การศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม ETABS กรณีศึกษา : โครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง อาคารอยู่อาศัยรวมแปลง G

Analysis of Building Systems by Program ETABS Case Study : Building Type G. Urban Renewal Din Daeng Community

ศรีเดช ใจสูง* ชาญชัย รัตน์นราทร และ ถาวร ล่องตี้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: 6340430042@bkkthon.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ให้ความสำคัญต่อระบบโครงสร้างอาคารสูงเพื่อความปลอดภัยขององค์รวมอาคารซึ่งอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเนื่องจากแรงกระทำภายนอกส่งผลต่อการหาแรงภายในที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งมีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร โดยการศึกษาครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากการเคหะแห่งชาติซึ่งอนุญาตให้ศึกษาอาคารอยู่อาศัยรวมแปลง G ขนาดความสูง 28 ชั้น ในโครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง ดังนั้นผู้จัดทำจึงกำหนดใช้โปรแกรม ETABS ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทอาคารสูง โดยเฉพาะการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารแบบพลศาสตร์ structure dynamics analysis ซึ่งอาคารหลังนี้ได้ใช้หลักเกณฑ์ มยผ.1301/1302-52 และได้ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ.2559 แต่ปัจจุบันได้มีการปรับใช้ มยผ.1301/1302-61 ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ใช้มาตรฐานใหม่เพื่อเปรียบเทียบโดยการจำลองรูปแบบอาคารที่ถูกต้องเป็นสำคัญ เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธี*ไฟไนต์เอลิเมนต์* (FEM) เทียบเคียงกับแบบก่อสร้างต้นฉบับเดิม (as-built drawing) ของอาคารหลังนี้

คำสำคัญ: การวิเคราะห์อาคารสูง, โปรแกรม ETABS, การเคหะแห่งชาติ, มยผ.1301/1302-61, วิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

The major of this research focuses on residential high-rise building, for the safety of the building, which is under the requirements because the external force affects the actual internal force. The subject of this case study was 28-storey of G plot in the Din-Daeng Community Urban Rehabilitation Project; therefore, the authors using the ETABS Program, which is suitable for high-rise building elements analyzed especially the seismic forces action analysis on the structural dynamics analysis of the building. The building was done in 2016 by followed DPT Standard 1301/1302-52 then has been adjusted to DPT Standard 1301/1302-61. Therefore, the authors using the latest standard for simulating the correct building model and analysis the result by Finite Element Method (FEM) to compare with as-built drawing.

Keywords: High-Rise Building analysis, ETABS Program, National Housing Authority, DPT Standard 1301/1302-61, Finite Element Method

1. คำนำ

หนึ่งในปัจจัยสี่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต คือ “ที่อยู่อาศัย” แต่หลายคนอาจมีข้อจำกัดในการมี “บ้าน” เป็นของตนเอง โดยเฉพาะผู้มีรายได้น้อย ภาครัฐจึงได้เข้ามาช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาโดยการสร้างที่อยู่อาศัยที่มีราคาไม่แพง เพื่อให้กลุ่มผู้มีรายได้น้อยสามารถเข้าถึงที่อยู่อาศัยเหล่านี้ได้“โครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง”ถึงวันนี้อาคารแฟลตดินแดงชุดแรกมีอายุกว่า 50 ปี สภาพอาคารมีความเสี่ยงต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้พักอาศัย แนวคิดดำเนินการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดงจึงเกิดขึ้น ภายใต้แผนแม่บทการพัฒนาพื้นที่และฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดงครั้งแรก เมื่อ พ.ศ. 2543 และได้ดำเนินการปรับปรุงแผนแม่บทดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ควบคู่ไปกับการให้ความสำคัญทั้ง 4 มิติ ได้แก่ สังคม เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสุขภาวะ ภายใต้แนวทางการพัฒนาชุมชนของการเคหะแห่งชาติ มุ่งเน้น “ทำนุบำรุง ปรับปรุง พัฒนา” ซึ่งคณะรัฐมนตรีมีมติเมื่อ 17 สิงหาคม 2559 เห็นชอบในหลักการแผนแม่บทโครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดงซึ่งผู้เขียนได้เลือกโครงการกลุ่มอาคารแปลง G จำนวน 1หลัง โดยมีความสูงของอาคารจำนวน 28ชั้น พื้นที่ 22,000 ตารางเมตร [1]

โปรแกรม ETABS เป็นซอฟต์แวร์เพื่อวิเคราะห์การออกแบบระบบโครงสร้างอาคารมีการประมวลผลที่แสดงในรูปของกราฟฟิกซึ่งเข้าใจง่าย

รวมถึงการสร้างโมเดล สามารถวิเคราะห์และออกแบบในโปรแกรมเดียวโดยการใช้ฐานข้อมูลเดียวกัน ซึ่งส่วนมากอาคารสูงมักจะมี ระบบพื้น และ เสา จัดวางเรียงตามแนวเส้นกริด ที่ซ้ำๆ และเหมือนกัน การบันทึกข้อมูลจะต้องอ้างอิงตามระบบโครงสร้างอาคาร เนื่องจากอาคารของการเคหะที่ผู้เขียนนำมาศึกษา เป็นอาคารชุดพักอาศัยขนาดใหญ่ และเป็นอาคารสูงที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ (Regular) [2] มีระบบโครงสร้างที่สอดคล้องตามเงื่อนไขในการใช้โปรแกรม ETABS เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้างในการรับแรง รวมถึงแรงลมและแรงแผ่นดินไหวในอาคารกรณีศึกษา จึงทำให้ทราบถึงแนวทางและผลกระทบต่อการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารประเภทนี้

2. รายละเอียดที่ตั้งโครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง

ชุมชนดินแดงตั้งอยู่บริเวณแขวงดินแดง เขตดินแดง ขนาดพื้นที่ชุมชนรวม 635 ไร่ ที่ดินเกือบทั้งหมดเป็นที่ราชพัสดุ โดยการเคหะแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร และหน่วยงานอื่นๆ เป็นผู้ใช้ประโยชน์ในที่ดิน ส่วนการเคหะแห่งชาติ เป็นผู้ใช้ประโยชน์ 211.5 ไร่ ซึ่งเป็นที่ราชพัสดุประมาณ 192.0 ไร่ และที่การเคหะแห่งชาติประมาณ 19.5 ไร่ มีถนนสายหลักที่สำคัญผ่านบริเวณโครงการ คือ ถนนวิภาวดี-รังสิต และถนนดินแดง บริเวณโครงการนอกจากจะเป็นย่านที่พักอาศัยสาหรับ ผู้มีรายได้น้อย และปานกลางขนาดใหญ่ แล้วยังเป็นแหล่งงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่สำคัญ ได้แก่ ศาลาว่าการกรุงเทพมหานครแห่งใหม่ กระทรวงแรงงาน โรงเรียน โรงพยาบาลราชานุกูล สนามกีฬาไทย-ญี่ปุ่น และสำนักงานเอกชนหลายแห่งขอบเขตที่ดินที่ของโครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง มีดังนี้

ทิศเหนือ	ติดถนนมิตรไมตรี
ทิศใต้	ติดถนนดินแดง และบึงมักกะสัน
ทิศตะวันออก	ติดถนนประชาสงเคราะห์
ทิศตะวันตก	ติดถนนวิภาวดี – รังสิต

แนวทางในการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดงได้กำหนดการใช้พื้นที่โครงการให้มีความเหมาะสมกับศักยภาพและลักษณะที่ตั้งทางกายภารวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อรูปแบบการพัฒนา เช่น กิจกรรมที่มีอยู่เดิมและสังคมภายในพื้นที่ โดยการจัดทำโครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดงจะพิจารณารูปแบบการพัฒนาโครงการสามารถแบ่งรูปแบบการพัฒนาพื้นที่เป็นที่อยู่อาศัยใหม่เป็น 2 ส่วน หลัก ๆ คือ

1 พื้นที่รองรับผู้อยู่อาศัยเดิม กำหนดให้อยู่บริเวณ แปลง G แปลง A แปลง C และ D1

2 พื้นที่รองรับผู้อยู่อาศัยใหม่ กำหนดให้อยู่บริเวณแปลง B แปลง E และแปลง D2 รวมถึง พื้นที่ปรับปรุงอาคารรอการพัฒนา และพื้นที่สีเขียว กำหนดให้อยู่บริเวณ แฟลต ช1-ช11, แฟลต พ1-พ10,แฟลต ค1-ค2 และแฟลต 8 ชั้น



รูปที่ 1 รูปแสดงภาพรวมการพัฒนาโครงการตามแผนแม่บทโครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง (พ.ศ. 2559 – 2567)

3. ข้อมูลสำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม ETABS

โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ช่วยในการวิเคราะห์หาแรงและผลตอบสนองที่เกิดขึ้น เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ออกแบบ ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างโดยอาศัยโปรแกรม ETABS จะช่วยให้การออกแบบมีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง มีความจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการสร้างแบจำลอง วิเคราะห์ผลและออกแบบปริมาณเหล็กเสริม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โครงสร้างมีความซับซ้อน เช่น อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารพิเศษ เป็นต้น ดังนั้นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำให้การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วขึ้น นอกจากการประยุกต์ใช้งานขั้นพื้นฐานแล้ว การใช้โปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ปัญหาขั้นสูง ได้แก่การวิเคราะห์และออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว การออกแบบอาคารต้านแรงลม การวิเคราะห์และออกแบบมาฐานรากเสาเข็มรองรับเสาเดี่ยวและฐานรากรองรับกำแพงรับแรงเฉือน ปัจจุบันทาง CSI.ได้ออกโปรแกรม ETABS version 20.1.0 แต่ในกรณีศึกษานี้ผู้เขียนกำหนดใช้ ETABS Version 18.1.1 เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร

3.1 การจัดเตรียมข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารที่ใช้สำหรับการศึกษาและออกแบบ เป็นอาคารสูง 28 ชั้น ประเภทอาคารอยู่อาศัยรวมแปลง G โครงการฟื้นฟูเมืองชุมชนดินแดง เจ้าของโครงการ การเคหะแห่งชาติ จำนวนหน่วยพักอาศัย534หน่วย

ระบบโครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดโครงเฟรม เสา คาน พร้อมลิฟต์โดยสารรวมห้องเครื่องและแท้งค์เก็บน้ำชั้นสุดท้าย ระบบพื้นส่วนใหญ่ของอาคารใช้ระบบพื้นไร้คาน Post tension

ที่ตั้งอาคารอยู่ในกรุงเทพมหานคร เขตดินแดง จึงกำหนดเกณฑ์ จากข้อมูลทางเอกสารพอจะสรุปค่ามาตรฐานได้ดังนี้

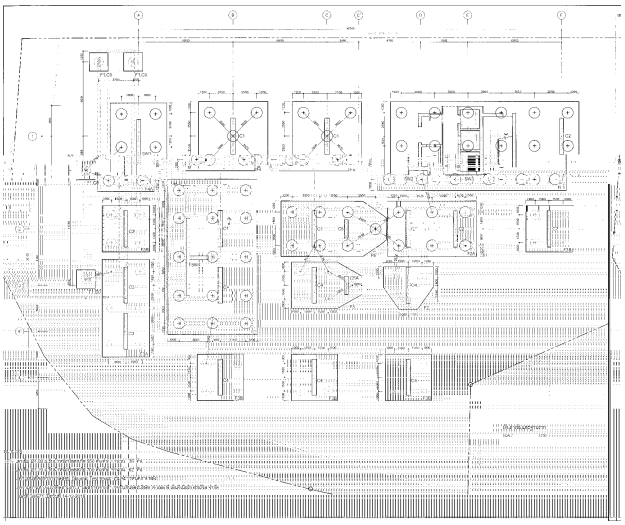
- คอนกรีตใช้ fc' = 320 ksc. (ทรงกระบอก)
- เหล็กเสริมคอนกรีต (เหล็กข้ออ้อย) SD40 ใช้ fy = 4,000 ksc
- เหล็กเสริมคอนกรีต (เหล็กกลม) SR24 ใช้ fy = 2,400 ksc
- ผนังอิฐมวลเบาก่อน้ำหนัก 100 กก./ตร.ม
- ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) น้ำหนัก 290กก./ตร.ม
- มาตรฐานการคำนวนแรงลม มยผ. 1311-50
- มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1301/1302-61
- มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318-08

3.2 การจัดเตรียมแบบโครงสร้างอาคาร

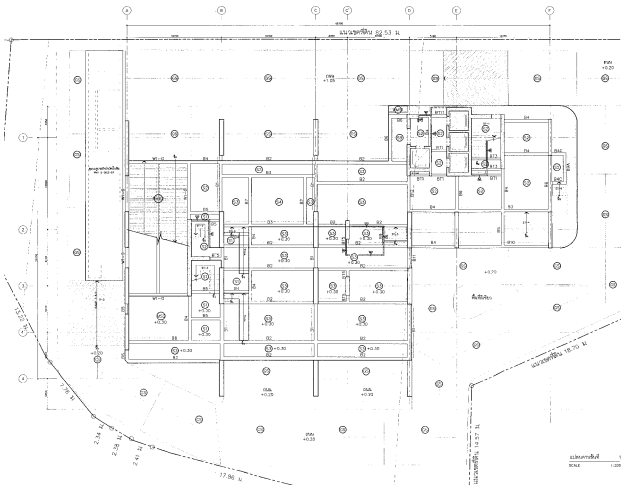
อาคารหลังนี้จากการสำรวจสถานที่จริงได้ทำการก่อสร้างแล้วเสร็จ ดังนั้นจึงนำแบบเดิมของโครงการเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม ETABS เพื่อเปรียบเทียบกับแบบโครงสร้างเดิม โดยเริ่มจากโครงสร้างชั้นฐานรากและชั้น Podium (ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 7) ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยส่วนโถงต้อนรับ ส่วนบริการ ส่วนสำนักงาน ส่วนสันทนาการ และส่วนพื้นที่จอดรถดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3

แบบโครงสร้างชั้น Tower จากชั้นที่ 8 ชั้นที่ 28 ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยส่วนโถงลิฟต์ ส่วนห้องพักอาศัย และจากชั้นดาดฟ้าขึ้นไปประกอบไปด้วยพื้นที่ส่วนสันทนาการ พื้นที่ปลูกต้นไม้ ห้องเครื่องลิฟต์ และ พื้นที่แท้งค์เก็บน้ำ คสล.ติดตั้งอยู่บนชั้นสูงสุดของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4, รูปที่ 5 และ รูปที่ 6

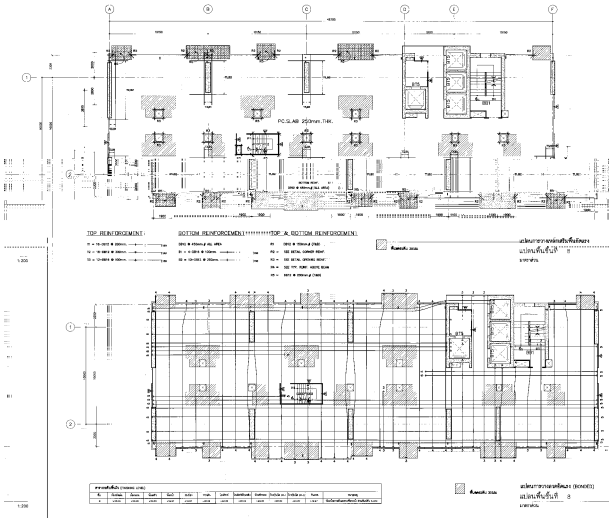
นอกจากนี้สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นอย่างยิ่งคือ แบบขยายเสา คสล, คาน คสล, ผนัง คสล. และ พื้น คสล.



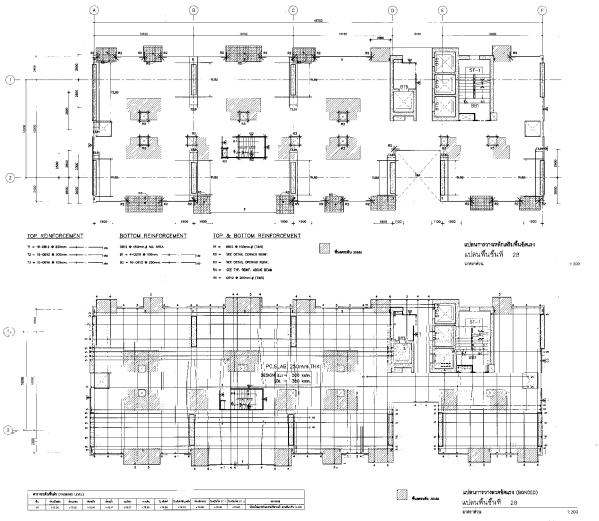
รูปที่ 2 รูปแสดงแบบแปลนโครงสร้างชั้นฐานราก อาคารแปลงG



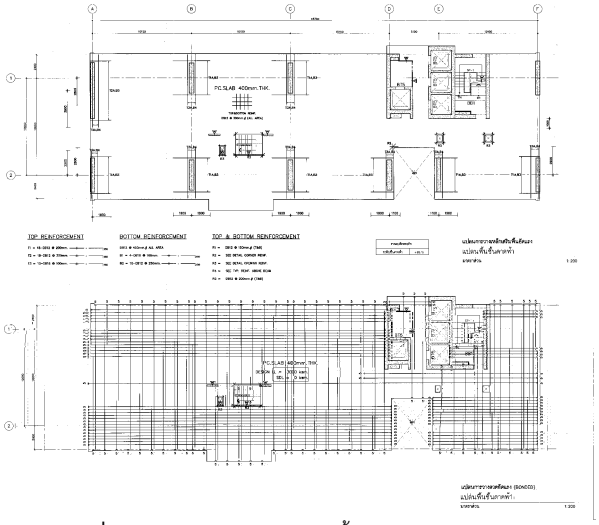
รูปที่ 3 รูปแสดงแบบแปลนโครงสร้างชั้นที่1. อาคารแปลงG



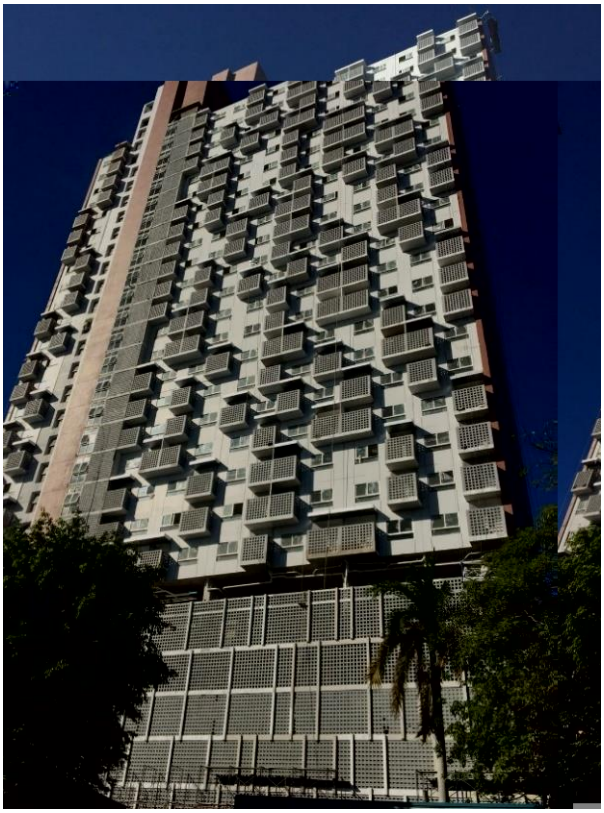
รูปที่ 4 รูปแสดงแบบแปลนโครงสร้างชั้นที่8. ส่วนพักอาศัย อาคารแปลงG



รูปที่ 5 รูปแสดงแบบแปลนโครงสร้างชั้นที่28. ส่วนพักอาศัย อาคารแปลงG



รูปที่ 6 รูปแสดงแบบแปลนโครงสร้างชั้นดาดฟ้า อาคารแปลงG



รูปที่ 7 รูปแสดงภายนอกอาคารแปลงG หลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ



รูปที่ 8 รูปแสดงพื้นที่จัดสวนบริเวณดาดฟ้าชั้นที่7 อาคารแปลงG

จากรูปที่ 7 แสดงถึงรูปแบบกรอบภายนอกของอาคารหลังนี้ และ รูปที่ 8 แสดงถึงพื้นที่ใช้สอยสำหรับจัดสวนบริเวณชั้นที่ 7 หลังจากเปิดใช้งานอาคารหลังนี้แล้ว

4. ระเบียบวิธีการใช้โปรแกรม

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะพบกับหน้าจอตั้งต้นของโปรแกรม กรณีที่มี File งาน เก่าที่เคยเปิดใช้จะแสดงเอาไว้ในช่อง RECENT MODELS ถ้าต้องการทำงานใน File งานเก่าสามารถเปิดเลือกได้จากรายการ Open Existing Model ส่วนบนพื้นที่ด้านขวาจะแสดงรายการข้อมูลโปรแกรมต่าง ๆ ของ CSI ในการศึกษานี้กำหนดใช้การสร้าง Model File งานใหม่ เริ่มจากการเลือก New Model ซึ่งสามารถทำได้ทั้ง 2วิธี

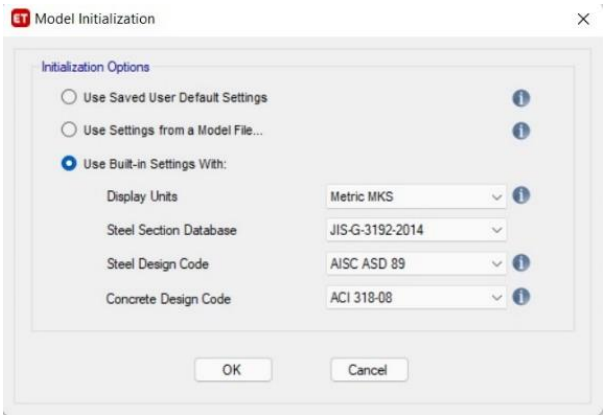


รูปที่ 9 รูปแสดงหน้าแรกของโปรแกรม ETABS Version 18.1.1

การตั้งค่ามาตรฐานในโปรแกรมได้กำหนดประเภทของหน่วยและมาตรฐานการออกแบบใน Model ดังแสดงในรูปที่10

1. Display Units ให้โปรแกรมแสดงหน่วย Metric เลือก Metric MKS
2. Steel Section Database ใช้เหล็กมาตรฐาน เลือก JIS-G-3192- 2014
3. มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กใช้ AISC ASD 89
4. มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ ACI 318-08

โดยจะใช้ค่ามาตรฐานข้างต้นสำหรับการทำโปรแกรม ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 รูปแสดงการกำหนดประเภทหน่วยและมาตรฐานการออกแบบ

4.1 คุณสมบัติคอนกรีต

คอนกรีตมีค่า fc' = 320 ksc. ตั้งค่า กำหนดโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต(E)เท่ากับ15,100 $\sqrt{fc'}$ ⇨15,100$\sqrt{320}$= 270,117 kg./cm²

กำหนดกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ข้อมูลนี้ต้องกำหนดเองทุกครั้ง เพราะเป็นการใช้งานเฉพาะ Model เท่านั้นการกำหนดกำลังอัดประลัยของคอนกรีตตั้งค่า fc' = 320 ksc.หรือ 3,200,000 kg/m² สำหรับใช้ในการออกแบบ

4.2 คุณสมบัติเหล็กเสริมคอนกรีต SD40 (เหล็กข้ออ้อย)

เหล็กข้ออ้อย มีค่า Fy = 4,000 ksc

4.3 คุณสมบัติเหล็กเสริมคอนกรีต SR24 (เหล็กกลม)

เหล็กกลมมีค่า Fy = 2,400 ksc

4.4 การกำหนด Load Pattern

การสร้าง Model เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจำเป็นต้องกำหนด Load Pattern ก่อน ซึ่งจะแสดงคุณลักษณะการกระจายตัวของ Load เช่น กระทำเป็นจุด เส้น หรือต่อพื้นที่ หรือชุด Load แรงแนวราบตามมาตรฐานต่างๆ ซึ่งอาจสรุปได้ว่า Load Pattern เป็น Load พื้นฐานที่โปรแกรมมีไว้โดยไม่ต้องปรับแต่งอะไรมาก Load Pattern แรกที่ควรจะต้องมีคือ Gravity Load หมายถึง Load ที่กระทำภายใต้แรงโน้มถ่วงโลก เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับ Model นี้จะประกอบด้วย [3]

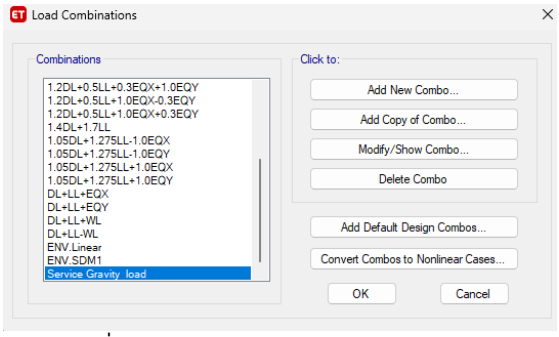
1.Dead Load เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่โดยเป็นน้ำหนักวัตถุของอาคารทั้งหมด ประกอบด้วย น้ำหนักของโครงสร้าง (Self Weight)

2.Live Load เป็นน้ำหนักบรรทุกใช้งานขั้นต่ำของพื้นที่กำหนด ตามกฎกระทรวงฉบับที่6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติคุมอาคาร พ.ศ.2522.

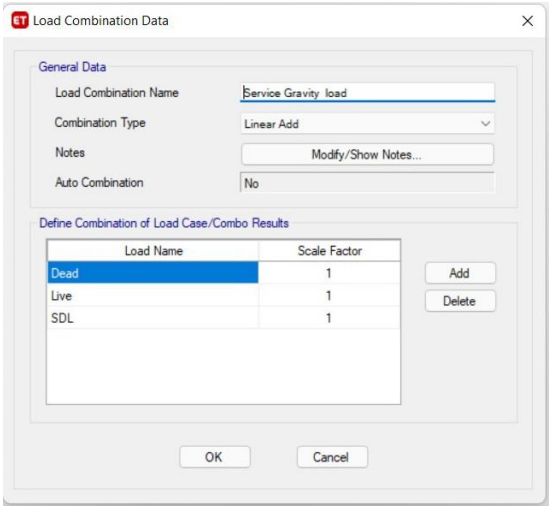
3.Super Dead Load น้ำหนักของวัสดุทางสถาปัตยกรรม

4.5 การกำหนด Load Combination และ Service Gravity Load

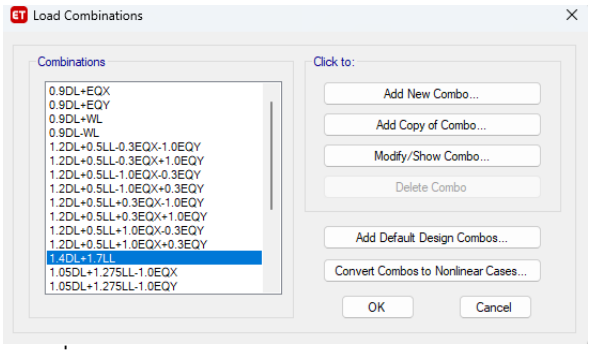
Load Combinations หรือ การรวมแรงเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตามแต่ละชนิดของวัสดุโครงสร้างเป็นสำคัญสำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก Load Pattern – Gravity Load จะมี Dead Load เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่โดยเป็นน้ำหนักวัตถุของอาคาร



รูปที่ 11 รูปแสดงการกำหนด Service Gravity Load



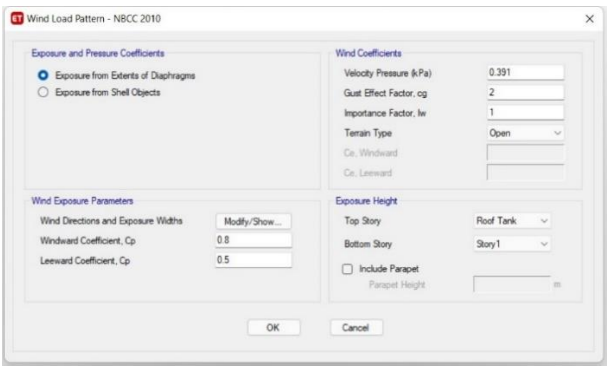
รูปที่ 12 รูปแสดงการกำหนดรายละเอียด Service Gravity Load



รูปที่ 13 รูปแสดงการกำหนด Factor of Safety ตามมาตรฐาน วสท.

4.6 การกำหนด Load Pattern ของ Wind Load

รายการ Load Pattern ลำดับต่อมาคือแรงลม โดยทั่วไปการคิดแรงลมจะคิดในแนวปะทะทั้งด้านแกน X และแกน Y ในทิศไปและกลับของอาคาร [4] ดังนั้นจึงกำหนดใช้ชื่อ WindX+, WindX-, และ WindY+, WindY- ซึ่งจะกำหนด Type เป็น Wind โดย Self Weight Multiplier ต้องเป็น 0 สุดท้าย Auto Lateral Load เลือกเป็น NBCC 2010 เพื่อจะกำหนดค่าการออกแบบตามมาตรฐานการคำนวนแรงลม มยผ. 1311-50



รูปที่ 14 รูปแสดงรายละเอียดขั้นตอนการสร้าง Wind Load ตามมาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ. 1311-50

4.7 การกำหนด Load Combination ของ Wind Load

ขั้นตอนการสร้าง Load Combination ของแรงลม โดยแรงลมจะกระทำในแนวแกนX และแนวแกนY แต่ควรคิดใน 2ทิศทางของแรงกระทำนั้นคือต้องคิด ในทิศทางของแกน +X, -X, +Y และ -Y ซึ่งมีแรงกระทำทั้งหมด 12Pattern ประกอบไปด้วย 0.9DL+WL, 0.9DL-WL, DL+LL+WL DL+LL-WL, 0.9DL+1.6WX, 0.9DL-1.6WX, 0.9DL+1.6WY, 0.9DL-1.6WY, 1.05DL+1.275LL+1.6WX, 1.05DL+1.275LL-1.6WX, 1.05DL+1.275LL+1.6WY, 1.05DL+1.275LL-1.6WY ตามลำดับ

4.8 การกำหนด Load Pattern ของ Seismic Load

การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-61 สามารถเลือกวิธีการออกแบบได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า วิธีสเปกตรัมตอบสนองแบบโหมด (Model Respond Spectrum Analysis) ดังรูปที่ 17

กรณีที่ต้องพิจารณาการรวมผลของแรงองค์อาคารทุกส่วนในโครงสร้าง รวมทั้งส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงในแนวแกน แรงเฉือน แรงดัดที่เกิดกับองค์อาคารนั้น ๆ เมื่อโครงสร้างถูกกระทำด้วยแรงแผ่นดินไหวร่วมกับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง ในบางกรณีที่มาตรฐานกำหนด การรวมผลของแรงจะต้องคำนึงถึงกำลังส่วนเกินของโครงสร้างด้วย สำหรับการศึกษานี้จะใช้การออกแบบโดยวิธีกำลัง

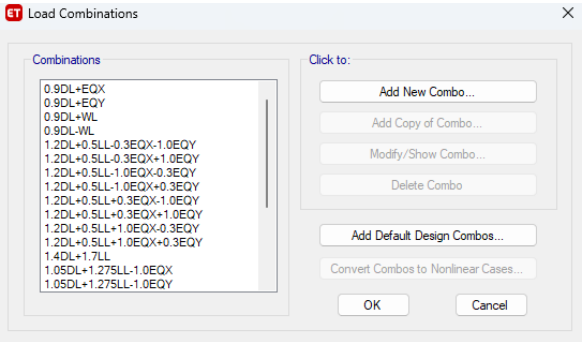


รูปที่ 15 รูปแสดงรายละเอียดขั้นตอนการสร้าง ASCE 7-16 Seismic Load มยผ.1301/1302-61 Direction X

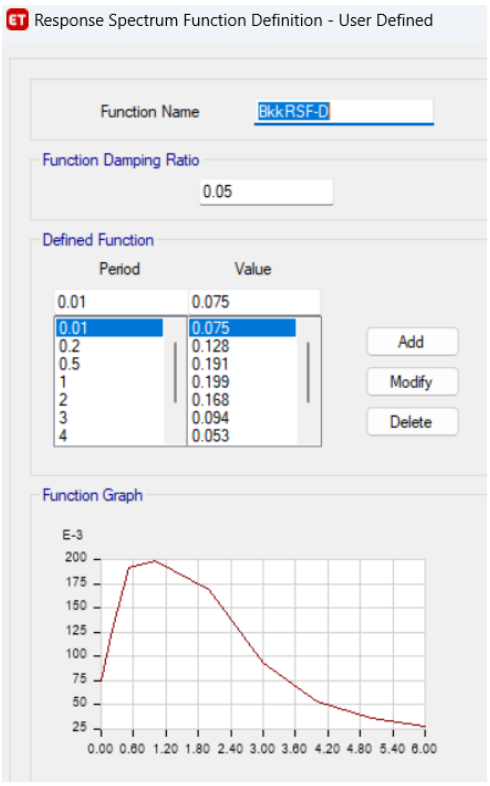
4.9 การกำหนด Load Combination ของ Seismic Load

ก่อนการปรับค่าการตอบสนองเพื่อใช้ในการออกแบบ เมื่อต้องการใช้งาน Seismic Load จาก Load Combination Data ที่สร้างขึ้นมาตาม มยผ. 1301/1302-61 นั้น ควรสร้าง Load Combination ของ Seismic Load Case ขึ้นมาทั้งหมดก่อน

ทิศทางของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบอาคาร จะต้องเป็นทิศทางที่ทำให้เกิดผลตอบสนองในโครงสร้างที่รุนแรงที่สุด [2] จึงพิจารณากรณีแรงแผ่นดินไหวกระทำทั้ง 2ทิศทาง (EQX, EQY) ต่อแรงที่กระทำกับอาคารแบบแยกกัน และ ร่วมกัน ผู้เขียนจึงได้กำหนด Load Combination ที่สร้างจำนวนทั้งสิ้น 20 Pattern ดังแสดงบางส่วนในรูปที่ 16 ประกอบไปด้วย 0.9DL+EQX, 0.9DL+EQY, 0.9DL-EQX, 0.9DL-EQY, 1.05DL+1.275LL+1.0EQX, 1.05DL+1.275LL1.0EQX, 1.05DL+1.275LL+1.0EQY, 1.05DL+1.275LL-1.0EQY 1.2DL+0.5LL-0.3EQX -1.0EQY, 1.2DL+0.5LL-0.3EQX+1.0EQY 1.2DL+0.5LL+0.3EQX-1.0EQY, 1.2DL+0.5LL+0.3EQX+1.0EQY 1.2DL+0.5LL-1.0EQX -0.3EQY, 1.2DL+0.5LL-1.0EQX+0.3EQY 1.2DL+0.5LL+1.0EQX-0.3EQY, 1.2DL+0.5LL+1.0EQX+0.3EQY 0.9DL+0.3EQX+1.0EQY,0.9DL+0.3EQX-1.0EQY, 0.90DL+1.0EQX+0.30EQY, 0.90DL+1.0EQX-0.30EQY

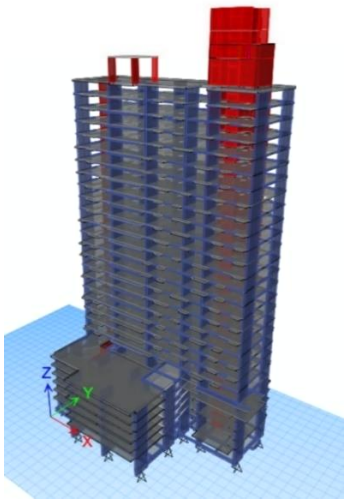


รูปที่ 16 รูปแสดง Load Combination ของแรงแผ่นดินไหวที่สร้างจำนวน 20 Pattern



รูปที่ 17 รูปแสดงกราฟค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ด้วยวิธีพลศาสตร์ จากตารางที่ 1.4-7 มยผ.1301/1302-61 ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ โซนที่5

4.10 การสร้าง Model และการกำหนดแรงกระทำในองค์ประกอบอาคาร

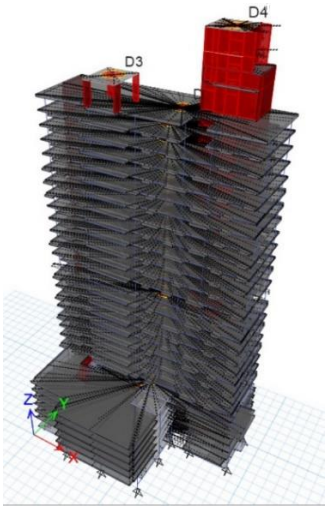


รูปที่ 18 รูปแสดงการสร้าง Model จนแล้วเสร็จ

จากรูปที่ 18 การเตรียมรายละเอียดก่อนเขียน Model โครงสร้างจากการจัดเตรียมแบบโครงสร้างอาคารและควรทำความเข้าใจแบบสถาปัตยกรรมและแบบโครงสร้างอาคารอีกครั้ง ก่อนจะทำการเขียน Model โครงสร้างได้นั้น จะต้องสร้างแนวคิดการทำงานในเบื้องต้นก่อนเช่น องค์อาคารใดควรจะมีและอยู่ในตำแหน่งใดของอาคารไม่ว่าจะเป็น เสา คาน พื้น ผนังลิฟท์ โดยอย่างน้อยที่สุดก็จะมีไว้ในแปลนพื้นของแบบสถาปัตยกรรมหรือแบบโครงสร้าง

4.11 การกำหนด Diaphragm สำหรับพื้นใน Model

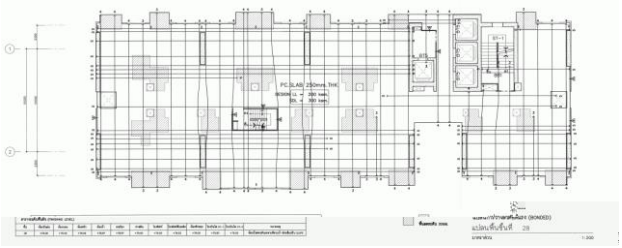
"ไดอะแฟรม" (Diaphragm) หมายถึง ระบบโครงสร้างที่วางตัวอยู่ในแนวราบหรือใกล้เคียงแนวราบทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงด้านข้างไปสู่ชิ้นส่วนในแนวดิ่งซึ่งเป็นส่วนของระบบต้านแรงด้านข้างคำว่าไดอะแฟรมจะหมายรวมไปถึงระบบค้ำยันในแนวราบด้วย



รูปที่ 19 รูปแสดงผลจากการสร้าง Diaphragm ทั้งอาคาร

5. ผลการวิเคราะห์

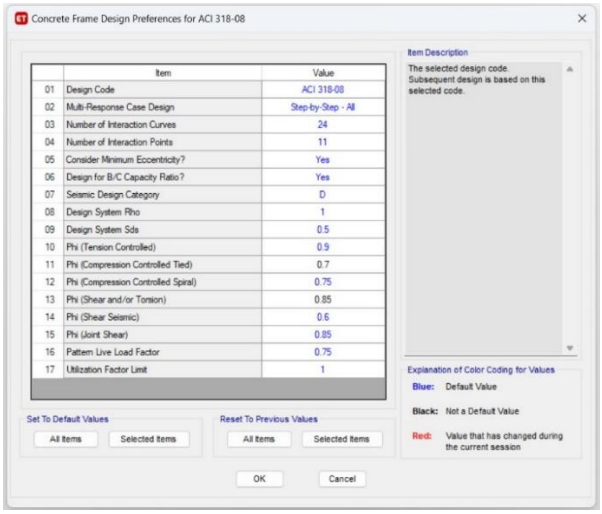
จากการจำลองโมเดลผู้เขียนได้กำหนดน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งโดยอ้างอิงจากแบบโครงสร้างเดิม และกฎกระทรวงฉบับที่6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติคุมอาคาร พ.ศ.2522. ประกอบด้วย เสา คาน พื้น บันได ผนัง และผนังรับแรง ส่วนผนัง Precast กำหนดค่า Line Load ขอบพื้นแทนเพื่อเป็น Dead Load ที่กระทำกับโครงสร้าง ในกรณีพื้นโครงสร้างอาคารที่เป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (Post-tension) ชนิดมีแรงยึดเหนี่ยว (Bonded system) จากการตรวจสอบแบบจะมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านและฝั่งเข้าไปในแกนเสาในแต่ละทิศทางมีปริมาณตามเกณฑ์"[8]"ดังแสดงในรูปที่ 20 พื้น Posttension ได้กำหนดการขึ้น โมเดลที่เป็นพื้น RC. Flat Slab เพื่อวิเคราะห์ พฤติกรรมของ Moment และ Shear แรงภายในที่เกิดขึ้นเนื่องจาก DL + SDL+ LL



รูปที่ 20 พื้นโครงสร้างอาคารที่เป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (Post-tension)

5.1 การตั้งค่าการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (Design)

โดยในโปรแกรมจะเริ่มจากเลือกรายการเมนู Design จะมีหน้าต่าง Concrete Frame Design Preferences for ACI 318-08 แสดงขึ้นมาตามรูปที่ 21 Load Combination สำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การใช้โปรแกรมและการกำหนดโครงสร้างชนิดต่างๆ ต้องการ Load Combination เพื่อวิเคราะห์และออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบของโครงสร้างชนิดนั้นๆ



รูปที่ 21 แสดงการปรับแต่ง Parameter ตามมาตรฐาน ACI 318-08

5.2 ผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

กรณีวิเคราะห์ผลจากแรง Reaction ด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับแบบโครงสร้างอาคาร ทำให้ทราบถึงน้ำหนักของฐานรากมีค่า 3,031,570 kg. และ 3,016,980 kg. ตามลำดับจากรูปที่ 22 เมื่อเทียบกับแบบฐานรากเดิมของอาคารที่กำหนดค่าน้ำหนักไม่เกิน 3,500,000 kg.ซึ่งจุดรองรับที่เลือกมาพิจารณาสามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย

รูปที่ 22 แสดงผลเป็นตารางสรุป Reaction ของแต่ละ Support

การวิเคราะห์ผลของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง Frame โดยแรงในโครงสร้างรูปแบบของ Frame ก็จะมีแรงในแนวแกน, แรงดัด, แรงเฉือน, แรงบิด เริ่มจากการแสดงผลในมุมมอง 3มิติเพื่อวิเคราะห์และแสดงผลทำให้ทราบถึงแรงที่มีผลต่อโครงสร้างตาม Load Combination ต่างๆ [5]

รูปที่ 23 แสดงผลวิเคราะห์ของแรงในโครงสร้างเสาแบบ Axial Force, Moment 3-3 และ Torsion ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ Design/Concrete Frame Design/Display Design Info.ควรใช้ค่าตั้งต้นของโปรแกรมให้เป็น Sway Intermediate ตาม มยผ. 1301/1302-61.

ในกรณีนี้ได้กำหนดแนวเสา C1.และตำแหน่งของเสาจะอยู่ชั้นที่1 โดยอยู่ในรูปตารางแสดงผล Summary เป็นค่าจากโปรแกรม ดังแสดง ในตารางที่1 ผลที่ได้ทำให้ทราบถึงการกำหนด Load Combination ที่มีผลต่อโครงสร้างคือ 1.4DL+1.7LL [5] สำหรับการวิเคราะห์ในตารางนี้มีแรงกระทำที่เสา 4,451,000 kg. จำนวนเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในเสาต้นนี้มีปริมาณ 719.24cm² ซึ่งเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมจะได้3.69% อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ACI 318-08 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมจากอาคารกรณีศึกษา คำนวณได้ 92X8.04=739.68 cm² จะมีปริมาณหน้าตัดเหล็กที่ต่างกัน 20.44cm²

5.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

การกำหนด Seismic Load ตามมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 กำหนดใช้ Load Combination สำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ซึ่งจากการประมวลผลจะสามารถแสดงในรูปแบบกราฟิกดังรูปที่ 25

รูปที่ 25 การวิเคราะห์ Seismic Load ด้วย Load Combination

สรุปผลการวิเคราะห์ด้วย Load Combination ตามหัวข้อที่ 4.9ซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้นนำมาเปรียบเทียบกับการ เคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ ตามตารางที่

ฐานราก F1.จึงทำให้ฐานรากดังกล่าวสามารถรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัยซึ่งค่าความปลอดภัย F.S = 2.5

3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบในส่วนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้เขียนได้เลือกเสา C1 ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B1 เช่นเดียวกับฐานราก F4. จากหัวข้อที่ 1 ที่กล่าวมาแล้ว โดยเลือกเสา C1 ที่ชั้นที่ 1 และได้กำหนดขนาดของเสาในโปรแกรมให้ใช้ขนาดหน้าตัดเท่ากับเสาอาคารกรณีศึกษา โดยมีขนาดหน้าตัด 0.5x3.90 เมตร ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมตาม Design Code / ACI 318-08 จะมีน้ำหนักที่ถ่ายลงเสาช่วงนี้ 4,451,000 kg. และมีจำนวนหน้าตัดเหล็กเสริมที่ 719.24 cm^2 คิดเป็น 3.69% ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากนั้นผู้เขียนจึงได้ทำการเทียบปริมาณหน้าตัดเหล็กเสริมจากแบบก่อสร้าง ซึ่งมีปริมาณ 739.68 cm^2 มากกว่า 20.44 cm^2 ดังนั้นในกรณีของเสาจึงสรุปค่าความถูกต้องได้อย่างเหมาะสมดังนั้นเสารับองค์อาคารมีความปลอดภัย และ Core Lift ขององค์อาคารก็มีความปลอดภัย

4. กรณีเปรียบเทียบในส่วนของคานระหว่างแบบก่อสร้างจริงและจากการวิเคราะห์คานด้วยโปรแกรมซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบแล้วผลจากการคำนวณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมจากโปรแกรมจะน้อยกว่าจากแบบก่อสร้างจริงโดยคำนวณจากแรงที่กระทำต่อคานซึ่ง Load Combination ที่มีผลต่อการคำนวณคือ 1.4DL+1.7LL [5] การปรับปรุงแบบการคำนวณของโปรแกรมมีผลต่อปริมาณเหล็ก จำเป็นต้องเลือกใช้โหมด Type / Sway Intermediate เนื่องจากตัวอาคารอยู่ในพื้นที่แอ่งกรุงเทพมหานครกำหนดเป็นโซน5 จาก มาตรฐาน มยผ.1301/1302-61

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การวิเคราะห์โครงสร้างในลักษณะ Concrete Frame จากการวิเคราะห์ในส่วนเสาสามารถเพิ่ม Stiffness ของเสาด้วยการทำเป็น Composite Column ระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก Wide Flange โดยมี Shear Stud เพิ่ม Bounding ในการยึดเกาะ และเป็น Shear Transfers โดยจะมีผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กและคอนกรีตรวมกันแล้วค่า Stiffness จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นกรณีมีการปรับ Function ภาระการรับน้ำหนักของพื้นหรือผนังที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

7.2 ในการออกแบบโดยปกติ Factor Safety ของงานเสาเข็มจะมีค่าเท่ากับ 2.5 โดยคิดน้ำหนักจากองค์อาคารทุกๆ ส่วนทั้ง Deadload, Live Load และ Service Dead load ในการออกแบบโดยปกติจะมีการปรับเปลี่ยน Function จาก Designer งาน AR+ID แนวทางที่ไม่กระทบกับ Service Dead Load คือการใช้ผนังที่มีน้ำหนักเบาไม่เกิดภาระกับเสาเข็มNดังนั้น