



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ศึกษาเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ
ต่างๆ

Study and compare the advantages and disadvantages of
different reinforced concrete floor structure

นายณัฐดนัย นามมี
นางสาวปภัตสร พละมา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ศึกษาเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ
ต่างๆ

Study and compare the advantages and disadvantages of
different reinforced concrete floor structure

นายณัฐดนัย นามมี
นางสาวปภัสสร พละมา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา : ศึกษาเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ
ต่างๆ

นักศึกษา : นายณัฐดนัย นามมี และ นางสาวปภัสสร พลชะมา

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา

อาจารย์นิเทศ : ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

ผู้นิเทศงาน : ดร.อัศวิน วาณิชย์ก่อกุล

สถานประกอบการ : บริษัท ออเรคอน คอนซัลตัง (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการก่อสร้างอาคารสูงมากมายในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งก็จะมีหลากหลายระบบในการก่อสร้าง และมีการออกแบบที่หลากหลายประเภทเพื่อตอบสนองในงบประมาณที่มีจำกัด ซึ่งการออกแบบเป็นส่วนสำคัญในการช่วยประหยัดมูลค่าของวัสดุก่อสร้าง และยังส่งผลต่อระยะเวลาการก่อสร้างซึ่งหากก่อสร้างง่ายก็จะทำให้ระยะเวลาในการสร้างสั้นลงนั่นเอง และยังประหยัดค่าแรงงานอีกด้วย จึงเป็นที่มาของการศึกษาเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่างๆ

โดยได้เปรียบเทียบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่างๆทั้งหมด 3 ระบบ ได้แก่ ระบบพื้นทางเดียวด้านสั้น ระบบพื้นทางเดียวด้านยาว และระบบพื้นสองทาง รวมไปถึงคาน เสา ฐานรากที่รองรับพื้นที่ทั้ง 3 ระบบ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคอนกรีต ปริมาณไม้แบบ ปริมาณเหล็กเสริม มูลค่าการก่อสร้าง และความง่ายในการก่อสร้าง โดยได้จำลองอาคารจอดรถ 7 ชั้น มีความสูง 18.25 เมตร เพื่อพิจารณาเลือกเป็นแนวทางในการเลือกระบบโครงสร้างต่อไป

Cooperative Title: Study and compare the advantages and disadvantages of
different reinforce concrete floor structure

Student intern name: Mr. Naddanai Nammee and Miss Paphassorn Phalama

Faculty : Engineering Department : Civil Engineering

Advisor name: Asst.Prof.Dr. Arthit Petchsasithon

Mentor name: Dr. Assawin Wanitkorkul

Company: Aurecon Consulting Thailand Co., Ltd

ABSTRACT

At present, the construction of tall buildings in many areas of Bangkok. This is a versatile system in the building. There are many diverse types and designs to meet budget constraints. This design is an important part in helping to save the value of material and construction. It also affects the construction period, which will make it easier construction period shortened to build it. It also saves labor costs, too. It is a study and compare the advantages and disadvantages of different reinforce concrete floor structure

By comparing the structure of reinforced concrete floor slab system for all three systems include a single lever on the short side. During the short one-way slab span, long one-way slab span and the two-way slab to accommodate the floor beams, columns, footing 3 systems to compare the amount of wood, concrete reinforcement. Construction cost and ease of construction the model has a 7-story parking building with a height of 18.25 meters, to consider as a guide to select the next structure.

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาและค้นคว้าโครงการ สหกิจศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้รับความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือจากบริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด (Aurecon Consulting Thailand Co.,Ltd.) ที่มอบคำปรึกษา คำแนะนำและเทคนิคต่างๆ ทั้งในด้านการทำโครงการ การทำงานด้านการ ออกแบบ และ ด้านการใช้ชีวิตในการทำงานจริง และขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ จนโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณดังรายนามดังต่อไปนี้

1. ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษา
2. คุณสาคร เครือใหม่ กรรมการผู้จัดการบริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด
3. คุณสมชาย อภิพัฒน์วิศว์ Unit Manager Building Thailand บริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด
4. คุณอัศวิน วาณิชย์ก่อกุล Technical Director บริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด
5. คุณวชิราวุฒิ จันปิ่น Structural Engineer บริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด

รวมถึงอาจารย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบจากบริษัทออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด พี่เลี้ยงที่ฝึกงาน รุ่นพี่ และเพื่อนๆ

ท้ายที่สุด ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ครู อาจารย์ ที่สนับสนุนและช่วยเหลือในทุกๆด้าน ให้คำปรึกษารวมถึงให้คำแนะนำที่ดีและมีประโยชน์ตลอดมา

หากโครงการพิเศษนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ส่วนรวม ขอมอบคุณประโยชน์และคุณงามความดีทั้งหมดที่เกิดขึ้น ให้แก่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และทุกท่านที่ได้กล่าวมา

ณัฐดนัย นามมี
ปภัตสร พละมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	1
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	2
กิตติกรรมประกาศ.....	3
สารบัญ.....	4
สารบัญตาราง.....	7
สารบัญรูปภาพ.....	9
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	12
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 แนวคิด.....	15
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.2.1 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	15
2.2.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	18
2.2.3 การออกแบบคานรูปตัว T.....	24
2.2.4 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	29
2.2.5 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	34
2.2.6 กฎเกณฑ์ และมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ.....	43
2.2.7 Analysis Software.....	43
2.2.8 Loading Requirement.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 คุณสมบัติอาคารเบื้องต้นสำหรับใช้คำนวณน้ำหนักอาคาร.....	45
3.1.1 ลักษณะอาคาร.....	45
3.1.2 รายละเอียดสำหรับอาคาร.....	47
3.2 คำนวณน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ.....	52
3.2.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load).....	52
3.2.2 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load).....	53

3.2.3 น้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มเติม (Superimposed Dead Load).....	54
3.3 วิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อเปรียบเทียบ.....	54
3.3.1 โปรแกรม RAPT6.5.....	54
3.3.2 การคำนวณโดยวิธีกำลัง.....	54
3.3.3 การคำนวณโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.....	55
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	61
4.1 ออกแบบระบบพื้น.....	62
4.1.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	62
4.1.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	69
4.1.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	70
4.2 ออกแบบระบบคาน.....	73
4.2.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	73
4.2.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	76
4.2.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	79
4.3 ออกแบบเสา.....	85
4.3.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	85
4.3.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	88
4.3.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	91
4.4 ออกแบบฐานราก.....	94
4.4.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	100
4.4.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	100
4.4.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	101
4.5 หาปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ.....	102
4.5.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	102
4.5.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	103
4.5.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	104
4.5.4 Option 4 พื้นไร้คาน (Post Tension slab).....	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	106
5.1 เปรียบเทียบปริมาณวัสดุ.....	106
5.2 สรุปผลวิเคราะห์ที่ได้.....	108
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	110
เอกสารอ้างอิง.....	112
ภาคผนวก.....	113

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
ตารางที่ 2.1 ชั้นคุณภาพและกำลังเหล็กเสริมมาตรฐานที่ใช้ในไทย.....	17
ตารางที่ 2.2 ขนาดเหล็กเสริมมาตรฐานที่ใช้ในไทย.....	18
ตารางที่ 2.3 ความหนาต่ำสุดของพื้นทางเดียว.....	19
ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนเหล็กเสริมต้านการหดตัวน้อยที่สุดในแผ่นพื้น.....	20
ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (C).....	23
ตารางที่ 2.6 ความลึกน้อยที่สุดของคานตามมาตรฐาน ACI.....	38
ตารางที่ 2.7 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอนที่คำนวณได้.....	39
ตารางที่ 2.8 ระยะแอนตัวมากที่สุดที่คานรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบต่างๆ.....	42
ตารางที่ 2.9 ค่าตัวแปร ξ ที่ช่วงเวลาการรับน้ำหนักคงค้างต่างๆ.....	43
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานการออกแบบ.....	45
ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดและเหล็กเสริมของฐานราก Option 1.....	51
ตารางที่ 3.2 แสดงขนาดและเหล็กเสริมของฐานราก Option 2.....	51
ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดและเหล็กเสริมของฐานราก Option 3.....	52
ตารางที่ 3.4 หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับประเภทและส่วนอาคารต่างๆ ของอาคาร.....	53
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	61
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลฐานราก Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)....	100
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลฐานราก Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)....	101
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลฐานราก Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	101
ตารางที่ 4.4 ปริมาณวัสดุ Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	102
ตารางที่ 4.5 ปริมาณวัสดุ Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	103
ตารางที่ 4.6 ปริมาณวัสดุ Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	104
ตารางที่ 4.7 ปริมาณวัสดุ Option 4 พื้นไร้คาน (Post Tension slab).....	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	107
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบปริมาณวัสดุทั้ง 4 Options.....	107
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าวัสดุของทั้ง 4 Options.....	109
ภาคผนวก.....	112

ตารางที่ 1 พื้นที่เหล็กเสริมตามจำนวนเส้น.....	114
ตารางที่ 2 พื้นที่เหล็กเสริมต่อความยาวหนึ่งเมตร.....	114
ตารางที่ 3 ปริมาณเหล็กเสริมและค่าสัมประสิทธิ์ต้านแรงดัด.....	115
ตารางที่ 4 ระยะหุ้มคอนกรีตสำหรับเหล็กเสริม.....	116
ตารางที่ 5 ค่าโมเมนต์และค่าแรงเฉือนโดยประมาณในคานต่อเนื่อง.....	117
ตารางที่ 6 การประมาณโมเมนต์ในแผ่นพื้นสองทางโดยสัมประสิทธิ์โมเมนต์.....	118
ตารางที่ 7 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอนที่คำนวณได้.....	119

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
รูปที่ 2.1 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดและกำลังดึงคอนกรีต.....	16
รูปที่ 2.2 เหล็กข้ออ้อย.....	17
รูปที่ 2.3 One-way slab และการเสียรูปทรงจากการรับน้ำหนักแผ่นคังที่.....	18
รูปที่ 2.4 การพิจารณาพื้นเสมือนคานกว้างหนึ่งเมตร.....	19
รูปที่ 2.5 Two-way slab และขอบรองรับช่วงเดียว.....	20
รูปที่ 2.6 ความลึกประสิทธิผลสำหรับเหล็กทางด้านสั้นและด้าน.....	21
รูปที่ 2.7 การแบ่งแถบกลางและแถบเสาในพื้นที่สองทาง.....	22
รูปที่ 2.8 การถ่ายน้ำหนักพื้นลงคานด้านสั้น และด้านยาว.....	24
รูปที่ 2.9 คานหน้าตัดรูปตัว T ในระบบพื้นทางเดียว.....	24
รูปที่ 2.10 รูปหน้าตัดคานที่มีความสามารถในการรับแรงดัดเท่ากัน.....	24
รูปที่ 2.11 หน้าตัดตัว T ภายใต้แรงดัด.....	25
รูปที่ 2.12 คานรูปตัว T ที่เกิดจากการหล่อคานและพื้นเป็นเนื้อเดียวกัน.....	25
รูปที่ 2.13 กำลังของหน้าตัดตัว T ภายใต้การดัด.....	27
รูปที่ 2.14 คานต่อเนื่องรูปตัว T.....	28
รูปที่ 2.15 หน้าตัดรับโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบ.....	28
รูปที่ 2.16 การหยุดเหล็กมาตรฐานสำหรับคานช่วงใกล้เคียงกันและรับน้ำหนักแผ่นสม่ำเสมอ.....	29
รูปที่ 2.17 การแบ่งพื้นที่รับน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 2.18 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกสะสมจากเสาชั้นบนลงล่าง.....	31
รูปที่ 2.19 ชนิดของเสา.....	31
รูปที่ 2.20 กำลังของเสาสั้นรับแรงตามแนวแกน.....	33
รูปที่ 2.21 การถ่ายน้ำหนักบนรากลงสู่พื้นดิน.....	34
รูปที่ 2.22 ฐานรากเสาเข็ม.....	34
รูปที่ 2.23 แรงในฐานรากเสาเข็ม.....	35
รูปที่ 2.24 รูปแบบการจัดวางเสาเข็ม.....	36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานการออกแบบ.....	45
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างสามมิติอาคารจอดรถ 7 ชั้น.....	45
รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างสามมิติอาคารจอดรถ 7 ชั้น.....	45
รูปที่ 3.3 แสดงผังอาคารจอดรถ ชั้น1-ชั้น7.....	46
รูปที่ 3.4 แสดงผังอาคารจอดรถ ชั้น1-ชั้น7.....	46

รูปที่ 3.5 แสดงผังอาคารจอดรถ Option 1.....	47
รูปที่ 3.6 แสดงผังอาคารจอดรถ Option 2.....	47
รูปที่ 3.7 แสดงผังอาคารจอดรถ Option 3.....	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	61
รูปที่ 4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	62
รูปที่ 4.2 การกำหนดความยาว Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	63
รูปที่ 4.3 การกำหนดเสา Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	64
รูปที่ 4.4 การกำหนดน้ำหนักบรรทุก Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)..	65
รูปที่ 4.5 การกำหนดเหล็กเสริม Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	66
รูปที่ 4.6 หน้าที่ด Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	67
รูปที่ 4.7 การแอนตัวของ Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	68
รูปที่ 4.8 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	69
รูปที่ 4.9 การแอนตัวของ Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	69
รูปที่ 4.10 การออกแบบ Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	72
รูปที่ 4.11 คาน B1 Option 1.....	73
รูปที่ 4.12 คาน B2 Option 1.....	73
รูปที่ 4.13 คาน B3 Option 1.....	74
รูปที่ 4.14 คาน B4 Option 1.....	74
รูปที่ 4.15 คาน B5 Option 1.....	75
รูปที่ 4.16 คาน B6 Option 1.....	75
รูปที่ 4.17 คาน B7 Option 1.....	76
รูปที่ 4.18 คาน B1 Option 2.....	76
รูปที่ 4.19 คาน B2 Option 2.....	77
รูปที่ 4.20 คาน B3 Option 2.....	77
รูปที่ 4.21 คาน B4 Option 2.....	78
รูปที่ 4.22 คาน B5 Option 2.....	78
รูปที่ 4.23 คาน B1 Option 3.....	79
รูปที่ 4.24 คาน B2 Option 3.....	79
รูปที่ 4.25 คาน B3 Option 3.....	80
รูปที่ 4.26 คาน B4 Option 3.....	80
รูปที่ 4.27 คาน B5 Option 3.....	81
รูปที่ 4.28 คาน B6 Option 3.....	81
รูปที่ 4.29 คาน B7 Option 3.....	82

รูปที่ 4.30 คาน B8 Option 3.....	82
รูปที่ 4.31 คาน B9 Option 3.....	83
รูปที่ 4.32 คาน B10 Option 3.....	83
รูปที่ 4.33 คาน B11 Option 3.....	84
รูปที่ 4.34 คาน B12 Option 3.....	84
รูปที่ 4.35 ตำแหน่งเสา Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	85
รูปที่ 4.36 เสา C1 (L1-L6) Option 1.....	85
รูปที่ 4.37 เสา C2 (L1-L3) Option 1.....	86
รูปที่ 4.38 เสา C3 (L1-L3) Option 1.....	86
รูปที่ 4.39 เสา C4 (L1-L3) Option 1.....	87
รูปที่ 4.40 เสา C5 (L1-L3) Option 1.....	87
รูปที่ 4.41 ตำแหน่งฐานเสา Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	88
รูปที่ 4.42 เสา C1 (L1-L3) Option 2.....	88
รูปที่ 4.43 เสา C2 (L1-L3) Option 2.....	89
รูปที่ 4.44 เสา C3 (L1-L3) Option 2.....	89
รูปที่ 4.45 เสา C4 (L1-L3) Option 2.....	89
รูปที่ 4.46 เสา C5 (L4-L6) Option 2.....	90
รูปที่ 4.47 เสา C6 (L4-L6) Option 2.....	90
รูปที่ 4.48 เสา C7 (L4-L6) Option 2.....	90
รูปที่ 4.49 เสา C8 (L4-L6) Option 2.....	91
รูปที่ 4.50 เสา C9 (L4-L6) Option 2.....	91
รูปที่ 4.51 ตำแหน่งฐานเสา Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	92
รูปที่ 4.52 เสา C1(L1-L6) Option 3.....	92
รูปที่ 4.53 เสา C2(L1-L6) Option 3.....	93
รูปที่ 4.54 เสา C3(L1-L6) Option 3.....	93
รูปที่ 4.55 เสา C4(L1-L6) Option 3.....	93
รูปที่ 4.56 เสา C5(L1-L6) Option 3.....	94
รูปที่ 4.57 ฐานราก F1.....	95
รูปที่ 4.58 ฐานราก F2.....	96
รูปที่ 4.59 ฐานราก F3.....	97
รูปที่ 4.60 ฐานราก F4.....	98
รูปที่ 4.61 ฐานราก F5.....	99
รูปที่ 4.62 ฐานราก F6.....	100

รูปที่ 4.63 ตำแหน่งฐานราก Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span).....	101
รูปที่ 4.64 ตำแหน่งฐานราก Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span).....	101
รูปที่ 4.65 ตำแหน่งฐานราก Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab).....	102
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	107
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบวัสดุต่างๆ.....	108

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากโครงการ อาคารจอดรถ 7 ชั้น ที่ห้างสรรพสินค้าเมกะบางนา กรุงเทพมหานคร โดยบริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด ได้รับมอบหมายให้ออกแบบโครงสร้างของอาคาร โดยออกแบบเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforcement Concrete) ซึ่งการออกแบบนี้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 แบบ โดยแบ่งเป็นระบบพื้นทางเดียว (One Way Slab) ที่ถ่ายแรงต่างทิศทางกัน 2 ทิศทาง และ ระบบพื้นสองทาง (Two Way Slab) ในระบบพื้นที่แตกต่างกันก็จะส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างในส่วนอื่นๆของอาคารด้วย จากนั้นเป็นการเปรียบเทียบในส่วนของปริมาณวัสดุก่อสร้าง มูลค่าการก่อสร้าง กับส่วนของบริษัทออกแบบขึ้นเป็นระบบพื้นไร้คาน แบบ Post-Tension จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณวัสดุก่อสร้าง มูลค่าวัสดุการก่อสร้างที่จะนำไปสู่การเลือกใช้ว่าควรใช้ตัวเลือกใดในการก่อสร้างที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้าง ของโครงการอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforce concrete) แบบต่างๆ จะมีการออกแบบโดยใช้โครงการอาคารจอดรถ 7 ชั้น โดยแบ่งออกเป็นแบบโครงสร้างระบบพื้นทางเดียว (One Way Slab) โดยมีการวางแผนพื้นที่แบ่งเป็น 2 ทิศทางคือ พื้นทางเดียวด้านสั้น (Short One way slab span) พื้นทางเดียวด้านยาว (Long One way slab span) และระบบพื้นสองทาง (Two Way Slab) รวมแล้วจะได้ระบบพื้น 3 แบบ รวมไปถึงการออกแบบคาน ออกแบบเสา และฐานราก ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

ตามระบบพื้นที่ออกแบบ โดยที่การออกแบบทั้งหมดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ตามหลักทฤษฎี และความคุ้มค่า ซึ่งในการออกแบบทั้งหมดก็จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแบบที่ 1 2 และ 3 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณวัสดุ เช่น คอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ ระยะเวลาการทำงาน และมูลค่าวัสดุการก่อสร้าง ว่าผลลัพธ์ที่ได้ทั้ง 3 แบบ แบบใดประหยัดและคุ้มค่าต่อการก่อสร้าง และเป็นแนวทางในการก่อสร้างโครงการที่มีคล้ายคลึงกันต่อไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ส่วนที่ 1 ศึกษาและทบทวนการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ทบทวน และทำความเข้าใจ เกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforcement Concrete) โดยก่อนที่จะทำการออกแบบ ต้องมีการทบทวนความรู้ที่ใช้ในการออกแบบ
2. ศึกษาทำความเข้าใจการใช้โปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบ

ส่วนที่ 2 ออกแบบโครงสร้าง

1. ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้โปรแกรมเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ
2. เปรียบเทียบโครงสร้างทั้ง 3 แบบ และสรุปผลลัพธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของโครงสร้างพื้น Reinforce concrete แบบต่างๆ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ความแตกต่างของการใช้วัสดุการก่อสร้างที่เกิดจากการออกแบบที่แตกต่างกันของระบบพื้นคาน เสา และฐานราก รวมไปถึงความแตกต่างของการทำงาน ระยะเวลา และมูลค่าวัสดุของงานที่จะแสดงให้เห็นว่าแบบใดมีความคุ้มค่ากว่ากัน
2. จากการศึกษาในครั้งนี้จะต้องมีการใช้โปรแกรมหรือ ซอฟต์แวร์ ช่วยในการวิเคราะห์และคำนวณต่างๆ ซึ่งที่ผ่านมา ในขณะที่กำลังศึกษาอยู่ ณ สถาบันศึกษายังไม่เคยใช้มาก่อน จึงทำให้ได้เรียนรู้การใช้ซอฟต์แวร์ใหม่ๆ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบ เช่น RAPT6.5 ETAB2016 ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นการเปิดประสบการณ์ในการฝึกใช้โปรแกรมเพื่อเป็นพื้นฐานในการออกไปปฏิบัติงานในอนาคต

3. เพื่อเป็นการสั่งสมประสบการณ์และเพิ่มทักษะในการออกแบบจากที่เคยเรียนมาในวิชาการ ออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก(Reinforce Concrete Design) วิชาวิเคราะห์โครงสร้าง (Structural Analysis) วิชาวิศวกรรมฐานราก (Foundation Engineering)
4. เข้าใจในสภาพการปฏิบัติงานจริงในสถานประกอบการ ที่ต่างจากการศึกษาในสถาบัน เข้าใจสภาพการทำงานของวิศวกรฝ่ายออกแบบ และเพื่อเตรียมพร้อมในการออกไปประกอบอาชีพ วิศวกรในอนาคตได้อย่างมีคุณภาพ

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด

จากโครงการ อาคารจอดรถ 7 ชั้น ที่ห้างสรรพสินค้าเมกะบางนา กรุงเทพมหานคร โดยบริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด ได้รับมอบหมายให้ออกแบบโครงสร้างของอาคารเพื่อทำแบบก่อสร้างต่อไป ซึ่งการออกแบบในโครงการนี้ จะเปรียบเทียบในส่วนของ การออกแบบพื้นลานจอดรถเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและรวมถึงส่วนโครงสร้างอื่นๆของอาคาร ซึ่งแบ่งการออกแบบเป็นพื้น one way slab และ two way slab เพื่อเปรียบเทียบปริมาณวัสดุก่อสร้าง มูลค่าวัสดุก่อสร้าง จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบต่อไป

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Design)

คอนกรีต

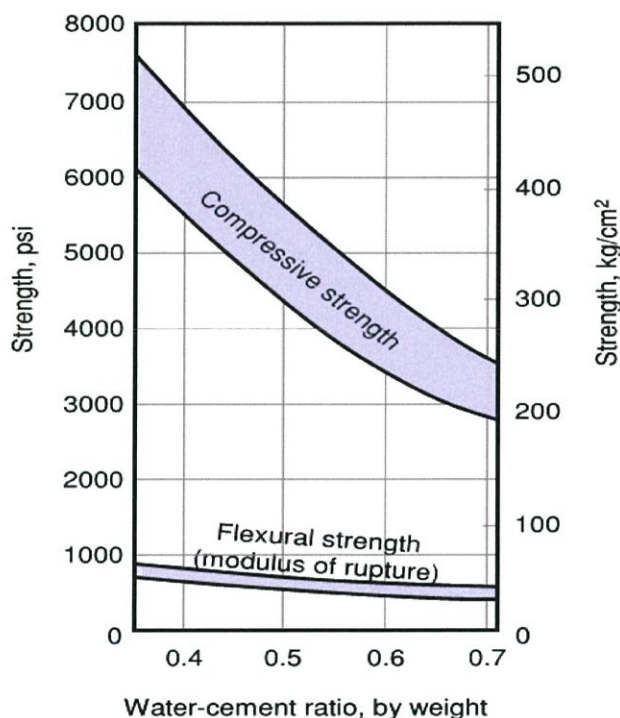
การออกแบบโครงสร้างประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ (1) พิจารณาแรงต่างๆที่มากระทำต่อโครงสร้างโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างที่เหมาะสม (2) ออกแบบองค์อาคารทั้งหมดโดยคำนึงถึงเสถียรภาพ ความปลอดภัย ความสามารถในการใช้งาน และความประหยัดของโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุโครงสร้างที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ส่วนประกอบหลักคือคอนกรีตและเหล็กเสริมทำงานร่วมกันเพื่อดำเนินงานน้ำหนักบรรทุกรูปแบบต่างๆ

กำลังรับคอนกรีต

เป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องควบคุม ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ตั้งแต่คุณภาพของวัสดุที่มาผสมได้แก่ ซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่นๆตามสัดส่วน การลำเลียง การเท ไปจนถึงการบ่มคอนกรีต

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อกำลังคอนกรีต ปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับปฏิกิริยา

ไฮดรชันกับซีเมนต์ คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 (โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณ 0.35 หรือสูงกว่าจะช่วยให้คอนกรีตมีความชื้นเพียงพอที่จะเทลงแบบได้โดยไม่ต้องใช้สารผสมเพิ่ม แต่ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คอนกรีตตกลงดงรูป



รูปที่ 2.1 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดและกำลังดึงคอนกรีต

เหล็กเสริม

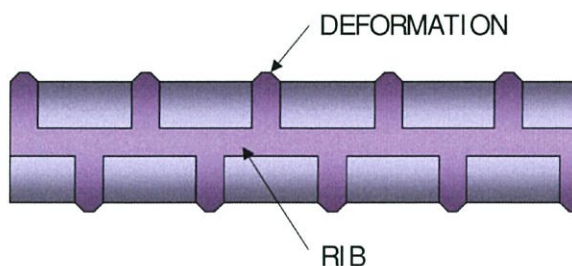
เหล็กเสริมที่ใช้ในคอนกรีตเสริมเหล็กมักมีลักษณะเป็นเส้น วางอยู่ในคอนกรีตตรงบริเวณที่รับแรงดึงในปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีต เหล็กเสริมคอนกรีตที่ใช้โดยทั่วไปมีทั้งแบบเหล็กกลมผิวเรียบ (Round Bar) และเหล็กข้ออ้อย (Deform Bar) ลวดเหล็ก (Wire) และตะแกรงเหล็ก (Welded wire fabric) เหล็กเสริมทุกชนิดตามมาตรฐาน ASTM , JIS, BS หรือ มอก. คุณสมบัติของเหล็กเสริมได้แก่

1. โมดูลัสยืดหยุ่น (Young's modulus, E_s)
2. กำลังคราก (Yield strength, f_y)
3. กำลังประลัย (Ultimate strength, f_u)

4.ชั้นคุณภาพเหล็ก (Steel grade designation)

5.ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม

เหล็กข้ออ้อยทำขึ้นเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็ก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A616-76



รูปที่ 2.2 เหล็กข้ออ้อย

ชั้นคุณภาพหรือเกรดของเหล็กนั้น เหล็กกลมผิวเรียบ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ถึง 25 มิลลิเมตร ผลิตตาม มอก. 20-2543 ในชั้นคุณภาพ SR24 คือมีกำลังคราก 2,400 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ถ้าเป็นเหล็กข้ออ้อยจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ถึง 40 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ SD30 SD40 และ SD50 ซึ่งมีกำลังคราก 3,000 4,000 และ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ชั้นคุณภาพและกำลังเหล็กเสริมมาตรฐานที่ใช้ในไทย

ชั้นคุณภาพ	กำลังคราก f_y (กก./ซม. ²)	กำลังประลัย f_u (กก./ซม. ²)
SR24	2,400	3,900
SD30	3,000	4,900
SD40	4,000	5,700
SD50	5,000	5,700

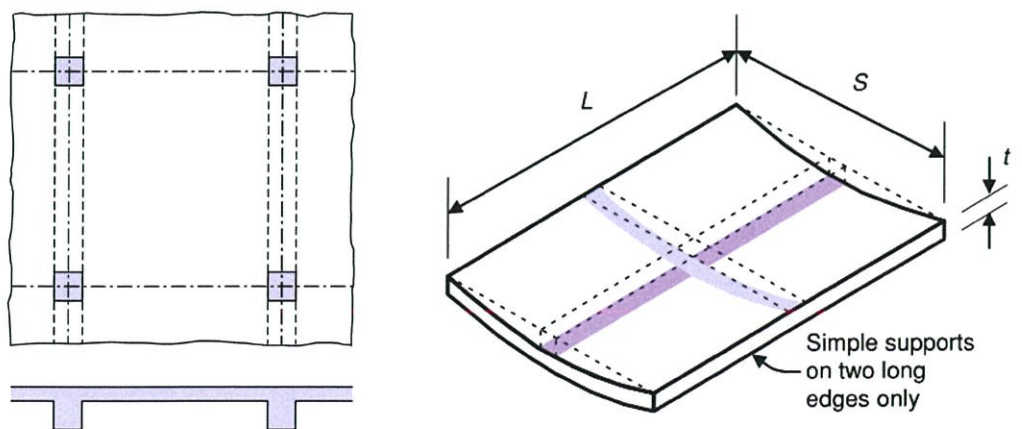
ตารางที่ 2.2 ขนาดเหล็กเสริมมาตรฐานที่ใช้ในไทย

ขนาดเหล็ก (ม.ม.)	พื้นที่ (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก/ม.)
RB6	0.28	0.222
RB9	0.64	0.499
DB12	1.13	0.888
DB16	2.01	1.578
DB20	3.14	2.466
DB25	4.91	3.853
DB28	6.15	4.834
DB32	8.04	6.313

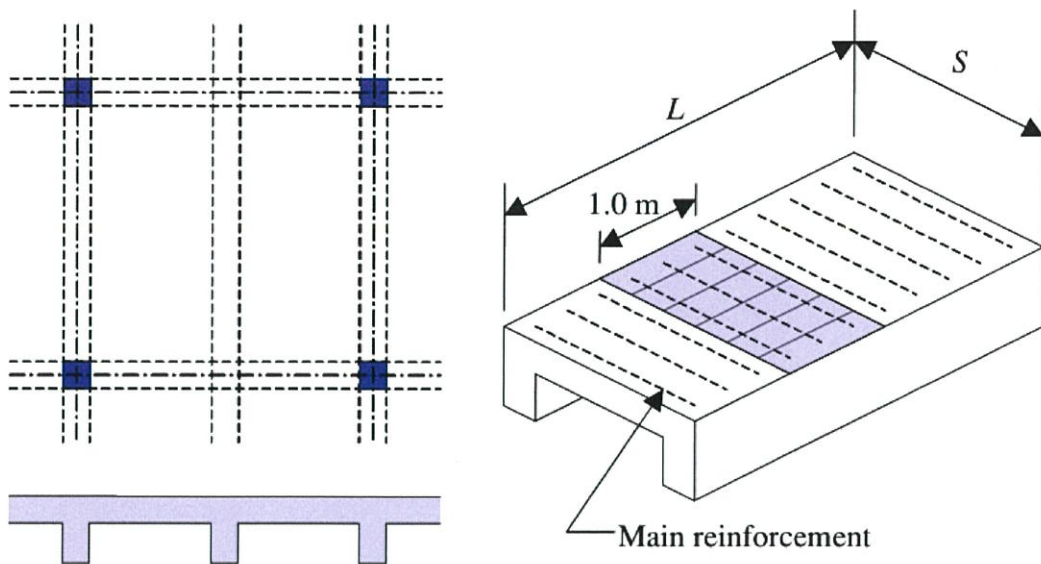
2.2.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กคือ พื้นผิวราบเรียบเพื่อใช้รองรับน้ำหนักใช้สอยอาคาร พื้นอาจถูกรองรับโดยคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (ซึ่งมักหล่อเป็นเนื้อเดียวกัน) เสา หรือโดยพื้นดิน

พื้นทางเดียว (One-way) คือ พื้นที่มีด้านยาวมากกว่าสองเท่าของด้านกว้าง พฤติกรรมของพื้นทางเดียวอาจถูกอธิบายได้โดยใช้การเสียรูปทรงจากน้ำหนักบรรทุกทุกตั้งรูป ความโค้งและโมเมนต์ดัดจะมีค่าเท่ากันในทุกแถบความกว้างของช่วงสั้นระหว่างขอบที่ถูกรองรับ ในขณะที่ไม่มีความโค้งและโมเมนต์ดัดแถบในด้านยาวเลย ผิวที่เสียไปจึงมีลักษณะเป็นทรงกระบอก



รูปที่ 2.3 One-way slab และการเสียรูปทรงจากการรับน้ำหนักแผ่คงที่



รูปที่ 2.4 การพิจารณาพื้นเสมือนคานกว้างหนึ่งเมตร

ความหนาของพื้นทางเดียวตามมาตรฐาน ACI

ตารางที่ 2.3 ความหนาต่ำสุดของพื้นทางเดียว

ความหนา	ลักษณะจุดรองรับ
$L/20$	พื้นช่วงเดียว
$L/24$	ปลายต่อเนื่องข้างเดียว
$L/28$	ปลายต่อเนื่องสองข้าง
$L/10$	ปลายยื่น

*L คือความยาวของช่วงพื้น สำหรับเหล็กเสริม SD40 ซึ่งมี $f_y = 4,000$ กก./ชม.²

*สำหรับเหล็กเสริมชนิดอื่นให้คูณค่าในตารางด้วย $0.4 + f_y / 7,000$ กก./ชม.²

เหล็กเสริมป้องกันการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

คอนกรีตจะเกิดการหดตัวเมื่อซีเมนต์เพลสแข็งตัว ทำให้หน่วยแรงดึงจากการหดตัว

(Shrinkage stress) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอนกรีตในโครงสร้างที่อยู่กลางแจ้งใน

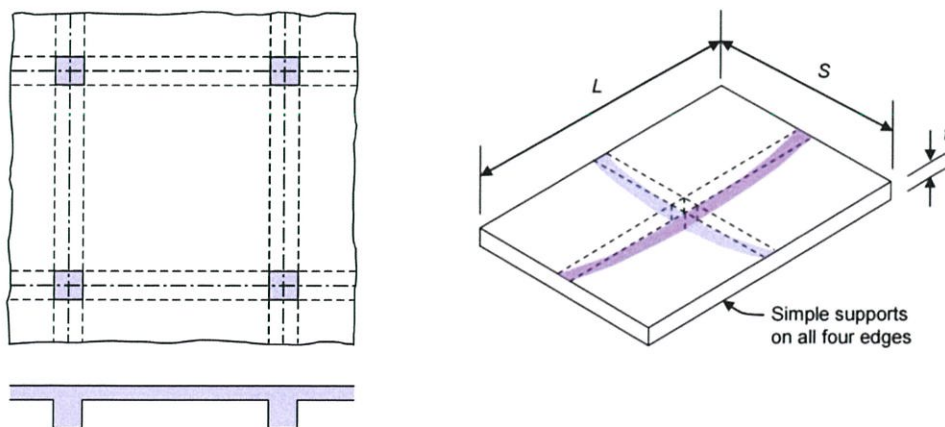
ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนที่ต่างกันมาก ก็อาจทำให้เกิดผลกระทบในลักษณะเดียวกัน ซึ่งป้องกันได้โดยการเสริมเหล็กต้านทานการแตกร้าว

ดังนั้นจึงต้องมีการเสริมเหล็กกันร้าวในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางเหล็กเสริมหลัก ตามมาตรฐาน ACI ได้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดในพื้นที่อัตราส่วนพื้นที่เหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตทั้งหมด โดยที่ระยะห่างเหล็กเสริมต้องไม่เกิน 3 เท่า ของความหนาพื้นหรือ 45 เซนติเมตร และอัตราส่วนเหล็กเสริมต้องไม่เกิน 0.0014

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวน้อยที่สุดในแผ่นพื้น

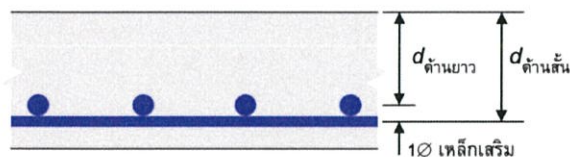
แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กเส้นกลมชั้นคุณภาพ SR24	0.0025
แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD30	0.002
แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40	0.0018
แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กเสริมที่กำลังครากเกิน 4,000 กก./ชม. ² โดยวัดที่หน่วยความเครียด 0.35%	$\frac{0.0018 \times 4,000}{f_y}$

พื้นสองทาง (Two-way) เมื่ออัตราส่วนด้านยาว L ต่อด้านสั้น S น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 การแอนของพื้นจะมีทั้งสองแกนเป็นรูปจาน น้ำหนักจะถ่ายเทไปยังคานทั้งสองที่ล้อมรอบพื้น



รูปที่ 2.5 Two-way slab และขอบรองรับช่วงเดียว

เพื่อควบคุมการแอ่นตัวในพื้นสองทางไม่ให้มีค่ามากเกินไป ความหนาของพื้นต้องไม่น้อยกว่า 1/180 ของเส้นรอบรูปหรือ 10 เซนติเมตร เหล็กเสริมด้านสั้นซึ่งรับโมเมนต์มากกว่าจะวางด้านล่าง ส่วนด้านยาววางอยู่บนทำให้มีความลึกประสิทธิผล d ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.6 ความลึกประสิทธิผลสำหรับเหล็กทางด้านสั้นและด้าน

การวิเคราะห์โดยวิธีสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์

ตามมาตรฐาน ACI แผ่นพื้นสองทางทุกแบบทั้งที่มีคานขอบและพื้นไร้คาน จะถูกวิเคราะห์โดยวิธีเดียวกันซึ่งจะกล่าวถึงในตอนต่อไปเรียกว่า *วิธีการออกแบบโดยตรง* อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีโดยตรงนั้นมีความซับซ้อนมาก ทำให้วิศวกรหลายคนยังคงใช้วิธีการออกแบบตามวิธีที่ 2 ของมาตรฐาน ACI ปี 1963 ซึ่งมีความง่ายและสะดวกในการใช้งานสำหรับพื้นที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในพื้นสองทางจะได้รับการพิจารณาแบ่งพื้นที่กว่า S ยาว L ออกเป็น *แถบกลาง* มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น และ *แถบเสา* ทั้งสองข้างมีความกว้างข้างละหนึ่งของช่วงพื้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 จากนั้นจะอ่านค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์จากตารางสำหรับสภาวะการรับต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ได้มาจากการวิเคราะห์แบบอิลาสติกซึ่งคำนึงผลของการกระจายซ้ำแบบอิลาสติกด้วย ค่าโมเมนต์ในแถบกลางของทั้งสองทิศทางจะคำนวณได้จาก

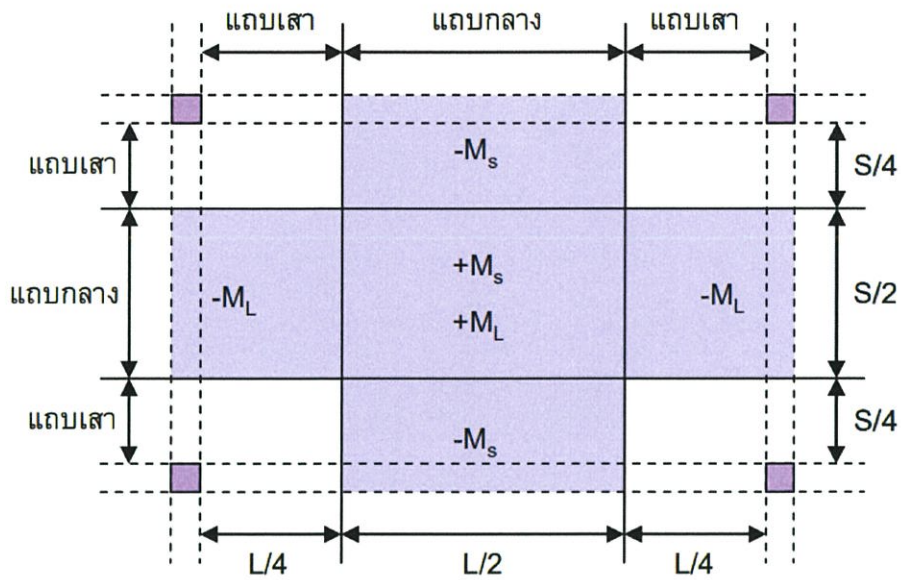
$$M = CwS^2$$

เมื่อ C = ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่อ่านได้จากตาราง

w = น้ำหนักบรรทุกรวมแผ่สม่ำเสมอ (กก./ม.²)

S = ช่วงความยาวด้านสั้น (เมตร)

โมเมนต์ดัดในแถบเสาจะมีค่าเท่ากับสองในสามของโมเมนต์ในแผ่นพื้น แต่ในการคำนวณมักคิดเพียงแถบกลางแล้วเสริมเหล็กในแถบเสาให้เหมือนกับแถบกลาง



รูปที่ 2.7 การแบ่งแถบกลางและแถบเสาในพื้นที่สองทาง

แรงเฉือน: ในแผ่นพื้น คำนวณได้โดยสมมุติว่าน้ำหนักบนแผ่นพื้นถูกแบ่งลงคานรองรับ โดยเส้นตรงที่ลากทำมุม 45 องศาออกจากมุมทั้งสี่ดังในรูปที่ 2.8

$$\text{แรงเฉือนเฉลี่ยที่กระทำบนด้านสั้น} = \frac{wS}{4} \quad \text{กก./ม.}$$

$$\text{แรงเฉือนเฉลี่ยที่กระทำบนด้านยาว} = \frac{wS}{4} \left(\frac{2-m}{m} \right) \quad \text{กก./ม.}$$

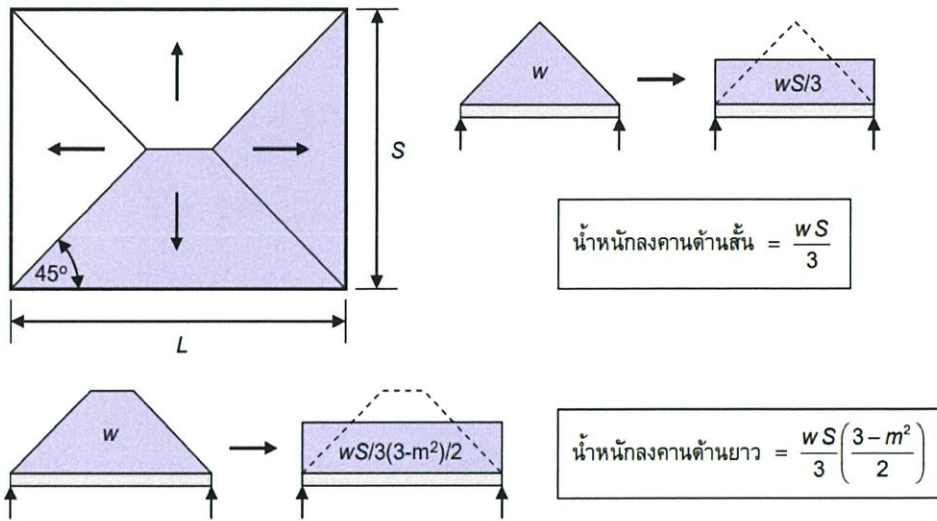
น้ำหนักแผ่ลงคานรองรับ: จะพิจารณาเช่นเดียวกับแรงเฉือน โดยน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอคานจะเท่ากับ

$$\text{น้ำหนักแผ่บนคานด้านสั้น} = \frac{wS}{3} \quad \text{กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักแผ่บนคานด้านยาว} = \frac{wS}{3} \left(\frac{3-m^2}{2} \right) \quad \text{กก./ม.}$$

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (C)

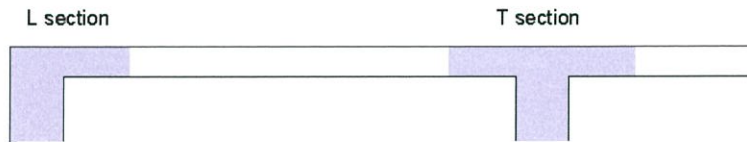
โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว
	อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว $m = SIL$						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	
พื้นภายใน							
โมเมนต์กลับ - ด้านต่อเนื่อง	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
- ด้านไม่ต่อเนื่อง	-	-	-	-	-	-	-
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
พื้นไม่ต่อเนื่องด้านเดียว							
โมเมนต์กลับ - ด้านต่อเนื่อง	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
- ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
พื้นไม่ต่อเนื่องสองด้าน							
โมเมนต์กลับ - ด้านต่อเนื่อง	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
- ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
พื้นไม่ต่อเนื่องสามด้าน							
โมเมนต์กลับ - ด้านต่อเนื่อง	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
- ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
พื้นไม่ต่อเนื่องสี่ด้าน							
โมเมนต์กลับ - ด้านต่อเนื่อง	-	-	-	-	-	-	-
- ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050



รูปที่ 2.8 การถ่ายน้ำหนักพื้นลงคานด้านสั้น และด้านยาว

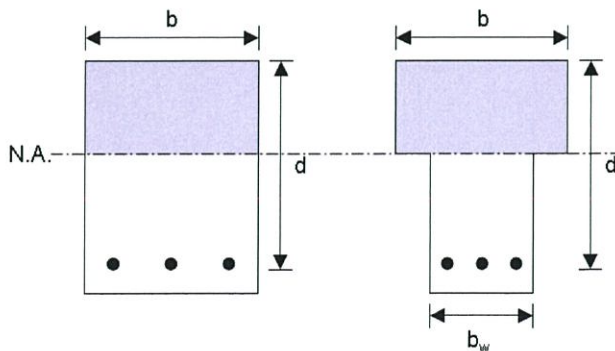
2.2.3 การออกแบบคานรูปตัว T

คานที่ถูกหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับพื้นคอนกรีตข้างคาน ภายใต้การตัดบางส่วน of พื้นจะช่วยคานรับหน่วยแรงอัด ดังนั้นในการออกแบบเราจึงอาจนำพื้นคอนกรีตส่วนที่ช่วยคานรับน้ำหนักมาคิดรวมด้วยเพื่อความประหยัด หน้าตัดคานภายในจะกลายเป็นรูปตัว T และคานขอบจะเป็นรูปตัว L



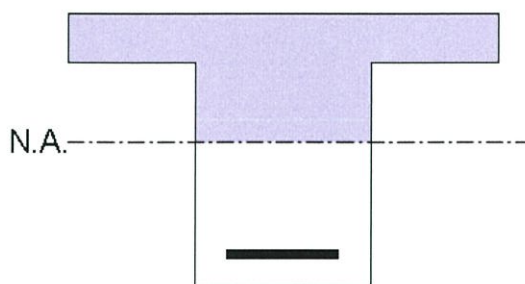
รูปที่ 2.9 คานหน้าตัดรูปตัว T ในระบบพื้นทางเดียว

เมื่อเปรียบเทียบคานรูปสี่เหลี่ยมธรรมดาจะพบว่า ถ้าพื้นที่รับแรงอัดและแกนสะเทินอยู่ที่เดียวกันแล้วความสามารถในการรับแรงอัดจะเท่ากัน ดังนั้นในการออกแบบจึงสามารถพิจารณาแบบคานสี่เหลี่ยมได้



รูปที่ 2.10 รูปหน้าตัดคานที่มีความสามารถในการรับแรงอัดเท่ากัน

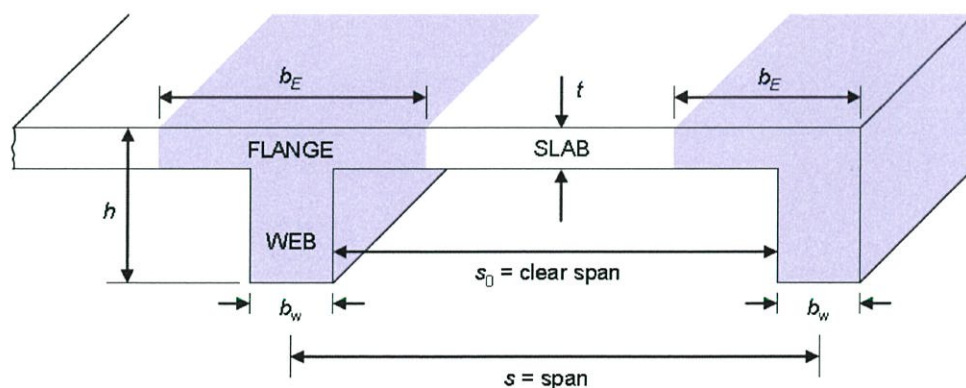
เมื่อแกนสะเทินอยู่ต่ำกว่าปีกคาน พื้นที่คอนกรีตรับแรงอัดเป็นรูปตัว T ทำให้มีวิธีการคำนวณกำลังรับแรงดัดของหน้าตัดแตกต่างไปจากหน้าตัดสี่เหลี่ยมธรรมดา



รูปที่ 2.11 หน้าตัดตัว T ภายใต้แรงดัด

ความกว้างประสิทธิผลของปีกคาน

คานซึ่งมีปีกคานกว้างมากในกรณีที่หล่อคานและพื้นเป็นเนื้อเดียวกัน หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในปีกคาน (Flange) นั้นเป็นผลจากแรงคู่ควบกับแรงดัดในเหล็กเสริมในเอวคาน (Web) ดังนั้นหน่วยแรงอัดในปีกคาน ณ จุดที่ห่างจากเอวคานจึงลดลงดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 คานรูปตัว T ที่เกิดจากการหล่อคานและพื้นเป็นเนื้อเดียวกัน

ACI ได้กำหนดความกว้างประสิทธิผลของปีกคานขึ้นกับระยะต่างๆตามในรูปที่ 2.12

และ L คือระยะช่วงความยาวคานสำหรับคานรูปตัว T แบบต่างๆดังต่อไปนี้

สำหรับคานรูปตัว T ภายในซึ่งคานและพื้นหล่อเป็นเนื้อเดียวกัน

- 1) $b_E \leq L/4$: ปีกคานต้องกว้างไม่เกินหนึ่งในสี่ช่วงความยาวคาน
- 2) $b_E \leq b_w + 16t$: ส่วนของพื้นที่นำมาใช้เป็นปีกคานได้ไม่เกินแปดเท่าความหนาพื้น

3) $b_E \leq S_0$: ความกว้างปีกคานต้องไม่เกินระยะห่างระหว่างคาน

สำหรับคานรูปตัว L หรือหน้าตัดตัว T ของคานขอบ

- 1) $b_E \leq b_w + L/12$
- 2) $b_E \leq b_w + 6t$
- 3) $b_E \leq b_w + S_0 / 2$

สำหรับคานรูปตัว T เดี่ยว

- 1) $b_E \leq 4b_w$
- 2) $t \leq b_w / 2$

กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของคานรูปตัว T

ในการคำนวณกำลังรับแรงอัดของคานรูปตัว T ตำแหน่งของแกนสะเทินมีผลต่อพื้นที่รับแรงอัดของหน้าตัดว่าจะเป็นรูปตัว T หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าธรรมดา เนื่องจากการกระจายหน่วยแรงแบบ Whitney สามารถใช้ได้กับหน้าตัดที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นการคำนวณกำลังรับแรงดัดจึงแบ่งได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 : $a \leq t$ (รูปที่ 2.13ก) การคำนวณจะเหมือนกับคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง b_E ความลึก d

จากสมดุลของแรง $C=T$ จะได้ $0.85f'_c b_E a = A_s f_y$

พื้นที่เหล็กรับแรงดัดต้องไม่เกิน $A_s = \frac{0.85f'_c b_E t}{f_y}$

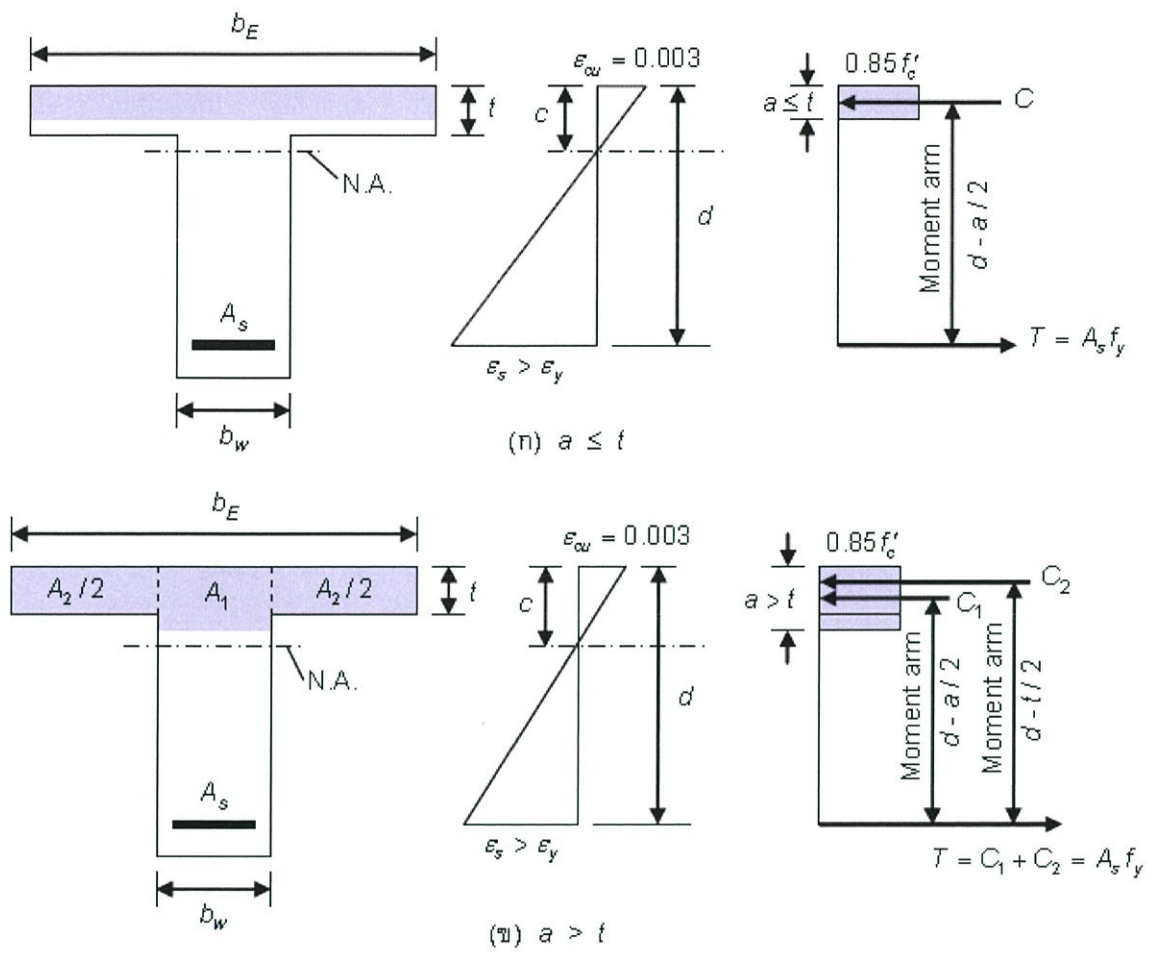
หรือตรวจสอบค่า a โดยตรงจาก $a = \frac{A_s f_y}{0.85f'_c b_E} \leq t$ ซึ่งถ้าไม่เป็นไปตามนี้จะเป็นกรณีที่ 2

กรณีที่ 2 : $a > t$ (รูปที่ 2.13ข) พื้นที่รับแรงอัดจะเป็นรูปตัว T ในการคำนวณจึงแบ่งพื้นที่รับแรงอัดออกเป็น 2 ส่วนคือ เหวคาน A_1 รับแรงอัด C_1 และปีกคาน A_2 รับแรงอัด C_2 ดังนั้น

กำลังรับโมเมนต์ $M_n = C_1 \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_2 \left(d - \frac{t}{2} \right)$

เมื่อ $C_1 = 0.85f'_c b_w a$ และ $C_2 = 0.85f'_c (b_E - b_w)t$

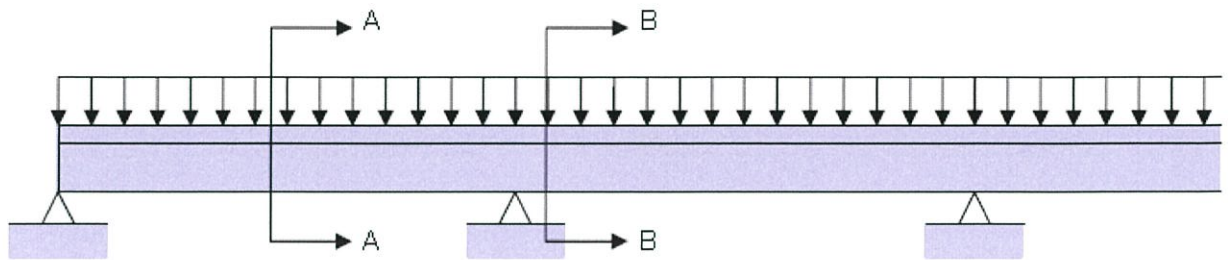
และจาก $T = C_1 + C_2$ ดังนั้น $a = \frac{T - C_2}{0.85f'_c b_w}$



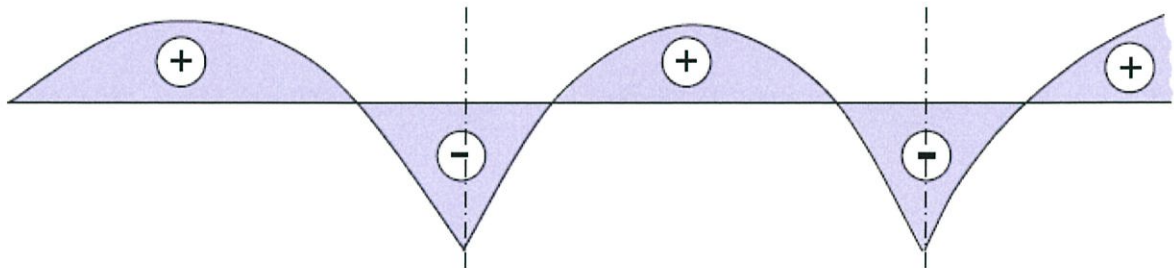
รูปที่ 2.13 กำลังของหน้าตัดตัวที่ภายใต้การดัด

คานรูปตัว T ต่อเนื่อง

ในกรณีของคานต่อเนื่อง แผนภูมิโมเมนต์ซึ่งจะมีทั้งค่าบวกและลบ โดยโมเมนต์บวกจะเกิดขึ้นช่วงคาน (หน้าตัด A-A) และโมเมนต์ลบบริเวณ (หน้าตัด B-B)

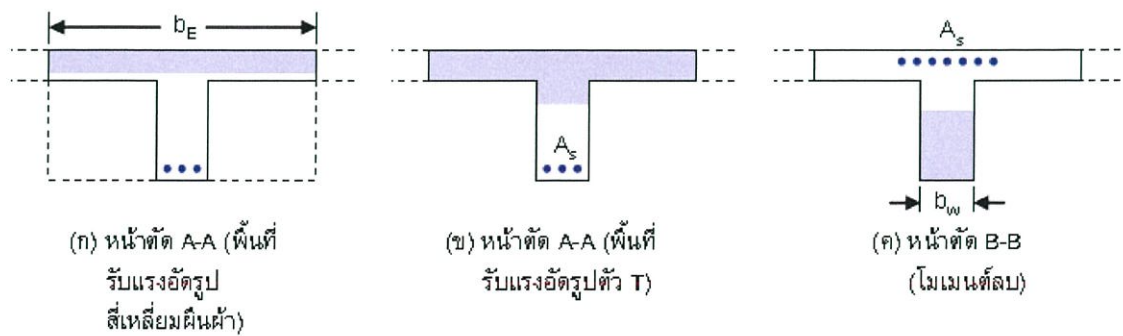


(ก) คานรูปตัว T ต่อเนื่อง



(ข) แผนภูมิโมเมนต์คัต

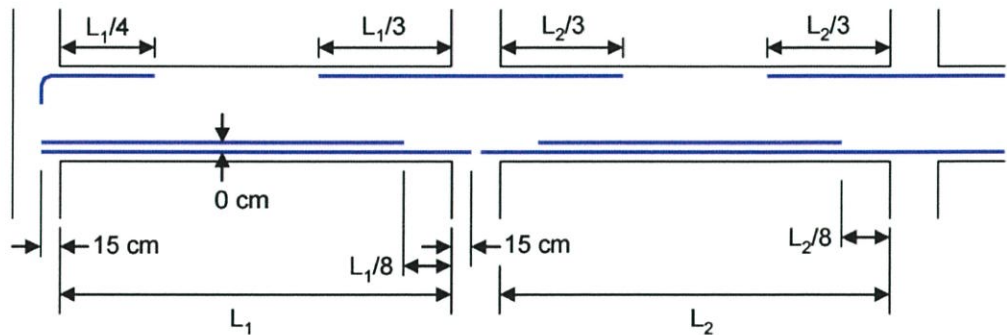
รูปที่ 2.14 คานต่อเนื่องรูปตัว T



รูปที่ 2.15 หน้าตัดรับโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบ

การหยุดเหล็กในคาน

การพิจารณาจุดหยุดเหล็กอาจค่อนข้างลำบาก โดยเฉพาะโครงสร้างที่ถูกวิเคราะห์โดยวิธีอีลาสติกโดยไม่ใช้สัมประสิทธิ์โมเมนต์ ผู้ออกแบบหลายคนจะกำหนดจุดหยุดเหล็กที่แน่นอนที่มั่นใจแล้วว่าจะมีความปลอดภัยสำหรับช่วงคานที่เกือบเท่ากัน รับน้ำหนักแผ่นสม่ำเสมอ และไม่หยุดเหล็กรับแรงดึงมากกว่าครึ่ง ตำแหน่งในรูปที่ 2.16 จะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสม



รูปที่ 2.16 การหยุดเหล็กมาตรฐานสำหรับคานช่วงใกล้เคียงกันและรับน้ำหนักแผ่นสม่ำเสมอ

2.2.4 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

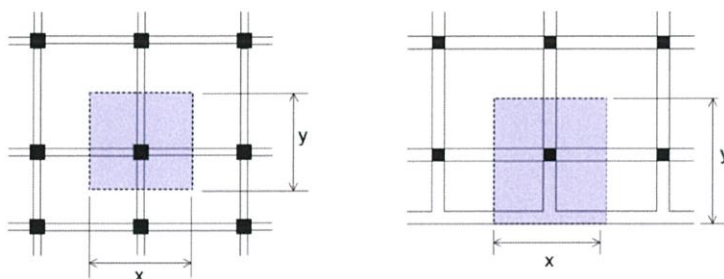
เสาคือองค์อาคารที่ทำหน้าที่รับแรงอัดเป็นหลัก โดยจะรับน้ำหนักที่ถ่ายเทลงพื้นในแต่ละชั้นสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เริ่มจากชั้นบนสุดสู่ชั้นต่ำสุดลงมายังชั้นตอม่อเพื่อถ่ายน้ำหนักลงฐานราก เสา นับเป็นโครงสร้างที่สำคัญมากเพราะหากเสาต้นหนึ่งวิบัติ อาจทำให้เสถียรภาพโดยรวมของอาคารเสียไปและจะนำมาซึ่งความวิบัติของโครงสร้างทั้งหมดได้

การถ่ายน้ำหนักจากคานและพื้นลงเสา

การถ่ายน้ำหนักลงเสาถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบเสา ถ้าคำนวณน้ำหนักผิด เสาจะเกิดการวิบัติได้ ซึ่งจะมีอยู่สองวิธี คือ วิธีพื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary area method) และวิธีแรงปฏิกิริยาปลายคาน (Beam reaction method) แต่ในรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึงแต่วิธีพื้นที่รับน้ำหนักตามที่ได้ทำการออกแบบ

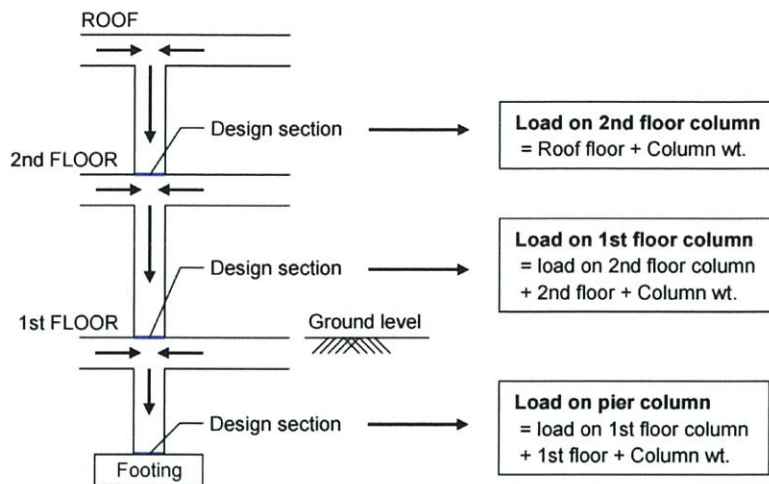
วิธีพื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary area method)

เป็นวิธีคำนวณแบบประมาณโดยแบ่งพื้นที่ของระบบพื้นทั้งหมดออกเป็นส่วนๆ ให้เสาแต่ละต้นรับน้ำหนัก โดยใช้ระยะกึ่งกลางระหว่างเสาเป็นจุดแบ่งดังรูป แล้วนำพื้นที่นี้ไปคำนวณน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกคงที่ลงเสาต่อไป



รูปที่ 2.17 การแบ่งพื้นที่รับน้ำหนัก

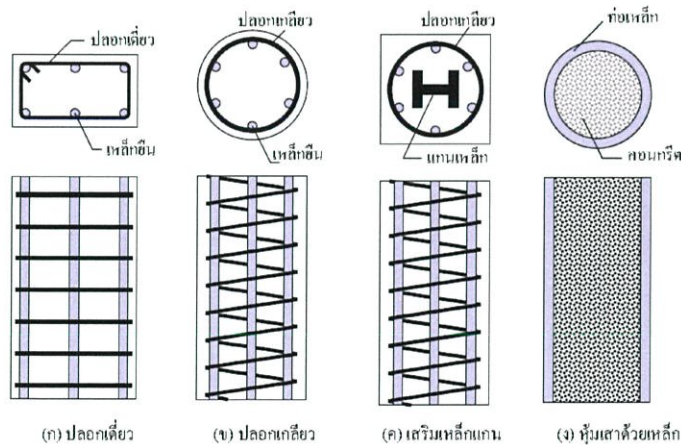
ในอาคารหลายชั้น การคำนวณน้ำหนักบรรทุกจะเริ่มจากชั้นบนสุดเช่นในรูปที่ 2.18 เป็นอาคารสองชั้น ในการออกแบบเสาชั้นสอง จะคำนวณน้ำหนักจากพื้นที่ชั้นดาดฟ้ารวมกับน้ำหนักเสาชั้นสองเอง หน้าตัดที่ออกแบบจะอยู่ที่โคนเสา ต่อมาเมื่อออกแบบเสาชั้นหนึ่งก็คำนวณน้ำหนักจากพื้นที่ชั้นสองรวมกับน้ำหนักเสาชั้นหนึ่งแล้วรวมกับน้ำหนักที่สะสมมาจากชั้นสอง สุดท้ายก็เป็นเสาตอม่อที่อยู่ใต้ดินเป็นเสาสั้นรับน้ำหนักจากชั้นหนึ่งลงสู่ฐานราก



รูปที่ 2.18 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกสะสมจากเสาชั้นบนลงล่าง

ชนิดของเสา

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กอาจถูกจำแนกได้ตามรูปหน้าตัดและการเสริมเหล็ก น้ำหนักบรรทุก และความขรุขระ ชนิดต่างๆของเสาที่แบ่งตามรูปหน้าตัดและเหล็กเสริมจะเป็นดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 ชนิดของเสา

1. เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือจัตุรัส เหล็กเสริมเป็นเหล็กชั้น เหล็กปลอกเป็นปลอกเกลียว (รูปที่ 2.20ก)
2. เสาหน้าตัดกลม เหล็กเสริมเป็นเหล็กชั้น ใช้เหล็กปลอกเกลียว (รูปที่ 2.20ข)
3. เสาคอมโพสิต โดยเสริมเหล็กรูปพรรณเป็นแกนกลาง (รูปที่ 2.20ค) หรือท่อเหล็กหุ้มคอนกรีต (รูปที่ 2.20ง)

เสายาว (Slender Columns)

ตามมาตรฐาน ACI หรือ วสท. ได้ให้วิธีวิเคราะห์เสายาวอย่างประมาณ (approximate method) ภายใต้ข้อจำกัด อัตราส่วนขะลุดเสาต้องไม่เกินกว่า 100 โดยให้ประมาณจากค่าโมเมนต์ดัดจริงที่เสาต้องรับหรือด้านทานว่าเท่ากับผลคูณของโมเมนต์ดัดเริ่มต้น (primary moment) เรียกวิธีวิเคราะห์อย่างประมาณนี้ว่า วิธีขยายโมเมนต์ดัดของเสา (moment magnification method) พฤติกรรมของเสายาวเมื่อรับแรงอัด

เมื่อเสารับแรงอัดตามแนวแกน เสาจะโก่งตัวออกทางข้างรอบแกนที่มีโมเมนต์อินเนอร์เซียน้อยที่สุด (secondary moment) และยังโก่งเดาะทางข้างเนื่องจากโมเมนต์ดัด (flexural buckling) เนื่องจากคอนกรีตถูกอัดแตก พิจารณาจากสมการของออยเลอร์ ที่ใช้กันมานานไม่น้อยกว่า 200 ปี คือ

$$P_c = \frac{\pi^2 E_t A_g}{\left(\frac{k l_u}{r}\right)^2}$$

เมื่อ E_t = โมดูลัสสัมผัส (tangent modulus)

I_g = โมเมนต์อินเนอร์เซียน้อยที่สุดของรูปตัดเสา

A_g = พื้นที่หน้าตัดเสา

l_u = ช่วงความยาวเสาที่ปราศจากการค้ำยัน (unsupported length)

k = ตัวประกอบความยาวสัมประสิทธิ์ผล ขึ้นกับลักษณะการยึดที่ปลายทั้งสองของเสา

= 1 เมื่อปลายเสาทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน (hinged)

= 0.5 เมื่อปลายเสาทั้งสองข้างเป็นแบบยึดแน่น (fixed)

= 0.7 เมื่อปลายเสาข้างหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน และอีกข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่น

= 2.0 เมื่อปลายเสาข้างหนึ่งเป็นแบบยึดแน่น และอีกข้างหนึ่งเป็นแบบปล่อยอิสระ

r = รัศมีจําเริญที่น้อยที่สุดของรูปตัดเสา

ข้อกำหนดการออกแบบเสายาว

อัตราส่วนความชะลุดของเสายาว

มาตรฐาน ACI หรือ วสท. กำหนดว่า ถ้าเสามีอัตราส่วนความชะลุดเกินกว่าค่าที่กำหนด ให้ถือเป็นเสายาว

ก. เสาในโครงเฟรมที่ไม่มีการเซ $\frac{kl_u}{r} > 34 - 12\left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}}\right)$

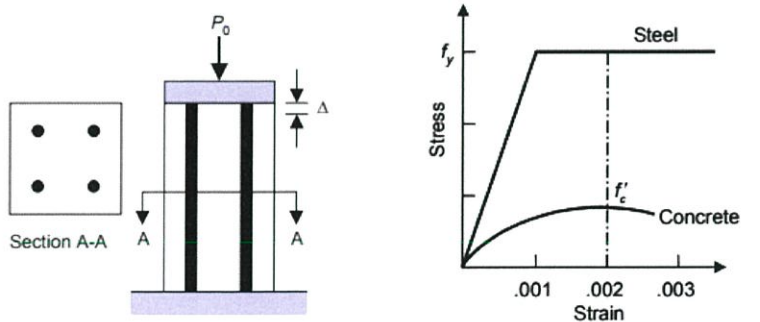
ข. เสาในโครงเฟรมที่ยอมให้เซ $\frac{kl_u}{r} > 22$

สำหรับเสารูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า r มีค่าเท่ากับ $0.03h$ โดยที่ h เป็นความกว้างของด้านที่ตั้งฉากกับแกนที่รับโมเมนต์ดัดหรือด้านซึ่งอยู่ในทิศทางที่พิจารณาถึงเสถียรภาพ เสารูปตัดกลม r มีค่าเท่ากับ 0.25ϕ

เสาสั้น

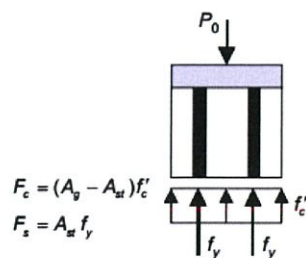
กำลังรับน้ำหนักตามแนวแกน

เสารับน้ำหนักบรรทุก P_o เสาจะหดสั้นเล็กน้อยเท่ากับ Δ อัตราการหดสั้นในเหล็กและคอนกรีตมีค่าเท่ากัน การวิบัติเกิดขึ้นเมื่อหน่วยการยืดหด มีค่าเท่ากับ 0.002



(ก) เสาสั้นรับน้ำหนักตามแนวแกน

(ข) ความสัมพันธ์หน่วยแรงและหน่วยการยืดหด



(ค) แรงในเหล็กและคอนกรีตขณะเกิดการวิบัติ

รูปที่ 2.20 กำลังของเสาสั้นรับแรงตามแนวแกน

กำลังที่ใช้ในการออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงตามแนวแกนโดยวิธีกำลังตามมาตรฐาน ACI

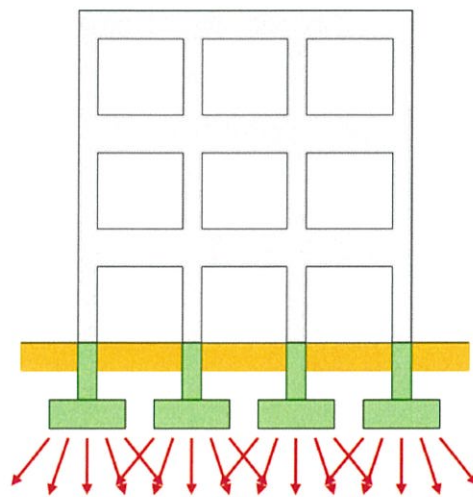
เสาปลอกเกลียว $P_n = 0.85f'_c[(A_g - A_{st}) + f_yA_{st}]$

เสาปลอกเดี่ยว $P_n = 0.80f'_c[(A_g - A_{st}) + f_yA_{st}]$

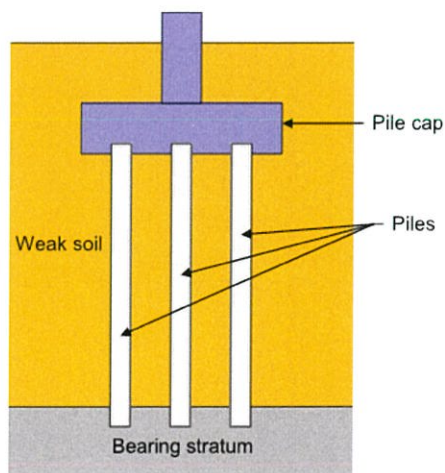
$P_n =$ กำลังระบุ (Nominal strength) ในการอัดตามแนวแกน

2.2.5 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฐานรากคือส่วนโครงสร้างที่ใช้ในการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากเสาไปยังดิน



รูปที่ 2.21 การถ่ายน้ำหนักฐานรากลงสู่พื้นดิน



รูปที่ 2.22 ฐานรากเสาเข็ม

ฐานรากบนเสาเข็ม (Pile Caps)

ถ้ากำลังแบกทานของดินชั้นบนไม่เพียงพอสำหรับทำฐานรากแผ่ ในการถ่ายน้ำหนักของตัวอาคารลงสู่ชั้นดินที่อยู่ลึกจะใช้เสาเข็ม เนื่องจากว่าสภาพชั้นดินที่กรุงเทพมหานครเป็นดินอ่อนและมีชั้นดินแข็งที่อยู่ลึก

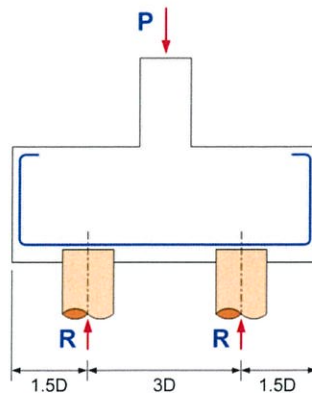
กำลังแบกทานของเสาเข็มแต่ละต้น R_a ซึ่งหาได้จากการเจาะสำรวจดิน พลังงานในการตอกเข็ม การทดสอบน้ำหนักบรรทุก เป็นต้น

$$R_e = R_a - W_f$$

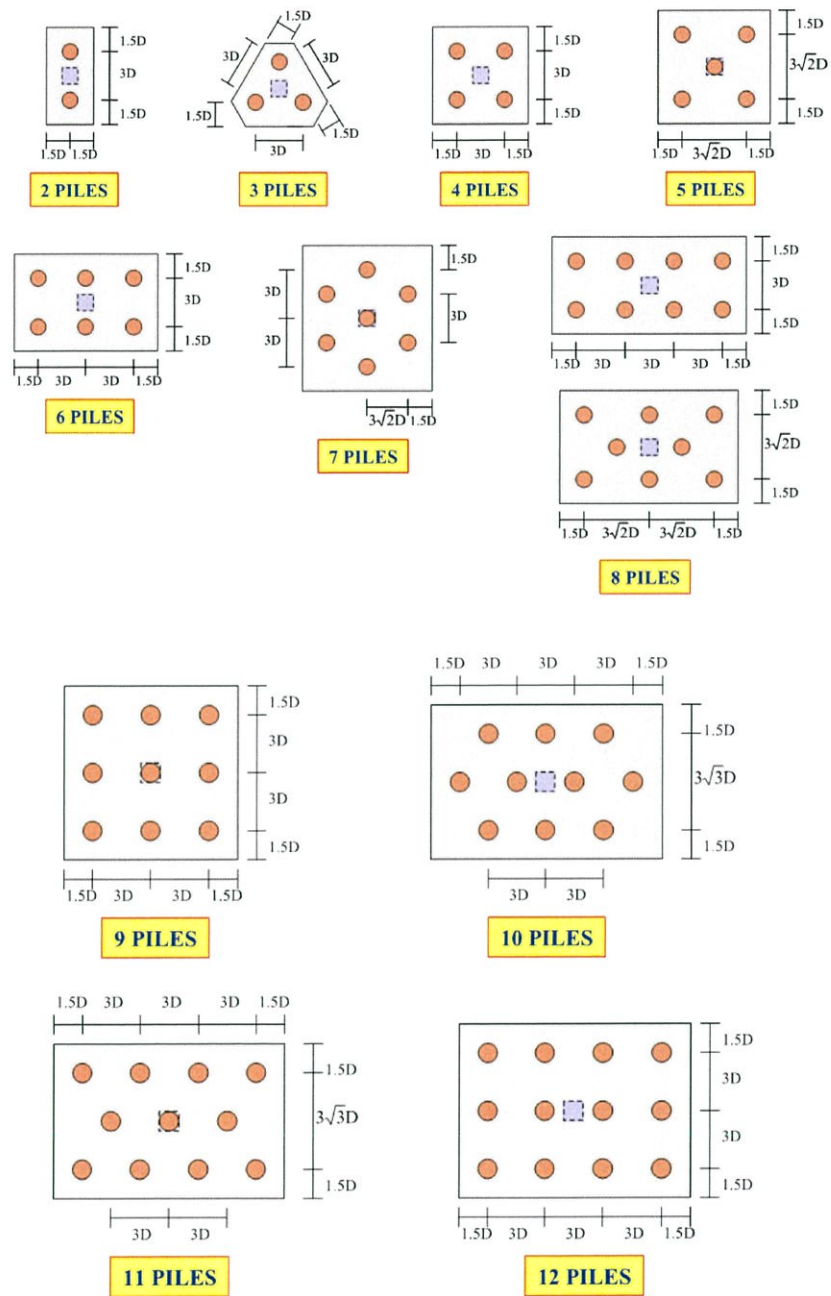
เมื่อ W_f คือน้ำหนักฐานรากและดินถมทั้งหมดหารด้วยจำนวนเสาเข็ม เมื่อได้แรงปฏิกิริยาประสิทธิผลของเข็มแต่ละต้น R_e จำนวนเสาเข็มจะหาออกมาเป็นเต็มปัดขึ้นจาก

$$n = \frac{DL + LL}{R_e}$$

โดยทั่วไปเสาเข็มจะถูกวางใกล้กันเพื่อลดค่าฐานรากหัวเข็ม แต่จะไม่สามารถวางได้ใกล้กว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือน้อยกว่า 75 เซนติเมตร โดยทั่วไปเสาเข็มจะมีขนาด 30 ถึง 70 ต้นจะวางห่างกัน 90 เซนติเมตร



รูปที่ 2.23 แรงในฐานรากเสาเข็ม



รูปที่ 2.24 รูปแบบการจัดวางเสาเข็ม

การออกแบบฐานรากบนหัวเสาเข็ม เริ่มจากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยจากเสาแล้วหารด้วยจำนวนเสาเข็มจะได้น้ำหนักประลัยที่รับโดยเข็มแต่ละต้น

$$R_u = \frac{1.4DL + 1.7LL}{n}$$

การหาค่า R_u นำไปสู่การออกแบบที่ทำให้กำลังฐานรากน้อยกว่ากำลังของกลุ่มเสาเข็ม ดังนั้น
น้ำหนักประลัยควรเป็น

$$R_u = R_a x \text{ ตัวคูณน้ำหนักเฉลี่ย}$$

$$\text{เมื่อตัวคูณน้ำหนักเฉลี่ย} = (1.4DL + 1.7LL)(DL + LL)$$

สภาวะการใช้งาน

ในหัวข้อที่ผ่านมานั้นเป็นการออกแบบของค้ำอาคารเพื่อให้มีกำลังเพียงพอต่อการใช้งาน เช่นการ
ออกแบบคานเพื่อให้ปลอดภัยจากการวิบัติโดยการตัด การเฉือน หรือความยาวยึดรั้งของเหล็กเสริม
เพื่อให้มีแรงยึดเหนี่ยวที่เพียงพอกับคอนกรีต

แต่อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญก็คือการที่องค์อาคารต้องทำงานได้อย่างน่าพอใจในขณะรับน้ำหนักปกติ
ซึ่งไม่เพียงแต่ต้องมีกำลังรับน้ำหนักอย่างปลอดภัยเท่านั้น เพราะในขณะที่รับน้ำหนักเต็มที่คานอาจ
แอ่นตัวมากจนเกินไป หรือการแอ่นตัวระยะยาวเนื่องจากน้ำหนักคงค้างอาจทำให้เกิดการเสียหายได้
การแตกร้าวจากแรงดึงในคานอาจกว้างพอที่จะทำให้เกิดความไม่สวยงาม หรือทำให้เกิดการผุกร่อน
ของเหล็กเสริม ปัญหาเหล่านี้และอื่นๆ เช่น การสั่นสะเทือน หรือความล้า จำเป็นที่จะต้องนำมา
พิจารณาในการออกแบบ

ในการศึกษาสภาวะการใช้งานจะทำโดยใช้ทฤษฎีอีลาสติก หน่วยแรงในเหล็กและคอนกรีตจะ
ถูกสมมติให้แปรผันโดยตรงกับหน่วยการยืดหด คอนกรีตด้านที่รับแรงดึงอาจถูกสมมติให้ไม่แตกร้าว
ร้าวบางส่วน หรือร้าวทั้งหมด ขึ้นกับน้ำหนักบรรทุกและกำลังของวัสดุ

การควบคุมระยะแอ่นตัว

ในวิธีการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงใช้งานซึ่งถูกใช้มาก่อนปี ค.ศ.1970 จะจำกัดหน่วยแรงใน
คอนกรีตที่ประมาณ 45% ของกำลังอัดประลัย f_c' และหน่วยแรงในเหล็กเสริมไม่เกิน 50% ของ
กำลังคราก การใช้วัสดุเหล่านี้ในช่วงของหน่วยแรงที่ยอมให้โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติก ทำให้ได้หน้าตัด
ใหญ่และมีการแอ่นตัวน้อย ดังนั้นการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเก่าจึงไม่ค่อยเกิดปัญหาของ
การแอ่นตัว

เมื่อการออกแบบโดยวิธีกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น และคอนกรีตที่ใช้มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น หน้าตัดจึงมีขนาดเล็กลง แต่ก็ทำให้การแอ่นตัวเพิ่มขึ้นเช่นกันกำลังจุดครากของเหล็กที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันคือ $4,000 \text{ กก./ซม.}^2$ (SD40) และวัสดุกำลังต่ำซึ่งใช้อยู่แต่เดิม

การแอ่นตัวที่ยอมให้จะเป็นไปตามลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง การแอ่นตัวที่มากเกินไป อาจไม่ทำให้เกิดผลเสียหายโดยตรงต่อโครงสร้าง แต่ผลของส่วนโครงสร้างซึ่งถูกรองรับโดยส่วนที่แอ่นตัวอาจจะต้องถูกพิจารณาทั้งผลระยะสั้น และผลระยะยาว การแอ่นตัวที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของโครงสร้าง (โกดังสินค้า โรงเรียน โรงงาน ที่อยู่อาศัย ฯลฯ) มีฝ้าเพดานหรือไม่ การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ ความไวของเครื่องมือต่อการแอ่นตัวและขนาดและช่วงเวลาของน้ำหนักจร การสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนก็ถือเป็นผลที่เกิดกับการใช้งานของโครงสร้างที่ขึ้นกับความแข็งแรงของโครงสร้าง เช่นเดียวกับการแอ่นตัว

มาตรฐาน ACI ได้กำหนดตารางที่ 2.6 สำหรับใช้พิจารณาความลึกน้อยที่สุดของคานและพื้นทางเดียว ซึ่งถ้าความลึกที่ใช้เป็นไปตามตารางนี้ จะไม่ต้องคำนวณระยะแอ่นตัว ค่าที่ให้ไว้ในตารางเป็นค่าที่เผื่อไว้ค่อนข้างมาก ซึ่งถ้าใช้กับอาคารหลายๆชั้นอาจให้ผลการออกแบบที่ไม่ประหยัดเท่าที่ควร หากต้องการใช้ความลึกน้อยกว่าที่กำหนดนี้จะต้องทำการคำนวณระยะแอ่นตัวมากที่สุดแล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมให้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ความลึกน้อยที่สุดของคานตามมาตรฐาน ACI

องค์อาคาร	คานช่วงเดียว	คานต่อเนื่อง ปลายเดียว	คานต่อเนื่อง สองปลาย	คานยื่น
พื้นทางเดียว	$L/20$	$L/24$	$L/28$	$L/10$
คาน	$L/16$	$L/18.5$	$L/21$	$L/8$

*สำหรับ f_y ที่ไม่เท่ากับ $4,000 \text{ กก./ซม.}^2$ ให้คูณด้วย $0.4 + f_y/7,000$

ตารางที่ 2.7 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอนที่คำนวณได้

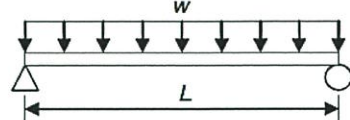
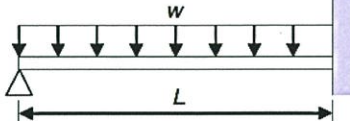
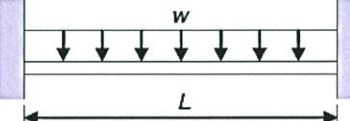
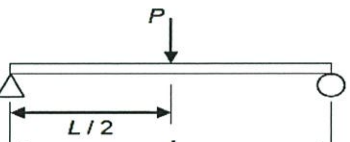
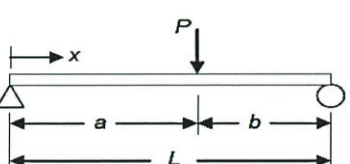
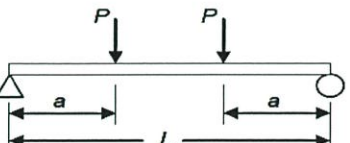
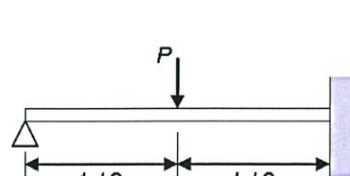
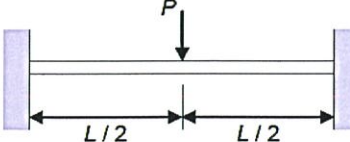
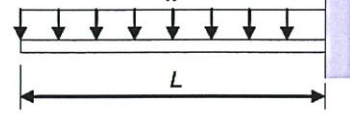
ชนิดขององค์อาคาร	ระยะแอนที่ต้องพิจารณา	พิกัดระยะแอน
หลังคาที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ระยะแอนตัวทันทีจากน้ำหนักบรรทุก	$L/180$
พื้นที่ที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ระยะแอนตัวทันทีจากน้ำหนักบรรทุก	$L/360$
หลังคาหรือพื้นที่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ระยะแอนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังจากการยึดติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้าง ผลรวมระยะแอนตัวตาม	$L/480$
หลังคาหรือพื้นที่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะไม่เกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	กาลเวลานี้เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้างทั้งหมด และระยะแอนตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น	$L/240$

การคำนวณระยะแอนตัวนั้นจะทำได้แค่เพียงการคาดคะเนระยะแอนที่น่าจะเกิดขึ้นเท่านั้น เนื่องจากมีความไม่แน่นอนของคุณสมบัติวัสดุ การแตกร้าว และประวัติการรับน้ำหนักองค์อาคารจะรับน้ำหนักบรรทุกคงที่เต็มทีและน้ำหนักบรรทุกบางส่วน ตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของ ACI จะควบคุมให้ในช่วงที่รับน้ำหนักจรจนเต็มที หน่วยแรงในเหล็กและคอนกรีตยังคงอยู่ในช่วงอีลาสติก ระยะแอนตัวที่เกิดขึ้นในทันทีเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเรียกว่า *การแอนตัวโดยทันที (Immediate deflections)* คำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติก

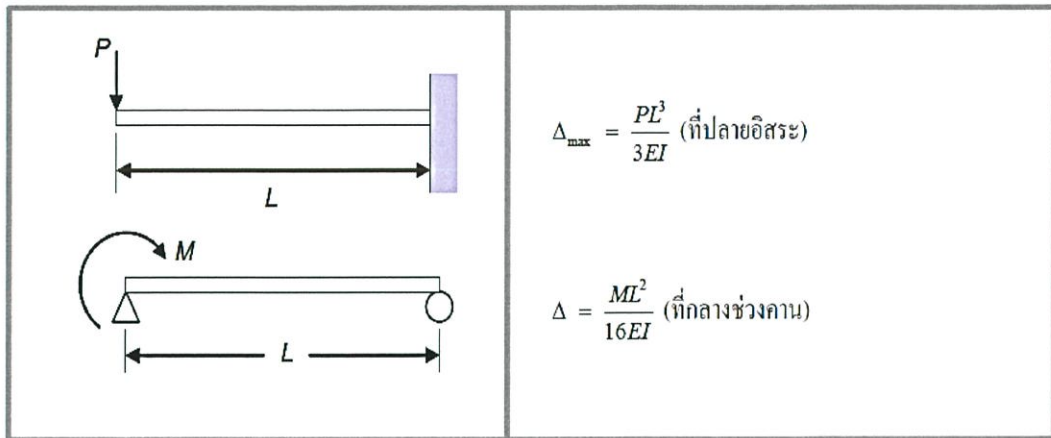
นอกจากการเสียรูปทรงของคอนกรีตจะเกิดขึ้นทันทีหลังรับน้ำหนักแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปการเสียรูปทรงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นโดยมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากความคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) ของคอนกรีต เรียกว่า *การแอนตัวระยะยาว (Long-term deflections)* ซึ่งจะใช้เวลาหลายปี และอาจมีขนาดมากถึงสองหรือสามเท่าของการแอนตัวอีลาสติกในตอนเริ่มต้นการแอนตัวโดยทันที

เมื่อคานคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกจะเกิดการแอนตัวขึ้นเรียกว่า การแอนตัวโดยทันที (Instantaneous deflection, Δ_i) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของช่วงความยาวคาน จุดรองรับเช่นแบบหมุนได้ในคานช่วงเดียว ยึดรั้งบางส่วนในคานต่อเนื่อง หรือยึดรั้งเต็มทีในคานยื่น ชนิดของน้ำหนักบรรทุกเช่นแบบกระทำเป็นจุดหรือแบบกระจาย และสติเฟเนสการตัด EI ขององค์อาคาร สูตรที่ใช้ในการคำนวณระยะแอนตัวมากที่สุด Δ_{max} สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบต่างๆ สรุปลไว้ในตาราง

ตารางที่ 2.8 ระยะแอมั้มมากที่สุดใคานรับน้ำหนักรรทุกแบบต่างๆ

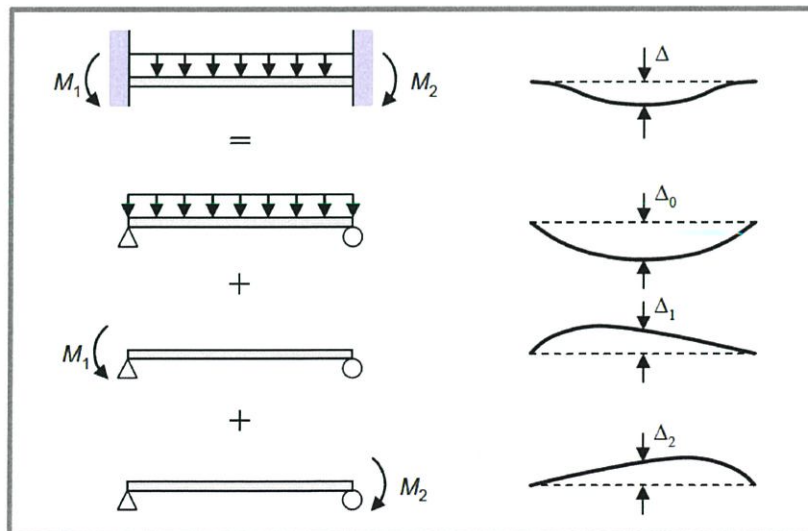
	$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} \text{ (ที่กัลางช่วงคาน)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{wL^4}{185EI} \text{ (ที่ระยะ 0.4215L จากจุดรองรับซ้าย)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{wL^4}{384EI} \text{ (ที่กัลางช่วงคาน)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \text{ (ที่กัลางช่วงคาน)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \left[\frac{3a}{L} - 4 \left(\frac{a}{L} \right)^3 \right] \text{ (เมื่อ } a \geq b \text{)}$ <p>ที่ $x = \sqrt{a(b+L)}/3$</p>
	$\Delta_{\max} = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \text{ (ที่กัลางช่วงคาน)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI\sqrt{5}} \text{ (ที่ } x = 0.4472L \text{ จากจุดรองรับซ้าย)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{192EI} \text{ (ที่กัลางช่วงคาน)}$
	$\Delta_{\max} = \frac{wL^4}{8EI} \text{ (ที่ปลายอิสระ)}$

ตารางที่ 2.8 ระยะแอนตัวมากที่สุดในคานรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบต่างๆ (ต่อ)



ถ้าคานรองรับน้ำหนักบรรทุกหลายชนิด ก็จะคำนวณระยะแอนตัวจากน้ำหนักแต่ละชนิดแล้วนำมารวมกัน หรืออย่างเช่นในคานต่อเนื่องซึ่งคานแต่ละช่วงจะรับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ที่ปลายคานทั้งสองดังในรูปที่ 2.26

ระยะแอนตัวที่กลางช่วงคาน : $\Delta = \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2$



รูปที่ 2.25 การคำนวณระยะแอนตัวสำหรับคานต่อเนื่อง

จากแนวคิดเรื่องโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่าหน้าตัดจะเกิดความเสียหายขึ้นอย่างถาวร เมื่อโมเมนต์มีค่าเกินโมเมนต์แตกร้า ซึ่งผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจะทำให้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดลดลง การแอ่นตัวก็จะมีมากขึ้น สภาวะของการรับน้ำหนักมีอยู่ด้วยกัน 2 ช่วง คือ ช่วงรับน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่คือรับเฉพาะน้ำหนักอาคารเองโดยยังไม่มีการใช้งาน Δ_D และในช่วงรับน้ำหนักเต็มก็คือน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่และน้ำหนักบรรทุกจร Δ_{D+L}

การแอ่นตัวจากน้ำหนักคงที่ซึ่งจะเกิดขึ้นแน่นอนตลอดอายุโครงสร้างอาจลดได้โดยการหล่อคานให้โก่งขึ้น (Camber) ไว้ก่อนล่วงหน้า เมื่อคานเริ่มรับน้ำหนักตัวเองหลังถอดแบบหล่อออกก็จะแอ่นตัวลงมาหักล้างที่ทำให้โก่งไว้ล่วงหน้าพอดี ดังนั้นจึงเหลือเพียงการพิจารณาการแอ่นตัวจากน้ำหนักจร Δ_L ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\Delta_L = \Delta_{D+L} - \Delta_D$$

ที่เป็นเช่นนี้เพราะน้ำหนักบรรทุกจรไม่เคยกระทำกับโครงสร้างโดยปราศจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และการรับน้ำหนักในแต่ละช่วงมีผลต่อความเสียหายถาวรของหน้าตัด ดังนั้นในการคำนวณระยะแอ่นตัวจากน้ำหนักบรรทุกจรจึงคิดจากการที่ระยะแอ่นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ออกจากระยะแอ่นจากน้ำหนักบรรทุกจรรวม

การแอ่นตัวระยะยาว (Long-term deflection)

การแอ่นตัวระยะยาวเป็นผลมาจากการหดตัว(Shrinkage) และความคืบ(Creep) เมื่อมีน้ำหนักคงค้าง(Sustained load) กระทำกับโครงสร้างเป็นเวลานาน โดยการแอ่นตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น การประมาณระยะแอ่นตัวจากการหดตัวและความคืบ Δ_{cp+sh} นั้น มาตรฐาน ACI กำหนดให้หาได้โดยคูณการแอ่นตัวระยะสั้นด้วยตัวคูณ λ ดังนี้

$$\Delta_{cp+sh} = \lambda(\Delta_i)_D$$

เมื่อ
$$\lambda = \frac{\xi}{1+50\rho'}$$

และ $(\Delta_i)_D$ คือ การแอ่นตัวทันทีจากน้ำหนักคงที่ทั้งหมด ค่าของ ξ ที่ยอมให้ตาม ACI จะเป็นไปตามระยะเวลาของการรับน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 2.10 สำหรับเหล็กเสริมรับแรงอัด

$\rho' = A'_s/bd$ จะใช้ของหน้าตัดที่จุดรองรับในกรณีคานยื่น และใช้หน้าตัดที่กลางช่วงคานในกรณีคานช่วงเดียวและคานต่อเนื่อง

ตารางที่ 2.9 ค่าตัวแปร ξ ที่ช่วงเวลาการรับน้ำหนักคงค้างต่างๆ

ช่วงเวลาการรับน้ำหนักคงค้าง	ξ
5 ปีหรือมากกว่า	2.0
1 ปี	1.4
6 เดือน	1.2
3 เดือน	1.0

2.2.6 กฎเกณฑ์ และมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

2.2.6.1 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary

2.2.6.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.)

2.2.2.3 ข้อกำหนดพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครว่าด้วยเรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544

2.2.7 Analysis Software

Software	Use	Remark
RATP6.5	ออกแบบพื้น คาน เสา	
ETAB2016	วิเคราะห์พฤติกรรม โดยรวม	
EXCELL	ออกแบบฐานราก	ช่วยคำนวณ

2.2.8 Loading Requirement

2.2.8.1 Dead Load (DL)

น้ำหนักตายตัว (Dead Load) คือ ค่าน้ำหนักตายตัวในแนวดิ่งของโครงสร้างอาคารที่อยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนัก ซึ่งคำนวณการกระจายของแรง โดยใช้ค่าความหนาแน่นดังต่อไปนี้

- Reinforced Concrete density : 2,400 kg/m³
- Steel density : 7,850 kg/m³

2.2.8.2 Structural Self-Weight

น้ำหนักตัวของโครงสร้าง (Structural Self-Weight) คำนวณตามรูปทรงเลขาคณิตและค่าความหนาแน่นของวัสดุ

2.2.8.3 Superimpose Dead Load (SDL)

น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (Superimpose Dead Load) เป็นน้ำหนักตายตัวในแนวดิ่งเพิ่มเติม นอกจากส่วนของโครงสร้างหลัก ซึ่งใช้ค่าดังต่อไปนี้

- Superimpose Dead Load : 150 kg/m²

2.2.8.4 Live Load (LL)

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) คือ น้ำหนักบรรทุกที่เป็นลักษณะมีการเคลื่อนย้าย เคลื่อนที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา หรืออยู่ชั่วคราว แรงกระทำเหล่านี้จะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว และเมื่อมีการเคลื่อนย้ายออกไป ก็จะไม่มีความกระทำค้าง ซึ่งใช้ค่าดังต่อไปนี้ ซึ่งใช้ค่าตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ว่าด้วยเรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ดังนี้

- ตลาด ห้างสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในหอสมุด ที่จอดรถ/เก็บรถยนต์นั่ง : 400 kg/m²

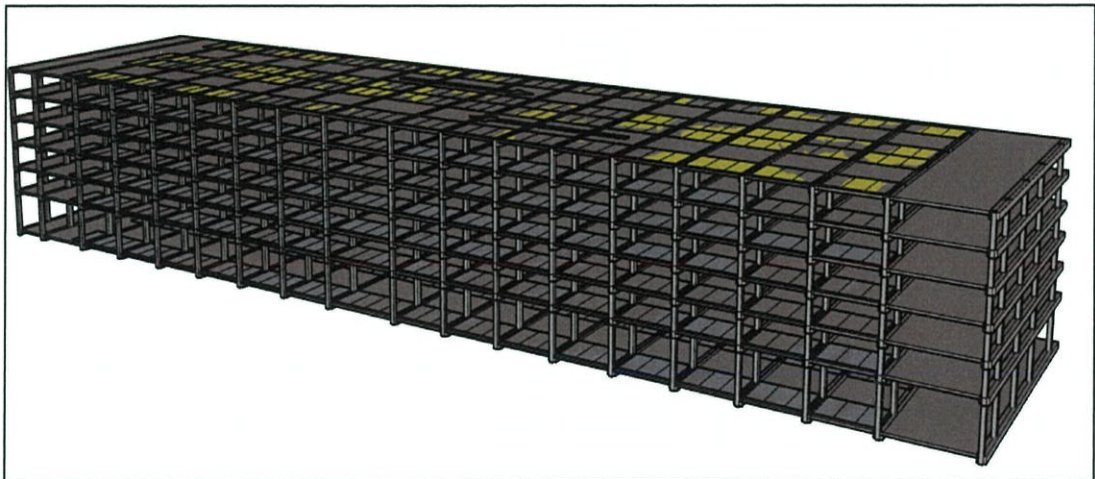
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานการออกแบบ

3.1 คุณสมบัติอาคารเบื้องต้นสำหรับใช้คำนวณน้ำหนักอาคาร

3.1.1 ลักษณะอาคาร

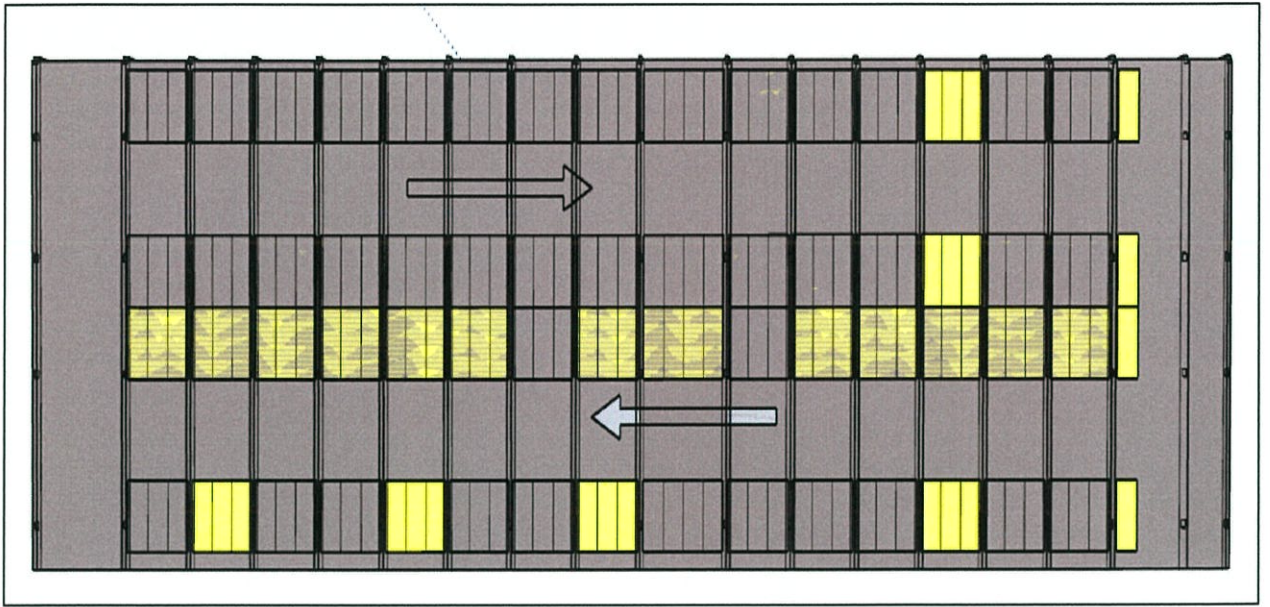
อาคารสูง 18.25 เมตร เป็นอาคารจอดรถจำนวน 7 ชั้น โดยแต่ละชั้นจอดรถได้
ชั้นละ 188 คัน รวมทั้งหมดเป็น 1316 คัน อาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 35.25 เมตร ยาว
147.925 เมตร



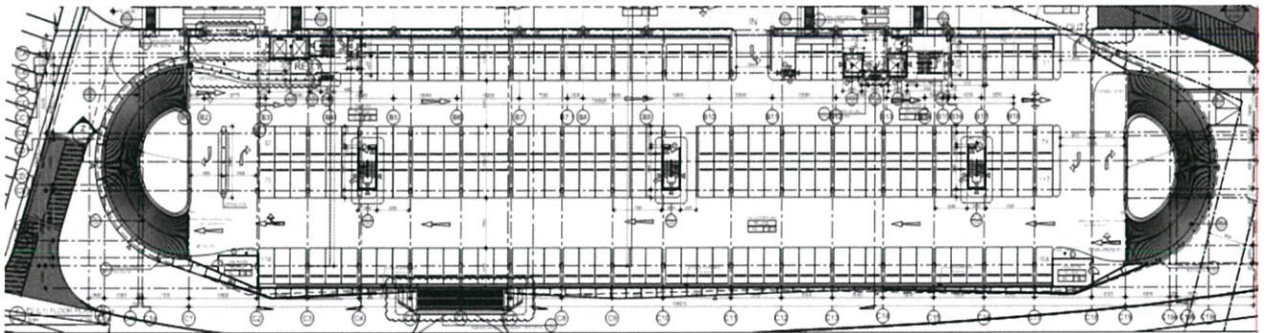
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างสามมิติอาคารจอดรถ 7 ชั้น



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างสามมิติอาคารจอดรถ 7 ชั้น



รูปที่ 3.3 แสดงผังอาคารจอดรถ ชั้น1-ชั้น7



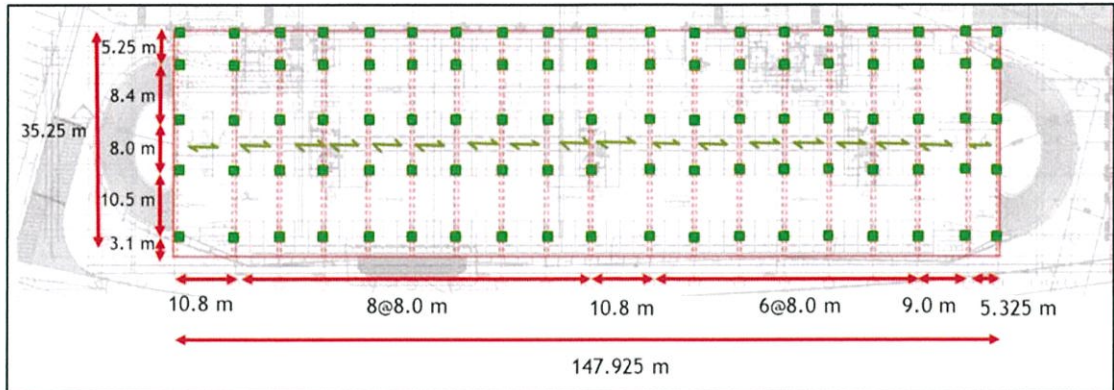
รูปที่ 3.4 แสดงผังอาคารจอดรถ ชั้น1-ชั้น7

3.1.2 รายละเอียดสำหรับอาคาร

3.1.2.1 รายการวัสดุในตึก

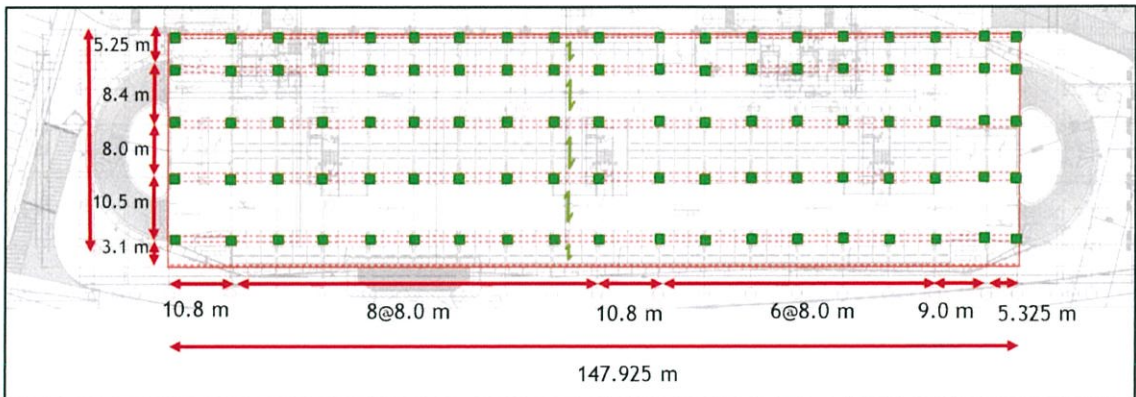
- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



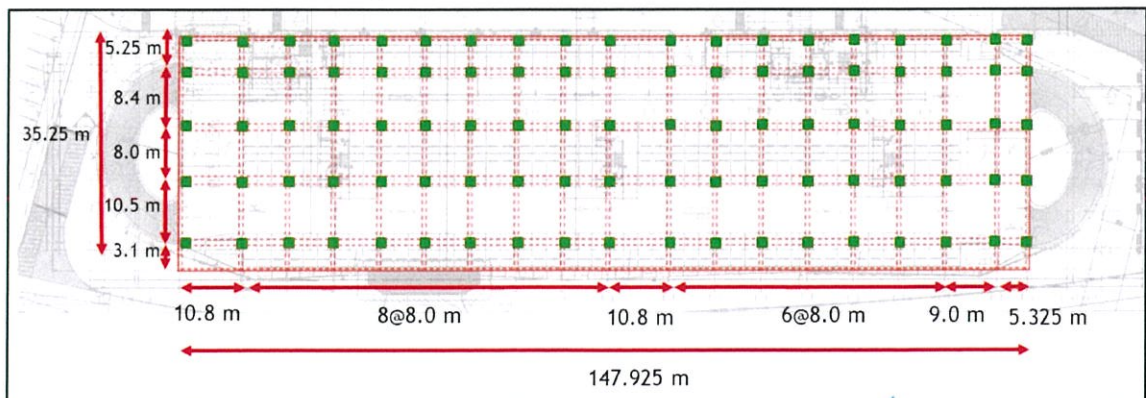
รูปที่ 3.5 แสดงผังอาคารจอดรถ Option 1

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)



รูปที่ 3.6 แสดงผังอาคารจอดรถ Option 2

Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)



รูปที่ 3.7 แสดงผังอาคารจอดรถ Option 3

- เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
- หลังคาเมทัลชีทชั้น 7
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- ฝ้าเพดาน
- ระบบประปาและสุขาภิบาล

3.1.2.2 ที่จอดรถ

(อ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ.2527 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522)

ข้อ 1 ในกระทรวง

(12) “อาคารขนาดใหญ่” หมายความว่า อาคารที่สร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่ประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 2000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.00 เมตรขึ้นไป หรือมีพื้นที่รวมทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกัน เกิน 1000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2000 ตารางเมตร การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นด้านฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังชั้นสูงสุด

(อ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 7 พ.ศ.2517 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคารพุทธศักราช 2479)

ข้อที่ 3 จำนวนที่จอดรถยนต์ ต้องจัดให้มีตามกำหนดดังต่อไปนี้

(1) ในเขตท้องที่กรุงเทพมหานคร เฉพาะในเขตเทศบาลนครหลวงตามประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 25 ลงวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2514

(ข) อาคารขนาดใหญ่ ให้มีที่จอดรถยนต์ตามจำนวนที่กำหนดของแต่ละประเภทของอาคารที่ใช้เป็นที่ประกอบกิจการในอาคารขนาดใหญ่นั้นรวมกัน หรือให้มีที่จอดรถยนต์ไม่น้อยกว่า 1 คันต่อพื้นที่อาคาร 120 ตารางเมตรเศษของ 120 ตารางเมตร ให้คิดเป็น 120 ตารางเมตร ทั้งนี้ให้ถือที่จอดรถยนต์จำนวนที่มากกว่าเป็นเกณฑ์อาคารขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นตึกแถวสูงไม่เกินสี่ชั้นต้องมีที่จอดรถยนต์อยู่ภายนอกอาคาร หรืออยู่ในห้องใต้ดินของอาคารไม่น้อยกว่า 1 คันต่อ 1 ห้อง

สรุปได้ดังนี้

รวมที่จอดรถในอาคารทั้งหมด 1316 คัน

3.1.2.3 คุณสมบัติของวัสดุ

3.1.2.3.1 คอนกรีตที่ใช้ออกแบบ

- สำหรับพื้น

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 32 MPa ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

- สำหรับคาน

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 32 MPa ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

- สำหรับเสา

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 40 MPa ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

- สำหรับฐานราก

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 40 MPa ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

3.1.2.3.2 หน้าตัดสำหรับชิ้นส่วน

- สำหรับพื้น

Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

หนา 0.20 m และ 0.25 m

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

หนา 0.25 m และ 0.35 m

Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

หนา 0.20 m

- สำหรับคาน

Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

B1 B2 B3 B4 B5 B6 ขนาด 0.6 x 1.0

B7 ขนาด 0.5 x 0.85 m

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

B1 ขนาด 0.65 x 0.50 m

B2 B3 ขนาด 0.65 x 1.30 m

m

B4 B5 ขนาด 0.65 x 1.4 m

Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

B1 B2 B3 B4 B5 ขนาด 0.6 x 0.7

B6 ขนาด 0.6 x 0.6 m

- สำหรับเสา

Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

C1 (L1-L6) 0.50 x 0.50 m

C2 (L1-L3) 0.50 x 0.70 m

C3 (L1-L3) 0.50 x 0.90 m

C4 (L1-L3) 0.50 x 1.00 m

C5 (L1-L3) 0.50 x 0.80 m

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

C1 (L1-L3) 0.50 x 0.50 m

C2 (L1-L3) 0.50 x 1.00 m

C3 (L1-L3) 0.50 x 1.20 m

C4 (L1-L3) 0.50 x 1.40 m

C5 (L4-L6) 0.30 x 0.30 m

C6 (L4-L6) 0.40 x 0.40 m

C7 (L4-L6) 0.50 x 0.50 m

C8 (L4-L6) 0.50 x 0.60 m

C9 (L4-L6) 0.50 x 0.70 m

Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

C1 (L1-L6) 0.50 x 0.50 m

C2 (L1-L6) 0.50 x 0.70 m

C3 (L1-L6) 0.50 x 0.90 m

C4 (L1-L6) 0.50 x 1.20 m

C5 (L1-L6) 0.50 x 1.40 m

- สำหรับฐานราก

Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดและเหล็กเสริมของฐานราก Option 1

	กว้าง(m)	ยาว(m)	หนา(m)	เหล็ก
F1	1.2	1.2	1.0	13DB20
F2	1.8	3.6	1.0	20DB28,10DB28
F3C	1.8	1.8	1.1	10DB28
F4	3.6	3.6	1.0	15DB32
F5	4.4	4.4	1.1	21DB32

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

ตารางที่ 3.2 แสดงขนาดและเหล็กเสริมของฐานราก Option 2

	กว้าง (m)	ยาว (m)	หนา (m)	เหล็ก
F1	1.2	1.2	0.7	6DB20
F2	1.8	3.6	1	17DB28,15DB28
F3A	1.8	1.8	1	8DB28
F3B	1.8	1.8	1.1	9DB28
F4	3.6	3.6	1	15DB32
F5	4.35	4.35	1.1	21DB32
F6	3.6	5.4	1.2	30DB25,27DB32

Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดและเหล็กเสริมของฐานราก Option 3

	กว้าง (m)	ยาว (m)	หนา (m)	เหล็ก
F1	1.2	1.2	0.5	6DB20
F2	1.8	3.6	0.8	20DB28,10DB28
F3B	1.8	1.8	1.1	9DB28
F4	3.6	3.6	1	15DB32
F5	4.35	4.35	1.2	22DB32
F6	3.6	5.4	1.2	30DB25,27DB32

- สำหรับเสาเข็ม

เสาเข็ม Spun pile เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 m

รับน้ำหนักบรรทุก 205 ตัน/ต้น

3.2 คำนวณน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ

3.2.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

- น้ำหนักของพื้น

$$\text{น้ำหนักพื้น (w}_{\text{slab}}) = \text{Area} \times D \times \gamma_c$$

Area = พื้นที่ต่อหนึ่งชั้นมีค่าเท่ากับ ความกว้าง(m) คูณกับ ความยาว(m) ของแต่ละชั้นมีหน่วยเป็น (m²)

D = ความหนาของพื้น(m)

γ_c = ความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- น้ำหนักของคาน

$$\text{น้ำหนักคาน (w}_{\text{beam}}) = W \times D \times L \times \gamma_c$$

W = ความกว้างของหน้าตัดเสา (m)

L = ความยาวของคาน (m)

D = ความลึกของคาน (m)

γ_c = ความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- น้ำหนักของเสา

$$\text{น้ำหนักเสา (w}_{\text{column}}) = W \times L \times H \times \gamma_c$$

W	=	ความกว้างของหน้าตัดเสา (m)
L	=	ความยาวของหน้าตัดเสา (m)
H	=	ความสูงของเสาภายนอก (m)
n	=	จำนวนเสา(ต้น)
γ_c	=	ความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.2 น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load)

หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับประเภทและส่วนอาคารต่างๆของอาคาร นอกเหนือจากน้ำหนักของตัวอาคาร หรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น

ตารางที่ 3.4 หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับประเภทและส่วนอาคารต่างๆ ของอาคาร

ประเภทและส่วนต่างๆ ของอาคาร	หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรเป็น กิโลกรัมต่อตารางเมตร
(1) หลังคา	30
(2) กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
(3) ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
(4) ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรมและห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
(5) สำนักงาน ธนาคาร	250
(6) (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
(7) (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือรถจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคาร พาณิชยกรรม มหาวิทยาลัย วิทยาลัยและโรงเรียน	400
(8) (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุดและหอสมุด	500
(9) ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
(10) ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

LL = 400 kg/m² สำหรับ Live Load บริเวณที่จอดรถ

หมายเหตุ อ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติ

ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

3.2.3 น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม (Superimposed Dead Load)

SDL = 150 kg/m² สำหรับ finishing

หมายเหตุ อ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

3.3 วิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อเปรียบเทียบ

3.3.1 โปรแกรม RAPT6.5

การใช้โปรแกรมออกแบบทั้งพื้น และคาน โดยส่วนที่ทำการการควบคุมคือ วัสดุ (Material) น้ำหนัก (Load) ความแข็งแรงของการรับน้ำหนักบรรทุก (Strength) การแอ่นตัว (Deflection) การใส่เหล็กเสริมเพื่อลดการแอ่นตัว

การออกแบบเสา โดยส่วนที่ควบคุมคือ วัสดุ(Material) น้ำหนัก (Load) ความแข็งแรงของการรับน้ำหนักบรรทุก (Strength) การโก่งเดาะ (Buckling) ความชะลูด (Slenderness)

3.3.2 การคำนวณโดยวิธีกำลัง

ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มประเภท เสาเข็ม 1 ต้น 2 ต้น และ 4 ต้น โดยมีการคำนวณดังนี้

- 1.เลือกความลึกฐานราก โดยไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร
- 2.คำนวณน้ำหนักบรรทุกจาก 1.15(DL+LL)
- 3.หาจำนวนเสาเข็มจาก

$$n = \frac{DL + LL}{R_e}$$

R_e = แรงปฏิกิริยาประสิทธิผลของเข็มแต่ละต้น

- 3.ตรวจสอบการเฉือนทะลุ

$$V_c = 1.06\sqrt{f'_c}b_0d$$

b_0 = ความยาวเส้นรอบรูปที่ระยะ $d/2$ จากผิวเสา

d = ความลึกประสิทธิผล

- 4.ตรวจสอบการเฉือนคานในแต่ละทิศทางที่ระยะ d จากผิวเสา เพิ่มความลึกถ้าต้องการกำลังเพิ่ม

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}bd$$

b = ความกว้างฐานราก

5.คำนวณพื้นที่เหล็กรับแรงดัดที่ต้องการในแต่ละทิศทางจากหน้าตัดวิกฤตที่ผิวเสา

$$M_u = nP_e d_c$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85f'_c}} \right)$$

$$A_s = \rho b d$$

n = จำนวนเสาเข็มที่ผ่านหน้าตัดวิกฤต

P_e = น้ำหนักที่เสาเข็มรับจากด้านบน

d_c = ความยาวนอกหน้าตัดวิกฤต

R_n = สัมประสิทธิ์ความต้านทานโมเมนต์ดัด

$\phi = 0.90$

ρ = อัตราส่วนเหล็กเสริม

A_s = พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม

6.เลือกเหล็กเสริม

3.3.3 การคำนวณโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

1.หาค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบและเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

f'_c = หน่วยแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตมาตรฐาน 28 วัน ksc

f_y = หน่วยแรงที่จุดครากของเหล็กเสริม ไม่เกิน 5600 ksc

P = กำลังเสาเข็มต้นต่อต้น, ต้น

D_p = ขนาดหน้าตัดเสาเข็ม, เมตร

P_c = กำลังเสาเข็ม, ต้น/ต้น

B_1 = ขนาดหน้าตัดต่อม่อสี่เหลี่ยมทางนอนเมื่อมองบนแปลนฐานราก, เมตร

B_2 = ขนาดหน้าตัดต่อม่อสี่เหลี่ยมทางตั้งเมื่อมองบนแปลนฐานราก, เมตร

L = ความลึกของท้องฐานรากวัดจากระดับดิน, เมตร

หาค่าต่อไปนี้

$$f_c = 0.375f'_c \leq 65 \text{ ksc} \text{ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของคอนกรีต (กฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6)}$$

$$f_s = 0.5f_y = 0.5 \times 2400 = 1200 \text{ ksc} \text{ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของเหล็ก SR-24}$$

$$f_s = 0.5f_y = 0.5 \times 3000 = 1500 \text{ ksc} \text{ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของเหล็ก SD-30}$$

$$f_s = 0.5f_y = 0.5 \times 4000 = 1700 \text{ ksc} \text{ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของเหล็ก SD-40}$$

$$v_{cb} = 0.29\sqrt{f'_c}, \text{ ksc} = \text{หน่วยแรงเฉือนแบบคานที่ยอมให้}$$

$$v_{cp} = 0.53\sqrt{f'_c}, \text{ ksc} = \text{หน่วยแรงเฉือนแบบเจาะทะลุที่ยอมให้}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2040000}{15100\sqrt{f'_c}} = \frac{135.099}{\sqrt{f'_c}}$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{nf_c}}$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$R = \frac{1}{2} f_c k j, \quad \text{ksc}$$

2. ประมาณน้ำหนักฐานราก W_f

$$\text{น้ำหนักรวม } W_T = 1.15P$$

$$\text{จำนวนเสาเข็ม } N_p = \frac{1.15P}{P_c}$$

3. กำหนดค่าเริ่มต้นของฐานราก

$$D_1 \geq D_p \text{ ระยะจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงขอบฐานราก, เมตร}$$

$$D_2 \geq 3D_p \text{ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มที่อยู่ใกล้กันที่สุด, เมตร}$$

$B_3 = 2 \sqrt{\frac{B_1 B_2}{\pi}}$ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่มีเนื้อที่เท่ากับหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า , เมตร

4. ประมาณความหนาฐานราก โดยหาแรงต้านทานเฉลี่ยของเสาเข็ม P_a แรงเฉือนที่ขอบตอม่อ V_4 และโมเมนต์ที่ของตอม่อ M_4 ดังนี้

$$P_a = \frac{1000 \times 1.15P}{3} \text{ Kg/ต้น}$$

$$V_4 = P_a, \text{ kg}$$

ระยะศูนย์กลางเข็มถึงขอบตอม่อ X_3

$$X_3 = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{D_2}{2} - \frac{B_3}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}} D_2 - \frac{B_2}{2}$$

โมเมนต์ที่ของตอม่อ

$$M_4 = V_4 X_3, \text{ kg.m}$$

ความกว้างฐานรากที่ขอบตอม่อ ดูจากสามเหลี่ยมคล้าย

$$B_5 = \frac{(4\sqrt{3}D_1 + 2D_2 - \sqrt{3}B_3)(2\sqrt{3}D_1 + D_2)}{(6\sqrt{3}D_1 + 3D_2)}$$

ความลึกประสิทธิผล d หน่วย cm

$$L_f = \frac{d}{100} + 0.075 \text{ ความหนาฐานราก, เมตรควรจัดให้ลงท้ายด้วย 0 หรือ 5}$$

5. ตรวจสอบแรงต้านทานเฉลี่ยของเสาเข็ม P_a ว่ามากกว่ากำลัง P_c หรือไม่

$$W_f = 2400L_f \left(2\sqrt{3}D_1^2 + 3D_1D_2 + \frac{\sqrt{3}}{4}D_2^2 \right)$$

$$W_T = 1000P + W_f \text{ น้ำหนักรวม, kg}$$

$$P_a = \frac{1000P}{3} \text{ แรงต้านเสาเข็ม 1 ต้นเพื่อการคำนวณ}$$

6. หาแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ V_1 และตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ V_P

ตรวจสอบว่าหน้าตัดวิกฤตล้นขอบฐานรากหรือยัง (ห่างขอบ $\leq 0.075 \text{ m}$)

ถ้า $D_2 \geq \sqrt{3}(B_3 + d - 2D_1 + 0.15)$ แสดงว่าหน้าตัดวิกฤตยังคงอยู่ในขอบของฐานราก ให้คำนวณต่อไป

ถ้า $D_2 < \sqrt{3}(B_3 + d - 2D_1 + 0.15)$ แสดงว่าหน้าตัดวิกฤตล้นขอบของฐานรากหรือระยะหุ้มไม่พอ เพิ่มค่าของ $D_2 > \sqrt{3}(B_3 + d - 2D_1 + 0.15)$ โดยเลือกค่าที่ลงท้าย 0 หรือ 5

จากนั้นย้อนกลับไปทำจากข้อ 4 มาใหม่

เมื่อพบว่า $D_2 \geq \sqrt{3}(B_3 + d - 2D_1 + 0.15)$ ทหาระยะ X_1

$$X_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}D_2 - \frac{B_3}{2} - \frac{d}{2}$$

$$\text{ถ้า } X_1 < -\frac{D_p}{2} \quad \text{ให้ } V_1 = 0$$

$$\text{ถ้า } -\frac{D_p}{2} \leq X_1 \leq \frac{D_p}{2} \quad \text{ให้ } V_1 = 3P_a \left(\frac{X_1}{D_p} + \frac{1}{2} \right)$$

$$\text{ถ้า } X_1 > \frac{D_p}{2} \quad \text{ให้ } V_1 = 3P_a$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ} \quad V_p = \frac{V_1}{\pi d(B_3 + d)} \quad \text{หน่วย ksc}$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้} \quad V_{cp} = 0.53\sqrt{f'_c} \quad \text{หน่วย ksc}$$

ตรวจสอบพบว่า $V_p \leq V_{cp}$ แสดงว่าความหนาฐานรากเพียงพอในการรับแรงเฉือนแบบเจาะทะลุให้ข้ามไปขั้นตอนถัดไปได้

ตรวจสอบพบว่า $V_p \geq V_{cp}$ แสดงว่าความหนาของฐานรากน้อยไป ไม่สามารถรับแรงเฉือนแบบเจาะทะลุประมาณค่าใหม่ โดย

$$d = \frac{-B_3 \pm \sqrt{B_3^2 + 4K}}{2}$$

ประมาณความหนาฐานรากใหม่เป็น $L_f = d + 0.075$ เมตร โดยให้เป็นเลขลงท้าย 0 หรือ 5 แล้วย้อนหาค่า d ใหม่

$$d = L_f - 0.075 \quad \text{เมตร}$$

จากนั้นย้อนกลับไปทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4 มาใหม่

7.หาแรงเฉือนแบบคาน V_2 และตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนแบบคาน V_{b2}

$$\text{ระยะ } X_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}D_2 - \frac{B_3}{2} - d = \text{ศูนย์กลางเสาเข็มห่างจาก}$$

หน้าตัดวิกฤต, เมตร

$$\text{ถ้า } X_1 < -\frac{D_p}{2} \quad \text{ให้ } V_2 = 0$$

$$\text{ถ้า } -\frac{D_p}{2} \leq X_1 \leq \frac{D_p}{2} \quad \text{ให้ } V_2 = P_a \left(\frac{X_1}{D_p} + \frac{1}{2} \right)$$

$$\text{ถ้า } X_1 > \frac{D_p}{2} \quad \text{ให้ } V_2 = P_a$$

ความกว้างของหน้าตัดวิกฤต B_4

$$B_4 = \frac{(X_2 + 2D_1)(2\sqrt{3}D_1 + D_2)}{\left(3D_1 + \frac{\sqrt{3}}{2}D_2 \right)}$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนแบบคาน} \quad V_{b2} = \frac{V_2}{B_4 d}$$

$$\text{ถ้า } V_{b2} \leq V_{cb} = 0.29\sqrt{f'_c} \quad \text{ใช้ได้ ทำชั้นตอนถัดไปได้}$$

$$\text{ถ้า } V_{b2} > V_{cb} = 0.29\sqrt{f'_c} \quad \text{แสดงว่ารับแรงเฉือนแบบคาน}$$

ไม่ได้ดังนั้นต้อง เพิ่มความหนา

$$d = \frac{V_2}{B_4 V_{cb}} = \frac{V_2}{0.29\sqrt{f'_c} B_4}$$

$$L_f = d + 0.075$$

จากนั้นย้อนไปขั้นตอนที่ 4

8.หาปริมาณเหล็กเสริม

$$V_4 = P_a, \text{ kg}$$

$$M_4 = V_4 \left(\frac{1}{\sqrt{3}}D_2 - \frac{B_3}{2} \right), \text{ kg.m}$$

$$A_{s4} = \frac{M_4}{f_s j d}$$

เลือกขนาดเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง D_s มิลลิเมตร

$$A_{s1} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D_s}{10} \right)^2, \text{ cm}^2$$

$$\sum O_1 = \pi \left(\frac{D_s}{10} \right), \text{ cm}$$

ในกรณีที่ $d \leq 30$ cm หาหน่วยแรงยึดเหนี่ยว u ได้ดังนี้

$$u = 11.45 \frac{\sqrt{f'_c}}{D_s} \leq 11 \text{ ksc} \quad \text{สำหรับเหล็กผิวเรียบ SR-24}$$

$$u = 22.9 \frac{\sqrt{f'_c}}{D_s} \leq 25 \text{ ksc} \quad \text{สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD-30, SD-40}$$

ในกรณีที่ $d \geq 30$ cm หาหน่วยแรงยึดเหนี่ยว u ได้ดังนี้

$$u = 16.15 \frac{\sqrt{f'_c}}{D_s} \leq 11 \text{ ksc} \quad \text{สำหรับเหล็กผิวเรียบ SR-24}$$

$$u = 32.3 \frac{\sqrt{f'_c}}{D_s} \leq 35 \text{ ksc} \quad \text{สำหรับเหล็กข้ออ้อย SD-30, SD-40}$$

หาเส้นรอบรูปที่ต้องการ

$$\sum O_4 = \frac{V_4}{ujd}, \text{ cm}$$

หาจำนวนเส้นที่ต้องการ

$$n_{41} = \frac{A_{s4}}{A_{s1}} \text{ ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม} = \text{จำนวนเส้นจากผลของโมเมนต์ดัด}$$

$$n_{42} = \frac{\sum O_4}{\sum O_1} \text{ ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม} = \text{จำนวนเส้นจากผลของแรงเฉือน}$$

จำนวนเส้นที่ใช้ n_4 คือค่ามากกว่าระหว่าง n_{41} และ n_{42} แล้วจัดหลักเป็น

n_4 - # ระบุขนาดเหล็ก แผ่นเป็นรูปพัด

9.เขียนรายละเอียดฐานราก

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ออกแบบระบบพื้น

4.1.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

4.1.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

4.1.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

4.2 ออกแบบระบบคาน

4.2.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

4.2.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

4.2.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

4.3 ออกแบบเสา

4.3.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

4.3.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

4.3.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

4.4 ออกแบบฐานราก

4.4.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

4.4.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

4.4.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

4.5 หาปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ

4.5.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

4.5.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

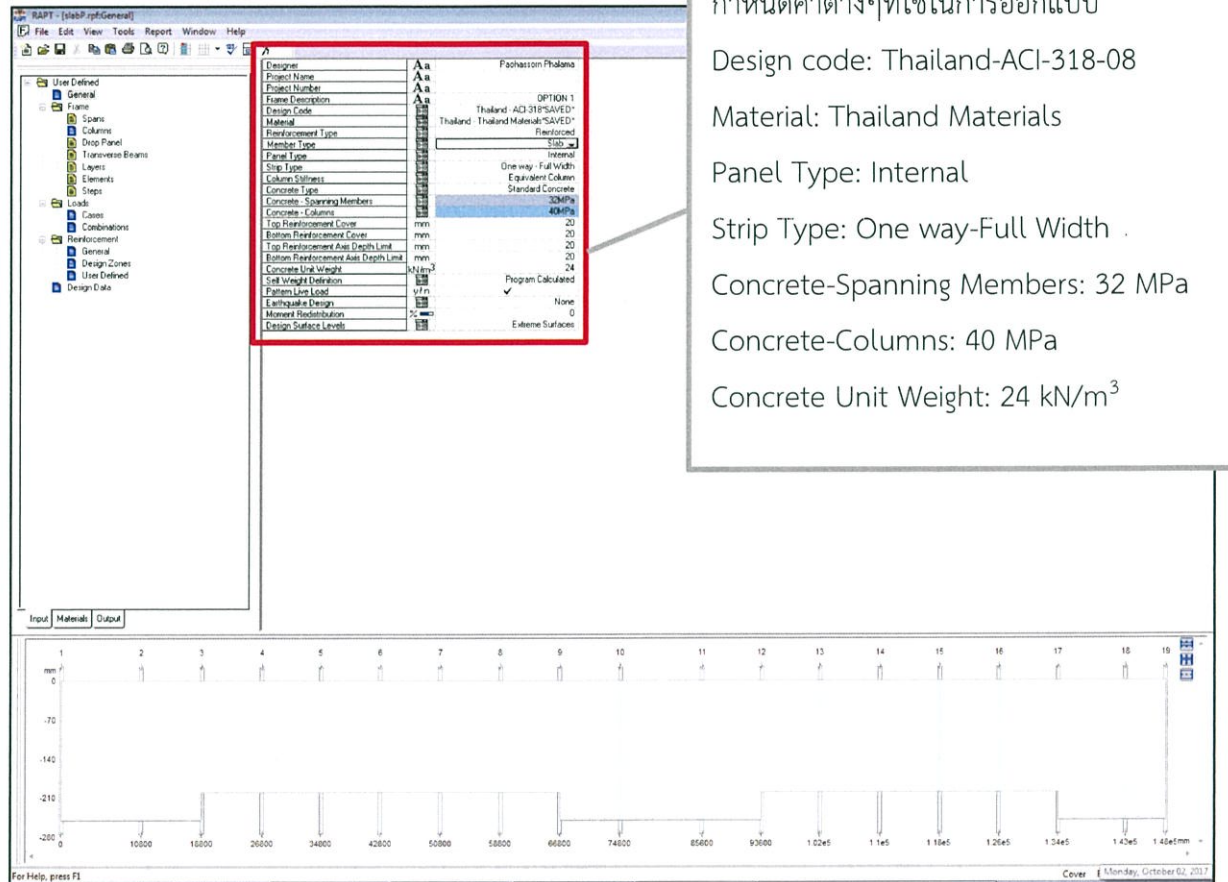
4.5.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

4.5.4 Option 4 พื้นไร้คาน (Post Tension slab)

4.1 ออกแบบระบบพื้น

4.1.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

โดยใช้โปรแกรม RAPT6.5



กำหนดค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ

Design code: Thailand-ACI-318-08

Material: Thailand Materials

Panel Type: Internal

Strip Type: One way-Full Width

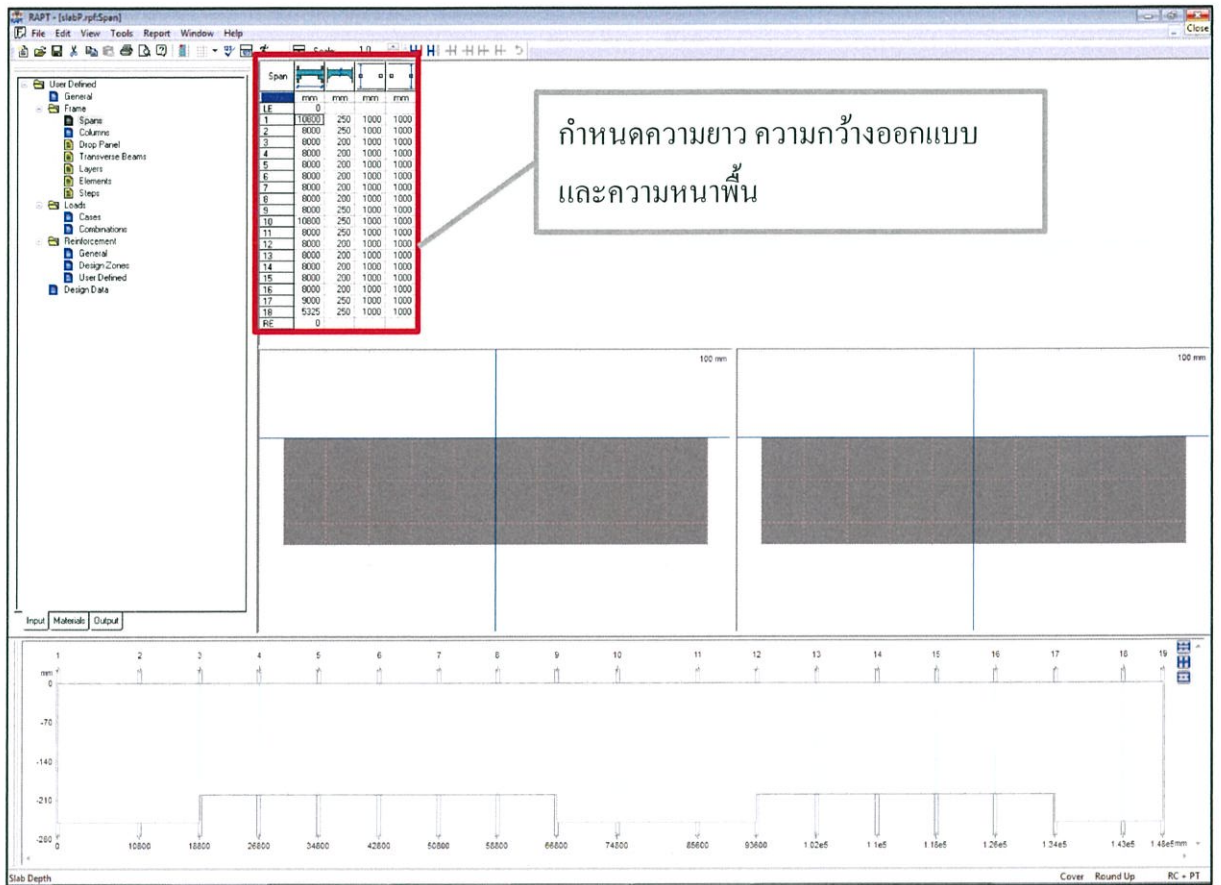
Concrete-Spanning Members: 32 MPa

Concrete-Columns: 40 MPa

Concrete Unit Weight: 24 kN/m³

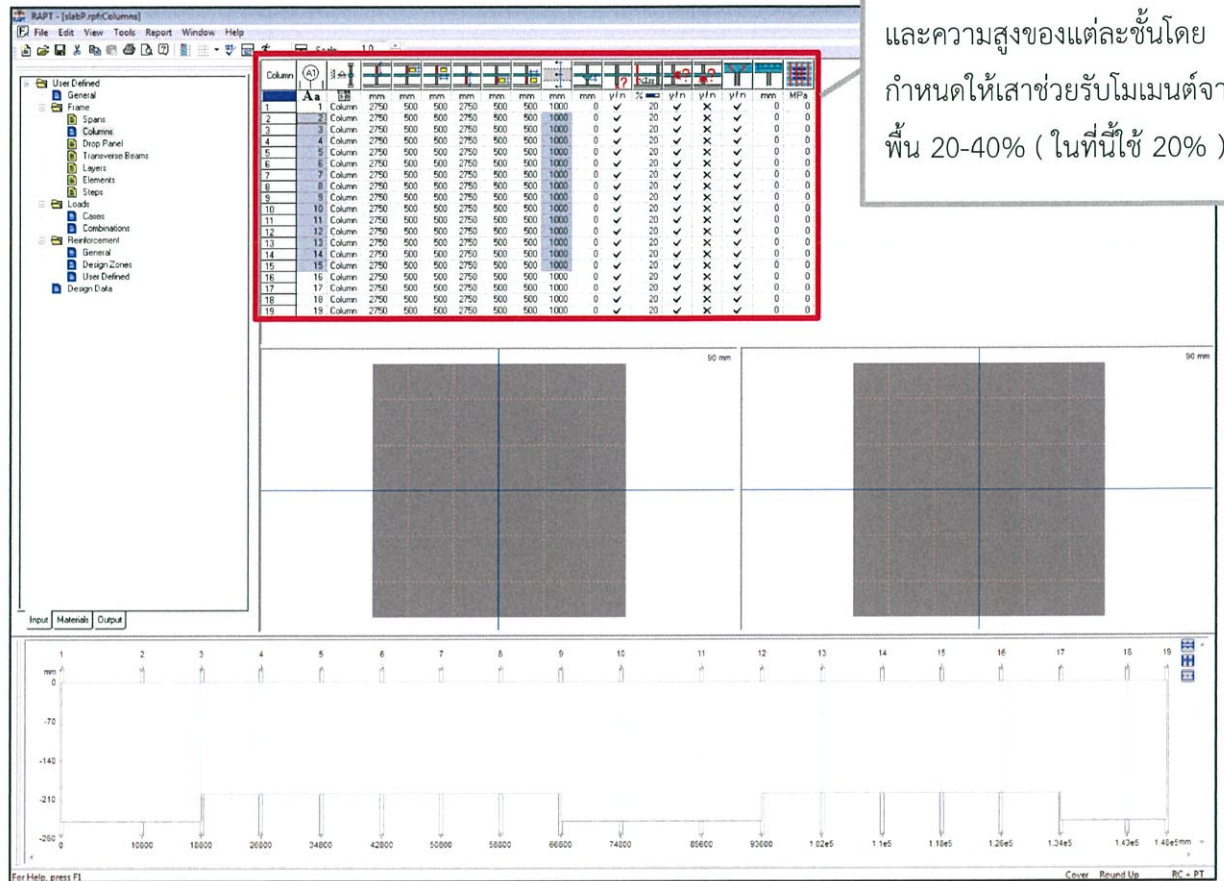
Property	Value
Designer	Pachasorn Pholana
Project Name	
Project Number	
Frame Description	
Design Code	Thailand-ACI-318-08
Material	Thailand-Thai Materials
Reinforcement Type	Reinforced
Member Type	Slab
Panel Type	Internal
Strip Type	One way - Full Width
Column Strength	Equivalent Column
Concrete Type	Standard Concrete
Concrete - Spanning Members	32 MPa
Concrete - Columns	40 MPa
Top Reinforcement Cover	20 mm
Bottom Reinforcement Cover	20 mm
Top Reinforcement Max Depth Limit	20 mm
Bottom Reinforcement Max Depth Limit	20 mm
Concrete Unit Weight	24 kN/m ³
Self Weight Distribution	Program Calculated
Pattern Live Load	None
Earthquake Design	None
Member Redistribution	0
Design Surface Levels	Extreme Surfaces

รูปที่ 4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

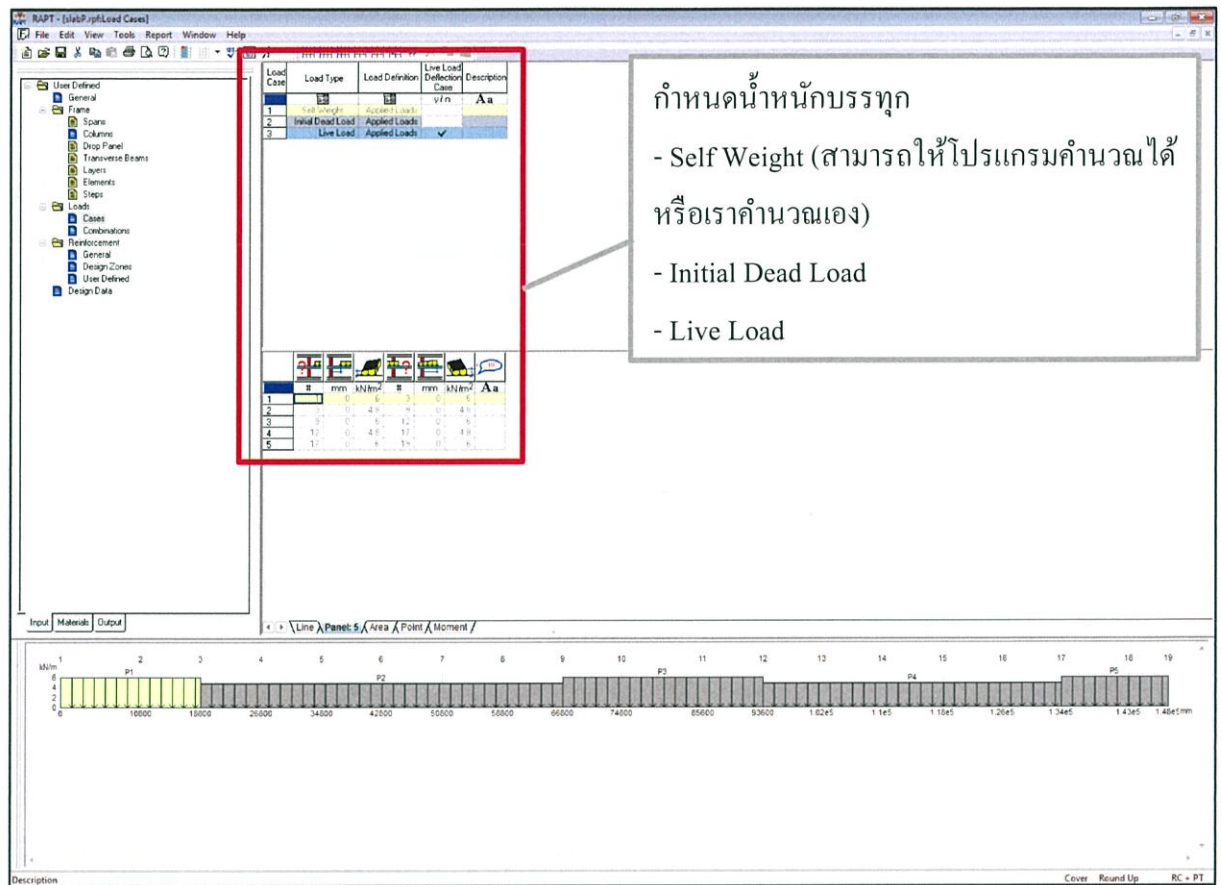


รูปที่ 4.2 การกำหนดความยาว Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

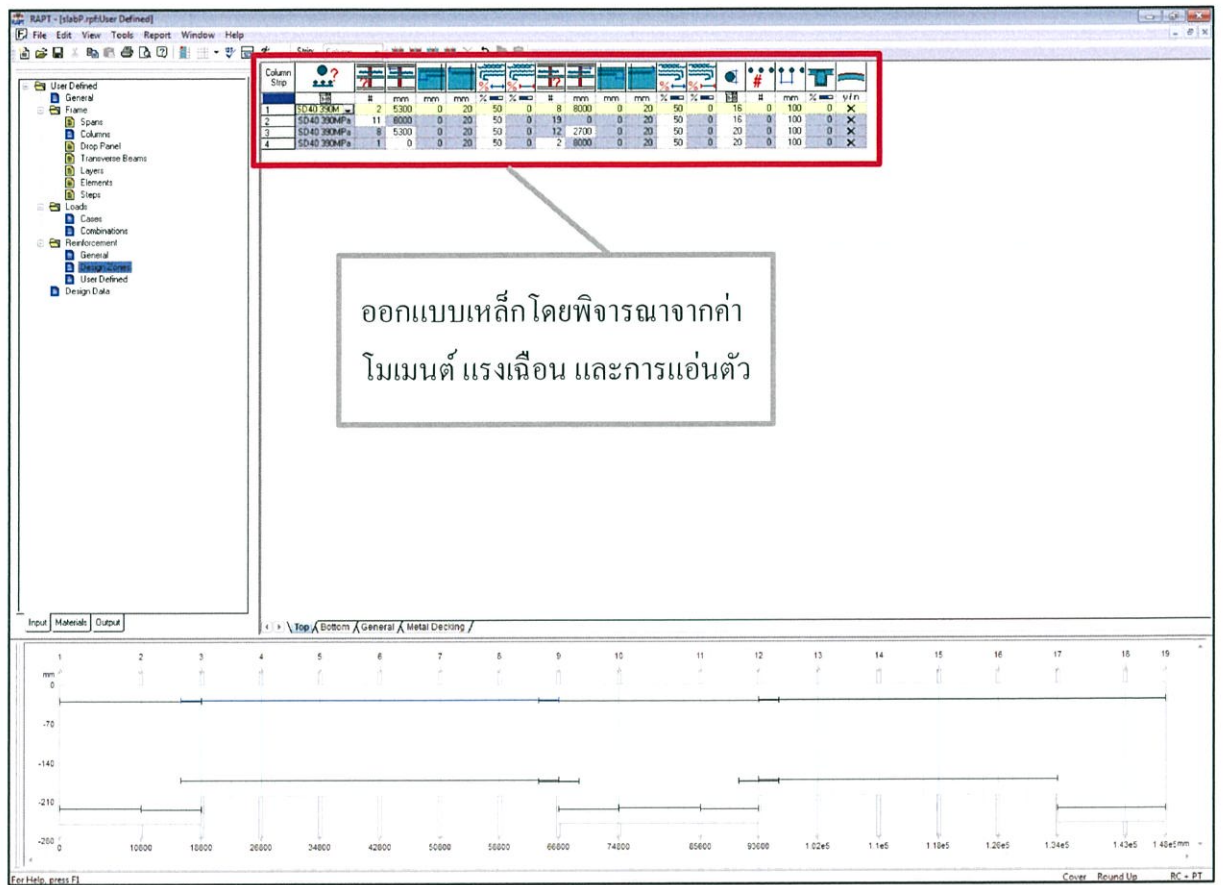
สมมติขนาดเสาจากแบบสถาปัตย์
และความสูงของแต่ละชั้นโดย
กำหนดให้เสาช่วยรับโมเมนต์จาก
พื้น 20-40% (ในที่นี้ใช้ 20%)



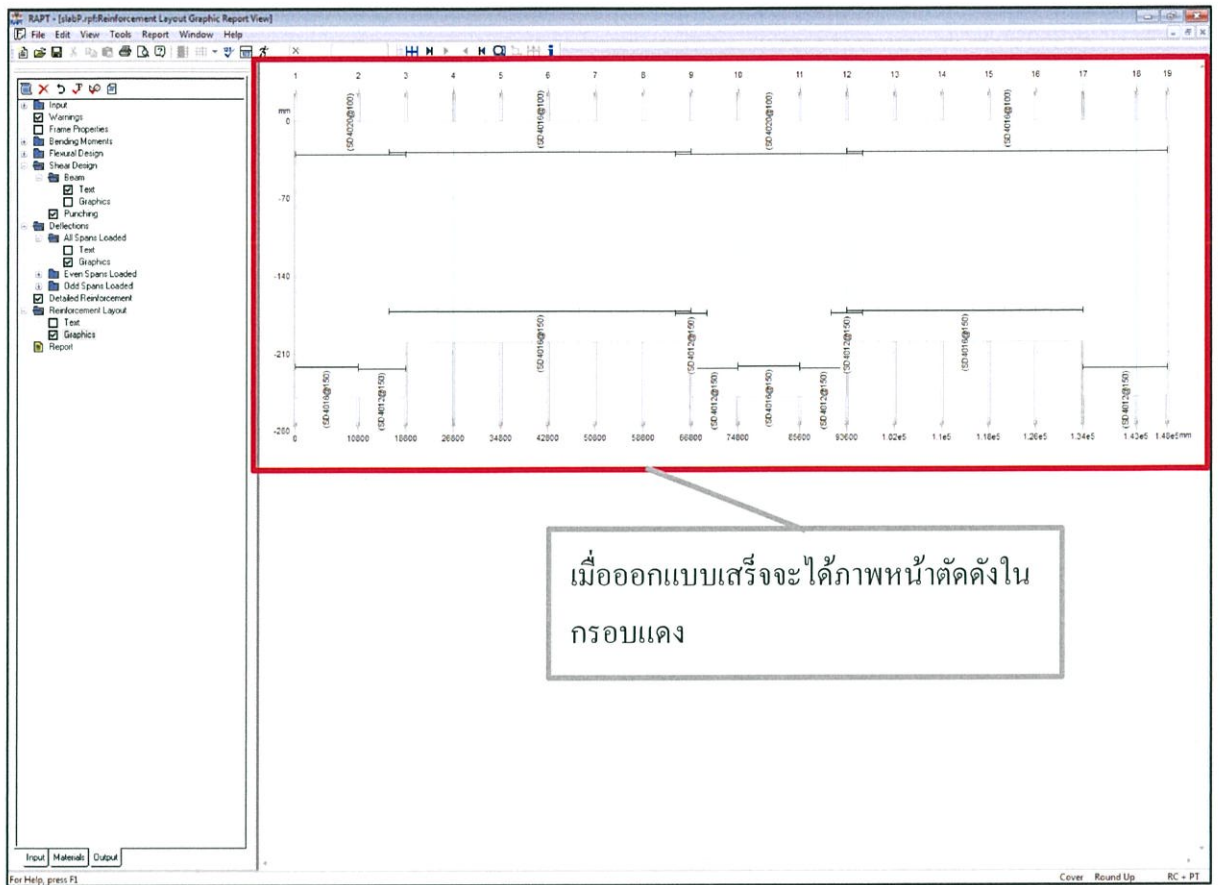
รูปที่ 4.3 การกำหนดเสา Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



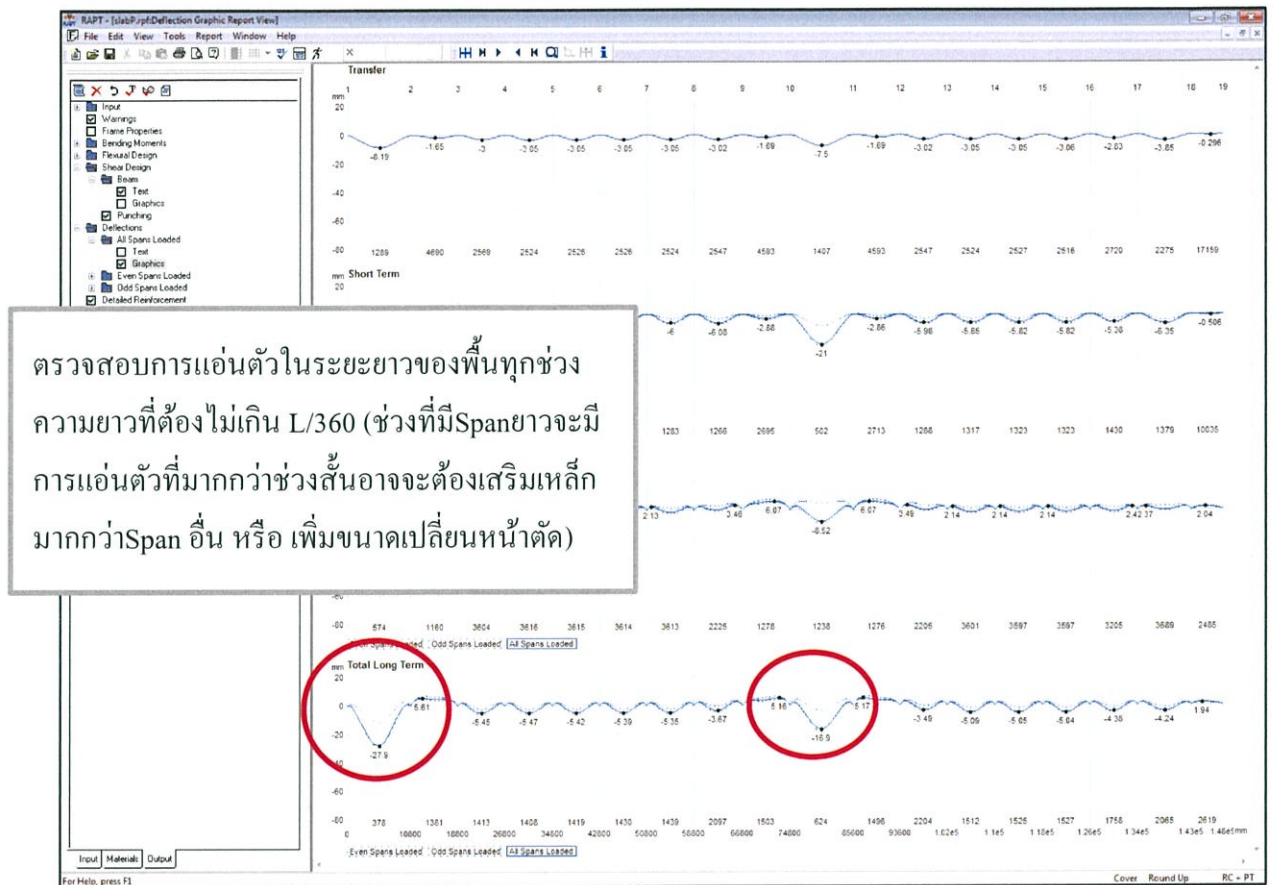
รูปที่ 4.4 การกำหนดน้ำหนักบรรทุก Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



รูปที่ 4.5 การกำหนดเหล็กเสริม Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



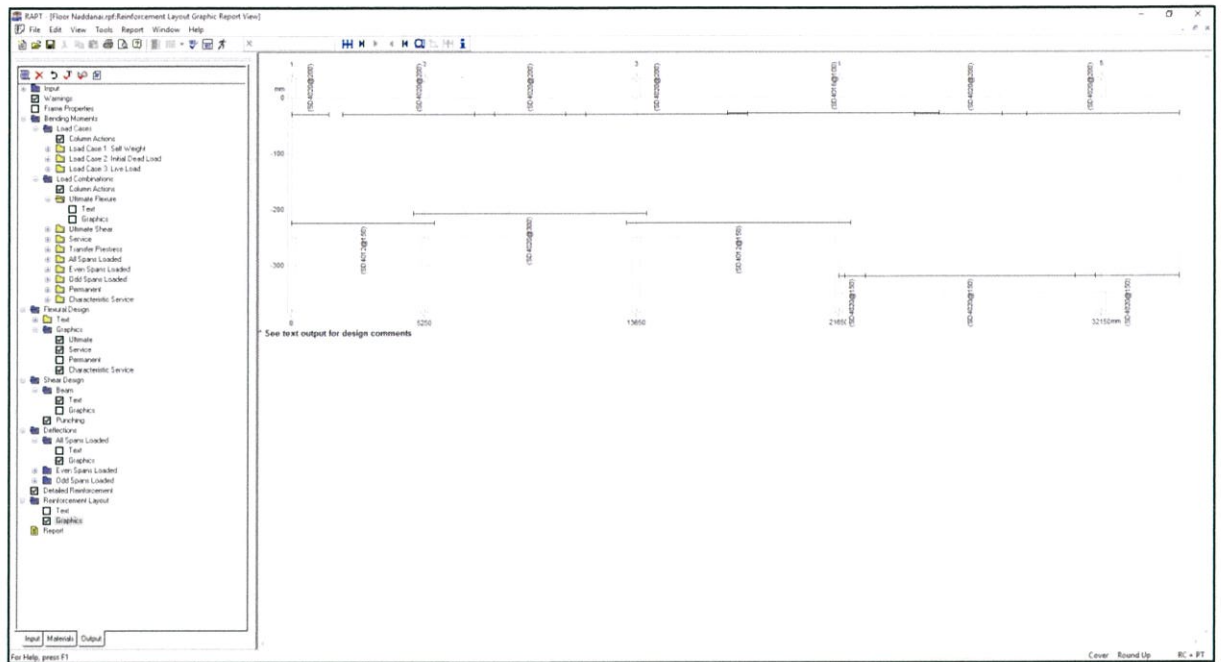
รูปที่ 4.6 หน้าตัด Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



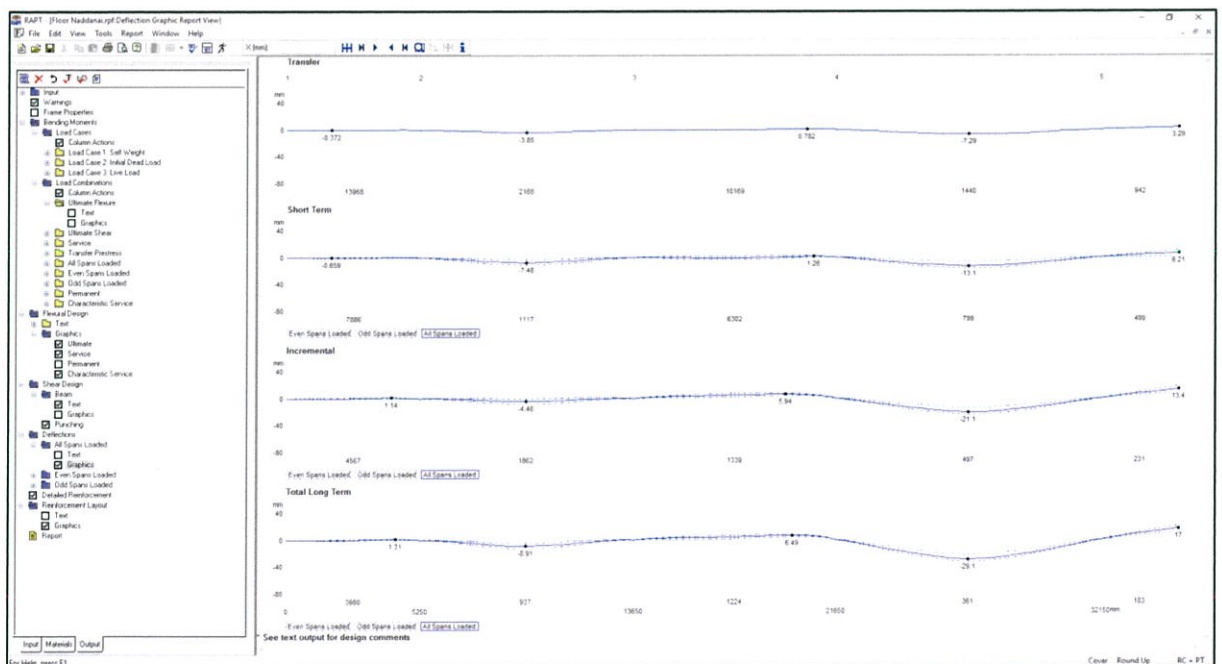
รูปที่ 4.7 การแอ่นตัวของ Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

จากการออกแบบ Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)
มีปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีต เท่ากับ 167.9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.1.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)



รูปที่ 4.8 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)



รูปที่ 4.9 การแอ่นตัว Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

จากการออกแบบ Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)
มีปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีต เท่ากับ 86.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.1.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

8.0m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 1

Negative Moment at continuous edge

Mu (kNm/m)	Dia. (mm)	Spacing (mm)	p	φMn (kNm/m)		
Ca.neg 0.076	Ma.neg 84.1	25	200	0.0136	12.12	OK
Cb.neg 0.016	Mb.neg 28.6	20	200	0.0087	8.00	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 13.2	12	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 7.3	12	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.030	Ma.pos 39.5	16	200	0.0056	55.7	OK
Ca.1 0.044	Ma.pos 20.6	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.009	Mb.pos 21.0	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.1 0.015	Mb.pos 30.5	16	200	0.0056	55.7	OK

Shear & Load on support

Wa 0.843 Va = 55.3 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.157 Vb = 13.2

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

8.0m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 1

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.078	Ma.neg 78.5	20	200	0.0087	83.0	OK
Cb.neg 0.013	Mb.neg 24.6	18	200	0.0056	43.5	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 12.7	12	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 8.7	12	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.047	Ma.pos 38.0	16	200	0.0056	55.7	OK
Ca.1 0.007	Mb.pos 17.0	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.013	Mb.pos 17.0	16	200	0.0056	48.8	OK

Shear & Load on support

Wa 0.858 Va = 54.1 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.134 Vb = 11.3

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

8.0m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 1

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.083	Ma.neg 108.9	25	200	0.0136	12.12	OK
Cb.neg 0.031	Mb.neg 56.1	25	200	0.0136	8.77	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 15.4	12	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 13.2	12	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.024	Ma.pos 48.2	16	200	0.0056	55.7	OK
Ca.1 0.031	Ma.pos 30.7	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.018	Mb.pos 30.7	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.1 0.026	Mb.pos 46.2	16	200	0.0056	55.7	OK

Shear & Load on support

Wa 0.892 Va = 68.8 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.308 Vb = 28.0

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

8.0m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 2

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.073	Ma.neg 31.6	16	200	0.0056	55.7	OK
Cb.neg 0.025	Mb.neg 24.6	16	200	0.0056	48.8	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 7.3	12	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 3.4	12	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.044	Ma.pos 21.5	12	200	0.0031	32.6	OK
Ca.1 0.058	Ma.pos 10.2	12	200	0.0031	28.3	OK
Cb.p 0.009	Mb.pos 10.2	12	200	0.0031	28.3	OK
Cb.1 0.011	Mb.pos 10.2	12	200	0.0031	28.3	OK

Shear & Load on support

Wa 0.733 Va = 30.0 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.268 Vb = 16.7

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

8.0m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 2

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.050	Ma.neg 42.7	20	200	0.0087	68.1	OK
Cb.neg 0.041	Mb.neg 45.4	18	200	0.0056	55.7	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 20.0	300	0.0056	55.6	OK
Mb.neg 19.0	300	0.0056	44.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.020	Ma.pos 42.7	18	200	0.0056	48.8	OK
Ca.1 0.030	Ma.pos 24.2	18	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.016	Mb.pos 22.1	18	200	0.0056	55.7	OK
Cb.1 0.026	Mb.pos 22.1	18	200	0.0056	55.7	OK

Shear & Load on support

Wa 0.648 Va = 34.2 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.462 Vb = 29.7

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

8.0m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 2

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.046	Ma.neg 45.0	16	200	0.0056	55.7	OK
Cb.neg 0.046	Mb.neg 45.0	16	200	0.0056	48.8	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 12.0	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 11.0	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.018	Ma.pos 21.9	16	200	0.0056	55.7	OK
Ca.1 0.027	Ma.pos 21.9	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.027	Mb.pos 21.9	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.1 0.027	Mb.pos 21.9	16	200	0.0056	48.8	OK

Shear & Load on support

Wa 0.600 Va = 31.2 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.500 Vb = 31.2

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

10.5m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 2

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.068	Ma.neg 58.8	25	200	0.0136	83.0	OK
Cb.neg 0.023	Mb.neg 39.8	20	200	0.0087	83.0	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 20.0	300	0.0056	55.6	OK
Mb.neg 20.0	300	0.0056	44.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.028	Ma.pos 34.7	16	200	0.0056	48.8	OK
Ca.1 0.044	Ma.pos 20.2	16	200	0.0056	55.7	OK
Cb.p 0.009	Mb.pos 20.2	16	200	0.0056	55.7	OK
Cb.1 0.016	Mb.pos 20.2	16	200	0.0056	55.7	OK

Shear & Load on support

Wa 0.748 Va = 46.7 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.252 Vb = 20.7

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

10.5m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 2

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.067	Ma.neg 73.6	20	200	0.0087	83.0	OK
Cb.neg 0.025	Mb.neg 46.1	20	200	0.0087	83.0	OK

Negative Moment at discontinuous edge

Ma.neg 12.0	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 12.0	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.027	Ma.pos 37.3	16	200	0.0056	55.7	OK
Ca.1 0.043	Ma.pos 22.8	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.016	Mb.pos 22.8	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.1 0.016	Mb.pos 22.8	16	200	0.0056	48.8	OK

Shear & Load on support

Wa 0.732 Va = 48.0 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.268 Vb = 22.6

áurecon CALCULATIONS

Two Way Slab - Ultimate Strength Design : (ACI 318-1992)

13S12

10.5m x 8.0m

Thickness: 200 mm
Cover: 20 mm
LL: 4 MPa
Imp DL: 1.5 MPa
1.4CL: 8.8 MPa
1.7LL: 8.8 MPa
Wu: 15.6 MPa

Case 2

Negative Moment at continuous edge

Ca.neg 0.070	Ma.neg 69.6	20	200	0.0087	83.0	OK
Cb.neg 0.021	Mb.neg 38.4	16	200	0.0056	43.5	OK

Negative Moment at discontinuous edge

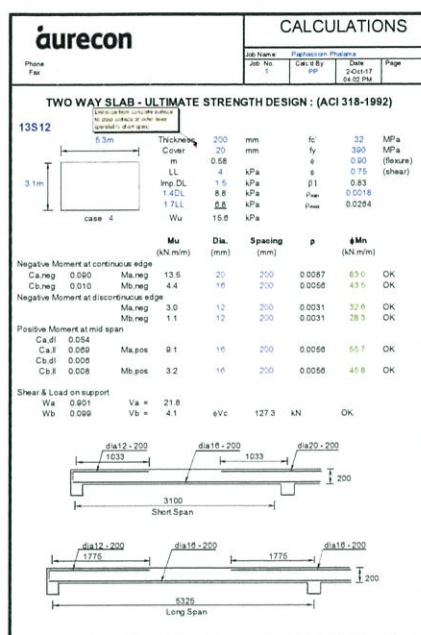
Ma.neg 12.0	300	0.0021	21.9	OK
Mb.neg 12.0	300	0.0021	19.0	OK

Positive Moment at mid span

Ca.p 0.028	Ma.pos 36.9	16	200	0.0056	55.7	OK
Ca.1 0.046	Ma.pos 20.7	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.p 0.009	Mb.pos 20.7	16	200	0.0056	48.8	OK
Cb.1 0.014	Mb.pos 20.7	16	200	0.0056	48.8	OK

Shear & Load on support

Wa 0.769 Va = 48.1 6vvc 127.3 kN OK
Wb 0.231 Vb = 19.5

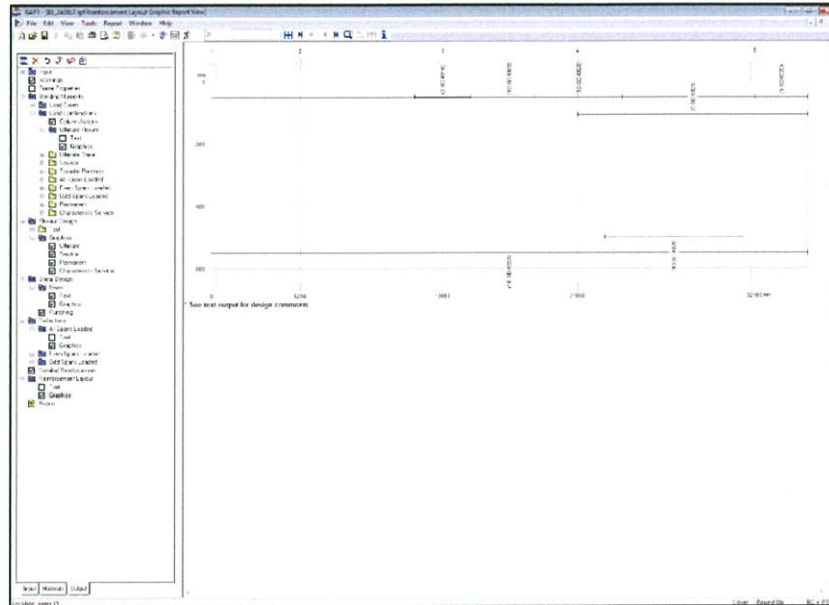


รูปที่ 4.10 การออกแบบ Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

จากการออกแบบโดยวิธีกำลังตามมาตรฐานของ ACI สามารถสรุปได้เป็น
 พื้นสองทางตลอดช่วงความยาวพื้นมีความหนา 200 มิลลิเมตร โดยตลอดทั้งแผ่นพื้น
 มีปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีตเท่ากับ 144.31 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

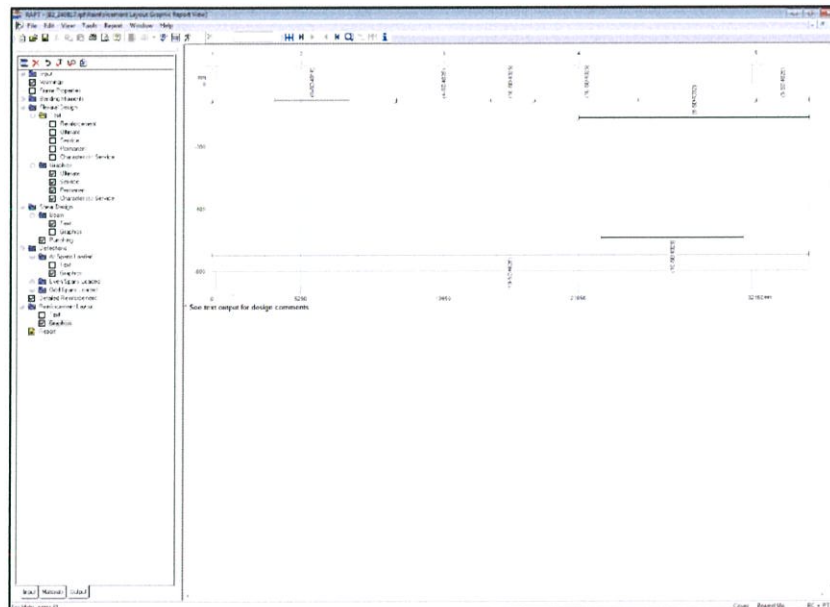
4.2 ออกแบบระบบคาน

4.2.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



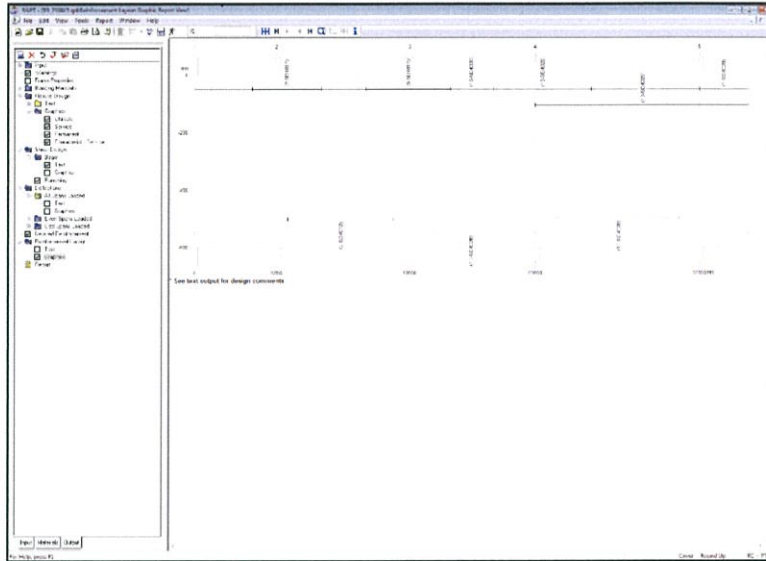
รูปที่ 4.11 คาน B1 Option 1

B1 ขนาด 600x1000 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 152.68 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



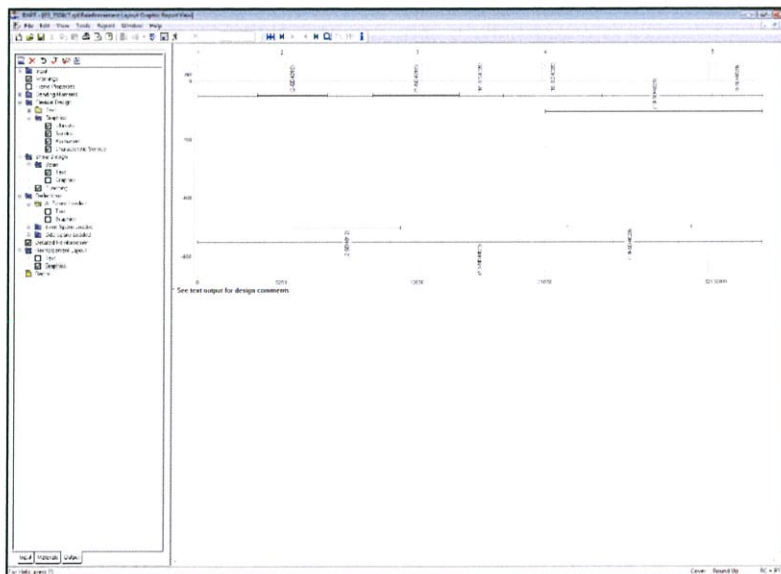
รูปที่ 4.12 คาน B2 Option 1

B2 ขนาด 600x1000 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 220.16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



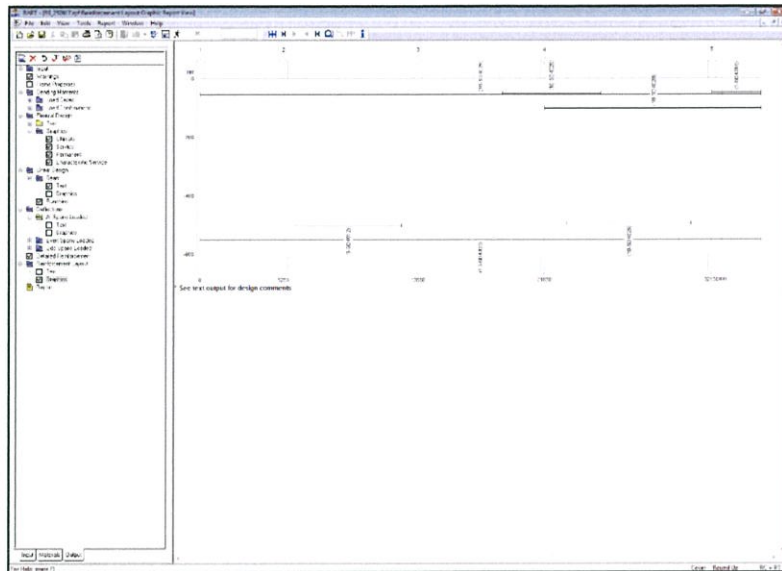
รูปที่ 4.13 คาน B3 Option 1

B3 ขนาด 600x1000 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 156.28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



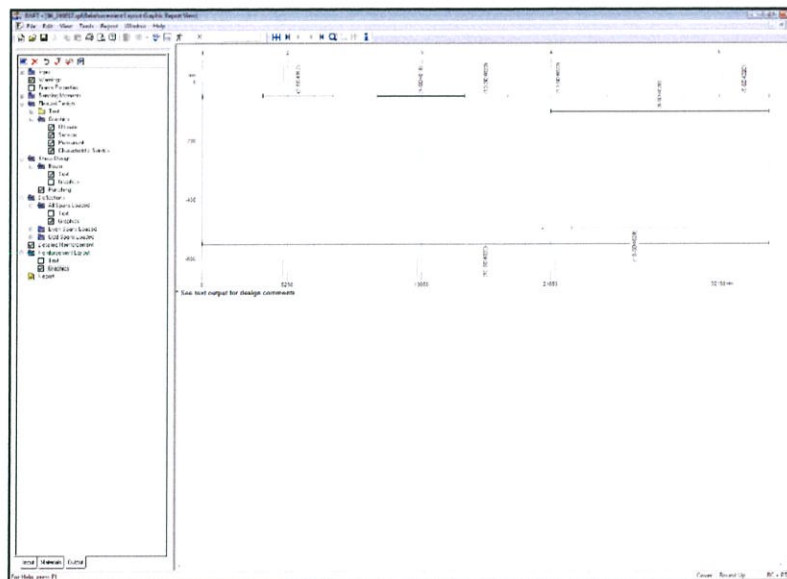
รูปที่ 4.14 คาน B4 Option 1

B4 ขนาด 600x1000 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 172.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



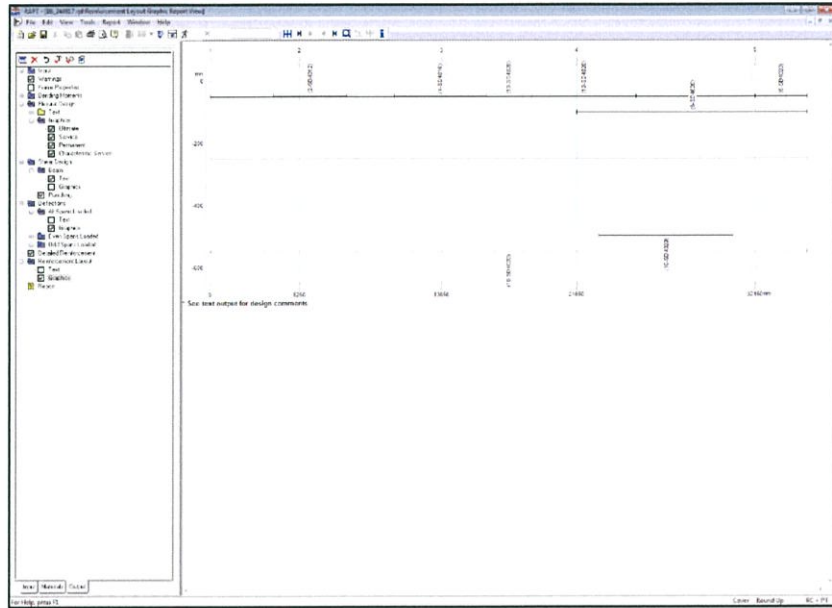
รูปที่ 4.15 คาน B5 Option 1

B5 ขนาด 600x1000 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 188.96 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.16 คาน B6 Option 1

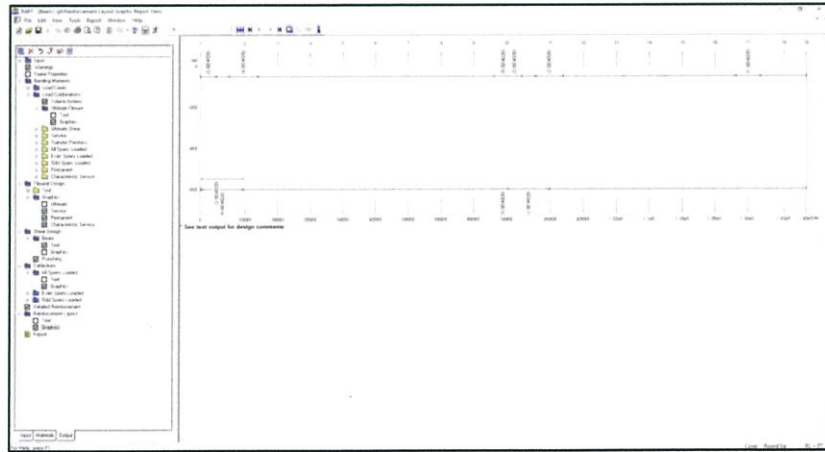
B6 ขนาด 600x1000 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 140.51 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.17 คาน B7 Option 1

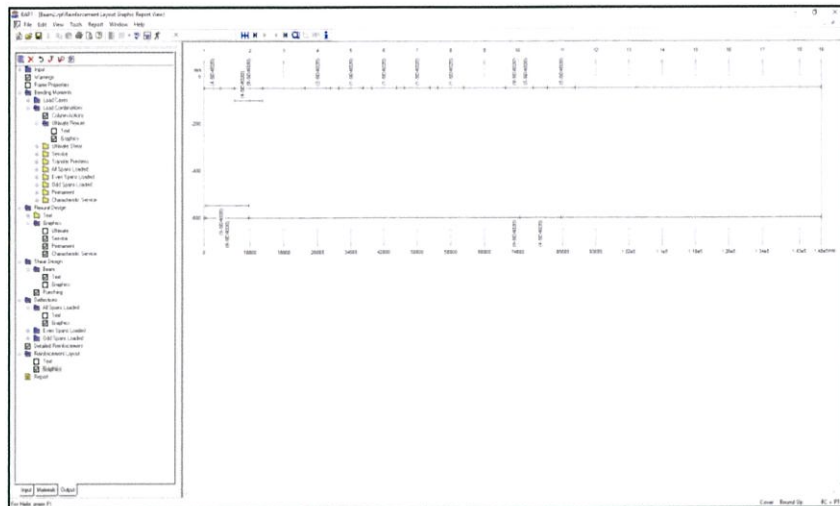
B7 ขนาด 500x850 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 124.28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)



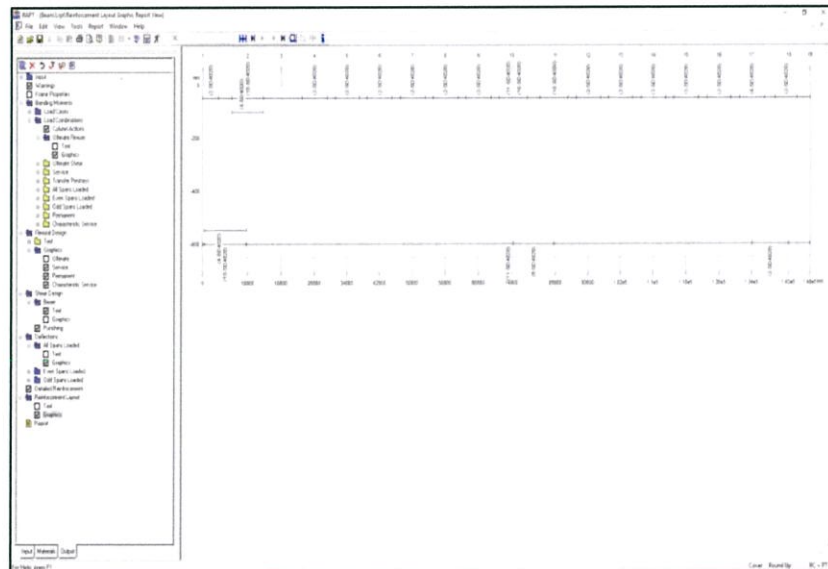
รูปที่ 4.18 คาน B1 Option 2

B1 ขนาด 500x650 mm มีปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 106.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



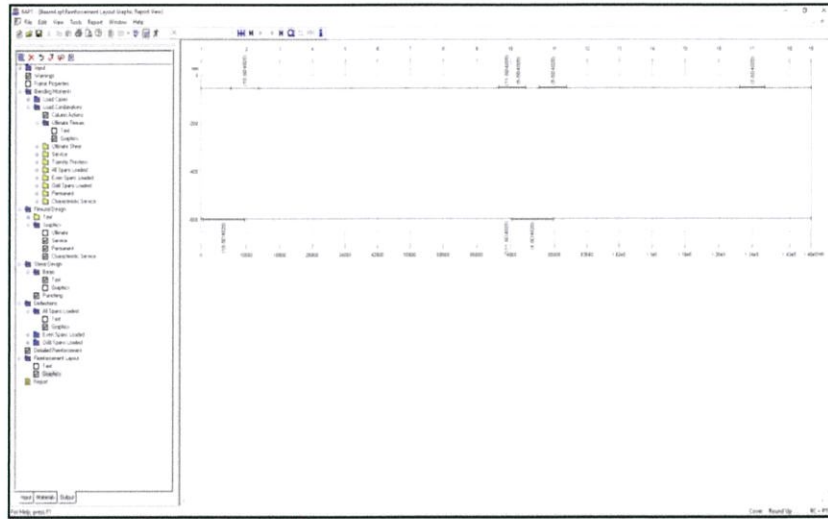
รูปที่ 4.19 คาน B2 Option 2

B2 ขนาด 1300x650 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 91.26 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



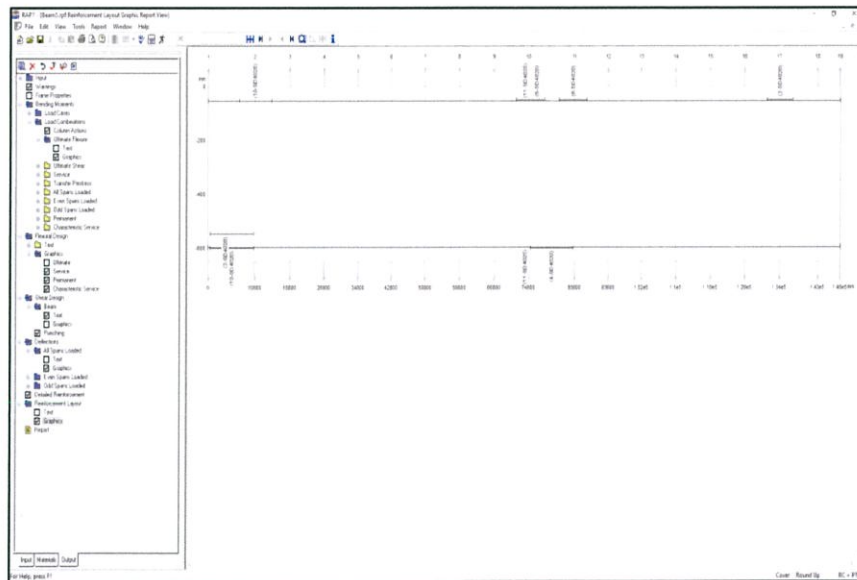
รูปที่ 4.20 คาน B3 Option 2

B3 ขนาด 650x1300 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 107.38 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



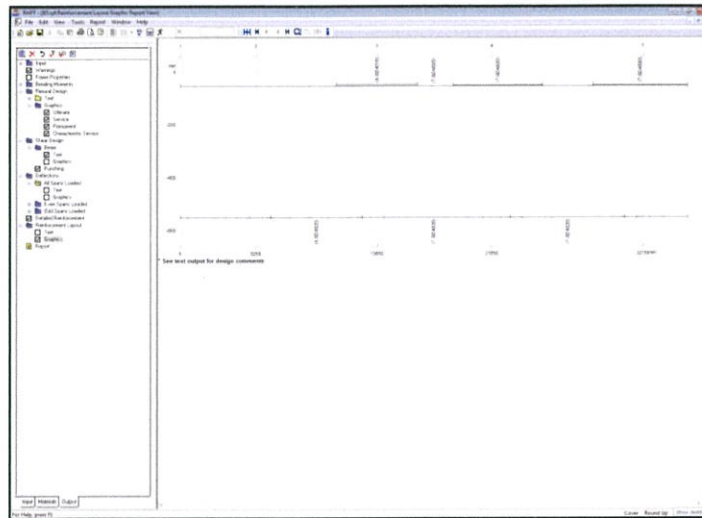
รูปที่ 4.21 คาน B4 Option 2

B4 ขนาด 1400x650 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 131.74 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



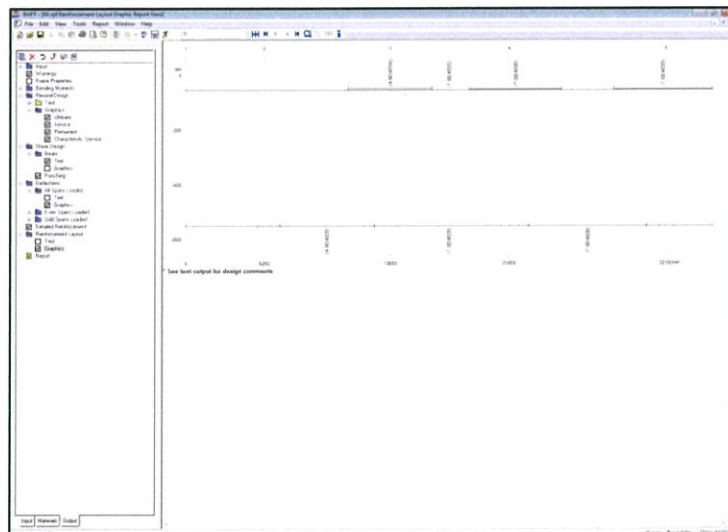
รูปที่ 4.22 คาน B5 Option 2

B5 ขนาด 1400x650 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 139.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



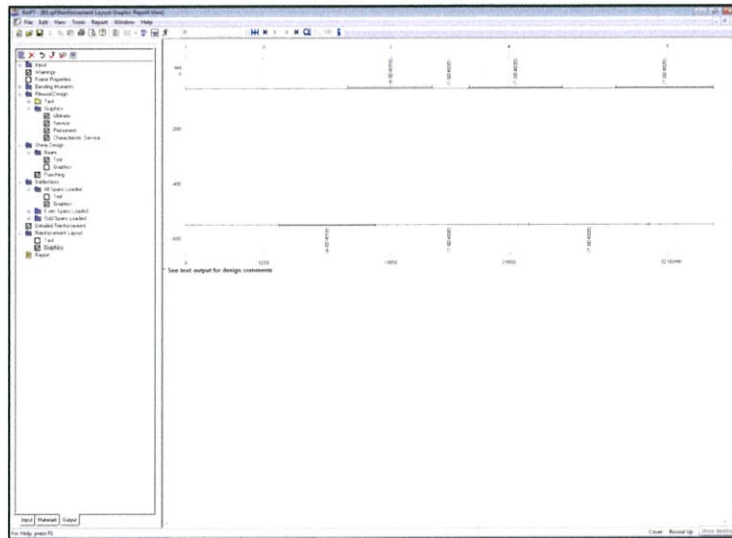
รูปที่ 4.25 คาน B3 Option 3

B3 ขนาด 600x700 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 167.72 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



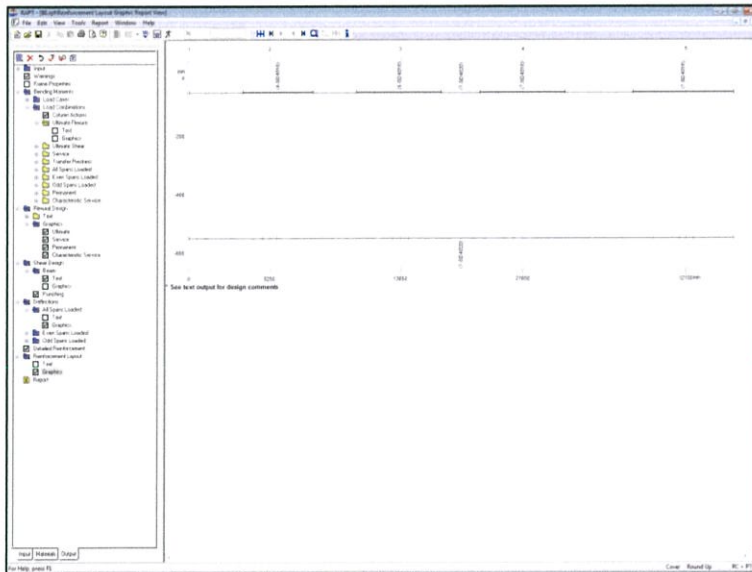
รูปที่ 4.26 คาน B4 Option 3

B4 ขนาด 600x700 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 143.75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



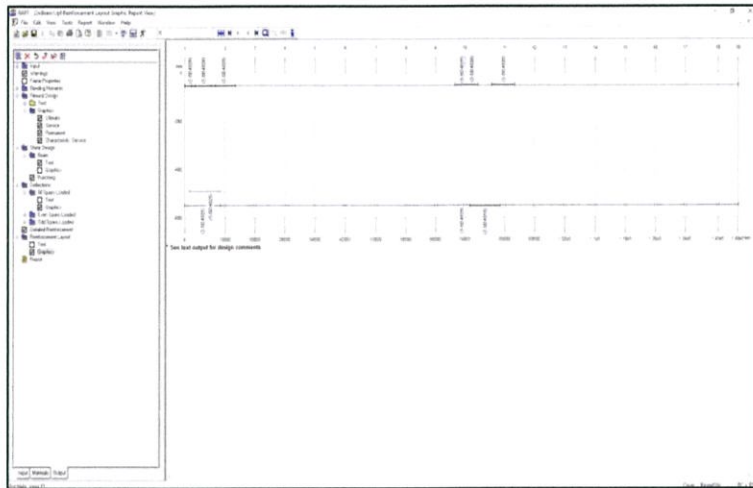
รูปที่ 4.27 คาน B5 Option 3

B5 ขนาด 600x700 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 166.19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



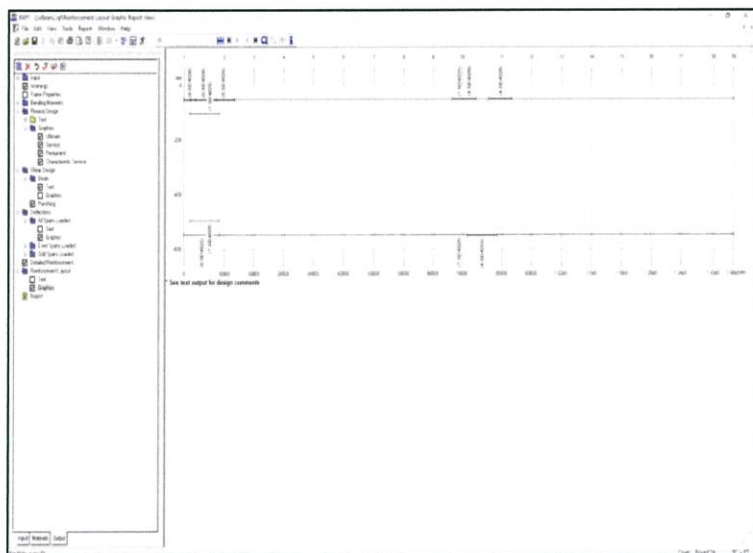
รูปที่ 4.28 คาน B6 Option 3

B6 ขนาด 600x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 148.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



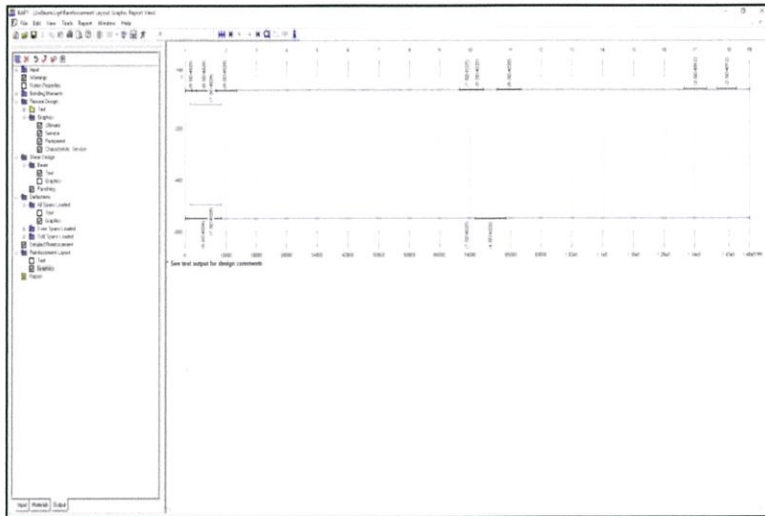
รูปที่ 4.29 คาน B7 Option 3

B7 ขนาด 500x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 149.61 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



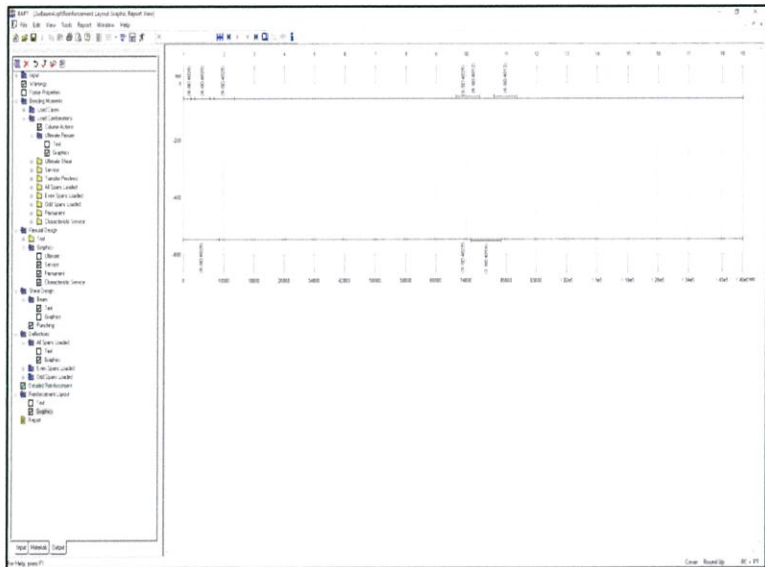
รูปที่ 4.30 คาน B8 Option 3

B8 ขนาด 900x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 165.34 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



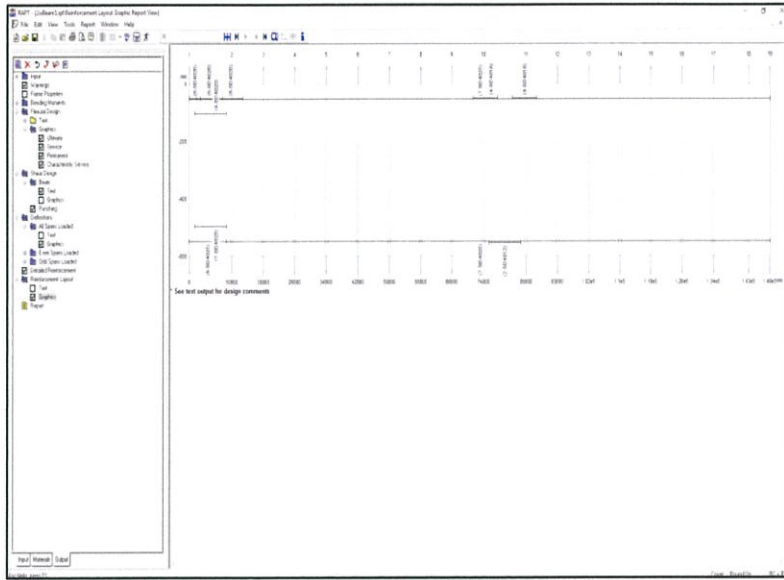
รูปที่ 4.31 คาน B9 Option 3

B9 ขนาด 900x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 180.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



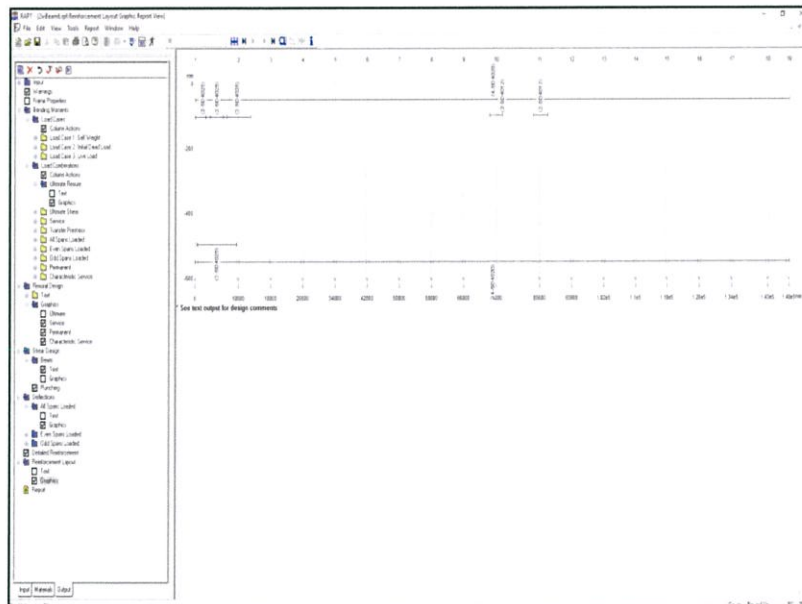
รูปที่ 4.32 คาน B10 Option 3

B10 ขนาด 1200x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 144.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.33 คาน B11 Option 3

B11 ขนาด 900x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 150.68 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.34 คาน B12 Option 3

B12 ขนาด 300x600 mm ปริมาณเหล็กต่อคอนกรีตเท่ากับ 189.57 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.3 ออกแบบเสา

4.3.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

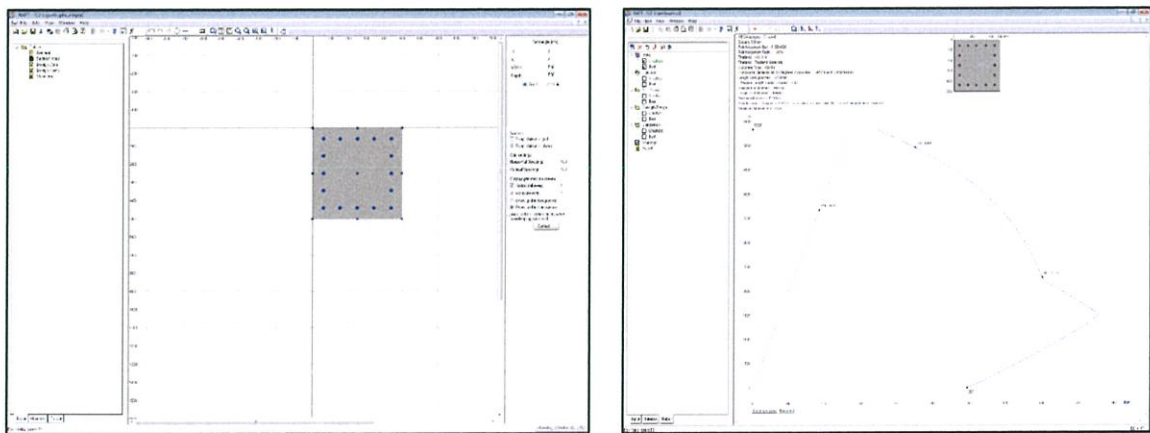
L1-L3

Grid	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
CA	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CB	C2	C5	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C5	C5	C2	C2	C2	C2	C2	C5	C2	C1
CC	C2	C3	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C3	C3	C5	C5	C5	C5	C5	C3	C5	C1
CD	C2	C4	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C4	C4	C3	C3	C3	C3	C3	C4	C3	C1
CF	C2	C3	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C3	C3	C5	C5	C5	C5	C5	C2	C5	C1

L4-L6

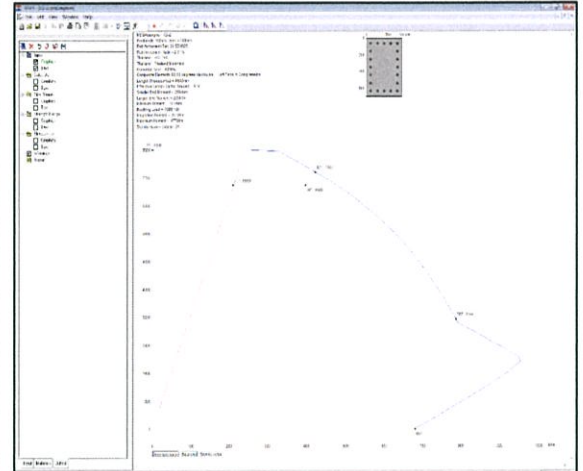
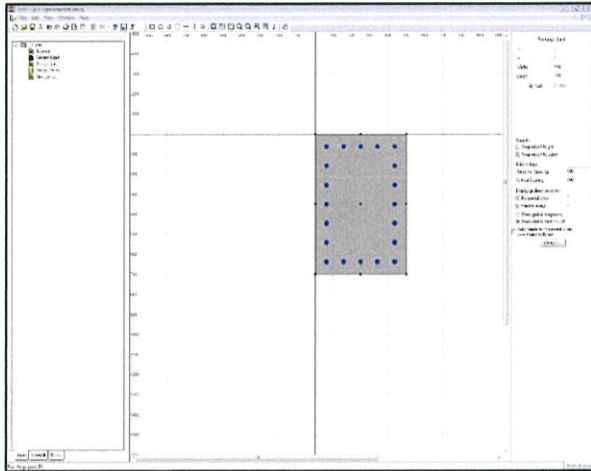
Grid	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
CA	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CB	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CC	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CD	C2	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CF	C2	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1

รูปที่ 4.35 ตำแหน่งเสา Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)



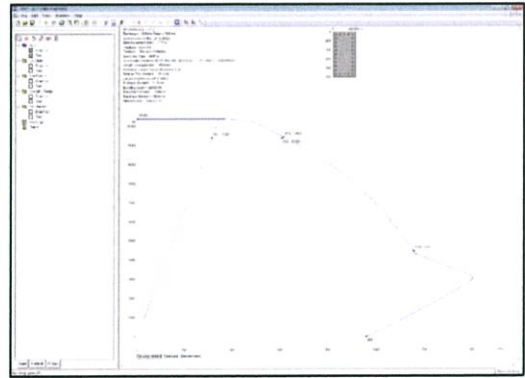
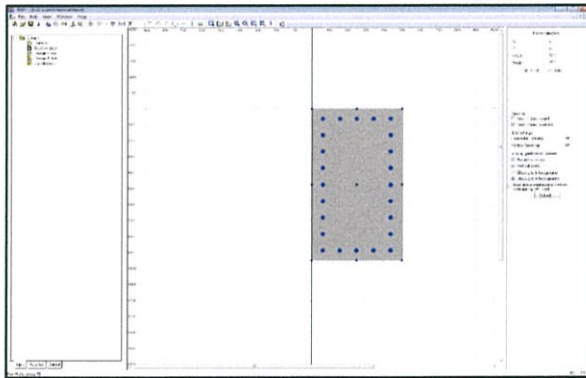
รูปที่ 4.36 เสา C1 (L1-L6) Option 1

C1 (L1-L6) 16DB20 500x500 mm



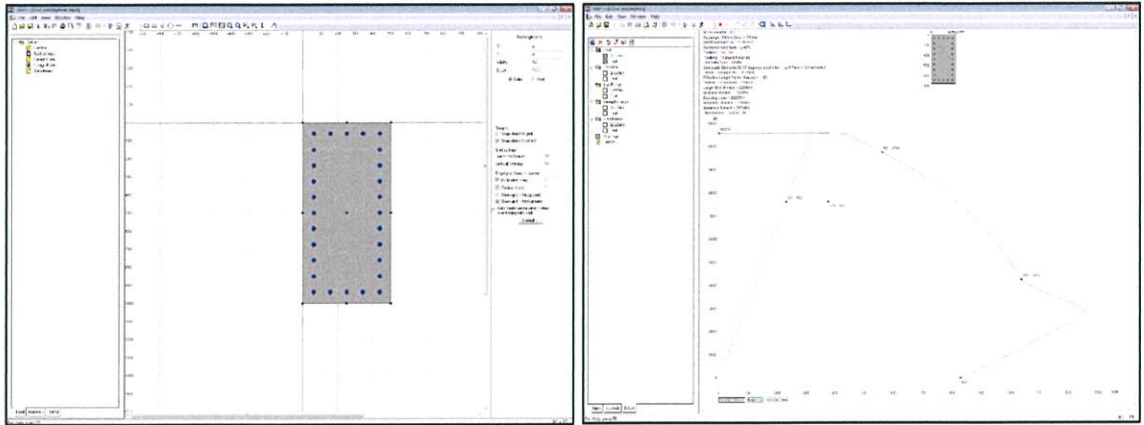
รูปที่ 4.37 เสา C2 (L1-L3) Option 1

C2 (L1-L3) 20DB25 500x700 mm

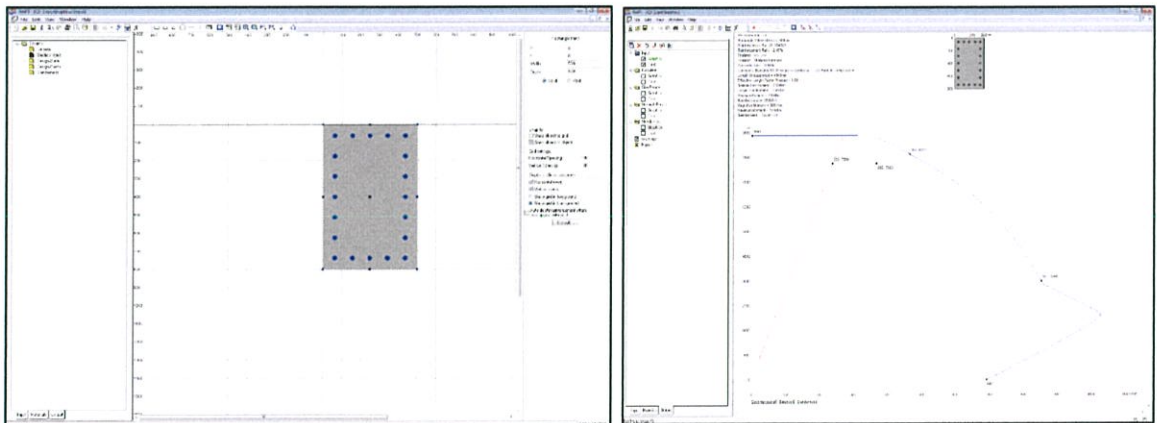


รูปที่ 4.38 เสา C3 (L1-L3) Option 1

C3 (L1-L3) 24DB25 500x900 mm



รูปที่ 4.39 เสา C4 (L1-L3) Option 1
C4 (L1-L3) 28DB25 500x1000 mm



รูปที่ 4.40 เสา C5 (L1-L3) Option 1
C5 (L1-L3) 20DB20 500x800 mm

4.3.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

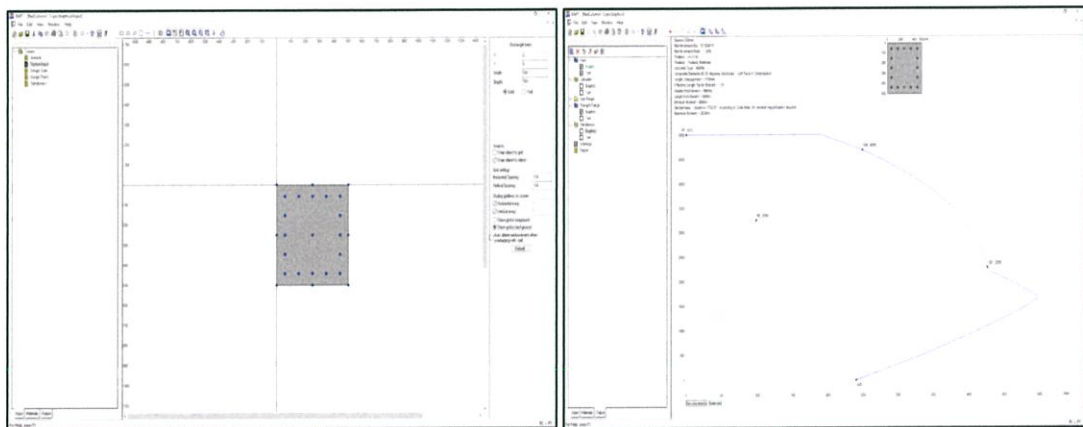
L1-L3

Grid	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
CA	C5	C6	C4	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C6	C6	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C5	C5
CB	C9	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C5
CC	C9	C8	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C8	C8	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C5
CD	C9	C9	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C9	C9	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C7	C6
CE	C9	C9	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C7	C9	C9	C7	C7	C7	C7	C7	C8	C7	C5

L4-L6

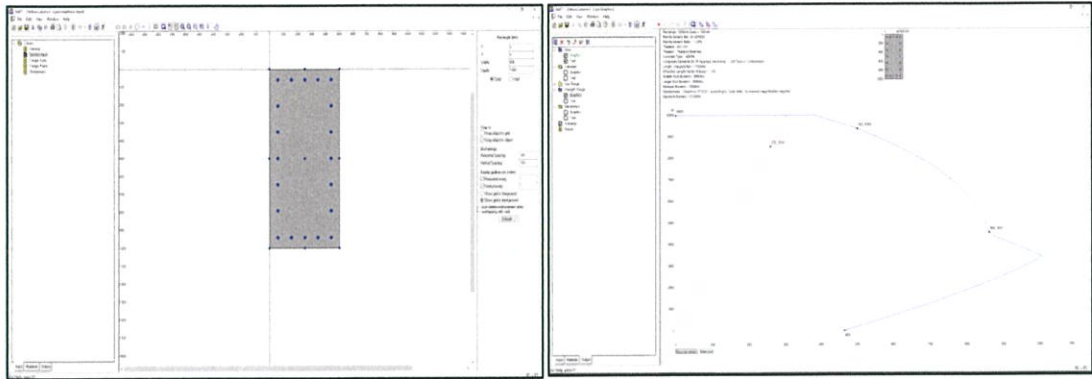
Grid	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
CA	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CB	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C1
CC	C2	C3	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C3	C3	C2	C2	C2	C2	C2	C3	C2	C1
CD	C2	C4	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C4	C4	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C2	C1
CE	C2	C4	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C4	C4	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C2	C1

รูปที่ 4.41 ตำแหน่งฐานเสา Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

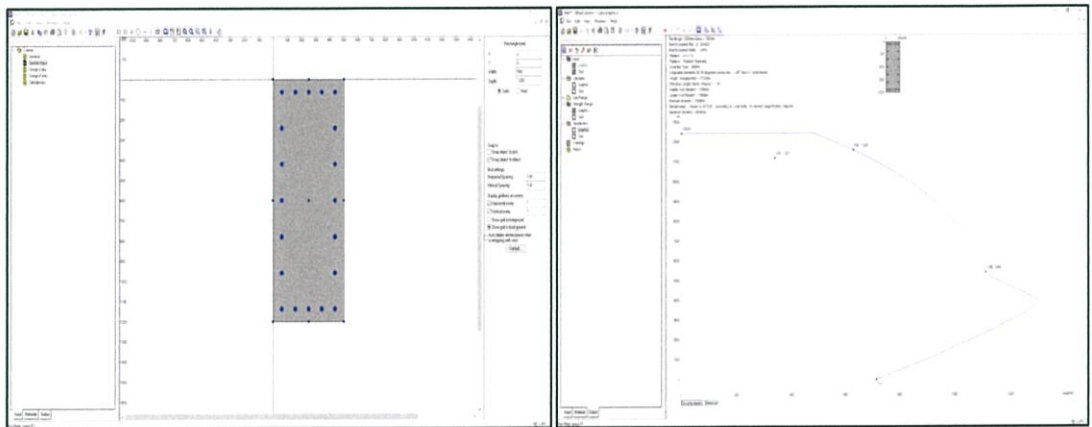


รูปที่ 4.42 เสา C1 (L1-L3) Option 2

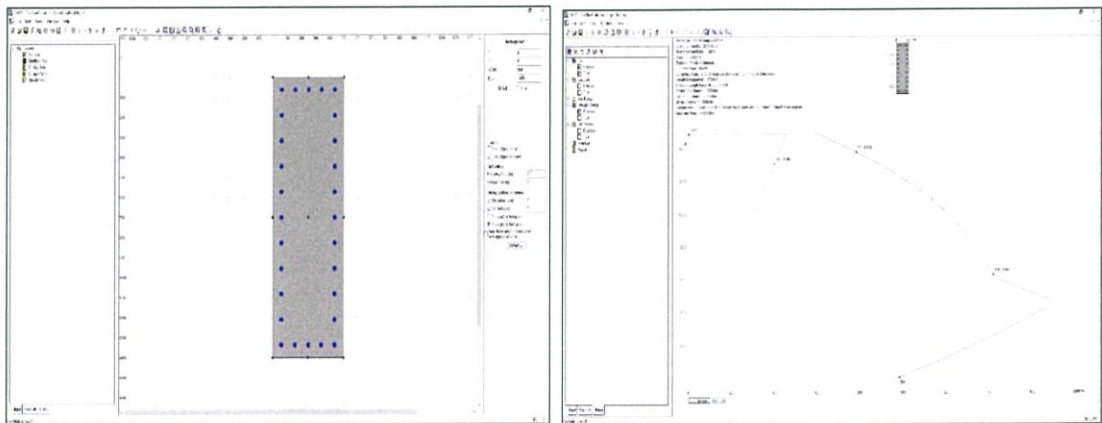
C1 (L1-L3) 16DB16 500x500 mm



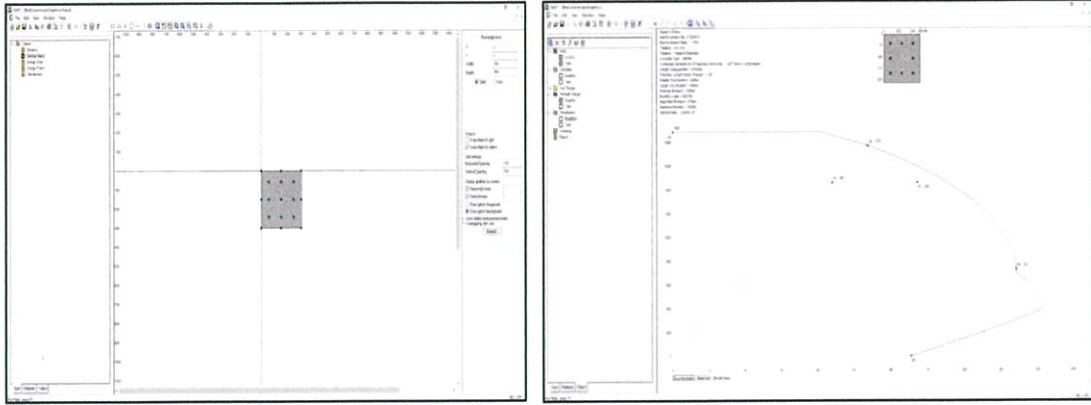
รูปที่ 4.43 เสา C2 (L1-L3) Option 2
C2 (L1-L3) 20DB20 500x1000 mm



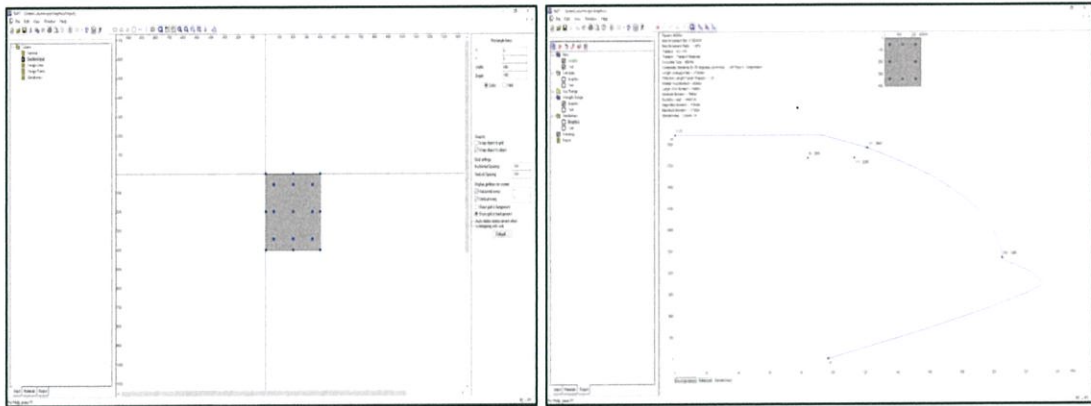
รูปที่ 4.44 เสา C3 (L1-L3) Option 2
C3 (L1-L3) 20DB25 500x1300 mm



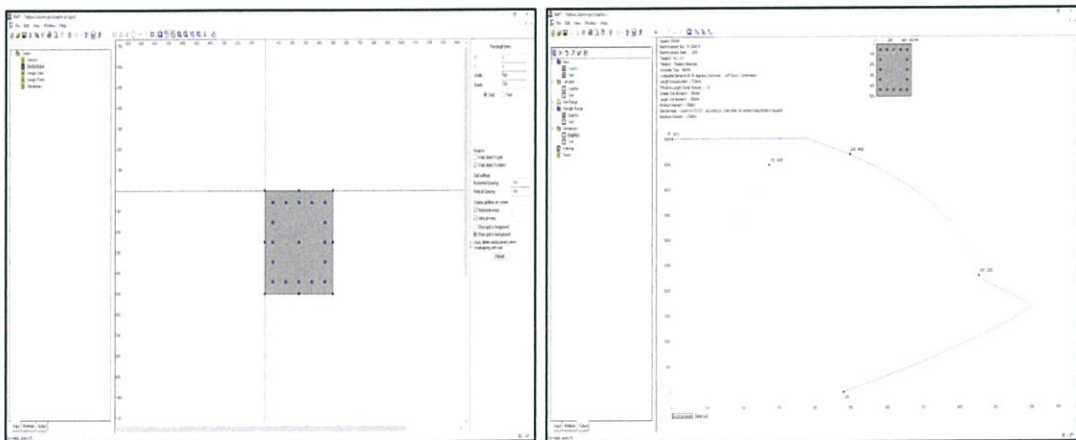
รูปที่ 4.45 เสา C4 (L1-L3) Option 2
C3 (L1-L3) 28DB25 500x1400 mm



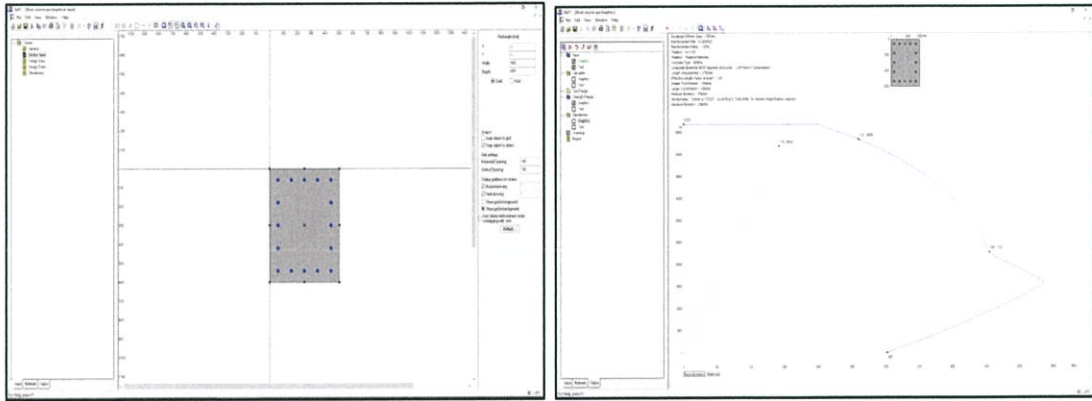
รูปที่ 4.46 เสา C5 (L4-L6) Option 2
C5 (L4-L6) 8DB16 300x300 mm



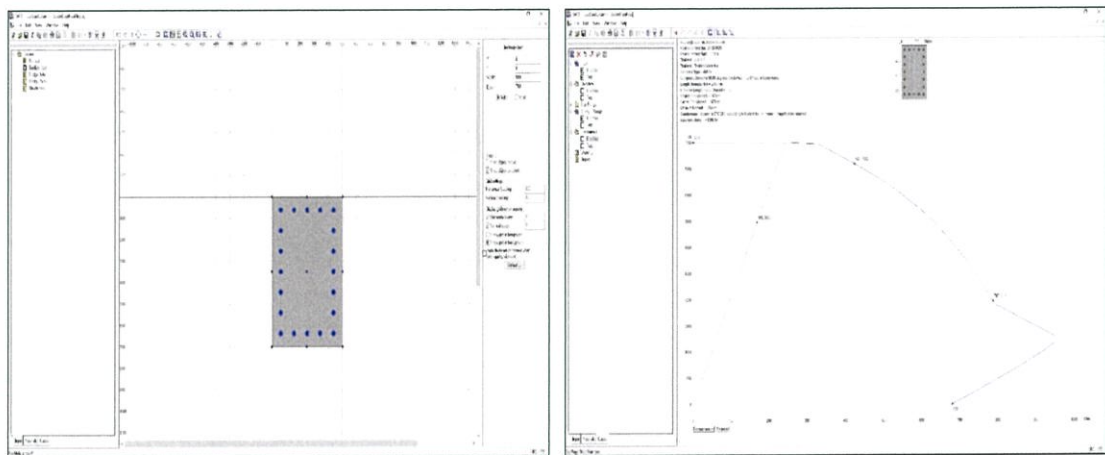
รูปที่ 4.47 เสา C6 (L4-L6) Option 2
C6 (L4-L6) 8DB16 400x400 mm



รูปที่ 4.48 เสา C7 (L4-L6) Option 2
C7 (L4-L6) 16DB16 500x500 mm



รูปที่ 4.49 เสา C8 (L4-L6) Option 2
C8 (L4-L6) 16DB20 500x600 mm



รูปที่ 4.50 เสา C9 (L4-L6) Option 2
C8 (L4-L6) 20DB20 500x700 mm

4.3.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

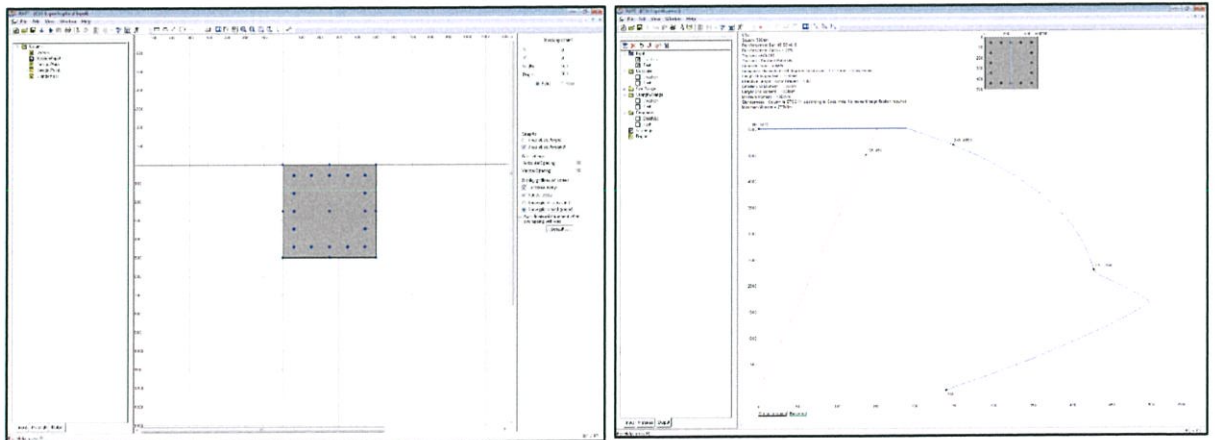
L1-L3

Grid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
CA	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
CB	C3	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C3	C3	C1
CC	C3	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C3	C1
CD	C3	C5	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C5	C5	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C1
CE	C3	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C3	C1

L4-L6

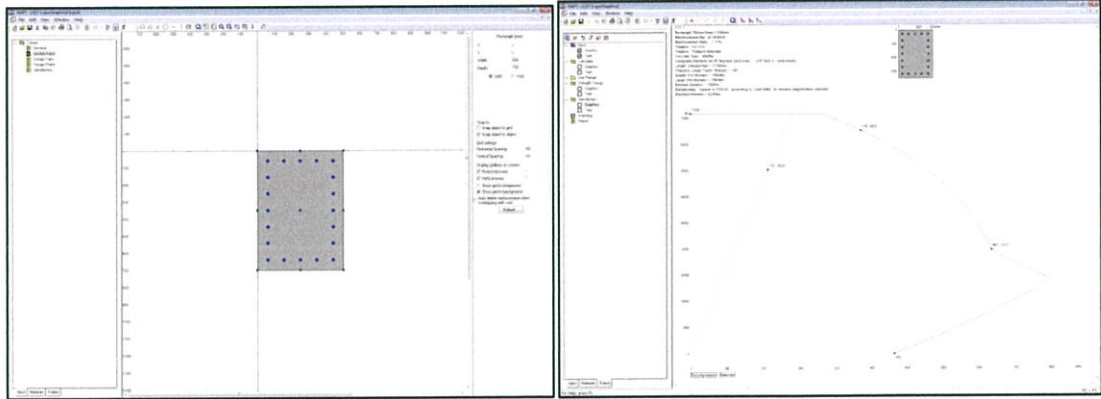
Grid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
CA	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
CB	C1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C1	C1	C1
CC	C1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C1	C1
CD	C1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C1
CE	C1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C1	C1

รูปที่ 4.51 ตำแหน่งฐานเสา Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

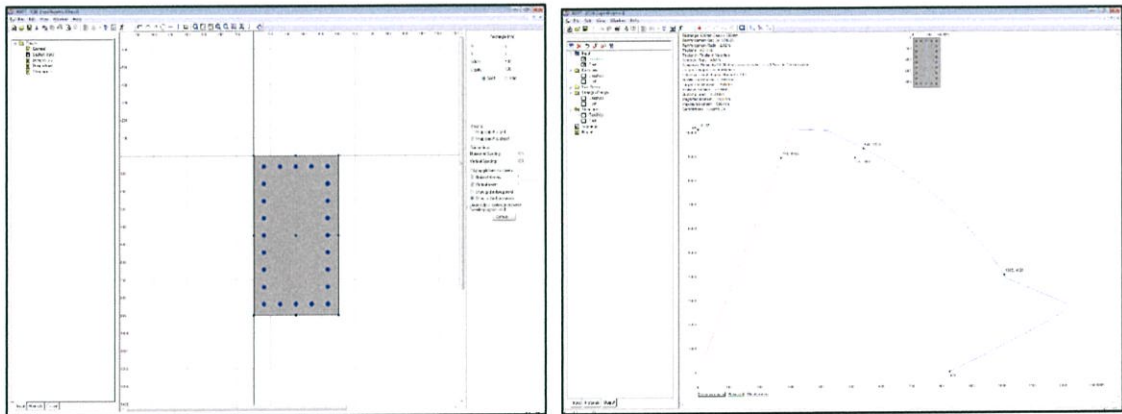


รูปที่ 4.52 เสา C1(L1-L6) Option 3

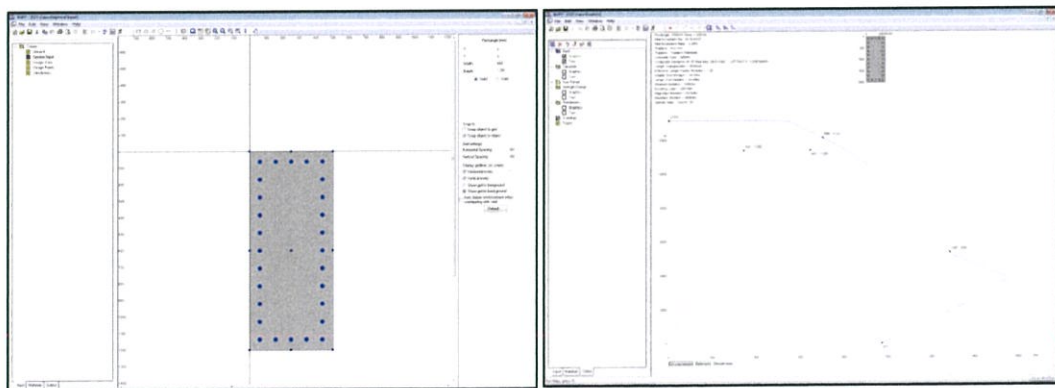
C1 (L1-L6) 16DB20 500x500 mm



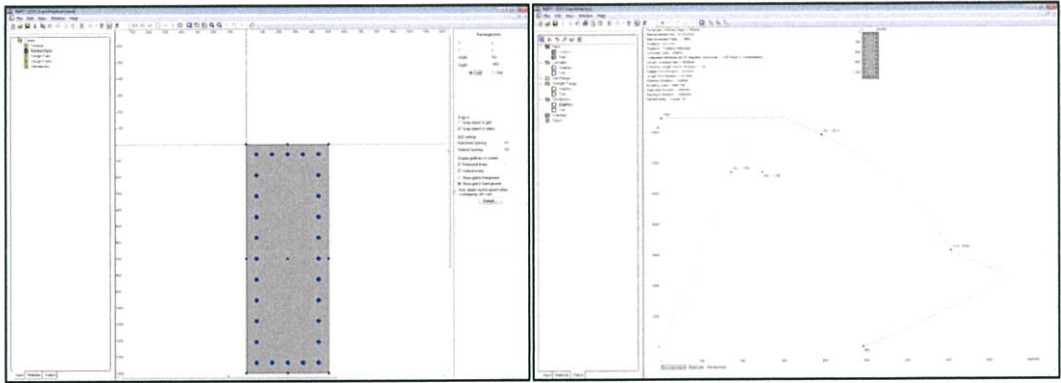
รูปที่ 4.53 เสา C2(L1-L6) Option 3
C2 (L1-L6) 20DB20 500x700 mm



รูปที่ 4.54 เสา C3(L1-L6) Option 3
C3 (L1-L6) 24DB25 500x900 mm

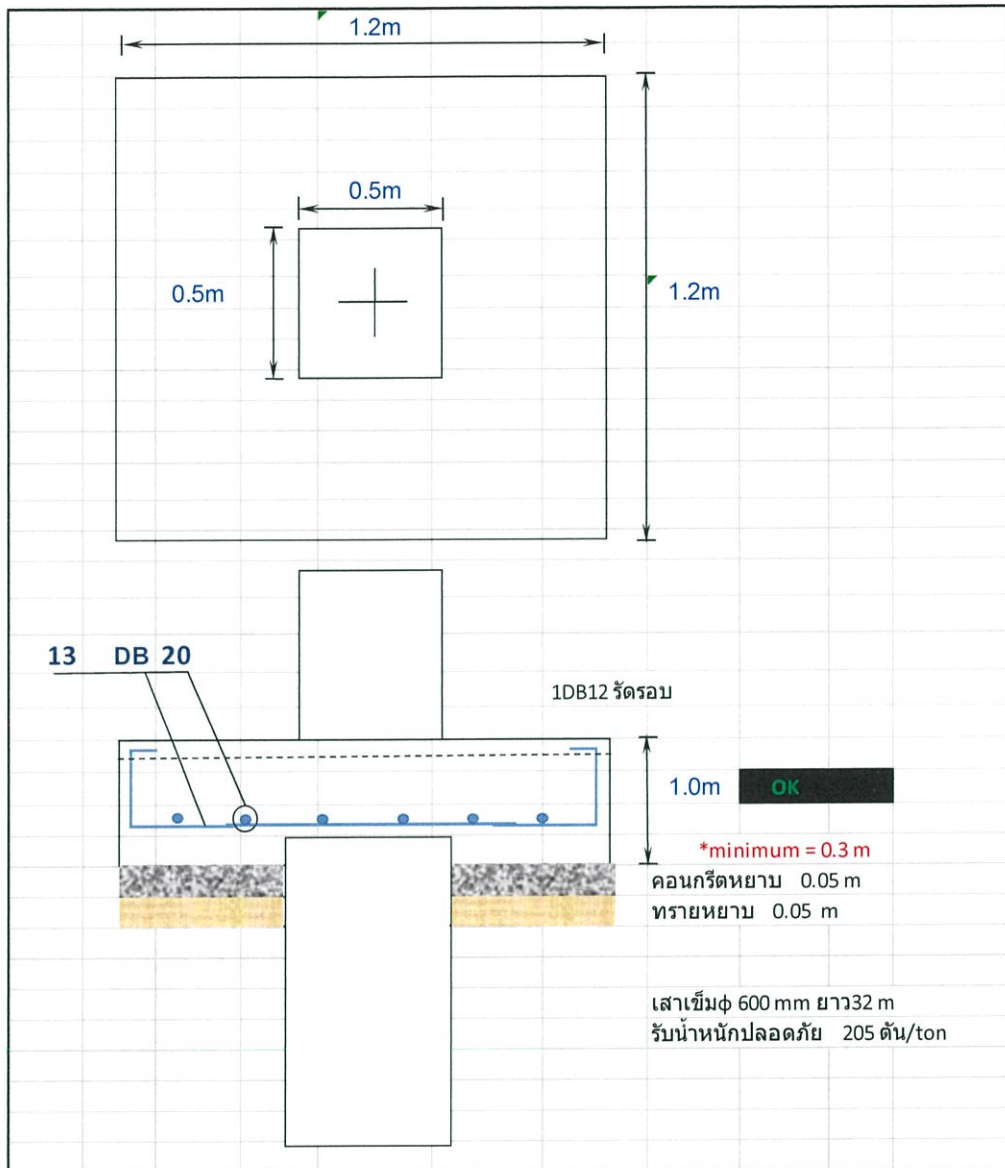


รูปที่ 4.55 เสา C4(L1-L6) Option 3
C4 (L1-L6) 28DB25 500x1200 mm

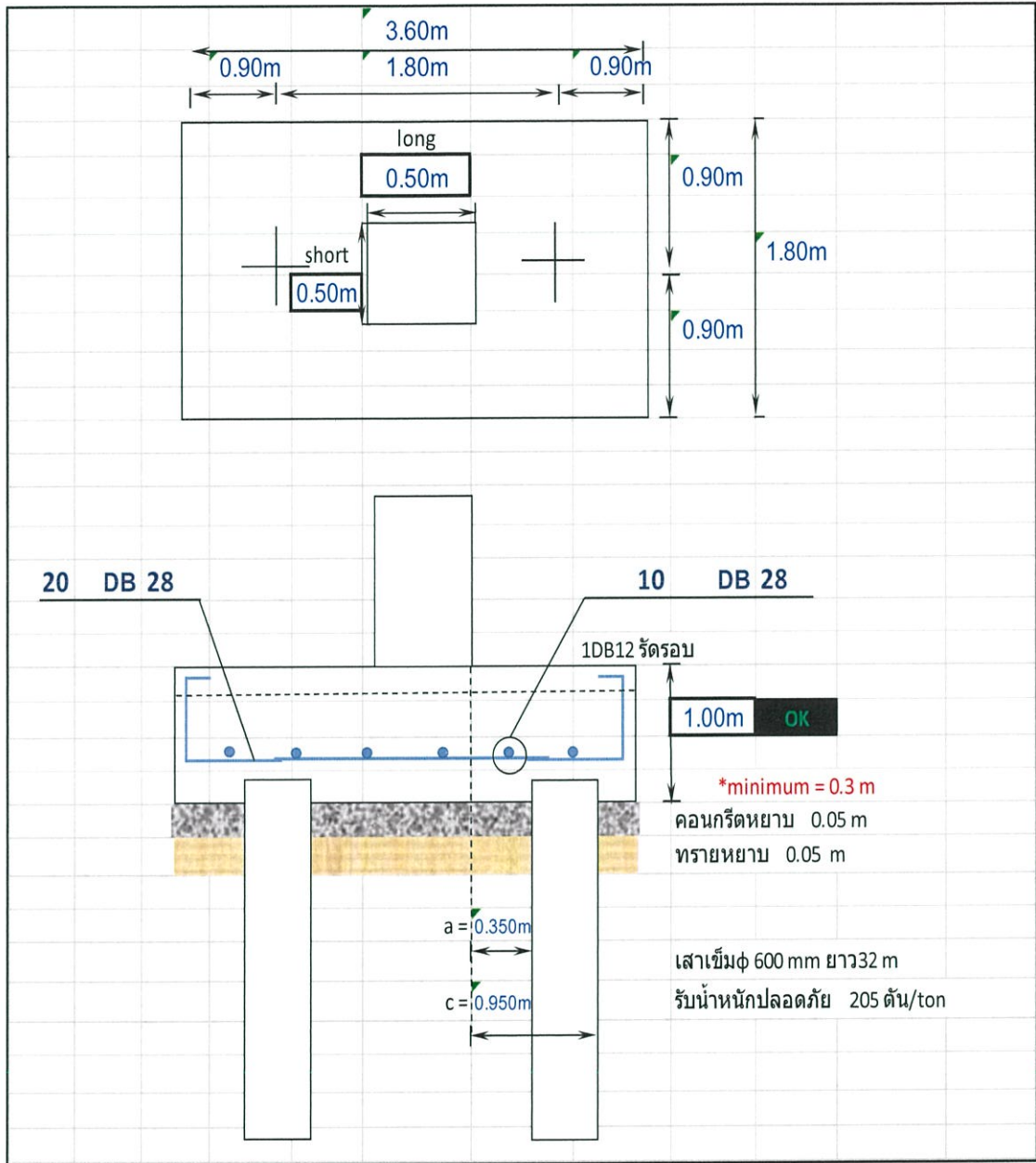


รูปที่ 4.56 เสา C5(L1-L6) Option 3
C5 (L1-L6) 28DB25 500x1400 mm

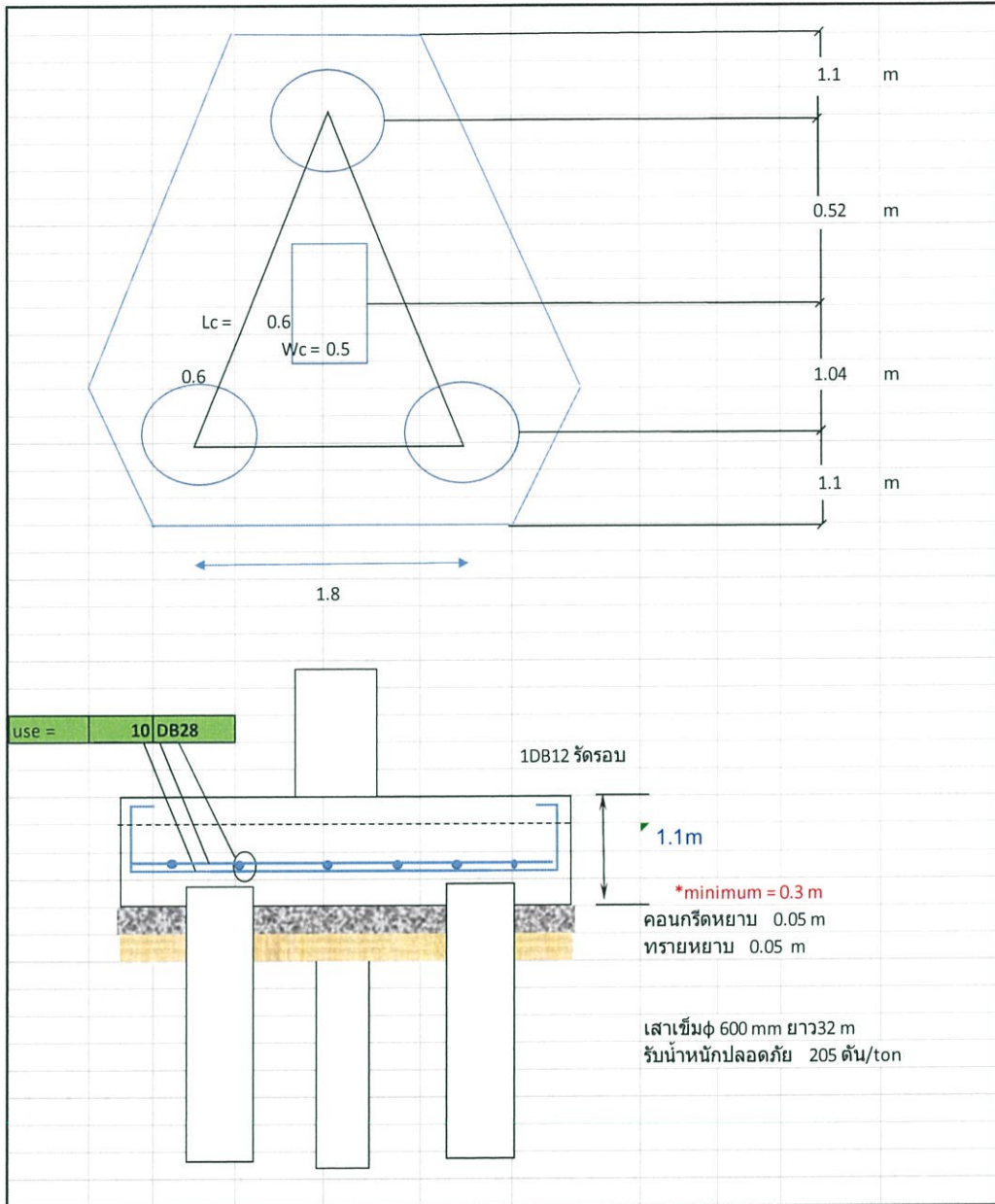
4.4 ออกแบบฐานราก



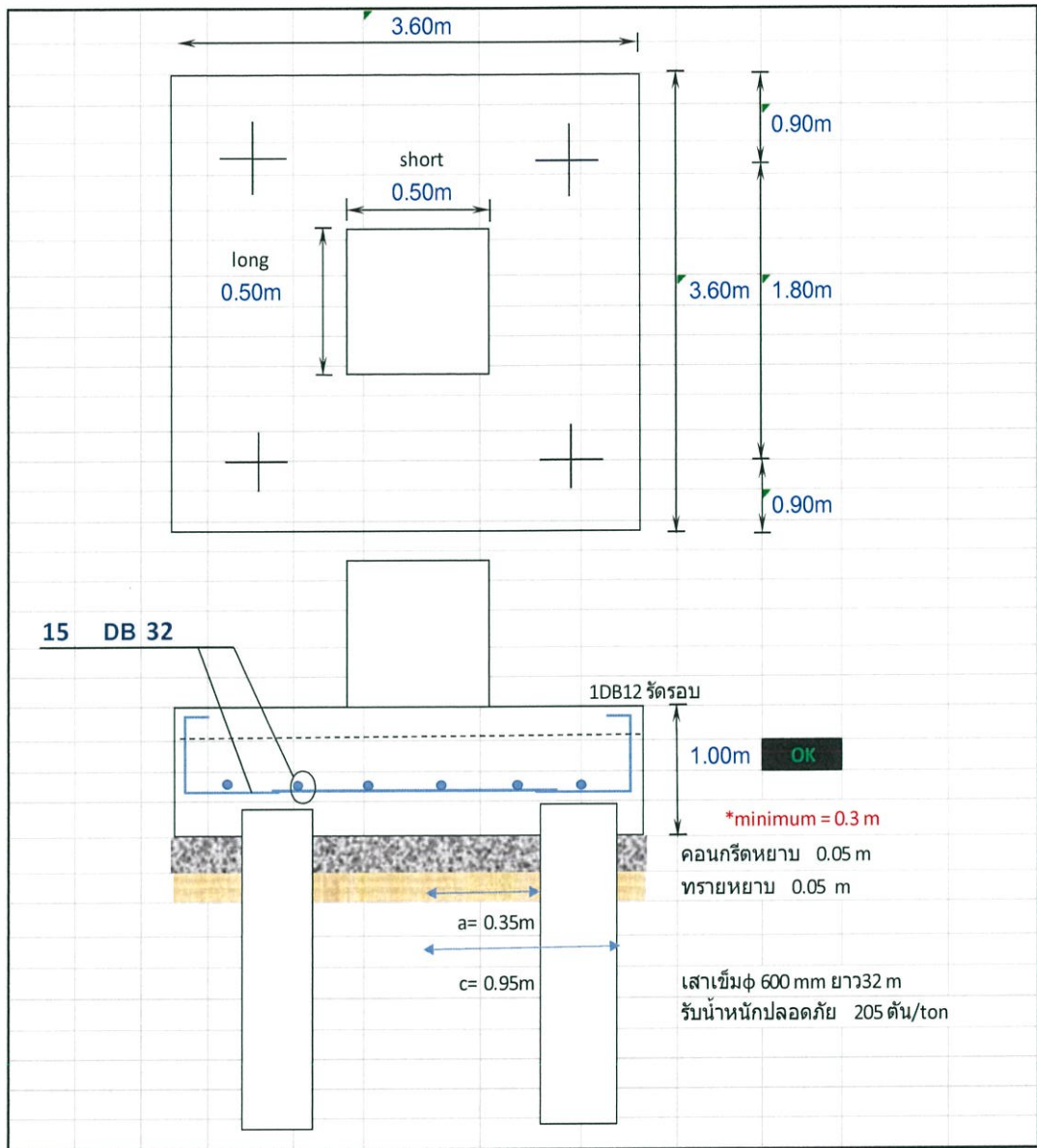
รูปที่ 4.57 ฐานราก F1



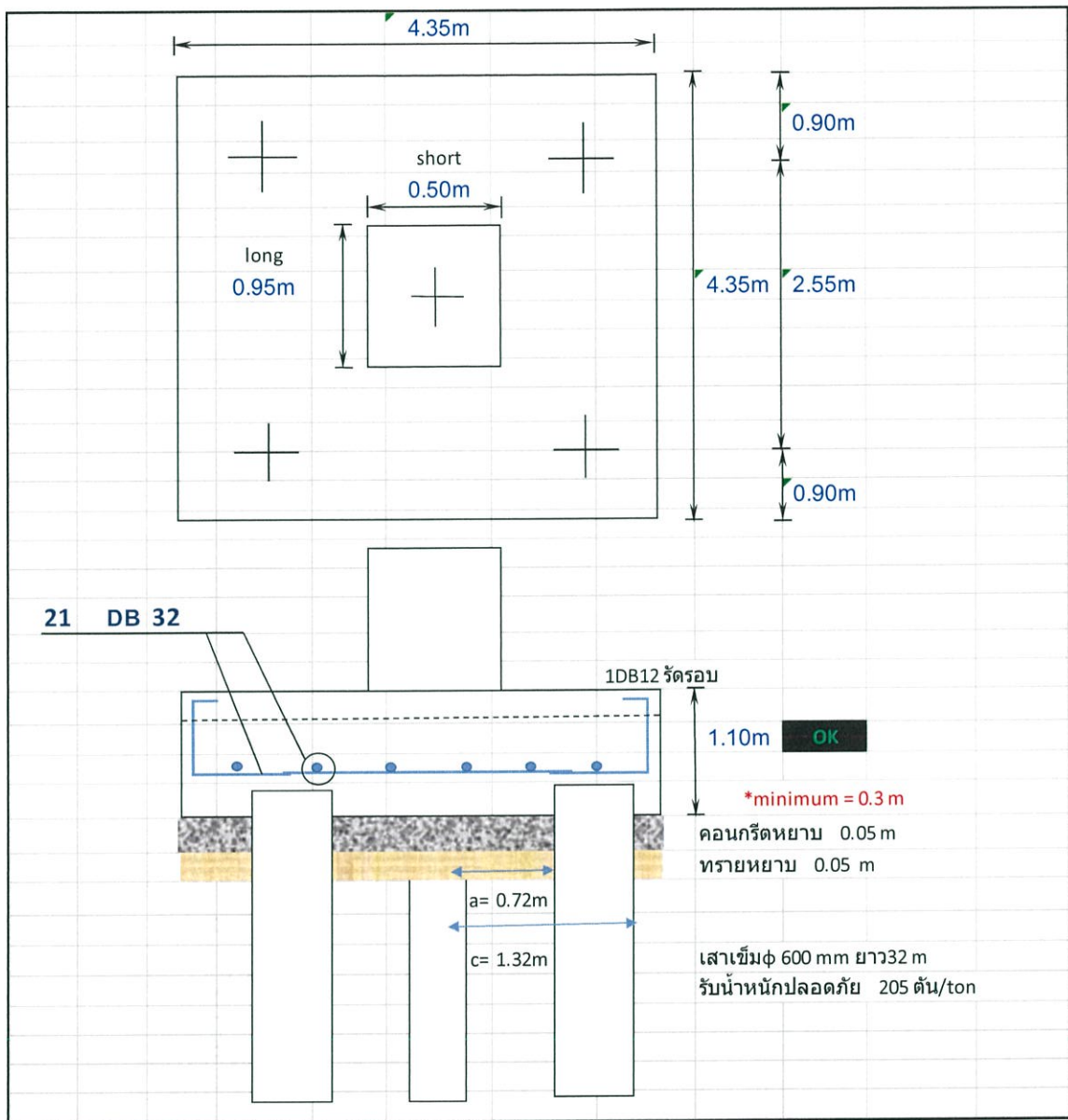
รูปที่ 4.58 ฐานราก F2



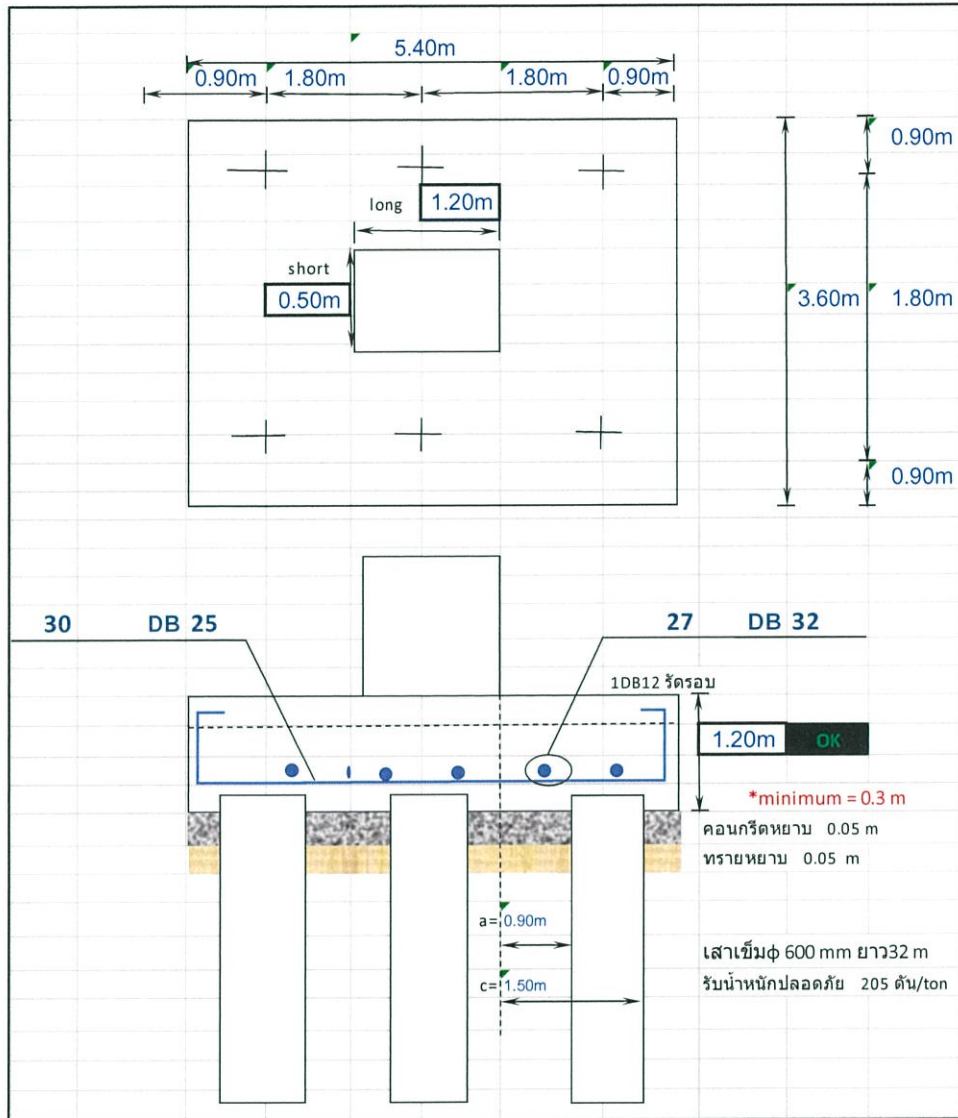
รูปที่ 4.59 ฐานราก F3



รูปที่ 4.60 ฐานราก F4



รูปที่ 4.61 ฐานราก F5



รูปที่ 4.62 ฐานราก F6

4.4.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

Grid	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	
CA	F1	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F1
CB	F3C	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F6	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F3C	F2
CC	F3C	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F4	F4	F2
CD	F4	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F6	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F2
CF	F3C	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F2

รูปที่ 4.63 ตำแหน่งฐานราก Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลฐานราก Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

	กว้าง(m)	ยาว(m)	หนา(m)	เหล็ก
F1	1.2	1.2	1.0	13DB20
F2	1.8	3.6	1.0	20DB28,10DB28
F3C	1.8	1.8	1.1	10DB28
F4	3.6	3.6	1.0	15DB32
F5	4.4	4.4	1.1	21DB32

4.4.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

Grid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
CA	F1	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	C30
CB	F3A	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F3B	F2
CC	F3A	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F4	F4	F2
CD	F4	F6	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F6	F6	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F4	F4	F2
CE	F3B	F6	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F6	F6	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F4	F4	F2

รูปที่ 4.64 ตำแหน่งฐานราก Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลฐานราก Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

	กว้าง (m)	ยาว (m)	หนา (m)	เหล็ก
F1	1.2	1.2	0.5	6DB20
F2	1.8	3.6	0.8	16DB28,8DB28
F3A	1.8	1.8	1.1	8DB28
F3B	1.8	1.8	1.1	9DB28
F4	3.6	3.6	1	15DB32
F5	4.35	4.35	1.2	22DB32
F6	3.6	5.4	1.2	30DB25,27DB32

4.4.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

Grid	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
CA	F1	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F1	F1
CB	F2	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F2
CC	F3A	F4	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F4	F4	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F4	F3C	F2
CD	F3B	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F5	F5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F2
CF	F2	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F3B	F5	F4	F2

รูปที่ 4.65 ตำแหน่งฐานราก Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลฐานราก Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

	กว้าง (m)	ยาว (m)	หนา (m)	เหล็ก
F1	1.2	1.2	0.7	9DB20
F2	1.8	3.6	1	20DB28,10DB28
F3B	1.8	1.8	1.1	9DB28
F4	3.6	3.6	1	15DB32
F5	4.35	4.35	1.1	21DB32
F6	3.6	5.4	1.2	30DB25,27DB32

4.5 หาปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ

4.5.1 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณวัสดุ Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

Project	อาคารจตุรตถ 7 ชั้น	Subject : OPTION 1		วันที่	11/3/2017	2:13 PM
				ประมาณราคาโดย	ปภัสสร	พลจมา
				Location :	MEGAbangna	
item	Description of work	Quality	Unit	จำนวนชั้น	ปริมาณทั้งหมด	Unit
	OPTION 1					
1	พื้น One way slab					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	1,156.63	ลบ.ม.	7.00	8,096.44	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	5,312.68	ตร.ม.	7.00	37,188.76	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	49,198.62	ก.ก.	7.00	344,390.34	ก.ก.
	DB16 (SD40)	100,321.35	ก.ก.	7.00	702,249.42	ก.ก.
	DB20 (SD40)	44,719.35	ก.ก.	7.00	313,035.45	ก.ก.
	DB25 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
2	คาน					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	399.61	ลบ.ม.	7.00	2,797.27	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	1,475.62	ตร.ม.	7.00	10,329.34	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	11,699.26	ก.ก.	7.00	81,894.82	ก.ก.
	DB16 (SD40)	1,366.10	ก.ก.	7.00	9,562.73	ก.ก.
	DB20 (SD40)	22,108.67	ก.ก.	7.00	154,760.69	ก.ก.
	DB25 (SD40)	31,538.05	ก.ก.	7.00	220,766.35	ก.ก.
	DB28 (SD40)	1,225.13	ก.ก.	7.00	8,575.91	ก.ก.
	DB32 (SD40)	1,544.69	ก.ก.	7.00	10,812.82	ก.ก.
3	เสา					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	594.10	ลบ.ม.	1.00	594.10	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	3,884.50	ตร.ม.	1.00	3,884.50	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	39,468.48	ก.ก.	1.00	39,468.48	ก.ก.
	DB16 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	58,570.62	ก.ก.	1.00	58,570.62	ก.ก.
	DB25 (SD40)	50,953.98	ก.ก.	1.00	50,953.98	ก.ก.
	DB28 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
4	ฐานราก					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	1,224.23	ลบ.ม.	1.00	1,224.23	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	1,376.14	ตร.ม.	1.00	1,376.14	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	36,914.02	ก.ก.	1.00	36,914.02	ก.ก.
	DB16 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	369.91	ก.ก.	1.00	369.91	ก.ก.
	DB25 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)	17,120.90	ก.ก.	1.00	17,120.90	ก.ก.
	DB32 (SD40)	82,576.38	ก.ก.	1.00	82,576.38	ก.ก.

4.5.2 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณวัสดุ Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

Project	อาคารจอดรถ 7 ชั้น	Subject : OPTION 2		วันที่	20/11/2017 9:43 AM	
				ประมาณราคาโดย ฤๅสูดน้อย นามมี		
				Location : MEGAbangna		
item	Description of work	Quality	Unit	จำนวนชั้น	ปริมาณทั้งหมด	หน่วย
	OPTION 2					
1	พื้น Long One way slab					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	1,505.53	ลบ.ม.	7.00	10,538.71	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	5,327.63	ตร.ม.	7.00	37,293.38	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	12,740.07	ก.ก.	7.00	89,180.47	ก.ก.
	DB16 (SD40)	19,625.65	ก.ก.	7.00	137,379.54	ก.ก.
	DB20 (SD40)	97,132.84	ก.ก.	7.00	679,929.85	ก.ก.
	DB25 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
2	คาน					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	567.58	ลบ.ม.	7.00	3,973.06	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	1,842.87	ตร.ม.	7.00	12,900.09	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	17,669.69	ก.ก.	7.00	123,687.86	ก.ก.
	DB16 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	23,223.03	ก.ก.	7.00	162,561.18	ก.ก.
	DB25 (SD40)	25,635.94	ก.ก.	7.00	179,451.55	ก.ก.
	DB28 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
3	เสา					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	642.65	ลบ.ม.	1.00	642.65	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	4,261.45	ตร.ม.	1.00	4,261.45	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	39,405.97	ก.ก.	1.00	39,405.97	ก.ก.
	DB16 (SD40)	17,575.76	ก.ก.	1.00	17,575.76	ก.ก.
	DB20 (SD40)	23,288.90	ก.ก.	1.00	23,288.90	ก.ก.
	DB25 (SD40)	23,118.00	ก.ก.	1.00	23,118.00	ก.ก.
	DB28 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
4	ฐานราก					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	1,385.28	ลบ.ม.	1.00	1,385.28	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	1,139.75	ตร.ม.	1.00	1,139.75	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	604.01	ก.ก.	1.00	618.60	ก.ก.
	DB16 (SD40)	-	ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	222.89	ก.ก.	1.00	222.89	ก.ก.
	DB25 (SD40)	5,225.22	ก.ก.	1.00	5,225.22	ก.ก.
	DB28 (SD40)	20,327.51	ก.ก.	1.00	20,334.40	ก.ก.
	DB32 (SD40)	80,682.20	ก.ก.	1.00	90,096.15	ก.ก.
5	เสาเข็ม					
	เสาเข็ม	370.00	ตัน	1.00	370.00	ตัน

4.5.3 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณวัสดุ Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

Project	อาคารจอดรถ 7 ชั้น	Subject : OPTION 3		วันที่ 20/11/2017 9:43 AM		
				ประมาณราคาโดย ภัทรนัย นามมี ปภัสสร พละมา		
item	Description of work	Quality	Unit	Location : จำนวนชั้น	MEGAbangna ปริมาณทั้งหมด	หน่วย
OPTION 3						
1	พื้น Two way slab					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	1,053.76	ลบ.ม.	7.00	7,376.32	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	5,312.68	ตร.ม.	7.00	37,188.76	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	14,211.62	ก.ก.	7.00	99,481.36	ก.ก.
	DB16 (SD40)	95,548.45	ก.ก.	7.00	668,839.17	ก.ก.
	DB20 (SD40)	26,514.97	ก.ก.	7.00	185,604.82	ก.ก.
	DB25 (SD40)	26,554.49	ก.ก.	7.00	185,881.43	ก.ก.
	DB28 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)		ก.ก.	7.00	-	ก.ก.
2	คาน					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	362.69	ลบ.ม.	6.00	2,176.14	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	2,166.58	ตร.ม.	6.00	12,999.45	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	21,936.84	ก.ก.	6.00	131,621.06	ก.ก.
	DB16 (SD40)	683.26	ก.ก.	6.00	4,099.58	ก.ก.
	DB20 (SD40)	12,114.19	ก.ก.	6.00	72,685.13	ก.ก.
	DB25 (SD40)	34,549.36	ก.ก.	6.00	207,296.17	ก.ก.
	DB28 (SD40)	11,193.48	ก.ก.	6.00	67,160.86	ก.ก.
	DB32 (SD40)		ก.ก.	6.00	-	ก.ก.
3	เสา					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	768.44	ลบ.ม.	1.00	768.44	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	4,650.70	ตร.ม.	1.00	4,650.70	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	53,483.43	ก.ก.	1.00	53,483.43	ก.ก.
	DB16 (SD40)	10,090.87	ก.ก.	1.00	10,090.87	ก.ก.
	DB20 (SD40)	37,384.56	ก.ก.	1.00	37,384.56	ก.ก.
	DB25 (SD40)	76,443.52	ก.ก.	1.00	76,443.52	ก.ก.
	DB28 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
4	ฐานราก					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	1,123.45	ลบ.ม.	1.00	1,123.45	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	1,477.19	ตร.ม.	1.00	1,477.19	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	1,297.02	ก.ก.	1.00	1,297.02	ก.ก.
	DB16 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	369.90	ก.ก.	1.00	369.90	ก.ก.
	DB25 (SD40)	6,096.09	ก.ก.	1.00	6,096.09	ก.ก.
	DB28 (SD40)	14,638.73	ก.ก.	1.00	14,638.73	ก.ก.
	DB32 (SD40)	68,492.72	ก.ก.	1.00	68,492.72	ก.ก.
5	เสาเข็ม					
	เสาเข็ม	377.00	ตัน	1.00	377.00	ตัน

เนื่องจากว่า ทางสถานประกอบการได้ให้เปรียบเทียบกับกรอกแบบพื้นไร้คานที่ได้ออกแบบไว้ เป็น Option 4

4.5.4 Option 4 พื้นไร้คาน (Post Tension slab)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณวัสดุ Option 4 พื้นไร้คาน (Post Tension slab)

Project	อาคารจวดกร 7 ชั้น	Subject : OPTION 4		วันที่ 11/15/2017 9:11 AM ประมาณราคาโดย ปภัสสร พลธนา Location : MEGA Bangna		
item	Description of work	Quality	Unit	จำนวนชั้น	ปริมาณทั้งหมด	หน่วย
	OPTION 4					
1	พื้น Post tension					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	9,392.43	ลบ.ม.	1.00	9,392.43	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	35,163.06	ตร.ม.	1.00	35,163.06	ตร.ม.
	ลวดสลิง					
	DUCTS					
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB10 (SD30)	19,663.98	ก.ก.	1.00	19,663.98	ก.ก.
	DB12 (SD30)	297,525.44	ก.ก.	1.00	297,525.44	ก.ก.
	DB16 (SD40)	113,274.15	ก.ก.	1.00	113,274.15	ก.ก.
	DB20 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB25 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)	-	ก.ก.	-	-	ก.ก.
2	คาน					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	361.72	ลบ.ม.	1.00	361.72	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	2,167.13	ตร.ม.	1.00	2,167.13	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	23,764.33	ก.ก.	1.00	23,764.33	ก.ก.
	DB16 (SD40)	826.87	ก.ก.	1.00	826.87	ก.ก.
	DB20 (SD40)	17,374.94	ก.ก.	1.00	17,374.94	ก.ก.
	DB25 (SD40)	37,700.29	ก.ก.	1.00	37,700.29	ก.ก.
	DB28 (SD40)	20,879.01	ก.ก.	1.00	20,879.01	ก.ก.
	DB32 (SD40)	6,181.06	ก.ก.	1.00	6,181.06	ก.ก.
3	เสา					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	513.61	ลบ.ม.	1.00	513.61	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	3,585.73	ตร.ม.	1.00	3,585.73	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB10 (SD30)	21,038.17	ก.ก.	1.00	21,038.17	ก.ก.
	DB12 (SD30)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB16 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	31,226.96	ก.ก.	1.00	31,226.96	ก.ก.
	DB25 (SD40)	16,047.75	ก.ก.	1.00	16,047.75	ก.ก.
	DB28 (SD40)	22,913.16	ก.ก.	1.00	22,913.16	ก.ก.
	DB32 (SD40)	27,650.42	ก.ก.	1.00	27,650.42	ก.ก.
4	ฐานราก					
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	330.65	ลบ.ม.	1.00	330.65	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	737.38	ตร.ม.	1.00	737.38	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	6,519.52	ก.ก.	1.00	6,519.52	ก.ก.
	DB16 (SD40)	6,455.28	ก.ก.	1.00	6,455.28	ก.ก.
	DB20 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB25 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)		ก.ก.	1.00	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)	26,379.59	ก.ก.	1.00	26,379.59	ก.ก.
5	เสาเข็ม					
	เสาเข็ม	274.00	ตัน	1.00	274.00	ตัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 เปรียบเทียบปริมาณวัสดุ

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบปริมาณวัสดุทั้ง 4 Options

Project	อาคารจอดรถ 7 ชั้น	Subject : Compared ประมาณราคาโดย วิศวกร นาย มี ปภัสสร พลทะมา	วันที่ 20/11/2017	Location : MEGA Bangna	9:43 AM	
item	Description of work	ปริมาณทั้งหมด				Unit
	COMPARED	OPTION 1	OPTION 2	OPTION 3	OPTION 4	
1	พื้น					
	งานคอนกรีต โครงสร้าง 32 Mpa	8,096.44	10,538.71	7,376.32	9,392.43	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	37,188.76	37,293.38	37,188.76	35,163.06	ตร.ม.
	ลวดสลิง	-	-	-	1,306,795.90	ก.ก.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	344,390.34	89,180.47	99,481.36	297,525.44	ก.ก.
	DB16 (SD40)	702,249.42	137,379.54	668,839.17	113,274.15	ก.ก.
	DB20 (SD40)	313,035.45	679,929.85	185,604.82	-	ก.ก.
	DB25 (SD40)	-	-	185,881.43	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)	-	-	-	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)	-	-	-	-	ก.ก.
	Σsteels	1,359,675.21	906,489.86	1,139,806.78	410,799.59	ก.ก.
2	คาน					
	งานคอนกรีต โครงสร้าง 32 Mpa	1,701.96	3,973.06	2,176.14	361.72	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	8,081.06	12,900.09	12,999.45	2,167.13	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	81,894.82	123,687.86	131,621.06	23,764.33	ก.ก.
	DB16 (SD40)	9,562.73	-	4,099.58	826.87	ก.ก.
	DB20 (SD40)	154,760.69	162,561.18	72,685.13	17,374.94	ก.ก.
	DB25 (SD40)	220,766.35	179,451.55	207,296.17	37,700.29	ก.ก.
	DB28 (SD40)	8,575.91	-	67,160.86	20,879.01	ก.ก.
	DB32 (SD40)	10,812.82	-	-	6,181.06	ก.ก.
	Σsteels	486,373.31	465,700.58	482,862.81	106,726.51	ก.ก.
3	เสา					
	งานคอนกรีต โครงสร้าง 40 Mpa	594.10	642.65	768.44	513.61	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	3,884.50	4,261.45	4,650.70	3,585.73	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB10(SD30)	-	-	-	21,038.17	ก.ก.
	DB12 (SD30)	39,468.48	39,405.97	53,483.43	-	ก.ก.
	DB16 (SD40)	-	17,575.76	10,090.87	-	ก.ก.
	DB20 (SD40)	58,570.62	23,288.90	37,384.56	31,226.96	ก.ก.
	DB25 (SD40)	50,953.98	23,118.00	76,443.52	16,047.75	ก.ก.
	DB28 (SD40)	-	-	-	22,913.16	ก.ก.
	DB32 (SD40)	-	-	-	27,650.42	ก.ก.
	Σsteels	148,993.07	103,388.64	177,402.38	118,876.45	ก.ก.
4	ฐานราก					
	งานคอนกรีต โครงสร้าง 40 Mpa	1,224.23	1,385.28	1,123.45	330.65	ลบ.ม.
	งานไม้แบบรวมตะปู	1,376.14	1,139.75	1,477.19	737.38	ตร.ม.
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต					
	DB12 (SD30)	36,914.02	618.60	1,297.02	6,519.52	ก.ก.
	DB16 (SD40)	-	-	-	6,455.28	ก.ก.
	DB20 (SD40)	369.91	222.89	369.90	-	ก.ก.
	DB25 (SD40)	-	5,225.22	-	-	ก.ก.
	DB28 (SD40)	17,120.90	20,334.40	14,638.73	-	ก.ก.
	DB32 (SD40)	82,576.38	90,096.15	68,492.72	26,379.59	ก.ก.
	Σsteels	136,981.20	116,497.26	84,798.37	39,354.39	ก.ก.
5	เสาเข็ม					
	เสาเข็ม	352.00	370.00	377.00	274.00	ตัน

กราฟเปรียบเทียบปริมาณคอนกรีต ไม้แบบ เหล็กเสริม



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบวัสดุต่างๆ

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบมูลค่าวัสดุของทั้ง 4 options

Project	อาคารจอดรถ 7 ชั้น	Subject : Compared ประมาณราคาโดย วิศวกร นายมี ปัทสสร พละมา	วันที่ 20/11/2017	Location : MEGAbangna				1:26 PM
item	Description of work	Unit	บาท/Unit	ราคา (บาท)				
COMPARED				OPTION 1	OPTION 2	OPTION 3	OPTION 4	
1	พื้น							
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	ลบ.ม.	2261.8	18,312,523.47	23,836,454.28	16,683,760.58	21,243,808.07	
	งานไม้แบบรวมตะปู	ตร.ม.	543	20,193,496.68	20,250,302.63	20,193,496.68	19,093,542.94	
	ลวดสลิง	ก.ก.	12				15,681,550.75	
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต							
	Rebars	ก.ก.	16	21,754,803.28	14,503,837.70	18,236,908.54	6,572,793.50	
2	คาน							
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 32 Mpa	ลบ.ม.	2261.8	3,849,488.89	8,986,267.11	4,921,993.45	818,142.25	
	งานไม้แบบรวมตะปู	ตร.ม.	543	4,388,016.94	7,004,748.87	7,058,701.35	1,176,752.00	
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต							
	Rebars	ก.ก.	16	7,781,972.97	7,451,209.35	7,725,804.96	1,707,624.13	
3	เสา							
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	ลบ.ม.	2416.6	1,435,708.10	1,553,027.99	1,857,006.06	1,241,185.39	
	งานไม้แบบรวมตะปู	ตร.ม.	543	2,109,283.50	2,313,967.35	2,525,330.10	1,947,048.68	
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต							
	Rebars	ก.ก.	16	2,383,889.14	1,654,218.22	2,838,438.13	1,902,023.18	
4	ฐานราก							
	งานคอนกรีตโครงสร้าง 40 Mpa	ลบ.ม.	2416.6	2,958,475.50	3,347,661.91	2,714,919.60	799,055.25	
	งานไม้แบบรวมตะปู	ตร.ม.	543	747,246.04	618,885.14	802,114.17	400,397.34	
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต							
	Rebars	ก.ก.	16	2,191,699.24	1,863,956.21	1,356,773.91	629,670.19	
5	เสาเข็ม							
	เสาเข็ม	ต้น	-	-	-	-	-	
6	Total							
	งานคอนกรีต	ลบ.ม.	-	26,556,195.96	37,723,411.28	26,177,679.69	24,102,190.97	
	งานไม้แบบรวมตะปู	ตร.ม.	543	27,438,043.15	30,187,903.98	30,579,642.30	22,617,740.95	
	งานเหล็กเสริมคอนกรีต	ก.ก.	16	34,112,364.62	25,473,221.49	30,157,925.54	10,812,111.00	
	ลวดสลิงอัดแรง	ก.ก.	12	-	-	-	15,681,550.75	
	รวมราคา (บาท)			88,106,603.74	93,384,536.76	86,915,247.54	73,213,593.68	

5.2 สรุปผลวิเคราะห์ที่ได้

การเปรียบเทียบจากการหาปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 3 แบบโดยไม่รวมระบบพื้นไร้คาน จะพบว่าใน Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span) จะมีปริมาณคอนกรีตมากเป็นอันดับที่ 2 รองจาก Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span) ที่มีปริมาณคอนกรีตมากที่สุดมาเป็นอันดับที่ 1 ขณะที่ Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) จะมีปริมาณที่น้อยที่สุด นั่นก็เป็นเพราะว่าตามทฤษฎีการออกแบบ พื้น One way ถ่ายแรงเพียงทิศทางเดียวต่างจากการถ่ายแรงของพื้นสองทางที่มีการถ่ายแรงสองทิศทาง ซึ่งจะทำให้พื้นมีความหนาน้อยกว่า ส่งผลให้ประหยัดคอนกรีตมากกว่าพื้นที่ถ่ายแรงด้านเดียว แต่ในขณะเดียวกัน เหล็กเสริมที่เกิดขึ้นก็จะมีปริมาณที่มากขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงสองทิศทาง จึงต้องมีเหล็กที่เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งทิศทางมากกว่าพื้นที่ถ่ายแรงทิศทางเดียว ซึ่งเรียงลำดับได้ดังนี้ คืออันดับที่ 1 Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span) อันดับที่ 2 Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) และอันดับที่ 3 Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span) เรียงจากน้อยไปมาก และสุดท้ายคือการเทียบปริมาณไม้แบบ ซึ่งพบว่าไม้แบบที่ต่างกันมากและใกล้เคียงกัน

จากการเปรียบเทียบปริมาณทั้งคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบ เฉพาะของพื้นที่ซึ่งปริมาณเหล่านี้จะส่งผลต่อการออกแบบคาน เสา และฐานราก ซึ่งก็ส่งผลให้มีปริมาณวัสดุที่แตกต่างกันออกไป จากการเปรียบเทียบโดยการหาปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบทั้งหมดที่มี สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้

ปริมาณคอนกรีต

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span) > Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span) > Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab)

ปริมาณเหล็กเสริม

Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span) > Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) > Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

ปริมาณไม้แบบ

Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span) > Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) > Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span)

จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการสืบค้นราคาวัสดุอ้างอิงราคาจาก กระทรวงพาณิชย์ หมวดวัสดุก่อสร้างปี 2560 www.moc.go.th ที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบ และลองนำราคาต่อหน่วยมาคูณกับปริมาณวัสดุทั้งหมดเพื่อทำการเปรียบเทียบเชิงมูลค่าทางวัสดุก่อสร้างพบว่า การออกแบบ Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) มีมูลค่าเชิงวัสดุที่ถูกที่สุดใน 3 Option สามารถเรียงจากน้อยไปมากได้ดังนี้

Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) < Option 1 พื้นทางเดียว (Short One way slab span) < Option 2 พื้นทางเดียว (Long One way slab span)

ดังนั้นหากต้องเลือกว่าจะก่อสร้างให้ถูกที่สุดเชิงมูลค่าวัสดุ ผู้วิจัยจึงเลือก Option 3 พื้นสองทาง (Two way slab) เพราะมีราคาถูกที่สุดจากการเปรียบเทียบเพียงราคาวัสดุ

แต่จากคำแนะนำจาก Technical Director ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและก่อสร้าง ได้ให้คำแนะนำว่า การออกแบบทั้ง 3 Option หากมองในมุมมองของการก่อสร้างให้ง่ายขึ้นและประหยัดเวลาในการก่อสร้างซึ่งจะมีผลต่อค่าแรงและระยะเวลาการทำงาน ในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่เป็นพื้นสองทางนั้น จะก่อให้เกิดการใช้ระยะเวลาการก่อสร้างที่นานมากขึ้นกว่าพื้นทางเดียว เนื่องจากมีการเข้าไม้แบบที่ยากขึ้น การวางเหล็กที่ซับซ้อนมากขึ้น ทำให้กระบวนการก่อสร้างใช้เวลานาน มีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น ถ้าเปรียบเทียบจากราคาวัสดุทั้ง 3 Option จะเห็นว่า Option ที่ 3 มีมูลค่าที่ไม่ต่างกับ Option 1 มากนัก เพียง 1.35 % ดังนั้นหากจะทำให้การก่อสร้างง่ายขึ้น ใช้ระยะเวลาสั้นลง ค่าใช้จ่ายด้านการก่อสร้างก็อาจจะน้อยกว่าด้วย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือก Option 1 เมื่อเทียบกันในเรื่องของการทำงานที่จะง่ายขึ้นนั่นเอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรมในการศึกษาวิเคราะห์ ผู้ใช้จำเป็นต้องเข้าใจการทำงานและพฤติกรรมของโปรแกรมที่ใช้ ซึ่งจากการใช้โปรแกรมจะมีข้อกำหนดในการออกแบบเหล็กที่ถูกควบคุมโดยการเอนตัว ซึ่งจากการออกแบบเหล็กเสริมในพื้นที่ เหล็กที่ผู้ออกแบบใส่เพียงพอกับโมเมนต์และรับแรงเฉือนได้ แต่ในขณะเดียวกัน พฤติกรรมในการเอนตัวอาจจะไม่ผ่านข้อกำหนด จึงทำให้ผู้ออกแบบได้เพิ่มจำนวนเหล็กเสริมเข้าไปเพื่อรับการเอนตัวของโครงสร้างและลดค่าเอนตัวให้สอดคล้องกับข้อกำหนดตามมาตรฐานของ ACI ซึ่งจะทำให้ในโครงสร้างมีเหล็กเยอะขึ้น เหล็กต่อคอนกรีตก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นไปด้วย และในการออกแบบอาคารจอดรถซึ่งมีข้อกำหนดที่มีความสูงระหว่างชั้นไม่ต่ำกว่า 2.1 เมตร ซึ่งจากแบบ สถาปนิกได้ออกแบบให้ความสูงระหว่างชั้นเท่ากับ 2.75 เมตร ส่งผลให้ตัวโครงสร้างที่ออกแบบต้องมีความลึกไม่เกิน 0.65 เมตร ทาง Technical Director ของบริษัทได้แนะนำว่า การก่อสร้างจริงในปัจจุบัน โครงสร้างนี้ได้ออกแบบเป็นแบบพื้นไร้คาน หรือ Post tension slab คือ Option 4 เพื่อประหยัดคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบ ซึ่งยังทำให้ก่อสร้างง่ายขึ้นอีกด้วย จะเห็นได้จากการเปรียบเทียบจากตารางและกราฟที่ผู้วิจัยได้แสดงไว้

เอกสารอ้างอิง

- กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อดำเนินงานการสันสะเทือนของแผ่นดินไหว(มยผ.1301-50). (2550)
- ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary. American concrete institute. 2008
- มงคล จีระวัชรเดช. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก(Reinforced concrete design). พิมพ์ครั้งที่ 4. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2549
- วินิต ช่อวิเชียร. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง (Reinforce concrete design: strength design method). พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : วรินทร์ ช่อวิเชียร. 2554
- สมศักดิ์ คำปสิวิ. ฐานรากบนเสาเข็มสามต้น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.tumcivil.com/engfanatic/article_gen.php?article_id=484&hit=1. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2560)

ภาคผนวก
ตารางช่วยออกแบบ

ตารางที่ 1 พื้นที่เหล็กเสริมตามจำนวนเส้น (ตารางเซนติเมตร)

$$A_{s1} = n\left(\frac{\pi}{4}\right)d_b^2$$

ขนาดเหล็กเสริม (ม.ม.)	จำนวนเส้นของเหล็กเสริม									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RB6	.283	.565	.848	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83
RB9	.636	1.27	1.91	2.54	3.18	3.82	4.45	5.09	5.73	6.36
DB10	.785	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85
DB12	1.13	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31
DB16	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.10	20.11
DB20	3.14	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85	21.99	25.13	28.27	31.42
DB25	4.91	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18	49.09
DB28	6.16	12.32	18.47	24.63	30.79	36.95	43.10	49.26	55.42	61.58
DB32	8.04	16.08	24.13	32.17	40.21	48.25	56.30	64.34	72.38	80.42

ตารางที่ 2 พื้นที่เหล็กเสริมต่อความยาวหนึ่งเมตร (ตารางเซนติเมตร)

$$A_{s2} = A_{s1}(100/s)$$

ระยะห่าง เหล็กเสริม	ขนาดของเหล็กเสริม, ม.ม.						
	RB6	RB9	DB10	DB12	DB16	DB20	DB25
5 ซม.	5.66	12.72	15.60	22.60	40.20	62.80	98.20
10 ซม.	2.83	6.36	7.80	11.30	20.10	31.40	49.10
15 ซม.	1.89	4.24	5.20	7.53	13.40	20.93	32.73
20 ซม.	1.42	3.18	3.90	5.65	10.05	15.70	24.55
25 ซม.	1.13	2.54	3.12	4.52	8.04	12.56	19.64
30 ซม.	0.94	2.12	2.60	3.77	6.70	10.47	16.37
35 ซม.	0.81	1.82	2.23	3.23	5.74	8.97	14.03
40 ซม.	0.71	1.59	1.95	2.83	5.03	7.85	12.28
45 ซม.	0.63	1.41	1.73	2.51	4.47	6.98	10.91

ตารางที่ 3 ปริมาณเหล็กเสริมและค่าสัมประสิทธิ์ต้านแรงดัด

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y}, \rho_b = \frac{0.85f'_c\beta_1}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right), \rho_{max} = 0.75\rho_b$$

$$R_{n,max} = \rho_{max}f_y \left(1 - \frac{1}{2}\rho_{max}m \right), m = \frac{f_y}{0.85f'_c}$$

f'_c (กก./ซม. ²)	f_y (กก./ซม. ²)	ρ_{min}	ρ_b	ρ_{max}	m	$R_{n,max}$ (กก./ซม. ²)
180	2400	0.0058	0.0389	0.0292	15.7	54.02
	3000	0.0047	0.0291	0.0218	19.6	51.45
	4000	0.0035	0.0197	0.0147	26.1	47.62
	5000	0.0028	0.0143	0.0107	32.7	44.26
$(\beta_1=0.85)$	2400	0.0058	0.0454	0.0341	13.4	63.02
	3000	0.0047	0.0339	0.0255	16.8	60.03
	4000	0.0035	0.0229	0.0172	22.4	55.55
	5000	0.0028	0.0167	0.0125	28.0	51.64
240	2400	0.0058	0.0519	0.0389	11.8	72.03
	3000	0.0047	0.0388	0.0291	14.7	68.60
	4000	0.0035	0.0262	0.0197	19.6	63.49
	5000	0.0028	0.0191	0.0143	24.5	59.02
$(\beta_1=0.85)$	2400	0.0058	0.0605	0.0454	10.1	84.03
	3000	0.0047	0.0453	0.0339	12.6	80.04
	4000	0.0035	0.0306	0.0229	16.8	74.07
	5000	0.0028	0.0223	0.0167	21.0	68.85
320	2400	0.0058	0.0669	0.0502	8.8	93.73
	3000	0.0047	0.0500	0.0375	11.0	89.21
	4000	0.0035	0.0338	0.0253	14.7	82.46
	5000	0.0028	0.0246	0.0184	18.4	76.59
$(\beta_1=0.82)$	2400	0.0058	0.0712	0.0534	8.1	100.59
	3000	0.0047	0.0532	0.0399	10.1	95.67
	4000	0.0035	0.0360	0.0270	13.4	88.36
	5000	0.0028	0.0262	0.0196	16.8	82.02
$(\beta_1=0.80)$	2400	0.0058	0.0712	0.0534	8.1	100.59
	3000	0.0047	0.0532	0.0399	10.1	95.67
	4000	0.0035	0.0360	0.0270	13.4	88.36
	5000	0.0028	0.0262	0.0196	16.8	82.02

ตารางที่ 4 ระยะหุ้มคอนกรีตสำหรับเหล็กเสริม

สำหรับคอนกรีตหล่อในที่ (ไม่อัดแรง)

องค์อาคาร	ระยะหุ้ม(ซม.)
(ก) คอนกรีตสัมผัสพื้นดินดาว	8
(ข) คอนกรีตสัมผัสพื้นดินหรือลมฟ้าอากาศ: DB20-DB60	5
DB16 และเล็กกว่า	4
(ค) คอนกรีตไม่สัมผัสพื้นดินลมฟ้าอากาศ: พื้น คาน้ำ คง:	
DB40 และ DB60	4
DB36 และเล็กกว่า	2
คาน เสา	4

ตารางที่ 5 ค่าโมเมนต์และค่าแรงเฉือนโดยประมาณในคานต่อเนื่อง

(ก) เจริญไข

1. มีตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป
2. มีช่วงยาวเท่ากัน โดยประมาณ โดยช่วงที่ติดกันมีความยาวต่างกันไม่เกิน 20%
3. รับน้ำหนักแผ่นสม่ำเสมอเต็มทุกช่วง
4. น้ำหนักจร ไม่เกิน 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่
5. องค์อาคารมีลักษณะเป็นแท่งหน้าตัดคงที่

(ข) โมเมนต์คั่นวก

1. คานช่วงปลาย
 - ปลายไม่ต่อเนื่องไม่มีค้ำกับที่รองรับ $w_s L^2/11$
 - ปลายไม่ต่อเนื่องหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ $w_s L^2/14$
2. คานช่วงใน $w_s L^2/16$

(ค) โมเมนต์คั่นบ

1. โมเมนต์คั่นบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในคานแรก
 - เมื่อมี 2 ช่วง $w_s L^2/9$
 - เมื่อมีมากกว่า 2 ช่วง $w_s L^2/10$
2. โมเมนต์คั่นบที่ขอบของที่รองรับตัวในอื่นๆ $w_s L^2/11$
3. โมเมนต์คั่นบที่ขอบของที่รองรับทุกแห่งสำหรับ
 - พื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. และ $w_s L^2/12$
 - คานที่มีอัตราส่วนสตีฟเนสของเสาต่อคาน > 8 $w_s L^2/12$
4. โมเมนต์คั่นบที่ขอบในของที่รองรับตัวริมที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ
 - เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ $w_s L^2/24$
 - เมื่อที่รองรับเป็นเสา $w_s L^2/16$

(ง) แรงเฉือน

1. แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก $1.15 w_s L/2$
2. แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่นๆ $w_s L/2$

ตารางที่ 6 การประมาณโมเมนต์ในแผ่นพื้นสองทางโดยสัมประสิทธิ์โมเมนต์

โมเมนต์ดัดแถบกลาง

$$M = CwS^2$$

โมเมนต์ดัดในแถบเสา

2/3 โมเมนต์ดัดในแถบกลาง

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว
	ค่าต่างๆของ m						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	
พื้นภายใน							
โมเมนต์ลบ-ด้านต่อเนื่อง	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
-ด้านไม่ต่อเนื่อง	-	-	-	-	-	-	-
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
พื้นไม่ต่อเนื่องด้านเดียว							
โมเมนต์ลบ-ด้านต่อเนื่อง	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
-ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
พื้นไม่ต่อเนื่องสองด้าน							
โมเมนต์ลบ-ด้านต่อเนื่อง	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
-ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
พื้นไม่ต่อเนื่องสามด้าน							
โมเมนต์ลบ-ด้านต่อเนื่อง	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
-ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
พื้นไม่ต่อเนื่องสี่ด้าน							
โมเมนต์ลบ-ด้านต่อเนื่อง	-	-	-	-	-	-	-
-ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050

* $m = SL =$ ช่วงสั้น/ช่วงยาว

ตารางที่ 7 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอนที่คำนวณได้

ชนิดขององค์อาคาร	ระยะแอนที่ต้องพิจารณา	พิสัยระยะแอน
หลังคาที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ระยะแอนตัวพื้นที่จากน้ำหนักบรรทุกจร	L/180
พื้นที่ไม่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ระยะแอนตัวพื้นที่จากน้ำหนักบรรทุกจร	L/360
หลังคาหรือพื้นที่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะเกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ระยะแอนตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังจากการยึดติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้าง ผลรวมระยะแอนตัวตามกาลเวลานี้เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก	L/480
หลังคาหรือพื้นที่รองรับหรือติดกับส่วนที่มีใช้โครงสร้างที่คาดว่าจะไม่เกิดการเสียหายจากการแอนตัวมากเกินไป	ค้ำยันทั้งหมด และระยะแอนตัวพื้นที่เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น	L/240

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปภัสสร พลระมา เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2538 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2557 เนื่องจากผู้วิจัยมีความสนใจในการออกแบบอาคารสูง จึงได้เลือกมาทำสหกิจศึกษาที่บริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด ในแผนกอาคารสูง ส่งผลให้ได้รับผิดชอบในการออกแบบอาคารจอดรถจำนวน 7 ชั้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ ระบบพื้นทางเดียว โดยมีการถ่ายแรงต่างกันสองทิศทาง และระบบพื้นสองทาง เพื่อเปรียบเทียบกับระบบพื้นไร้คานที่บริษัทได้ทำการออกแบบไว้ว่าแบบใดมีความคุ้มค่าและประหยัดกว่ากัน จึงเป็นที่มาของการศึกษาหัวข้อวิจัยนี้

นายณัฐดนัย นามมี เกิดเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2539 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2557 เนื่องจากทางสถาบันมีหลักสูตรวิชาสหกิจศึกษา ที่มีการออกไปทำวิจัยและทำงานร่วมกับบริษัทภายนอก ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการหาประสบการณ์นอกสถาบัน และเนื่องจากผู้วิจัยมีความสนใจในวิชาการออกแบบอาคารซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในอาชีพวิศวกร ผู้วิจัยจึงเลือกทำสหกิจศึกษากับ บริษัท ออเรคอน คอนซัลติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด ในแผนกอาคารสูง โดยได้รับผิดชอบในส่วนของ การออกแบบโครงสร้างอาคารจอดรถ 7 ชั้น แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ ระบบพื้นทางเดียว โดยมีการถ่ายแรงต่างกันสองทิศทาง และระบบพื้นสองทาง เพื่อเปรียบเทียบกับระบบพื้นไร้คานที่บริษัทได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้น ว่าเพราะเหตุใดการก่อสร้างอาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่ในปัจจุบันจึงใช้ระบบพื้นไร้คานเป็นส่วนมาก และนี่คือที่มาส่วนหนึ่งของการศึกษานี้