

การศึกษาความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม
จังหวัดเชียงราย ในการรับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหว
โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

**A STUDY ON THE STRENGTH AND STABILITY OF
MAELAO WITTAYAKHOM SCHOOL BUILDING, CHIANG RAI PROVINCE,
SUBJECTED TO EARTHQUAKE EQUIVALENT STATIC LOAD
USING A MATHEMATICAL MODEL**

วิรัชพันธ์ เสมาชัย และ วิกรม พนิชการ

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
1761 ถนนพัฒนาการ แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

Witchawat Semachai and Vicrom Panichacarn

Master of Engineering Program in Civil Engineering, Kasem Bundit University
1761 Pattanakarn Rd., Suanluang Bangkok 10250 Thailand

บทคัดย่อ

อาคารเรียน 3 ของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม สร้างตามแบบก่อสร้างชื่อ อาคารเรียน 216 ล (ปรับปรุง ปี '29) ก่อสร้างในปี 2537 ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนการบังคับใช้กฎหมายออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว เมื่อเกิดแผ่นดินไหวในวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่จังหวัดเชียงราย ทำให้เกิดความเสียหายที่คาน และเสาบริเวณโถงบันไดชั้นล่างของอาคารเรียน เพื่อศึกษาความมั่นคงแข็งแรงของอาคารนี้ต่อการรับแรงจากแผ่นดินไหวตามที่กฎหมายกำหนด แบบอาคารถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้รับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวซึ่งคำนวณตามกฎหมายกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยใช้โปรแกรม ETABS 2015 ผลการศึกษาพบว่า อาคารมีการเคลื่อนตัวแนวราบในระดับต่ำ มีความมั่นคงต้านทานโมเมนต์พลิกคว่ำได้ดี แต่ปรากฏมีคานจำนวน 16 ตัว และเสาจำนวน 10 ต้นไม่ปลอดภัยโดยส่วนใหญ่อยู่บริเวณโถงบันไดทั้งสองข้าง ซึ่งตรงกับตำแหน่งความเสียหายจริงที่สำรวจพบอันได้แก่คาน 1 ตัว และเสา 3 ต้นบริเวณโถงบันไดชั้นล่าง จากการวิเคราะห์พบว่า ความ

เสียหายขององค์อาคารดังกล่าวเกิดจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารเองระหว่างร้อยละ 22.65 ถึง 50.92

คำสำคัญ: แรงสถิตเทียบเท่าแผ่นดินไหว, แผ่นดินไหวแม่ลาว, โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม

ABSTRACT

The Building 3 of Maelao Wittayakhom School was built in 1994 before the Earthquake Resistant Design Law was enforced few years later. When an earthquake occurred on May 5th, 2014 in Chiang Rai Province, one beam and three columns in a stairs hall of this building were damaged. In order to study the strength and stability of the school building resisting to law-defined earthquake, a mathematical model was created on ETABS 2015 program to resist an earthquake equivalent static load calculated from the Ministerial Regulation of Load Resistance and Endurance of Building and its Soil Underneath Resisting to Earthquake Vibration, B.E. 2550. The study shows that the building model has very small lateral displacement and it is stable in terms of over-turning resistance. However, there are 16 damaged beams and 10 damaged columns in the model. Most of them are located in and around two stairs halls which are the same locations of 1 damaged beam and 3 damaged columns in the real school building. From the analysis, these damages come from that the internal bending moment is greater than the moment capacity of each member in the range of 22.65% to 50.92%.

KEYWORDS: Earthquake Equivalent Static Load, Maelao Earthquake, Maelao Wittayakhom School

1. บทนำ

อาคารเรียน 3 ของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม จังหวัดเชียงราย เป็นหนึ่งในอาคารสาธารณะที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวในแม่ลาวที่เกิดขึ้นในวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 18.08 น. ขนาดแผ่นดินไหว 6.3 ตามมาตราริกเตอร์ จุดศูนย์กลางอยู่บริเวณ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย [1, 2] อาคารเรียน 3 เป็นอาคารที่ได้รับการก่อสร้างโดยใช้แบบก่อสร้างชื่อ “อาคารเรียน 216 ล (ปรับปรุงปี ’29)” ของสำนักคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) [3] กระทรวงศึกษาธิการ ก่อสร้างแล้วเสร็จในปีพ.ศ. 2537 ซึ่งในขณะนั้นยังไม่มีกฎหมายบังคับให้ออกแบบอาคารรับแรงแผ่นดินไหว ต่อมาในภายหลังได้มีข้อกำหนดการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวประกาศในราชกิจจานุเบกษาอันได้แก่ กฎกระทรวงฉบับ 49 (พ.ศ. 2540) [4] และ

กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 [5] ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 [6]

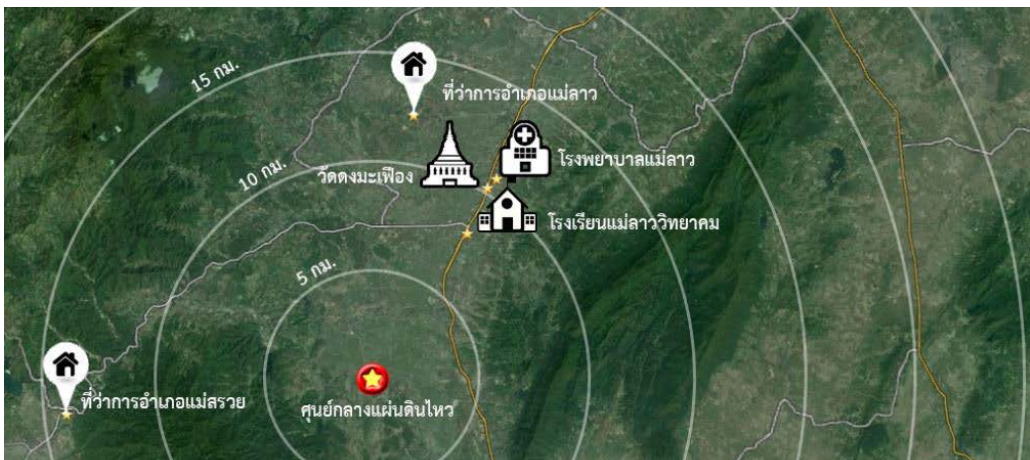
เมื่อเกิดแผ่นดินไหวในวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ปรากฏว่าคอนกรีตที่จุดต่อของเสาและคานชั้นล่างเกิดการแตกร้าว และมีการแตกร้าวของผนังก่ออิฐ [7] แสดงให้เห็นว่า บางส่วนของโครงสร้างอาคารไม่แข็งแรงเพียงพอในการรับทางช้างที่เกิดจากแผ่นดินไหว นอกจากนี้โรงเรียนแม่ลาววิทยาคมนี้ แบบอาคารเรียน 216 ล (ปรับปรุงปี '29) ยังถูกนำไปใช้ก่อสร้างเป็นอาคารเรียนในสถานศึกษาอื่นๆ ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศเป็นจำนวนถึง 2,372 อาคาร [3] ซึ่งอาคารเหล่านี้ยังคงมีความเสี่ยงที่จะต้องรับผลจากแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำแบบอาคารเรียน 216 ล (ปรับปรุงปี '29) มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) แล้วทำการวิเคราะห์ให้รับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) เพื่อศึกษาความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม ต่อแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงฯ ที่ประกาศออกมาในภายหลัง และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง เพื่อหาสาเหตุในเชิงวิชาการอธิบายความเสียหายจริงที่ปรากฏขึ้น

2. ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง

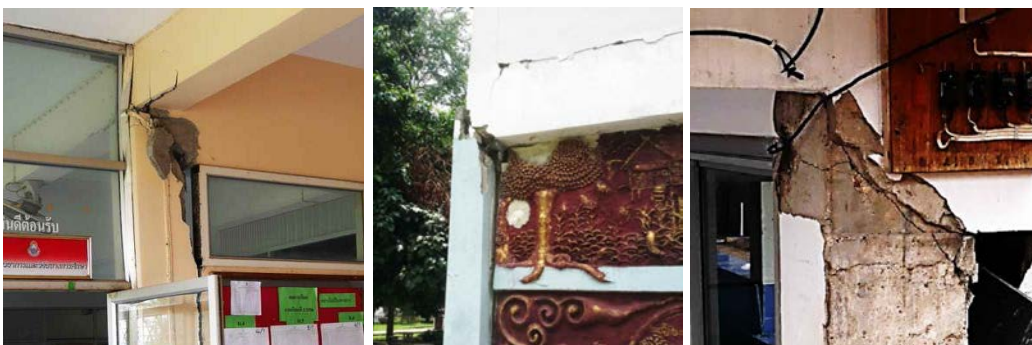
สุพจน์ เจริญสวัสดิพงษ์ อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี [1] และบุรินทร์ เวชบรรเทิง ผู้อำนวยการสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา [2] รายงานตรงกันว่า เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 เวลา 18.08 น. ได้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวมีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณอำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย แผ่นดินไหวมีขนาด 6.3 ตามมาตราริกเตอร์ ที่ความลึก 7 กิโลเมตร จากเหตุการณ์ครั้งนี้มีผู้เสียชีวิต 1 คน ที่จังหวัดเชียงราย บาดเจ็บมากกว่า 100 คน พบความเสียหายเกิดขึ้นแก่บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมาก และเป็นบริเวณกว้าง มีผลกระทบถึง 7 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา น่าน แพร่ ลำปาง และกำแพงเพชร มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นดินต่างๆ เช่น รอยแยกของพื้นดิน หลุมยุบ และน้ำผุดขึ้นมาจากบ่อน้ำผิวดิน มีการเกิดแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) กระจายตัวหลายบริเวณในเขต อำเภอแม่ลาว อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างตลอดแนวรอยเลื่อนพะเยา

สุทัศน์ สีสาทวิวัฒน์ และ เป็นหนึ่ง วานิชชัย [7] ได้นำเสนอบทความเรื่อง บทเรียนจากความเสียหายที่เกิดกับอาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวแม่ลาว จังหวัดเชียงราย สรุปความว่า อาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม ตั้งอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวมาก โดยมีระยะห่างเพียงประมาณ 10 กิโลเมตรเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1 จากการสำรวจพบว่าความเสียหาย

ที่เห็นเด่นชัดเป็นการแตกร้าวของผนังอิฐก่อและการแตกร้าวในเสาโดยเฉพาะที่บริเวณจุดต่อของคานและเสา การแตกร้าวในบริเวณจุดต่อที่พบแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ การแตกเป็นแนวทแยงอันเนื่องมาจากแรงเฉือนในจุดต่อ (Joint Shear) ดังรูปที่ 2 และอีกลักษณะคือการเกิดการเลื่อนไถลจากแรงเฉือน (Shear Sliding) เนื่องจากมีรอยต่อของการก่อสร้าง (Construction Joint) ดังรูปที่ 3 ในกรณีนี้รอยต่อมีลักษณะเกือบจะเรียบเป็นแนวตรง สาเหตุอาจเกิดจากการหยุดการก่อสร้างหลังจากที่เทเสาแล้วเสร็จเป็นเวลานาน เมื่อทำการก่อสร้างต่อไม่ได้มีการเตรียมผิวรอยต่อให้มีความขรุขระ (Roughened Surface) เมื่อต้องรับแรงเฉือนอันเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวในภายหลังจึงส่งผลให้รอยต่อเกิดการเลื่อนไถลขึ้น



รูปที่ 1 ตำแหน่งโรงเรียนแม่ลาววิทยาคมและตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว [7]



รูปที่ 2 ความเสียหายบริเวณจุดต่อ และเสาของอาคารเรียนโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม [7]



รูปที่ 3 ความเสียหายบริเวณรอยต่อการก่อสร้างของอาคารเรียน โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม [7]

ชาญณรงค์ แถนสีแสง [8] ทำการศึกษาผลของความเสียหายของอาคารเรียน โรงเรียนสันกลางวิทยา จังหวัดเชียงราย ที่เกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 และศึกษาหารูปแบบเสริมกำลังเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว อาคารเรียนที่เกิดความเสียหายเป็นอาคารเรียนแบบมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) อาคารเรียนนี้และอาคารอื่น ๆ ที่มีลักษณะเดียวกันถูกสร้างก่อนกฎกระทรวงฉบับที่ 49 พ.ศ. 2540 และกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 บังคับใช้ อีกทั้งยังตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยต่าง ๆ ของประเทศไทย

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารโดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 พบว่าตำแหน่งที่ได้รับความเสียหายขั้นรุนแรงในการวิเคราะห์ และสำรวจสภาพอาคารจริง มีตำแหน่งตรงกัน รูปแบบการเสริมกำลังได้พิจารณาเลือกโครงแกงแนงแบบ Inverted V เนื่องจากให้พฤติกรรมโครงสร้างที่แข็งแรงและมีราคาถูกกว่าการเสริมโครงแกงแนงแบบ แบบ Braced และแบบ Knee Braced ภายหลังการเสริมโครงแกงแนง เสาโครงสร้างอาคารเรียนถึงแม้จะมีค่าการเคลื่อนตัวที่ลดลง แต่ก็ยังไม่ปลอดภัย จึงได้แนะนำให้มีการเสริมกำลังของเสาโครงสร้างร่วมกับการเสริมกำลังด้วยโครงแกงแนงเหล็ก

กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 กำหนดให้การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรง หรือสิ่งก่อสร้างอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และตั้งอยู่ในบริเวณที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีดินอ่อนมากที่อาจจะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวในระยะไกล และบริเวณที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวต้องสามารถรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ โดยให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังสมการที่ 1

$$V = ZIKCSW \quad (1)$$

เมื่อ V คือ แรงเหวี่ยงทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

C คือ สัมประสิทธิ์ของการสั่นไหวของโครงสร้าง

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร

W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมด

แรงเหวี่ยงดังกล่าวเป็นแรงสถิตเทียบเท่ากับแรงแผ่นดินไหว กระทำในทิศทางด้านข้างกับโครงสร้างอาคาร จากนั้นต้องกระจายแรงเหวี่ยงดังกล่าวไปที่แต่ละชั้นของอาคารดังสมการที่ 2

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (2)$$

เมื่อ F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

F_x คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นที่ x ของอาคาร

w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

$i = 1$ สำหรับพื้นที่แรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นที่ล่างของอาคาร

$x = 1$ สำหรับพื้นที่แรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นที่ล่างของอาคาร

$\sum_{i=1}^n w_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นที่ 1 ถึงชั้นที่ n

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นที่ล่างของอาคาร

รายละเอียดการคำนวณขนาดแรงเหวี่ยงที่ฐานและการกระจายแรงสามารถศึกษาได้ในกฎกระทรวง มิได้นำมากล่าวในที่นี้

3. วิธีการศึกษา

การศึกษาความมั่นคงของอาคารโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม จังหวัดเชียงราย ในการรับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 โครงสร้างอาคารที่ทำการศึกษา

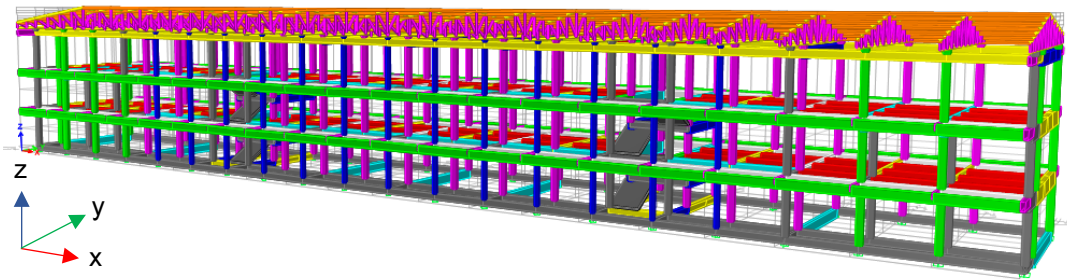
อาคารที่ทำการศึกษาคืออาคารเรียน 3 โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม สร้างตามแบบอาคารเรียนแบบ 216 ล (ปรับปรุง '29) ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานของสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) แบบอาคารเรียนแบบ 216 ล (ปรับปรุงปี '29) นี้มีลักษณะเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 3 ชั้น ชั้นที่ 1 เป็นพื้นที่โล่ง ชั้นที่ 2 และ 3 เป็นชั้นเรียนชั้นละ 8 ห้อง รวมทั้งหมด 16 ห้องเรียน มีความกว้าง 10.40 เมตร ยาว 80.00 เมตร และสูง 12.15 เมตร ทางด้านกว้างมี 3 ช่วงเสา ทางด้านยาวมี 20 ช่วงเสา ฐานรากเป็นแบบฐานรากแผ่หรือฐานรากเสาเข็ม (แบบก่อสร้างให้ทางเลือกไว้) พื้นเป็นพื้นสำเร็จรูปหรือหล่อในที่ (แบบก่อสร้างให้ทางเลือกไว้) โครงหลังคาเป็นโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ หลังคาใช้กระเบื้องลอนคู่ แสดงอาคารเรียน 3 โรงเรียนแม่ลาววิทยาคมในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะอาคารเรียนแบบ 216 ล (ปรับปรุง '29)

3.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

อาคารเรียนแบบ 216 ล (ปรับปรุงปี '29) ถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ด้วยโปรแกรม ETABS 2015 ของบริษัท Computers and Structures, Inc. (CSI) [9] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเป็นโครงสร้างโครงข้อแข็งรับแรงดัด (Moment Resisting Frame) 3 มิติ มีลักษณะทางเรขาคณิตเช่นเดียวกับอาคารจริงโดยให้ด้านยาวของอาคารขนานไปกับแกน X ด้านสั้นของอาคารขนานไปกับแกน Y และความสูงของอาคารขนานไปกับแกน Z มีขนาดโครงสร้างเสา คาน พื้น ผนัง บันได หลังคา ตามโครงสร้างจริงดังที่เขียนไว้ในแบบมาตรฐานทุกประการ ฐานรองรับกำหนดให้เป็นแบบยึดแน่น จากรายการประกอบแบบ กำหนดให้กำลังประลัย (f_c') ของคอนกรีตมีค่า 210 กก./ซม.² และกำลังที่จุดคราก (f_y) ของเหล็กเสริมซึ่งใช้เหล็กเส้นกลมแต่เพียงชนิดเดียวมีค่า 2,400 กก./ซม.² แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของอาคารเรียนแบบ 216 ล (ปรับปรุงปี '29)

3.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้กระทำกับโครงสร้างมี 3 ประเภทคือ น้ำหนักโครงสร้างในแนวดิ่ง น้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง และแรงทางข้างจากแผ่นดินไหว ทั้งนี้ น้ำหนักโครงสร้างมีขนาด 1,531.98 ตัน น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้เป็นไปตามรายการประกอบแบบซึ่งเป็นไปตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 คือน้ำหนักบรรทุกจรที่หลังคา และพื้นมีค่า 50 และ 300 กก./ม.² ตามลำดับ น้ำหนักบรรทุกจรที่บันไดมีค่า 400 กก./ม.²

จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง พบว่ามีคาบการสั่นเท่ากับ 0.150 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับคาบการสั่นที่คำนวณได้ตามกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 มีค่าเท่ากับ 0.123 วินาที มีผลต่างร้อยละ 18 อย่างไรก็ตาม แรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงฯ ที่สอดคล้องกับที่ตั้งของ อ.แม่ลาว จ.เชียงรายซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม คำนวณตามสมการที่ 1 มีค่าตัวประกอบต่างๆ ดังนี้ $Z = 0.38$, $I = 1.50$, $K = 1.00$, $C = 0.12$, $S = 1.20$ และ $W = 1,531.98$ ตัน ทำให้สามารถคำนวณค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารได้เท่ากับ 125.75 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 8.21 ของน้ำหนักโครงสร้างอาคาร จากนั้นใช้สมการที่ 2 เพื่อกระจายแรงเฉือนได้ค่าแรงกระทำทางข้างที่ระดับคานชั้น 4 ชั้น 3 ชั้น 2 และชั้น 1 เท่ากับ 21.64 ตัน 69.97 ตัน 34.14 ตัน และ 0 ตัน ตามลำดับ

การรวมแรงที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างเอง น้ำหนักบรรทุกจร และแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวใช้ข้อกำหนดตามมาตรฐาน ACI 318-99 [10] โดยให้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการรวมแรงใน 3 กรณี ดังสมการที่ 3 ถึง 5 ต่อไปนี้

$$U_1 = 1.4 (DL + SDL) + 1.7 LL \quad (3)$$

$$U_2 = 0.75 [1.4 (DL + SDL) + 1.7 LL \pm 1.87 EQ] \quad (4)$$

$$U_3 = 0.9 (DL + SDL) \pm 1.43 EQ \quad (5)$$

เมื่อ DL คือ น้ำหนักโครงสร้าง

SDL คือ น้ำหนักวัสดุอุปกรณ์ที่ยึดตรึงอยู่กับที่

LL คือ น้ำหนักบรรทุกจร

EQ คือ แรงจากแผ่นดินไหว

แรงกระทำจากแผ่นดินไหวจะถูกใส่ในทิศทาง +X, -X, +Y และ -Y ในสมการที่ 4 และ 5 ดังนั้น การวิเคราะห์โครงสร้างจึงต้องพิจารณาการใส่แรงกระทำกับโครงสร้างทั้งสิ้น 9 กรณี คือ การรวมแรงตามสมการที่ 3 จำนวน 1 กรณี การรวมแรงตามสมการที่ 4 จำนวน 4 กรณี และการรวมแรงตามสมการที่ 5 จำนวน 4 กรณี เพื่อหากรณีที่ให้ค่าแรงภายในองค์อาคารสูงที่สุด

4. ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอาคารเรียนแบบ 216 ล (ปรับปรุงปี '29) โดยใช้โปรแกรม ETABS 2015 มีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.1 การตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

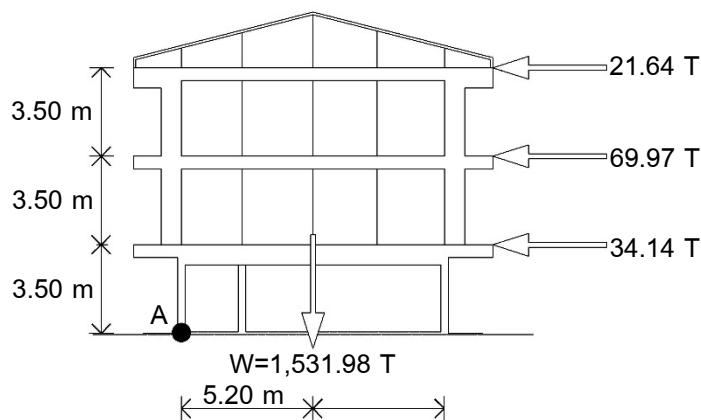
กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ได้กำหนดให้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคารต้องมีความไม่เกินกว่าร้อยละ 0.5 ของความสูงระหว่างชั้น ในที่นี้ ความสูงระหว่างชั้นมีค่า 350 ซม. เพราะฉะนั้นค่าขอบเขตคือ 1.75 ซม. จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากการรวมแรงในสมการที่ 5 จะให้ค่ามากที่สุด ในทิศทาง +Y แต่ก็มีค่าน้อยกว่า 1.75 ซม. ทั้งสิ้นดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงว่าอาคารนี้มีการเคลื่อนตัวทางข้างน้อยและอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น

ชั้นที่	การเคลื่อนตัว (ซม.)	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (ซม.)
4	0.874	0.224
3	0.650	0.314
2	0.336	0.336
1	0.000	-

4.2 การตรวจสอบความมั่นคงของอาคารจากโมเมนต์ที่ทำให้เกิดพลิกคว่ำ

แรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวทำให้เกิดโมเมนต์ผลักให้อาคารพลิกคว่ำ ในขณะที่น้ำหนักของอาคารสร้างโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำดังกล่าว แสดงขนาด ทิศทาง และตำแหน่งของน้ำหนักโครงสร้างและแรงสถิตเทียบเท่าในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แรงที่กระทำกับอาคารในแนวดิ่งและด้านข้าง

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบจุด A ที่มุมล่างซ้ายมือของอาคาร สามารถคำนวณโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำ (M_1) และโมเมนต์ที่ทำให้พลิกคว่ำ (M_2) ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} M_1 &= 1,531.98 \text{ T} \times 5.20 \text{ m} \\ &= 7,966.29 \text{ T-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (21.64 \text{ T} \times 10.50 \text{ m}) + (69.97 \text{ T} \times 7.00 \text{ m}) + (34.14 \text{ T} \times 3.50 \text{ m}) \\ &= 836.50 \text{ T-m} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราส่วนโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำต่อโมเมนต์ที่ทำให้พลิกคว่ำ (M_1 / M_2) คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{M_2} &= \frac{7,966.29}{836.50} \\ &= 9.52 \end{aligned}$$

อัตราส่วนดังกล่าวเท่ากับ 9.52 เท่า ซึ่งมากกว่า 1.50 เท่าที่เป็นค่าขั้นต่ำ แสดงว่าอาคารมีความมั่นคงสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำได้

4.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคงของผลกระทบบ P- Δ

ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (θ) จากผลกระทบบ P- Δ คำนวณโดยสมการที่ 6

$$\theta = \frac{P_x \Delta_x}{V_x h_x} \quad (6)$$

เมื่อ P_x คือ น้ำหนักอาคารทั้งหมดที่ระดับชั้น x และเหนือขึ้นไป

Δ_x คือ ระยะโยก (Story Drift) ของระดับชั้น x

V_x คือ แรงเฉือนที่ระดับชั้น x

h_x คือ ความสูงของระดับชั้น x

ขนาดของ P_x , Δ_x , V_x ของอาคารแสดงในตารางที่ 2 โดยมีความสูงของระดับชั้น h_x เท่ากับ 350 ซม. สามารถคำนวณค่า θ ของแต่ละชั้นได้น้อยกว่าค่าขอบเขตซึ่งเท่ากับ 0.10 แสดงว่าผลกระทบบของ P- Δ มีค่าน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องนำมาคำนวณด้วย

ตารางที่ 2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคงของผลกระทบบ P- Δ

ชั้น	P_x (ตัน)	Δ_x (ซม.)	V_x (ตัน)	h_x (ซม.)	θ
4	134.08	0.224	21.64	350.00	0.00397
3	784.51	0.314	91.61	350.00	0.00769
2	1,419.22	0.336	125.75	350.00	0.01082
1	1,531.98	-	-	-	-

4.4 ความเสียหายขององค์อาคาร

ความเสียหายขององค์อาคารพิจารณาจากอัตราส่วนปฏิสัมพันธ์ (Interaction Ratio) ขององค์อาคารแบบคาน-เสา (Beam-column Member) ดังแสดงในสมการที่ 7

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{m_x}{M_x} + \frac{m_y}{M_y} \leq 1.00 \quad (7)$$

เมื่อ f_a คือ แรงอัดตามแนวแกนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกและแรงทางข้าง

F_a คือ กำลังต้านทานแรงอัดตามแนวแกนขององค์อาคาร

m_x คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกและแรงทางข้างรอบแกนหลัก

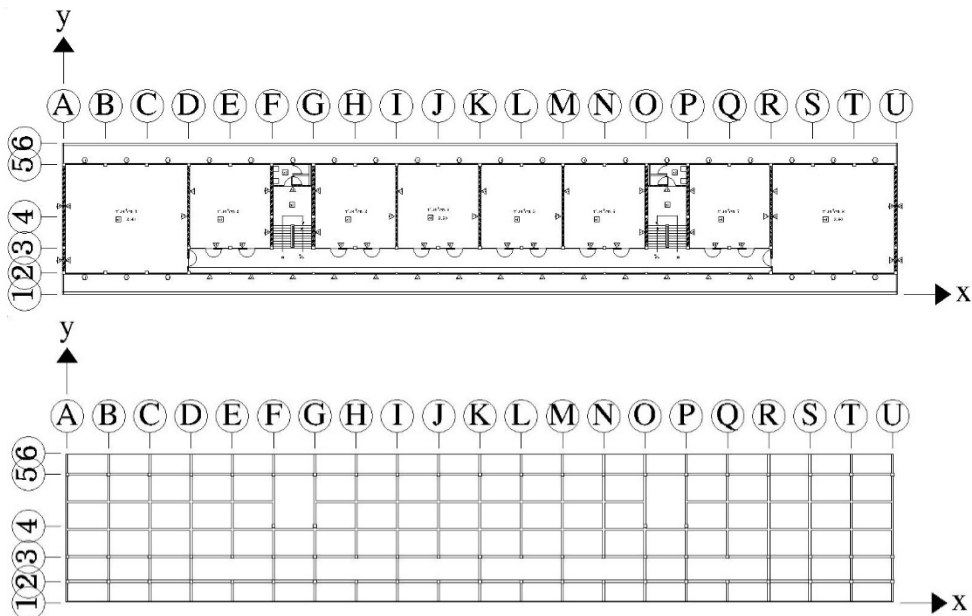
M_x คือ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารรอบแกนหลัก

m_y คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกและแรงทางข้างรอบแกนรอง

M_y คือ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารรอบแกนรอง

อัตราส่วนข้างต้น โปรแกรม ETABS 2015 เรียกว่า PMM Ratio หรือ Capacity Ratio จะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกและแรงทางข้างกับกำลังขององค์อาคาร ซึ่งในที่นี้เลือกให้โปรแกรมคำนวณกำลังขององค์อาคารตามมาตรฐาน ACI 318-99 หาก Capacity Ratio มีค่าน้อยกว่า 1.00 แสดงว่าองค์อาคารนั้นๆ เกิดแรงภายในต่ำกว่ากำลังที่องค์อาคารรับได้ องค์อาคารปลอดภัย หาก Capacity Ratio มีค่ามากกว่า 1.00 แสดงว่าองค์อาคารนั้นๆ เกิดแรงภายในมากกว่ากำลังที่องค์อาคารรับได้ องค์อาคารไม่ปลอดภัย โปรแกรมจะแสดงตำแหน่งองค์อาคารด้วยสีแดง

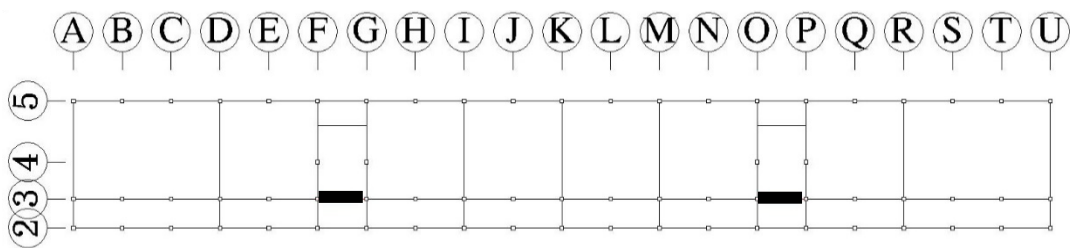
จากการกำหนดแนวเส้น (Grid Lines) บนแบบแปลนสถาปัตย์และแบบแปลนโครงสร้างของอาคารชั้น 2 และ 3 ซึ่งถือว่าเป็นชั้นทั่วไป (Typical Floors) เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของคานและเสาดังแสดงในรูปที่ 7 ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารรับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวด้วยโปรแกรม ETABS 2015 เป็นดังนี้



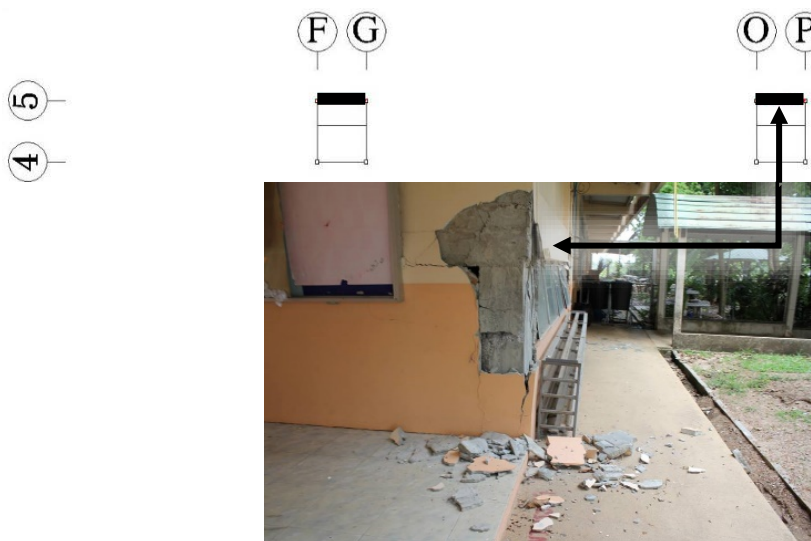
รูปที่ 7 แบบแปลนสถาปัตย์และแบบแปลนโครงสร้างชั้น 2 และ 3

คานที่ไม่ปลอดภัย (Capacity Ratio มากกว่า 1.00) ที่พื้นชั้น 1 มีจำนวน 2 ตัว (แสดงในรูปที่ 8) ที่พื้นชานพักบันไดชั้น 1 มีจำนวน 2 ตัว (แสดงในรูปที่ 9) ที่พื้นชานพักบันไดชั้น 2 มีจำนวน 2 ตัว (แสดงในรูปที่ 10) ที่พื้นชั้น 3 มีจำนวน 2 ตัว (แสดงในรูปที่ 11) จะเห็นว่าคานเหล่านี้อยู่ใน

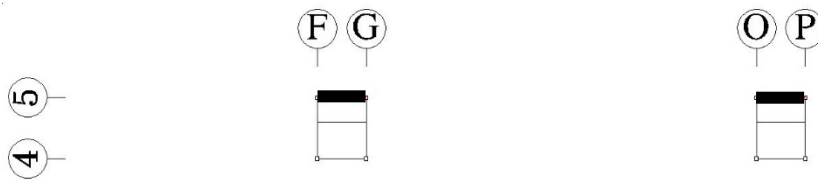
บริเวณโถงบันไดหรือติดกับโถงบันไดทั้งสองข้าง สาเหตุเกิดจากบริเวณโถงบันไดนี้เป็นช่องว่าง ไม่มีคานช่วยรับโมเมนต์ดัดเหมือนกับช่วงเสาอื่นๆ ทำให้ห้องค้ออาคารบริเวณนี้ต้องรับแรงภายในมากกว่าช่วงอื่น ประกอบกับต้องรับแรงทางข้างจากแผ่นดินไหวจึงเป็นผลให้แรงภายในห้องค้ออาคารเหล่านี้มีค่ามากกว่ากำลังต้านทานของห้องค้ออาคาร สำหรับคานชั้น 4 มีคานที่ไม่ปลอดภัยจำนวน 8 ตัว (แสดงในรูปที่ 12) จากการตรวจสอบพบว่า คานเหล่านี้เพียงรับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวดิ่งก็มีค่า Capacity Ratio ใกล้เคียง 1.00 อยู่แล้ว เมื่อมารับแรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวเพิ่มเข้าไป ค่า Capacity Ratio จึงเกินกว่า 1.00



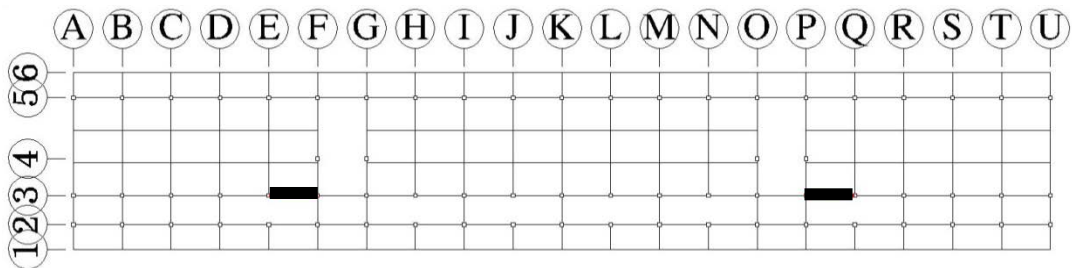
รูปที่ 8 ตำแหน่งคานที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนแปลนพื้นที่ชั้นที่ 1



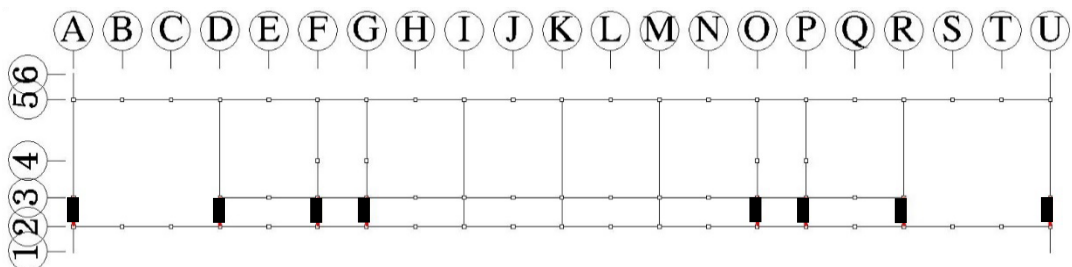
รูปที่ 9 ตำแหน่งคานที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนแปลนพื้นชานพักบันไดชั้นที่ 1



รูปที่ 10 ตำแหน่งคานที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนแปลนพื้นชานพักบันไดชั้นที่ 2

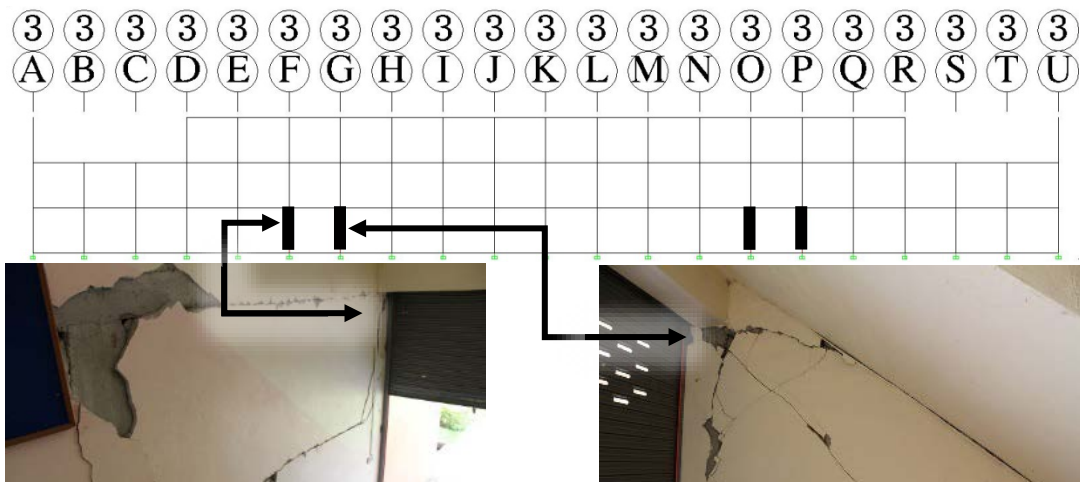


รูปที่ 11 ตำแหน่งคานที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนแปลนพื้นชั้นที่ 3

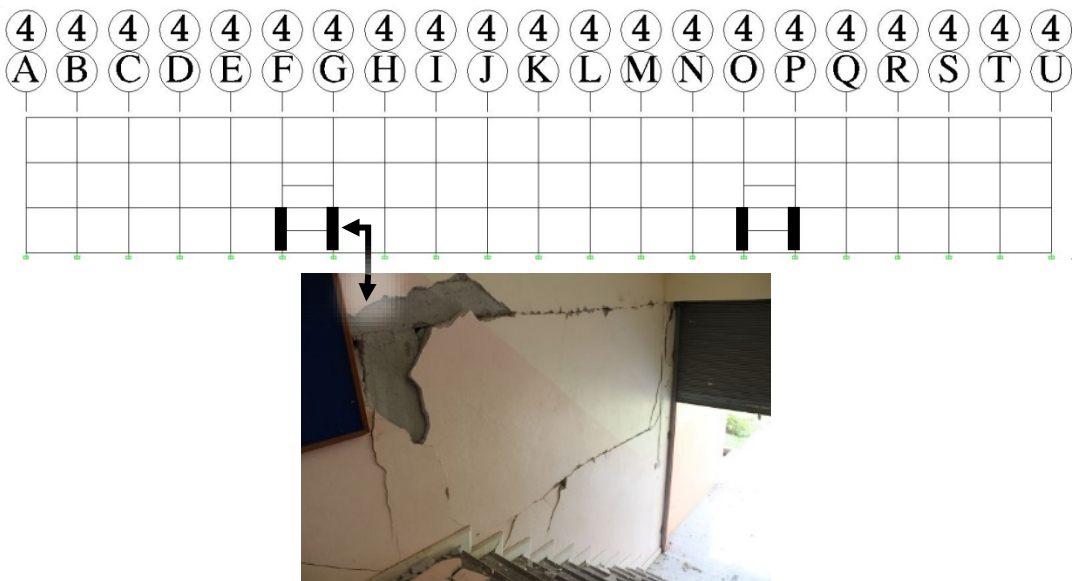


รูปที่ 12 ตำแหน่งคานที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนแปลนคานชั้นที่ 4

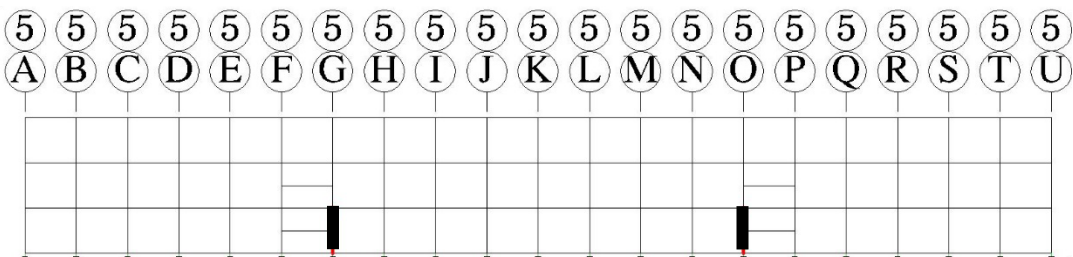
เสาที่ไม่ปลอดภัย (Capacity Ratio มากกว่า 1.00) มีจำนวน 4 ต้นในแนวระนาบที่ 3 (แสดงในรูปที่ 13) มีจำนวน 4 ต้นในแนวระนาบที่ 4 (แสดงในรูปที่ 14) และมีจำนวน 2 ต้นในแนวระนาบที่ 5 (แสดงในรูปที่ 15) โดยเสาส่วนใหญ่ที่ไม่ปลอดภัยอยู่ในบริเวณโถงบันไดชั้นที่ 1 ทั้งสองข้างซึ่งไม่มีคานช่วยรับแรงและอยู่ชั้นล่างที่ต้องรับแรงเฉือนสูงสุด ทำให้เสาบริเวณนี้ต้องรับแรงมากกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 13 เสาที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนรูปด้านหน้าแนวระนาบที่ 3



รูปที่ 14 ตำแหน่งเสาที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนรูปด้านหน้าแนวระนาบที่ 4



รูปที่ 15 ตำแหน่งเสาที่เกิดความเสียหาย (เส้นทึบ) บนรูปด้านหน้าแนวระนาบที่ 5

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับรูปถ่ายความเสียหายของโครงสร้างจริงจาก Facebook ของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม [11] พบว่ามีตำแหน่งคานที่ชันพักบันไดชั้นที่ 1 ตำแหน่ง O5-P5 เสียหายตรงกันดังแสดงในรูปที่ 9 และมีเสาอีก 3 ตำแหน่งคือเสาบริเวณโถงบันไดตำแหน่ง F3, G3 และ G4 ในชั้น 1 เสียหายตรงกับโครงสร้างจริงดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์โครงสร้างจากแบบจำลองนี้ให้ผลการวิเคราะห์ที่สนับสนุนผลการสำรวจความเสียหายจากสถานที่จริง แต่สาเหตุที่ไม่เสียหายเหมือนโครงสร้างจริงทั้งหมดอาจเกิดจากแรงสถิติเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวที่คำนวณตามกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 มีความแตกต่างจากแผ่นดินไหวจริงที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่อ.แม่ลาว จ.เชียงราย อยู่บ้าง

4.5 การวิเคราะห์ความเสียหายขององค์อาคารที่เกิดความเสียหายจริง

สำหรับองค์อาคารที่มีความเสียหายเกิดขึ้นจริง เมื่อนำผลการวิเคราะห์โครงสร้างระหว่างแรงภายในที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกทั้งแนวตั้งและแนวนอนมาเปรียบเทียบกับกำลังขององค์อาคารดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า กรณีรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรในแนวตั้ง ทั้งคานตำแหน่ง O5-P5 ชันพักบันไดชั้นที่ 1 เสา F3, G3 และ G4 ชั้นที่ 1 มีความปลอดภัยดี แรงภายในที่เกิดขึ้นไม่เกินกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารทั้งแรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด แต่ในกรณีที่ต้องรับแรงสถิติเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวเพิ่มเติมเข้าไปทางข้างพบว่า แรงทางข้างส่งผลให้เสาต้องรับโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นและส่งต่อให้คานที่ติดกันต้องรับโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จะเห็นว่าคานตำแหน่ง O5-P5 ชันพักบันไดชั้นที่ 1 เสา F3, G3 และ G4 ชั้นที่ 1 ล้วนมีโมเมนต์ดัดซึ่งเป็นแรงภายในเกินกว่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารเอง ทำให้ค่า Capacity Ratio ตามสมการที่ 7 มีค่าเกินกว่าหนึ่งซึ่งแสดงว่าองค์อาคารไม่ปลอดภัย และเกิดความเสียหายในโครงสร้างของอาคาร โรงเรียนแม่ลาววิทยาคมดังกล่าว สามารถคำนวณได้ว่าคาน O5-P5 ชันพักบันไดชั้นที่ 1 เสา F3, G3 และ G4 ชั้นที่ 1 มีค่าโมเมนต์ภายในที่เกิดขึ้นมากกว่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารเองในบริเวณปลายเสาและปลายคานเท่ากับร้อยละ 30.02, 22.26, 27.64 และ 22.65 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองสอดคล้องกับรูปความเสียหายจริงที่ได้จาก Facebook ของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม ที่มีความเสียหายลักษณะเป็นรอยร้าวเล็กๆ ปรากฏขึ้นที่ปลายเสาและคาน อีกทั้งมีการแตกของผนังปูนฉาบที่อยู่ติดกันหลุดร่อนออกมา

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบแรงภายในที่เกิดขึ้นและกำลังต้านทานขององค์อาคาร

องค์อาคาร	ประเภทของแรง	แรงภายในองค์อาคารที่เกิดขึ้น		กำลังต้านทานขององค์อาคาร
		กรณีรับน้ำหนักในแนวตั้งเท่านั้น	กรณีรับน้ำหนักในแนวตั้ง + แรงสถิตเทียบเท่าทางข้าง	
คาน O5 - P5 ชานพักชั้น 1	แรงตามแนวแกน (ตัน)	0.680	2.695	164.088
	แรงเฉือน (ตัน)	0.001	3.848	± 9.763
	โมเมนต์ดัด (ตัน-เมตร)	1.829	-4.165 (มากกว่า 31.06%)	± 3.178
เสา F3 ชั้น 1	แรงตามแนวแกน (ตัน)	40.367	-5.653	120.430
	แรงเฉือน (ตัน)	0.033	1.336	± 9.627
	โมเมนต์ดัด (ตัน-เมตร)	0.039	2.477 (มากกว่า 43.96%)	± 1.721
เสา G3 ชั้น 1	แรงตามแนวแกน (ตัน)	37.460	-6.432	107.541
	แรงเฉือน (ตัน)	-0.018	1.430	± 9.627
	โมเมนต์ดัด (ตัน-เมตร)	0.016	-2.586 (มากกว่า 50.25%)	± 1.721
เสา G4 ชั้น 1	แรงตามแนวแกน (ตัน)	42.019	8.335	135.772
	แรงเฉือน (ตัน)	2.020	6.259	± 9.627
	โมเมนต์ดัด (ตัน-เมตร)	-2.129	-5.307 (มากกว่า 22.65%)	± 4.327

5. สรุปผลการศึกษา

อาคารเรียน 3 ของโรงเรียนแม่ลาววิทยาคม จังหวัดเชียงราย ซึ่งสร้างตามแบบมาตรฐานของสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐานที่มีชื่อแบบว่า อาคารเรียน 216 ล (ปรับปรุงปี '29) อันเป็นแบบที่มีได้คำนึงถึงผลของแรงแผ่นดินไหว ถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้รับแรงจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และ แรงสถิตเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวซึ่งเป็นแรงทางข้างคำนวณตามกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยใช้โปรแกรม ETABS 2015 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- (1) โครงสร้างอาคารดังกล่าวมีความมั่นคงแข็งแรงในกรณีรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง ไม่มีองค์อาคารใดมีแรงภายในเกินกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคาร
- (2) กรณีพิจารณาแรงทางช้างจากแผ่นดินไหวร่วมกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ในแนวดิ่ง พบว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของความสูงระหว่างชั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคงเนื่องจากผลของจากผลกระทบ $P-\Delta$ มีค่าน้อยกว่า 0.10 และโมเมนต์ต้านทานการพลิกคว่ำจะมากกว่าโมเมนต์ที่ทำให้เกิดพลิกคว่ำถึง 9.52 เท่า แสดงว่าอาคารมีการเคลื่อนที่ทางราบน้อย ไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ และปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ
- (3) จากการวิเคราะห์ปรากฏว่ามีคานจำนวน 16 ตัวที่ไม่ปลอดภัยจากจำนวนทั้งหมด 674 ตัว และเสาจำนวน 10 ต้นไม่ปลอดภัยจากจำนวนเสาทั้งหมด 197 ต้น เนื่องจากมีค่า Capacity Ratio มากเกินกว่า 1.00 เสาและคานที่ไม่ปลอดภัยส่วนใหญ่จะอยู่ในโถงบันไดหรือติดกับโถงบันได อันเป็นบริเวณที่ไม่มีคานต่อเนื่องกับคานด้านข้าง ทำให้เสาและคานบริเวณนี้ต้องแบ่งกันรับภาระในการรับแรงมากกว่าบริเวณอื่นที่มีจำนวนคานมากกว่า และเสาที่ไม่ปลอดภัยทั้งหมดอยู่ชั้นล่างซึ่งต้องรับแรงเฉือนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นที่อยู่สูงขึ้นไป
- (4) จากความแตกต่างของแรงทางช้างระหว่างแรงสถิตเทียบเท่าคำนวณตามกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 และแรงจากแผ่นดินไหวจริงเมื่อเวลา 18.08 น. ของวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 พบว่าแรงสถิตเทียบเท่าส่งผลให้เกิดจำนวนองค์อาคารที่ไม่ปลอดภัยมากกว่าจำนวนองค์อาคารที่เสียหายจริงที่พบจากการสำรวจ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาสนับสนุนความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงเพราะองค์อาคารที่ไม่ปลอดภัยจากการวิเคราะห์ส่วนใหญ่อยู่บริเวณโถงบันไดเช่นเดียวกับความเสียหายจริงที่พบ โดยมีตำแหน่งตรงกันได้แก่คานตำแหน่ง O5-P5 ขานพักบันไดชั้นที่ 1 เสา F3, G3 และ G4 ชั้นที่ 1
- (5) เมื่อนำผลการวิเคราะห์แรงภายในมาพิจารณาสหเหตุของความเสียหายจริงดังกล่าว พบว่าทั้งคานและเสาทั้ง 4 องค์อาคารในบริเวณโถงบันไดเกิดความเสียหายเนื่องจากเกิดโมเมนต์ดัดภายในที่เป็นผลจากแรงสถิตเทียบเท่าของแผ่นดินไหวมีค่าเกินกว่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารร้อยละ 31.06, 43.96, 50.25 และ 22.65 สำหรับคานตำแหน่ง O5-P5 ขานพักบันไดชั้นที่ 1 เสา F3, G3 และ G4 ชั้นที่ 1 ตามลำดับ

References

- [1] Supot Jermsawadipong. (2014). "Message from the Director-General of Department of Mineral Resources". **Seminar on Lessons Learned from Maelao Earthquake, Chiang Rai**. November 20th, 2014. The Sukosol Hotel, Bangkok. (In Thai)

- [2] Burin Wechbunthung. (2014). "Seismic Data of Earthquake at Chiang Rai on May 5, 2014". **Seminar on Lessons Learned from Maelao Earthquake, Chiang Rai.** November 20th, 2014. The Sukosol Hotel, Bangkok. (In Thai)
- [3] The Office of Basic Education Committee. Ministry of Education. (2016). **Construction Data Archive, Information Group.** [Online]. Cited September 6th, 2016. Available: <http://bobec.bopp-obec.info>. (In Thai)
- [4] Ministry of Interior. (1997). **Ministerial Regulation No. 49 (B.E. 2540) Issued under Building Control ACT B.E. 2522.** Royal Thai Government Gazette Vol. 114 Section 67a: 51–56. November 11th, 1997. (In Thai)
- [5] Ministry of Interior. (2007). **Ministerial Regulation of Load Resistance and Endurance of Building and its Soil Underneath Resisting to Earthquake Vibration, B.E. 2550.** Royal Thai Government Gazette Vol. 124 Section 86a: 17 – 25. November 30th, 2007. (In Thai)
- [6] Ministry of Interior. (1979). **Building Control ACT B.E. 2522.** Royal Thai Government Gazette Vol. 80 Section 1af. May 14th, 1979. (In Thai)
- [7] Suthad Leelathaweewat and Pennung Wanitchai. (2014). "Lessons Learned from the Damage of Small and Medium Buildings according to Maelao Earthquake, Chiang Rai". **Seminar on Lessons Learned from Maelao Earthquake, Chiang Rai.** November 20th, 2014. The Sukosol Hotel, Bangkok. (In Thai)
- [8] Channarong Taensisang. (2015). **The Study of the Reinforced Earthquake Resistance of the Building Structure in Sanklangvittaya School, Chiangrai Thailand.** Master of Engineering Thesis in Construction and Infrastructure Management, Suranaree Technology University. (In Thai)
- [9] Computers and Structures, Inc. (2015). **ETABS 2015.** 1646 N. California Blvd., Suite 600 Walnut Creek, CA 94596, USA.
- [10] American Concrete Institute. (1999). **ACI 318-99 Building Code Requirements for Structural Concrete & Commentary.** 38800 Country Club Dr., Farmington Hills, MI 48331-3439, USA.
- [11] Maelao Wittayakhom School. (2016). [Online]. Cited September 6th, 2016. Available: <https://www.facebook.com/pg/maelao/photos>. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



วิชวัฒน์ เสมาชัย นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 โทรศัพท์ 083-999-4366 E-mail: Curved_beam@hotmail.com



วิกรม พนิชการ ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ แขวง/เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 โทรศัพท์ 090-1977676 E-mail: vicrom@hotmail.com สนใจงานวิจัยด้าน Structural Health Monitoring, Structural Dynamics and Vibration, Numerical Method and Computer Programming, Safety Engineering, และ Earthquake Engineering