย                | 4,831.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C2  | สุราษฎร์ธานี       | 4,714.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C2  | กรุงเทพฯ           | 4,671.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C3  | เชียงราย           | 23,843.00  | 16,538.34       | ไม่ผ่าน      |
| C3  | เลย                | 10,514.00  | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C3  | สุราษฎร์ธานี       | 9,850.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C3  | กรุงเทพฯ           | 9,609.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |

จากการวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของเสาอาคารเรียน พบเสา C3 ของอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงรายอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย โดยเสาดังกล่าวนั้นมีโครงสร้างของคานรับขานพักบันไดมาเป็นโครงสร้างเชื่อมต่อบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของชั้นที่ 1 ดังรูปที่ 8 จึงทำให้ระยะ

ประสิทธิภาพของเสา C3 ลดลง โดยยิ่งเสามีความสูงลดลง ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นก็จะยิ่งมากขึ้น ทำให้เสา C3 ตำแหน่งที่อยู่ใต้ขานพักบันไดมีกำลังรับแรงเฉือนอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย



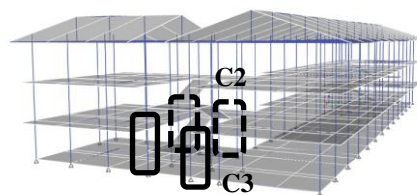
รูปที่ 8 ภาพ 3 มิติแสดงตำแหน่งเสา C3 ของอาคารเรียน ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย

##### 4.2.2 อาคารสำนักงาน

จากการคำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ( $V_u$ ) ในเสาจากแรงแผ่นดินไหวเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) ของอาคารสำนักงานที่ตั้งในทั้ง 4 จังหวัด พบว่าโครงสร้างเสาส่วนใหญ่ของอาคารในแต่ละจังหวัด มีค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ( $V_u$ ) ในเสาน้อยกว่ากำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) ดังนั้นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารสำนักงานจึงอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจากแรงเฉือน ยกเว้นค่ารับแรงเฉือน ( $\phi V_n$ ) ของเสา C2 และเสา C3 ของอาคารสำนักงานที่ตั้งในจังหวัดเชียงราย ได้ผลกำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ดังแสดงในตารางที่ 3

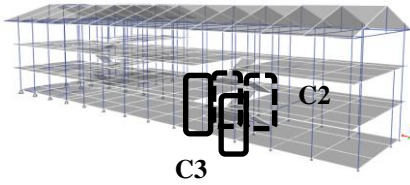
ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบแรงเฉือนของเสาในอาคารสำนักงาน

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $V_u$ (kg) | $\phi V_n$ (kg) | ผลการตรวจสอบ |
|-----|--------------------|------------|-----------------|--------------|
| C1  | เชียงราย           | 17,006.00  | 17,852.10       | ผ่าน         |
| C1  | เลย                | 13,467.00  | 17,852.10       | ผ่าน         |
| C1  | สุราษฎร์ธานี       | 13,296.00  | 17,852.10       | ผ่าน         |
| C1  | กรุงเทพฯ           | 13,296.00  | 17,852.10       | ผ่าน         |
| C2  | เชียงราย           | 15,730.00  | 12,030.76       | ไม่ผ่าน      |
| C2  | เลย                | 5,261.00   | 12,030.76       | ผ่าน         |
| C2  | สุราษฎร์ธานี       | 5,692.00   | 12,030.76       | ผ่าน         |
| C2  | กรุงเทพฯ           | 5,692.00   | 12,030.76       | ผ่าน         |
| C3  | เชียงราย           | 28,881.00  | 16,538.34       | ไม่ผ่าน      |
| C3  | เลย                | 9,882.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C3  | สุราษฎร์ธานี       | 8,595.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |
| C3  | กรุงเทพฯ           | 8,595.00   | 16,538.34       | ผ่าน         |



รูปที่ 9 ภาพ 3 มิติแสดงตำแหน่งเสา C2 และ C3 ของอาคารสำนักงาน ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย (1)





รูปที่ 10 ภาพ 3 มิติแสดงตำแหน่งเสา C2 และ C3 ของอาคารสำนักงาน ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย (2)

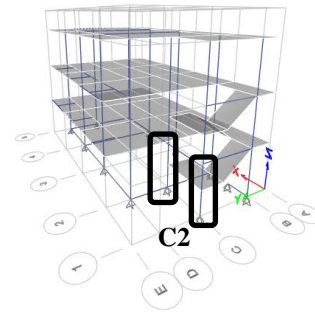
จากการวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของเสาอาคารสำนักงานนั้น พบเสา C2 และเสา C3 ของอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงรายอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย เมื่อตรวจสอบตำแหน่งเสาแล้วพบว่า เสา C2 และเสา C3 นั้นมีโครงสร้างคานรับขานพักบันไดมาเป็นโครงสร้างเชื่อมต่อ บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของชั้นที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 จึงทำให้ระยะประสิทธิผลของเสา C2 และเสา C3 มีความสูงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเสาข้างเคียงที่รับโมเมนต์เท่ากัน ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับค่าความสูง โดยยิ่งเสามีความสูงน้อยลง ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นก็จะยิ่งมากขึ้น ทำให้เสา C2 และเสา C3 ตำแหน่งที่อยู่ใต้ขานพักบันไดมีกำลังรับแรงเฉือนอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ดังนั้นต้องเสริมเหล็กเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของเสาอาคารสำนักงานให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

#### 4.2.3 บ้านพัก

จากการคำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ( $V_u$ ) ในเสาจากแรงแผ่นดินไหวเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) ของอาคารบ้านพักที่ตั้งในทั้ง 4 จังหวัด พบว่าโครงสร้างเสาส่วนใหญ่ของอาคารในแต่ละจังหวัด มีค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ( $V_u$ ) ในเสาน้อยกว่ากำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) ดังนั้นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารสำนักงานจึงอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย โดยแรงเฉือน ยกเว้นค่ารับแรงเฉือน ( $\phi V_n$ ) ของเสา C2 ของอาคารบ้านพักที่ตั้งในจังหวัดเชียงราย ได้ผลกำลังรับแรงเฉือนของเสา ( $\phi V_n$ ) อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบแรงเฉือนของเสาในบ้านพัก

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $V_u$ (kg) | $\phi V_n$ (kg) | ผลการตรวจสอบ |
|-----|--------------------|------------|-----------------|--------------|
| C1  | เชียงราย           | 6,662.00   | 10,326.92       | ผ่าน         |
| C1  | เลย                | 3,228.00   | 10,326.92       | ผ่าน         |
| C1  | สุราษฎร์ธานี       | 3,124.00   | 10,326.92       | ผ่าน         |
| C1  | กรุงเทพฯ           | 3,064.00   | 10,326.92       | ผ่าน         |
| C2  | เชียงราย           | 12,475.00  | 6,811.00        | ไม่ผ่าน      |
| C2  | เลย                | 3,923.00   | 6,811.00        | ผ่าน         |
| C2  | สุราษฎร์ธานี       | 3,427.00   | 6,811.00        | ผ่าน         |
| C2  | กรุงเทพฯ           | 3,326.00   | 6,811.00        | ผ่าน         |



รูปที่ 11 ภาพ 3 มิติแสดงตำแหน่งเสา C2 ของบ้านพัก ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย

จากการวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของเสาอาคารบ้านพักนั้น พบเสา C2 ของอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงรายอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย เมื่อตรวจสอบตำแหน่งเสาแล้วพบว่า เสา C2 นั้นมีโครงสร้างของคานรับขานพักบันไดมาเป็นโครงสร้างเชื่อมต่อ ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของชั้นที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 11 จึงทำให้ระยะประสิทธิผลของเสา C2 มีความสูงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเสาข้างเคียงที่รับโมเมนต์เท่ากัน ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับค่าความสูง โดยยิ่งเสามีความสูงน้อยลง ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นก็จะยิ่งมากขึ้น ทำให้เสา C2 ตำแหน่งที่อยู่ใต้ขานพักบันไดมีกำลังรับแรงเฉือนอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ดังนั้นต้องเสริมเหล็กเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของเสาของอาคารบ้านพักให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

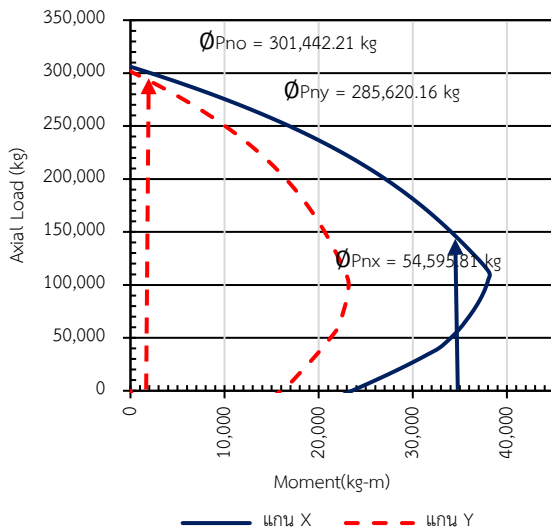
#### 4.3 ผลการตรวจสอบความสามารถของเสาในการรับแรงอัดร่วมกับโมเมนต์ดัด

##### 4.3.1 อาคารสำนักงาน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Etabs V17 ได้ค่า  $P_u$ ,  $M_{ux}$  และ  $M_{uy}$  ของเสา C1 โดยเลือกใช้ค่าจากเสา C1 ที่มีค่า  $M_{ux}$  สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 5 นำค่าดังกล่าวสร้างเป็นแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา ดังรูปที่ 12 เพื่อนำมาประเมินความต้านทานแรงแผ่นดินไหว

ตารางที่ 5 ค่า  $P_u$ ,  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  เสา C1 ของอาคารสำนักงาน

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $P_u$ (kg) | $M_{ux}$ (kg) | $M_{uy}$ (kg) |
|-----|--------------------|------------|---------------|---------------|
| C1  | เชียงราย           | 58,574.00  | 34,546.00     | 3,523.00      |
| C1  | เลย                | 56,864.00  | 27,976.00     | 1,802.00      |
| C1  | สุราษฎร์ธานี       | 56,732.00  | 27,726.00     | 1,589.00      |
| C1  | กรุงเทพฯ           | 56,732.00  | 27,726.00     | 1,589.00      |



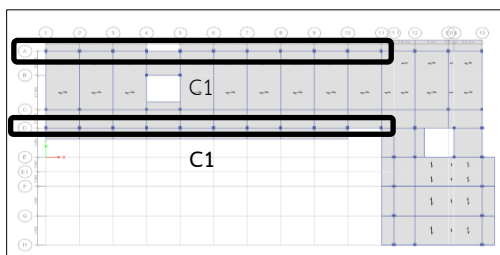
รูปที่ 12 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา C1 ของอาคารสำนักงาน จังหวัดเชียงราย

เมื่อนำค่า  $\phi P_{n0}$ ,  $\phi P_{nx}$ ,  $\phi P_{ny}$  ที่ได้จาก แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา C1 มาหาค่า  $\phi P_n$  จากสูตร(15) เพื่อมาเปรียบเทียบกับค่า  $P_u$  ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.11 จากตารางดังกล่าวพบว่าค่า  $\phi P_n$  ที่จังหวัดเชียงราย มีค่าน้อยกว่าค่า  $P_u$  ดังนั้นชิ้นส่วนเสา C1 ที่จังหวัดเชียงรายนั้น อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ต้องทำการปรับปรุงแบบโครงสร้างเสา ส่วนชิ้นส่วนเสา C1 ของ 3 จังหวัดที่เหลือยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยดังตารางที่ 6

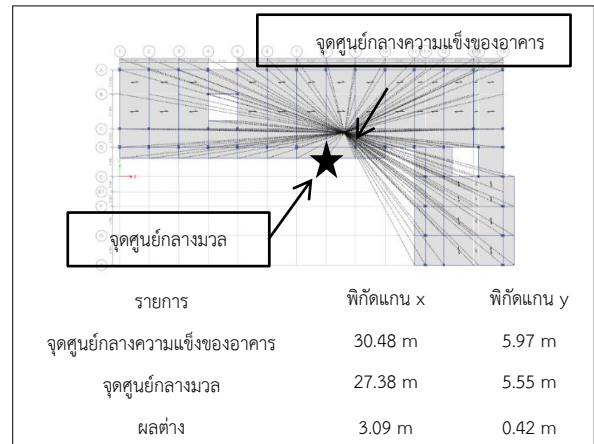
ตารางที่ 6 ค่า  $\phi P_n$ ,  $P_u$  ที่ได้จากแผนภูมิปฏิสัมพันธ์เสา C1 ของอาคารสำนักงาน

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $\phi P_n$ (kg) | $P_u$ (kg) | ผลการตรวจสอบ |
|-----|--------------------|-----------------|------------|--------------|
| C1  | เชียงราย           | 54,053.49       | 58,574.00  | ไม่ผ่าน      |
| C1  | เลย                | 191,191.01      | 56,864.00  | ผ่าน         |
| C1  | สุราษฎร์ธานี       | 193,091.98      | 56,732.00  | ผ่าน         |
| C1  | กรุงเทพฯ           | 193,091.98      | 56,732.00  | ผ่าน         |

จากผลการตรวจสอบหาความต้านทานโมเมนต์ของเสาอาคารสำนักงานพบว่า เสา C1 อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย และเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งเสา C1 ดังรูปที่ 13 จุดศูนย์กลางความแข็งของอาคาร และ จุดศูนย์กลางมวล ไม่ได้อยู่จุดเดียวกัน ทำให้อาคารเกิดการบิดตัวอย่างมาก ดังรูปที่ 14 ดังนั้นจึงเกิดโมเมนต์ขึ้นกับเสา เกลินกำลังต้านทานรับโมเมนต์ของเสา



รูปที่ 13 ตำแหน่งของเสา C1 ของอาคารสำนักงาน ที่กำลังรับโมเมนต์อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย



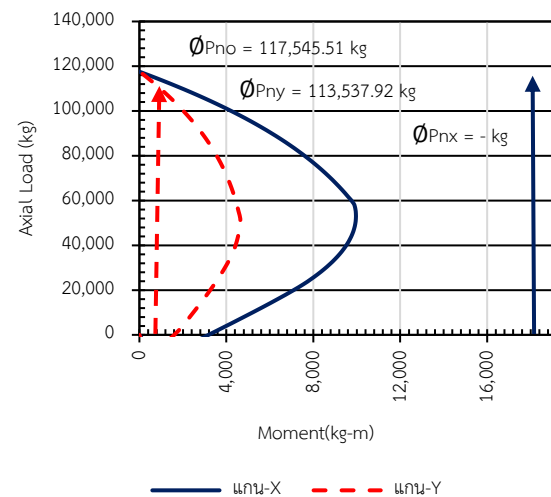
รูปที่ 14 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางความแข็งของอาคารและจุดศูนย์กลางมวลของอาคารสำนักงาน

#### 4.3.2 บ้านพัก

จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Etabs V17 ได้ค่า  $P_u$ ,  $M_{ux}$  และ  $M_{uy}$  ของเสา C1 โดยเลือกใช้ค่าจากเสา C1 ที่มีค่า  $M_{ux}$  สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 7 นำค่าดังกล่าวสร้างเป็นแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา ดังรูปที่ 15 เพื่อนำมาประเมินความต้านทานแรงแผ่นดินไหว

ตารางที่ 7 ค่า  $P_u$ ,  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  เสา C1 ของอาคารสำนักงาน

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $P_u$ (kg) | $M_{ux}$ (kg) | $M_{uy}$ (kg) |
|-----|--------------------|------------|---------------|---------------|
| C2  | เชียงราย           | 17,470.00  | 18,307.00     | 532.00        |
| C2  | เลย                | 10,662.00  | 5,541.00      | 10.00         |
| C2  | สุราษฎร์ธานี       | 10,902.00  | 5,101.00      | 35.00         |
| C2  | กรุงเทพฯ           | 11,029.00  | 4,866.00      | 41.00         |



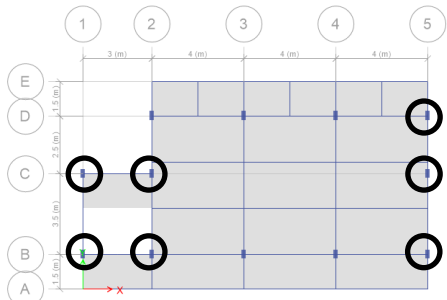
รูปที่ 15 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์เสา C2 ของบ้านพัก จังหวัดเชียงราย

เมื่อนำค่า  $\phi P_{n0}$ ,  $\phi P_{nx}$ ,  $\phi P_{ny}$  ที่ได้จาก แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา C2 มาหาค่า  $\phi P_n$  จากสูตร (15) เพื่อมาเปรียบเทียบกับค่า  $P_u$  ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 6 จากตารางดังกล่าวพบว่าค่า  $\phi P_n$  ที่จังหวัดเชียงราย มีค่าน้อยกว่าค่า  $P_u$  ดังนั้นชิ้นส่วนเสา C1 ที่จังหวัดเชียงรายนั้น อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ต้องทำการปรับปรุงแบบโครงสร้างเสา ส่วนชิ้นส่วนเสา C1 ของ 3 จังหวัดที่เหลือ ยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยดังตารางที่ 8

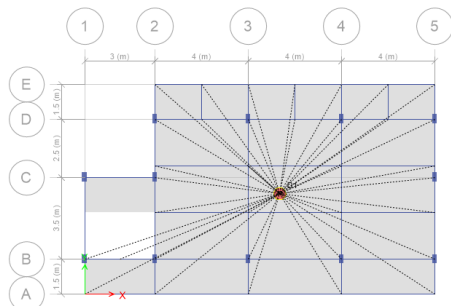
ตารางที่ 8 ค่า  $\phi P_n$ ,  $P_u$  ที่ได้จากแผนภูมิปฏิสัมพันธ์เสา C2 ของบ้านพัก

| เสา | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $\phi P_n$ (kg) | $P_u$ (kg) | ผลการตรวจสอบ |
|-----|--------------------|-----------------|------------|--------------|
| C2  | เชียงราย           | -               | 17,470.00  | ไม่ผ่าน      |
| C2  | เลย                | 93,173.64       | 10,662.00  | ผ่าน         |
| C2  | สุราษฎร์ธานี       | 95,452.77       | 10,902.00  | ผ่าน         |
| C2  | กรุงเทพฯ           | 99,714.53       | 11,029.00  | ผ่าน         |

จากผลการตรวจสอบหาความต้านทานโมเมนต์ของเสาอาคารบ้านพักพบว่า เสา C2 อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย และเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งเสา C2 ซึ่งเป็นเสาริมนอกอาคาร ดังรูปที่ 16 อาจสรุปได้ว่า ตัวอาคารมีปล่องบันไดเพียงด้านเดียว จึงทำให้จุดศูนย์กลางความแข็งแรงของอาคาร และ จุดศูนย์กลางมวลของอาคาร ไม่ได้อยู่ตำแหน่งเดียวกัน จากเหตุดังกล่าวคาดว่าจะส่งผลให้เกิดการบิดตัวของอาคาร ดังรูปที่ 17 และเนื่องจากอาคารได้ออกแบบมาเป็นเวลานาน ยังคงใช้เหล็กยื่นของเสาเป็นเหล็กเส้นกลม โดยสันนิษฐานว่าไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว



รูปที่ 16 ตำแหน่งเสา C2 ของบ้านพัก ที่กำลังรับโมเมนต์อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย



| รายการ                          | พิกัดแกน x | พิกัดแกน y |
|---------------------------------|------------|------------|
| จุดศูนย์กลางความแข็งแรงของอาคาร | 8.46 m     | 4.33 m     |
| จุดศูนย์กลางมวล                 | 6.37 m     | 3.52 m     |
| ผลต่าง                          | 2.09 m     | 0.81 m     |

รูปที่ 17 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางความแข็งแรงของอาคารและจุดศูนย์กลางมวลของบ้านพัก

#### 4.4 ผลการตรวจสอบความสามารถของคานในการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย

##### 4.4.1 บ้านพัก

ผลการตรวจสอบคาน B5 ของบ้านพัก ไม่สามารถรับโมเมนต์ลบได้ เนื่องจาก อาคารบ้านพักไม่ได้ออกแบบอาคารเพื่อรองรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวไว้ ต้องทำการเสริมเหล็กรับโมเมนต์ลบและขยายหน้าตัดคานเพื่อให้ทำงานได้ง่าย

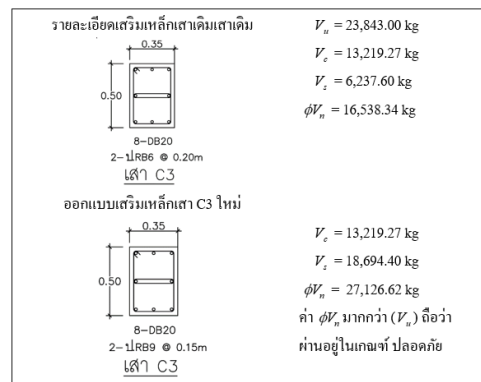
ตารางที่ 10 ผลการตรวจสอบโมเมนต์ลบของคาน B5 บ้านพัก

| คาน | บริเวณที่ตั้งอาคาร | $M_{ux}$ (kg-m) | $\phi M_{nx}$ (kg-m) | ผลการตรวจสอบ |
|-----|--------------------|-----------------|----------------------|--------------|
| B5  | เชียงราย           | 17,724.00       | 11,953.04            | ไม่ผ่าน      |
| B5  | เลย                | 9,537.00        | 11,953.04            | ผ่าน         |
| B5  | สุราษฎร์ธานี       | 9,300.00        | 11,953.04            | ผ่าน         |
| B5  | กรุงเทพฯ           | 9,152.00        | 11,953.04            | ผ่าน         |

#### 4.5 ผลการปรับปรุงโครงสร้างเสาเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว

##### 4.5.1 อาคารเรียน

จากการตรวจสอบ ที่ตั้งของอาคารเรียนที่ได้รับผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหว คืออาคารเรียนที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงราย โดยโครงสร้างเสาบริเวณชั้นที่ 1 ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ต้องปรับปรุงแบบโครงสร้างโดยเพิ่มเหล็กปลอกรับแรงเฉือน ดังรูป 20

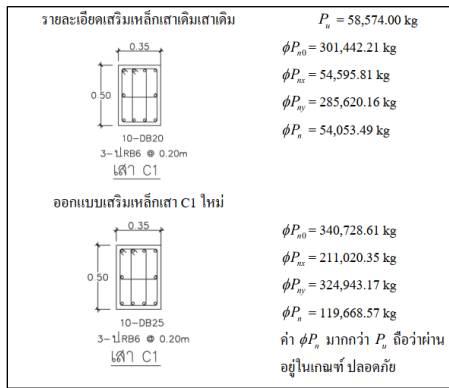


รูปที่ 20 การปรับปรุงแบบเสา C3 ของอาคารเรียน

##### 4.5.2 อาคารสำนักงาน

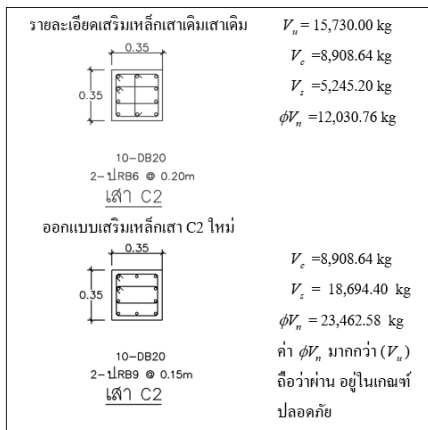
จากการตรวจสอบ ที่ตั้งของอาคารสำนักงานที่ได้รับผลกระทบต่อแรงแผ่นดินไหวคืออาคารสำนักงานที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงราย โดยโครงสร้างเสาบริเวณเสาชั้นที่ 1 ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ต้องปรับปรุงเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด โดยเพิ่มเหล็กยื่นจาก 10-DB20 เป็น 10-DB25 ดังรูปที่ 21





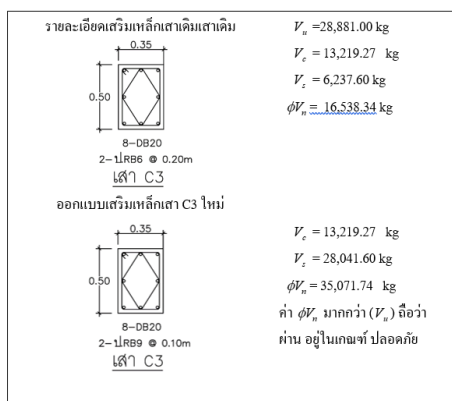
รูปที่ 21 การปรับปรุงแบบเสา C1 ของอาคารสำนักงาน

จากการตรวจสอบ โดยโครงสร้างเสาอาคารสำนักงานที่ตั้งอยู่ในจังหวัด เชียงราย บริเวณเสาชั้นที่ 1 ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ต้องปรับปรุงเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ดังรูปที่ 21



รูปที่ 22 การปรับปรุงแบบเสา C2 ของอาคารสำนักงาน

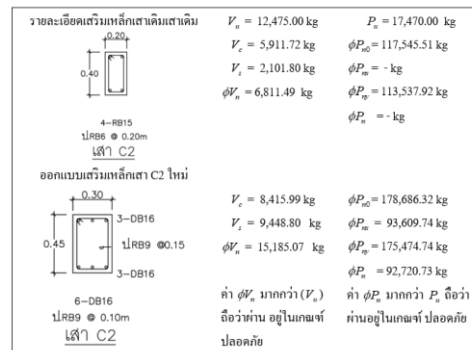
จากตารางที่ 3 เสา C3 อาคารสำนักงานที่จังหวัดเชียงราย อยู่ในเกณฑ์ไม่ ปลอดภัยต้องออกแบบโครงสร้างโดยเพิ่มเหล็กปลอก ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การปรับปรุงแบบเสา C3 ของอาคารสำนักงาน

#### 4.5.3 บ้านพัก

จากการตรวจสอบที่ตั้งของอาคารบ้านพักที่ได้รับผลกระทบจากแรง แผ่นดินไหวคืออาคารบ้านพัก ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงราย ซึ่งต้องออกแบบ โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว โดยต้องปรับปรุง ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา C2 (ออกแบบใหม่) ของบ้านพัก จังหวัด เชียงราย

#### 4.6 การปรับปรุงโครงสร้างคานเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว

##### 4.6.1 อาคารเรียน

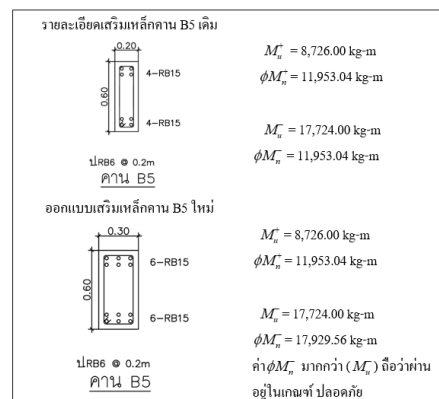
จากผลการตรวจสอบความสามารถของคานหลักในการรับแรงเฉือนและ โมเมนต์ของอาคารเรียนนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย จึงไม่ต้องปรับปรุง โครงสร้าง

##### 4.6.2 อาคารสำนักงาน

จากผลการตรวจสอบความสามารถของคานหลักในการรับแรงเฉือนและ โมเมนต์ของอาคารเรียนนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย จึงไม่ต้องปรับปรุง โครงสร้าง

##### 4.6.3 บ้านพัก

จากผลการตรวจสอบความสามารถในการรับโมเมนต์ลบของคาน B5 ของบ้านพักที่จังหวัดเชียงรายนั้น อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย ต้องปรับปรุง แบบโครงสร้างโดยการเสริมเหล็กกับโมเมนต์ลบโดยเพิ่มเหล็กกับโมเมนต์ และขยายหน้าตัด ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 การปรับปรุงแบบคาน B5 ของบ้านพัก

## 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการศึกษา

แรงแผ่นดินไหวตาม มยผ.1301/1302-61 (หรือกฎกระทรวง ปี พ.ศ. 2564) มีการเปลี่ยนแปลงค่าความรุนแรงจากแรงแผ่นดินไหวตาม มยผ. 1301-52 โดยอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงราย จังหวัดสุราษฎร์ธานี และ กรุงเทพมหานคร จะมีแรงแผ่นดินไหวกระทำเพิ่มขึ้นเท่ากับ ร้อยละ 9.1 , ร้อยละ 128.4 และ ร้อยละ 48.1 ส่วนอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเลยจะมีแรงแผ่นดินไหวกระทำลดลงเท่ากับ ร้อยละ 11.2

อาคารที่ได้รับจากแบบมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างตั้งในจังหวัดเลย จังหวัดสุราษฎร์ธานี และกรุงเทพมหานคร สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวตามที่กำหนด มยผ.1301/1302-61 (กฎกระทรวง ปี พ.ศ. 2564) ได้ ดังนั้นจึงสามารถนำแบบมาตรฐานอาคารดังกล่าวไปใช้สำหรับการก่อสร้างได้อย่างปลอดภัยหากทำการปรับปรุงรายละเอียดการเสริมเหล็กปลอกบริเวณจุดต่อระหว่างคานและเสาให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ มยผ.1301/1302-61 (กฎกระทรวง ปี พ.ศ. 2564) กำหนดไว้

อาคารที่ได้รับจากแบบมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างตั้งในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย มีกำลังต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวที่กำหนดตาม มยผ.1301/1302-61 (กฎกระทรวง ปี พ.ศ.2564) อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ดังนั้นอาคารเหล่านี้ต้องทำการปรับปรุงแบบโครงสร้างเสาและคาน ให้มีความสามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวให้เป็นไปตามรูปแบบหรือแนวทางที่ได้เสนอการแก้ไขตามผลการวิจัยนี้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างอาคารจากแบบมาตรฐานของหน่วยงานราชการมาเพียง 3 อาคาร ยังมีอาคารมาตรฐานของหน่วยงานราชการอีกมากที่ต้องมีการตรวจสอบความต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวที่กำหนดใน มยผ.1301/1302-61 (กฎกระทรวง ปี พ.ศ. 2564) ก่อนที่จะดำเนินการก่อสร้างในอนาคต

ในการวิจัยนี้เห็นได้ว่า กำลังต้านทานแรงเฉือนของเสาบริเวณรอบโถงบันไดทั้ง 3 อาคาร อยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ฉะนั้นหากจะเริ่มตรวจสอบอาคารจากแบบมาตรฐานอื่น ๆ ของหน่วยงานราชการ ควรจะเริ่มตรวจสอบจากโครงสร้างเสาบริเวณรอบโถงบันไดก่อนเป็นอันดับแรก

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงมหาดไทย, 2540, กฎกระทรวง ฉบับที่ 49 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522, ราชกิจจานุเบกษา
- [2] กระทรวงมหาดไทย, 2550, กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนักความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นที่ดินรองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522, ราชกิจจานุเบกษา, หน้า 17-24.

- [3] กระทรวงมหาดไทย, 2564, กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนักความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นที่ดินรองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522, ราชกิจจานุเบกษา, หน้า 13-18.
- [4] ชยานนท์ พรรษภิญโญ, 2557, การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารที่ก่ออาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่สู่ข้อเสนอ แนวทางการก่อสร้างอาคารเพื่อการต้านแรงแผ่นดินไหว, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 ตามมติคณะรัฐมนตรีสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 1-182.
- [5] สรวิชัย บัวสี, วุฒิชัย สะผาย, ธนากร เขียวเหลือง และชูชัย สุจิรวกุล, 2560, การศึกษาความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคารสูงไม่เกิน 15 เมตร, เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22, หน้า 1-8.
- [6] วิชวัฒน์ เสมาชัย และวิกรม พนิชการ, 2560, การศึกษาความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคมจังหวัดเชียงรายในการรับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2560, หน้า 1-20.
- [7] กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2552, มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302-52), บริษัท ดิจิตอล ออฟเซต เอเชีย แพลซิฟิค จำกัด, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-113.
- [8] พรเทพ วัฒนารแก้ว, 2560, การประเมินและการเสริมกำลังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-123.
- [9] กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2561, มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301/1302-61), บริษัท เอส พี เอ็ม การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-157.
- [10] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย คณะอนุกรรมการมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง, 2564, มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. ครั้งที่1. สำนักพิมพ์วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร.
- [11] ACI Committee 318, 1999, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-99) and Commentary (ACI 318RM-99)*, American Concrete Institute, 392 pp.
- [12] มงคล จิรวจรเดช, 2557, การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, หน้า 287-307.