

ผลกระทบเนื่องจากแรงลม (มยผ. 1311-50) และแรงแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52)

ต่อการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง

The Effects of Wind (DPT. 1311-50) and Earthquake (DPT. 1302-52) Loads

on Post-tensioned Concrete Flat Slab Design

ฉัตร สุจินดา

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

61 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กทม. 10900

E-mail: chatr.su@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองวิเคราะห์และออกแบบระบบโครงสร้างแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง-เสา-กำแพงรับแรงเฉือน เพื่อใช้รับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง แรงลม (มยผ. 1311-50) และแรงแผ่นดินไหว (มยผ. 1302-52) โดยไม่ใช้ชิ้นส่วนโครงสร้างที่เป็นคานเข้ามาเกี่ยวข้อง ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและสเปคตรัมการตอบสนอง และเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ออกแบบโดยเน้นเฉพาะผลกระทบของแรงด้านข้าง ที่มีต่อปริมาณเหล็กเสริมข้ออ้อยในส่วนของแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง

จากการศึกษาอาคารแปลนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีจำนวน 6 ช่วงสเปนทั้งสองทิศทาง มีความสูง 7, 14, 21 และ 28 ชั้นและมีความหนาของแผ่นพื้นคองที่พบว่าอาคารสูง 21 และ 28 ชั้นต้องใช้เหล็กเสริมปริมาณมากมายจนไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ อัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมที่พิจารณาแรงลมตาม มยผ. 1311-50 และแรงโน้มถ่วงต่อที่พิจารณาแต่แรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว 1.02, 1.72 และ 4.55 เท่าสำหรับอาคารสูง 7, 14 และ 21 ชั้นตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนปริมาณ

เหล็กเสริมที่พิจารณาทั้งแรงลมตาม มยผ. 1311-50, แรงแผ่นดินไหวตาม มยผ. 1302-52 ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและแรงโน้มถ่วง ต่อที่พิจารณาแต่แรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว 2.65, 48.30 และ 140.00 เท่าสำหรับอาคารสูง 7, 14 และ 21 ชั้นตามลำดับ และสุดท้ายปริมาณเหล็กเสริมที่พิจารณาทั้งแรงลมตาม มยผ. 1311-50 และแรงแผ่นดินไหวตาม มยผ. 1302-52 ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีสเปคตรัมการตอบสนอง และแรงโน้มถ่วง ต่อที่พิจารณาแต่แรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว 2.01, 30.27 และ 71.76 เท่าสำหรับอาคารสูง 7, 14 และ 21 ชั้นตามลำดับ

คำสำคัญ: ผลกระทบของแรงด้านข้าง, มาตรฐานการออกแบบอาคารของไทย, แผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง

Abstract

This research presents a study of trial analysis and design of post-tensioned concrete flat slab-column-shear wall system for wind (DPT. 1311-50), earthquake (DPT. 1302-52) and

gravity resistant without any support from beam structural members by using the equivalent static force and response spectrum methods. The comparison of the analysis and design results emphasizes on the effects of the lateral loads on total amount of mild reinforcing steel in the post-tensioned concrete flat slab.

From the study of a square shaped buildings plan, there are 6 spans in both directions with 7, 14, 21 and 28 story heights and constant slab thickness, it was found that the 21 and 28 story buildings need tremendous amount of slab mild reinforcement and uneconomic. The ratios of the total mild reinforcement amount in the flat slabs considering both wind load as per DPT. 1311.50 code and gravity load over considering gravity load alone are 1.02, 1.72 and 4.55 for 7, 14 and 21 story buildings respectively while the ratios considering wind load as per DPT. 1311-50 code, earthquake load as per DPT. 1302-52 (equivalent static force) and gravity load over considering gravity load alone are 2.65, 48.30 and 140.00 for 7, 14 and 21 story buildings respectively. Lastly, the ratios of total mild reinforcement amount considering wind load as per DPT. 1311-50 code, earthquake load as per DPT. 1302-52 (response spectrum) and gravity load over considering gravity load alone are

2.01, 30.27 and 71.76 for 7, 14 and 21 story buildings respectively.

KEYWORDS: Effects of lateral loads, Thai building codes, Post-tensioned concrete flat slabs.

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปี 2550 กรมโยธาธิการและผังเมืองได้ออกมาตรฐานสำหรับออกแบบอาคารเพื่อต้านแรงลม มยผ. 1311-50 [1] และในปี 2552 ได้ออกมาตรฐานสำหรับออกแบบอาคารเพื่อต้านแรงแผ่นดินไหว มยผ. 1302-52 [2] ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณที่ซับซ้อน และผู้ออกแบบอาคารส่วนใหญ่ยังไม่พร้อมที่จะออกแบบตามมาตรฐานทั้งสองได้อย่างรวดเร็ว โดยที่มาตรฐาน มยผ. 1311-50 ได้ใช้หลักการและสูตรคำนวณส่วนใหญ่มาจากมาตรฐาน National Building Code of Canada 2005 [3] ของประเทศแคนาดา ส่วนมาตรฐาน มยผ. 1302-52 มาจากมาตรฐาน SEI/ASCE 7-05[4] ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ได้มีการปรับให้เหมาะสมสำหรับเหมาะสมสำหรับประเทศไทย

ในอดีตได้นิยมใช้ระบบพื้น-คานเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง และใช้ระบบโครงข้อแข็งรับโมเมนต์ซึ่งประกอบด้วยคาน-เสา-กำแพงรับแรงเฉือนเพื่อรับแรงด้านข้าง (แรงลมและแผ่นดินไหว) แยกอิสระจากกันแต่ในปัจจุบันระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงเป็นที่นิยมกันมากขึ้น ผู้ออกแบบอาคารจึงต้องพิจารณาระบบพื้น-เสา-กำแพงแรงเฉือนสำหรับรับทั้งน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งและแรงด้านข้าง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวและแรงลมที่มีต่อแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงในระบบพื้น-เสากำแพงแรงเฉือน ตามมาตรฐานของประเทศไทยที่มีผลบังคับใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.3 ประโยชน์

สามารถนำผลที่ศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารประเภทแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่ต้องออกแบบเพื่อรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของประเทศไทย

1.4 ขอบเขต

1. ศึกษาถึงผลกระทบเนื่องจาก แรงลมตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และแรงแผ่นดินไหว ตามมาตรฐาน มยผ. 1302-52
2. ศึกษาเฉพาะอาคารตัวอย่างที่ใช้โครงสร้างแบบ แผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงสูง 7, 14, 21 และ 28 ชั้น
3. ศึกษาขนาดของเสากำแพงรับแรงเฉือนที่เพียงพอในการต้านทานแรงด้านข้าง
4. ศึกษาอาคารที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จะเชิงเทรา และสมุทรปราการ เท่านั้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ค้นคว้างานวิจัยที่ศึกษาถึงการออกแบบอาคารต้านแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ทั้งแบบที่รับแรงด้านข้างด้วยระบบคาน-เสากำแพงรับแรงเฉือน และพื้น-เสากำแพงแรงเฉือน รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสามมิติ เรียงลำดับตามปีที่เผยแพร่ไว้ดังนี้

ในปี พศ. 2545 สำเนียง องสุพันธ์กุล และต่อ กุล กาญจนาลัย [5] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครงสร้างระบบคาน-เสากำแพงรับแรงเฉือนคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีประมาณและวิธีวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ โครงสร้างที่ศึกษามีช่วงเสา 3 ถึง 4 ช่วง สูง 10 และ 15 ชั้น จำนวน 3 อาคาร โดยพิจารณา น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้ง แรงลมและแรงแผ่นดินไหว ในเขต กทม. วิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามมาตรฐาน UBC 1994 โซน 1 และ วิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ภายใต้พิกัดยึดหยุน โดยการวิเคราะห์เชิงประวัติเวลา กำหนดค่าอัตราเร่งสูงสุด เท่ากับ 0.075g ซึ่งการวิเคราะห์เชิงประวัติเวลาดังกล่าวได้ค่าการเคลื่อนตัวที่ยอดของอาคาร 7-8 เท่า เสาต้นริมชั้นล่างมีแรงตามแนวแกน 1.7-1.8 เท่า แรงเฉือน 4.3-6 เท่า และโมเมนต์ดัด 5-7 เท่า

ในปี พศ. 2550 บุญชา คำวอน, สมชาย ชูชีพ สกุล และสุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ [6] ได้ศึกษาผลกระทบด้านราคาของโครงสร้างอาคารสูงระบบคาน-เสากำแพงรับแรงเฉือน ที่ออกแบบต้านทานแรงลมตามมาตรฐานในประเทศไทย ซึ่งออกแบบตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 6 (พศ. 2527) เปรียบเทียบแรงลมตามมาตรฐาน วสท. ซึ่งได้ศึกษาอาคารสูง 30 ชั้น และพิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อราคาค่าก่อสร้าง จากการศึกษาพบว่า การออกแบบตามมาตรฐาน วสท. มีผลต่อราคาค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นในกำแพงรับแรงเฉือนส่วนพื้น คาน เสา และ ฐานราก พบว่าน้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งเป็นตัวกำหนดการออกแบบ จากการเปรียบเทียบพบว่า การออกแบบตามมาตรฐาน วสท. ทำให้ค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น 0.50% เมื่อเทียบกับตามออกแบบตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 6 (พศ. 2527)

ในปี พศ. 2551 ฉัตร สุจินดา [7] ศึกษาเปรียบเทียบผลการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยใช้โปรแกรม Adapt PT เพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือน และโปรแกรม RAM Concept เพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ ซึ่งได้ศึกษาแผ่นพื้นไร้คานที่มีการจัดวางของเสาต่างๆ กัน ทั้งในแนวที่ตั้งฉากอย่างเป็นระเบียบ และไม่ตั้งฉากอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งมีกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี โดยได้แปรเปลี่ยนตำแหน่งของเสาบางต้นให้หลุดออกไปจากแนวของเสาอื่นๆ จากการศึกษาพบว่า วิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติจะให้ค่าหน่วยแรงเฉื่อยที่มากกว่าในเชิงที่ปลอดภัย (Conservative) เมื่อเทียบกับผลได้จากวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์สามมิติ

ในปี พศ. 2552 ฉัตร สุจินดา [8] ได้เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ทุดิยภูมิในแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่วิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยใช้โปรแกรม RAM Concept เพื่อใช้วิเคราะห์ทั้งสองวิธี จากการศึกษาพบว่า ในกรณีที่การจัดเรียงของเสาไม่อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกัน หากเป็นไปได้จึงควรใช้วิธีไฟไนท์อีลีเมนต์สามมิติมากกว่าวิธีโครงข้อแข็งสองมิติ เนื่องจากจะให้คำตอบของโมเมนต์ทุดิยภูมิ และค่าของแรงทุดิยภูมิอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งจะต้องเป็นการวิเคราะห์แบบสามมิติเท่านั้นจึงจะได้คำตอบ แต่สำหรับกรณีการจัดเรียงของเสาอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกัน วิธีโครงข้อแข็งสองมิติจะให้คำตอบใกล้เคียงกับวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์สามมิติ

ในปี พศ. 2553 สมชาย ตงอาภรณ์ และฉัตร สุจินดา [9] ศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับ

แผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ โดยพิจารณาเฉพาะผลของแรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว อาศัยข้อมูลราคาต่อหน่วยของวัสดุก่อสร้าง และค่าแรงในประเทศไทย เพื่อนำมาทดลองออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่ความหนา กำลังอัดประลัยของคอนกรีต และน้ำหนักบรรทุกจรต่างๆ กัน โดยใช้โปรแกรม RAM Concept มีกรณีศึกษาสำหรับการจัดเรียงตำแหน่งของเสาในพื้นทั้งหมด 6 กรณี จากนั้นได้นำไปหาสมการอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายความหนาที่เหมาะสม ที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างรวมต่ำสุด เพื่อช่วยให้วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประมาณราคา และเป็นแนวทางในการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงเบื้องต้น

ในปี พศ. 2553 ศุภกฤษณ์ หมั่นคิด และ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ [10] ได้ศึกษาปริมาณเหล็กเสริมและลวดอัดแรงสำหรับการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงภายหลัง เพื่อต้านแรงลมและแรงแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย โดยได้เปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของแรงลมและแรงแผ่นดินไหวซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน มยผ. 1301-50 และ มยผ. 1311-50 กับมาตรฐานของ ACI, UBC และ วสท. โดยได้ศึกษาอาคารจำนวน 8 หลัง สูง 6-27 ชั้น รวม 160 กรณีศึกษา พบว่าจากการออกแบบตามมาตรฐานต่างๆ ดังกล่าว เพิ่มปริมาณเหล็กเส้นประมาณ 13-18% และไม่เพิ่มปริมาณลวดอัดแรง ซึ่งจะทำให้ค่าก่อสร้างรวมเพิ่มขึ้น 5-6% อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้วิธีวิเคราะห์ผลของแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

ในปี พศ. 2553 Bharath G. N. et al. [11] ได้ศึกษาเปรียบเทียบอาคาร 2 แห่งในประเทศอินเดียคือ

(1) Mass-3 ซึ่งเป็นอาคารสำนักงาน ยาว 90 m กว้าง 30 m สูง 4 ชั้น และมีจอตลอดดิน 1 ชั้น และ (2) RPS ซึ่งเป็นอาคารเพื่อการพาณิชย์ ยาว 50 m กว้าง 25 m สูง 4 ชั้น และมีจอตลอดดิน 1 ชั้น จากการศึกษาโดยได้ออกแบบตามมาตรฐาน IS 456-2000, IS1893 Part 1 และ IS 875 Part 3 ของประเทศอินเดีย ซึ่งอาคารดังกล่าวอยู่ในโซนแผ่นดินไหวเบาบาง ดังนั้นมาตรฐานจึงอนุญาตให้ออกแบบแผ่นพื้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง โดยไม่ต้องแยกระบบรับแรงด้านข้างออกจากระบบพื้นอย่างสิ้นเชิง ผู้แต่งได้ให้ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างแผ่นพื้นไร้แบบคอนกรีตอัดแรงกับระบบคอนกรีตเสริมเหล็กว่า ข้อได้เปรียบของคอนกรีตอัดแรงคือการได้หน้าตัดแบบไม่แตก (Non-cracked Section) ซึ่งจะทำให้ระยะการโก่งตัวของแผ่นพื้นลดลงมากเมื่อเทียบกับหน้าตัดแบบแตก (Cracked Section) ส่งผลทำให้สามารถลดความหนาของแผ่นพื้นลงได้ โดยที่สามารถรักษาระยะการโก่งไม่ให้เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด แต่จากการศึกษาโครงสร้างของทั้ง 2 อาคารที่กล่าวมาพบว่า หากใช้แผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงก็ยังได้หน้าตัดแบบแตกอยู่ดี ดังนั้นจึงต้องกำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงให้เท่ากับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และเนื่องจากค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมของระบบคอนกรีตอัดแรงจึงทำให้ราคาค่าก่อสร้างของระบบคอนกรีตเสริมเหล็กต่ำกว่าระบบคอนกรีตอัดแรงอยู่ 20%

ในปี พศ. 2554 Tilva, V. K. et al. [12] ได้ศึกษาผลกระทบทางด้านราคาของแผ่นพื้นไร้คานของอาคาร 4 ชั้นในประเทศอินเดียโดยใช้โปรแกรม ETAB วิเคราะห์ตามมาตรฐาน IS 1893 ของประเทศอินเดีย

โดยได้เปรียบเทียบแผ่นพื้นแบบที่มีและไม่มีแป้นหัวเสา น้ำหนักบรรทุกตายตัวที่รวมน้ำหนักโครงสร้างแล้ว 1 kN/m^2 (102 kg/m^2) และน้ำหนักบรรทุกจร 4 kN/m^2 (408 kg/m^2) Importance Factor (I)=1, Response Reduction Factor (R)=5 โดยมีข้อกำหนดคือ (1) ระยะเสา 6 m x 6 m, จำนวนสแปน 3 x 3, มีกำแพงรับแรงเฉือนที่มุมของอาคาร (2) วิเคราะห์ผลของแรงกระทำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงกระทำด้านข้างโดยใช้โปรแกรม ETAB จากนั้นนำข้อมูลออกไปให้โปรแกรม SAFE (3) คำนวณผลของแรงเฉือนเจาะทะลุวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAFE (4) กำหนดขนาดของเสาและกำแพงกำหนดโดยให้กำแพงรับแรงเฉือน 75% ของแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ผลการศึกษาพบว่าแผ่นพื้นหนา 15 cm ที่มีแป้นหัวเสาน้ำหนักเพิ่มอีก 5 cm มีราคาต่ำกว่าแผ่นพื้นหนา 22.5 cm ที่ไม่มีแป้นหัวเสาอยู่ 29%

จากการศึกษาที่ผ่านมาทั้งหมดเท่าที่ค้นคว้ามาได้ เป็นการศึกษาถึงการวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่พิจารณาผลแต้ของน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, แรงด้านข้างเนื่องจากแรงลมตามมาตรฐานเก่าและแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามมาตรฐาน มยผ. 1302-52 หรือไม่ก็เป็นการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ตามมาตรฐานของต่างประเทศ ผู้วิจัยยังไม่พบถึงงานวิจัยใดที่ศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง-เสา-กำแพงรับแรงเฉือน โดยที่พิจารณาถึงแรงด้านข้างทั้งเนื่องจากแรงลมตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ โดยใช้กราฟสเปคตรัมการตอบสนองของมาตรฐาน มยผ. 1302-52 แต่อย่างไรก็ตาม หากมี

การศึกษาถึงผลกระทบของทั้งแรงลมและแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ ตามมาตรฐานดังกล่าว ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวงการวิศวกรรมโครงสร้าง เนื่องจากมาตรฐานทั้งสองนี้เป็นมาตรฐานล่าสุดที่จะต้องใช้สำหรับการออกแบบอาคารในปัจจุบัน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของแรงด้านข้างที่มีต่อขนาดของชิ้นส่วน (ขนาดเสา, กำแพงรับแรงเฉือน, ความหนาของพื้น) ในระบบโครงสร้างพื้นไร้คานอัดแรง เปรียบเทียบระหว่างที่พิจารณาแต่น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วงอย่างเดียว กับการพิจารณาทั้งน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, แรงด้านข้างที่เกิดจากแรงลมตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ. 1302-52 โดยใช้โปรแกรม ETAB 9.7.4 ในการวิเคราะห์ทั้งด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและวิธีสเปคตรัมการตอบสนอง และใช้โปรแกรม SAFE 12.3.2 เพื่อการออกแบบรายละเอียดเหล็กเสริมในพื้นที่ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. วิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อหาแรงภายในที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Load Combinations ต่างๆ ใน SEI/ASCE7-05[4] ด้วยโปรแกรม ETAB 9.7.4 สำหรับวิธีแรงสถิตเทียบเท่า ใช้การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยอัตโนมัติ ในโปรแกรม ETAB 9.7.4 ตามมาตรฐาน IBC2006[13] ซึ่งต้องใส่ค่าต่างๆ เพื่อหลอกให้โปรแกรมคำนวณ S_u ตรงกับมาตรฐาน มยผ. 1302-52 (ดูรายละเอียดอยู่ในส่วนผลการวิจัย) สำหรับวิธีสเปคตรัมการตอบสนอง ใช้การกำหนด

กราฟสเปคตรัมของอัตราเร่งจากมาตรฐาน มยผ. 1302-52 ส่วนการวิเคราะห์แรงลม ใช้โปรแกรมหงานกยง 2.1 ซึ่งพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คำนวณแรงดันที่หวลมและห่ายลมของแต่ละชั้น แล้วนำมาแปลงเป็นแรงลมสุทธิของแต่ละชั้นใส่ที่จุดศูนย์กลางมวลของ Rigid Diaphragm ในโปรแกรม ETAB 9.7.4

2. ออกแบบโครงสร้างอาคาร โดยเลือกขนาดเสาและกำแพงรับแรงเฉือนที่เหมาะสม ด้วยโปรแกรม ETAB 9.7.4 และตรวจสอบ Inter-story Drift ไม่ให้เกินกว่าค่าที่ยอมให้ซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐาน มยผ. 1302-52

3. นำข้อมูลของแรงภายในที่เกิดขึ้นสำหรับแผ่นพื้น ในแต่ละชั้นออกจากโปรแกรม ETAB 9.7.4 ซึ่งรวมไปถึงผลของ Load Combination ที่มีแรงด้านข้างด้วย

4. นำข้อมูลดังกล่าวเข้าไปยังโปรแกรม SAFE 12.3.2 แล้วออกแบบแผ่นพื้นไร้คาน โดยกำหนดปริมาณลวดอัดแรงให้เท่ากัน สำหรับทุกชั้นและทุกกรณี (ดังแสดงในรูปที่ 1)

5. ให้รายละเอียด (Detailing) เหล็กเสริมข้ออ้อยรวมไปถึงการเลือกขนาดและจำนวนเหล็กเส้นที่ใช้ในแผ่นพื้นไร้คานจากพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณได้ของแต่ละ Design Strip และถอดปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้จริงจากรายละเอียดของเหล็กเสริมโดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรม SAFE 12.3.2

6. ศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ออกแบบ โดยกำหนดให้ความหนาของแผ่นพื้นคงที่สำหรับทุกชั้นและทุกกรณี และให้ขนาดเสาและกำแพงรับแรงเฉือนมีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกันให้มากที่สุด เพื่อเป็นการควบคุมให้เหลือแต่ผลกระทบที่มาจากแรงลมและ

แรงแผ่นดินไหว และสรุปผลโดยเน้นเฉพาะปริมาณ เหล็กเสริมข้อ้อยู่ในแผ่นพื้นที่แตกต่างกันออกไป

4. ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองวิเคราะห์และ ออกแบบโครงสร้างแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่พิจารณาถึง Load Combination ใน 4 กลุ่มตามตารางที่ 1

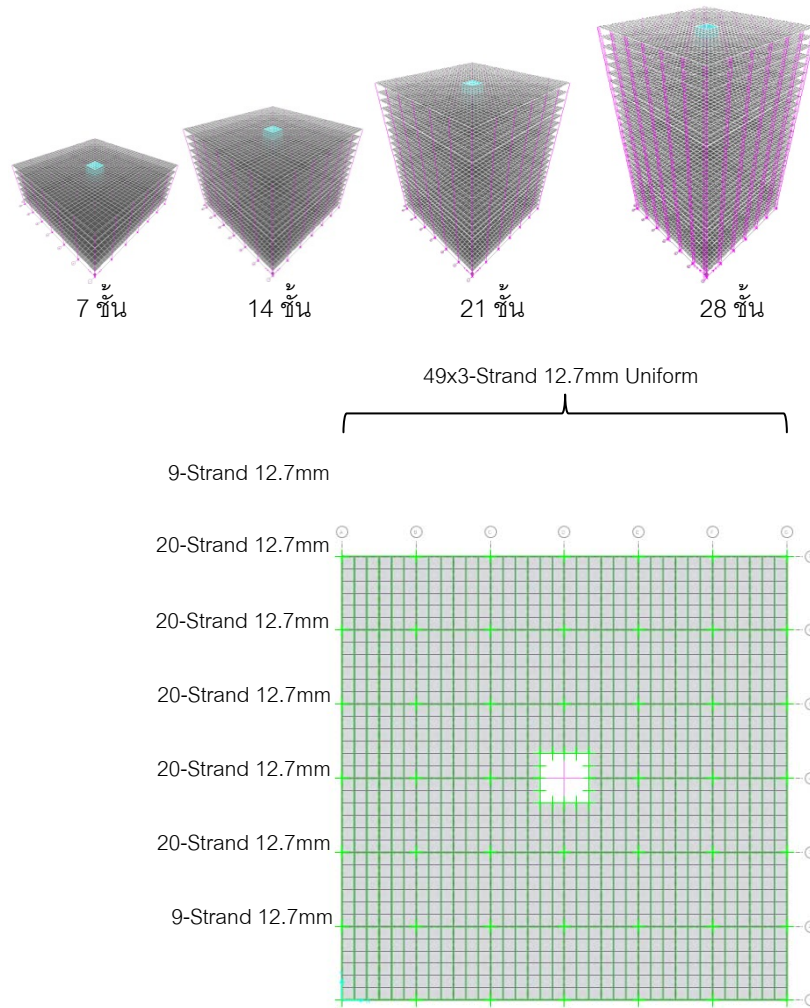
ตารางที่ 1 กรณีการออกแบบที่พิจารณาในการศึกษา เปรียบเทียบ

กรณีศึกษา Load Combination	แรง โน้ม ถ่วง	แรง ตาม มาตรฐาน มยผ. 1311-50	แรงแผ่นดินไหวตาม มาตรฐาน มยผ. 1302-52	
			วิธีแรง สถิต เทียบเท่า	วิธี สเปคตรัม การ ตอบสนอง
ก.	✓			
ข.	✓	✓		
ค.	✓	✓	✓	
ง.	✓	✓		✓

หมายเหตุ: การพิจารณา Load Combination ที่มีผลของแรงกระทำหลายๆ อย่างพร้อมกัน ไม่ได้หมายถึงการนำผลของทุกแรงกระทำมารวมกันในเชิงคณิตศาสตร์ แต่เป็นการคำนวณ Load Combination แต่ละอย่างแล้วเปรียบเทียบค่าที่สูง/ต่ำสุดในแต่ละหน้าตัดของการออกแบบไปพร้อมๆ กันเพื่อให้ครอบคลุมสภาวะวิกฤตซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้

กำหนดให้อาคารที่ศึกษาเป็นอาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก ซึ่งตาม

มาตรฐานแรงแผ่นดินไหว มยผ. 1302-52 ได้กำหนดให้เป็นประเภทความสำคัญ III (มาก) ใช้ค่า $I=1.25$ แต่ในมาตรฐานแรงลม มยผ. 1311-50 ได้กำหนดให้ใช้ค่า $I=1.15$ (ค่า I แตกต่างกันเนื่องจาก มยผ. 1302-52 เามาจากของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ มยผ. 1311-50 เามาจากประเทศแคนาดา กำหนดให้อาคารที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา และสมุทรปราการ ซึ่งตั้งอยู่ในโซน 5 เป็นอาคารที่ใช้ระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง-เสาก้ำแพงรับแรงเฉือน ดังนั้นสำหรับโซน 5 จะต้องพิจารณา S_{DS} เป็น $S_a(0.2sec)=0.126g$ และ S_{D1} เป็น $S_a(1sec)=0.158g$ ซึ่งสำหรับอาคารประเภทความสำคัญ III (มาก) $S_{DS}<0.167$ จะต้องออกแบบด้านแผ่นดินไหวประเภท ก (ไม่ต้องออกแบบ) แต่ $0.133 \leq S_{D1} < 0.20$ จะต้องออกแบบด้านแผ่นดินไหวประเภท ค ซึ่งตาม มยผ. 1302-52 ได้กำหนดให้เลือกใช้ระบบโครงสร้างอื่นที่รุนแรงกว่า ดังนั้นจึงต้องเลือกระบบโครงสร้างประเภท ค ซึ่งอย่างน้อยต้องเลือกระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility / Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame) ร่วมกับก้ำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall) และมีค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง $R=5.5$ ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน $\Omega_0 = 2.5$ และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว $C_u=4.5$ จึงจะครอบคลุมการออกแบบด้านแผ่นดินไหว ประเภท ค ได้



แปลนของอาคารและปริมาณลวดอัดแรงที่กำหนด

รูปที่ 1 แบบจำลองและรายละเอียดอาคารที่ใช้ในโปรแกรม ETAB 9.7.4 และ SAFE 12.3.2

จำนวนชั้นของอาคารที่ศึกษา 7, 14, 21 และ 28 ชั้น ใช้แผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง จำนวนช่วงสเป้น 6 X 6 ความยาวช่วงสเป้น 8 m x 8 m ความสูงระหว่างชั้น 3 m มีกำแพงรับแรงเฉือนขนาด 5.3 m x 5.3 m ตรงกึ่งกลางของแปลนอาคารเพื่อใช้เป็นช่องลิฟต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่เพิ่มเติม (Additional Dead Load) 120 kg/m² (วัสดุปูพื้น, งานท่อระบบ และฝ้าเพดานรวมโครง) และน้ำหนักบรรทุกทุก

จร 300 kg/m² กำหนดให้จุดรองรับที่ฐานทุกจุดเป็นแบบยึดแน่น ตามที่อนุญาตไว้ใน มยผ. 1302-52

5. ผลการวิจัย

1. จากการคำนวณค่าคาบการสั่น T ตามสมการ $T=0.02H$ (สำหรับอาคารคอนกรีต) เมื่อ H คือความสูงของอาคารมีหน่วยเป็น m เปรียบเทียบกับคาบการสั่นของโหมดพื้นฐานที่จาก Eigenvalue Analysis ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คาบการสั่นในโหมดแรก (พิจารณาเฉพาะ Sway Mode) ที่ได้จากการวิเคราะห์ และค่า $T=0.02H$

จำนวนชั้น	คาบการสั่นในโหมดแรก (sec) (พิจารณาเฉพาะ Sway Mode)		
	Eigenvalue Analysis	$T=0.02H$	$1.5T$
7	1.28	0.42	0.63
14	3.89	0.84	1.26
21	7.25	1.26	1.89
28	9.06	1.68	2.52

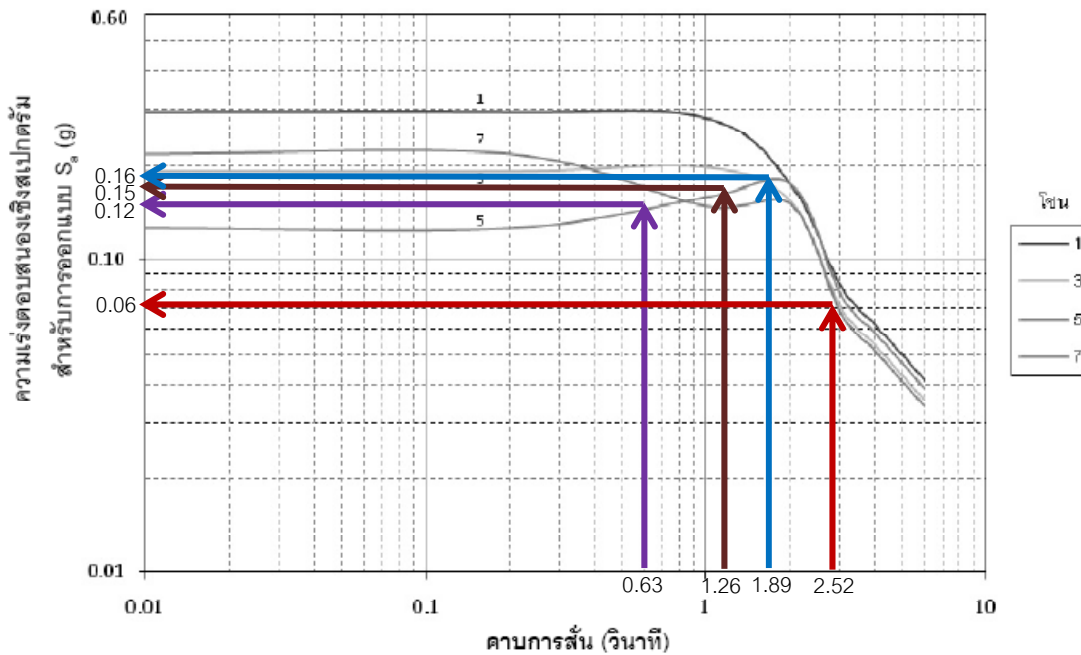
จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าคาบการสั่นในโหมดแรก ที่วิเคราะห์ได้จาก Eigenvalue Analysis มีค่าไม่เกิน $1.5T$ สำหรับสำหรับทุกจำนวนชั้นของอาคารที่ศึกษา ดังนั้นในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะใช้คาบการสั่นที่ $1.5T$

2. จากคาบในตารางที่ 2 สามารถนำมาหาความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธี

แรงสถิตเทียบเท่า S_a ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ (โซน 5) ดังแสดงในรูปที่ 2 จะได้ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า S_a ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพโซน 5 สำหรับอาคาร 7, 14, 21 และ 28 ชั้น ซึ่งในการวิเคราะห์แบบแรงสถิตเทียบเท่าโดยใช้โปรแกรม ETAB 9.7.4 นั้น จะต้องกำหนดค่า S_s และ S_1 ดังนั้นจึงต้องลอกโปรแกรมให้คำนวณค่า S_a ออกมาตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดค่า S_{DS} และ S_{D1} ที่ทำให้ได้ค่า S_a ที่คำนวณโดยโปรแกรม ETAB 9.7.4 เท่ากับ S_a ที่ทำได้ของแอ่งกรุงเทพดังนั้นต้องใส่ค่า S_s และ S_1 ที่คำนวณย้อนกลับตามสมการที่(1) และ (2) ซึ่งต้องทราบค่า F_a และ F_v ซึ่งโปรแกรม ETAB 9.7.4 จะคำนวณมาให้

$$S_s = (3/2) S_{DS} / F_a \quad (1)$$

$$S_1 = (3/2) S_{D1} / F_v \quad (2)$$



รูปที่ 2 การหาค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า S_a ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ (ใช้เส้นโซน 5)

ถ้าใส่คาบของการสั่น (เช่นของอาคาร 7 ชั้น) $T=0.63\text{sec} < T_s$ โปรแกรมจะคำนวณ S_a จาก S_{DS} และ S_{D1} ซึ่งถ้าเรากำหนดให้ $S_{DS}=S_a=0.12g$ และ $S_{D1}=S_a=0.12g$ จะได้ $S_{D1} \leq S_{DS}$ และ $T_s=S_{D1}/S_{DS}=1.0$ ดังนั้นโปรแกรมจะคำนวณ S_a ดังในรูปที่ 3

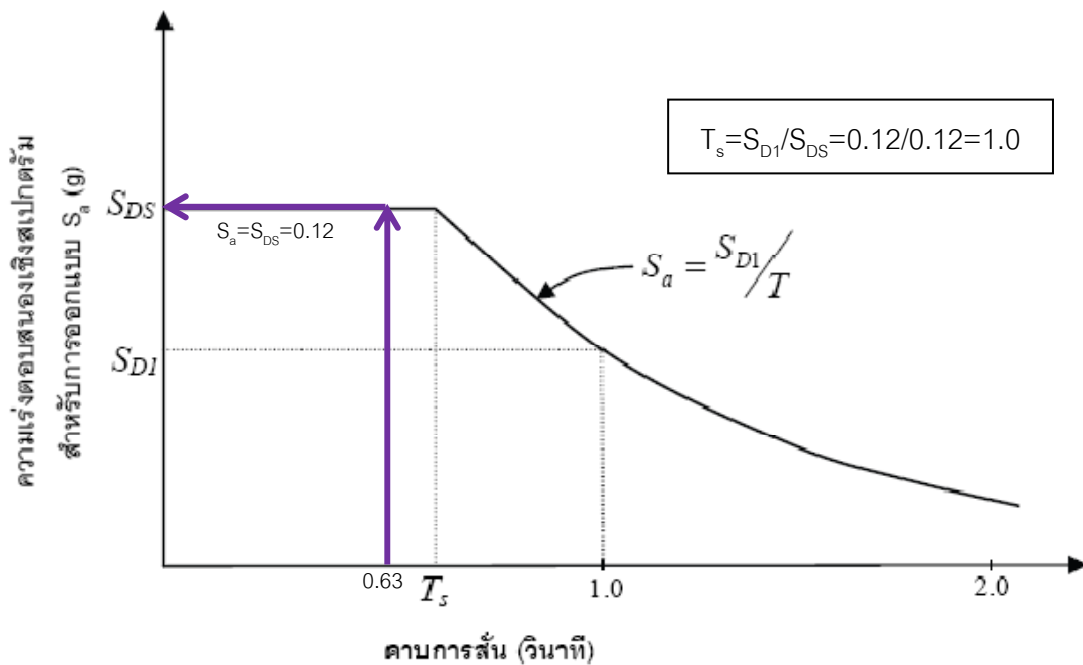
ถ้าใส่คาบของการสั่น $T=1.26\text{sec} > T_s$ (เช่นอาคาร 14 ชั้น) โปรแกรมจะคำนวณ S_a จาก S_{DS} และ S_{D1} ซึ่งถ้าเรากำหนดให้ $S_{DS}=S_a=0.15g$ และ $S_{D1}=S_a \cdot T=0.15 \cdot 1.26g = 0.189g$ จะได้ $S_{D1} > S_{DS}$ ดังนั้นโปรแกรมจะคำนวณ S_a ดังในรูปที่ 4 ในทำนองเดียวกันสำหรับ $T=1.89\text{sec}$ (อาคาร 21 ชั้น) และ $T=2.52\text{sec}$ (อาคาร 28 ชั้น) จะได้ S_a ดังในตารางที่ 3

จากนั้นคำนวณกลับเพื่อหา S_s และ S_1 จาก Site Coefficient F_a และ F_v สำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ อยู่ในโซน E และจากสมการ (1) และ (2) จะสามารถ

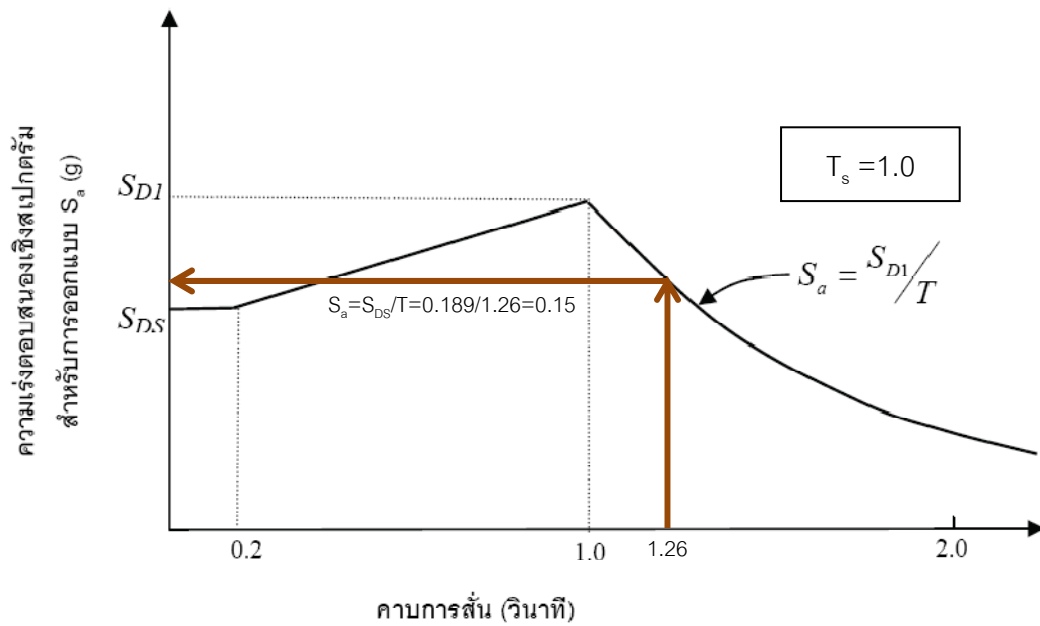
คำนวณค่า S_s และ S_1 สำหรับอาคารตัวอย่างได้ในตารางที่ 4

เมื่อนำค่า S_s และ S_1 จากตารางที่ 4 ไปใส่ใน IBC2006 Seismic Loading ของ ETAB 9.7.4 โปรแกรมจะคำนวณค่า F_a และ F_v จาก Site Class ที่ระบุ (E) เช่นเดียวกับใน มยพ. 1302-52 ซึ่งสามารถนำไปตรวจสอบกับค่า F_a และ F_v ที่สมมติเอาไว้ในตารางที่ 4 ได้ หากได้ค่าที่ไม่ตรงกับที่สมมติไว้ ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องคำนวณค่า S_s และ S_1 ใหม่ ทำอย่างนี้ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าจะนิ่ง

3. จากการทดลองออกแบบโดยใช้เสาขนาดต่างๆ ด้วยโปรแกรม ETAB 9.7.4 และแผ่นพื้นความหนาต่างๆ ด้วยโปรแกรม SAFE 12.3.2 โดยใช้คอนกรีตกำลังอัดประลัย 320 kg/cm^2 และเหล็กเสริมข้อ้อยกำลังดึงที่จุดคราก $5,000 \text{ kg/cm}^2$ ทั้งในเสา,



รูปที่ 3 การคำนวณหา S_a ด้วยโปรแกรม ETAB 9.7.4 ตามมาตรฐาน IBC2006 ซึ่งคล้ายกับ มยพ. 1302-52 กรณีที่ไม่ใช่แอ่งกรุงเทพฯ เมื่อ $S_{D1} \leq S_{DS}$ เช่นอาคาร 7 ชั้นมี $T=0.63 \text{ sec}$



รูปที่ 4 การคำนวณหา S_a ด้วยโปรแกรม ETAB 9.7.4 ตามมาตรฐาน IBC2006 ซึ่งคล้ายกับ มยพ. 1302-52 กรณีที่ไม่ใช่แอ่งกรุงเทพ เมื่อเมื่อ $S_{D1} > S_{DS}$ เช่นอาคาร 14 ชั้นมี $T=1.26$ sec

ตารางที่ 3 การกำหนดค่า S_{DS} และ S_{D1} เพื่อหลอกให้โปรแกรม ETAB9.7.4 คำนวณ S_a ตามที่ต้องการ

จำนวนชั้น	T จากรูปที่ 1	S_a จากรูปที่ 2 และ 3	$S_{DS}=S_a$	ถ้า $T \leq 1$ $S_{D1}=S_a$ ถ้า $T > 1$ $S_{D1}=S_a * T$	ถ้า $S_{D1} \leq S_{DS}$ $T_s = S_{D1}/S_{DS}$ ถ้า $S_{D1} > S_{DS}$ $T_s = 1.0$	ถ้า $T \leq T_s S_a = S_{D1}$ ถ้า $T > T_s S_a = S_{D1}/T$
7	0.63	0.12	0.12	0.120	1.0	0.12
14	1.26	0.15	0.15	0.189	1.0	0.15
21	1.89	0.16	0.16	0.302	1.0	0.16
28	2.52	0.06	0.06	0.151	1.0	0.06

ตารางที่ 4 การกำหนดค่า S_s และ S_1 เพื่อหลอกให้โปรแกรม ETAB 9.7.4 คำนวณ S_a ตามที่ต้องการ

จำนวนชั้น	สมมุติ F_a	สมมุติ F_v	$S_s = (3/2)S_{DS}/F_a$	$S_1 = (3/2)S_{D1}/F_v$	F_a	F_v
7	2.5	3.5	0.0720	0.0514	2.5	3.5
14	2.5	3.5	0.0900	0.0810	2.5	3.5
21	2.5	3.5	0.0960	0.1296	2.5	3.4
28	2.5	3.5	0.0360	0.0648	2.5	3.5

กำแพงรับแรงเฉือน และแผ่นพื้น พบว่าความหนาของแผ่นพื้นที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่ศึกษาสูง 7, 14 และ 21 ชั้นคือที่ความหนา 30 cm จากการวิเคราะห์ทั้งแบบแรงสถิตเทียบเท่าและพลศาสตร์แบบสเปกตรัมการตอบสนอง (เลือกความหนาของพื้นที่ใช้ได้กับอาคารทั้งสามจำนวนชั้นความสูง โดยกำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่ เพื่อจะได้เปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมจากผลกระทบอื่นๆ) ส่วนอาคารสูง 28 ชั้นถึงแม้จะทดลองเพิ่มความหนาของพื้นถึง 40 cm ก็ยังต้องใช้เหล็กเสริมข้อย้อยในพื้นที่ในปริมาณมหาศาล จึงสรุปได้ว่าที่ความสูง 28 ชั้นหรือสูงกว่าระบบโครงสร้างรับแรงด้านข้างแบบแผ่นพื้นไร้คาน-เสา-กำแพงรับแรงเฉือน ไม่เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงตัดอาคารที่สูงเกินกว่า 28 ชั้นออกไปจากการศึกษาในครั้งนี้ หากต้องการออกแบบอาคารสูงในระดับดังกล่าวควรจะต้องหาระบบโครงสร้างอื่นแทนจะเหมาะสมกว่าในแง่ของราคา

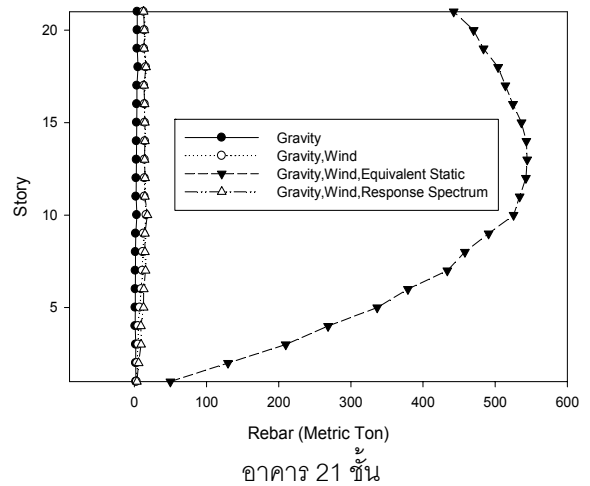
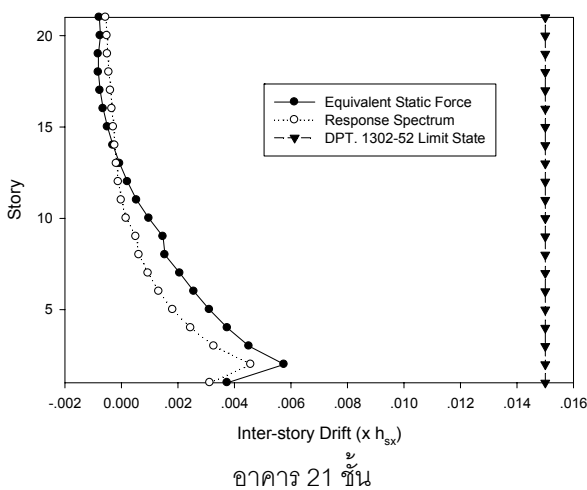
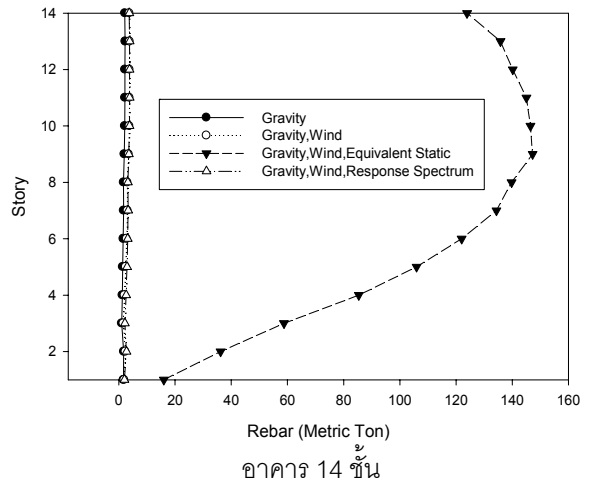
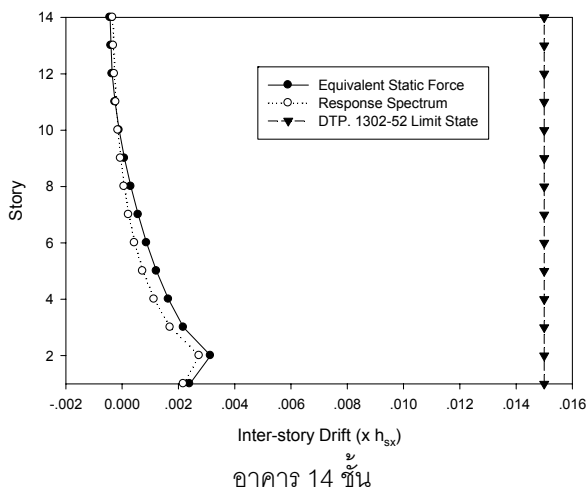
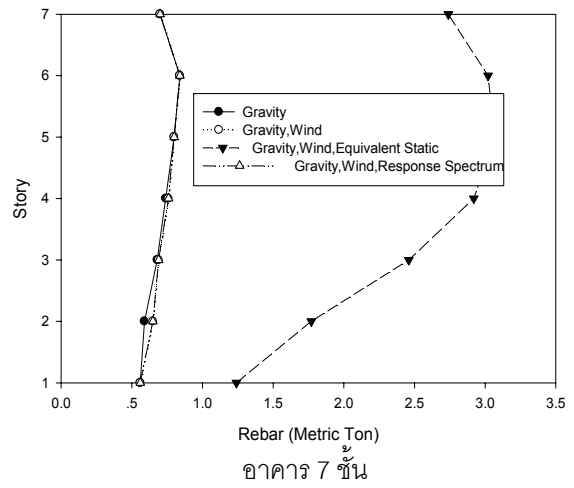
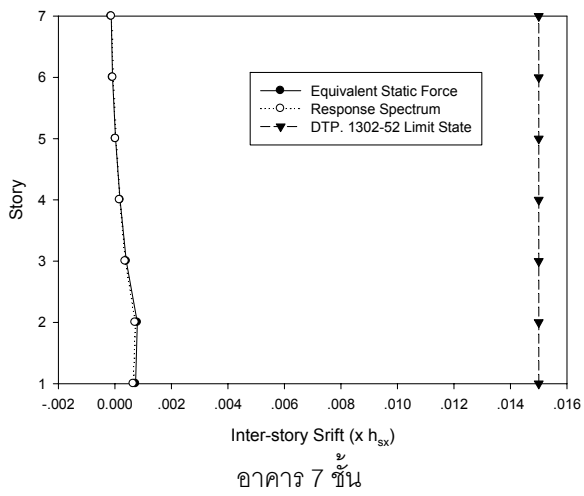
สำหรับการเลือกขนาดเสาที่ใช้ กรณีอาคารสูง 7 ชั้นขนาดเสาที่เหมาะสมคือ 70 cm x 70 cm แต่เนื่องจากมีขนาดไม่ต่างจาก 80 cm x 80 cm ของอาคาร 14 ชั้นมากนัก จึงเลือกใช้ขนาดเสาให้เท่ากันทั้งหมด เพื่อจะได้กำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่ ส่วนอาคารสูงที่ 21 ชั้นนั้นพบว่าจะต้องใช้เสาขนาด 100 cm x 100 cm สำหรับชั้น 1 ถึง 8 เพื่อสามารถรับแรงในทุกกรณีออกแบบ แต่สำหรับชั้น 9 ถึง 21 นั้นสามารถใช้ขนาดเสา 80 cm x 80 cm ได้เท่ากับกรณีอื่นๆจากการทดลองออกแบบที่ได้กล่าวมาขนาดของโครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ขนาดของโครงสร้างที่เลือกใช้

	7 ชั้น	14 ชั้น	21 ชั้น
เสา	80 cm x 80 cm (ชั้น 1-14)		100 cm x 100 cm (ชั้น 1-8) 80 cm x 80 cm (ชั้น 9-21)
กำแพง	25 cm (ชั้น 1-21)		
พื้น	30 cm (ชั้น 1-21)		

4. จากการตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-story Drift) ของอาคารทั้งสามชั้นความสูง เมื่อนำมาคูณกับ C_d/I พบว่ามีค่าไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ตาม มยผ. 1302-52 ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 5

5. จากการวิเคราะห์ห้ออกแบบแผ่นพื้นด้วยโปรแกรม SAFE 12.3.2 โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณลวดอัดแรงเท่ากับค่าเริ่มต้นของโปรแกรม และกำหนดให้โปรแกรมเลือกใช้เหล็กเสริมข้อย้อยขนาดตั้งแต่ 12 mm จนไปถึง 40 mm (ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระยะเรียงที่ได้) โดยใช้เฉพาะขนาดที่มีอยู่ใน มอก. 24-2548[14] และไม่ใช้ระยะการตัดเหล็กตามข้อกำหนด (Curtailment) เนื่องจากแรงภายในของแผ่นพื้นสำหรับกรณีที่เกิดจากแรงด้านข้าง มีลักษณะของการกระจายที่แตกต่างไปจากแรงโน้มถ่วงมาก (ซึ่งถ้าเลือกใช้ตัวเลือกดังกล่าวจะทำให้ปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นอีกมากโดยไม่จำเป็น) จะได้ปริมาณเหล็กของแต่ละชั้นดังในรูปที่ 6



รูปที่ 5 การตรวจสอบเปรียบเทียบอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Inter-story Drift) ต่อความสูงระหว่างชั้น ที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่ยอมให้ตาม มยผ. 1302-52

รูปที่ 6 กราฟแสดงปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อยในแผ่นพื้นของแต่ละชั้น

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

1. ผลการออกแบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง มีปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อยสำหรับกรณีทีวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและสเปคตรัมการตอบสนอง แตกต่างกันอย่างมากระหว่างแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นแนวโน้มของความแตกต่างของปริมาณเหล็กเสริมของทั้งสองวิธีที่เพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนชั้นของอาคารเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อยในพื้นที่ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าและสเปคตรัมการตอบสนอง

จำนวนชั้นของอาคาร	ปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อย (Metric Ton)		อัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อยวิธีเทียบเท่า/สเปคตรัมการตอบสนอง
	วิธีแรงสถิตเทียบเท่า	วิธีสเปคตรัมการตอบสนอง	
7	12.28	9.34	1.31
14	1065.94	668.09	1.60
21	7268.95	3725.98	1.95

2. จากการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อยเมื่อพิจารณา Load Combination แบบต่างๆ สามารถสรุปได้ในตารางที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนชั้นของอาคารเพิ่มขึ้นแนวโน้มของสัดส่วนเหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้นเพื่อใช้รับแรงด้านข้างจะมีมากขึ้น ทั้งในกรณีที่พิจารณาแรงด้านข้างที่เป็นแรงลมอย่างเดียว และกรณีที่พิจารณาทั้งแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

ตารางที่ 7 กรณีการออกแบบที่พิจารณาในการศึกษาเปรียบเทียบ

จำนวนชั้นของอาคาร	อัตราส่วนปริมาณเหล็กข้อ้อยในพื้นที่				
	ข./ก.	ค./ก.	ง./ก.	ค./ข.	ง./ข.
7	1.02	2.65	2.01	2.61	1.98
14	1.72	48.30	30.27	28.07	17.60
21	4.55	140.00	71.76	30.79	15.78

หมายเหตุ:

เมื่อพิจารณา Load Combination ที่มีผลของแรงกระทำ

ก.=แรงโน้มถ่วง

ข.=แรงโน้มถ่วง, แรงลม

ค.=แรงโน้มถ่วง, แรงลม, แรงแผ่นดินไหว (วิธีแรงสถิตเทียบเท่า)

ง.=แรงโน้มถ่วง, แรงลม, แรงแผ่นดินไหว (วิธีสเปคตรัมการตอบสนอง)

3. จากการทดลองวิเคราะห์ห้ออกแบบอาคารที่สูง 21 และ 28 ชั้น ทั้งด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า และวิธีสเปคตรัมการตอบสนอง พบว่าได้ปริมาณเหล็กเสริมข้อ้อยในแผ่นมากมายน่าสนใจ ดังนั้นสำหรับอาคารสูง 21 ชั้นหรือสูงกว่า ระบบการรับแรงด้านข้างแบบแผ่นพื้นไร้คาน-เสา-กำแพงรับแรงเฉือน ไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นผู้ออกแบบอาคารในระดับความสูงดังกล่าวจึงควรพิจารณาเลือกระบบการรับแรงด้านข้างแบบอื่นแทน

4. ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้จะนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาในการเรียนการสอนวิชา CEG511 การวิเคราะห์โครงสร้างชั้นสูง, CEG521 การออกแบบคอนกรีตอัดแรงชั้นสูง และสามารถนำไปใช้ในการอบรมวิชาซีพีในหัวข้อ “การวิเคราะห์อาคารรับแรงลม

และแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และ 1302-52 ด้วยโปรแกรม ETAB และ SAFE”

5. งานวิจัยนี้ได้จำกัดเพียงแปลนของอาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีกำแพงรับแรงเฉือนอยู่ที่กึ่งกลางของแปลนเท่านั้น หากได้ศึกษาแปลนในรูปแบบอื่น โดยเฉพาะรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ (Irregular Shape) ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งที่จะเป็นหัวข้อของงานวิจัยในอนาคตได้

6. งานวิจัยนี้ได้จำกัดขอบเขตของการศึกษาอยู่ที่ความหนาของแผ่นพื้นของทั้งชั้นคงที่ แต่ไม่ได้ศึกษาถึงความหนาของพื้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามโซนที่มีปริมาณแรงที่แตกต่างกัน (เนื่องจากจะทำให้เพิ่มกรณีศึกษาไปอีกมากมาย) แต่จากผลการวิเคราะห์ครั้งนี้พบแรงในแผ่นพื้นเข้มข้นในบริเวณใกล้กับแกนลิฟต์ ดังนั้นหากมีการปรับความหนาของแผ่นพื้นให้แตกต่างกันตามปริมาณความเข้มข้นของแรงอาจทำให้สามารถลดค่าก่อสร้างรวมได้อีก ซึ่งอาจจะทำให้โครงสร้างรับแรงด้านข้างแบบ พื้นไร้คาน-เสา-กำแพงรับแรงเฉือน มีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อาคารสูง 21 ชั้นหรือสูงกว่าก็ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยภายในของมหาวิทยาลัยศรีปทุมปีการศึกษา 2554 ที่ให้ทุนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2550. มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร มยผ. 1311-50.

[2] กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2552. มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1302-52.

[3] National Research Council Canada. 2005. National Building Code of Canada.

[4] SEI/ASCE-7 Committee. 2005. Minimum Design Load for Buildings and Other Structures (SEI/ASCE 7-05).

[5] สำเนียง องสุพันธ์กุล และต่อกุล กาญจนาลัย. 2545. “การเปรียบเทียบการวิเคราะห์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีประมาณและวิธีวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8. STR-047.

[6] บุญชา คำวอน, สมชาย ชูชีพสกุล และสุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์. 2550. “ผลกระทบด้านราคาของโครงสร้างอาคารสูงที่ออกแบบต้านทานแรงลมตามมาตรฐานในประเทศไทย.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12. STR-046.

[7] ฉัตร สุจินดา. 2551. “การเปรียบเทียบผลการออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13. STR-010.

[8] ฉัตร สุจินดา. 2552. “การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ทูดิยามิในพื้นที่ไร้คานคอนกรีตอัดแรงที่วิเคราะห์ด้วยวิธีโครงข้อแข็งเสมือนสองมิติและวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14. STR-50467.

[9] สมชาย ตงอาภรณ์ และ ฉัตร สุจินดา. 2553. “การศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่น

พื้นที่รับคานคองกรีตอัดแรงโดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบแผ่นสามมิติ.” การประชุมวิชาการคองกรีตประจำปี ครั้งที่ 5. STR-03.

[10] ศุภกฤษณ์ หมั่นคิด และ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์. 2553. “การศึกษาปริมาณเหล็กเสริมและลวดอัดแรงสำหรับการออกแบบแผ่นพื้นคองกรีตอัดแรงภายหลังเพื่อต้านแรงลมและแรงแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15. STR-064.

[11] Bharath, G. N., Ravishankar, G. S. B. and Chandrashekar, A.V. 2010. Review and Design of Flat Plate/Slabs Construction in India. Available

<http://www.bharathgowda.in/pdf/SEWC%20Flatslab%20Paper.pdf>

[12] Tilva, V. K., Vyas, B. A., and Thaker, P. 2011. Cost Comparison between Flat Slabs with Drop and without Drop in Four Storey Lateral Load Resisting Building. National Conference on Recent Trends in Engineering and Technology. 13-14 May. B. V. M. Engineering College, V. V. Nagar, Gujarat, India.

[13] IBC Committee. 2006. International Building Code (IBC 2006).

[14] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย. 2548. เหล็กเส้นเสริมคองกรีต : เหล็กข้ออ้อย (มอก. 24-2548). กทม.