

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสำรวจตรวจสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ก่อสร้างมาเกิน 25 ปี แต่ยังใช้งานได้อีกหลายปี หากมีการสำรวจตรวจสอบสภาพของอาคารเพื่อดูความคงทนแข็งแรงของโครงสร้าง ด้วยการเดินสำรวจโครงสร้าง ตามสภาพที่เห็นด้วยสายตา และการสำรวจตรวจสอบโครงสร้าง ด้วยวิธีการทดสอบทางวิศวกรรม ก็จะทำให้ทราบแนวโน้มความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร [1] โดยทั่วไปการสำรวจสภาพความเสียหายในสนามจะทำการตรวจสอบร้อยละการร้าว การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยการวัดค่าสะท้อนกลับของคอนกรีต (Rebound Number of Hardness Concrete) การสุ่มเจาะเก็บชิ้นตัวอย่าง (Drilled Core Test) การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น (Carbonation Depth) การตรวจสอบการผุกร่อน (Corrosion) และการทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีต (Pulse Velocity Through Concrete) [2]

แต่อย่างไรก็ตามการสำรวจสภาพความเสียหายในสนามยังไม่ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์โครงสร้างและการใช้เครื่องมือวัดเบื้องต้น ไม่สามารถประเมินความคงทนของคอนกรีตเสริมเหล็กได้ตลอดอายุการใช้งาน จึงควรนำโปรแกรมสำเร็จรูป มาช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 อาคารที่ทำการประเมินความเสี่ยง

สาเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กควบคู่การใช้โปรแกรม Midas Gen2016 เพื่อจะได้ทราบถึงสาเหตุของปัญหา วิธีการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตรวมถึงการประเมินความเสี่ยง เพื่อที่จะสามารถยืดอายุการใช้งานอาคารได้นานและคุ้มค่าในการใช้สอยอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้โปรแกรม Midas Gen2016
2. เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการวิบัติของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างอาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ
2. ตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เครื่องมือ Schmidt Hammer เพื่อหาค่ากำลังอัดของชิ้นส่วนเสา คาน พื้น
3. เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างอาคารเก่า จากการวิเคราะห์โครงสร้างของโปรแกรม MIDAS Gen2016

1.4 ประโยชน์ของโครงการ

1. เจ้าของอาคารสามารถนำข้อมูลเบื้องต้นไปใช้ในการประเมินความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ข้อมูลจากการศึกษาเรื่องนี้เป็นแนวทางสำหรับวิศวกรในการวางแผนประเมินความเสี่ยง
3. สามารถนำแบบจำลองนี้ให้แก่วิศวกรไปใช้เพิ่มความสามารถของอาคารเก่าได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า โดยในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีในวิชาซีพีวิศวกรรมโยธา คือ การทดสอบแบบไม่ทำลายโครงสร้าง (Non-Destructive Structure Testing) การวิเคราะห์และออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Force Method) มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลมตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคอนกรีตเสริมเหล็กพื้นสองทาง (Two-way slabs) การจำลองข้อมูลอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ความหมายของ BIM หลักการและการบวนการ BIM การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยซอฟต์แวร์ (MIDAS Gen Program) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสรุปท้ายบท

2.1 ทฤษฎีในวิชาซีพีวิศวกรรมโยธา

2.1.1 การทดสอบแบบไม่ทำลายโครงสร้าง (Non-Destructive Structure Testing)

วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบัติต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้าง หรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ ความสำคัญของการทดสอบแบบไม่ทำลายคือ การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป การเลือกวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับข้อมูลสมบัติของโครงสร้างที่ต้องการทำการตรวจสอบ ดังตาราง 2.1 แสดงรายการวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายสำหรับโครงสร้างคอนกรีต ในการศึกษาจะใช้การทดสอบด้วยค้อนกระทบ (Rebound hammer) [3]

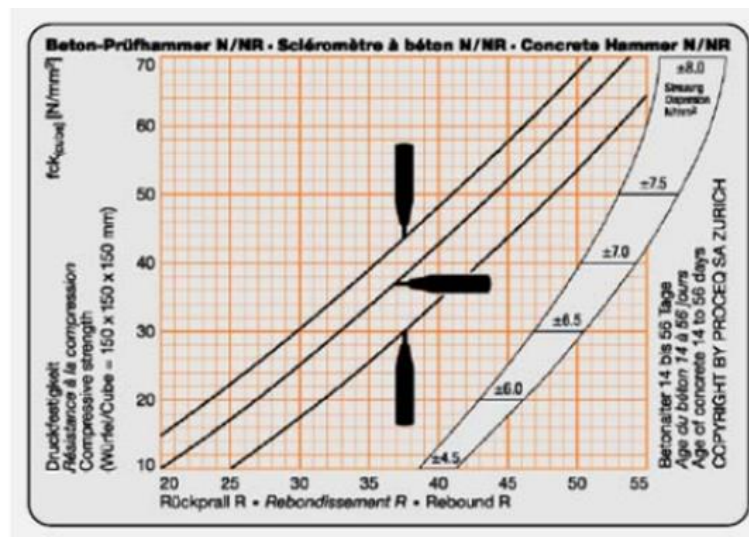
ตาราง 2.1 รายการวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย [3]

| วิธีการทดสอบ | วัตถุประสงค์ของการใช้งาน | มาตรฐานอ้างอิง |
|---|--|----------------|
| 1. การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ | ประเมินสาเหตุและระดับความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง | มยพ. 1501-51 |
| 2. วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Rebound Hammer) | ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต | มยพ. 1501-51 |
| 3. วิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic pulse velocity) | ตรวจสอบความคงที่ของคุณภาพคอนกรีตในโครงสร้างหรือค้นหาช่องว่างในโครงสร้างคอนกรีต | มยพ. 1501-51 |
| 4. วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมในคอนกรีต (Cover Meter) | ตรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในโครงสร้างและวัดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก | มยพ. 1501-51 |
| 5. วิธีทดสอบหาค่าการสีกกร่อนของเหล็ก (Half-cell Potential Test) | ประเมินโอกาสเกิดสนิมในเหล็ก | มยพ. 1501-51 |
| 6. วิธีทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar) | ตรวจสอบหาช่องว่างหรือวัตถุแปลกปลอมในโครงสร้างคอนกรีต | มยพ. 1501-51 |
| 7. วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงหัวหยั่งทดสอบ (Penetration Resistance) | ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต | มยพ. 1501-51 |

ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's hammer) เป็นการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต จะเก็บข้อมูลจากค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์ดังภาพ 2.1 เป็นเครื่องมือทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) ซึ่งเป็นที่นิยมในการวัดกำลังอัดของคอนกรีต เนื่องจากความรวดเร็วในการทดสอบ และราคาที่ย่อมเยาเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเจาะเก็บตัวอย่างทดสอบเพื่อทำการทดสอบ ค้อนกระแทกเป็นเครื่องวัดความแข็งของผิวคอนกรีต ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้แปลงมาจากค่า Rebound Number จากเครื่องมือที่แสดงถึงความแข็งของผิวคอนกรีต [4] ดังภาพ 2.2



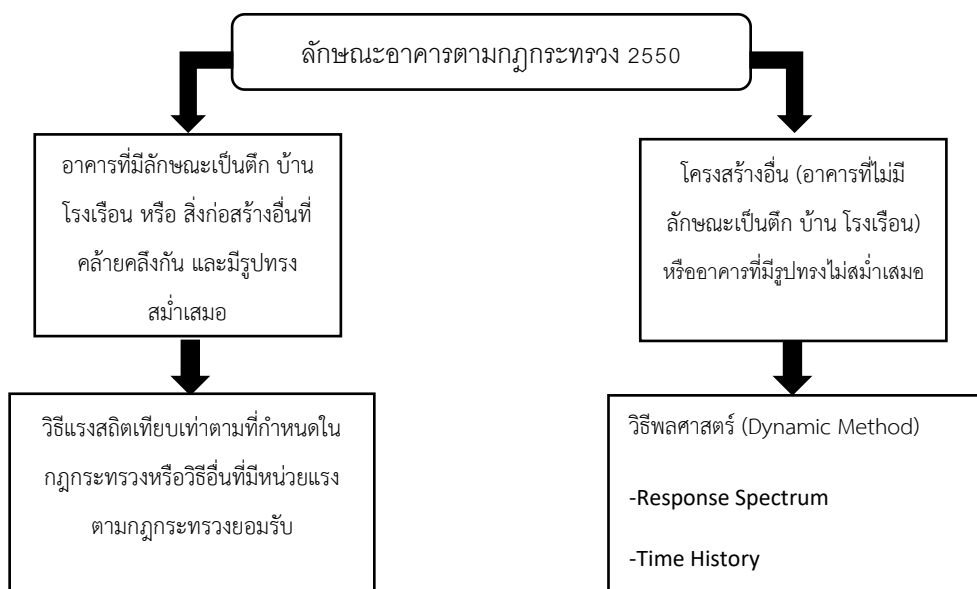
ภาพที่ 2.1 Schmidt's hammer



ภาพที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบของ Rebound Number กับค่ากำลังอัดคอนกรีต

2.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Force Method)

ลักษณะอาคารตามกฎกระทรวง สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน โรงเรือน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นที่คล้ายคลึงกัน และมีรูปทรงสม่ำเสมอ (Regular Structures) สามารถวิเคราะห์หาแรงกระทำที่ฐานอาคารโดยพิจารณาแรงคลื่นแผ่นดินไหวเป็นแรงกระทำแบบสถิตมีค่าเท่ากับแรงอินเนอร์เซีย ซึ่งเท่ากับมวลของโครงสร้างคูณกับอัตราเร่งของอาคาร และกำหนดอยู่ในรูปของสมการแรงเฉือนที่ฐานอาคาร ซึ่งมีสมมุติฐานว่าการกระจายตัวของมวล และสติฟเนสของโครงสร้างเป็นไปอย่างเท่าเทียมกัน โครงสร้างแบบนี้เหมาะสำหรับวิธีการแรงสถิตเทียบเท่า ซึ่งสามารถคำนวณได้ง่ายแต่ก็ใช้ได้กับอาคารส่วนน้อยที่มีรูปทรงสม่ำเสมอเท่านั้น [5]



ภาพที่ 2.3 แสดงวิธีการวิเคราะห์ตามลักษณะอาคารตามกฎกระทรวง 2550 [6]

การกำหนดค่าแรงสถิตเทียบเท่าตามกฎกระทรวงนั้น จะคำนึงถึงความสำคัญของอาคาร ลักษณะทางโครงสร้างที่รับแรงด้านข้าง รูปแบบของโครงสร้าง คุณสมบัติพื้นฐานเชิงพลศาสตร์ของอาคาร ชั้นดินใต้อาคาร และการกระจายน้ำหนักของอาคาร [6]

โดยกำหนดให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

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

โดยที่ V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว โดยขึ้นอยู่กับเขตแผ่นดินไหว ดังภาพ 2.4

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับความสำคัญของการใช้อาคาร

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

C คือ สัมประสิทธิ์ของแรงแผ่นดินไหว หาได้จากสูตร

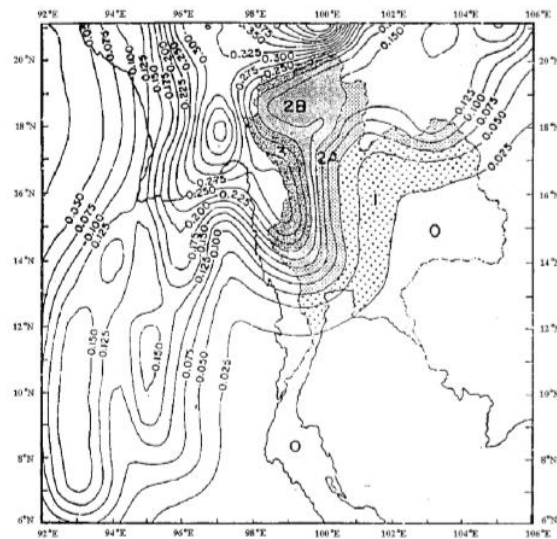
$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12 \quad (2)$$

T คือ ค่าคาบแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}} \quad (3)$$

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร

W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่ โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า



ภาพที่ 2.4 แสดงแผนที่แบ่งเขตแผ่นดินไหว

ตาราง 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว

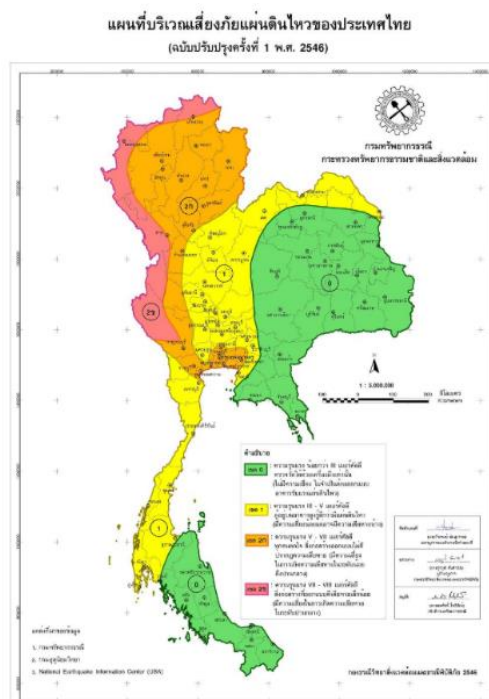
| เขตความเข้มของแผ่นดินไหว | เขตในแผนที่ | ค่า Z |
|--------------------------|-------------|--------|
| ไม่เสี่ยงภัย | 0 | 0 |
| ไม่รุนแรง | 1 | 0.1875 |
| ปานกลาง | 2A | 0.375 |
| ปานกลางค่อนข้างแรง | 2B | 0.50 |
| รุนแรง | 3 | 0.75 |
| รุนแรงมาก | 4 | 1.00 |

ตาราง 2.3 แสดงสัมประสิทธิ์ความสำคัญของอาคาร

| ประเภท | ความสำคัญ | ค่า I |
|--------|------------------------------|-------|
| 1 | อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณชน | 1.25 |
| 2 | อาคารที่เก็บวัตถุมีพิษภัย | 1.25 |
| 3 | อาคารที่มีการใช้งานเป็นพิเศษ | 1.00 |
| 4 | อาคารใช้งานทั่วไป | 1.00 |
| 5 | อาคารอื่น ๆ | 1.00 |

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติของอาคารและชั้นดินที่ตั้ง

| | |
|---------------|-----|
| 1. หิน | 1.0 |
| 2. ดินแข็ง | 1.2 |
| 3. ดินอ่อน | 1.5 |
| 4. ดินอ่อนมาก | 2.5 |

ภาพที่ 2.5 แสดงแผนที่บริเวณความเสี่ยงแผ่นดินไหวในประเทศไทย
(ที่มา : กองธรณีเทคนิค กรมทรัพยากรธรณี ,2548)

แรงในแนวนอนที่กระทำต่อพื้นชั้นต่างๆ ของอาคารรวมทั้งชั้นบนสุดของอาคารด้วยให้คำนวณ [7]
 ดังสมการ (4)

$$F_x = \frac{(V-F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (4)$$

โดยที่ F_x คือ แรงในแนวนอนที่กระทำต่อพื้นชั้นที่ x ของอาคาร

F_t คือ แรงในแนวนอนที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวนอนที่ระดับพื้นดิน

w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และพื้นชั้นที่ i

$i = 1$ สำหรับชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคารที่อยู่เหนือดิน

$x = 1$ สำหรับชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคารที่อยู่เหนือดิน

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

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

2.1.3 มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลมตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522

วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบอาคารต้านทานแรงลม มี 2 ประการ คือ 1. เพื่อให้อาคารนั้นมีความปลอดภัย 2. เพื่อให้อาคารสามารถใช้งานได้เป็นปกติในสภาพลมแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งในช่วงอายุการใช้งานของอาคารนั้นๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องออกแบบให้อาคารมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่แข็งแรง สามารถต้านทานแรงลมที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างปลอดภัย สำหรับการออกแบบอาคารเพื่อให้สามารถใช้งานอาคารได้เมื่อเกิดแรงลมตามในกรณีที่มีการวิเคราะห์โครงสร้างที่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลจากการกระทำของแรงลม ให้ใช้ค่าแรงลมตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตาราง 2.5 ขนาดของแรงลมที่ความสูงต่าง ๆ ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

| ความสูงของอาคาร (เมตร) | หน่วยแรงลมที่ใช้ต่ำสุด (กิโลกรัมต่อตารางเมตร) | ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) |
|---------------------------|--|------------------------------------|
| สูงไม่เกิน 10 เมตร | 50 | 89 |
| สูงอยู่ในช่วง 10 -20 เมตร | 80 | 113 |
| สูงอยู่ในช่วง 20 -40 เมตร | 120 | 138 |
| สูงกว่า 40 เมตร | 160 | 160 |

2.1.4 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

การออกแบบโครงสร้างคือขั้นตอนการเลือกวัสดุ และเลือกขนาดหน้าตัดของส่วนประกอบต่าง ๆ ทางโครงสร้าง เพื่อให้องค์อาคารมีเสถียรภาพมั่นคง และใช้งานได้อย่างปลอดภัยวิธีกำลัง (Ultimate Strength Design : USD) ในที่นี้กล่าวเฉพาะวิธีหน่วยแรงใช้งาน ซึ่งแต่เดิมเรียกว่าทฤษฎีอีลาสติก (Elastic theory) กล่าวคือหน่วยแรงของวัสดุที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกขณะใช้งาน

การออกแบบเสาโดยวิธี USD

มาตรฐาน กำหนดให้พิจารณาหาน้ำหนักประลัย U เนื่องจากน้ำหนักหรือแรงกระทำต่าง ๆ ที่เพิ่มค่าแล้ว ของ อาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว ดังต่อไปนี้

1. สำหรับ ACI หรือ ว.ส.ท.

$$P_u = 1.4 DL + 1.7 LL$$

2. สำหรับข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครที่ออกตามความใน พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร

$$P_u = 1.7 DL + 2.0 LL$$

ข้อกำหนด ACI ในการออกแบบความแข็งแรงของเสา : $P_u \leq \phi P_n$

| | | | |
|-----------------|---|------------------|---------------|
| เสาปลอกเกลียว : | $ACI318-\geq 99$ | $ACI318-\geq 02$ | |
| | $P_n = 0.85[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$, | $\phi = 0.75$ | $\phi = 0.70$ |
| เสาปลอกเดี่ยว : | $P_n = 0.80[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$, | $\phi = 0.70$ | $\phi = 0.65$ |

2.1.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท.ให้ข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับเสา คสล. ดังต่อไปนี้

ก) เสาต้องมีด้านแคบ หรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 20 ซม. แต่เสาที่อยู่ระหว่างเสาหลักและไม่มีความต่อเนื่องอาจมีขนาดเล็กกว่าที่กำหนด แต่ด้านแคบต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม.

ข) เสาปลอกเดี่ยว ต้องมีเหล็กยื่นอย่างน้อย 4 เส้น เสาปลอกเกลียว ต้องมีเหล็กยื่นอย่างน้อย 6 เส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยื่น ต้องไม่เล็กกว่า 12 มม. ทั้งนี้เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กยื่นในเสา (A_{st}) ต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และต้องไม่เกินกว่า 0.08 ของ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสา (A_g)

ค) ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กยื่นของเสา ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยื่นหรือ 1.34 เท่าของขนาดโตสุดของหิน หรือ 4 ซม.

ง) คอนกรีตหุ้มเหล็กที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกนคอนกรีตของเสาปลอกเกลียว และเสาปลอกเดี่ยวต้องมีหนาอย่างน้อย 3.5 ซม. หรือ 1.34 เท่าของขนาดโตสุดของหิน หรือ ไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยื่น

จ) เสอปลอกเดี่ยวต้องใช้เหล็กปลอกเดี่ยวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มม. พันโดยรอบโดยมีระยะห่างของเหล็กไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยื่น หรือไม่เกิน 48 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก หรือไม่เกินกว่าด้านแคบของเสา และต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดกับเหล็กยื่นตามมุมทุกมุม และเส้นอื่นๆ สลับเส้นเว้นเส้น โดยมุมของเหล็กปลอกนั้นต้องไม่เกินกว่า 135 องศา เหล็กเส้นที่เว้นต้องห่างจากเส้นที่ถูกยึดไว้ไม่เกิน 15 ซม. ถ้าเหล็กยื่นเรียงกันเป็นวงกลม อาจใช้เหล็กปลอกเดี่ยวพันให้ครบรอบวงนั้น

ฉ) เสอปลอกเกลียวต้องใช้เหล็กปลอกเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มม. และกำลังจุดครากไม่เกิน 4000 กก/ ซม² โดยพันเหล็กปลอกเกลียวอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอให้มีระยะเรียงระหว่างศูนย์กลางศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวไม่เกิน 1/6 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนคอนกรีต และมีระยะช่องว่างระหว่างเกลียวไม่เกิน 7 ซม. แต่ไม่แคบกว่า 3 ซม. หรือ 1.34 เท่าขนาดโตสุดของหิน

ช) เสอปลอกเดี่ยวที่มีเนื้อที่หน้าตัดใหญ่กว่าที่ต้องการในการรับน้ำหนักมากๆ การหาปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด และกำลังที่ใช้ออกแบบยอมให้ได้ค่า Ag เพียงครึ่งเดียว

ซ) การต่อเหล็กยื่นเสา อาจต่อโดยวิธีทาบ (เมื่อขนาดเหล็กยื่นไม่โตกว่า 25 มม.) หรือโดยวิธีเชื่อมแบบต่อชนหรือใช้ข้อต่อทางกล การต่อเหล็กยื่นให้ต่อที่พื้นชั้นล่างของชั้นนั้นๆ

2.1.6 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีตำแหน่งของการกระทำคงที่หรือถาวรตลอดเวลาและไม่มีเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนัก เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นจึงมีแนวทางกระทำอยู่ในแนวตั้งหรือแนวตั้งเสมอ น้ำหนักบรรทุกทุกแบบนี้ได้แก่น้ำหนักของส่วนโครงสร้างเองที่ประกอบรวมกันเป็นโครงสร้างประเภทต่างๆ เช่น น้ำหนักของแผ่นพื้นวัสดุปูพื้น ส่วนที่แขวนห้อย ผนัง คาน เสา ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของวัสดุที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นหรือเลือกใช้ ค่าโดยประมาณของน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งานที่ใช้ในการคำนวณออกแบบทั่วไป

ตาราง 2.6 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุชนิดต่างๆ (DL)

| วัสดุ | น้ำหนักบรรทุกคงที่ |
|-------------------------|-----------------------------|
| คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา | 1600-2400 กก/ม ³ |
| เหล็ก | 7850 กก/ม ³ |
| ไม้ | 800-900 กก/ม ³ |
| อิฐ | 1900 กก/ม ² |
| กำแพงอิฐมวลเบา | 180-350 กก/ม ² |
| กำแพงอิฐมวลเบา | 90-180 กก/ม ² |

2.1.7 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

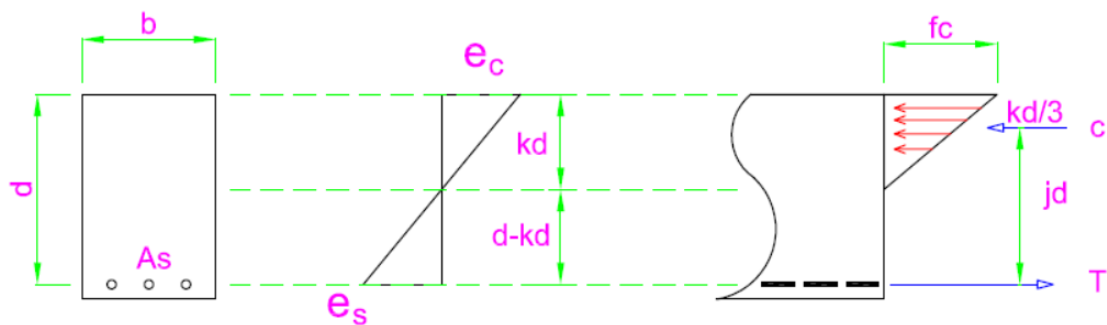
น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่กระทำชั่วคราวและอาจเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนักได้ ประกอบด้วยน้ำหนักจรที่กระทำในแนวดิ่ง และน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำทางด้านข้างอาคารน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำในแนวดิ่ง ได้แก่ น้ำหนักผู้ใช้อาคาร น้ำหนักของเครื่องเรือน เครื่องจักร หรือสิ่งของและสินค้าต่างๆ เช่น หนังสือ อุปกรณ์สำนักงาน วัสดุก่อสร้าง นอกจากนี้ยังรวมถึง น้ำหนักของรถยนต์นั่ง รถยนต์บรรทุก รถไฟ ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกจรที่เคลื่อนที่และทำให้เกิดแรงกระทำแก่น้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำทางด้านข้างของอาคาร ได้แก่ แรงลม แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว แรงดันของดินของไหล

ในแต่ละประเทศจะให้ข้อบัญญัติเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำ ที่ต้องพิจารณาใช้สำหรับการคำนวณออกแบบโดยขึ้นกับประเภทและการใช้สอยของอาคารนั้น สำหรับการคำนวณออกแบบในกรุงเทพมหานคร กรุงเทพมหานครได้ออกข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2552 โดยกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับใช้คำนวณออกแบบโครงสร้างประเภทต่างๆ ซึ่งต้องมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราที่กำหนด ตาราง 2.7 น้ำหนักบรรทุกจรประเภทและการใช้สอยของอาคาร (LL)

| ประเภทและการใช้สอยของอาคาร | น้ำหนักบรรทุกจร |
|--|-----------------------|
| หลังคา | 50 กก/ม ² |
| กันสาด หรือหลังคาคอนกรีต | 100 กก/ม ² |
| ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม | 150 กก/ม ² |
| อาคารชุด หอพัก โรงแรม | 200 กก/ม ² |
| สำนักงาน ธนาคาร | 250 กก/ม ² |
| อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงเรียน | 300 กก/ม ² |
| ห้องโถง บันได ทางเดินอาคารชุด หอพัก โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงาน และธนาคาร | 300 กก/ม ² |
| ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร ที่จอดรถ หรือเก็บรถยนต์นั่ง | 400 กก/ม ² |
| ห้องโถง บันได ทางเดินอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงเรียน | 400 กก/ม ² |
| คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ ภัตตาคาร โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ | 500 กก/ม ² |
| ห้องโถง บันได ทางเดินห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร และหอสมุด | 500 กก/ม ² |
| ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด | 600 กก/ม ² |
| ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกทุกประเภท และรถอื่น | 800 กก/ม ² |

2.1.8 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานเป็นองค์อาคารที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกจากพื้น น้ำหนักผนัง และอื่นโดยถ่ายน้ำหนักต่อไปยังคานหลักหรือเสาที่รองรับ น้ำหนักบรรทุกหรือเสารองรับ น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำกับคานทำให้เกิดแรงภายในได้แก่ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และ โมเมนต์ดัด อีกทั้งยังส่งผลให้คานเกิดการโก่งตัว ดังนั้น การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กจึงต้องพิจารณา ให้สามารถต้านทานแรงต่าง ๆ เหล่านี้ได้ โดยคอนกรีตเสริมเหล็กอาจเป็นคานข้างเดียว คานยื่น หรือ คานต่อเนื่องก็ได้ ดังภาพที่ 2.6



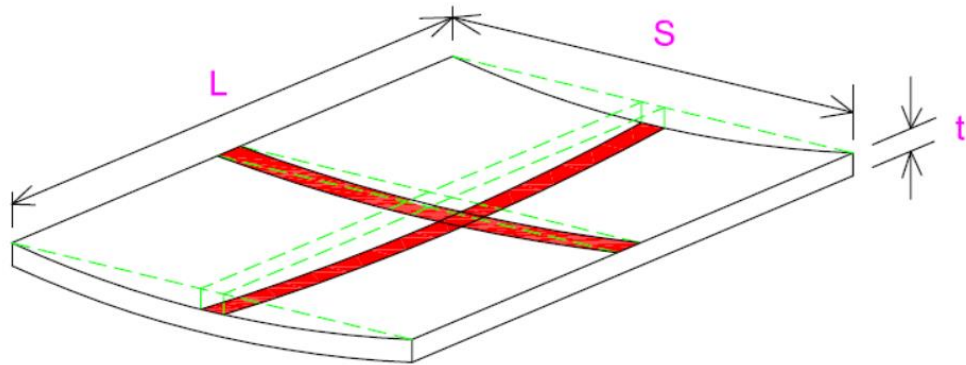
ภาพที่ 2.6 การกระจายของหน่วยการยึดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดคาน

อธิบายสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ได้ ดังนี้

- | | |
|---|---|
| A_s : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมเสริมรับแรงดึง | jd : ระยะจากแนวแรงอัด(C) ถึงแนวแรงดึง (T) |
| b : ความกว้างของคาน | t : ความลึกของคาน |
| c : แรงอัดที่รับโดยคอนกรีต | T : แรงดึงที่รับโดยเหล็กเสริม |
| f_s : หน่วยแรงอัดของคอนกรีต | f_s : หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม |
| d : ความลึกประสิทธิภาพของคาน | |
| kd : ระยะจากผิวบนของคอนกรีตด้านรับแรงอัดถึงแนวแกนสะเทิน | |

2.1.9 คอนกรีตเสริมเหล็กพื้นสองทาง (Two-way slabs)

ลักษณะของแผ่นพื้นจะมีอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวมากกว่าหรือเท่ากับ $0.5 (\frac{l_2}{l_1} \geq 0.5)$ และ/หรือ อาจกล่าวได้ว่า เป็นแผ่นพื้นที่มีด้านยาวต่อด้านสั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับสองและเป็นแผ่นพื้นมีคาน หรือ ผนัง เป็นฐานรองรับโดยรอบทั้งสี่ด้าน การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทางจะเกิดการดัดโค้งทั้งสองทิศทาง ดังแสดงในภาพที่ 2.7



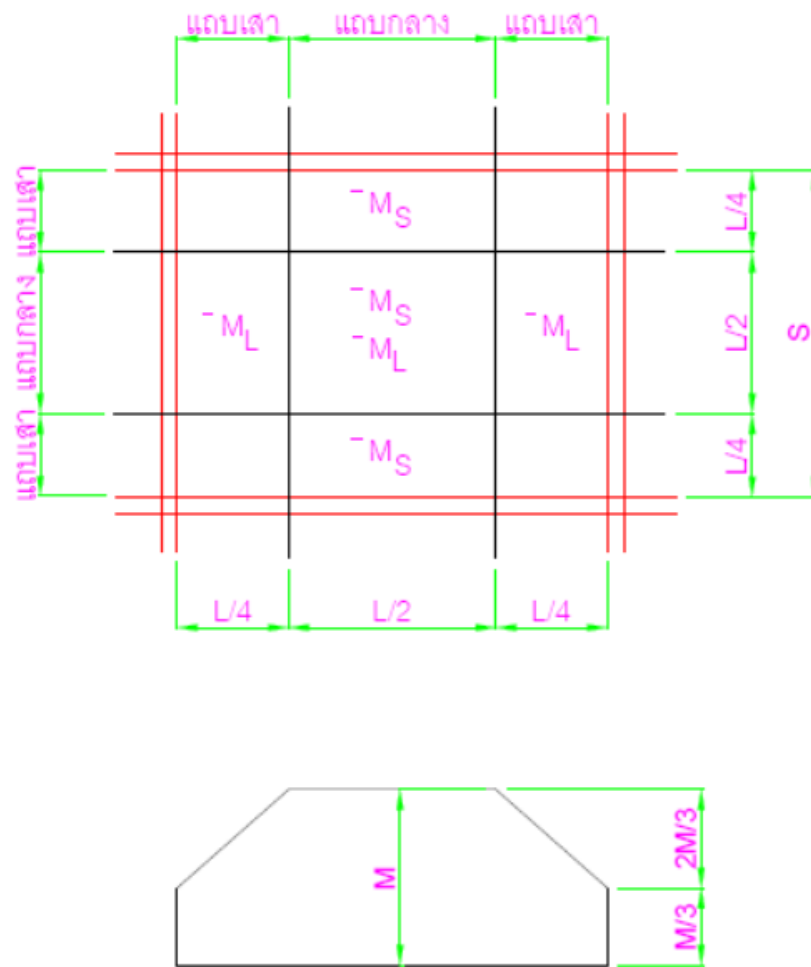
ภาพที่ 2.7 การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง

หลักเกณฑ์ในการออกแบบ มาตรฐาน ว.ส.ท. เสนอวิธีการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางไว้ 3 วิธี แต่ในการศึกษานี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่ 2 ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณออกแบบที่ทำให้สะดวกรวดเร็วกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกกระทำบนแผ่นพื้นแบบแผ่นสม่ำเสมอ โดยน้ำหนักบรรทุกจร มีค่าไม่เกินกว่า 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และแบ่งพื้นที่ทั้งด้านสั้น (S) และด้านยาว (L) เป็นแถบกลางมีความกว้างครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น และแถบริมหรือแถบเสามีความกว้างครึ่งหนึ่งของช่วงพื้นเช่นกัน แต่ถูกแบ่งเป็นสองส่วนจึงเหลือพื้นที่เพียงหนึ่งในสี่ของช่วงพื้นที่อยู่นอกแถบกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นมีค่าเป็นโมเมนต์บวก ($+M$) ที่เส้นแบ่งกึ่งกลางช่วงพื้น ส่วนโมเมนต์ลบ (M) ให้คิดที่ขอบโดยรอบของช่วงพื้นตรงขอบคานรองรับ ซึ่งค่าโมเมนต์ดัดหาได้จากสูตร

$$M = cwS^2$$

โดยที่ M = ค่าโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้น c = ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์
 w = น้ำหนักบรรทุก S = ด้านสั้นของแผ่นพื้น

การกระจายโมเมนต์ในแผ่นค่า โมเมนต์ดัดในแถบเสาจะสมมติให้มีค่าลดลงแบบเชิงเส้นจากค่าที่หาได้ในแถบกลางเหลือเพียงหนึ่งในสามที่ขอบของคานรองรับ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์ดัดในแถบเสาจึงมีค่าเท่ากับสองในสามของโมเมนต์ดัดในแถบกลาง ในกรณีที่ค่าโมเมนต์ลบที่ขอบคานรองรับด้านใดน้อยกว่าร้อยละ 80 ของโมเมนต์อีกด้านหนึ่ง ให้นำค่าสองในสามของผลต่าง โมเมนต์กระจายออกไปตามสัดส่วนความแข็ง (Stiffness) ของแผ่นพื้น ดังรูป 2.9



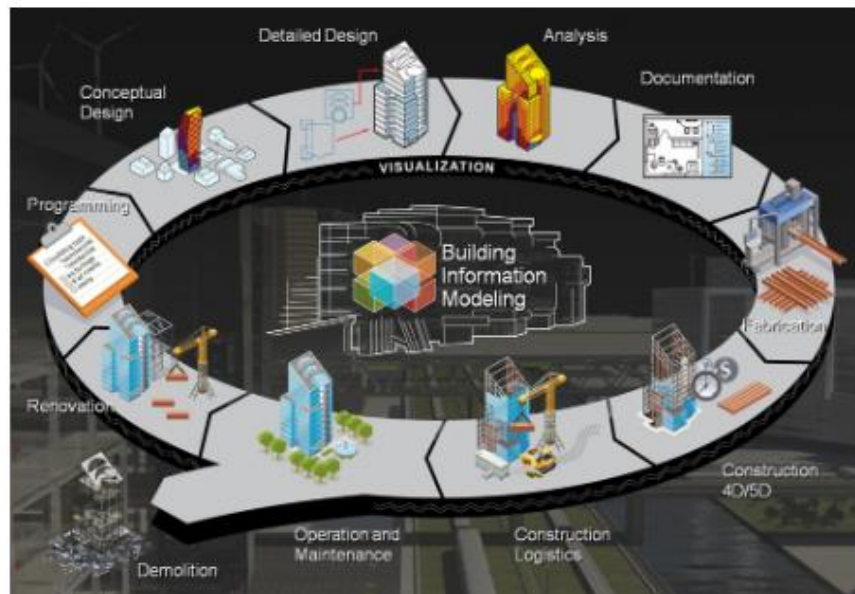
ภาพที่ 2.9 การแบ่งพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

2.2 การจำลองข้อมูลอาคาร (Building Information Modeling: BIM)

2.2.1 ความหมายของ BIM

BIM เป็นการบวนการ (Process) ไม่ใช่ซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อที่จะบูรณาการการทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ ของการออกแบบและการก่อสร้างอาคารสถาปัตยกรรม โดยมีเป้าหมายเพื่อลดขั้นตอน ลดความซับซ้อน ลดความขัดแย้ง และลดปัญหาอันเกิดมาจากข้อมูลที่ผิดพลาด อันเกิดจากการบวนการทำงานในลักษณะเดิม [10]

ดังนั้น BIM จึงถูกวางกระบวนการเริ่มต้นตั้งแต่การวางโจทย์ของโครงการ การออกแบบแนวคิดของโครงการ ไปจนถึงขั้นตอนการพัฒนาเพื่อนำไปสู่แบบสำหรับก่อสร้าง งานก่อสร้างและการควบคุมการก่อสร้าง ไปจนถึงการดูแลและบำรุงรักษาอาคารภายหลังจากที่อาคารนั้นสร้างเสร็จแล้ว เรียกว่า เป็นกระบวนการตั้งแต่การเริ่มต้นโครงการไปจนครบวงจรชีวิต (Live Cycle) ของมันนั่นเอง โดยการทำ BIM นั้นจะมีการสร้างแบบจำลองหรือโมเดล 3 มิติ (Building Model) ที่ประกอบด้วยข้อมูลสารสนเทศ (Information) ขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการบูรณาการกระบวนการทำงานทั้งหมดเข้าด้วยกันนั่นเอง ดังภาพที่ 2.9

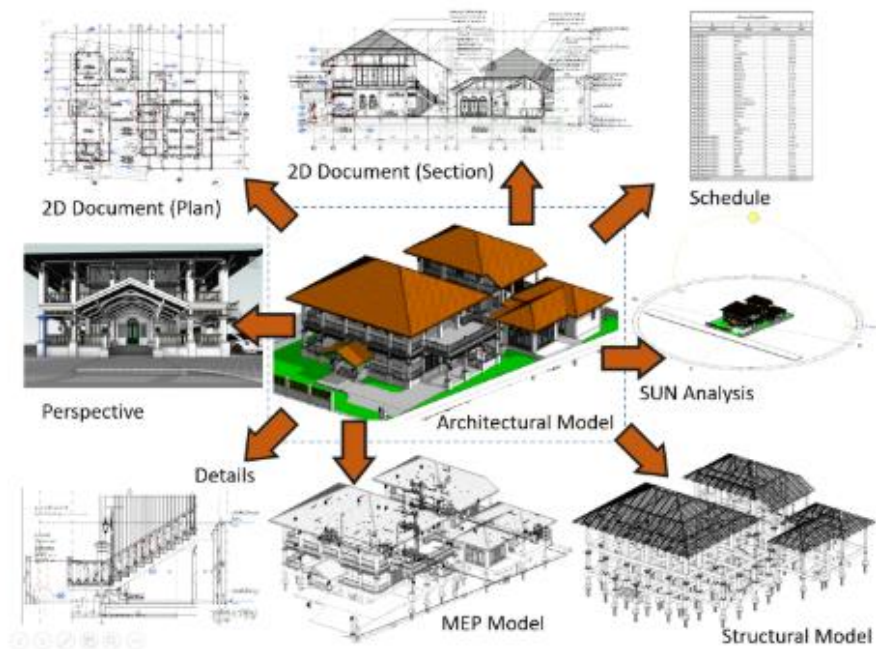


ภาพที่ 2.9 แสดงวงจรกระบวนการทำงานของ BIM

2.2.2 หลักการและการบวนการ BIM

หลักการและกระบวนการทำงานภายใต้ระบบ BIM นั้นก็จะต้องทำงานผ่านซอฟต์แวร์ที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับกระบวนการดังกล่าว โดยลักษณะของซอฟต์แวร์จะมีลักษณะเน้นไปที่การทำงานในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติขึ้นมาเป็นหลัก และก็จะมีการใช้ในการควบคุมขนาดและสัดส่วนต่างๆ ของวัตถุด้วยระบบพารามิเตอร์ (Parametric Object-Based) ซึ่งการควบคุมการทำงานนั้นจะเป็นการทำงานผ่านมุมมองต่าง ๆ ทั้งมุมมองที่เป็น 2 มิติ และ 3 มิติ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดของวัตถุใด ๆ ในมุมมองก็จะส่งผลไปถึงมุมมองอื่นทั้งหมด ทำให้การสร้างสรรคงานสามารถทำได้อย่างรวดเร็วไปพร้อม ๆ กัน โดยที่ไม่ต้องกังวลความสัมพันธ์ของแบบในมุมมองต่าง ๆ อีกต่อไป

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นบนระบบ BIM นั้น จึงมีลักษณะของการแสดงผลของแบบจำลองในหลากหลายมุมมองทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ อันได้แก่ ผังพื้น รูปด้าน รูปตัด ทัศนียภาพ และ Isometric เป็นต้น หรือยังสามารถแสดงข้อมูลของแบบจำลองออกมาในรูปแบบของตารางรายการได้ เช่น ตารางแสดงปริมาณวัสดุ ปริมาณของเหล็ก หรือตารางแสดงพื้นที่ใช้สอยในแต่ละห้อง เป็นต้น ดังภาพ 2.10



ภาพที่ 2.10 แสดงการแสดงผลของแบบจำลองในหลากหลายมุมมอง

ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขในส่วนใดของแบบจำลองที่สร้างขึ้น การแก้ไขนั้นก็จะส่งผลออกไปยังทุก ๆ มุมมอง เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามกันทั้งหมด และรวมไปถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของกราฟิกและข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก

ถ้าเปรียบเทียบมาตรฐาน BIM ของไทยกับมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา จะเรียกว่า LOD (Level of Development) หรือระดับขั้นในการพัฒนา จะแบ่งออกเป็น 5 ระดับขั้น LOD100, LOD200, LOD300, LOD400 และ LOD500

LOD100 เป็นแบบจำลองข้อมูลอาคาร จะบอกพื้นที่ ความสูง ปริมาตร ตำแหน่งและทิศทางซึ่งอาจจะเป็นสามมิติก็ได้ ใ้ว่างแผนงานก่อสร้าง การประมาณราคา

LOD200 เป็นแบบจำลองข้อมูลอาคาร จะบอกพื้นที่ ความสูง ปริมาตร ตำแหน่งและทิศทางแบบประมาณ ข้อมูลอาจไม่เป็นรูปแบบเรขาคณิตใส่เข้าไปในแบบจำลองได้ ใช้ในการวิเคราะห์ การประมาณราคา และการวางแผนงานก่อสร้าง

LOD300 เป็นแบบจำลองข้อมูลอาคาร จะบอกพื้นที่ ความสูง ปริมาตร ตำแหน่งและทิศทางแบบประมาณ เหมาะสำหรับการทำแบบก่อสร้าง และแบบ Shop Drawing การวิเคราะห์ และประมาณราคา

LOD400 เป็นแบบจำลองข้อมูลอาคาร ถูกสร้างเฉพาะเจาะจง มีความแม่นยำในด้าน ขนาด รูปร่าง ตำแหน่ง ปริมาณ และทิศทางโดยการแสดงกระบวนการผลิต การประกอบ รายละเอียดอย่าง สมบูรณ์ ใช้จำลองการแสดงผลแบบเสมือนจริง ในส่วนองค์ประกอบที่ต้องการ

LOD500 องค์ประกอบของแบบจำลองต่าง ๆ ถูกสร้างเช่นเดียวกับการสร้างของจริง และมีความ แม่นยำมากในด้าน ขนาด รูปร่าง ตำแหน่ง ปริมาณและทิศทาง ใช้สำหรับการบำรุงรักษาของอาคาร และ เปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมภายหลัง

2.2.4 โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง (MIDAS Gen Program)

การออกแบบโครงสร้าง ทางด้านวิศวกรรม ในปัจจุบันได้มีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยใน การโมเดลโครงสร้าง วิเคราะห์โครงสร้าง ออกแบบโครงสร้าง เขียนแบบและประมาณราคา กันอย่าง แพร่หลาย เพื่อลดขั้นตอนการออกแบบให้มีความสะดวก และถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งมี CODE มาตรฐานที่ ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง คอนกรีตครอบคลุมทั้งวิธีกำลัง และวิธีหน่วยแรงใช้งาน ในส่วนของ โครงสร้างไม้และเหล็กก็มี CODE มาตรฐานที่สามารถรองรับ การออกแบบเหล็กกรีดร้อน หรือเหล็กกรีดเย็น โปรแกรม MIDAS GEN 2016 ดังภาพ 2.12 เป็นโปรแกรมประเภทวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง โปรแกรมมีความสามารถสูงเนื่องจากเป็นโปรแกรมคำนวณแบบ 3D สามารถออกแบบได้ทั้งเหล็ก คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete)



ภาพที่ 2.12 MIDAS Gen Program

2.4 การประเมินความเสี่ยงโดยหาค่าจากสูตร $R = P \times I$

R = ความเสี่ยง

P = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติของอาคาร ค.ส.ล

I = ผลกระทบเมื่อเกิดการวิบัติ

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

เป็นการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นโดยมีเหตุการณ์หลักๆที่ต้องวิเคราะห์การประเมินความเสี่ยงให้ใช้หลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- พิจารณาถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ (Probability) โดยแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ สูง ปานกลาง ต่ำและต่ำมาก แทนด้วยตัวเลข 4,3,2,1
- พิจารณาถึงความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ต่าง ๆ (Impact) ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับความ รุนแรงและผลกระทบเป็น 5 ระดับ คือ สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก แทนด้วยตัวเลข 5,4,3,2,1 ตามลำดับ

ระดับค่าความเสี่ยง

| ระดับความเสี่ยง | ค่าของความเสี่ยง |
|-----------------|---|
| 1-2 | ยอมรับได้มีความเสี่ยงน้อยมาก ไม่ต้องจัดการกับความเสี่ยง |
| 3-7 | ยอมรับได้มีความเสี่ยงปานกลาง ควรจัดการกับความเสี่ยง |
| 8-14 | ยอมรับไม่ได้มีความเสี่ยงมาก ต้องจัดการกับความเสี่ยง |
| 15-20 | ยอมรับไม่ได้อันตราย ต้องจัดการกับความเสี่ยงโดยเร็ว |

อธิบายที่มาความเสี่ยง

| I \ P | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|---|----|----|----|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 3 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 4 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 5 | 5 | 10 | 15 | 20 |

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 นายอนันต์ สุนทรศิริ (2561) ได้ทำการสำรวจตรวจสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนการเสริมกำลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งานของอาคารคอนกรีตประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่ได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ในการเก็บข้อมูลจำเป็นที่ต้องปฏิบัติในภาคสนามคือ การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Visual Inspection Method) มยผ. 1501-51 เขียนแบบโครงสร้างเพื่อเป็น Input สำหรับการวิเคราะห์ และข้อมูลจากการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายนำไปใช้เป็น Structural Strength Input ใน Structural Model

2.5.2 ภาคภูมิ มงคลสังข์ , ไตรทศ ขำสุวรรณ (2560) ได้ทำการทำวิธีประเมินโครงสร้างอาคาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำอาคารเก่ามาปรับปรุงหรือต่อเติมดัดแปลงอาคาร เปลี่ยนแปลงสภาพการใช้น้ำหนักบรรทุกทุกในการใช้งานบนพื้นอาคาร งานวิจัยได้ทำการตรวจสอบอาคารส่วนที่ชำรุดสึกหลอ มีการวิบัติของโครงสร้างอาคาร หรือมีการหลุดตัวของฐานรากอาคารและตรวจสอบโครงสร้างอาคารในลักษณะเชิงลึก โดยเป็นการตรวจสอบด้วยเครื่องมือทดสอบโดยการสุ่มตำแหน่งการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลทั้งหมดของโครงสร้าง เช่น ข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพ รูปแบบโครงสร้าง แบบโครงสร้าง รายละเอียดทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ และทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคคุณสมบัติของชั้นดินระดับความเสียหายของโครงสร้าง และนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ไปวิเคราะห์ประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารว่ามีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมสำหรับการใช้งานในอนาคตต่อไป

2.5.3 นายจิราวุฒิ เยาวธานี , นางสาวชานิกา เลิศศิริจง , นายวรกร อาจดำเกิงไกร , นายสันติภาพ พงภมร , นางสาวสุธาสินี ธิศรี (2558) ได้ทำงานวิจัยเรื่อง สื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ วัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยสอนรายวิชาวัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ เพื่อให้ผู้ศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ ทักษะการใช้เครื่องมือในการทดสอบ และตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุทางวิศวกรรมโยธา สามารถฝึกปฏิบัติได้ด้วยตนเอง เพื่อกระตุ้นให้การเรียนการสอนรายวิชาวัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบน่าสนใจมากยิ่งขึ้น

2.5.4 ไพบุลย์ ปัญญาคะโป ได้ทำการศึกษาการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวชั้นเบื้องต้นสำหรับโครงสร้างปกติทั่วไปที่ฝั่งอาคารมีความสมมาตร โดยจะต้องมีการตรวจสอบหาค่าความปลอดภัยของโครงสร้างอาคาร อันประกอบด้วย การตรวจสอบค่าระยะโยกตัวในแต่ละระดับชั้นของอาคาร การตรวจสอบค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำของอาคาร และการตรวจสอบผลกระทบของโมเมนต์ลำดับสอง อันเนื่องมาจากน้ำหนักกระทำลงสู่เสาเอียงศูนย์ไปจากแนวตั้ง ชั้นตอนเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญเพื่อที่จะทราบว่าคานมีรูปทรง สัดส่วนที่ดีพอเหมาะที่จะทำให้มีเสถียรภาพต่อแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

2.6 สรุปท้ายบท

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่านั้นทำไปเพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะของโครงสร้างที่อาจเกิดการชำรุดเสียหาย และให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ซึ่งต้องตรวจสอบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวและต้านทานแรงลม ซึ่งทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องใช้ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างทั้งหมด การทดสอบแบบไม่ทำลายโครงสร้างเพื่อรักษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุ นั้น ๆ ไว้ไม่ให้เสียหาย การวิเคราะห์และออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า เพื่อให้ทราบถึงเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารเก่า โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อช่วยประหยัดเวลา และช่วยให้ข้อมูลแม่นยำมากยิ่งขึ้น และการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวของอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐาน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ เก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง (เสา คาน พื้น) ทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายด้วยวิธีค้อนกระทบแบบสมิทท์ (Schmidt Hammer Test) จัดทำแบบจำลองโครงสร้าง 3D และ 2D ด้วย MIDAS Gen วิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวและแรงลมตามกฎกระทรวงด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Force Method) ประเมินสมรรถนะโครงสร้างจากข้อมูลการแสดงผลในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง และสรุปผลท้ายบท แสดงแผนวิธีการดำเนินงานได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงาน

3.1 การเก็บข้อมูลโครงสร้าง

การเก็บข้อมูลมาเพื่อประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า แบ่งเป็นการเก็บข้อมูล 2 แบบคือ

3.1.1 การเก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง (เสา คาน พื้น) ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 แสดงการเก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง (เสา คาน พื้น)

| ลำดับที่ | รายละเอียด | ขนาด | | |
|----------|------------|------------|----------|----------|
| | | กว้าง (ม.) | ยาว (ม.) | สูง (ม.) |
| 1 | (1) | (2) | (2) | (2) |

*หมายเหตุ : (1) รายละเอียดของโครงสร้าง เช่น เสาชั้น 1 คานชั้น 1 พื้นชั้น 1
(2) ได้จากการวัดรายละเอียด

3.1.2 การเก็บข้อมูลจากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระทบแบบสมิทธิ ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนกระทบ

| ลำดับ | ตำแหน่ง ที่ทำการ ทดสอบ | มุมที่ ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน | | | | | | | | | | ค่าเฉลี่ย | ค่าเฉลี่ย ปรับแก้ เครื่องมือ | ค่ากำลัง อัด ประลัย | หมายเหตุ | |
|-------|------------------------------|---------------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----------|------------------------------------|---------------------------|----------|--|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | | | |
| 1 | (1) | (2) | (3) | | | | | | | | | | (3) | (4) | (4) | (5) | |

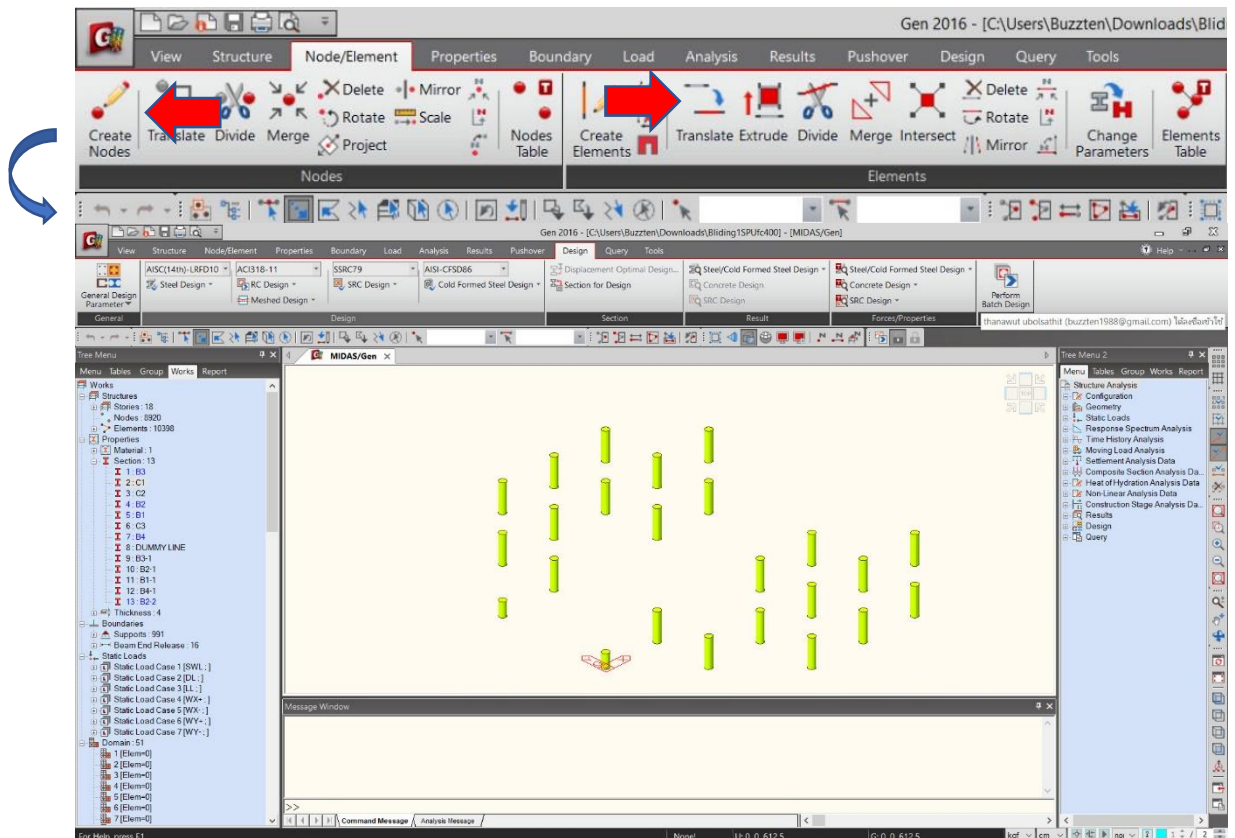
*หมายเหตุ : (1) รายละเอียดของโครงสร้าง เช่น เสาชั้น 1 คานชั้น 1 พื้นชั้น 1
(2) ได้จากการทดสอบ
(3) ได้จากการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง
(4) ได้จากการคำนวณ
(5) ได้จากการแปลงค่าการสะท้อนเป็นค่ากำลังอัดประลัย ดังรูป 2.2

3.2 จัดทำแบบจำลองโครงสร้างอาคาร 3 มิติ

การโมเดลในงานโครงสร้าง จากการการศึกษาแบบสถาปัตยกรรมขึ้นรูปเป็นแบบโครงสร้าง 2 มิติอย่างละเอียด ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างโมเดล 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Midas Gen 2016 ขึ้นรูปตามแบบแปลนโครงสร้างซึ่งประกอบไปด้วย เสา คาน และพื้น

3.2.1 การสร้างโมเดลเสา

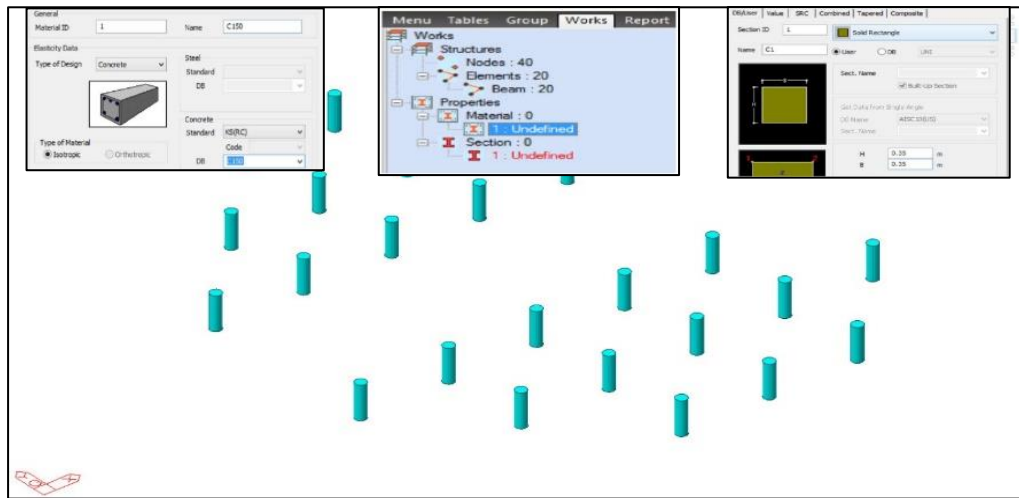
การสร้างโมเดลเสา เริ่มจากไปหน้าต่าง Node / create Node ตั้งค่า Coordinates (x,y,z) : 0,0,0 ค่าพิกัด Node เริ่มต้นให้ใช้ 0,0,0 และเข้าหน้าต่าง Translate Elements ใส่ระยะห่างเสาตามแบบแปลนจากนั้นใส่ คำสั่งในการ Copy เข้าที่หน้าต่าง Extrude Type : Node -> Line Element เพื่อวางตำแหน่งของเสาตามคลิกขวาที่ Undefined เพื่อกำหนด Material เลือก Properties ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การสร้างโมเดลเสา

3.2.2 การกำหนด Material และ Section ของเสา

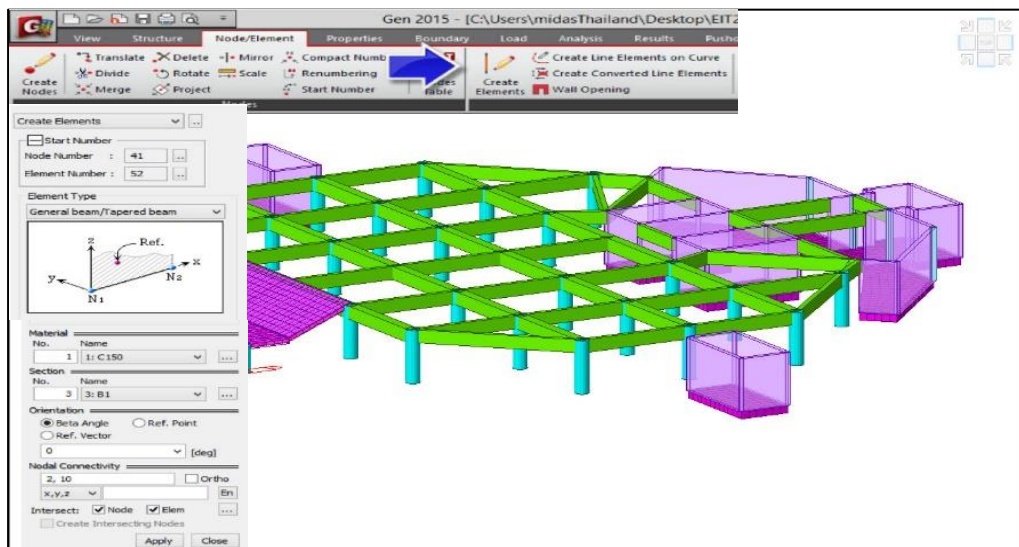
การกำหนด Material และ Section คลิกขวาที่ Undefined เพื่อกำหนด Material เลือก Properties แล้วไปที่ช่องหน้าต่าง Type of Design : Concrete Standard : KS(RC) DB : C350 Enter ที่แป้นพิมพ์ แล้วคลิกขวาที่ Undefined เพื่อ กำหนด Material เลือก Properties ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การกำหนด Material และ Section ของเสา

3.2.3 การสร้างโมเดลคาน

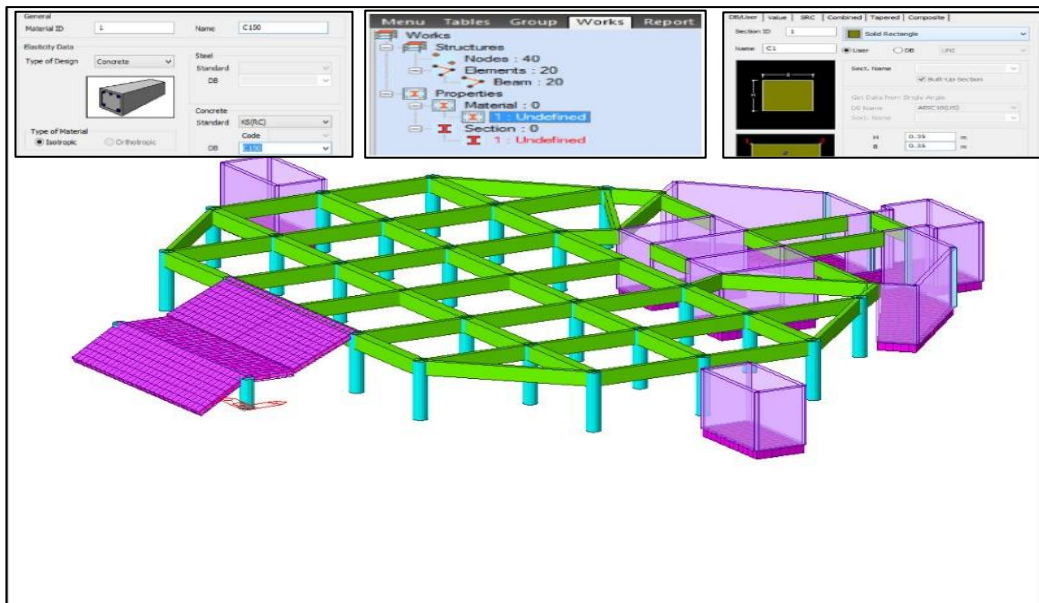
การสร้างโมเดลคาน เริ่มจากไปที่หน้าต่าง Create Elements สร้าง Element สำหรับ Beam โดยการวาดโมเดลในหน้าต่าง Model View ไปที่ Element Type -> General Beam/Tapered beam ไปที่ Material C350 พร้อมเลือกหน้าตัดคาน Section : B1 ดังภาพ 3.4



ภาพที่ 3.4 การสร้างโมเดลคาน

3.2.4 การกำหนด Material และ Section ของคาน

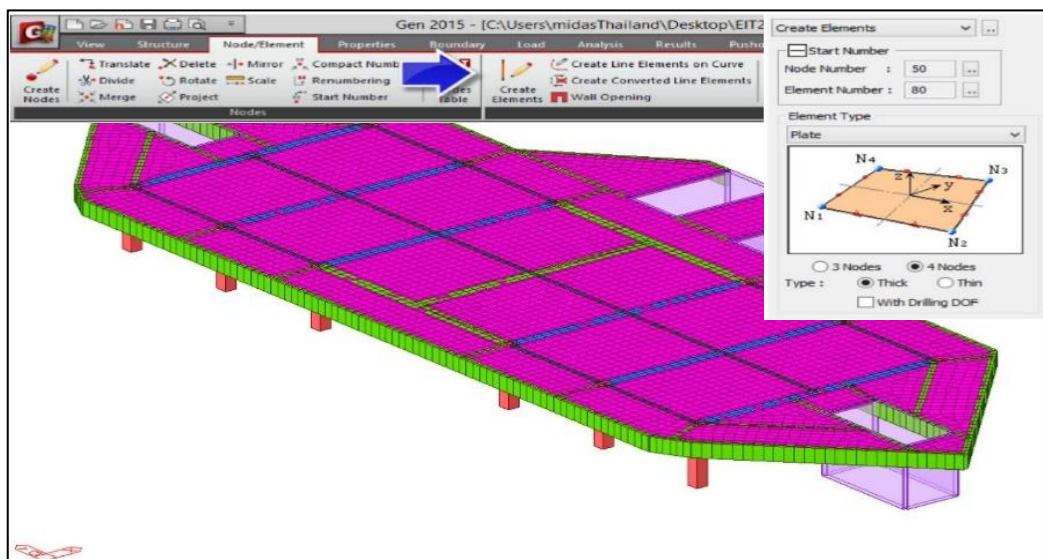
การกำหนด Material และ Section คลิกขวาที่ Undefined เพื่อกำหนด Material เลือก Properties แล้วไปที่ช่องหน้าต่าง Type of Design : Concrete Standard : KS(RC) DB : C350 Enter ที่เป็นพิมพ์ แล้วคลิกขวาที่ Undefined เพื่อ กำหนด Material เลือก Properties ดังภาพ 3.5



ภาพที่ 3.5 การกำหนด Material และ Section ของคาน

3.2.5 การสร้างโมเดลพื้น

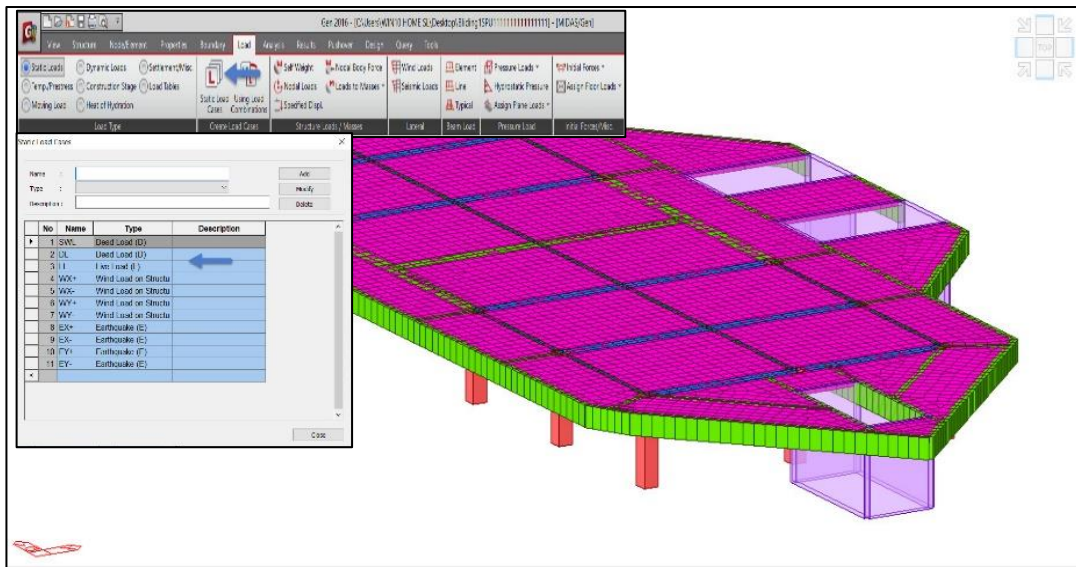
การสร้างโมเดลพื้น เริ่มจากไปที่หน้าต่าง Create Elements สร้าง Element สำหรับ Plate โดยการวาดโมเดลในหน้าต่าง Model View เข้าไปที่ Element Type : Plate ใส่ Material : C350 กำหนดความหนาของพื้น 0.20 เมตร วาดโมเดลในหน้าต่าง Model View วาดโมเดลที่ ตำแหน่งเสา 4 Node ดังภาพ 3.6



ภาพที่ 3.6 ภาพการสร้างโมเดลพื้น

3.2.6 การกำหนด load case เสา คานและ พื้น

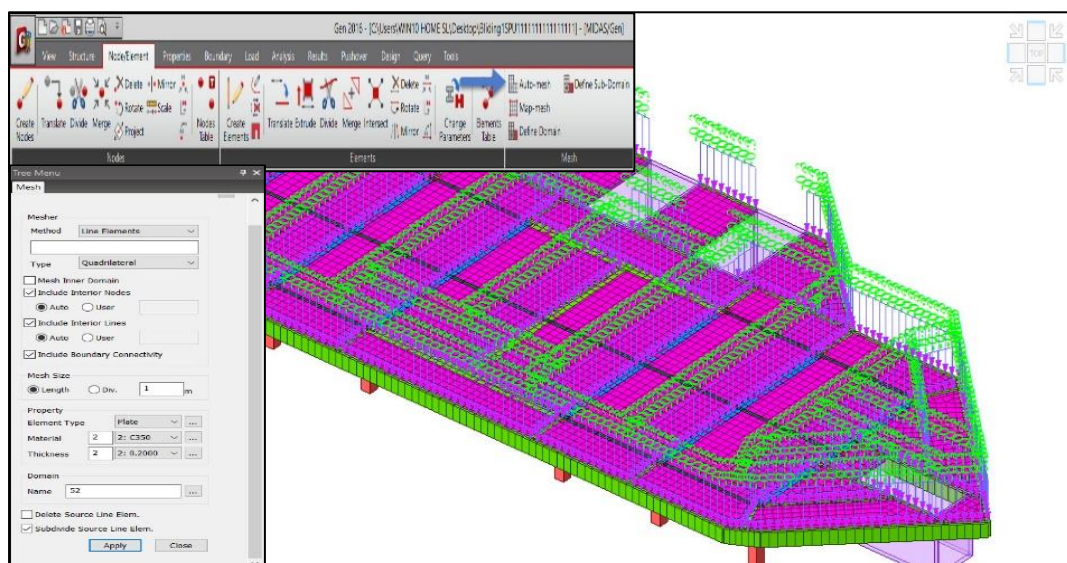
การกำหนด load case เสา คานและ พื้น เริ่มจากไปที่หน้าต่าง Design ตั้ง Code Design ตาม วสท. กำหนด ACI318-11 ไปที่หน้าต่าง Load -> Static load cases ใส่ load Seft weight เลือก Type Dead load ใส่ load Dead load เลือก Type Dead load ใส่ live load เลือก Type Dead load ดัง ภาพ 3.7



ภาพที่ 3.7 ภาพแสดงใส่ load case

3.2.7 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกลง เสา คาน และพื้น

การถ่ายน้ำหนักบรรทุกลง เสา คานและ พื้น เริ่มจากไปที่หน้าต่าง node/element -> Auto-mesh ตั้งค่าความถี่ในการ mesh Size 0.50 เมตร ใส่ความหนาพื้น Thickness 0.20 เมตร และMaterial C350 กด Apply ดังภาพ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงการถ่ายน้ำหนักบรรทุกลง เสา คาน และพื้น

| Element | Load Case | CmdType | Load Type | Edge/Face | Direction | VX (m) | VY (m) | VZ (m) | Projection | PU (kgf/m ²) | P1 (kgf/m ²) | P2 (kgf/m ²) | P3 (kgf/m ²) | P4 (kgf/m ²) | EPU (kgf/m) |
|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| 9499 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9500 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9501 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9502 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9503 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9508 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9509 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9510 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9511 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9512 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9513 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9516 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9517 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9518 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9519 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9522 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9523 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9524 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9527 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9528 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9531 | LL | Pressure | Pressur | Face #1 | Global | 0.00 | 0.00 | 0.00 | No | -300.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

ภาพที่ 3.9 ภาพตารางแสดงใส่ live load

| Add. Dist I(m) | Add. Dist J(m) | Directio | Projectio | D1 | D2 | D3 | D4 | P1 | P2 | P3 | P4 | Unit | Dx | Dy | Dz | Group |
|----------------|----------------|----------|-----------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|-------|------|------|------|---------|
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |
| 0.00 | 0.00 | Global | No | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -630.0 | -630.0 | 0.00 | 0.00 | kgf/m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Default |

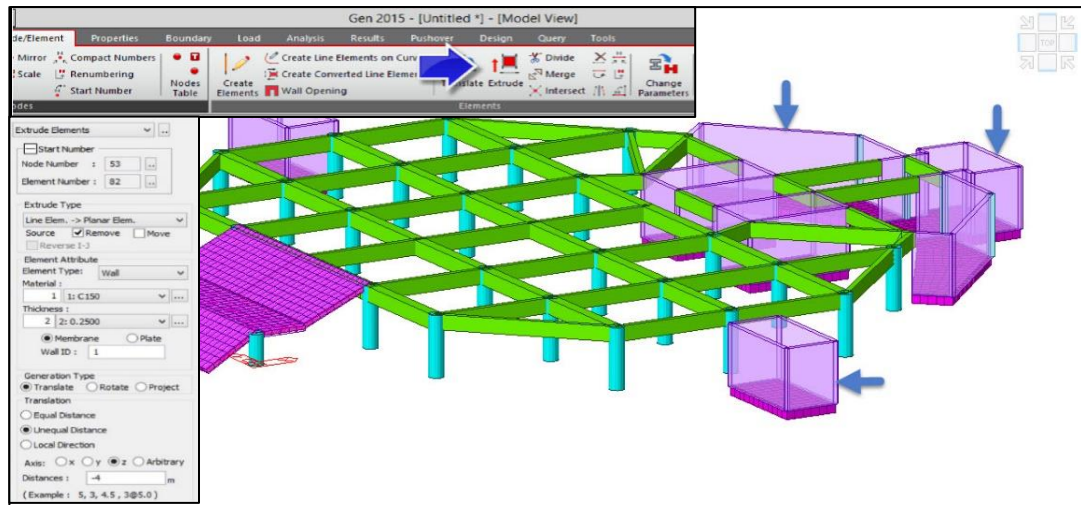
ภาพที่ 3.10 ภาพตารางแสดงใส่ dead load

3.2.8 การสร้างโมเดล Shear Wall

การสร้างโมเดล Shear Wall ไปที่หน้าต่าง Extrude Type : Line Element -> Planar Elem.

เลือกElement Type -> Wall ใส่Material : C350 กำหนดความหนา Shear Wall 0.30 เมตร กด Apply

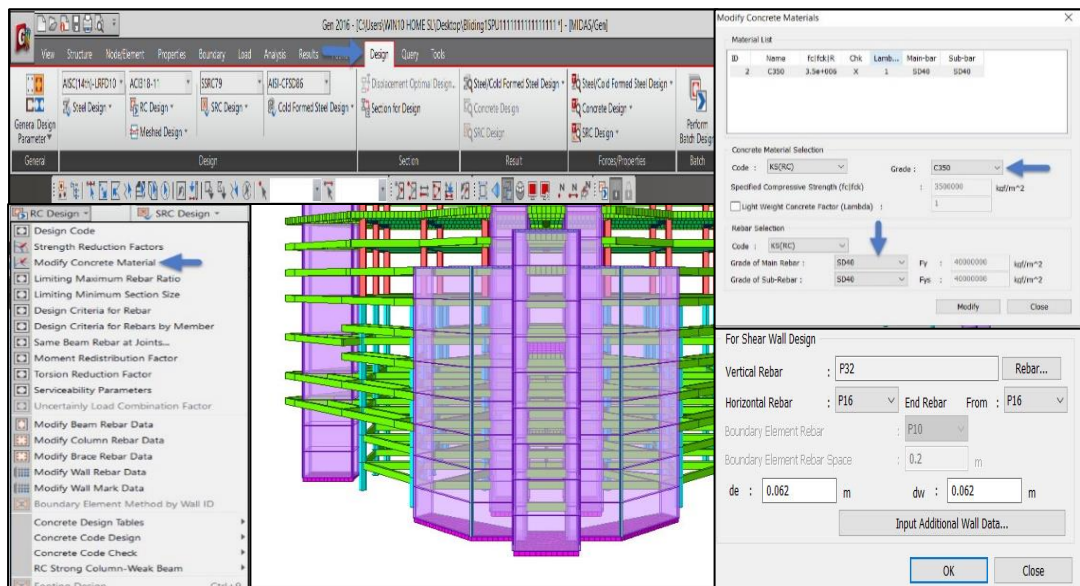
ดังภาพ 3.11



ภาพที่ 3.11 แบบแสดงสร้างโมเดล Shear Wall

3.2.9 การกำหนด Material และ Section ของ Shear Wall

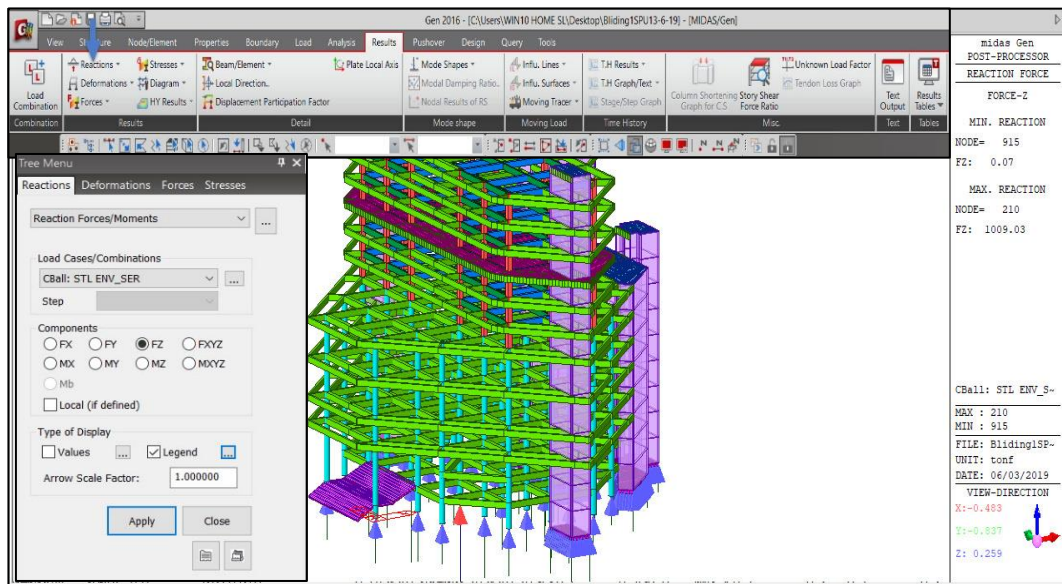
การกำหนด Material และ Section ของ Shear Wall ไปที่หน้าต่าง Design -> Modify concrete material กำหนด ชั้นคุณภาพของเหล็กเป็น Grade of main Rebar SD40, Grade of Sup Rebar SD40 ไปที่หน้าต่าง Design criteria for rebar -> for shear wall Design เพื่อกำหนดหน้าตัดเหล็กหลักและ เหล็กกรอง ดังภาพ 3.12



ภาพที่ 3.12 แสดงแบบกำหนด Material และ Section ของ Shear Wall

3.2.10 การดู Reaction รับน้ำหนักของเสา

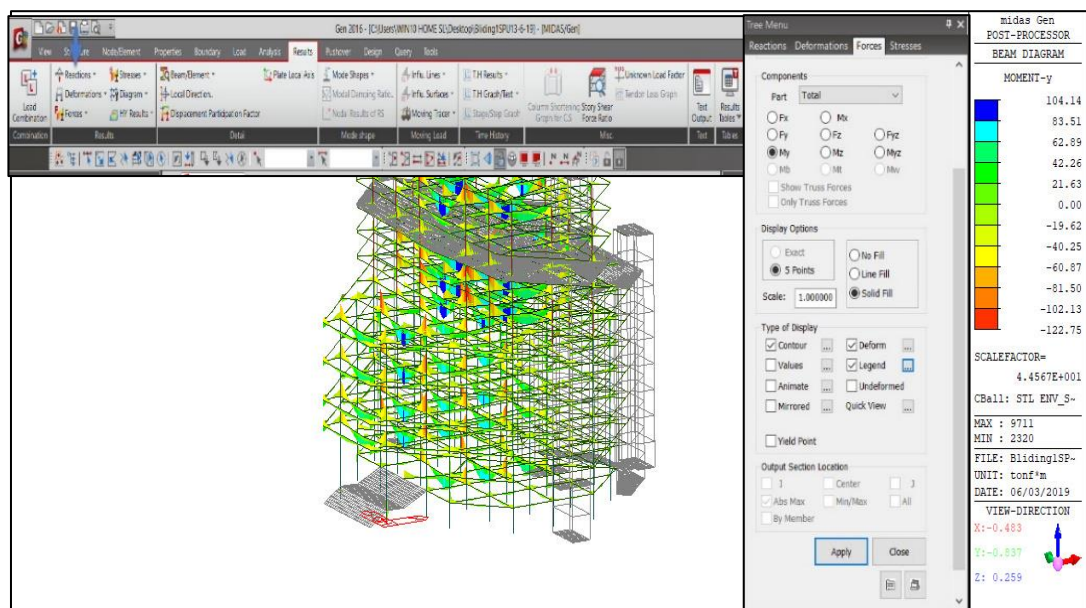
การดู Reaction รับน้ำหนักของเสา ไปที่หน้าต่าง Results -> Reaction Force moment ตั้งค่าเป็น load cases combination -> CBall STL: ENV SER รวมแรงในแนวตั้งรวมทั้งแรง wind load จะรู้ค่าการรับน้ำหนักของเสาทุกต้นและ เสาต้นไหนที่รับน้ำหนักสูงสุด ดังภาพ 3.13



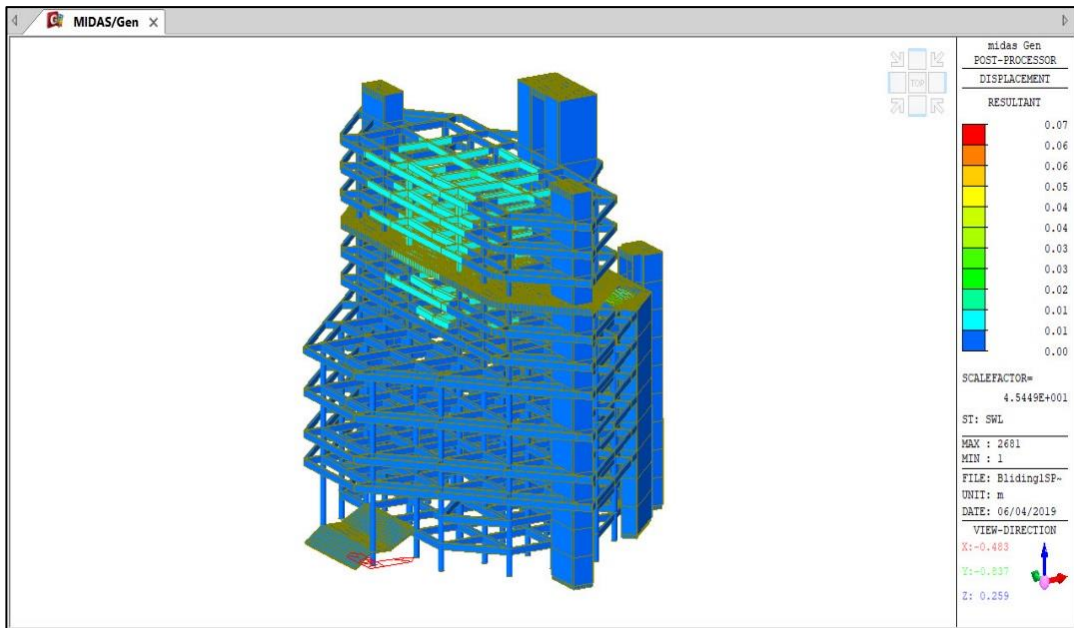
ภาพที่ 3.13 การดู Reaction รับน้ำหนักของเสา

3.2.11 การดูโมเมนต์และแรงเฉือนของคาน

การดู Moment ไปที่หน้าต่าง Results -> Forces -> Beam Diagrams คลิก My จะภาพแสดง Moment Diagrams คลิก FY จะได้ภาพแสดงแรงเฉือน ดังภาพ 3.15 และสามารถให้แสดงการเสีรูปของโครงสร้างอาคาร ดังภาพ 3.14



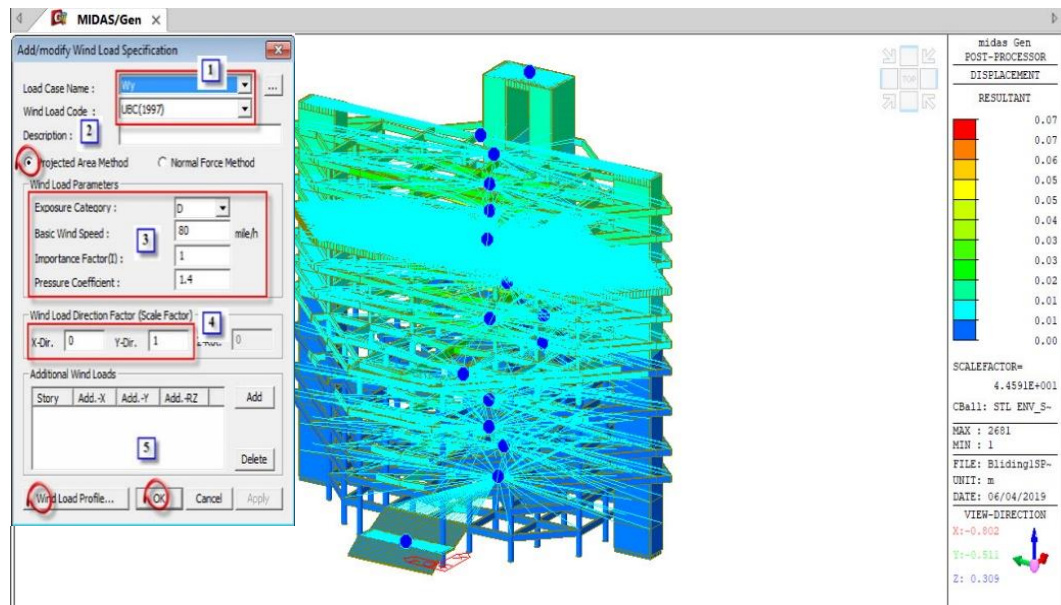
ภาพที่ 3.14 การดูโมเมนต์และแรงเฉือนของคาน



ภาพที่ 3.15 แสดงการเสียรูปของอาคาร

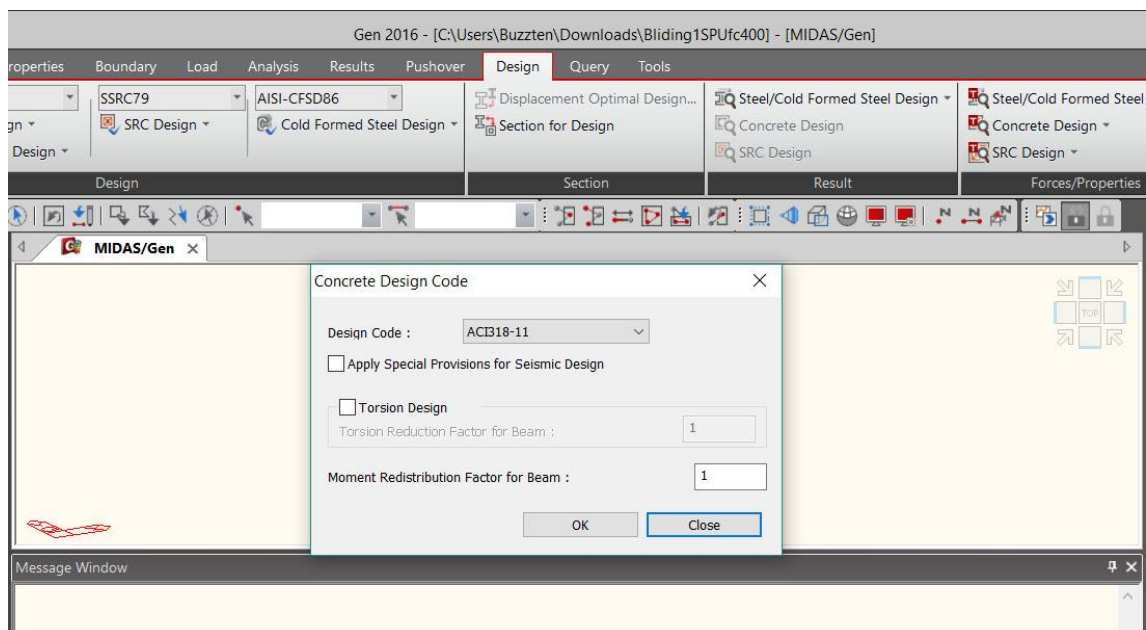
3.2.12 การใส่แรง Wind Load

การใส่แรง Wind Load ไปที่หน้าต่าง คลิกเลือก WX เมื่อต้องการจัดเก็บน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ Wind Load ไว้ใน WX ในกรอบของ Wind Load Code ให้คลิกเลือก UBC (1997) เลือกค่าสัมประสิทธิ์ C_q - Projected Area Method อาคารทั่วไปที่สูงไม่เกิน 60 ม. - Normal Force Method โครงอาคาร รูปจั่วและอาคารทั่วไปที่สูงเกิน 60 ม. Exposure Category : ให้กำหนดลักษณะภูมิประเทศ - ลักษณะภูมิประเทศ B ได้แก่ พื้นที่ซึ่งมีสิ่งกีดขวางด้วยอาคาร, ป่าไม้สักตั้งแต่ 6 เมตร ขึ้นไป - ลักษณะภูมิประเทศ C ได้แก่ ที่ราบและทุ่งโล่งทั่วไป จัดเป็นภูมิประเทศที่เสี่ยงต่อ แรงลมเช่นกัน - ลักษณะภูมิประเทศ D ได้แก่ ที่ราบติดชายฝั่งทะเลหรือแม่น้ำ จัดเป็นภูมิประเทศที่เสี่ยง ต่อแรงลม Basic Wind Speed : ให้กำหนดความเร็วลมที่ 80 mile/h Importance Factor (I) : ให้กำหนดความสำคัญของอาคารใช้งาน ทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1 Pressure Coefficient : กำหนดค่า 1.4 (ค่าตัวคูณเพิ่มของ Pressure) ในกรอบของ Wind Load Direction Factor (Scale Factor) เป็นการกำหนดทิศทางของแรงลม - WX จะกำหนดให้มีค่า X-Dir. เท่ากับ 1 และ ค่า Y-Dir. เท่ากับ 0 คลิกที่ปุ่ม Wind Load Profile... เพื่อแสดงค่าที่ได้จากการคำนวณของ Code UBC (1997) ค่า Pressure ที่คำนวณได้จาก Code UBC (1997) คลิกที่ปุ่ม เพื่อแสดงรายการคำนวณรายการคำนวณน้ำหนักของแรงลมคลิกที่ปุ่ม OK เมื่อการเพิ่มน้ำหนักแรงลมแล้วเสร็จ ดังภาพ 3.16



ภาพที่ 3.17 แสดงการใส่แรง Wind load

3.2.13 การกำหนด Code ในการออกแบบเหล็กเสริมตามข้อกำหนด วสท.การกำหนด Code เข้าไปที่หน้าต่าง Design ใส่ Code ACI318-99 ดังภาพ 3.18



ภาพที่ 3.18 การการกำหนด Code ตามข้อกำหนด วสท.

3.2.14 การกำหนด ค่า Phi

เข้าไปที่หน้าต่าง Strength Reduction Factors ตาม Code ACI318-99 สามารถปรับค่า Phi ในกรณีควบคุมงานไม่ได้หรือเพื่อความปลอดภัยของโครงสร้างอาคารดังภาพ 3.19

Strength Reduction Factors

Design Code : ACB18-11 Update By Code

Strength Reduction Factors

For Tensile Control (phi_t) : 0.9

For Compressive Control

- Member with Spiral Reinforcement (phi_c1) : 0.75

- Other Reinforced Member (phi_c2) : 0.65

For Shear and Torsion (phi_v) : 0.75

OK Close

ภาพที่ 3.19 การกำหนด ค่า Phi ตามข้อกำหนด วสท.

3.2.15 การกำหนดประเภทชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมและกำลังอัดคอนกรีต

เข้าไปที่หน้าต่าง Modify Concrete Material ตาม Code ACI318-99 สามารถกำหนดเหล็กหลักเหล็กปลอก เช่น เหล็กกลม (Round bar หรือ RB) เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar หรือ DB) ดังภาพ 3.20

Modify Concrete Materials

Material List

| ID | Name | fc fck R | Chk | Lamb... | Main-bar | Sub-bar |
|----|------|----------|-----|---------|----------|---------|
| 2 | C350 | 350 | X | 1 | SD40 | SD24 |

Concrete Material Selection

Code : KS(RC) Grade : C350

Specified Compressive Strength (fc|fck) : 350 kgf/cm²

Light Weight Concrete Factor (Lambda) : 1

Rebar Selection

Code : KS(RC)

Grade of Main Rebar : SD40 Fy : 4000 kgf/cm²

Grade of Sub-Rebar : SD24 Fys : 2400 kgf/cm²

Modify Close

ภาพที่ 3.20 การกำหนดประเภทชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมและกำลังอัดคอนกรีต

3.2.16 การกำหนดเหล็กเสริม เสา คานและ Shear wall

ไปที่หน้าต่าง Design Criteria for Rebar สามารถกำหนดเหล็กหลักเหล็กปลอก ระยะคอนกรีต หุ้มเหล็ก ดังภาพ 3.21

The image shows a software dialog box titled "Design Criteria for Rebars" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into four sections, each with a title and a set of input fields and checkboxes.

- For Beam Design:**
 - Main Rebar: P32 (with a "Rebar..." button)
 - Stirrups: P25 (dropdown), Arrangement: 4 (dropdown)
 - Side Bar: P25 (dropdown)
 - dT: 0.071 m, dB: 0.071 m
 - Doubly Rebar
 - Consider Spacing Limit for Main Rebar
 - k: 1 (input field)
 - Spliced Bars: None, 50%, 100%
- For Column Design:**
 - Main Rebar: P32 (with a "Rebar..." button)
 - Ties/Spirals: P20 (dropdown), Arrangement: Y: 2 (dropdown)
 - do: 0.066 m, Z: 2 (dropdown)
 - Consider Spacing Limit for Main Rebar
 - Spliced Bars: None, 50%, 100%
- For Brace Design:**
 - Main Rebar: P20 (with a "Rebar..." button)
 - Ties/Spirals: P10 (dropdown), Arrangement: Y: 2 (dropdown)
 - do: 0 m, Z: 2 (dropdown)
 - Consider Spacing Limit for Main Rebar
 - Spliced Bars: None, 50%, 100%
- For Shear Wall Design:**
 - Vertical Rebar: P25 (with a "Rebar..." button)
 - Horizontal Rebar: P25 (dropdown), End Rebar: From: P16 (dropdown)
 - Boundary Element Rebar: P10 (dropdown)
 - Boundary Element Rebar Space: 0.2 m
 - de: 0.0675 m, dw: 0.0675 m
 - Input Additional Wall Data... (button)

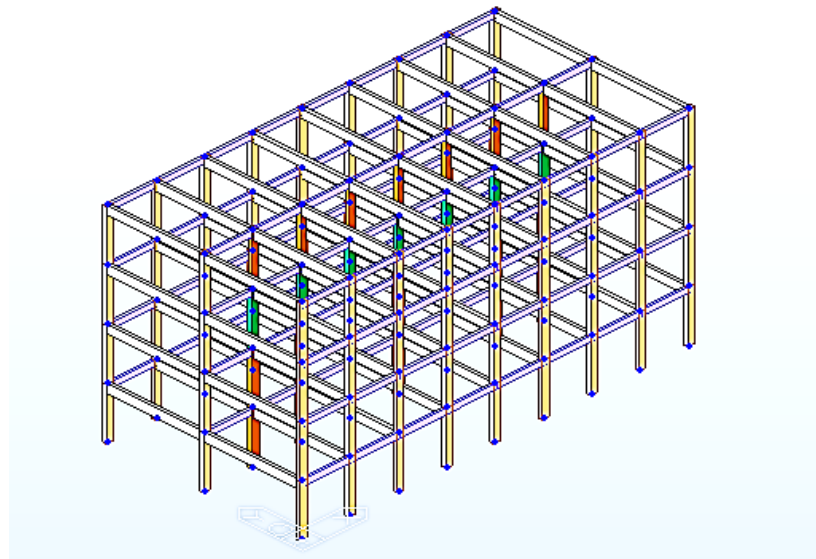
At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Close".

ภาพที่ 3.21 การกำหนดเหล็กเสริม เสา คานและ Shear wall

3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวและแรงลมตามกฎกระทรวงด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Force Method)

ในการวิเคราะห์ประเมินสมรรถนะของโครงสร้างนั้น ความละเอียดแม่นยำของผลการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับการจัดทำแบบจำลองโครงสร้าง ดังนั้นผู้ศึกษาจึงยกตัวอย่างการทำแบบจำลอง คืออาคารเก็บพัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้น มีขนาดดังรูป มีความสูงระหว่างชั้น 3.6 เมตร มีค่าน้ำหนักบรรทุกจร 600 กก./ตร.ม. อาคารนี้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นเขตบริเวณที่ 2 ตามกฎกระทรวงปี 2550 และชั้นดินที่ได้ฐานรากเป็นชั้นดินแข็ง จึงใช้ข้อกำหนดตามกฎกระทรวงปี 2550 ดังภาพ 3.22

| | | | |
|----------|--|-----------|------|
| กำหนดให้ | เสาต้นนอก ขนาดเสาสำหรับทุกชั้น | 0.30*0.50 | เมตร |
| | เสาต้นใน ขนาดเสาสำหรับชั้น 1 และชั้น 2 | 0.30*0.60 | เมตร |
| | เสาต้นใน ขนาดเสาสำหรับชั้น 3 | 0.30*0.50 | เมตร |
| | เสาต้นใน ขนาดเสาสำหรับชั้น 4 | 0.30*0.40 | เมตร |
| | คานตามยาวขนาด | 0.20*0.40 | เมตร |
| | คานตามยาวขนาด | 0.25*0.60 | เมตร |
| | $E_c = 2.3 \cdot 10^5$ | ksc | |



ภาพที่ 3.22 แสดงแบบจำลองของอาคารเก็บพัสดุ 3D

จากรูป 3.22 นำมาคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว แรงลมตามมาตรฐาน และตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาน้ำหนัก W ที่แต่ละชั้นอาคาร

เนื่องจากอาคารนี้เป็นคลังเก็บพัสดุ จึงต้องเพิ่มน้ำหนักอีก 25% ของน้ำหนักบรรทุกจร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนัก } W \text{ สำหรับชั้นที่ 1 2 3 คือ } W1 \ W2 \ W3 &= 672 + 0.25(600) \\ &= 822 \quad \text{กก./ตร.ม.} \end{aligned}$$

$$\text{ชั้นที่ 4 ดาดฟ้า} \quad W4 = 672 \quad \text{กก./ตร.ม.}$$

$$\text{พื้นที่ทั้งหมด} = 28.8 * 14.4 = 414.72 \quad \text{ตร.ม.}$$

เมื่อคิดเป็นแรงกระทำ

$$W1 = W2 = W3 = (822 * 414.72) * 10^3 = 340.9 \quad \text{ตัน}$$

$$W4 = (672 * 414.72) * 10^3 = 278.7 \quad \text{ตัน}$$

$$\text{น้ำหนักทั้งหมด } W = (340.9 * 3) + 278.7 = 1,301.4 \quad \text{ตัน}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณแรงเฉือนที่ฐาน พิจารณาแรงในทิศทาง N-S

$$V = ZIKCSW$$

$$\text{เมื่อ } Z = 0.38 \quad (\text{บริเวณที่ 2})$$

$$I = 1.0 \quad (\text{ประเภทที่ 3})$$

$$K = 1.0 \quad (\text{โครงสร้างแรงดัดความเหนียวจำกัด})$$

$$S = 1.2 \quad (\text{ชั้นดินแข็ง})$$

คำนวณค่าการสั่นธรรมชาติของโครงสร้าง จากสูตรสำหรับโครงสร้างอาคารทั่วไป

$$\begin{aligned} T &= \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}} \\ &= \frac{0.09 * 14.4}{\sqrt{14.4}} = 0.34 \quad \text{วินาที} \end{aligned}$$

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน C จาก

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12 \\ &= \frac{1}{15\sqrt{0.34}} = 0.11 \leq 0.12 \quad \text{ใช้ได้} \end{aligned}$$

$$\text{ผลคูณ } CS = 0.11 * 0.12 = 0.132 \leq 0.14 \quad \text{ใช้ได้}$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่ฐาน

$$V = ZIKCSW$$

$$= 0.38 * 1.0 * 1.0 * 0.11 * 1.2 * 1,301.4$$

$$= 65.28 \quad \text{ตัน}$$

ขั้นตอนที่ 3 กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้น และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

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

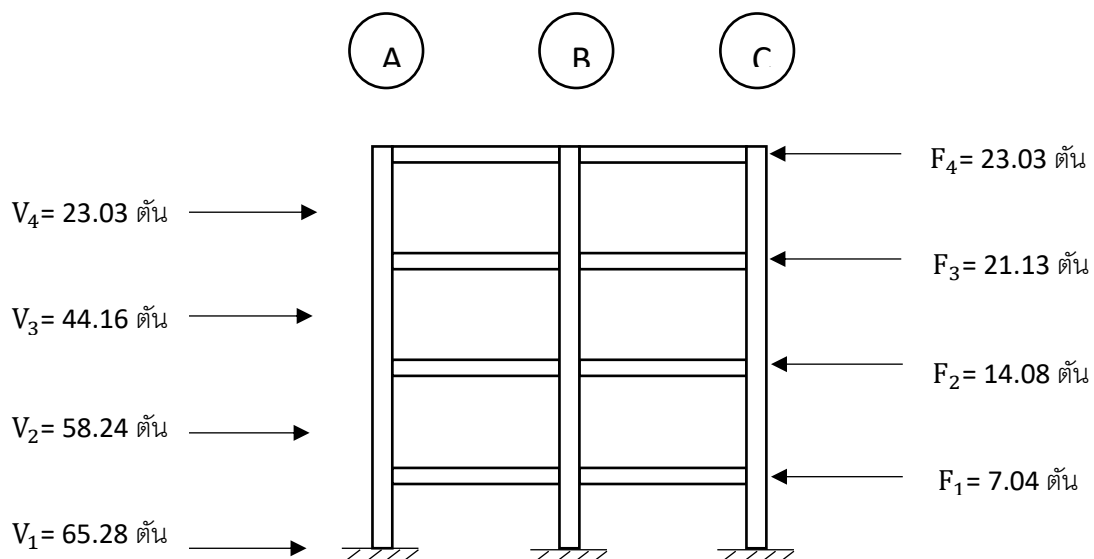
และ $V = F_t + \sum F_x$

เนื่องจากค่า T น้อยกว่า 0.7 วินาที ดังนั้น $F_t = 0$

คำนวณแรงกระทำด้านข้างและแรงเฉือน ดังแสดงในตาราง 3.3 และแสดงการกระจายของแรงกระทำด้านข้างของอาคารดังภาพ 3.23

ตาราง 3.3 แสดงแรงกระทำด้านข้างและแรงเฉือนในแต่ละชั้น

| ระดับชั้น | w_x (ตัน) | h_x (ม.) | $w_x h_x$ (ตัน-ม.) | F_x (ตัน) | V_x (ตัน) |
|-----------|-------------|------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 4 | 278.7 | 14.4 | 4,013.28 | 23.03 | 23.03 |
| 3 | 340.9 | 10.8 | 3,681.72 | 21.13 | 44.16 |
| 2 | 340.9 | 7.2 | 2,454.48 | 14.08 | 58.24 |
| 1 | 340.9 | 3.6 | 1,227.24 | 7.04 | 65.28 |
| | | | $\Sigma =$ 11,376.72 | | |



ภาพที่ 3.23 แสดงการกระจายของแรงกระทำทางด้านข้างอาคาร

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาระยะการเคลื่อนที่ของแต่ละชั้น

คำนวณค่าสติเฟนของเสาแต่ละชั้นจาก

$$k_i = \frac{12E}{h^2 \left(\frac{1}{\Sigma \frac{I_c}{h}} + \frac{1}{\Sigma \frac{I_b}{l}} \right)}$$

สำหรับคาน $I_{cr} = 0.35I_g$

สำหรับเสาภายนอก $I_{cr} = 0.60I_g$

สำหรับเสาภายใน $I_{cr} = 0.80I_g$

เสาชั้นที่ 1 และ 2

$$\Sigma \frac{I_c}{h} = \left\{ 0.6 \frac{30(50)^3}{12} \cdot (2 \cdot 9) + 0.8 \frac{30(60)^3}{12} \cdot 9 \right\} \frac{1}{360} = 20,175 \quad \text{ลบ.ซม.}$$

$$\Sigma \frac{I_b}{l} = \left\{ 0.35 \frac{25(60)^3}{12} \cdot (2 \cdot 9) \right\} \frac{1}{720} = 3,937.5 \quad \text{ลบ.ซม.}$$

$$k_1 = k_2 = \frac{12(2.3 \cdot 10^5)}{360^2} \left[\frac{1}{\frac{1}{20175} + \frac{1}{3937.5}} \right] = 70,161 \quad \text{กก./ซม.}$$

เสาชั้นที่ 3

$$\Sigma \frac{I_c}{h} = \left\{ 0.6 \frac{30(50)^3}{12} \cdot (2 \cdot 9) + 0.8 \frac{30(50)^3}{12} \cdot 9 \right\} \frac{1}{360} = 15,625 \quad \text{ลบ.ซม.}$$

$$k_3 = \frac{12(2.3 \cdot 10^5)}{360^2} \left[\frac{1}{\frac{1}{15625} + \frac{1}{3937.5}} \right] = 66,976 \quad \text{กก./ซม.}$$

เสาชั้นที่ 4

$$\Sigma \frac{I_c}{h} = \left\{ 0.6 \frac{30(50)^3}{12} \cdot (2 \cdot 9) + 0.8 \frac{30(40)^3}{12} \cdot 9 \right\} \frac{1}{360} = 12,575 \quad \text{ลบ.ซม.}$$

$$k_3 = \frac{12(2.3 \cdot 10^5)}{360^2} \left[\frac{1}{\frac{1}{12575} + \frac{1}{3937.5}} \right] = 63,859 \quad \text{กก./ซม.}$$

ระยะการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น (Story Drift) คำนวณจาก

$$\Delta_x = \frac{V_n}{k_i}$$

ค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างจากฐานอาคารในแต่ละชั้น (Lateral displacement) คำนวณจากผลรวมของระยะการโยกตัวในแต่ละชั้น ดังนี้

$$\delta_x = \Sigma \Delta_x$$

สำหรับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์และค่าการเคลื่อนที่จากฐานในแต่ละชั้น แสดงดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 แสดงระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์และค่าการเคลื่อนที่จากฐานในแต่ละชั้น

| ระดับชั้น | แรงเฉือน V_x (ตัน) | สติฟเนส k_i (กก./ชม.) | การเคลื่อนที่ สัมพัทธ์ Δ_x (ชม.) | การเคลื่อนที่จาก ฐาน δ_x (ชม.) |
|-----------|-------------------------|----------------------------|---|--|
| 4 | 23.03 | 63,859 | 0.36 | 2.78 |
| 3 | 44.16 | 66,976 | 0.66 | 2.42 |
| 2 | 58.24 | 70,161 | 0.83 | 1.76 |
| 1 | 65.28 | 70161 | 0.93 | 0.93 |

$$\begin{aligned} \text{UBC กำหนดค่าระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ไม่เกิน } \Delta_{\max} &= 0.005h_i \\ &= 0.005(360) = 1.8 \quad \text{ชม.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 5 ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำเนื่องจากโมเมนต์ คำนวณดังตาราง 3.5

$$M_x = \sum_{i=x+1}^n F_i(h_i - h_x)$$

ตาราง 3.5 แสดงการคำนวณค่า Overturning Moment

| ชั้น | แรงกระทำด้านข้าง F_i (ตัน) | ความสูงระหว่างชั้น h_x (ม.) | Overturning Moment M_x (ตัน-ม.) |
|------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 4 | 23.03 | 3.6 | - |
| 3 | 21.13 | 3.6 | 82.91 |
| 2 | 14.08 | 3.6 | 241.88 |
| 1 | 7.04 | 3.6 | 451.55 |
| ฐาน | | | 686.56 |

ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

$$\text{S.F.} = \frac{M_{\text{React}}}{M_{\text{Act}}} = \frac{1,301.4 \cdot 7.2}{686.56} = 13.65 > 1.5$$

ค่าความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำมากกว่า 1.5 จึงใช้ได้

ขั้นตอนที่ 6 ผลกระทบของโมเมนต์ลำดับที่สอง (P Δ Effect)

$$\theta = \frac{P_n \Delta_x}{V_x \cdot h_x}$$

ตาราง 3.6 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (Stability Coefficient)

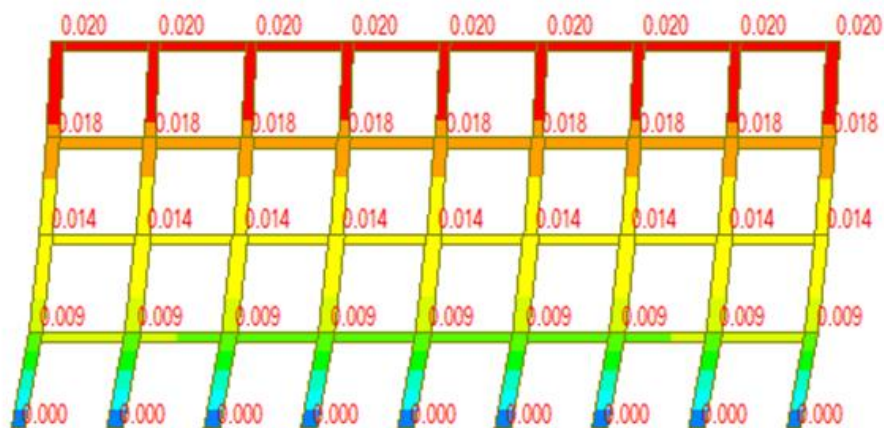
| ชั้น | น้ำหนัก (ตัน) | น้ำหนักสะสม P_x (ตัน) | ระยะโยกตัว Δ_x (ซม.) | แรงเฉือน V_x (ตัน) | θ |
|------|---------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|
| 4 | 278.7 | 278.7 | 0.36 | 23.03 | 0.012 |
| 3 | 340.9 | 619.6 | 0.66 | 44.16 | 0.026 |
| 2 | 340.9 | 960.5 | 0.83 | 58.24 | 0.038 |
| 1 | 340.9 | 1,301.4 | 0.93 | 65.28 | 0.052 |

เนื่องจากค่า Stability Coefficient, θ ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.1 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำผลกระทบของ P Δ มาคำนวณออกแบบเสา ตามข้อกำหนดของ UBC สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขต Zone 1 และ Zone 2

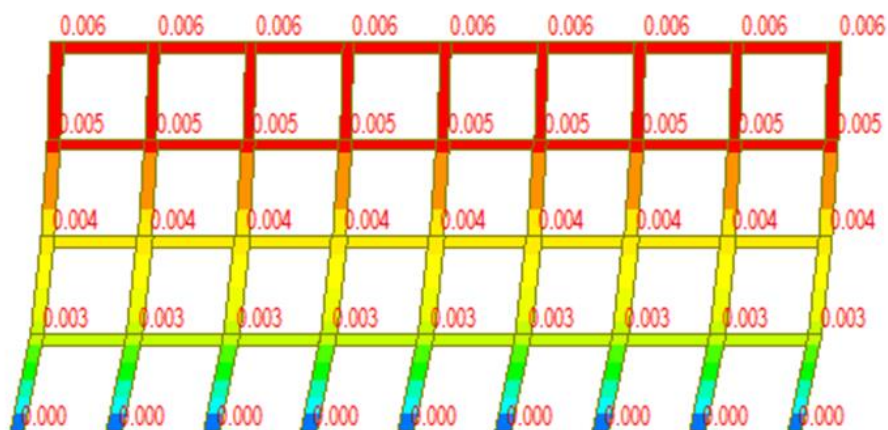
3.4 ประเมินสมรรถนะโครงสร้างจากข้อมูลการแสดงผลในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง

การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร นิยมนำมาตรวจสอบอาคารที่มีอยู่เดิม เพื่อพิจารณาระดับสมรรถนะในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร ความมั่นคงแข็งแรง และความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ทำให้ทราบตำแหน่งที่มีความอ่อนแอของอาคาร ซึ่งสามารถนำมาใช้วางแผนการซ่อมเสริมกำลังอาคารได้อย่างถูกต้อง

จากข้อมูลที่แสดงผลในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ทำให้สามารถทราบถึงความอ่อนแอของอาคารได้ที่เกิดการเคลื่อนตัวของอาคารด้วยแรงแผ่นดินไหว ดังภาพ 3.4 และแรงลม ดังภาพ 3.5 ซึ่งการเคลื่อนที่ด้านข้างของอาคารนั้นสามารถนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานกฎกระทรวงได้ ดังภาพ 2.6 จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานแล้ว อาคารนี้สามารถใช้งานได้ เพราะอยู่ในช่วงระดับปลอดภัยต่อชีวิต (Life Safety, LS)



ภาพที่ 3.24 แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างของอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว



ภาพที่ 3.25 แสดงการเคลื่อนที่ด้านข้างของอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

| Load Case | Story | Story Height (m) | P-Delta Incremental Factor (ad) | Allowable Story Drift Ratio | Maximum Drift of All Vertical Elements | | | | | Drift at the Center of Mass | | | | |
|---|-------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|-----------------|--------------------|-------------------|--------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------|--------|
| | | | | | Node | Story Drift (m) | Modified Drift (m) | Story Drift Ratio | Remark | Story Drift (m) | Modified Drift (m) | Drift Factor (Maximum/Current) | Story Drift Ratio | Remark |
| RMC,Not Used, Cd=4.5, Ie=1.5, Scale Factor=1.23, Allowable Ratio=0.015 Press right mouse button and click 'Set Story Drift Parameters...' menu to change RMC or Cd/Ie/Scale Factor/Allowable Ratio/Beta! | | | | | | | | | | | | | | |
| Wx | 4F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 82 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0001 | OK | 0.0004 | 0.0004 | 1.0000 | 0.0001 | OK |
| Wx | 3F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 55 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0002 | OK | 0.0009 | 0.0009 | 1.0000 | 0.0002 | OK |
| Wx | 2F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 28 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0004 | OK | 0.0015 | 0.0015 | 1.0000 | 0.0004 | OK |
| Wx | 1F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 1 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0008 | OK | 0.0030 | 0.0030 | 1.0000 | 0.0008 | OK |
| Rx | 4F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 82 | 0.0022 | 0.0066 | 0.0018 | OK | 0.0021 | 0.0063 | 1.0419 | 0.0017 | OK |
| Rx | 3F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 55 | 0.0037 | 0.0111 | 0.0031 | OK | 0.0036 | 0.0107 | 1.0443 | 0.0030 | OK |
| Rx | 2F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 28 | 0.0054 | 0.0163 | 0.0045 | OK | 0.0052 | 0.0155 | 1.0466 | 0.0043 | OK |
| Rx | 1F | 3.60 | 1.00 | 0.0150 | 1 | 0.0096 | 0.0289 | 0.0080 | OK | 0.0091 | 0.0272 | 1.0624 | 0.0076 | OK |

ภาพที่ 3.26 แสดงรายละเอียดการเคลื่อนที่ด้านข้างของอาคาร

3.5 สรุปท้ายบท

จากการเก็บข้อมูลมาประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารแบบ 2D และ 3D โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวและแรงลมตามกฎกระทรวงด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใส่ในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อจะนำมาเป็นข้อมูลในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคาร จากข้อมูลที่แสดงผลในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ทำให้สามารถทราบถึงความอ่อนแอของอาคารได้ที่เกิดการเคลื่อนตัวของอาคารด้วยแรงแผ่นดินไหว

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษา เรื่อง การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า โดยจากการเก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง ทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายด้วยคลื่นกระแทก เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ณ ปัจจุบัน นำข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้างไปเขียนโมเดล 3 มิติ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง และได้จัดลำดับผลการวิเคราะห์ ข้อมูลแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง

ส่วนที่ 2 เก็บข้อมูลการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายตามมาตรฐาน มยผ. 1501-51

ส่วนที่ 3 เขียนโมเดลโครงสร้าง 3 มิติด้วยโปรแกรม Midas Gen2016

ส่วนที่ 4 วิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Midas Gen2016

ส่วนที่ 5 การตั้งสมมติฐานพื้นที่หน้าตัดเหล็ก

ส่วนที่ 6 ประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า

4.1 ข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้างอาคาร

การเก็บข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง (เสา คาน พื้น) นั้นได้มาจากการวัดโครงสร้างด้วยตลับเมตร ซึ่งการวัดนั้นต้องวัดจากพื้นผิวโครงสร้างจริง ๆ ที่ไม่รวมการออกแบบทางสถาปัตยกรรม ดังตาราง 4.1 ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้าง

| รายละเอียด โครงสร้าง | รายละเอียด | ขนาด | | |
|-------------------------|------------|------------|----------|----------|
| | | กว้าง (ม.) | สูง (ม.) | หนา (ม.) |
| เสา | C1 | 0.85 | 3.5 | - |
| | C2 | 0.65 | 3.5 | 0.85 |
| | C3 | 1 | 3.5 | - |
| คาน | B1 | 0.25 | 1 | - |
| | B2 | 0.50 | 1 | - |
| | B3 | 0.65 | 1 | - |
| | B4 | 0.30 | 1 | - |
| พื้น | S1 | - | - | 0.20 |

4.2 ข้อมูลการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายตามมาตรฐาน มยผ. 1501-51

การเก็บข้อมูลการทดสอบนั้น ได้ทำการทดสอบโครงสร้างละ 12 ตำแหน่งตามมาตรฐาน ดังตาราง 4.2 ดังภาพ 4.1 และ 4.2

ตาราง 4.2 แสดงข้อมูลการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลาย

| ลำดับที่ | ตำแหน่งที่ทดสอบ | มมทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน | | | | | | | | | | | | ค่าเฉลี่ย | ค่าเฉลี่ยปรับแก้ เครื่องมือ | ค่ากำลังอัดประลัยเทียบเท่า (ksc.) |
|----------|-----------------|----------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------------------------|-----------------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| 1 | พื้นชั้น 3 | B | 36 | 34 | 33 | 36 | 34 | 37 | 36 | 34 | 37 | 36 | 38 | 33 | 35 | 0 | 366 |
| 2 | คานชั้น 3 B1 | A | 35 | 33 | 32 | 31 | 33 | 34 | 33 | 35 | 35 | 35 | 36 | 34 | 34 | 0 | 300 |
| 3 | คานชั้น 3 B2 | A | 36 | 36 | 33 | 34 | 34 | 32 | 36 | 35 | 36 | 34 | 37 | 32 | 35 | 0 | 326 |
| 4 | เสาชั้น 3 | A | 45 | 45 | 44 | 42 | 44 | 48 | 45 | 46 | 45 | 47 | 43 | 45 | 45 | 0 | 490 |
| 5 | เสาชั้น G | A | 49 | 48 | 48 | 50 | 52 | 49 | 50 | 51 | 49 | 48 | 51 | 50 | 50 | 0 | 590 |



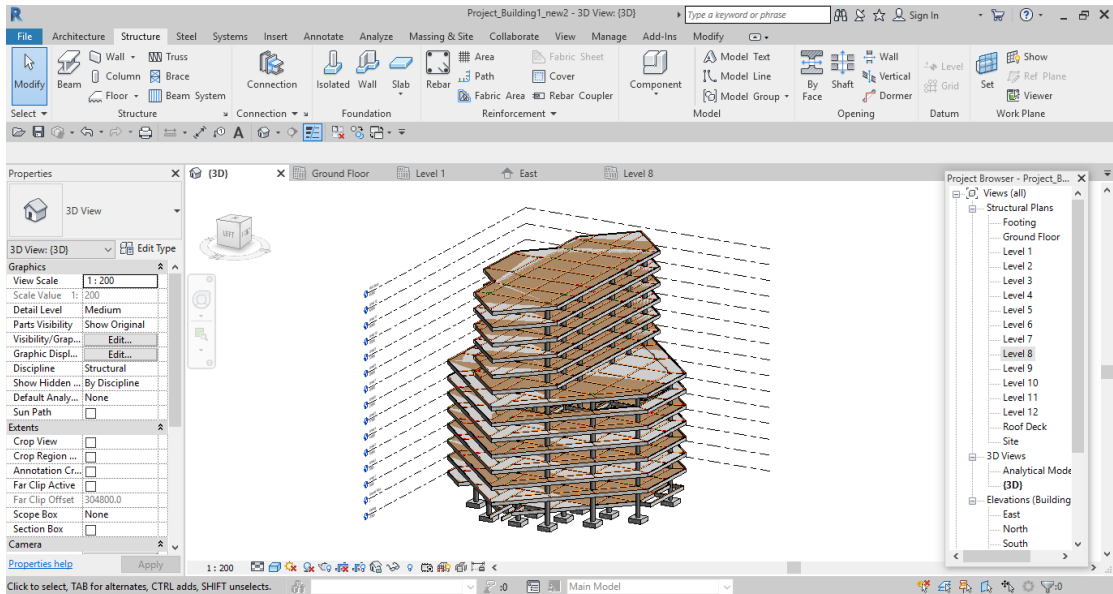
ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายด้วยมมทดสอบ C



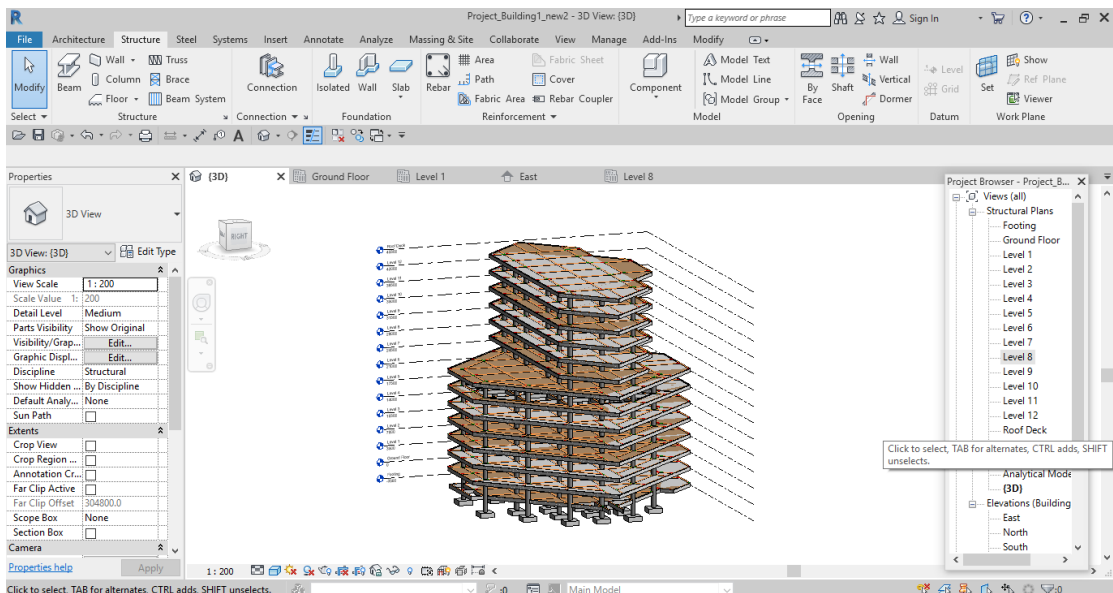
ภาพที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายด้วยมมทดสอบ A

4.3 โมเดลโครงสร้างอาคาร 3 มิติ

การเขียนโมเดลอาคาร 3 มิตินั้นต้องอ้างอิงแบบแปลนสถาปัตยกรรมจากสถาปนิก เพื่อนำมาขึ้นโมเดลโครงสร้าง 3 มิติ ตามข้อมูลทางกายภาพที่สำรวจมาดังภาพ 4.3 และ 4.4



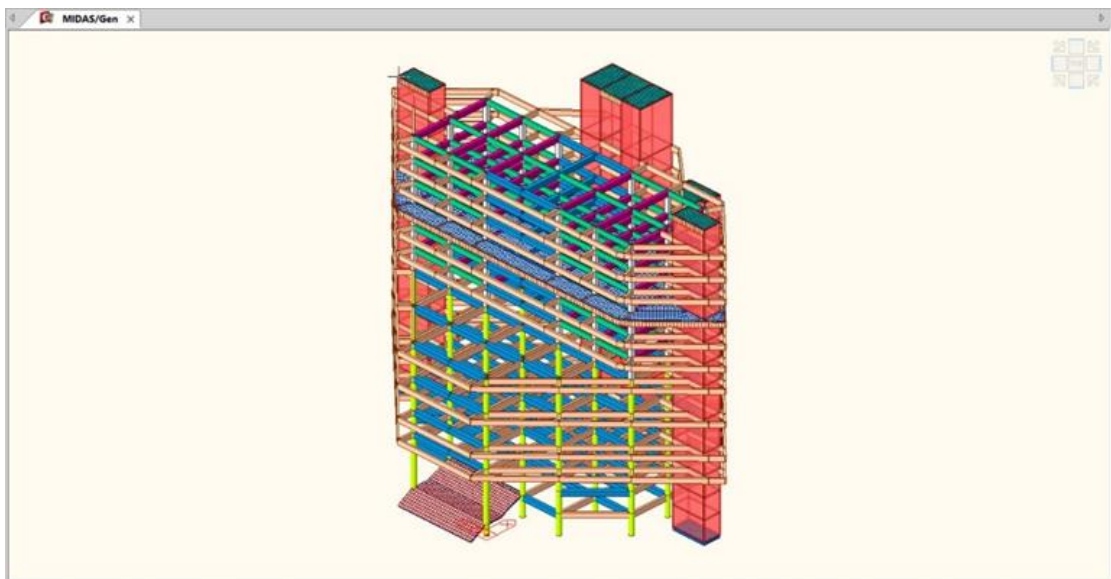
ภาพที่ 4.3 แสดงโมเดลโครงสร้างอาคาร 3 มิติ



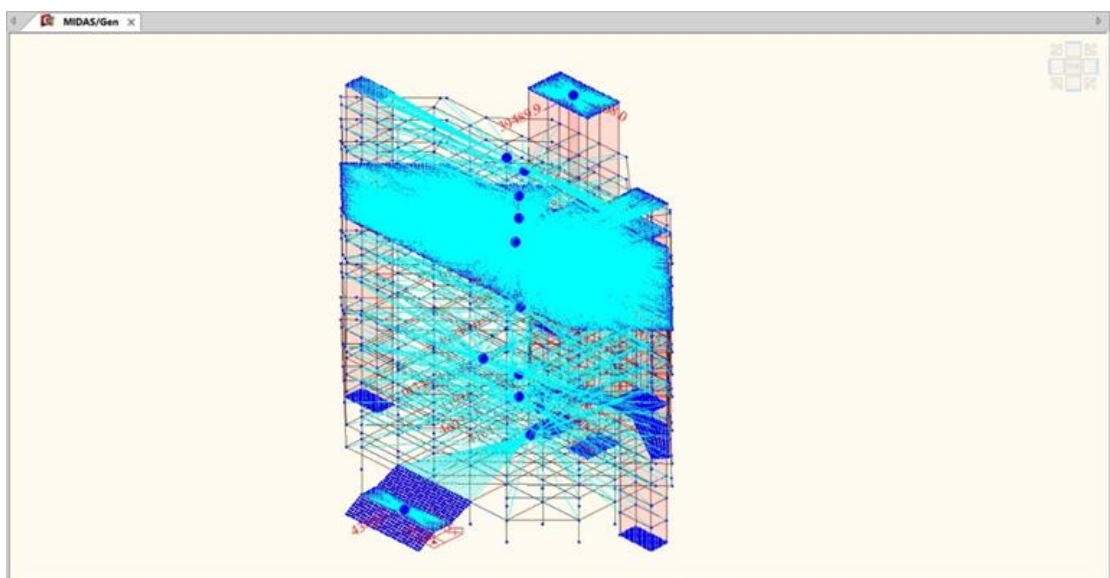
ภาพที่ 4.4 แสดงโมเดลโครงสร้างอาคาร 3 มิติ

4.4 วิเคราะห์โครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรม Midas Gen 2016

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม Midas Gen 2016 นั้นต้องทำการเขียนโมเดลโครงสร้างอาคาร 3 มิติให้เสร็จก่อน จากนั้นให้โปรแกรมคำนวณ (Calculate) โมเดลก่อนว่าสามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้ ดังภาพ 4.5 และป้อนข้อมูลค่าความเร็วของลมตามมาตรฐานกฎกระทรวงและค่าแรงการสั่นสะเทือนดังภาพ 4.6



ภาพที่ 4.5 แสดงการคำนวณโมเดลของโปรแกรม Midas Gen 2016

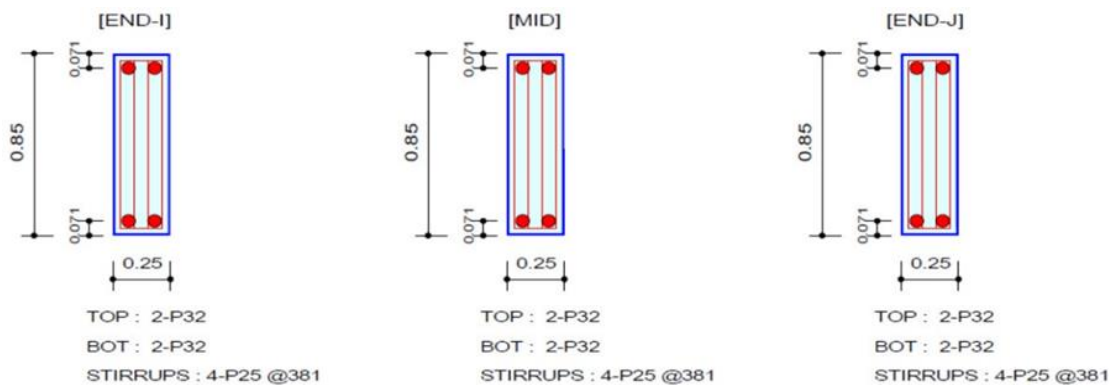


ภาพที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์แรงลมตามต่อจุดศูนย์กลางแต่ละชั้น

4.5 การตั้งสมมติฐานพื้นที่หน้าตัดเหล็ก

การตั้งสมมติฐานพื้นที่หน้าตัดเหล็กนั้น จะใช้ข้อมูลค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ โครงสร้างแบบไม่ทำลายป้อนเข้าไปในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง (Midas Gen2016) ดังภาพ 4.7 เพื่อนำมาออกแบบหน้าตัดของโครงสร้าง เช่น เสา คาน พื้น เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่าดังภาพ 4.8

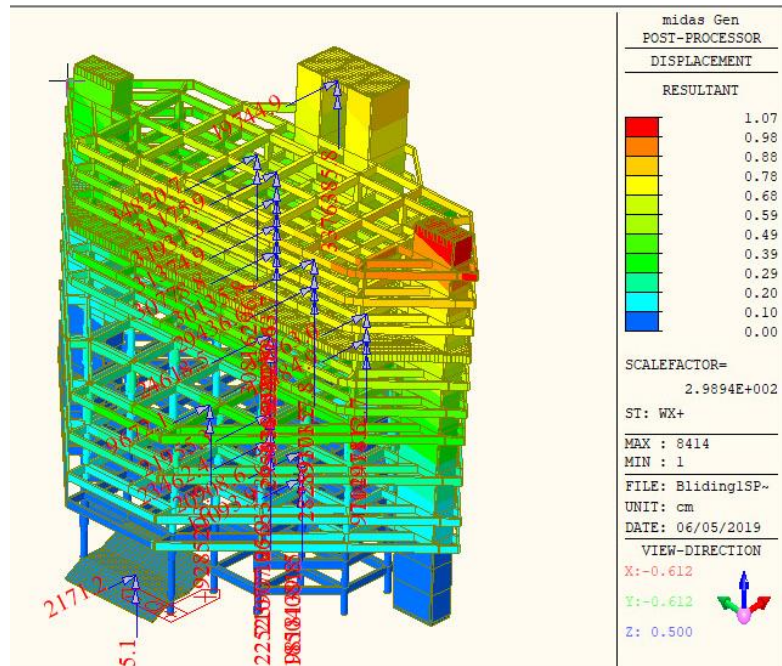
ภาพที่ 4.7 แสดงค่าข้อมูลของคอนกรีต



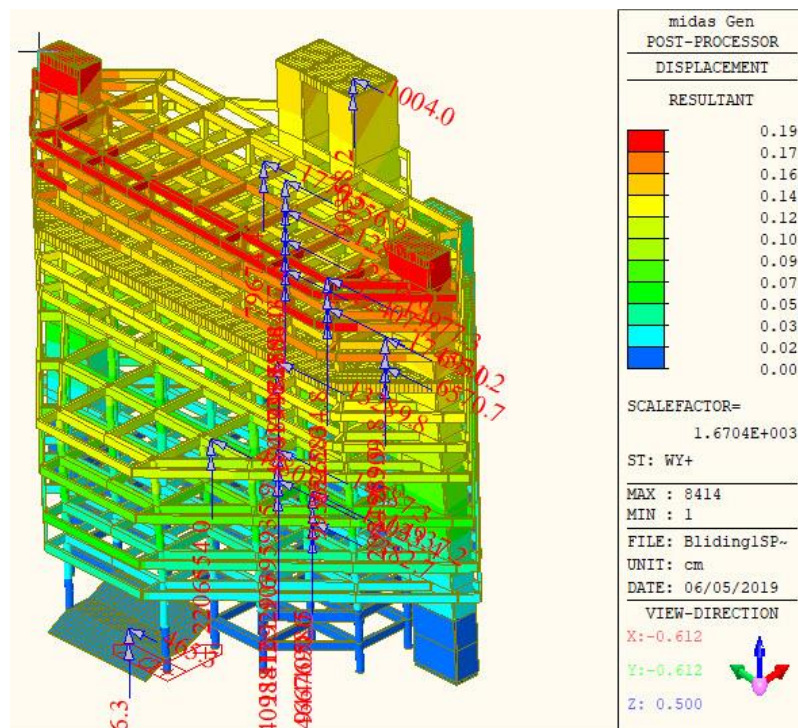
ภาพที่ 4.8 แสดงการออกแบบหน้าตัดคาน B1

4.6 ประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่า

จากการวิเคราะห์โครงสร้างการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นจากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างนั้นได้ดัง
ภาพ 4.9 – 4.10 และตาราง 4.3



ภาพที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนที่แต่ละชั้นของแกน WX+



ภาพที่ 4.10 แสดงการเคลื่อนที่แต่ละชั้นของแกน WY+

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเคลื่อนที่แต่ละชั้น

| ระนาบ | ค่าการเคลื่อนที่แต่ละชั้น (มม.) | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | G | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| X | 0 | 0 | 0.98 | 1.95 | 2.93 | 3.91 | 4.88 | 5.86 | 6.83 | 7.81 | 8.79 | 9.76 | 10.74 |
| Y | 0 | 0 | 0.17 | 0.35 | 0.52 | 0.70 | 0.87 | 1.05 | 1.22 | 1.40 | 1.57 | 1.75 | 1.92 |

การประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างอาคารทั้งระบบจะวัดจากค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) โดยจำแนกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (IO) ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1% ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS) ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 2% และระดับป้องกันการพังทลาย (CP) ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 4% หลังจากการตรวจสอบได้ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ดังตาราง 4.4 และเปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายได้ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.4 แสดงค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

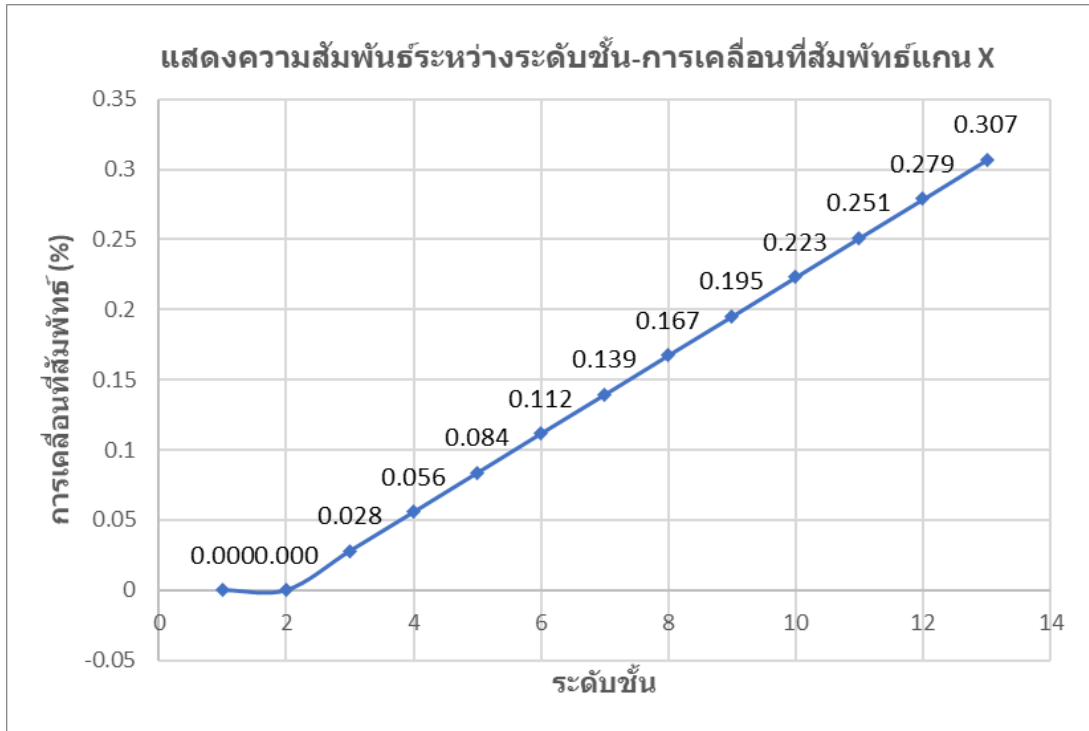
| ชั้น | ค่าการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X | ค่าการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y | ความสูงระหว่างชั้น | การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์แกน X | การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์แกน Y |
|------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| | d (ซม.) | d (ซม.) | h (ซม.) | (d/h)*100 (%) | (d/h)*100 (%) |
| 13 | 1.074 | 0.192 | 350.000 | 0.307 | 0.055 |
| 12 | 0.976 | 0.175 | 350.000 | 0.279 | 0.050 |
| 11 | 0.879 | 0.157 | 350.000 | 0.251 | 0.045 |
| 10 | 0.781 | 0.140 | 350.000 | 0.223 | 0.040 |
| 9 | 0.683 | 0.122 | 350.000 | 0.195 | 0.035 |
| 8 | 0.586 | 0.105 | 350.000 | 0.167 | 0.030 |
| 7 | 0.488 | 0.087 | 350.000 | 0.139 | 0.025 |
| 6 | 0.391 | 0.070 | 350.000 | 0.112 | 0.020 |
| 5 | 0.293 | 0.052 | 350.000 | 0.084 | 0.015 |

| | | | | | |
|---|-------|-------|---------|-------|-------|
| 4 | 0.195 | 0.035 | 350.000 | 0.056 | 0.010 |
| 3 | 0.098 | 0.017 | 350.000 | 0.028 | 0.005 |
| 2 | 0.000 | 0.000 | 350.000 | 0.000 | 0.000 |
| G | 0.000 | 0.000 | 350.000 | 0.000 | 0.000 |

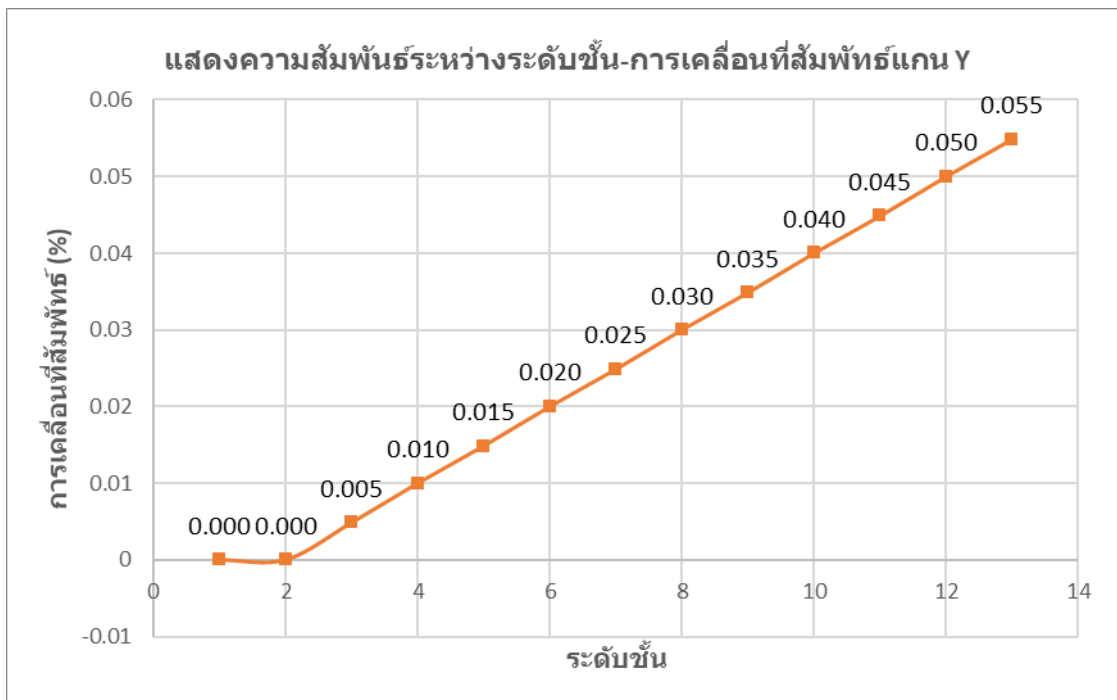
ตาราง 4.5 เปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายระหว่างชั้น

| ระดับชั้น | ระดับความเสียหาย | |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| | การเคลื่อนตัว สัมพัทธ์แกน X | การเคลื่อนตัว สัมพัทธ์แกน Y |
| G | 10 | 10 |
| 2 | 10 | 10 |
| 3 | 10 | 10 |
| 4 | 10 | 10 |
| 5 | 10 | 10 |
| 6 | 10 | 10 |
| 7 | 10 | 10 |
| 8 | 10 | 10 |
| 9 | 10 | 10 |
| 10 | 10 | 10 |
| 11 | 10 | 10 |
| 12 | 10 | 10 |
| 13 | 10 | 10 |

ดังนั้นอาคารเก่าหลังนี้มีสมรรถนะของโครงสร้างทั้งหมด 1 ระดับคือ ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (IO) ซึ่งแยกการเคลื่อนที่เป็น 2 แกน คือแกน X และแกน Y ดังภาพ 4.11 และ 4.12



ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้น-การเคลื่อนที่สัมพัทธ์แกน X



ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้น-การเคลื่อนที่สัมพัทธ์แกน Y

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่าโดยใช้ทำการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลาย โปรแกรมเขียนโมเดลโครงสร้าง 3 มิติ โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างช่วยในการคำนวณ และการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง เพื่อทราบถึงความความสามารถในการใช้งานอาคารเก่าต่อไปในอนาคต ทั้งนี้ผลจากการศึกษาที่ได้สามารถสรุปและได้ข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างอาคารเก่านั้น กระบวนการจำลองข้อมูลสารสนเทศ (BIM) สามารถจำลองโมเดลอาคารและวิเคราะห์โครงสร้างอาคารได้ตามมาตรฐานโดยที่เขียนแบบโมเดลด้วยความละเอียด LOD 200 อาคารที่ตรวจสอบสามารถใช้งานต่อไปในอนาคตได้ เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นอยู่ในเกณฑ์ที่เข้าใช้งานอาคารได้ทันที (IO) ซึ่งค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ทั้งหมดไม่เกิน 1% ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าอาคารหลังที่ตรวจสอบนี้สามารถรองรับต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวและแรงลมตามมาตรฐานกฎกระทรวงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้งานวิจัยเรื่องนี้ ทำให้ทราบว่าควรจะต้องทำการทดสอบโครงสร้างตามมาตรฐานให้หลายวิธีมากกว่านี้ การทดสอบนั้นควรจะต้องวัดโครงสร้างตามพื้นผิวโครงสร้างที่ไม่ใช่พื้นผิวสถาปัตยกรรม การนำข้อมูลจากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างมาใช้นั้น ควรจะต้องอ่านค่าข้อมูลให้ดีและควรจะมีแหล่งอ้างอิงที่น่าเชื่อถือได้ด้วย

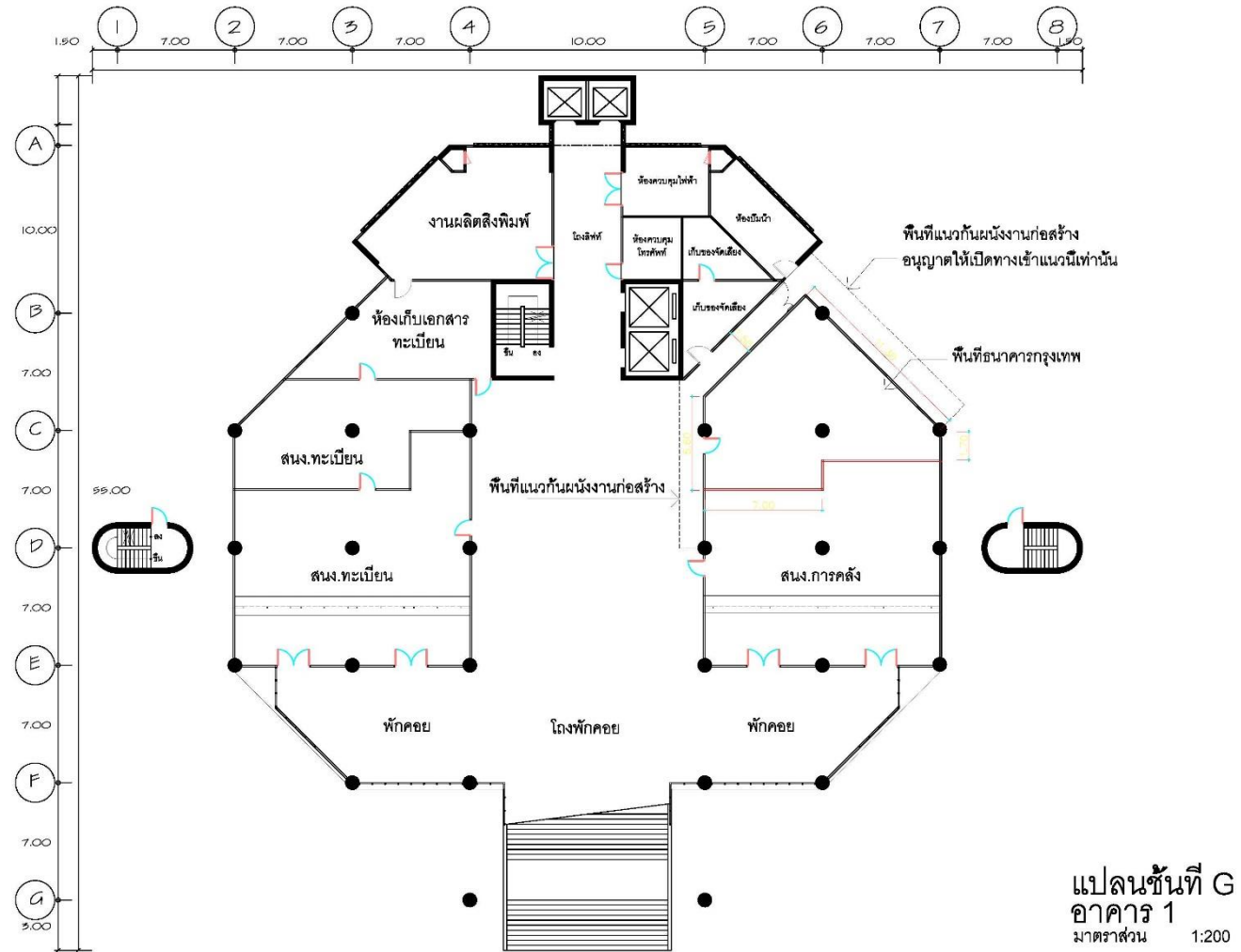
บรรณานุกรม

- [1] สุชน รุ่งเรือง และ วิศวินทร์ อัครปัญญาธร (2561) การประเมินความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แผ่นดินไหว ด้วยข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรี (กรณีบทความในวารสาร)
- [2] กรมโยธาธิการและผังเมือง มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย มยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51 หน้า 18-22 (กรณีหนังสือ)
- [3] ภาคภูมิ มงคลสังข์ , ไตรทศ ขำสุวรรณ (2560) วิธีประเมินโครงสร้างอาคาร การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 2 เรื่อง นวัตกรรมอาคาร 2560 , หน้า 170-177 (กรณีบทความในเอกสารประกอบการประชุม)
- [4] ไพบุลย์ ปัญญาคะโป (2555) การประเมินความเสียหายภายใต้แรงแผ่นดินไหวของอาคารสูง โดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม (กรณีบทความงานวิจัย)
- [5] เจนศักดิ์ คชนิล (2560) การประเมินความต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ-1303-57) ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตภาคเหนือของประเทศไทย รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร (กรณีบทความในเอกสารประกอบการประชุม)
- [6] สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (2559) แนวทางการประเมินโครงสร้าง (กรณีบทความ)
- [7] กระทรวงมหาดไทย (2550) กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2550) ออกตามความในพระราชบัญญัติ ควบคุมอาคารพ.ศ. 2522
- [8] นายเทวา บีทเนอร์ , นางสาวบุญศิริ เพิ่มสุวรรณ (2556) การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กปราศจากความเหนียวที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยของประเทศไทย มหาวิทยาลัยบูรพา (กรณีบทความงานวิจัย)
- [9] กิตติชัย หนูจิว , ชยานนท์ หารัชภิญโญ และ ปิยะพงษ์ วงค์เมธา (2558) การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารที่พักอาศัยเดี่ยวในพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต (กรณีบทความวารสาร)
- [10] VR Digital อธิบายแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร (BIM) (กรณีสื่อออนไลน์)

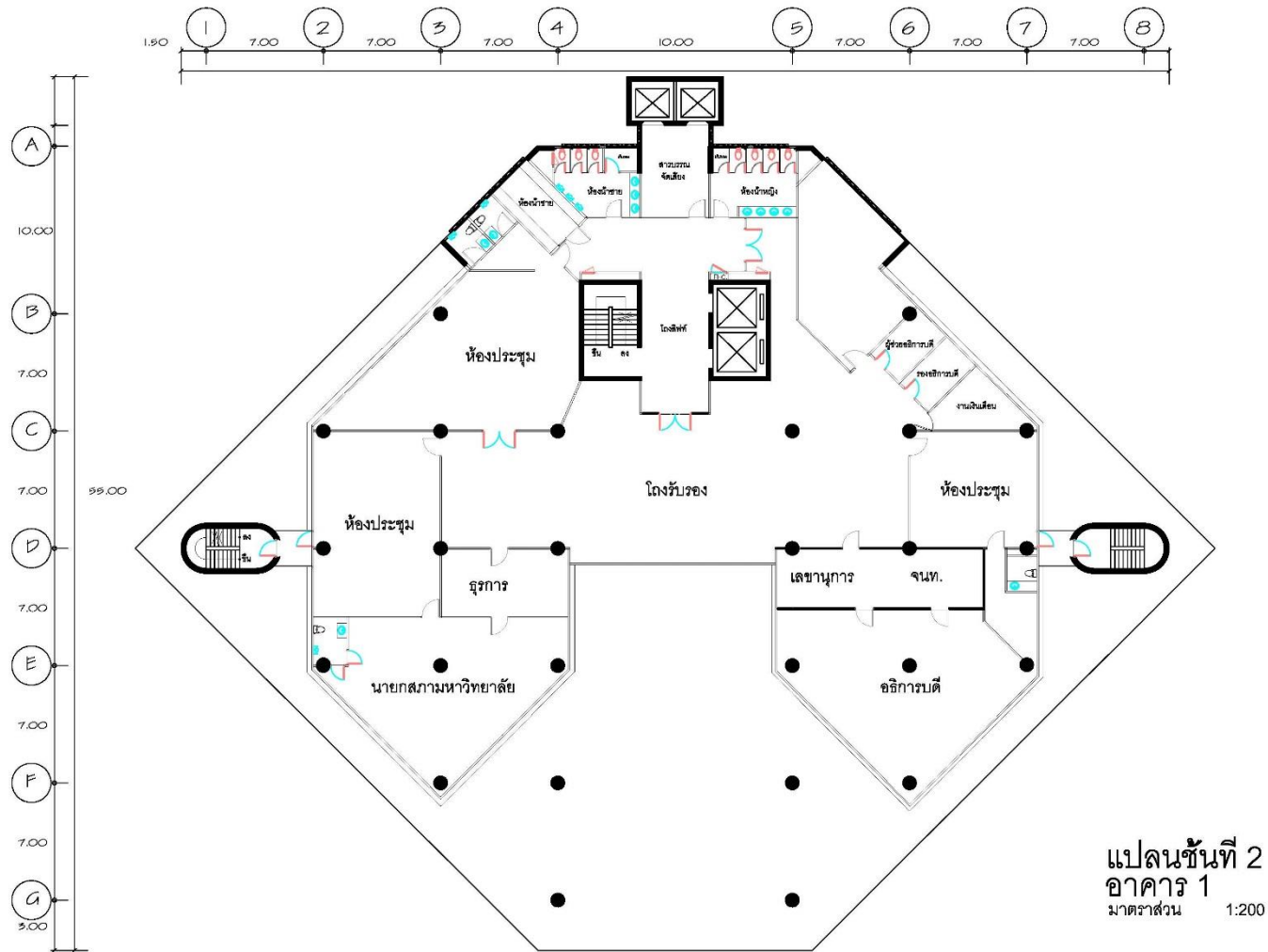
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

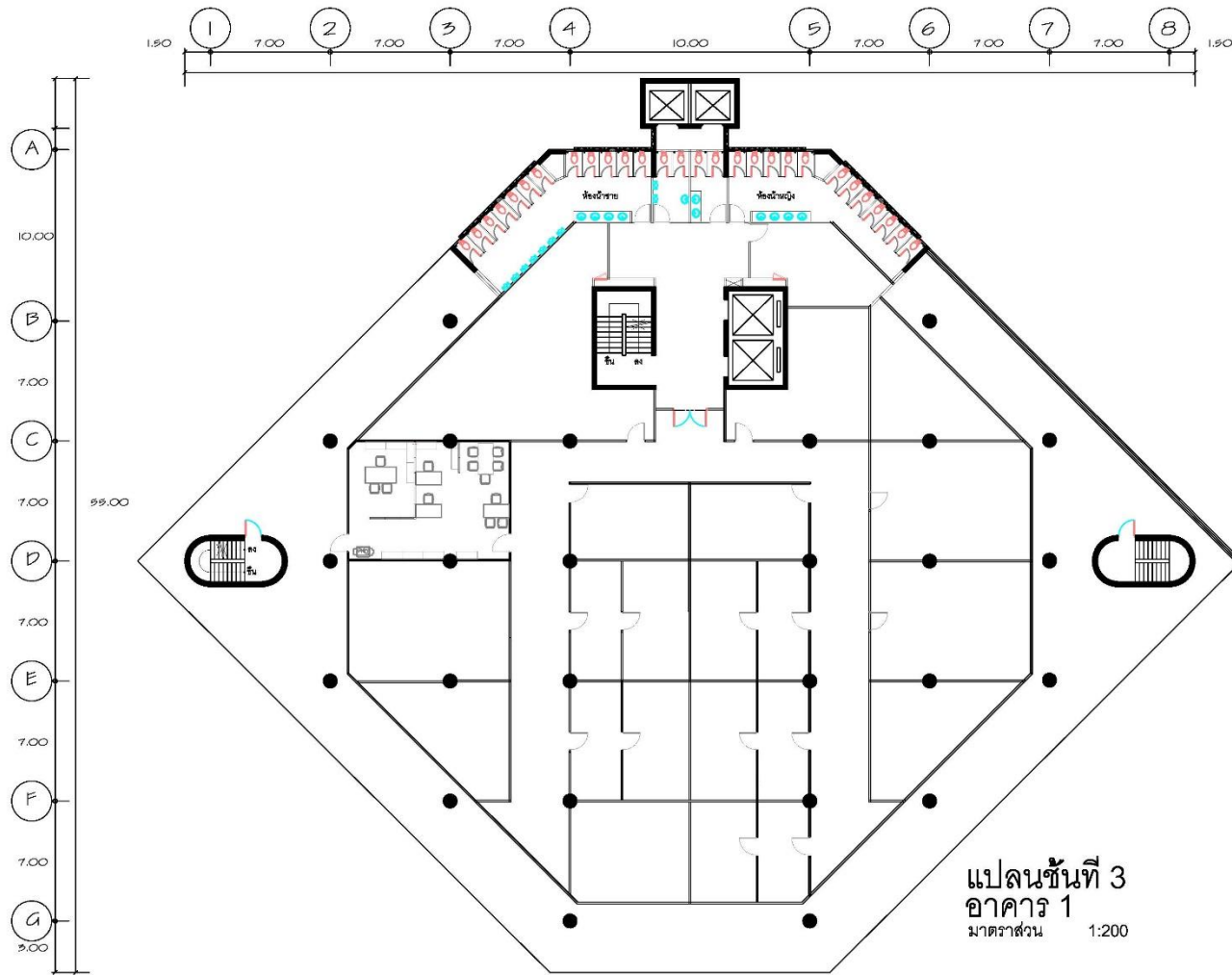
แบบสถาปัตยกรรมอาคาร 1 มหาวิทยาลัยศรีปทุม
แบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 มหาวิทยาลัยศรีปทุม



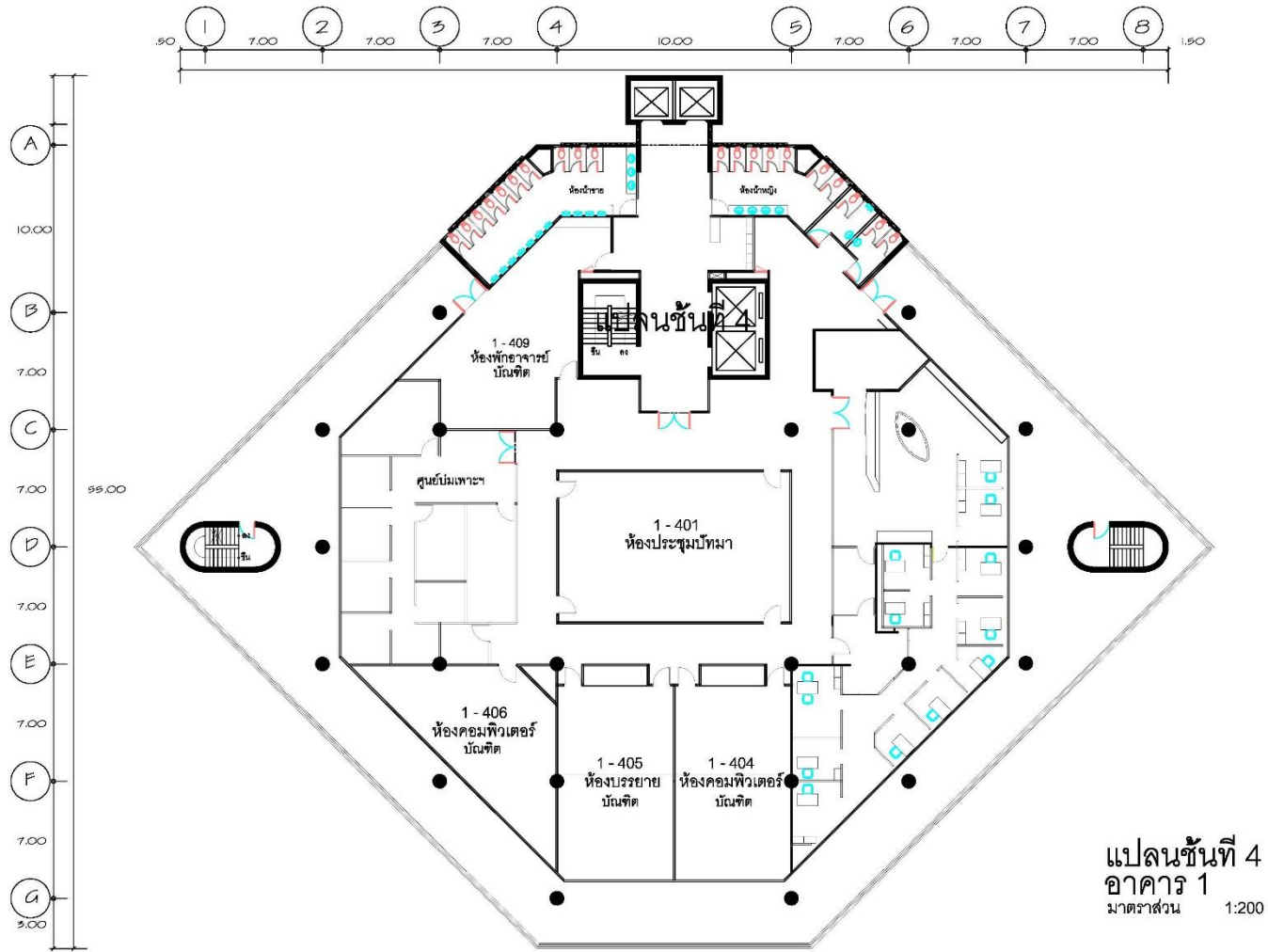
ภาพที่ 1ก แสดงแบบแปลนชั้น G อาคาร 1



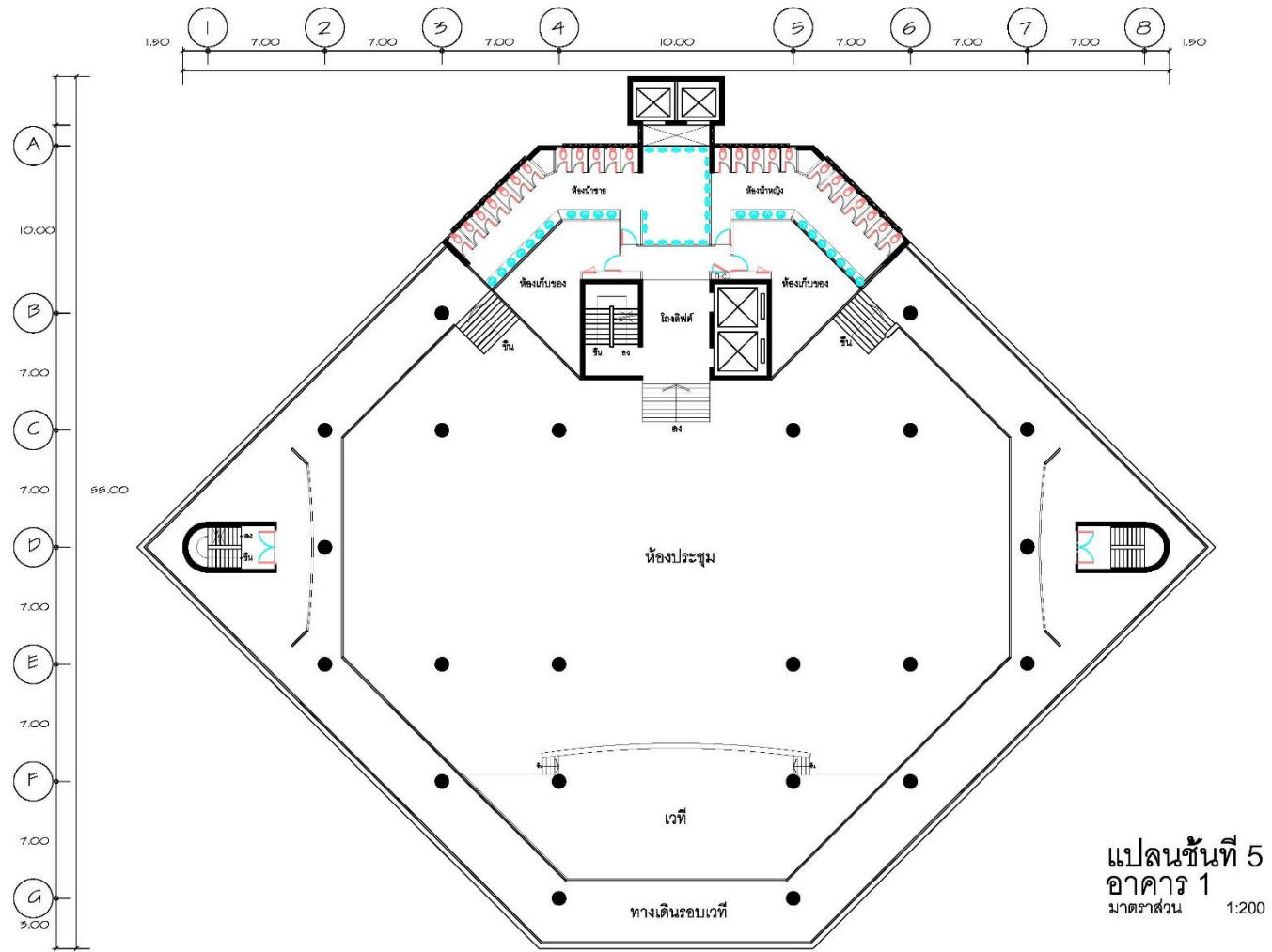
ภาพที่ 3ก แสดงแบบแปลนชั้น 2 อาคาร 1



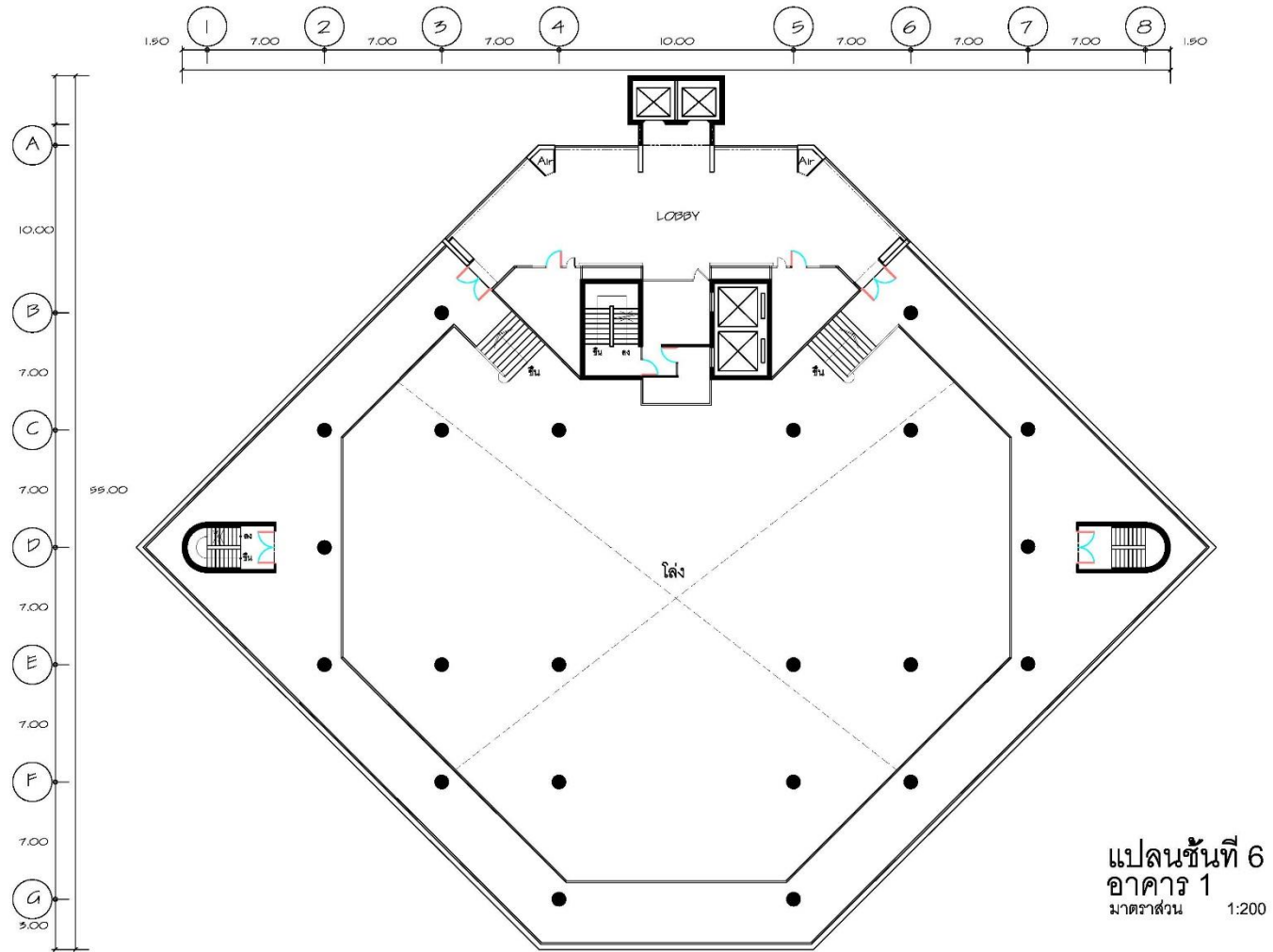
ภาพที่ 4ก แสดงแบบแปลนชั้น 3 อาคาร 1



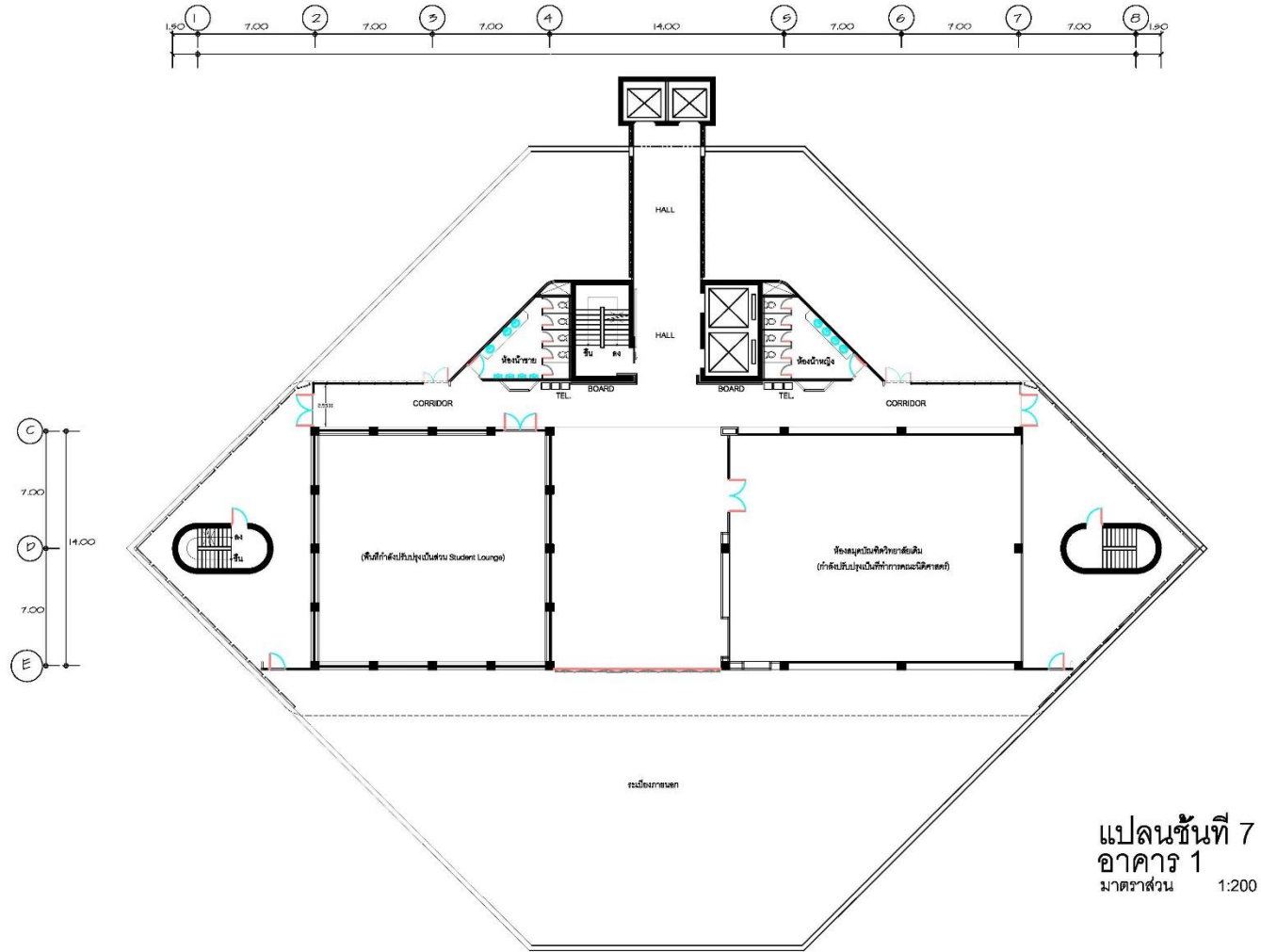
ภาพที่ 5ก แสดงแบบแปลนชั้น 4 อาคาร 1



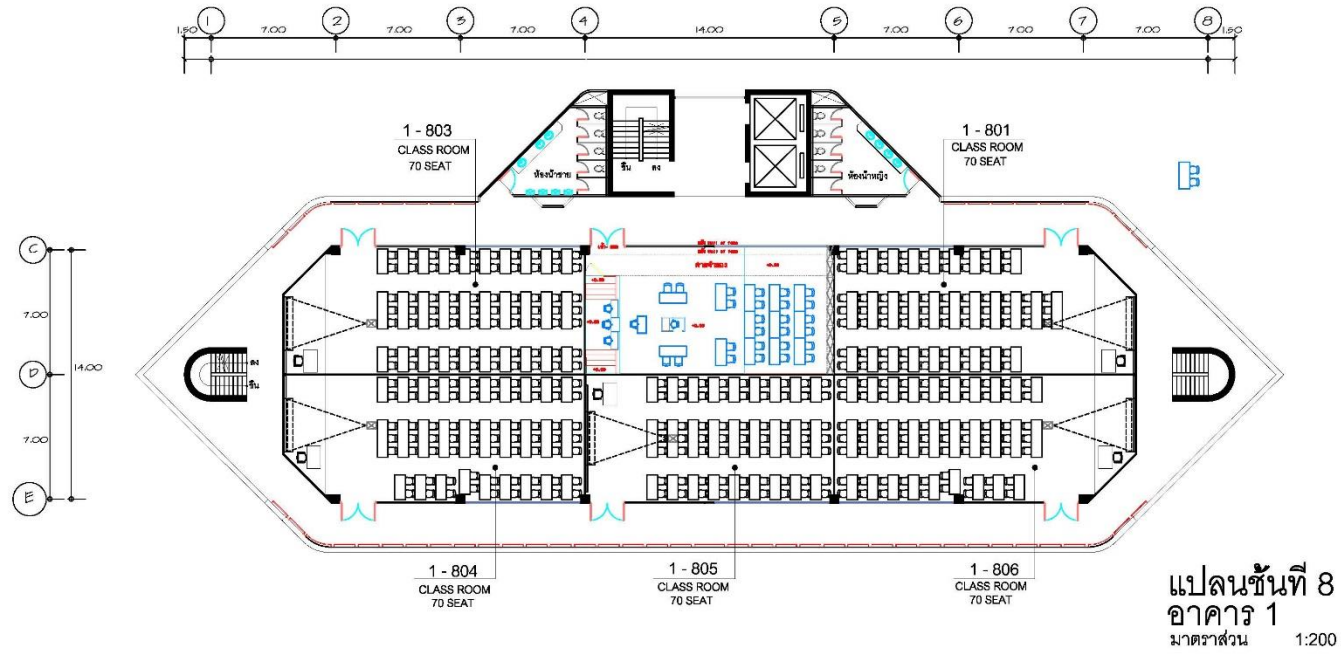
ภาพที่ 6ก แสดงแบบแปลนชั้น 5 อาคาร 1



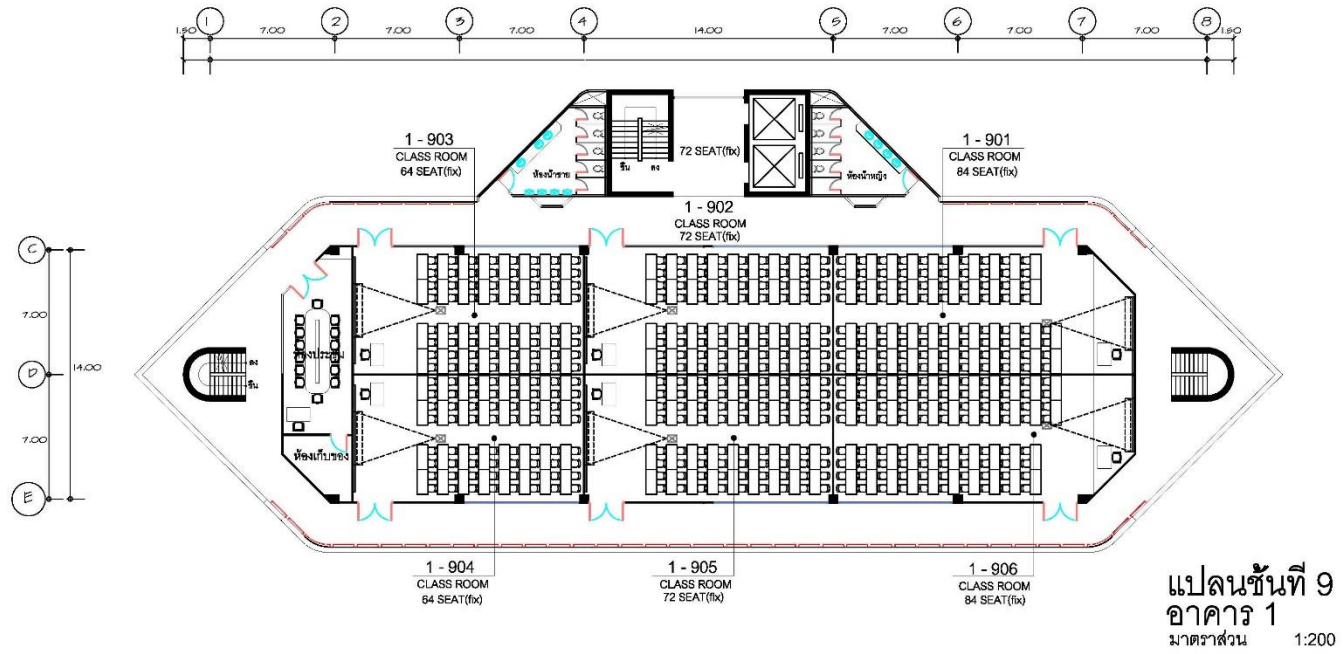
ภาพที่ 7ก แสดงแบบแปลนชั้น 6 อาคาร 1



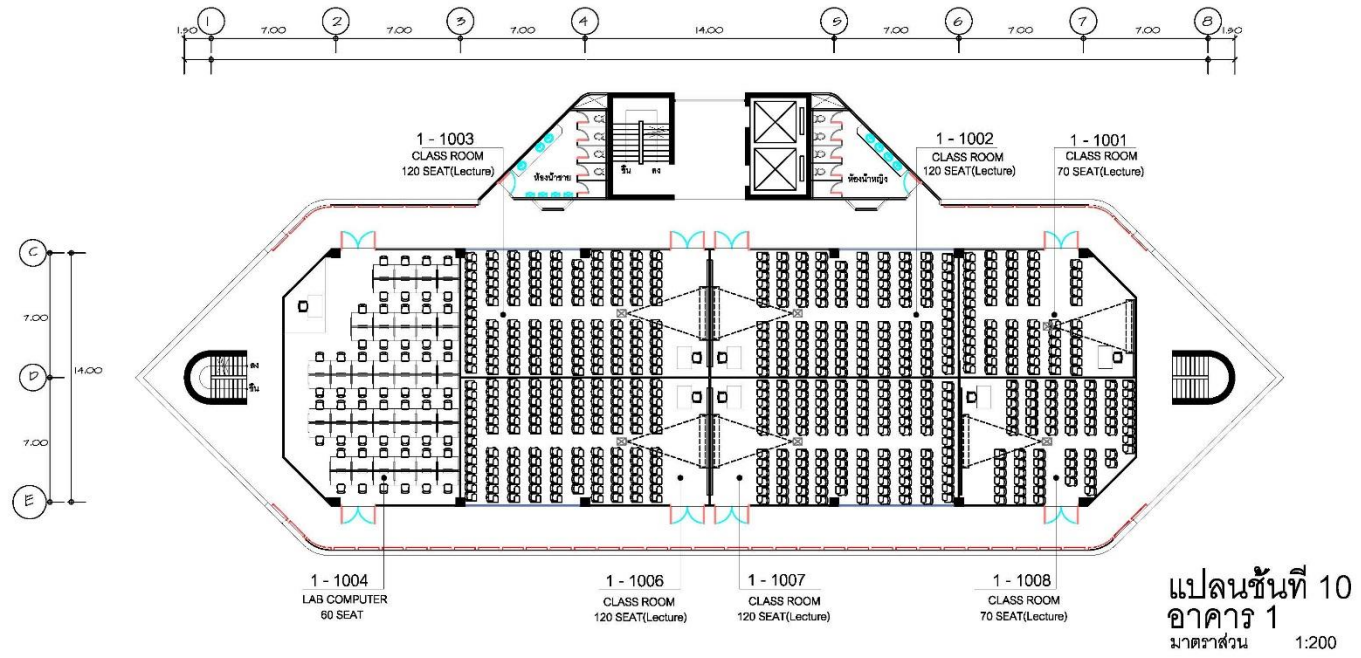
ภาพที่ 8ก แสดงแบบแปลนชั้น 7 อาคาร 1



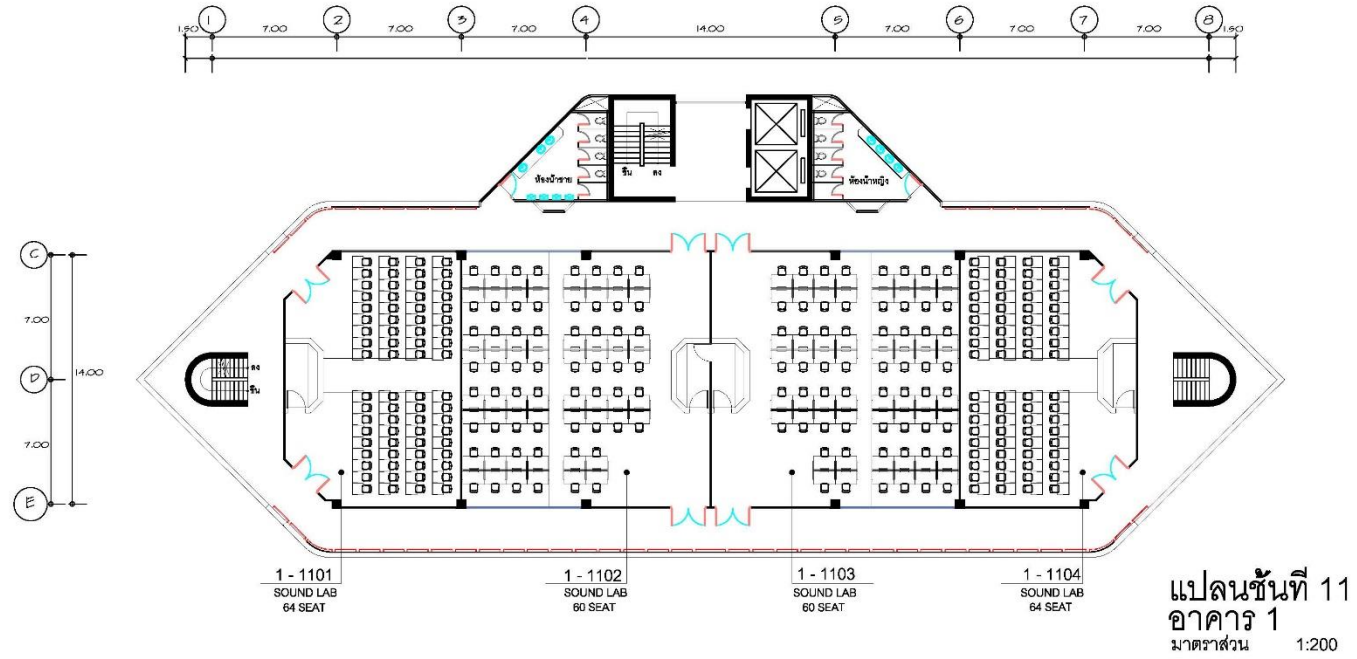
ภาพที่ 9ก แสดงแบบแปลนชั้น 8 อาคาร 1



ภาพที่ 10ก แสดงแบบแปลนชั้น 9 อาคาร 1

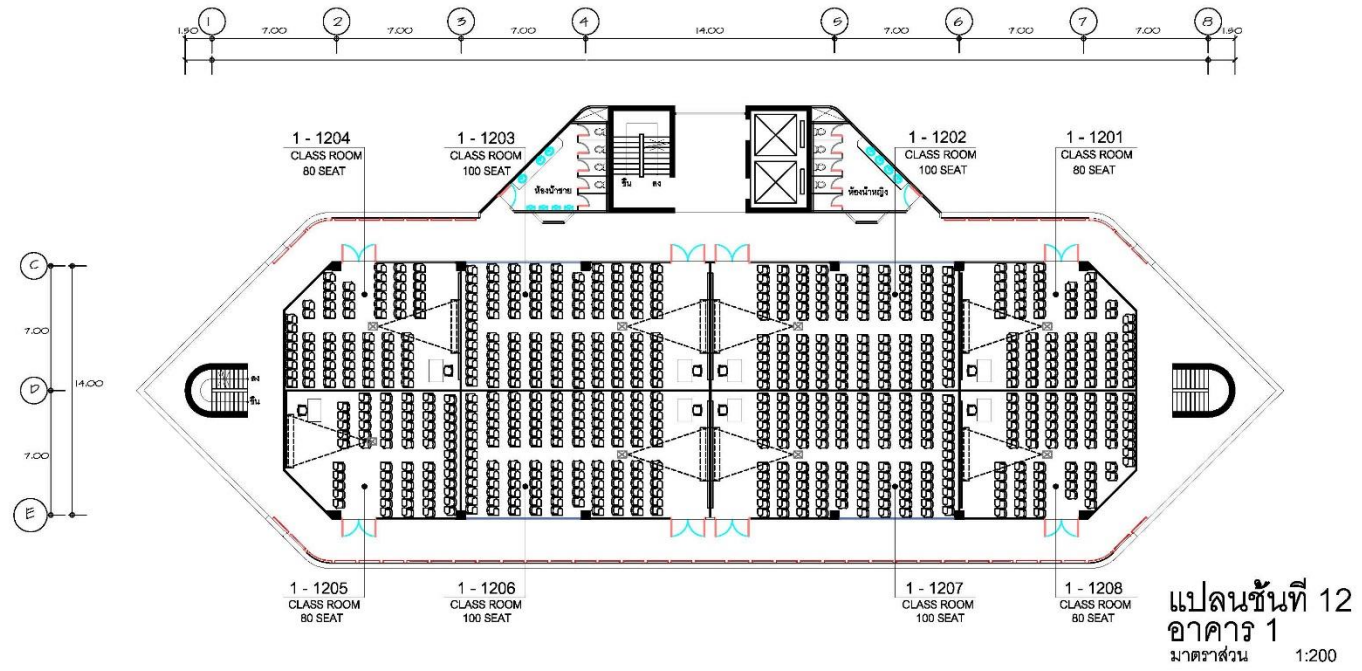


ภาพที่ 11ก แสดงแบบแปลนชั้น 10 อาคาร 1

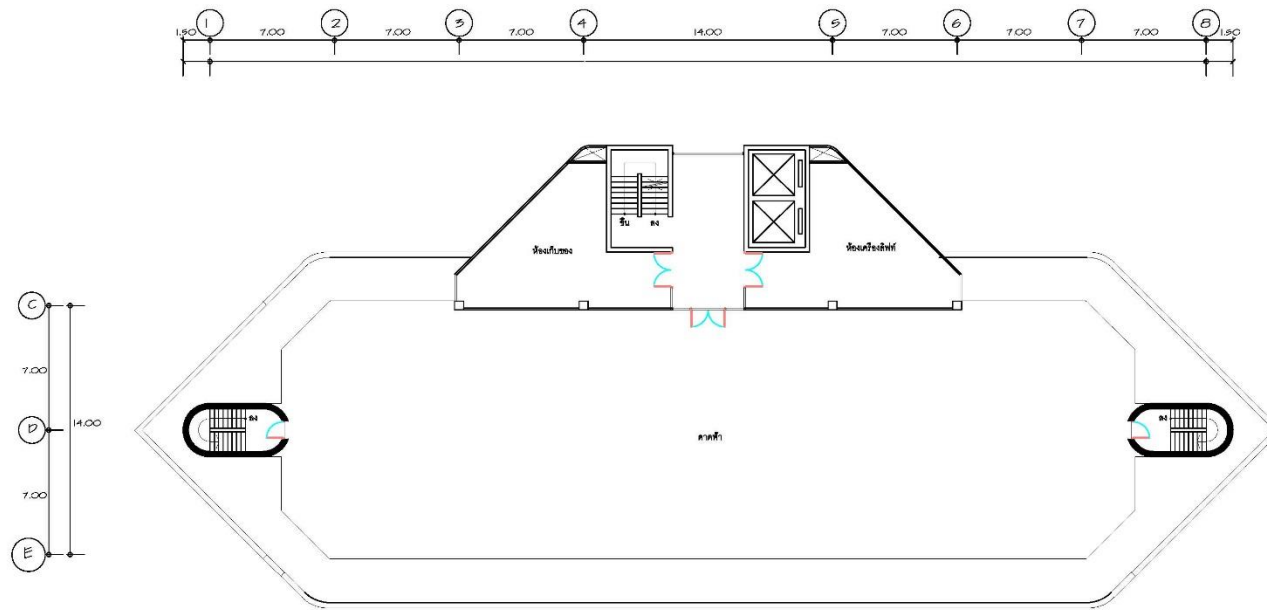


แปลนชั้นที่ 11
อาคาร 1
มาตรฐาน 1:200

ภาพที่ 12ก แสดงแบบแปลนชั้น 11 อาคาร 1

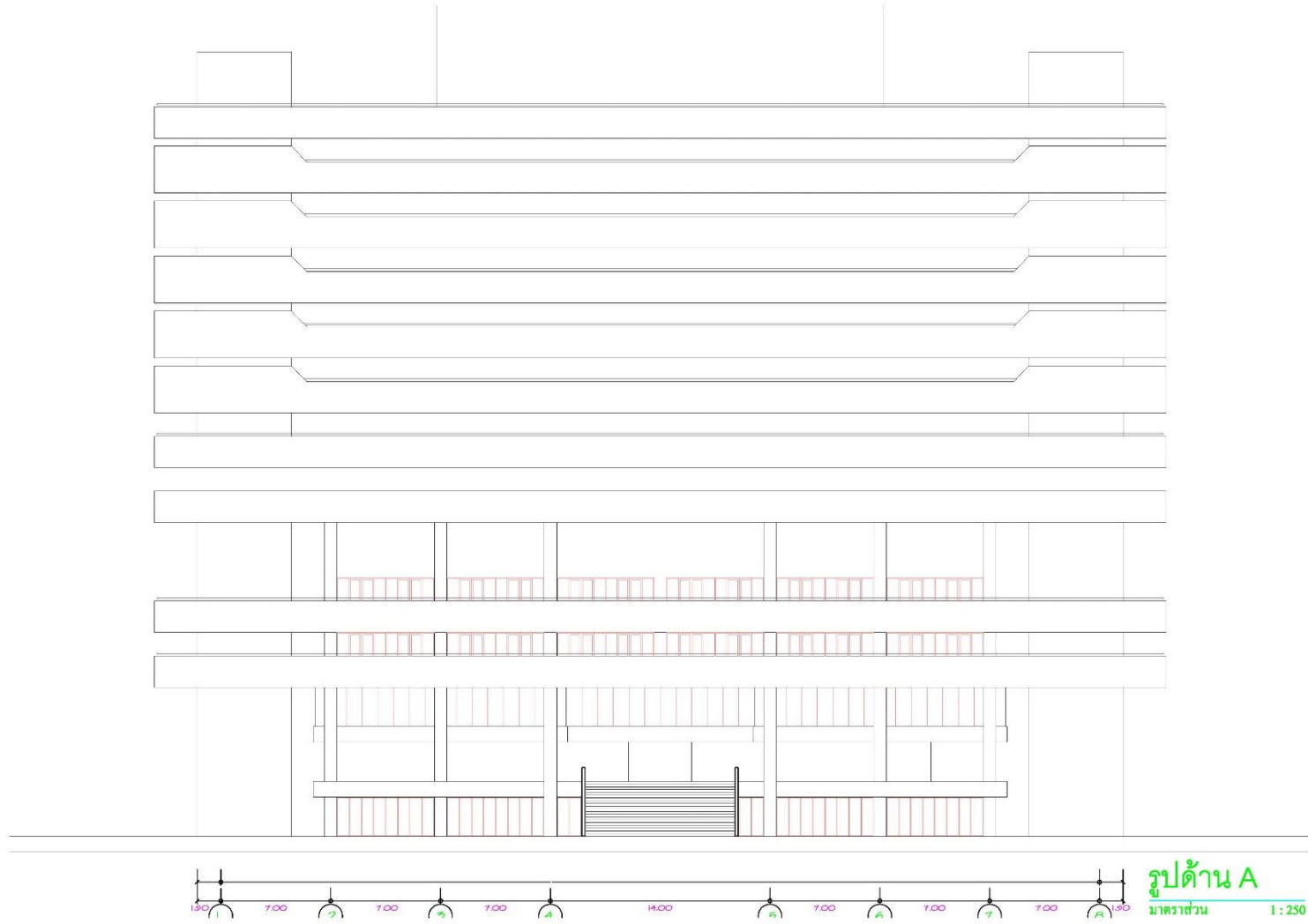


ภาพที่ 13ก แสดงแบบแปลนชั้น 12 อาคาร 1

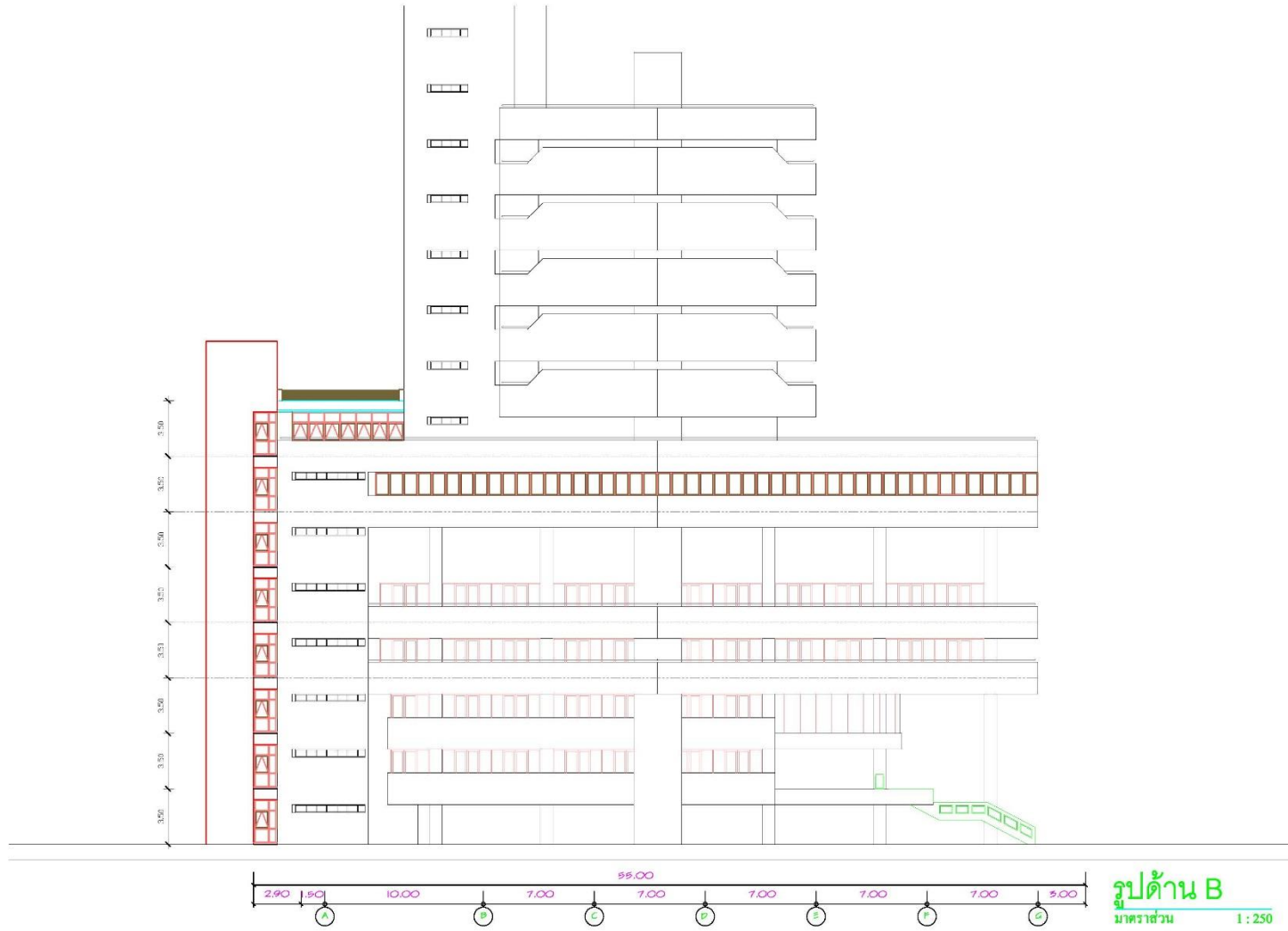


แปลนชั้นดาดฟ้า
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

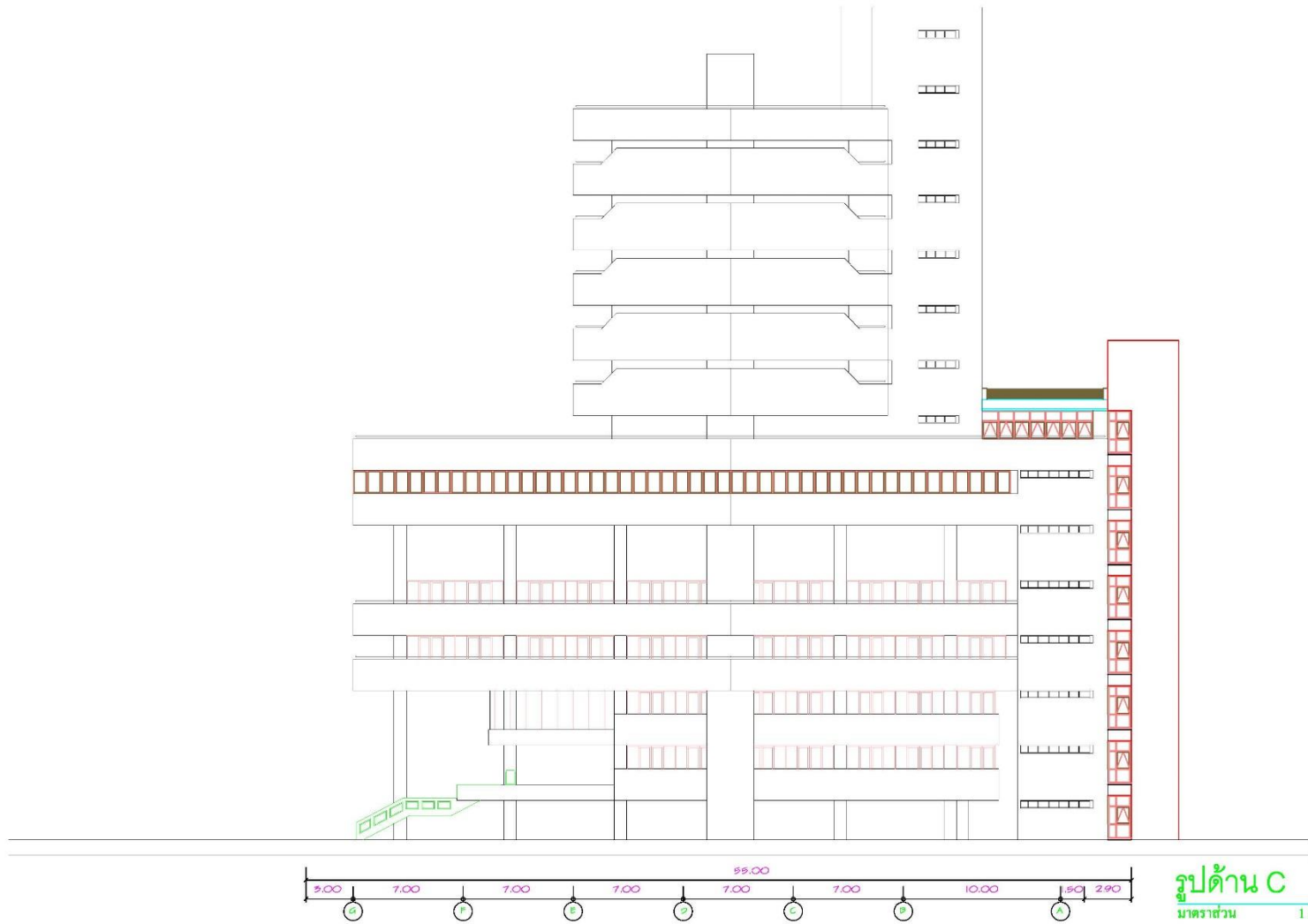
ภาพที่ 14ก แสดงแบบแปลนชั้นดาดฟ้า อาคาร 1



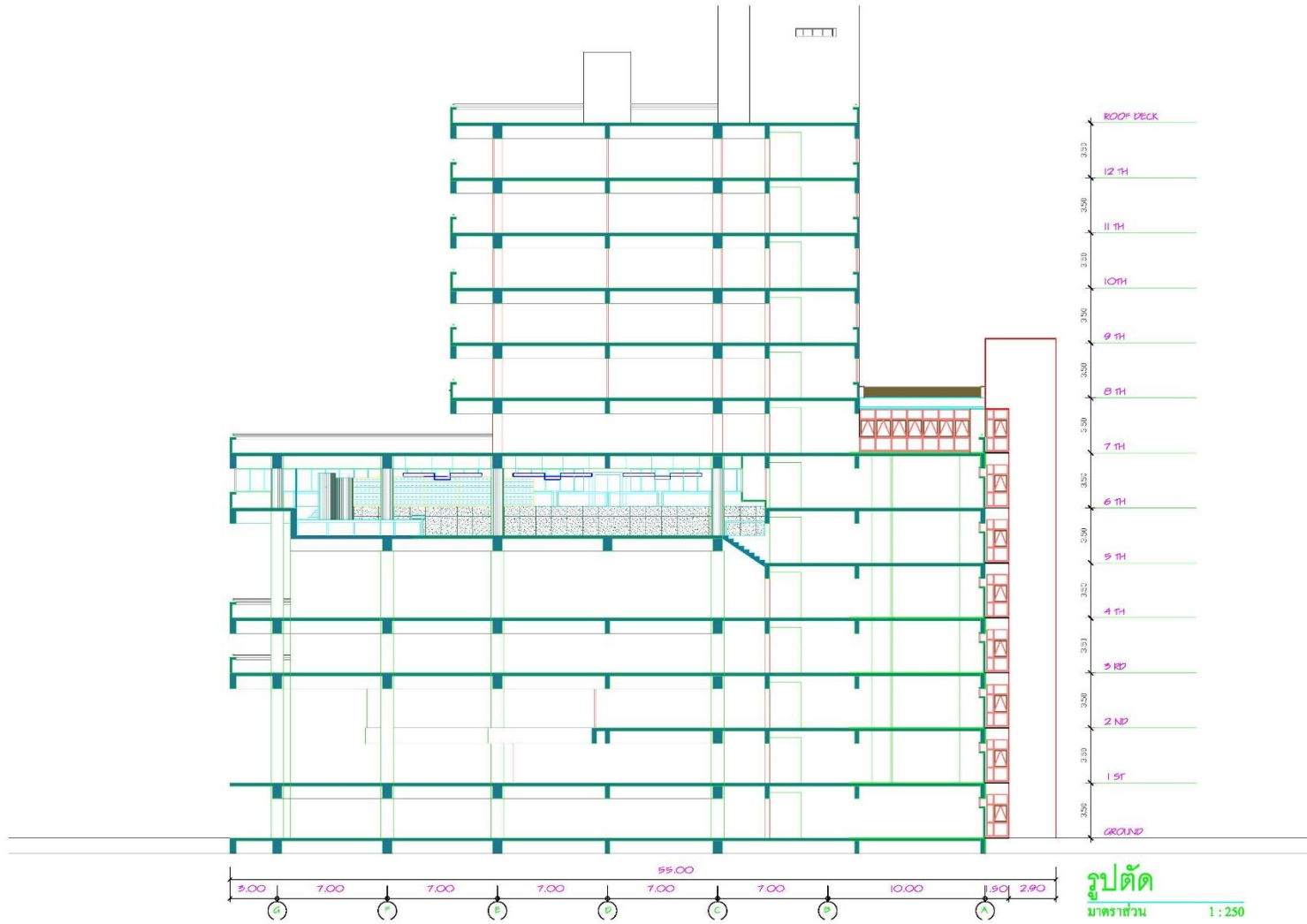
ภาพที่ 15ก แสดงแบบรูปด้าน A อาคาร 1



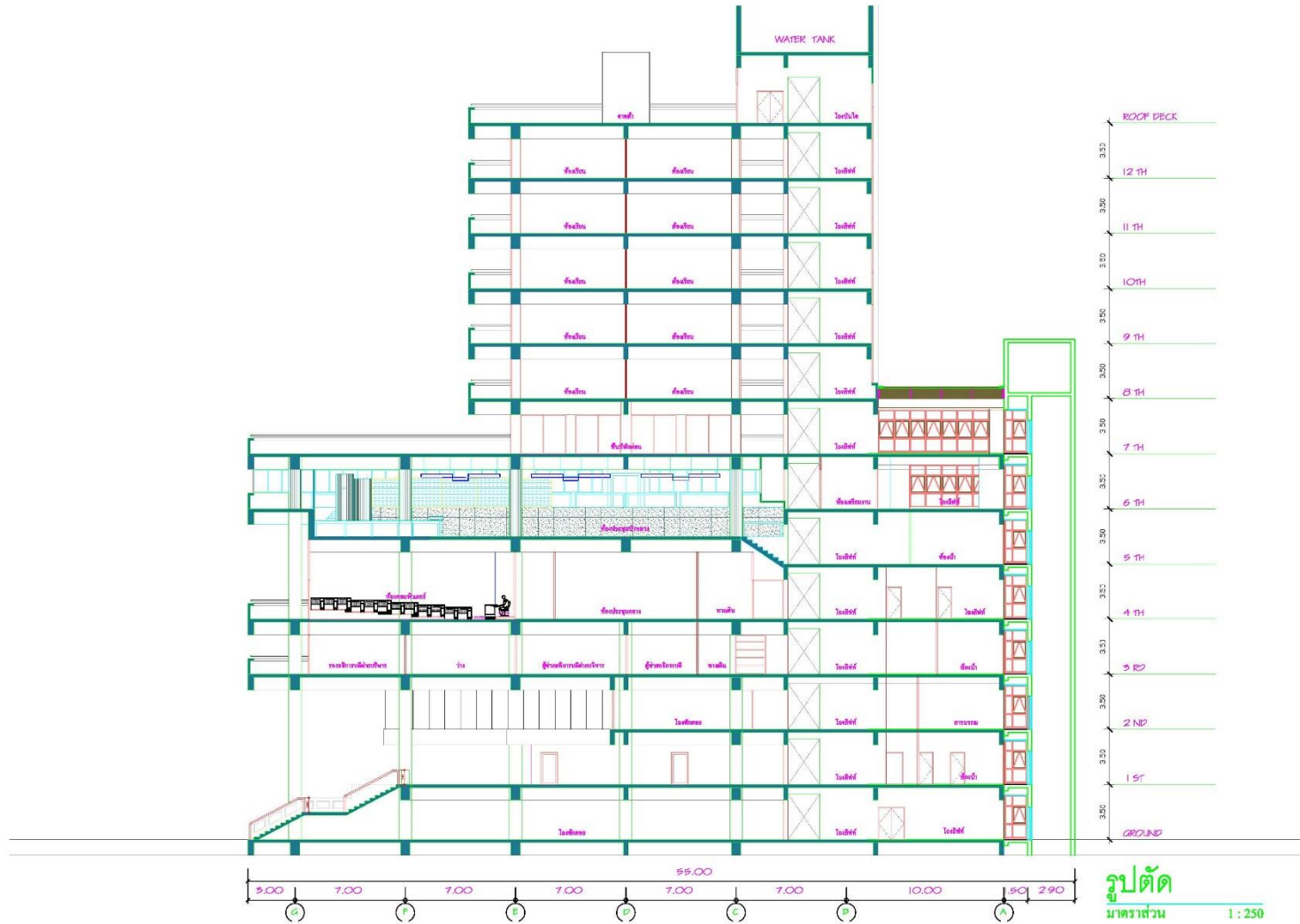
ภาพที่ 16ก แสดงแบบรูปด้าน B อาคาร 1



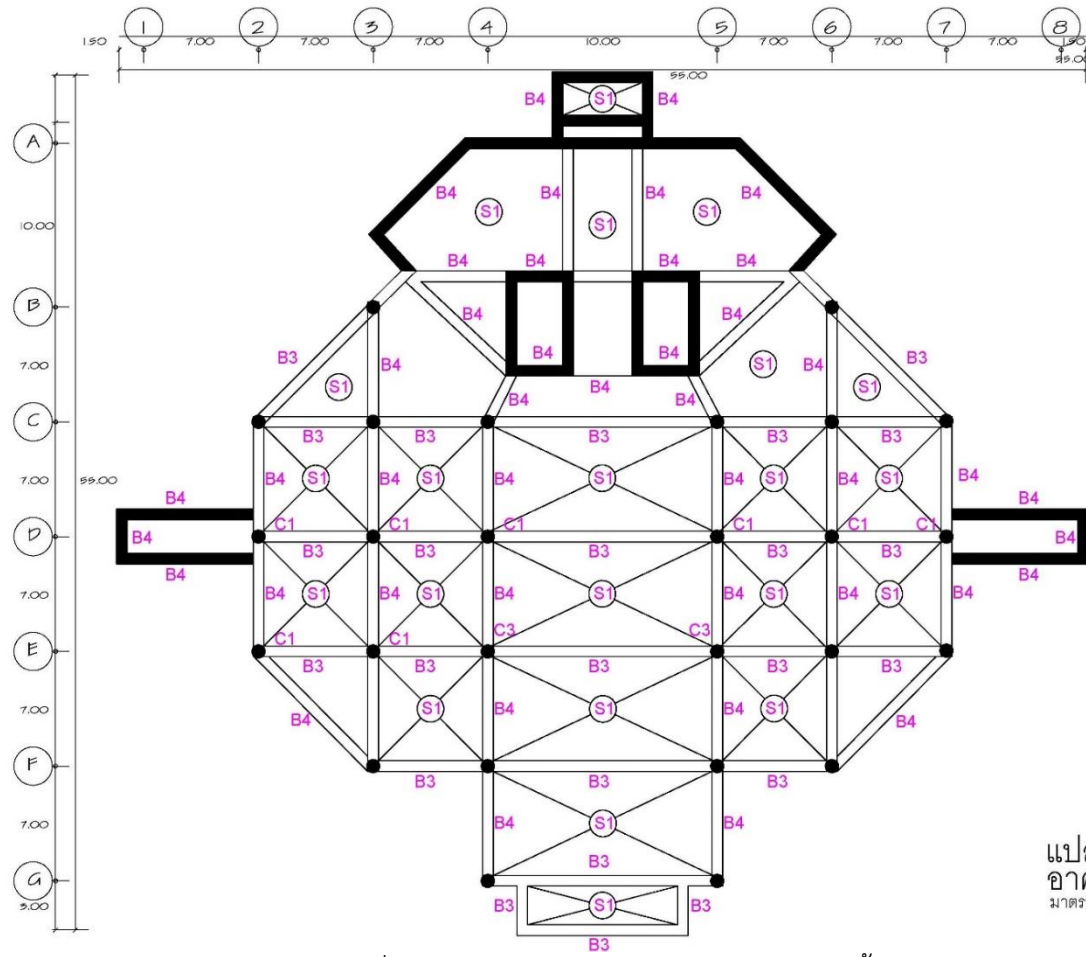
ภาพที่ 17ก แสดงแบบรูปด้าน C อาคาร 1



ภาพที่ 18ก แสดงแบบรูปตัด 1 อาคาร 1

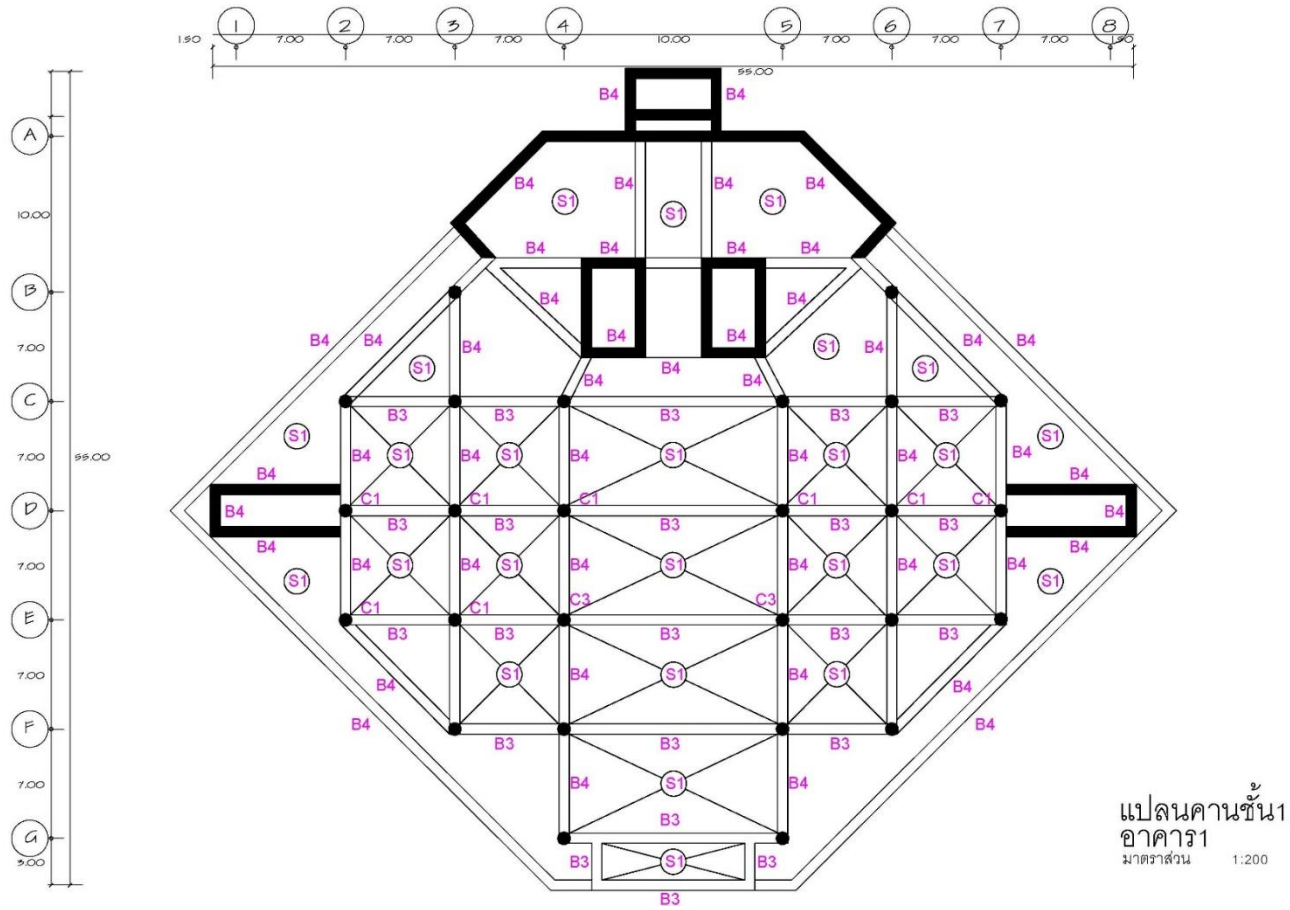


ภาพที่ 19ก แสดงแบบรูปตัด 2 อาคาร 1

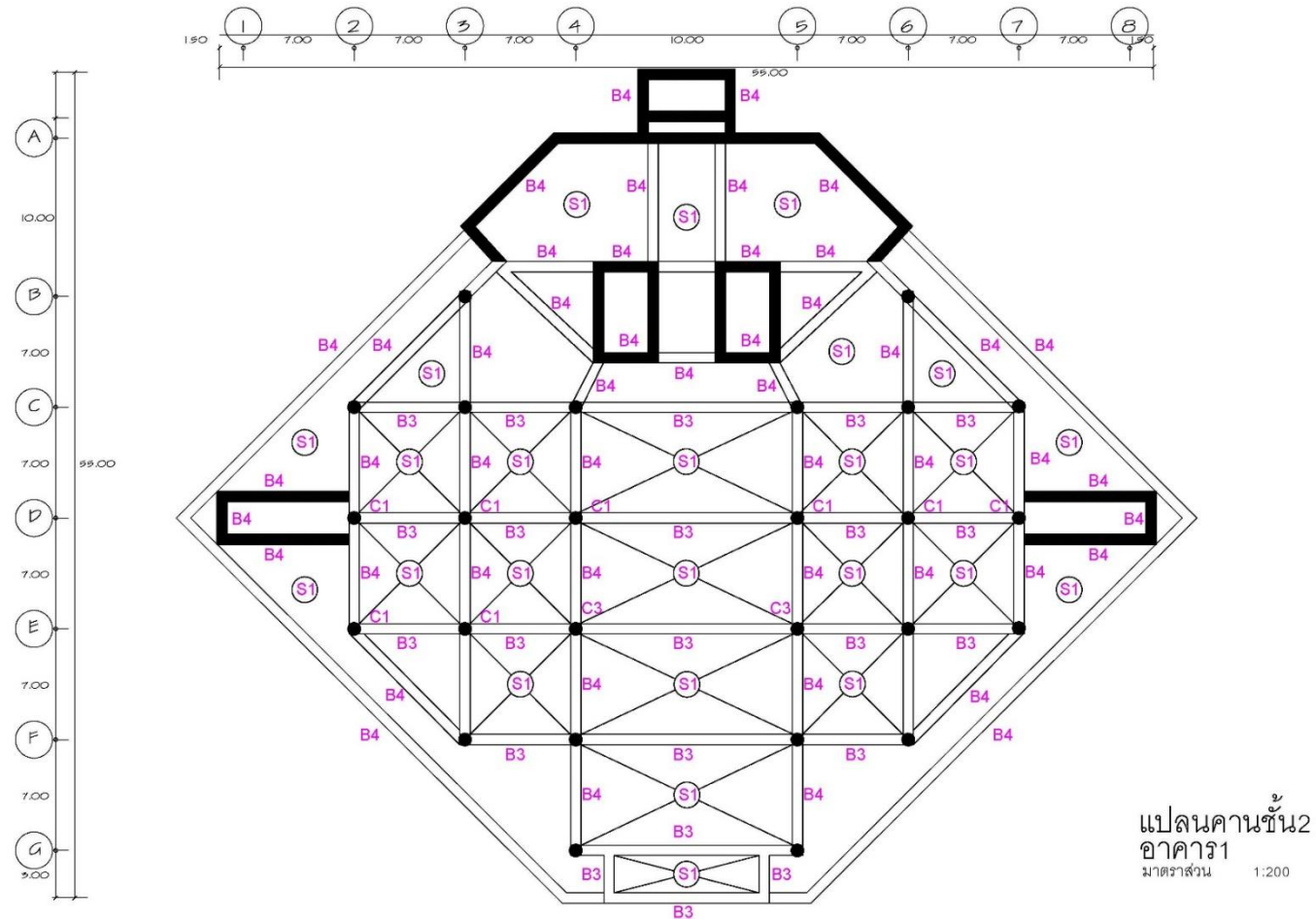


ภาพที่ 20ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น G

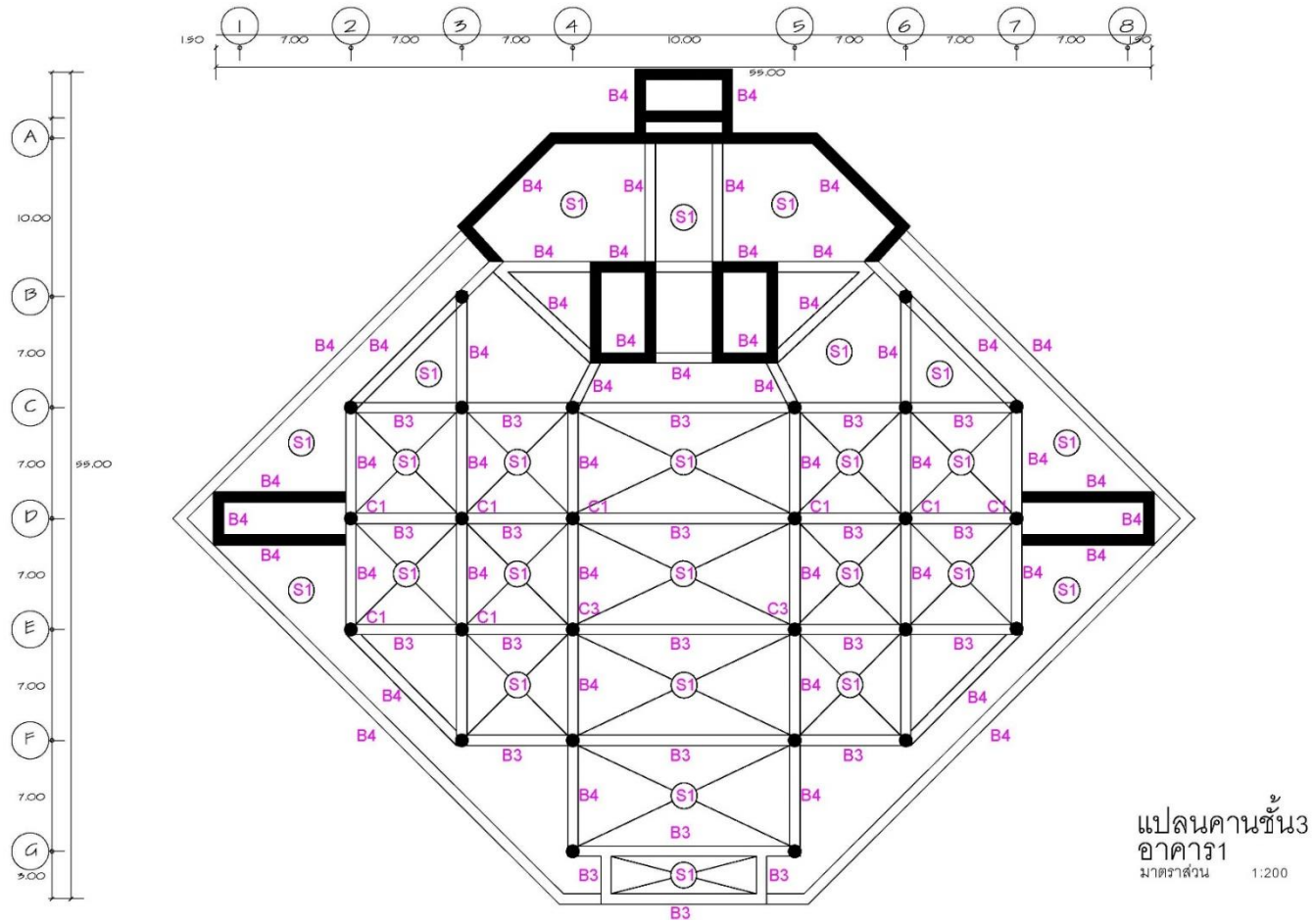
แปลนคานชั้น G
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200



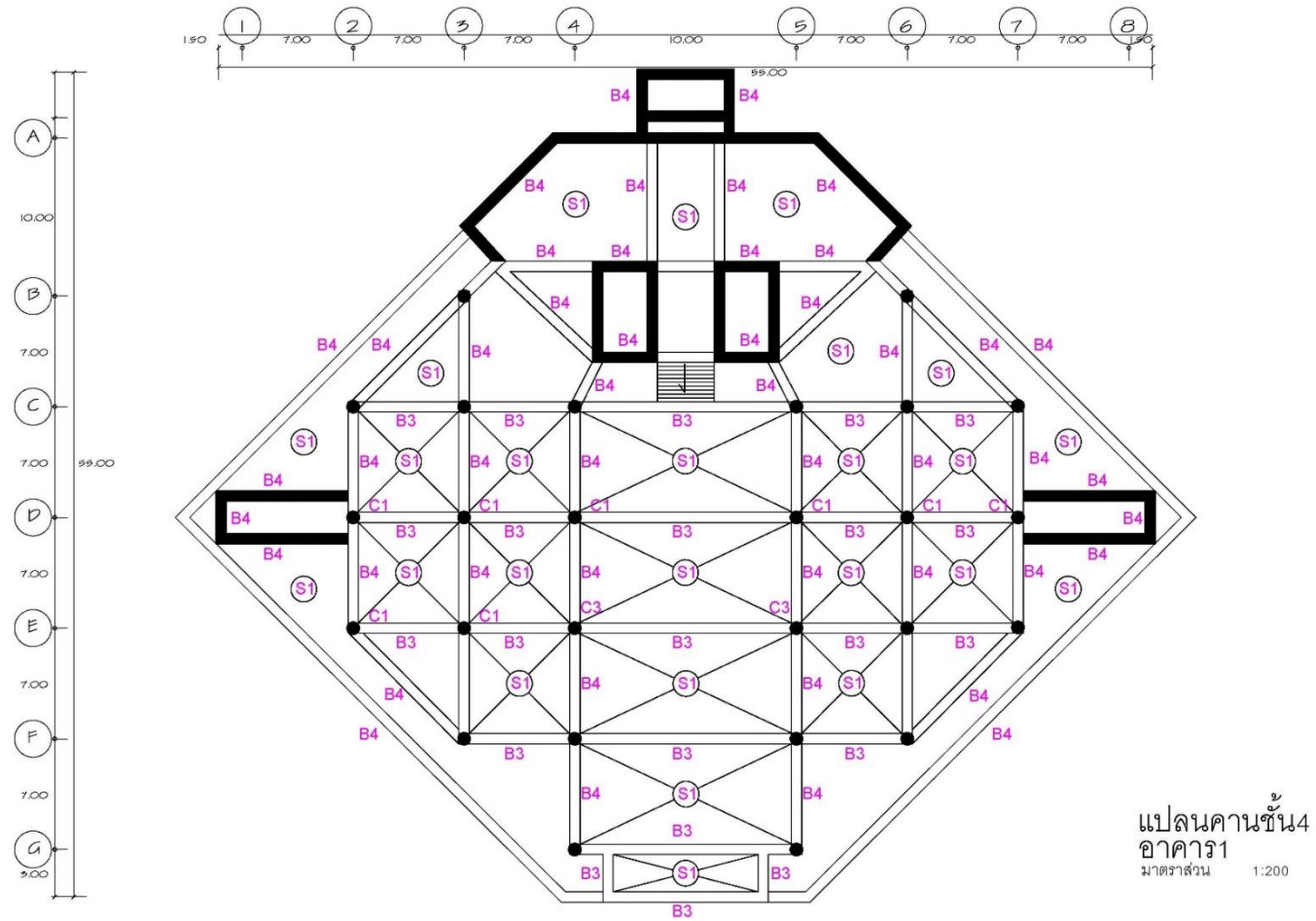
ภาพที่ 21ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 1



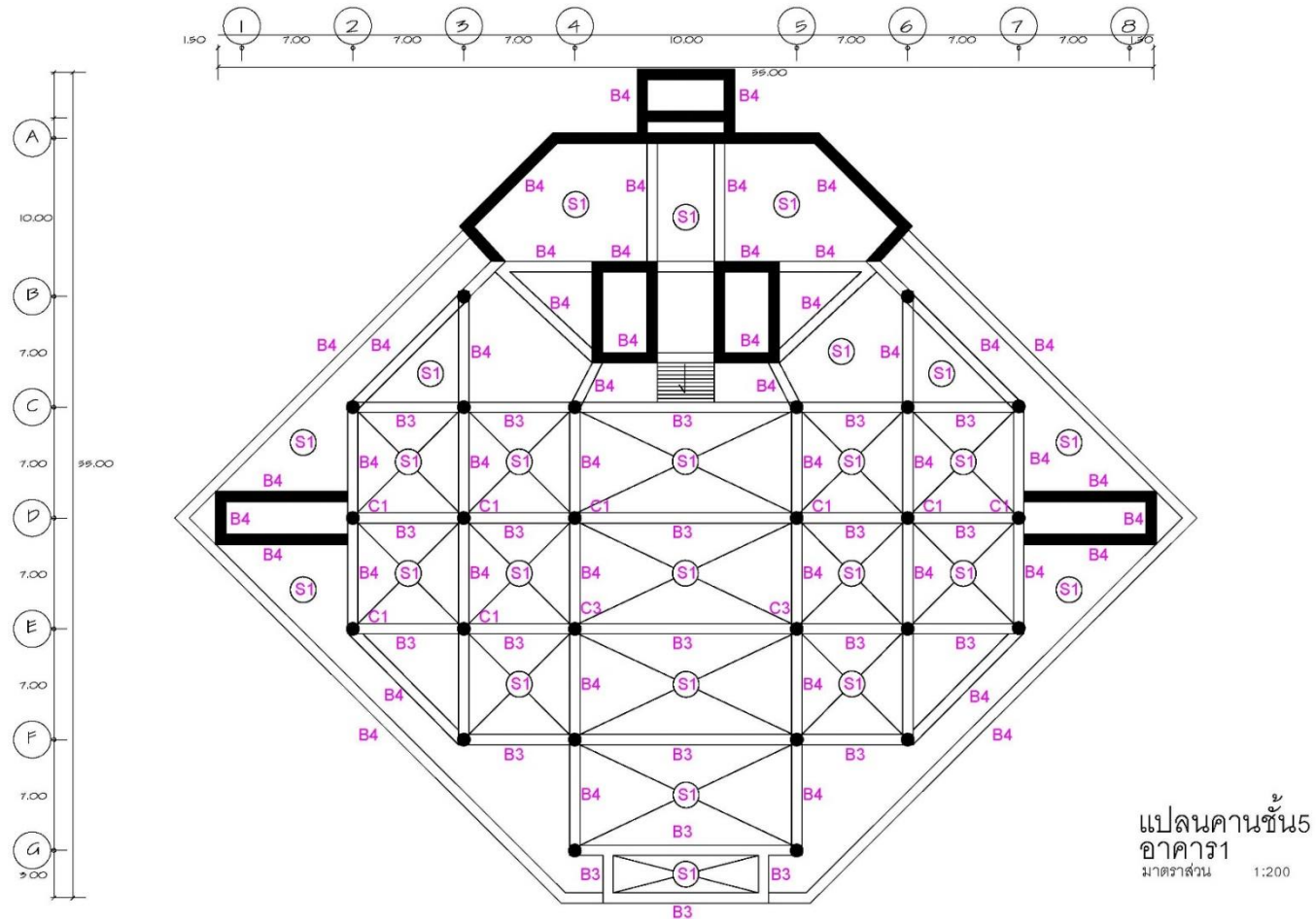
ภาพที่ 22ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 2



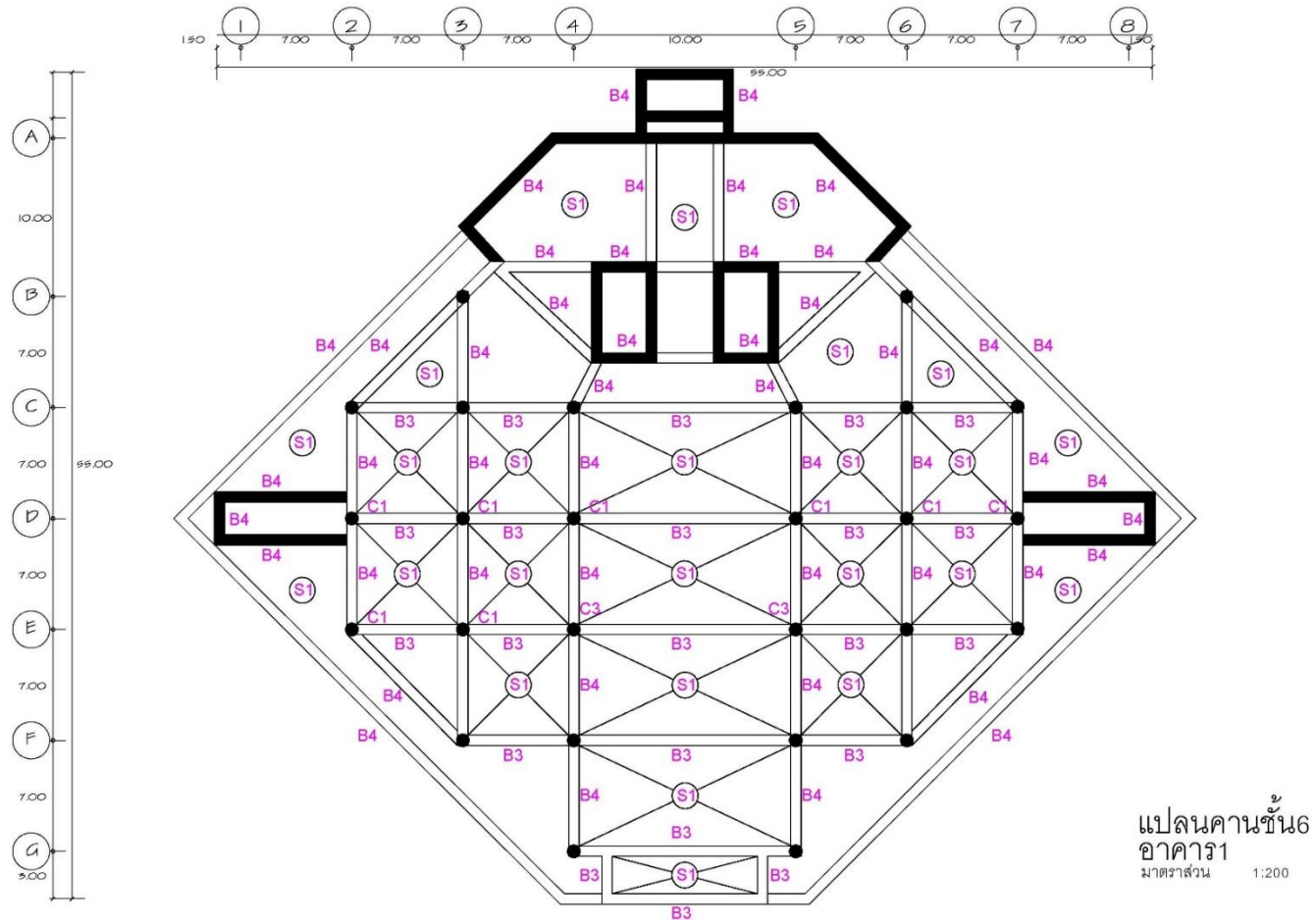
ภาพที่ 23ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 3



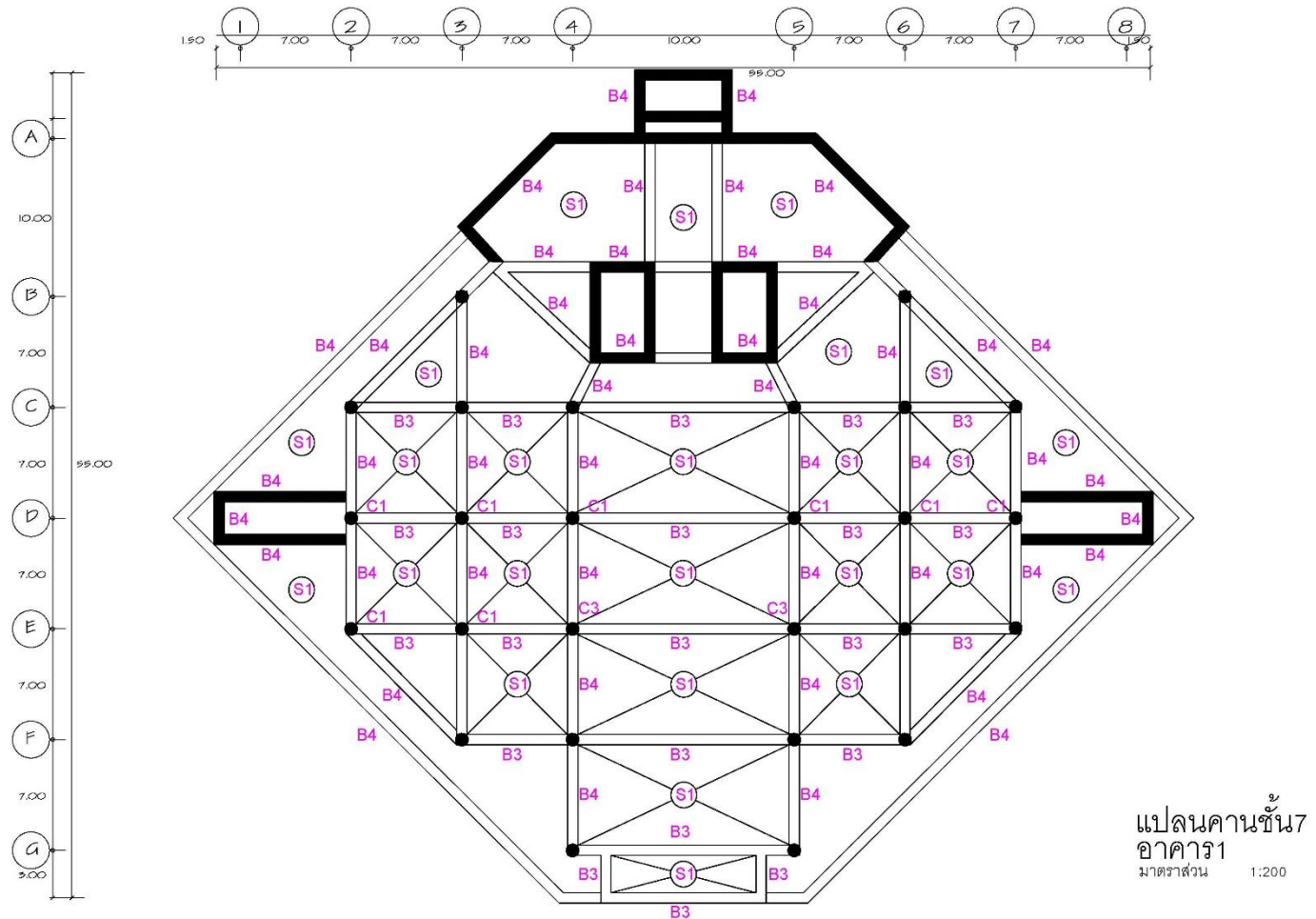
ภาพที่ 24ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 4



ภาพที่ 25ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 5

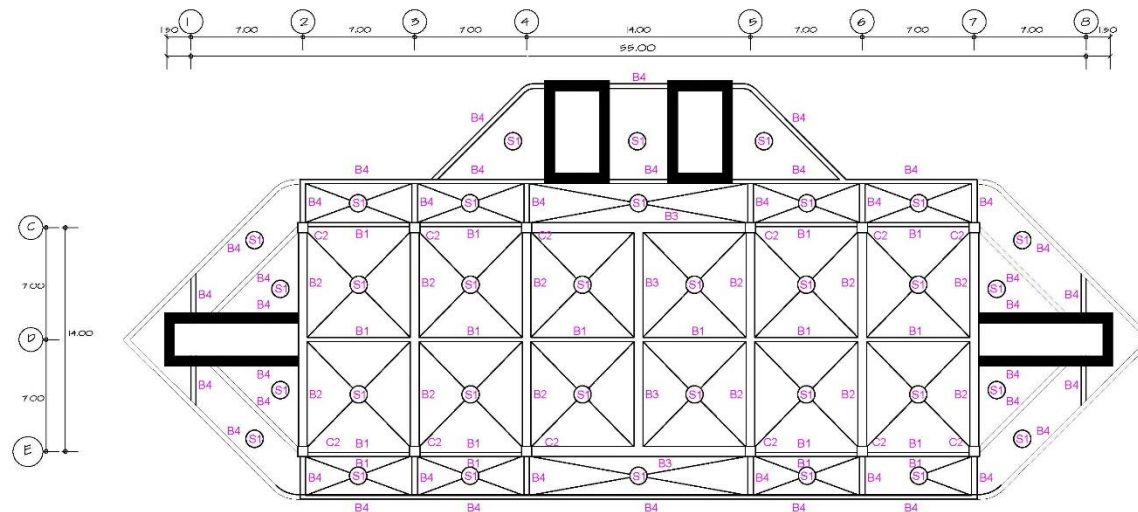


ภาพที่ 26ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 6



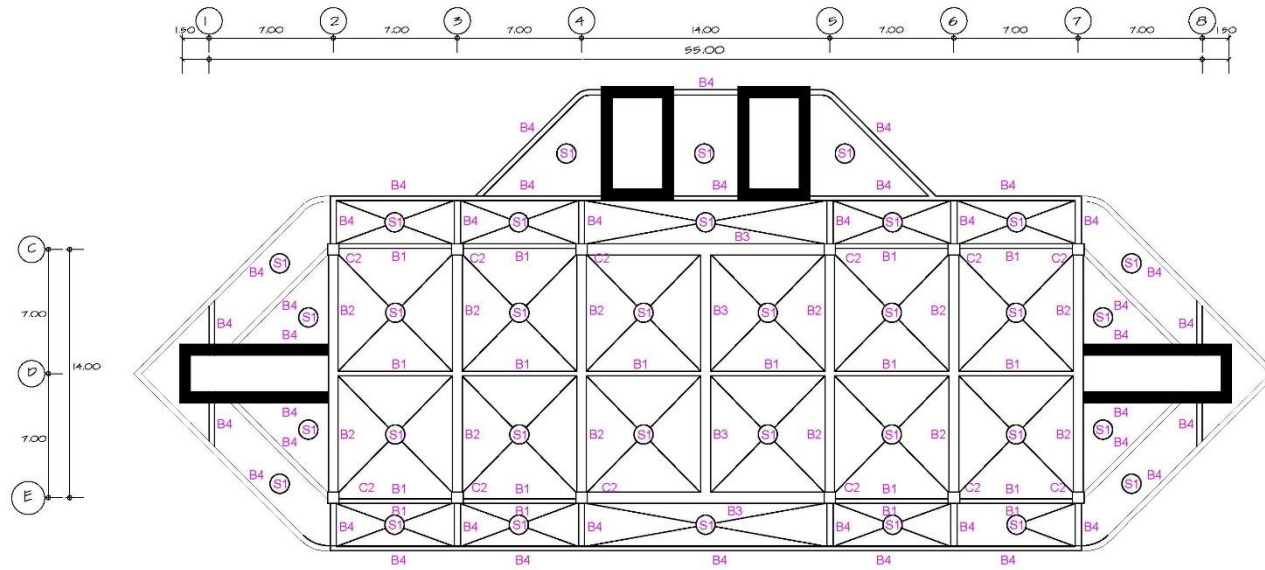
แปลนคานชั้น 7
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

ภาพที่ 27ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 7



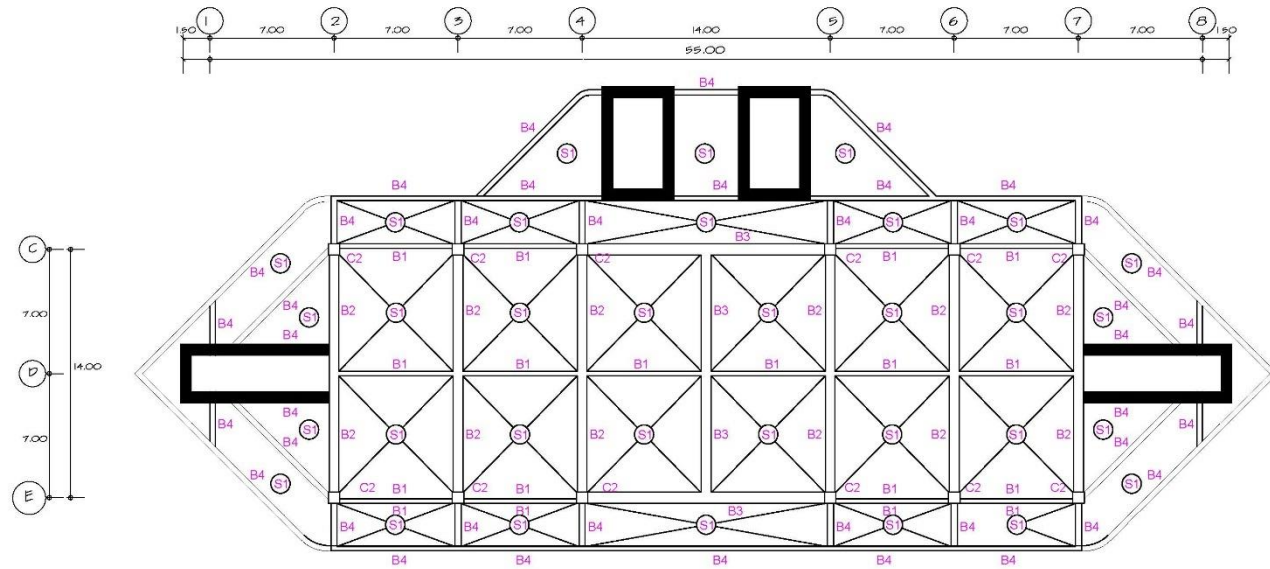
แปลนคานชั้น 8
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

ภาพที่ 28ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 8



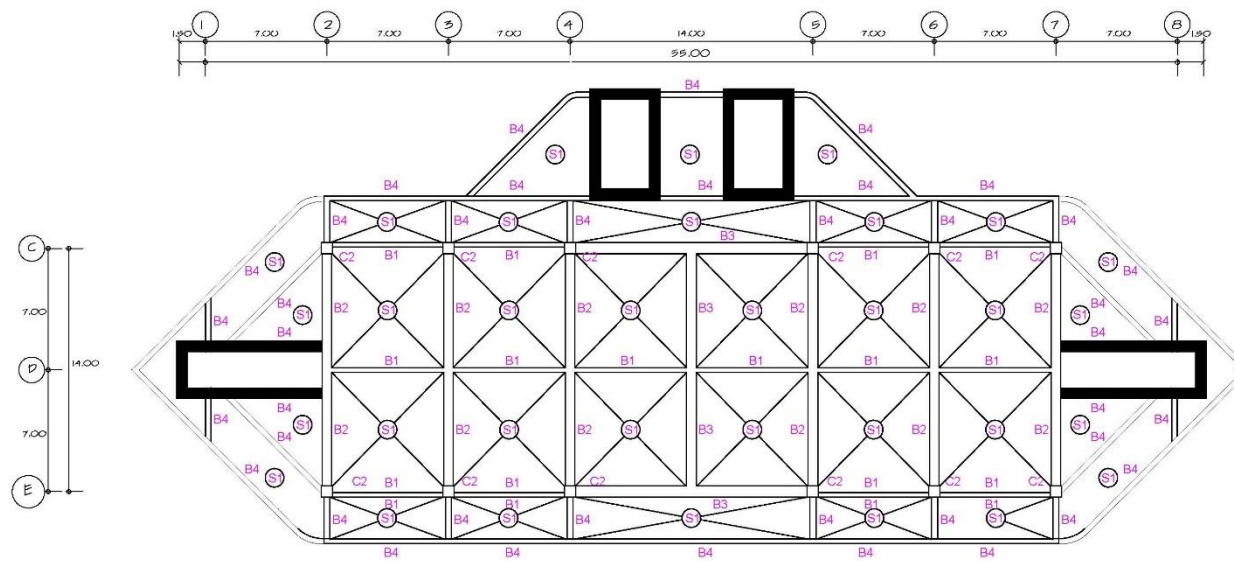
แปลนคานชั้น 9
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

ภาพที่ 29ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 9



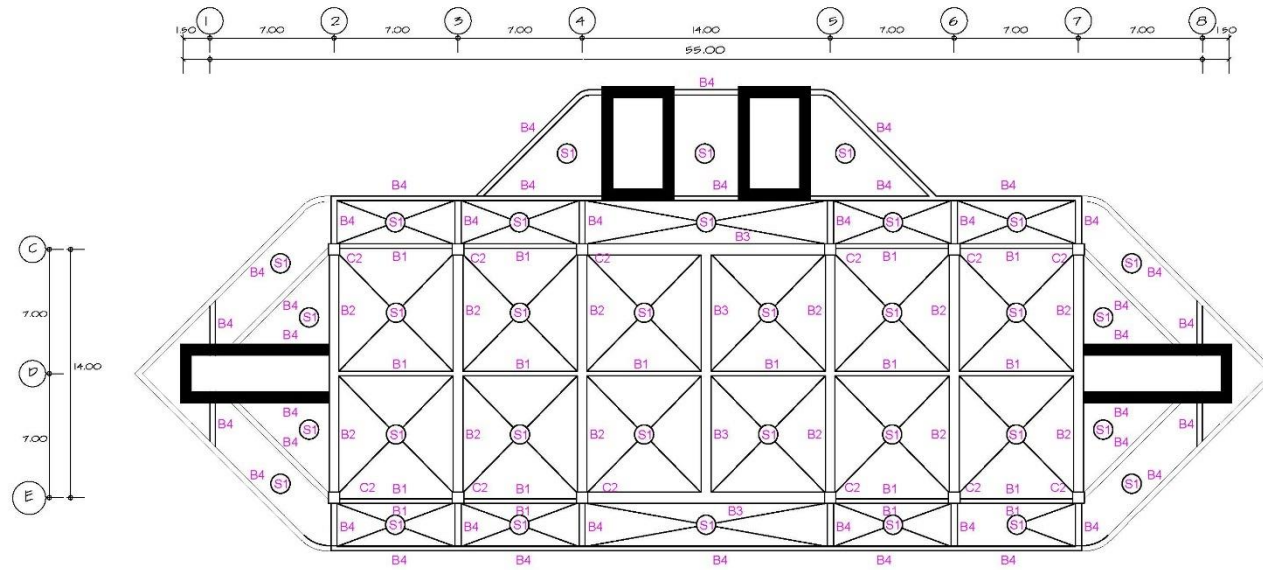
แปลนคานชั้น 10
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

ภาพที่ 30ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 10



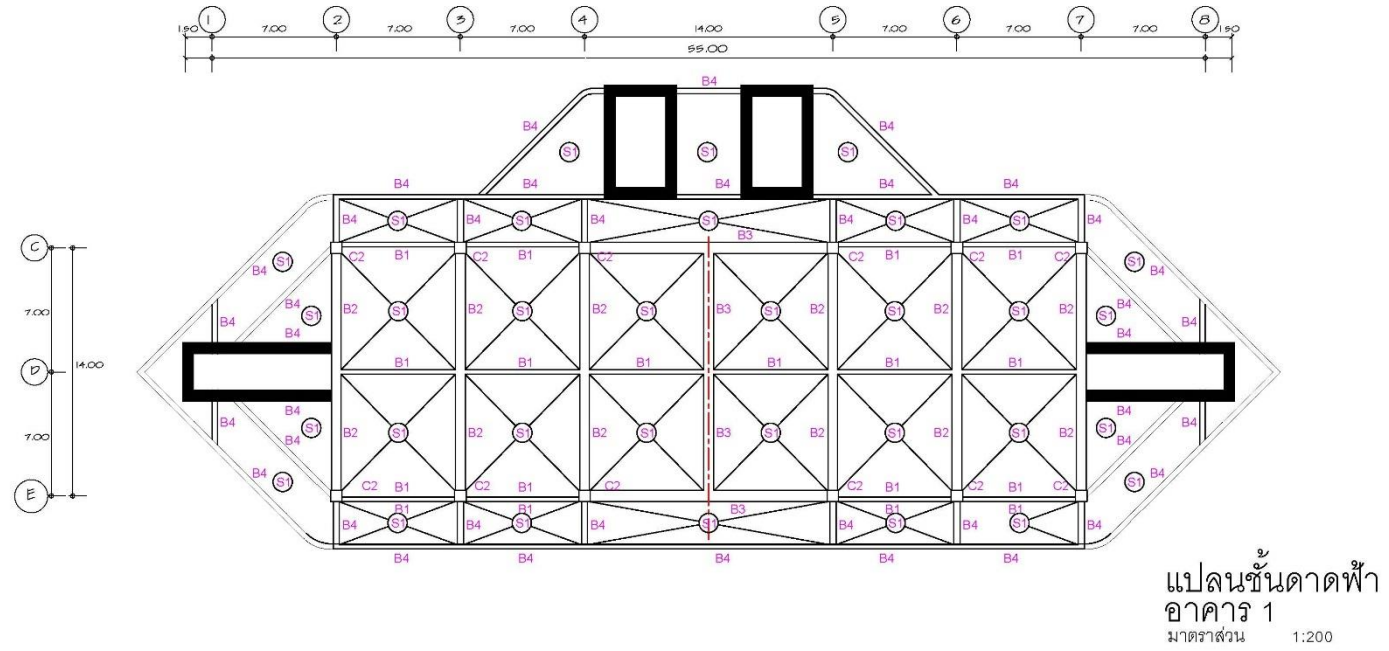
แปลนคานชั้น 11
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

ภาพที่ 31ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 11

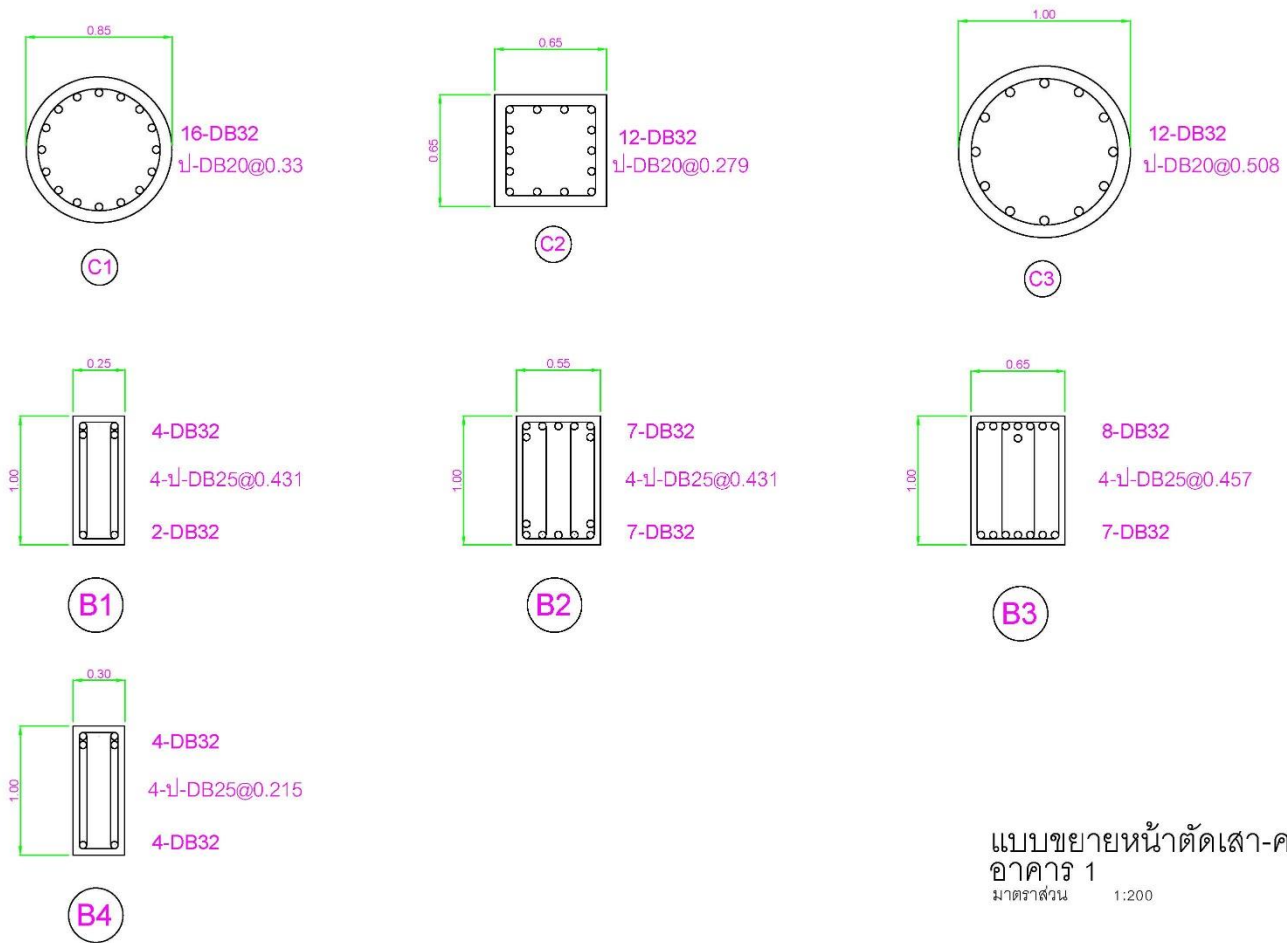


แปลนคานชั้น 12
อาคาร 1
มาตราส่วน 1:200

ภาพที่ 32ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้น 12



ภาพที่ 33ก แสดงแบบแปลนโครงสร้างอาคาร 1 ชั้นดาดฟ้า



แบบขยายหน้าตัดเสาคาน
 อาคาร 1
 มาตรฐาน 1:200

ภาพที่ 34ก แสดงแบบขยายหน้าตัดเสาคาน

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลการทดสอบโครงสร้างแบบไม่ทำลายด้วยคลื่นกระแทก
และข้อมูลการออกแบบหน้าตัดโครงสร้างคาน

ตารางที่ 1ข ผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายด้วย Schmidt Hammer อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) ชั้น 10
มหาวิทยาลัยศรีปทุม ชนิดโครงสร้างเสา ประเภท C2

| ลำดับ ที่ | ประเภท | ตำแหน่ง ที่ ทำการ ทดสอบ | มุม ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน (Rebound Index) | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | MAX | MIN | Ksc | |
|--------------|--------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|--------|------|-----|-----|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | | | |
| 1 | C2 | A1 | 0° | 36 | 32 | 38 | 34 | 36 | 34 | 32 | 32 | 36 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 33.375 | 38 | 32 | 340 | |
| 2 | C2 | A2 | 0° | 44 | 42 | 42 | 42 | 46 | 46 | 44 | 48 | 46 | 48 | 48 | 46 | 46 | 48 | 48 | 48 | 45.75 | 48 | 42 | 467 | |
| 3 | C2 | A3 | 0° | 42 | 44 | 44 | 40 | 44 | 44 | 42 | 42 | 46 | 46 | 44 | 44 | 44 | 46 | 44 | 44 | 43.75 | 46 | 40 | 446 | |
| 4 | C2 | A4 | 0° | 36 | 40 | 42 | 42 | 42 | 38 | 40 | 40 | 40 | 40 | 42 | 40 | 42 | 38 | 40 | 38 | 40 | 42 | 36 | 408 | |
| 5 | C2 | A5 | 0° | 38 | 36 | 34 | 34 | 40 | 34 | 34 | 34 | 40 | 34 | 34 | 34 | 34 | 36 | 34 | 34 | 35.25 | 40 | 34 | 360 | |
| 6 | C2 | A6 | 0° | 40 | 38 | 38 | 34 | 40 | 34 | 34 | 34 | 38 | 34 | 40 | 34 | 38 | 34 | 38 | 34 | 36.375 | 40 | 34 | 371 | |
| 7 | C2 | C1 | 0° | 50 | 50 | 48 | 48 | 46 | 48 | 46 | 48 | 48 | 46 | 50 | 50 | 50 | 48 | 48 | 46 | 48.125 | 50 | 46 | 491 | |
| 8 | C2 | C2 | 0° | 30 | 32 | 34 | 32 | 30 | 30 | 32 | 34 | 32 | 32 | 30 | 32 | 36 | 34 | 36 | 36 | 32.625 | 36 | 30 | 333 | |
| 9 | C2 | C3 | 0° | 38 | 38 | 40 | 40 | 38 | 38 | 38 | 36 | 38 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 37.25 | 40 | 36 | 380 | |
| 10 | C2 | C4 | 0° | 44 | 42 | 44 | 42 | 46 | 42 | 44 | 44 | 44 | 42 | 46 | 44 | 42 | 46 | 44 | 42 | 43.625 | 46 | 42 | 445 | |
| 11 | C2 | C5 | 0° | 36 | 38 | 40 | 38 | 40 | 36 | 34 | 36 | 34 | 40 | 38 | 36 | 38 | 40 | 34 | 36 | 37.125 | 40 | 34 | 379 | |
| 12 | C2 | C6 | 0° | 46 | 44 | 40 | 44 | 40 | 42 | 40 | 40 | 40 | 40 | 44 | 44 | 42 | 44 | 42 | 42.125 | 46 | 40 | 430 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | | | 404 |

ตารางที่ 2ข ผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายด้วย Schmidt Hammer อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) ชั้น 10
มหาวิทยาลัยศรีปทุม ชนิดโครงสร้างคาน ประเภท B1

| ลำดับ ที่ | ประเภท | ตำแหน่ง ที่ ทำการ ทดสอบ | มุม ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน (Rebound Index) | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | MAX | MIN | Ksc |
|--------------|--------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|------|-----|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | | |
| 1 | B1 | A1-2 | 0° | 42 | 42 | 40 | 40 | 40 | 40 | 42 | 44 | 44 | 40 | 44 | 44 | 42 | 42 | 40 | 42 | 41.75 | 44 | 40 | 426 |
| 2 | B1 | A2-3 | 0° | 44 | 48 | 48 | 44 | 46 | 42 | 44 | 44 | 44 | 42 | 42 | 52 | 42 | 46 | 46 | 48 | 45.125 | 52 | 42 | 460 |
| 3 | B1 | A4-5 | 0° | 42 | 42 | 40 | 42 | 40 | 40 | 42 | 44 | 44 | 42 | 44 | 44 | 42 | 42 | 40 | 42 | 42 | 44 | 40 | 428 |
| 4 | B1 | A5-6 | 0° | 42 | 42 | 44 | 42 | 40 | 40 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 44 | 42 | 42 | 44 | 42 | 42.75 | 46 | 40 | 436 |
| 5 | B1 | B1-2 | 0° | 46 | 44 | 44 | 46 | 46 | 42 | 44 | 46 | 48 | 48 | 46 | 46 | 44 | 44 | 44 | 46 | 45.25 | 48 | 42 | 462 |
| 6 | B1 | B2-3 | 0° | 42 | 38 | 42 | 42 | 42 | 38 | 42 | 38 | 46 | 44 | 44 | 44 | 42 | 48 | 48 | 48 | 43 | 48 | 38 | 439 |
| 7 | B1 | B3-4 | 0° | 42 | 42 | 40 | 42 | 40 | 40 | 42 | 44 | 44 | 42 | 44 | 44 | 42 | 42 | 40 | 42 | 42 | 44 | 40 | 428 |
| 8 | B1 | B4-5 | 0° | 42 | 42 | 40 | 40 | 42 | 44 | 42 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 44 | 42 | 42 | 44 | 42.75 | 46 | 40 | 436 |
| 9 | B1 | B5-6 | 0° | 44 | 48 | 48 | 44 | 46 | 40 | 44 | 44 | 44 | 42 | 42 | 52 | 42 | 46 | 46 | 50 | 45.125 | 52 | 40 | 460 |
| 10 | B1 | C1-2 | 0° | 42 | 42 | 40 | 40 | 42 | 44 | 42 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 44 | 42 | 42 | 44 | 42.75 | 46 | 40 | 436 |
| 11 | B1 | C2-3 | 0° | 42 | 42 | 40 | 42 | 40 | 46 | 42 | 44 | 44 | 42 | 44 | 44 | 42 | 42 | 44 | 42 | 42.625 | 46 | 40 | 435 |
| 12 | B1 | C4-5 | 0° | 44 | 48 | 48 | 44 | 46 | 42 | 44 | 44 | 44 | 42 | 42 | 50 | 42 | 46 | 46 | 48 | 45 | 50 | 42 | 459 |
| 13 | B1 | C5-6 | 0° | 42 | 42 | 44 | 42 | 40 | 40 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 44 | 42 | 42 | 40 | 42 | 42.5 | 46 | 40 | 434 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | | 441 |

ตารางที่ 3ข ผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายด้วย Schmidt Hammer อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) ชั้น10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม ชนิดโครงสร้างคาน ประเภท B2

| ลำดับ ที่ | ประเภท | ตำแหน่ง ที่ ทำการ ทดสอบ | มุม ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน (Rebound Index) | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | MAX | MIN | Ksc | | |
|--------------|--------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|------|-----|--|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | | | | |
| 1 | B2 | AB1 | 0° | 44 | 42 | 42 | 42 | 46 | 44 | 42 | 46 | 46 | 44 | 42 | 44 | 44 | 44 | 48 | 40 | 43.75 | 48 | 40 | 446 | | |
| 2 | B2 | BC1 | 0° | 38 | 44 | 42 | 42 | 40 | 40 | 38 | 40 | 44 | 44 | 38 | 44 | 40 | 38 | 38 | 42 | 40.75 | 44 | 38 | 416 | | |
| 3 | B2 | AB2 | 0° | 42 | 46 | 46 | 42 | 44 | 44 | 44 | 42 | 44 | 44 | 42 | 42 | 44 | 44 | 44 | 46 | 43.75 | 46 | 42 | 446 | | |
| 4 | B2 | BC2 | 0° | 44 | 46 | 46 | 44 | 42 | 42 | 42 | 42 | 46 | 44 | 44 | 46 | 48 | 44 | 44 | 14 | 42.375 | 48 | 14 | 432 | | |
| 5 | B2 | AB3 | 0° | 42 | 38 | 40 | 42 | 38 | 40 | 40 | 40 | 42 | 40 | 38 | 40 | 38 | 38 | 38 | 38 | 39.5 | 42 | 38 | 403 | | |
| 6 | B2 | BC3 | 0° | 42 | 40 | 46 | 44 | 38 | 38 | 42 | 38 | 38 | 44 | 44 | 38 | 42 | 40 | 40 | 40 | 40.875 | 46 | 38 | 417 | | |
| 7 | B2 | AB4 | 0° | 46 | 42 | 42 | 42 | 48 | 50 | 44 | 44 | 46 | 42 | 48 | 46 | 50 | 42 | 44 | 44 | 45 | 50 | 42 | 459 | | |
| 8 | B2 | BC4 | 0° | 44 | 40 | 40 | 46 | 42 | 42 | 40 | 38 | 40 | 44 | 38 | 40 | 38 | 42 | 40 | 40 | 40.875 | 46 | 38 | 417 | | |
| 9 | B2 | AB5 | 0° | 36 | 36 | 40 | 34 | 36 | 38 | 38 | 36 | 38 | 36 | 40 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36.75 | 40 | 34 | 375 | | |
| 10 | B2 | BC5 | 0° | 44 | 42 | 44 | 42 | 48 | 46 | 46 | 42 | 46 | 44 | 44 | 42 | 48 | 48 | 48 | 44 | 44.875 | 48 | 42 | 458 | | |
| 11 | B2 | AB6 | 0° | 36 | 38 | 32 | 32 | 36 | 32 | 32 | 34 | 34 | 36 | 36 | 38 | 34 | 34 | 38 | 38 | 35 | 38 | 32 | 357 | | |
| 12 | B2 | BC6 | 0° | 46 | 42 | 42 | 44 | 42 | 44 | 44 | 48 | 46 | 46 | 48 | 42 | 46 | 46 | 46 | 46 | 44.875 | 48 | 42 | 458 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | | | 424 |

ตารางที่ 4ข ผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายด้วย Schmidt Hammer อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) ชั้น 10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม ชนิดโครงสร้าง คาน ประเภท B3

| ลำดับ ที่ | ประเภท | ตำแหน่ง ที่ ทำการ ทดสอบ | มุม ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน (Rebound Index) | | | | | | | | | | | | | | | | ค่าเฉลี่ย | MAX | MIN | Ksc | |
|--------------|--------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|------|-----|-----|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | | | |
| 1 | B3 | AB | 0° | 44 | 48 | 48 | 44 | 46 | 40 | 44 | 44 | 44 | 42 | 42 | 52 | 42 | 46 | 46 | 50 | 45.125 | 52 | 40 | 460 | |
| 2 | B3 | BC | 0° | 40 | 40 | 44 | 42 | 46 | 44 | 50 | 42 | 44 | 42 | 42 | 44 | 44 | 44 | 42 | 44 | 43.375 | 50 | 40 | 442 | |
| 3 | B3 | A3-4 | 0° | 44 | 48 | 48 | 44 | 46 | 44 | 44 | 44 | 44 | 42 | 42 | 52 | 42 | 46 | 46 | 50 | 45.375 | 52 | 42 | 463 | |
| 4 | B3 | C3-4 | 0° | 40 | 40 | 44 | 42 | 46 | 44 | 50 | 42 | 44 | 42 | 42 | 44 | 44 | 44 | 42 | 44 | 43.375 | 50 | 40 | 442 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | | | 452 |

ตารางที่ 5ข ผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายด้วย Schmidt Hammer อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) ชั้น 10
มหาวิทยาลัยศรีปทุม ชนิดโครงสร้าง คาน ประเภท B4

| ลำดับ ที่ | ประเภท | ตำแหน่ง ที่ ทำการ ทดสอบ | มุม ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน (Rebound Index) | | | | | | | | | | | | | | | | ค่าเฉลี่ย | MAX | MIN | Ksc | |
|--------------|--------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|------|-----|-----|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | | | |
| 1 | B4 | AB | 0° | 45 | 49 | 49 | 43 | 48 | 42 | 45 | 45 | 45 | 43 | 43 | 51 | 41 | 45 | 45 | 45 | 45.25 | 51 | 41 | 462 | |
| 2 | B4 | BC | 0° | 38 | 38 | 42 | 42 | 45 | 43 | 49 | 42 | 43 | 43 | 41 | 42 | 44 | 44 | 42 | 42 | 42.5 | 49 | 38 | 434 | |
| 3 | B4 | A3-4 | 0° | 39 | 39 | 42 | 42 | 45 | 42 | 42 | 45 | 45 | 42 | 42 | 52 | 39 | 52 | 46 | 46 | 43.75 | 52 | 39 | 446 | |
| 4 | B4 | C3-4 | 0° | 40 | 40 | 42 | 42 | 44 | 44 | 39 | 42 | 44 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 42 | 42 | 42.125 | 44 | 39 | 430 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | | | 443 |

ตารางที่ 6ข ผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายด้วย Schmidt Hammer อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ (อาคาร 1) ชั้น 10
มหาวิทยาลัยศรีปทุม ชนิดโครงสร้าง พื้น ประเภท S1

| ลำดับ ที่ | ประเภท | ตำแหน่งที่ ทำการ ทดสอบ | มุม ทดสอบ (องศา) | ค่าการสะท้อน (Rebound Index) | | | | | | | | | | | | | | | | AVG. | MAX | MIN | Ksc |
|--------------|--------|------------------------------|------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|-----|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | | |
| 1 | S1 | AB1-2 | 90° | 58 | 58 | 54 | 56 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 62 | 58 | 56 | 56 | 56 | 58.125 | 62 | 54 | 593 |
| 2 | S1 | BC1-2 | 90° | 52 | 60 | 54 | 62 | 52 | 60 | 58 | 60 | 58 | 58 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 56 | 57.875 | 62 | 52 | 590 |
| 3 | S1 | AB2-3 | 90° | 54 | 58 | 56 | 52 | 54 | 58 | 60 | 50 | 58 | 56 | 56 | 52 | 54 | 54 | 56 | 58 | 55.375 | 60 | 50 | 565 |
| 4 | S1 | BC2-3 | 90° | 54 | 56 | 60 | 58 | 58 | 58 | 54 | 56 | 54 | 54 | 54 | 52 | 56 | 58 | 54 | 52 | 55.5 | 60 | 52 | 566 |
| 5 | S1 | AB3-4 | 90° | 60 | 58 | 54 | 56 | 58 | 58 | 56 | 56 | 56 | 54 | 58 | 52 | 52 | 54 | 56 | 54 | 55.75 | 60 | 52 | 569 |
| 6 | S1 | BC3-4 | 90° | 56 | 50 | 54 | 62 | 60 | 58 | 54 | 56 | 56 | 54 | 56 | 58 | 58 | 60 | 58 | 54 | 56.5 | 62 | 50 | 576 |
| 7 | S1 | AB4-5 | 90° | 58 | 58 | 58 | 54 | 54 | 56 | 56 | 58 | 60 | 54 | 58 | 56 | 60 | 62 | 58 | 54 | 57.125 | 62 | 54 | 583 |
| 8 | S1 | BC4-5 | 90° | 52 | 56 | 58 | 54 | 58 | 60 | 62 | 62 | 60 | 58 | 54 | 56 | 56 | 52 | 58 | 60 | 57.25 | 62 | 52 | 584 |
| 9 | S1 | AB5-6 | 90° | 56 | 56 | 56 | 58 | 58 | 52 | 54 | 58 | 56 | 56 | 58 | 62 | 62 | 62 | 60 | 58 | 57.625 | 62 | 52 | 588 |
| 10 | S1 | BC5-6 | 90° | 58 | 58 | 58 | 56 | 56 | 58 | 56 | 60 | 58 | 56 | 56 | 56 | 56 | 58 | 60 | 58 | 57.375 | 60 | 56 | 585 |
| 11 | S1 | AB6-7 | 90° | 54 | 54 | 54 | 58 | 58 | 56 | 58 | 60 | 62 | 58 | 60 | 54 | 58 | 56 | 56 | 58 | 57.125 | 62 | 54 | 583 |
| 12 | S1 | BC6-7 | 90° | 52 | 58 | 56 | 56 | 56 | 56 | 54 | 58 | 56 | 60 | 60 | 60 | 58 | 54 | 58 | 54 | 56.625 | 60 | 52 | 578 |

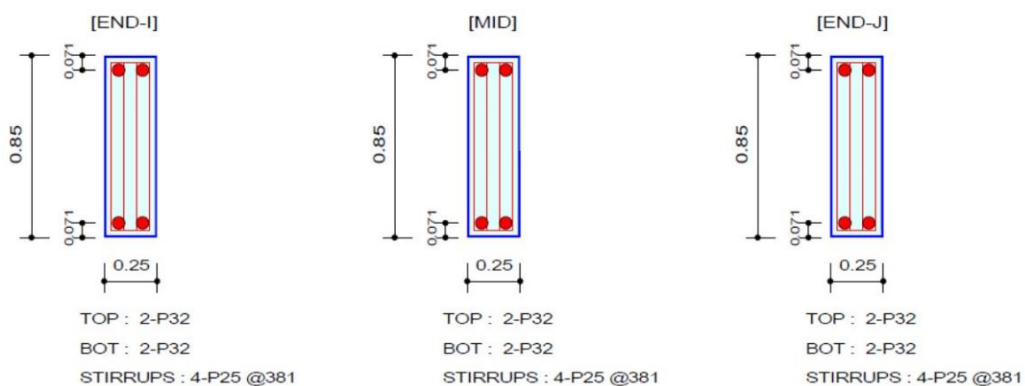
RC Beam Design Result

B1

1 Design Information

| | | | |
|-------------------|--|---------------|--------|
| Member Number: | 8911 | | |
| Design Code : | ACI318-11 | Unit System : | kgf, m |
| Material Data : | $f_c = 4e+006$, $f_y = 4e+007$, $f_{ys} = 4e+007$ kgf/m ² | | |
| Section Property: | B1 (No : 5) | Beam Span : | 42 m |

2 Section Diagram



3 Bending Moment Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| (-) Load Combination No. | 19 | 2 | 19 |
| Moment (Mu) | 0.0000 | 13115.64 | 0.0000 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 42917.20 | 42917.20 | 42917.20 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.0000 | 0.3056 | 0.0000 |
| (+) Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Moment (Mu) | 7003.46 | 15344.23 | 5698.18 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 42917.20 | 42917.20 | 42917.20 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.1632 | 0.3575 | 0.1328 |
| Required Rebar Top (A_{s_top}) | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 |
| Required Rebar Bot (A_{s_bot}) | 0.0003 | 0.0007 | 0.0003 |

4 Shear Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|---|------------|------------|------------|
| Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Factored Shear Force (V_u) | 24029.78 | 4873.96 | 24917.8 |
| Shear Strength by Conc. (ϕV_c) | 15491.66 | 15491.66 | 15491.66 |
| Shear Strength by Rebar. (ϕV_s) | 61966.64 | 61966.64 | 61966.64 |
| Required Shear Reinf. (A_sV) | 0.0004 | 0.0000 | 0.0004 |
| Required Stirrups Spacing | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 |
| Check Ratio | 0.3102 | 0.0629 | 0.3217 |

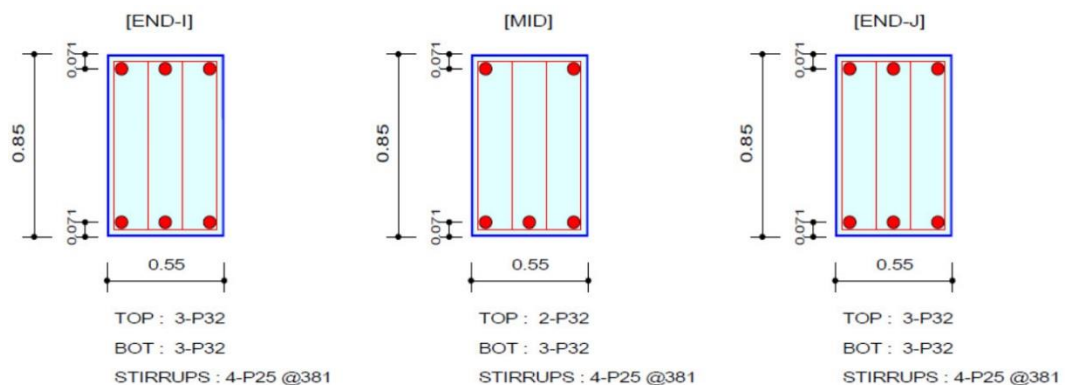
RC Beam Design Result

B2

1 Design Information

| | | | |
|-------------------|--|---------------|--------|
| Member Number: | 5965 | | |
| Design Code : | ACI318-11 | Unit System : | kgf, m |
| Material Data : | $f_c = 4e+006$, $f_y = 4e+007$, $f_{ys} = 4e+007$ kgf/m ² | | |
| Section Property: | B2 (No : 4) | Beam Span : | 14 m |

2 Section Diagram



3 Bending Moment Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|-------------------------------------|------------|----------|------------|
| (-) Load Combination No. | 2 | 19 | 2 |
| Moment (Mu) | 54246.0800 | 0.00 | 59897.3000 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 65421.78 | 44112.61 | 65421.78 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.8292 | 0.0000 | 0.9156 |
| (+) Load Combination No. | 3 | 2 | 2 |
| Moment (Mu) | 13945.22 | 63765.93 | 35362.60 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 65421.78 | 65421.78 | 65421.78 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.2132 | 0.9747 | 0.5405 |
| Required Rebar Top (A_{s_top}) | 0.0020 | 0.0000 | 0.0022 |
| Required Rebar Bot (A_{s_bot}) | 0.0007 | 0.0023 | 0.0017 |

4 Shear Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|---|------------|------------|------------|
| Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Factored Shear Force (V_u) | 91315.44 | 58363.55 | 85590.99 |
| Shear Strength by Conc. (ϕV_c) | 34081.65 | 34081.65 | 34081.65 |
| Shear Strength by Rebar. (ϕV_s) | 120437.08 | 120437.08 | 120437.08 |
| Required Shear Reinf. (A_{sV}) | 0.0024 | 0.0010 | 0.0022 |
| Required Stirrups Spacing | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 |
| Check Ratio | 0.591 | 0.3777 | 0.5539 |

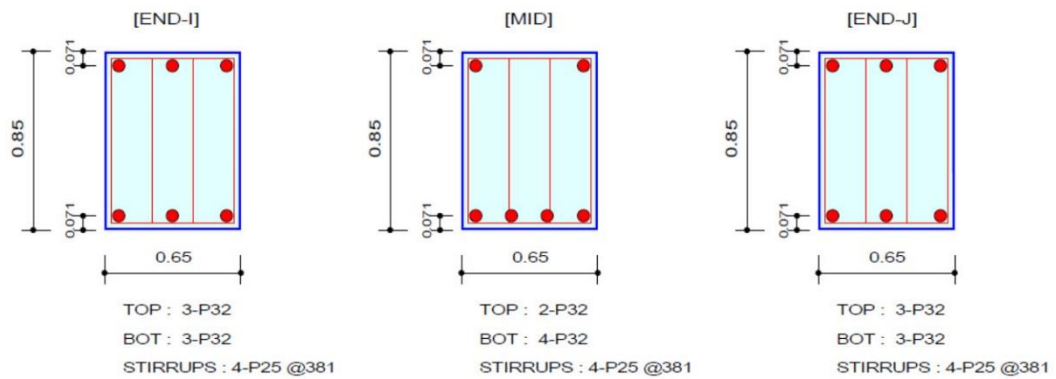
RC Beam Design Result

B3

1 Design Information

| | | | |
|-------------------|--|---------------|--------|
| Member Number: | 7418 | | |
| Design Code : | ACI318-11 | Unit System : | kgf, m |
| Material Data : | $f_c = 4e+006$, $f_y = 4e+007$, $f_{ys} = 4e+007$ kgf/m ² | | |
| Section Property: | B3 (No : 1) | Beam Span : | 14 m |

2 Section Diagram



3 Bending Moment Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|-------------------------------------|------------|----------|------------|
| (-) Load Combination No. | 2 | 19 | 2 |
| Moment (Mu) | 57594.6100 | 0.00 | 54964.2800 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 65766.61 | 44265.86 | 65766.61 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.8757 | 0.0000 | 0.8357 |
| (+) Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Moment (Mu) | 13514.23 | 68588.90 | 33569.97 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 65766.61 | 86845.90 | 65766.61 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.2055 | 0.7898 | 0.5104 |
| Required Rebar Top (A_{s_top}) | 0.0021 | 0.0000 | 0.0020 |
| Required Rebar Bot (A_{s_bot}) | 0.0006 | 0.0025 | 0.0016 |

4 Shear Capacity

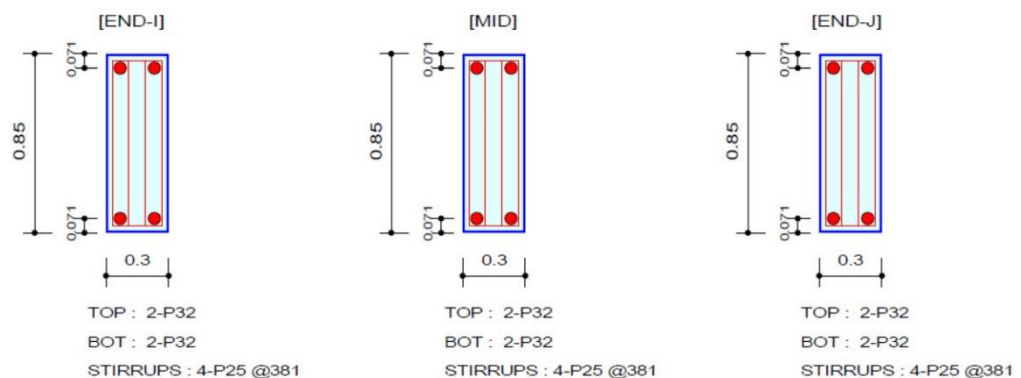
| | END-I | MID | END-J |
|--|------------|------------|------------|
| Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Factored Shear Force (Vu) | 84116.8 | 57161.35 | 80510.31 |
| Shear Strength by Conc.(ϕV_c) | 40278.31 | 40278.31 | 40278.31 |
| Shear Strength by Rebar.(ϕV_s) | 120437.08 | 120437.08 | 120437.08 |
| Required Shear Reinf. (AsV) | 0.0019 | 0.0007 | 0.0017 |
| Required Stirrups Spacing | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 |
| Check Ratio | 0.5234 | 0.3557 | 0.5009 |
| | | | |

RC Beam Design Result B4

1 Design Information

| | | | |
|-------------------|--|---------------|--------|
| Member Number: | 7480 | | |
| Design Code : | ACI318-11 | Unit System : | kgf, m |
| Material Data : | $f_c = 4e+006$, $f_y = 4e+007$, $f_{ys} = 4e+007$ kgf/m ² | | |
| Section Property: | B4 (No : 7) | Beam Span : | 16.8 m |

2 Section Diagram



3 Bending Moment Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|-------------------------------------|------------|----------|-----------|
| (-) Load Combination No. | 2 | 1 | 2 |
| Moment (Mu) | 29921.9400 | 1366.35 | 8339.2100 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 43282.46 | 43282.46 | 43282.46 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.6913 | 0.0316 | 0.1927 |
| (+) Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Moment (Mu) | 3916.84 | 17097.02 | 12496.43 |
| Factored Strength (ϕM_n) | 43282.46 | 43282.46 | 43282.46 |
| Check Ratio ($M_u/\phi M_n$) | 0.0905 | 0.3950 | 0.2887 |
| Required Rebar Top (A_{s_top}) | 0.0011 | 0.0001 | 0.0004 |
| Required Rebar Bot (A_{s_bot}) | 0.0002 | 0.0008 | 0.0006 |
| | | | |

4 Shear Capacity

| | END-I | MID | END-J |
|---|------------|------------|------------|
| Load Combination No. | 2 | 2 | 2 |
| Factored Shear Force (V_u) | 36569.75 | 18643.68 | 19168.43 |
| Shear Strength by Conc. (ϕV_c) | 18589.99 | 18589.99 | 18589.99 |
| Shear Strength by Rebar. (ϕV_s) | 74359.97 | 74359.97 | 74359.97 |
| Required Shear Reinf. (A_{sV}) | 0.0008 | 0.0003 | 0.0003 |
| Required Stirrups Spacing | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 | 4-P25 @381 |
| Check Ratio | 0.3934 | 0.2006 | 0.2062 |

ภาคผนวก ค.

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ประวัติผู้ศึกษา

1. ชื่อและนามสกุล

นายพีรพงษ์ ขจิตปีติวงศ์

2. ประวัติการศึกษา

อนุปริญญาตรี สาขาช่างสำรวจ โรงเรียนวิทยาลัยเทคนิคดุสิต

3. ข้อมูลในการติดต่อ

525/7 ซอยพรสว่าง2 หมู่7 ถนนสุขุมวิท ตำบลสำโรงเหนือ แขวงสำโรงเหนือ อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรปราการ 10270

เบอร์โทร 0617016543

e-mail : handman007@hotmail.com

ประวัติผู้ศึกษา

1. ชื่อและนามสกุล

นายธนาวุฒิ อุบลสถิตย์

2. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีจาก คณะวิทยาการจัดการ สาขานิเทศศาสตร์ เอกวิทยุและโทรทัศน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

3. ข้อมูลในการติดต่อ

6 ลาดปลาเค้า76 แยก1 หมู่บ้านปิ่นทอง3 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร
10220

เบอร์โทร 082-828-5354 , 081-616-6521 e-mail : buzzten1988@gmail.com

ประวัติผู้ศึกษา

1. ชื่อและนามสกุล

นายพิชิตชัย สุริวรรณ

2. ประวัติการศึกษา

อนุปริญญาตรี สาขาช่างก่อสร้าง โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือขอนแก่น

3. ข้อมูลในการติดต่อ

19/26 หมู่บ้านกฤษณา1 ต.บางปรอก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

เบอร์โทร 081-1079721 e-mail : suriwan.chit19@gmail.com