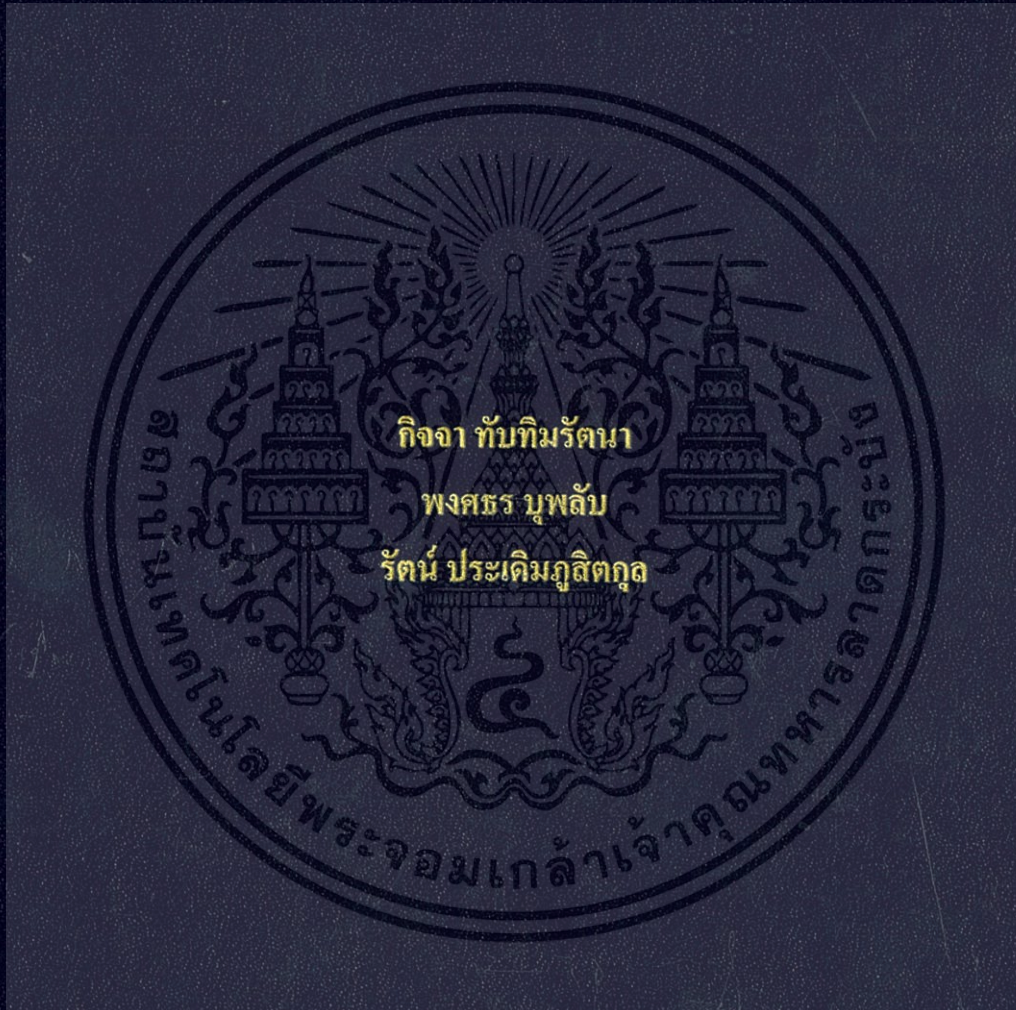


การหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์สำหรับพื้นไร้คานชนิดไม่มีแป้นหัวเสา
FIND COEFFICIENT MOMENT FOR FLAT SLAB WITH OUT
DROP PANEL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์สำหรับพื้นไร้คานชนิดไม่มีแป้นหัวเสา
FIND COEFFICIENT MOMENT FOR FLAT SLAB WITH OUT
DROP PANEL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIND COEFFICIENT MOMENT FOR FLAT SLAB WITH OUT
DROP PANEL**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERIG
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG**

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อ โครงการพิเศษ	การหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์สำหรับพื้นไร้คานชนิดไม่มีเป็นหัวเสา		
นักศึกษา	นายกิจจา ทับทิมรัตนา	รหัสประจำตัว	54010102
	นายพงศธร บุพลับ	รหัสประจำตัว	54010846
	นายรัตน์ ประเดิมภูสิตกุล	รหัสประจำตัว	54011085
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
ดร.อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์	
ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	
อ.ทรงกลด แซ่เอ็ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ชนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 25 เดือน มค. พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์สำหรับพื้นไร้คาน

ชนิดไม่มีแป้นหัวเสา

นายกิจจา ทับทิมรัตนา	54010102
นายพงศธร นุพลับ	54010846
นายรัตน์ ประเดิมภูสิตกุล	54011085
ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557	

บทคัดย่อ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมพอสคอร และควรกำหนดขอบเขตในการวิจัยค้นคว้าเพื่อที่อำนวยความสะดวกและประหยัดเวลาในการออกแบบพื้นไร้คาน

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมกับการออกแบบพื้นไร้คาน และเพื่อสร้างตารางค่าสัมประสิทธิ์ โมเมนต์และศึกษาหาค่าโมเมนต์ในพื้นที่ไร้คานและเปรียบเทียบ โดยวิธีการวิเคราะห์หาโมเมนต์ที่มากที่สุดจากวิธี โครงข้อแข็งเทียบเท่า และ วิธี จากโปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบค่าโมเมนต์ที่มากที่สุดและจะสามารถทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ เพื่อที่จะใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมในคอนกรีตและวิธี จาก โปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าโมเมนต์จะมีค่าแตกต่างกับ วิธี โครงข้อแข็งเทียบเท่าถึง 38.430 เปอร์เซ็นต์ ถึงอย่างไรก็ตามแม้ว่าตัวโปรแกรมจะมีความน่าเชื่อถือเพียงใดก็ตาม ผู้ใช้โปรแกรมต้องมีความรู้และความเข้าใจในโครงสร้างประเภทนั้นๆด้วย

FIND COEFFICIENT MOMENT FOR FLAT SLAB WITH OUT DROP PANEL

Mr. Kitja	Tubtimratana	54010102
Mr. Phongsatorn	Buplab	54010846
Mr. Ratt	Pradermpusitkul	54011085
Dr. Arthit	Petchsasithon	Advisor

Academic Year 2014

ABSTRACT

In term of structure analysis we must have a deep understanding about programs mechanism. We should scoping of the study for convenience and save time to design flat slab.

This study is researching into coefficient of flat slab design, in order to analyze relevance of moment's coefficient and moment value and compare the highest moment occur between Finite element program and Equivalent Frame Method. The result of analysis, there were coefficient of steel reinforcement from Finite element program. It resulted moment value be different 38.840 percent compare with Equivalent Frame Method. However, program is reliable but user have to be sufficient capability and understanding in the structure of the study case.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ดร. อาทิตย์ เพชรศิธร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและคุณ ภาณุมาศ ไทรงาม ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการใช้โปรแกรม วิเคราะห์โครงสร้างและขั้นตอนการดำเนินการทำปริญญาานิพนธ์ ผู้เขียนมีความสำนึกในพระคุณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และโรงเรียนต่างๆที่ผู้เขียนได้ร่ำเรียนมาพร้อมทั้ง คณาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรมสั่งสอนความรู้อย่างมากมาต่อผู้เรียนและขอสำนึกในพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกคน รวมถึงเพื่อนๆทุกคนที่ให้การสนับสนุนทางด้านคำแนะนำและกำลังใจแก่ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
III
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.1 นิยามพื้นไร่คาน.....	4
2.2 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ห้อกแบบใช้วิธี โครงข้อแข็งเทียบเท่าหรือ Equivalent Frame Method.....	5
2.3 ไฟไนท์เอลิเมนต์.....	7
2.4 Moment Distribution Method.....	8
2.5 แนวทางออกแบบและก่อสร้างเพื่อป้องกันดัดกล้มในพื้นที่ไร่คาน.....	13
2.6 การทำรายละเอียดเหล็กเสริมเพื่อป้องกัน Progressive collapse ในแผ่นพื้นไร่คาน.....	18
2.7 การประมาณค่าความสามารถการ โกงเดาะของพื้นรองจุดรองรับ โดย วิธีสัมประสิทธิ์.....	21
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	31

3.1	ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพื้นไร้คาน.....	31
3.2	ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นสองทาง.....	32
3.3	ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นไร้คาน.....	32
3.4	ทำการจำลองโมเดล อาคารโดยใช้การคำนวณโดยโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์.....	32
3.5	ทำการวิเคราะห์ผลหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่เหมาะสม.....	32
3.6	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม.....	33
บทที่4	ผลการวิเคราะห์.....	42
4.1	แสดงค่าการวิเคราะห์หา Moment Maximum โดยวิธี Equivalent frame method....	42
4.2	แสดงค่าการวิเคราะห์หา Moment Maximum โดยวิธี Conventional method ในโปรแกรม Finite Element และหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์.....	49
4.3	เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ได้จากวิธี Equivalent frame method และ วิธี จากโปรแกรม Finite element และหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง.....	61
บทที่5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	70
5.1	สรุปผลการวิเคราะห์.....	70
5.2	วิจารณ์ผลการวิเคราะห์.....	74
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....		75
ภาคผนวก ก งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....		ผก1

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการ ทำงานวิจัย.....	3
2.1 Fixed-End Moment แต่ละกรณี.....	11
2.2 คำศัพท์ประสิทธิภาพ โท่งเคาะรอบจูดรองรับ โดยพิจารณาที่ อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวขนาด ต่างๆ.....	24
2.3 ความแตกต่างของแต่ละกรณีของพื้นสามช่วง ในรูปที่ 2.17 ที่จะนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรมไฟ ไนท์อีลิเมนต์.....	25
4.1 ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	44
4.2 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	44
4.3 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	45
4.4 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	45
4.5 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	46
4.6 ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	46
4.7 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	47
4.8 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	47
4.9 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	48
4.10 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	48
4.11 ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	49
4.12 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	52
4.13 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	53
4.14 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	54
4.15 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	55
4.16 ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	56
4.17 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	57
4.18 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	58
4.19 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	59
4.20 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	60
4.21 เปรียบเทียบ โมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	61

4.22 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	62
4.23 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	63
4.24 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	64
4.25 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	65
4.26 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร.....	66
4.27 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร	67
4.28 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	68
4.29 เปรียบเทียบ โมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	69
4.30 เปรียบเทียบ โมเมนต์ที่ ขนาดพื้นที่ 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2 เมตร.....	70
5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ด้านสั้น.....	72
5.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ด้านยาว.....	73

สารบัญญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ชนิดรูปແບບແສທີ່มีเป็นหัวเสและหมวกเส.....	4
2.2 การแบ่งแถบพื้นสำหรับ $l_2 > l_1$ และ $l_1 > l_2$	5
2.3 แสดงพฤติกรรมของ โมเมนต์ภายในพื้นของโปรแกรม Finite element.....	8
2.4 Locking จำกัดให้ทุก Joint ไม่มีการเคลื่อนที่และ แรงที่มากระทำในชิ้นส่วนของโครงสร้างทำ ให้เกิด Fixed End Moments.....	9
2.5 Unlocking Unbalanced Moment ที่จุด E ทำให้โครงสร้างเคลื่อนที่ไปจนเกิดแรงด้านรวมพอดี ที่สมดุลและ ขณะเดียวกันการบิดของโครงสร้างทำให้เกิด โมเมนต์ ที่ปลายด้านไกล (A ,B ,C หรือ D) ของชิ้นส่วนเรียกว่า “ Carry-Over Moment ”.....	10
2.6 แสดงทิศทาง moment ในคาน.....	10
2.7 แสดงทิศทาง Rotation ในคาน.....	10
2.8 Distribution Factor (และ Distribution ของ โมเมนต์ภายนอกที่มากระทำที่ Joint.....	11
2.9 แสดงการวิบัติของพื้นไร้คาน.....	13
2.10 แสดงการเสริมเหล็กผ่านแกนเสเพื่อทำหน้าที่เป็นเหล็กหัว.....	14
2.11 แสดงการเสริมเหล็กปลอกในพื้น.....	15
2.12 แสดงการยึดระหว่างพื้นกับเส.....	16
2.13 คานขอบวิ่งรอบอาคารช่วยป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุได้.....	16
2.14 การเสริมเป็นหัวเสและหมวกเส.....	17
2.15 การวิบัติของอาคารในลักษณะ progressive ที่ประเทศเม็กซิโก.....	18
2.16 การวิบัติเฉือนทะลุของพื้นไร้คาน.....	19
2.17 กลไกการรับแรงของเหล็กเสริม.....	20
2.18 แบบจำลองพื้นที่นำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการ โกงเดาะจาก การวิเคราะห์ใน โปรแกรม ไฟไนท์อิลิเมนต์และ วิธีสัมประสิทธิ์.....	25
2.19 เปรียบเทียบค่าการ โกงเดาะระหว่างวิธี ทางไฟไนท์อิลิเมนต์กับ วิธีสัมประสิทธิ์ในกรณี a ใน รูปที่ 2.17.....	26
2.20 เปรียบเทียบค่าการ โกงเดาะระหว่างวิธี ทางไฟไนท์อิลิเมนต์กับ วิธีสัมประสิทธิ์ในกรณี b ใน รูปที่ 2.17.....	27
2.21 เปรียบเทียบค่าการ โกงเดาะระหว่างวิธี ทางไฟไนท์อิลิเมนต์กับ วิธีสัมประสิทธิ์ในกรณี c ในรูป ที่ 2.17.....	27

2.22 ผลของค่าการโก่งเคาะในกรณีทางด้านสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่1.....	28
2.23 ผลของค่าการโก่งเคาะในกรณีทางด้านสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่2.....	28
2.24 ผลของค่าการโก่งเคาะในกรณีทางด้านสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่4.....	29
2.25 ผลของค่าการโก่งเคาะในกรณีทางด้านสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 6.....	29
2.26 ผลของค่าการโก่งเคาะในกรณีทางด้านสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 8.....	30
3.1 การเรียกชื่อแถบ (strip) panel division.....	31
3.2 แสดงการเลือกหน่วยตามต้องการ.....	33
3.3 เลือกไปที่ Add/Modify Grids	34
3.4 เลือกไปที่ spacing แล้วใส่ ค่า ตามแนวแกน X และ แกน Y.....	34
3.5 ค่าที่ได้ จะออกมาเป็นตารางกริดเช่นนี้.....	35
3.6 slab property data.....	35
3.7 column property data.....	36
3.8 โปรแกรมจะให้เลือก property ที่ได้กำหนดไว้เมื่อเลือกแล้วจากนั้นทำการลากคลุมกริดที่ได้ดีไว้ก่อนข้างต้น.....	37
3.9 เมื่อเลือกคำสั่ง Draw Column ให้ ทำการลากคลุมกริด.....	37
3.10 ทำการ ดึงเส้น strip บริเวณ Column strip และ Middle strip.....	38
3.11 ทำการใส่ค่า Dead load และ Live load ที่ต้องการออกแบบลงไป.....	38
3.12 ใส่ค่าคงที่ลงไป ใน Scale factor เพื่อที่จะ กำหนด Wu ที่ต้องการออกแบบ.....	39
3.13 Run Analysis design.....	40
3.14 เมื่อกด save แล้ว จะปรากฏ ภาพนี้ออกมา.....	40
3.15 เลือก layer ที่ต้องการเพื่อที่จะแสดงผลออกมา.....	41
3.16 ค่า Bending moment ที่แสดงผลออกมา.....	41
4.1 รูปแสดง แบบจำลองพื้น ไรคาน $\frac{S}{L} = 1.0$	42
4.2 รูปแสดง แบบจำลองพื้น ไรคาน $\frac{S}{L} = 0.7$	43
4.3 รูปแสดง แบบจำลองพื้น ไรคาน $\frac{S}{L} = 0.5$	43
4.4 แสดงโมเมนต์ในพื้นที่ ไรคาน $\frac{S}{L} = 1.0$	49
4.5 แสดงโมเมนต์ในพื้นที่ ไรคาน $\frac{S}{L} = 0.7$	50
4.6 แสดงโมเมนต์ในพื้นที่ ไรคาน $\frac{S}{L} = 0.5$	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

สำหรับการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น การก่อสร้างส่วนต่างๆไม่ว่าจะเป็น การก่อสร้างเสาเข็ม ฐานราก พื้น เสา คาน ผนัง และอื่นๆ เป็นต้น สำหรับระยะเวลาในการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างอาคาร 8 ชั้น พื้นที่ 60x30 เมตร เฉลี่ยระยะเวลาโครงการประมาณ 660 วัน หรือประมาณ เกือบ 2 ปี แต่ในบางโครงการที่ต้องการความรวดเร็ว อาจต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การเพิ่มจำนวนคนงาน การเพิ่มเครื่องจักร การเลือกชนิดคอนกรีตที่มีระยะเวลาเซตตัวที่เร็วกว่าปกติ รวมไปถึงการตัดโครงสร้างบางส่วนออก ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายแรงจากพื้นลงผนังหรือที่เรียกว่าผนังรับน้ำหนัก(wall bearing system) โดยไม่ต้องมีเสาและคาน หรือ การถ่ายแรงจากพื้นลงเสาโดยไม่ต้องมีคาน เช่น 1. พื้นชนิดดึงลวดสลิงก่อนเทคอนกรีต (pretension slab) 2. พื้นชนิดดึงลวดทีหลังเทคอนกรีต (post tension slab) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นการเสริมเหล็กแบบอัดแรงและ 3. พื้นไร้คานชนิดเหล็กเสริมไม่อัดแรง (flat slab) ซึ่งในการก่อสร้างประเภทพื้นไร้คานนั้น ข้อดีอย่างหนึ่งคือ สามารถลดระยะเวลาการก่อสร้าง จำนวนแรงงาน รวมถึงสามารถรองรับการออกแบบบางประเภทได้อีกด้วย

ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ให้ความสนใจในการศึกษาเรื่องของพื้นไร้คานชนิดเหล็กเสริมไม่อัดแรง หรือ Flat Slab เนื่องจากในปัจจุบัน การก่อสร้างพื้นส่วนใหญ่นิยมใช้ประเภทพื้นสองทาง ซึ่งจะมีการพิจารณา อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวของพื้น และมีการทำตารางค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ออกมาเพื่อช่วยต่อการคำนวณ ซึ่งในแนวทางเดียวกันกับพื้นไร้คานนั้น ที่การคำนวณออกแบบนั้น จะได้มาจากวิธี

- 1.) Direct Design Method
- 2.) Equivalent frame method
- 3.) Conventional method

โดยในปัจจุบันยังไม่มีการทำตารางค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ออกมาทางคณะผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะศึกษา การหาสูตรคำนวณที่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) เพื่อสามารถนำมาใช้ในการคำนวณการออกแบบพื้นไร้คานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการใช้งานในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์(C) สำหรับพื้นไร้คาน

1) เพื่อศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ที่เหมาะสมกับพื้นไร้คาน เพื่อสร้างตารางค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์(C)ของพื้นไร้คาน

2) เพื่อศึกษาการคำนวณค่าโมเมนต์ในพื้นไร้คาน จากวิธี Equivalent frame method เปรียบเทียบกับวิธีจากโปรแกรม finite element

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) ทำการศึกษาค่า สัมประสิทธิ์โมเมนต์(C) ของพื้นไร้คานโดยการจำลองขึ้นในโปรแกรม Finite element

2) ทำการศึกษาวิเคราะห์เฉพาะกรณีอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก

3) ทำการศึกษและเปรียบเทียบในกรณีการคำนวณวิธี Equivalent frame method และวิธีจากโปรแกรม Finite element

4) ทำการศึกษาวิเคราะห์ อัตราส่วนด้านกว้างต่อคานยาว (S/L) ที่ 1.0, 0.7 และ 0.5

5) ทำการศึกษาวิเคราะห์เฉพาะ กรณี น้ำหนักบรรทุกจรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่

6) ทำการศึกษาวิเคราะห์เฉพาะ กรณี พื้นไร้คานชนิดไม่มีเป็นหัวเสา

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1) ศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพื้นไร้คาน

2) ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นสองทาง

3) ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นไร้คาน

4) ทำการจำลอง model อาคาร โดยใช้การคำนวณ โดยโปรแกรม Finite element

5) ทำการวิเคราะห์ผลหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์(C)ที่เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อให้วิศวกร นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องมีความรวดเร็วในการออกแบบพื้นไร้คาน

2) เพื่อสร้างตารางค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์(C)ในพื้นไร้คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการ ทำงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการ	ส.ค.57	ก.ย.57	ต.ค.57	ธ.ค.57	ม.ค.58	ก.พ.58	มี.ค.58
ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพื้นที่ไร้คาน							
ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นสองทาง							
ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นพื้นไร้คาน							
ทำแบบจำลองอาคารโดยใช้การวิเคราะห์ในโปรแกรม Finite element							
ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่เหมาะสม							

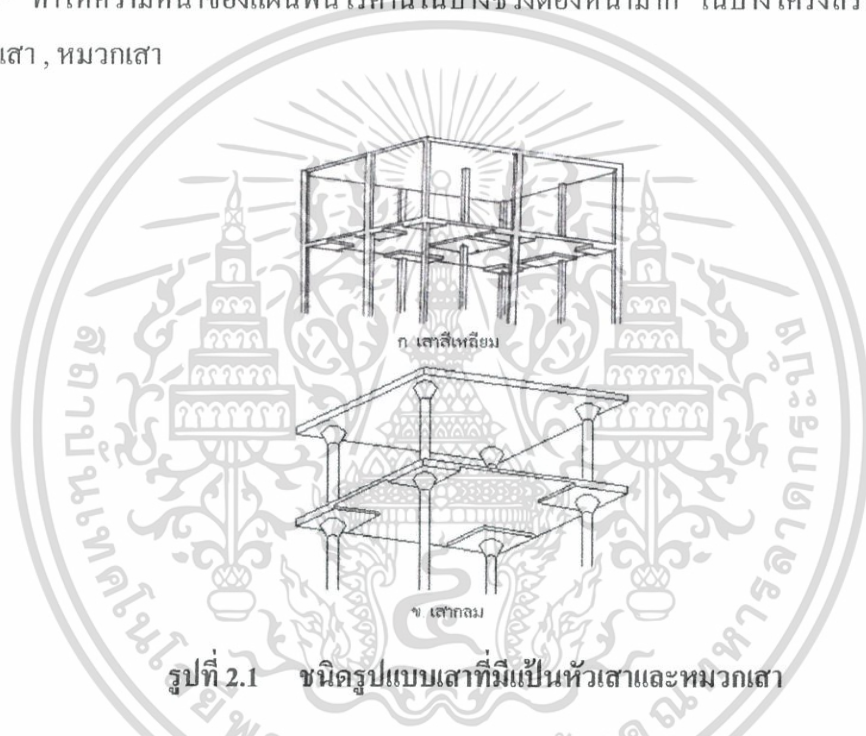
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 พื้นไร้คาน

นิยามพื้นไร้คาน คือ พื้นคอนกรีตหล่อในที่ ไม่ได้มีการถ่ายน้ำหนักไปยังคาน สมมุติฐานของการออกแบบพื้นไร้คานคือ “แผ่นพื้นที่เสริมเหล็กสองทางหรือมากกว่า และถือเสมือนว่าเป็นแผ่นพื้นเดียวทำการถ่ายน้ำหนักไปยังหมวกหั่วเสา หรือ เป็นหั่วเสา และทำการถ่ายน้ำหนักไปยังเสาอีกที” ทำให้ความหนาของแผ่นพื้นไร้คานในบางช่วงต้องหนามาก ในบางโครงสร้างจึงต้องทำเป็นหั่วเสา , หมวกเสา



รูปที่ 2.1 ชนิดรูปแบบเสาที่มีเป็นหั่วเสาและหมวกเสา

ต่างกันกับการออกแบบโครงสร้างให้เป็นระบบเสา,คาน คือ พื้นบางช่วงจะเป็นพื้นทางเดียว, พื้นสองทาง, พื้นยื่น อาจเสริมเหล็กไม่เท่ากันทำให้ต้นทุนในการก่อสร้างถูกกว่า แต่ข้อดีของพื้นไร้คานก็มีเหมือนกัน คือ อย่างแรกคือ เมื่อมันไม่มีคาน มันก็สามารถเพิ่มความสูงของระดับชั้นต่อชั้นได้ (Floor to Floor height) การออกแบบของอาคารเรื่องความสูงของพื้นถึงฝ้าบางโครงการมีความจำเป็นมาก เช่นพวกอาคารที่มีความต้องการจำนวนชั้นมากๆ แต่ถูกควบคุมโดยกฎหมาย ห้ามความสูง ทำให้ระดับความสูงของชั้นแต่ละชั้นจำเป็นมาก

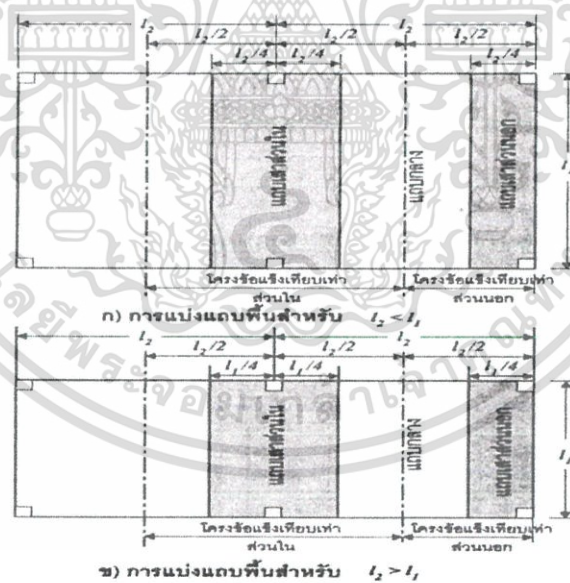
อีกเรื่องคือลักษณะของอาคารที่เป็น กริด ตาราง เท่ากัน ซ้ำๆกันหลายชั้น การออกแบบให้เป็นพื้นไร้คานอาจสามารถทำให้ลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ อย่างน้อยคือเรื่องระยะเวลาการก่อสร้าง โดยเฉพาะผู้รับเหมาหรือช่างที่ชำนาญ สามารถทำได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ห่ออกแบบใช้วิธีโครงข้อแข็งเทียบเท่าหรือ Equivalent Frame Method

สำหรับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ห่ออกแบบใช้วิธีโครงข้อแข็งเทียบเท่าหรือ Equivalent Frame Method ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณออกแบบโดยพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ในวิธีโครงข้อแข็งเทียบเท่าโครงสร้างจริง 3 มิติจะถูกแบ่งออกเป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติ ทั้งทางยาวและทางขวางของอาคาร เรียกโครงข้อแข็งแต่ละอันว่า Equivalent frame ซึ่งจะประกอบด้วยเสาหนึ่งแถว และแถบออกแบบของพื้นที่อยู่ระหว่างเส้นกึ่งกลางของแผ่นพื้นที่อยู่ในแต่ละด้านของเส้นกึ่งกลางของศูนย์เสาที่รองรับ

การวิเคราะห์แบ่งออกเป็นชั้นๆ โดยสมมติว่าปลายด้านไกลของเสานบนและล่างของชั้นที่กำลังพิจารณามีสภาพยึดแน่น และเมื่อต้องการหาโมเมนต์ที่จตุรรองรับใดๆ ให้สมมติว่าปลายของแผ่นพื้นที่อยู่ห่างออกไปจากจตุรรองรับนั้นทั้งสองข้าง ช่วงละหนึ่งช่วงพื้นมีสภาพยึดแน่น โดยแผ่นพื้นนั้นต้องมีความต่อเนื่องไปจากจตุรรองรับที่กำลังพิจารณา ในการวิเคราะห์ระบบโครงดังกล่าวนี้ที่สมบูรณ์จะต้องทำการวิเคราะห์ โครงข้อแข็งภายนอกและโครงข้อแข็งภายใน ในช่วงตามยาวและตามขวางของอาคาร แล้วจึงนำมาประกอบกันเป็นอาคารทั้งหมด



รูปที่ 2.2 การแบ่งแถบพื้นสำหรับ $l_2 > l_1$ และ $l_1 > l_2$

ความกว้างของโครงข้อแข็ง มีค่าเท่ากับระยะกึ่งกลางระหว่างเสาเรียกว่า Design strip ซึ่งจะถูกแบ่งเป็น แถบเสา (Column strip) และแถบบกลาง (Middle strip) ความหนาของแผ่นพื้นพิจารณาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางมาตรฐานของ ว.ส.ท. 1008-38 และ ACI-318-99 และความหนาที่ผ่านการตรวจสอบแรงเฉือนโดยตรง ซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลเริ่มต้นที่ผู้ใช้ได้ทำการป้อนเข้าไป ผู้ใช้สามารถพิจารณาใช้ค่าความหนาตามต้องการ แต่ความหนาน้อยที่สุดที่จะนำไปใช้งานได้จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าความหนาจากตารางมาตรฐาน จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่ ทั้งน้ำหนักบรรทุกรวมและน้ำหนักบรรทุกคงที่ ซึ่งน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่ทำการเพิ่มค่าแล้ว และคำนวณค่าโมเมนต์ที่ปลายยึดแน่น(FEM) ทำการคำนวณหาค่าสติเฟนสการคัดของชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบด้วย แผ่นพื้น(Ks), เสา(Kc), ค่าสติเฟนสการบิด(Kt)ของชิ้นส่วนทางขวางเพื่อใช้ในการหาค่าสติเฟนสการคัดของเสาเทียบเท่า(Kec) แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าตัวประกอบเพื่อกระจายโมเมนต์(DF) เพื่อนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าโมเมนต์คัดสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆของแถบออกแบบที่พิจารณา โดยวิธีกระจายโมเมนต์แบบสองรอบ(Two-cycle moment distribution) ซึ่งไม่มีข้อจำกัดเรื่องการจัดน้ำหนักบรรทุกจร ใช้ค่าตัวประกอบสำหรับถ่ายโมเมนต์ (Carry-over factor) หรือ COF เท่ากับ 0.5 เพราะสมมติว่ารูปตัดของส่วนโครงสร้างมีรูปตัดคงที่ตลอดช่วงความยาวชิ้นส่วน (Prismatic member) และทำการกระจายโมเมนต์ที่คำนวณได้เข้าสู่แถบเสา(Column strip)และแถบกลาง(Middle strip) เพื่อทำการเสริมเหล็กรับโมเมนต์คัด

การเสริมเหล็กรับโมเมนต์คัด โปรแกรมจะทำการแสดงปริมาณและระยะเรียงของเหล็กRB6, RB9, RB12, RB15, RB19, RB25, DB10, DB12, DB16, DB20, DB25, DB28, DB32 เช่น DB12@0.20 แสดงว่าถ้าเลือกใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มิลลิเมตร จะต้องใช้ระยะเรียง 20 เซนติเมตรแล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้ตามความสะดวกเหมาะสม กับชนิดและจำนวนของเหล็กที่มีอยู่และสอดคล้องกับโครงสร้างใกล้เคียงค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสา จะประกอบด้วยพฤติกรรมสองประเภทคือ ค่าแรงเฉือนโดยตรง (Direct shear) และค่าแรงเฉือนจากโมเมนต์ (Shear caused by moment transfer) โปรแกรมจะพิจารณาหน่วยแรงเฉือนจากทั้งสองกรณีรวมกันที่ทุกเสา ในกรณีที่หน่วยแรงเฉือนรวม(vu)มากกว่ากำลังต้านทานของคอนกรีต(ovc) โปรแกรมจะทำการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนและระยะเรียงเพื่อเพิ่มความต้านทานแรงเฉือนของโครงสร้างให้เพียงพอ โปรแกรมจะทำการใช้เหล็กRB6, RB9, DB10, RB12, DB12 แล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้ตามความเหมาะสม กับชนิดและจำนวนของเหล็กที่มีอยู่และสอดคล้องกับ โครงสร้างใกล้เคียง

2.3 ไฟไนต์เอลิเมนต์

นิยาม ไฟไนต์เอลิเมนต์ คือวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ เขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้คำนวณ แก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น คำนวณหาพฤติกรรมโมเมนต์ในโครงสร้าง ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน ในชิ้นส่วนเครื่องกล รูปแบบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, คลื่นเสียง ฯลฯ

2.3.1 ประวัติของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

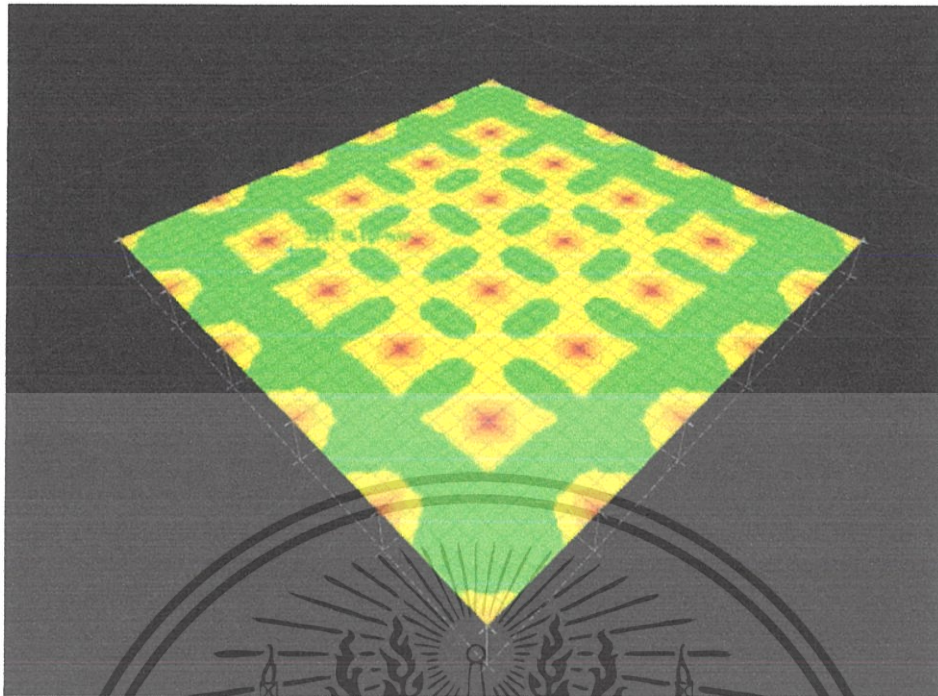
แนวคิดเบื้องต้นของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เริ่มมาจาก การหาวิธีการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ของเครื่องบิน Hrenikoff ได้เสนอการใช้ วิธี frame work เพื่อแก้ปัญหาทาง elasticity เป็นรายแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1943 Courant ก็ได้ตีพิมพ์บทความวิชาการ เกี่ยวกับการนำวิธีการ polynomial interpolation บนขอบเขตสามเหลี่ยม เพื่อให้เป็นแนวทางในการประมาณผลคำตอบ และนอกจากนี้ Courant ก็ยังแนะนำการใช้วิธีการของ Rayleigh-Ritz มาใช้ในการหาผลคำตอบของปัญหาทางวิศวกรรมอีกด้วย ซึ่งน่าจะเป็นที่มาของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั่นเองจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1953 วิศวกรจึงได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ มาแก้สมการของ stiffness matrix เป็นครั้งแรก หลังจากนั้นอีกเจ็ดปี Clough จึงได้ตั้งชื่อวิธีการนี้ว่า วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในปี ค.ศ. 1960

2.3.2 หลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

คือ การพิจารณารูปทรงโครงสร้าง ด้วยชิ้นส่วนเล็กๆ ที่มีรูปทรงเรขาคณิต เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ลูกบาศก์ เป็นต้น เนื่องจากเราสามารถคำนวณหาคำตอบที่แน่แท้ ของชิ้นส่วนที่มีรูปทรงเรขาคณิตได้ ดังนั้นเมื่อ เราเติมชิ้นส่วนเล็กๆ เหล่านี้ลงไปในส่วนใหญ่ เราก็สามารถศึกษาพฤติกรรมโดยรวมของระบบได้

2.3.4 ไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัจจุบัน

ในปัจจุบัน โครงสร้างที่ทำการออกแบบทุกวันนี้ ได้ผ่านการออกแบบด้วย วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์แทบทั้งนั้น ดังนั้นไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้มีส่วนร่วมแทบทุกชิ้นส่วนเลยทีเดียว ไม่ว่าจะเป็นงานวิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า ทัศนกรรม อุตสาหกรรมหนักต่างๆ



รูปที่ 2.3 แสดงพฤติกรรมของ โมเมนต์ภายในพื้นของโปรแกรม Finite element

2.4 Moment Distribution Method

moment distribution เป็นวิธีการแก้สมการ โดยประยุกต์มาจากสมการ slopedeflection โดยวิธีหาค่าแบบประมาณอย่างต่อเนื่อง

$$M_{AB} = \frac{2EI}{L} \left(2\theta_A + \theta_B - 3\frac{\Delta}{L} \right) \pm M_{AB}^F \quad (2.1)$$

$$M_{BA} = \frac{2EI}{L} \left(\theta_A + 2\theta_B - 3\frac{\Delta}{L} \right) \pm M_{BA}^F \quad (2.2)$$

ซึ่งแยกโมเมนต์ที่ปลายชิ้นส่วนให้เป็นผลของ 4 เหตุการณ์

- 1) Fixed End Moments
- 2) ผลของ Rotation ที่ A อย่างเดียว
- 3) ผลของ Rotation ที่ B อย่างเดียว
- 4) ผลของ Relative Translation ของปลาย A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1) Member stiffness factor คือค่า โมเมนต์ที่กระทำที่ปลายด้านหนึ่งของชิ้นส่วนของโครงสร้างซึ่งทำให้เกิดการหมุนขึ้นที่ปลายดังกล่าว 1 เรเดียน ในขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ถูกยึดแน่น

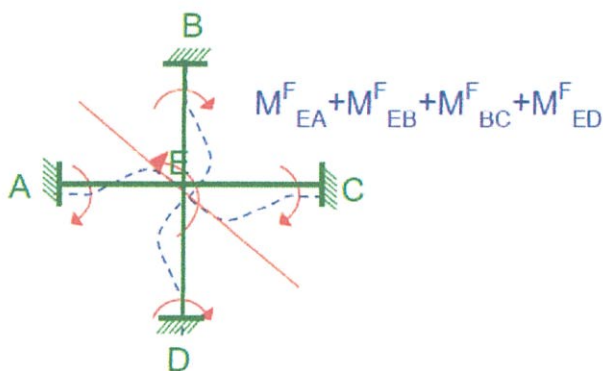
2) Carry-Over factor คือ อัตราส่วนของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ปลายด้านหนึ่งของชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ถูกยึดแน่นต่อ โมเมนต์ ที่กระทำอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของชิ้นส่วนของโครงสร้างซึ่งเป็นหมวด

3) Joint stiffness factor คือ Member stiffness factor ของชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันไปยัง joint ดังกล่าว

2.4.2 ขั้นตอนของการทำ Moment Distribution



รูปที่ 2.4 Locking จำกัดให้ทุก Joint ไม่มีการเคลื่อนที่และแรงที่มากกระทำในชิ้นส่วนของโครงสร้างทำให้เกิด Fixed End Moments



รูปที่ 2.5 Unlocking Unbalanced Moment ที่จุด E ทำให้โครงสร้างเคลื่อนที่ไปจนเกิดแรงต้านรวมพอดีที่สมดุลและขณะเดียวกันการบิดของโครงสร้างทำให้เกิดโมเมนต์ที่ปลายด้านไกล (A ,B ,C หรือ D)ของชิ้นส่วนเรียกว่า “ Carry-Over Moment ”

ทำทั้ง 2 ขั้นตอนจนกว่าจะได้ภาพที่สอดคล้องกับฐานรองรับและจุดต่อของ โครงสร้างและโมเมนต์ที่ปลายใดๆหาได้จากผลรวมของ โมเมนต์จากทุกขั้นตอน

2.4.3 ค่าต่างๆที่ใช้ในวิธี Moment Distribution

1)ทิศทางบวกของ Moment กำหนดทิศทางเช่นเดียวกับวิธี Slope-Deflection คือ Moment ตามเข็มนาฬิกาเป็นบวกดังรูป

รูปที่ 2.6 แสดงทิศทาง moment ในคาน

2)ทิศทางบวกของ Rotation ตามเข็มนาฬิกาเป็นบวกดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงทิศทาง Rotation ในคาน

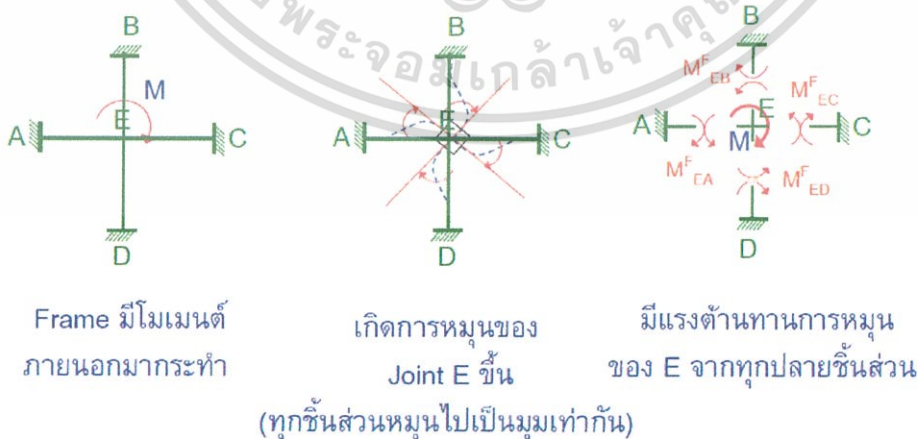
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Fixed End Moments หาได้จากตารางเช่นเดียวกับวิธี Slope-Deflection

ตารางที่ 2.1 Fixed-End Moment แต่ละกรณี

<p>1</p>	<p>2</p>
<p>3</p>	<p>4</p>
<p>5</p>	<p>6</p>
<p>7</p>	

2.4.4 Distribution Factor และ Distribution ของโมเมนต์ภายนอกที่กระทำที่ Joint



รูปที่ 2.8 Distribution Factor และ Distribution ของโมเมนต์ภายนอกที่กระทำที่ Joint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สมการ Slope-Deflection

$$M_{EA} = \left(\frac{EA}{L}\right)_{EA} \times 4\theta_E = K_{EA} \times 4\theta_E \quad (2.3)$$

$$M_{EC} = \left(\frac{EA}{L}\right)_{EC} \times 4\theta_E = K_{EC} \times 4\theta_E \quad (2.4)$$

$$M_{EB} = \left(\frac{EA}{L}\right)_{EB} \times 4\theta_E = K_{EB} \times 4\theta_E \quad (2.5)$$

$$M_{ED} = \left(\frac{EA}{L}\right)_{ED} \times 4\theta_E = K_{ED} \times 4\theta_E \quad (2.6)$$

2) สมดุลของ Joint E

$$M = M_{EA} + M_{EB} + M_{EC} + M_{ED} \quad (2.7)$$

Distributed Moments

$$M = M_{EA} + M_{EB} + M_{EC} + M_{ED} = 4\theta_E (K_{EA} + K_{EB} + K_{EC} + K_{ED}) = 4\theta_E \sum K$$

$$\text{ได้ } \theta_E = \frac{M}{4\sum K} = \left(\frac{K_{EA}}{\sum K}\right)M + \left(\frac{K_{EB}}{\sum K}\right)M + \left(\frac{K_{EC}}{\sum K}\right)M + \left(\frac{K_{ED}}{\sum K}\right)M$$

∥

โมเมนต์ที่ Joint E

จะกระจายตามสัดส่วน

ของ Distribution Factor

$$D_{EA} \quad D_{EB} \quad D_{BC} \quad D_{ED}$$

Distribution Factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

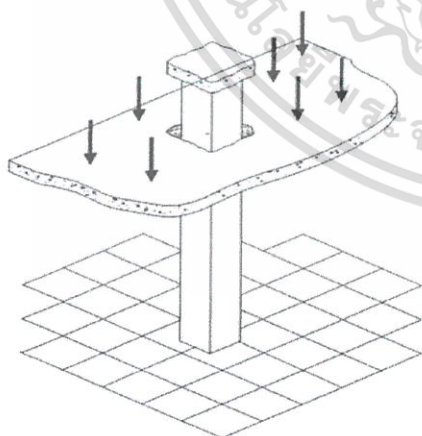
2.5 แนวทางออกแบบและก่อสร้างเพื่อป้องกันตึกถล่มในพื้นที่ไครน

2.5.1 ลักษณะทางโครงสร้างและจุดอ่อน

โครงสร้างอาคารที่ถล่มลงไปนั้น เป็นโครงสร้างประเภทพื้นไครนแบบอัดแรงที่หลัง เป็น การก่อสร้างที่ได้รับความนิยมอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 5 ชั้นขึ้นไป เนื่องจากก่อสร้างได้รวดเร็ว ลักษณะที่เห็นได้เด่นชัดสำหรับอาคารประเภทนี้คือเป็นโครงสร้างที่ไม่มีคาน แต่ก่อสร้างแผ่นพื้นวางอยู่บนหัวเสาโดยตรง เนื่องจากโครงสร้างประเภทนี้ไม่มีคาน จึงต้องเสริมสลิงอัดแรงในพื้น เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามโครงสร้างที่ปราศจากคาน ย่อมมีความอ่อนแอ และอาจเกิดการวิบัติแบบเฉือนโดยพื้นทะลุผ่านเสาลงไป กระแทกพื้นชั้นล่างๆ ลงไปเป็นทอดๆ คล้ายๆแผ่นขนมชั้น (เรียกว่า Pancake collapse) การวิบัติมักเกิดขึ้น ในระหว่างที่ทำการก่อสร้าง ซึ่งคอนกรีตยังไม่ได้อายุและไม่แข็งแรงพอ และจะอันตรายอย่างยิ่ง หากมีการก่อสร้างที่เร่งรีบ หรือ สดุดันตอนการก่อสร้าง

2.5.2 การวิบัติแบบแบบฉีกเชิง (Progressive collapse)

การวิบัติโดยฉีกเชิงของพื้นไครนระหว่างก่อสร้าง ไม่ใช่เรื่องใหม่ เคยเกิดขึ้นมาแล้วในต่างประเทศ โดยการวิบัติมักมีจุดเริ่มต้นที่พื้นฉีกขาดหลุดออกจากเสา โดยเฉพาะที่ต้นริมหรือต้นมุมก่อน (เนื่องจากมีจุดสัมผัสกับเสาน้อยกว่าเสาต้นใน) ซึ่งเรียกว่าการวิบัติเฉือนทะลุ (Punching Shear) จากนั้นการวิบัติจะลามไปทั่วอาคารเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่คล้ายการล้มคว่ำของโดมิโน สำหรับโครงสร้างไครนนี้หากรู้จักแนวทางการออกแบบและก่อสร้างที่ถูกต้องแล้ว จะช่วยป้องกันปัญหาตึกถล่มได้



รูปที่ 2.9 แสดงการวิบัติของพื้นไครน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

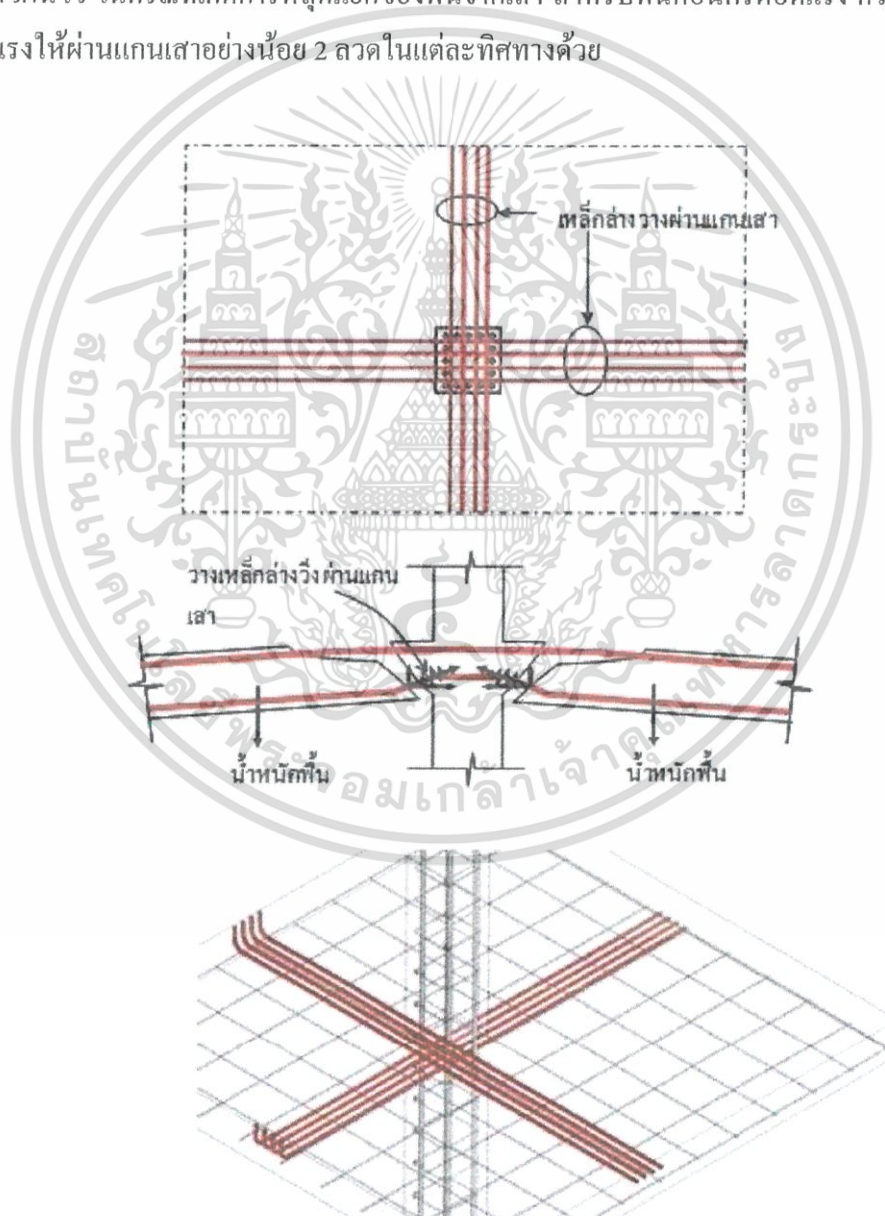
2.5.3 การออกแบบเพื่อป้องกันการถล่มของพื้นไร้คาน

2.5.3.1 ความหนาพื้น

ความหนาพื้นจะต้องไม่บางเกินไป โดยประมาณพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไม่ควรบางน้อยกว่า $L/30$ ส่วนพื้นคอนกรีตอัดแรงไม่ควรบางน้อยกว่า $L/40$ เมื่อ L คือความยาวช่วงหรือระยะที่วัดจากเสาไปสู่เสาต้นถัดไป

2.5.3.2 เสริมเหล็กหัวในพื้น

จะต้องวางเสริมเหล็กนอนใกล้ผิวด้านล่างของพื้นให้วิ่งผ่านแกนเสาทั้งสองทิศทาง เหล็กนอนนี้จะหัวพื้นไว้ ในกรณีที่เกิดการหลุดแยกของพื้นจากเสา สำหรับพื้นคอนกรีตอัดแรง ควรวางลวดอัดแรงให้ผ่านแกนเสาอย่างน้อย 2 ลวดในแต่ละทิศทางด้วย

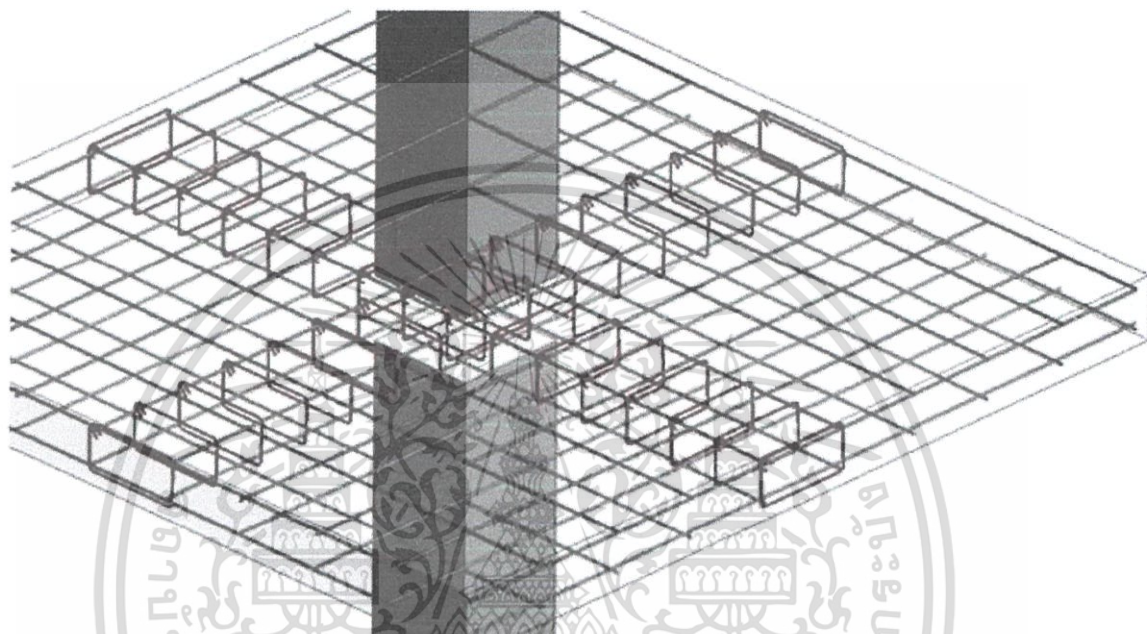


รูปที่ 2.10 แสดงการเสริมเหล็กกลางผ่านแกนเสาเพื่อทำหน้าที่เป็นเหล็กหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3 เสริมเหล็กปดกในพื้นผ่านแกนเสา

นอกจากเสริมเหล็กนอนวิ่งผ่านแกนเสาแล้ว จะต้องเสริมเหล็กปดกในพื้นเพื่อป้องกันการเนือนขาดของพื้นจากเสา

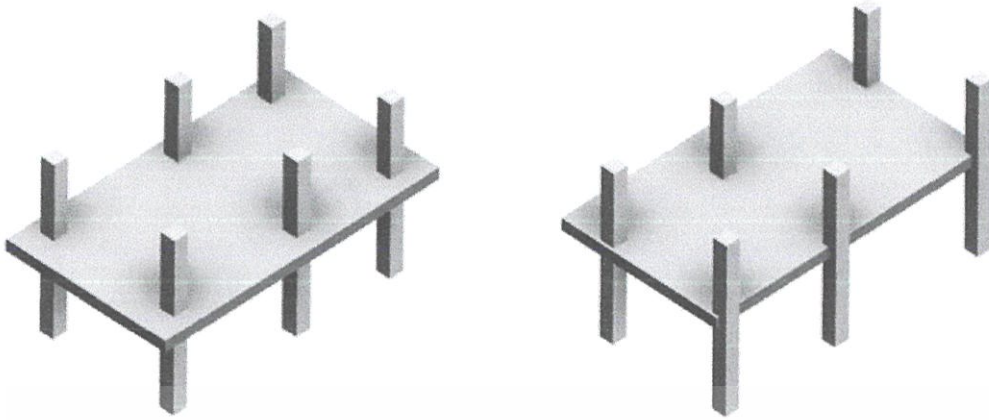


รูปที่ 2.11 แสดงการเสริมเหล็กปดกในพื้น

2.5.3.4 สำหรับเสาที่บริเวณขอบและริมอาคาร

ควรก่อสร้างให้พื้นให้อมเสาทุกด้าน เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างพื้นกับเสา และทำให้พื้นไม่หลุดแยกจากเสาได้ง่ายๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พื้นอมเส้า เสี่ยงน้อย

พื้นไม่อมเส้าต้นหน้า เสี่ยงถล่มได้
ง่าย

รูปที่ 2.12 แสดงการยึดระหว่างพื้นกับเส้า

2.5.3.5 เสาที่อยู่ตามขอบและริมอาคาร เป็นเสาที่วิกฤติมาก เนื่องจากมีพื้นที่อยู่เพียงด้านเดียวหรือสองด้านเท่านั้น มีโอกาสที่จะหลุดออกมาได้ง่าย จึงควรเสริมคานขอบตามแนวขอบพื้นรอบอาคารทั้งหมด จะป้องกันมิให้พื้นเดือนทะเลหลุดออกจากเสา



รูปที่ 2.13 คานขอบวิ่งรอบอาคารช่วยป้องกันการวิบัติเดือนทะเลได้

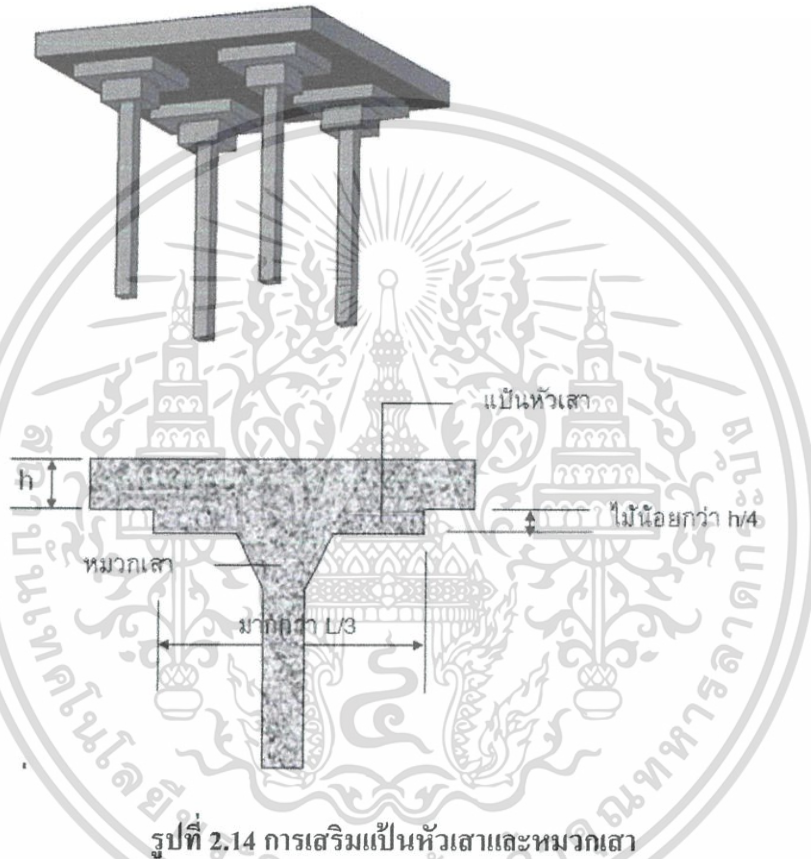
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.6 การเสริมเป็นหัวเสา

หมายถึงการทำให้พื้นคอนกรีตหนาขึ้นที่บริเวณหัวเสา ทำให้การเฉือนทะลุเกิดได้ยากขึ้น

2.5.3.7 การทำหมวกเสา

หมายถึงการขยายขนาดปลายด้านบนของเสาเพื่อให้การเฉือนทะลุของพื้นเกิดได้ยากขึ้น



รูปที่ 2.14 การเสริมเป็นหัวเสาและหมวกเสา

2.5.4 การก่อสร้างเพื่อป้องกันการถล่มของพื้นไร้คาน

- 1) การเทคอนกรีตในพื้นที่จะต้องกระจายคอนกรีตให้ทั่วบริเวณ อย่าให้คอนกรีตกองกระจุกตัวที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งมากเกินไป
- 2) เนื่องจากน้ำหนักคอนกรีตเหลวที่กำลังเทพื้นอยู่นั้น อาจมีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักกรหลายเท่า ดังนั้นนั่งร้านค้ำยันพื้นที่จะเทจะต้องมีอย่างพอเพียง โดยอาจต้องค้ำยันได้พื้นมากกว่า 1 ชั้น ทั้งนี้วิศวกรต้องเป็นผู้กำหนด
- 3) พื้นที่เป็นฐานสำหรับการตั้งนั่งร้านค้ำยัน หากเป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงจะต้องดึงลวดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงให้เรียบร้อย ก่อนตั่งนั้งร้านค้ำยัน หากเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องรอให้ได้อายุเสียก่อน จึงตั่งนั้งร้านค้ำยันได้

4) การถอดนั้งร้านค้ำยัน จะต้องรอให้คอนกรีตได้อายุและได้กำลังรับน้ำหนักเสียก่อน จึงจะถอดค้ำยันได้ การรีบถอดค้ำยันเร็วเกินไปโดยที่คอนกรีตยังไม่ได้อายุ อาจทำพื้นถล่มลงมาได้

5) ในขั้นตอนการเทคอนกรีต จะต้องมึวิศวกรที่มีใบอนุญาตจากสภาวิศวกรควบคุมการทำงานในทุกขั้นตอน รวมทั้งขั้นตอนการก่อสร้างที่สำคัญขั้นตอนอื่นๆ

2.6 การทำรายละเอียดเหล็กเสริมเพื่อป้องกัน Progressive collapse ในแผ่นพื้นไร้คาน

การวิบัติแบบ Progressive collapse ของ อาคารเป็นการวิบัติที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นลูกโซ่เมื่อองค์อาคารใดเกิดการวิบัติก็จะทำให้องค์อาคารอื่นๆเกิดการวิบัติตามกันไปเป็นลูกโซ่

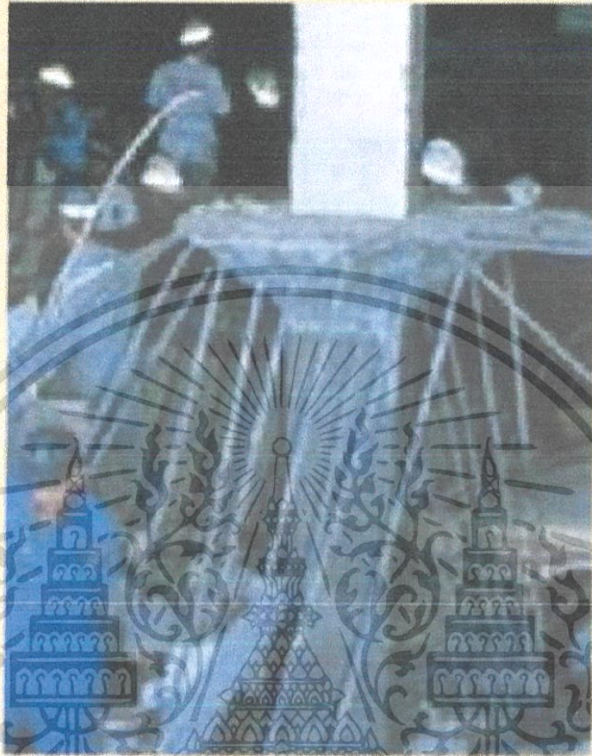


รูปที่ 2.15 การวิบัติของอาคารในลักษณะ progressive ที่ประเทศเม็กซิโก

รูปนี้เป็นตัวอย่างการวิบัติของอาคารในประเทศเม็กซิโกเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวระดับ 8.1 ในปีพ.ศ. 2528 ซึ่งเป็นการวิบัติในลักษณะ Progressive ทำให้อาคารพังทลายมาทั้งหลัง ในกรณีอาคารที่เป็นระบบแผ่นพื้นไร้คานมีโอกาสูงที่อาจจะเกิดการวิบัติแบบแรงเฉือนเจาะทะลุ (Punching shear failure) ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วแผ่นพื้นที่จะตกลงไป กระแทกแผ่นพื้นในชั้นล่างที่อยู่ถัดลงไปทำให้เกิดการวิบัติต่อเนื่องกันเป็นทอดๆทำให้อาคารถล่มลงมาทั้งหลังได้หลายคนอาจเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

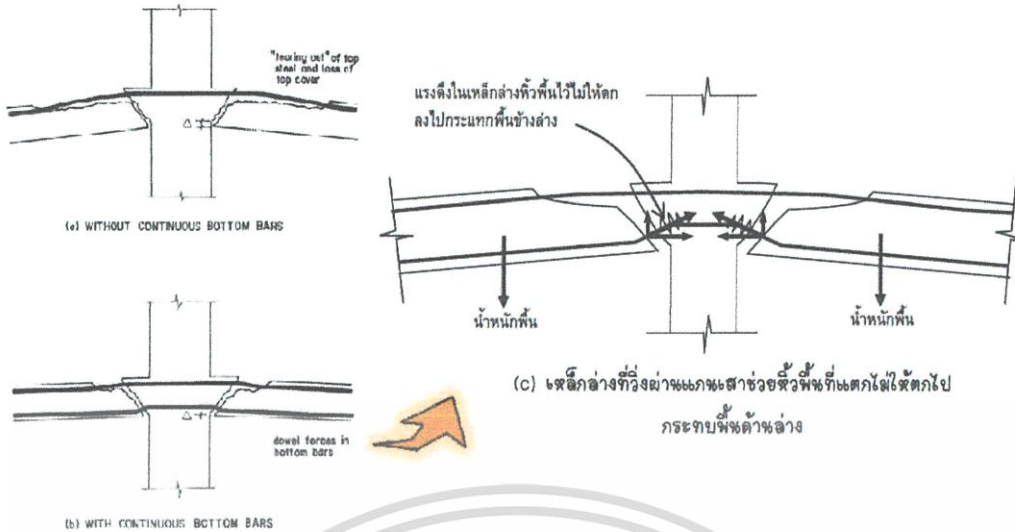
ปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์ ขนมหั่นหรือ Pancake effect การแก้ปัญหา Progressive collapse ใน แผ่นพื้น ไร้คานสามารถกระทำได้



รูปที่ 2.16 การวิบัติเดือนทะเลของพื้นไร้คาน

หากรู้จักการทำรายละเอียดการเหล็กเสริมให้ถูกต้อง โดยเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยหรือบางกรณีอาจไม่ต้องเสียเงินเพิ่มเลยก็ได้หลักการสำคัญคือจะต้องมีเหล็กล่างวิ่งผ่านแกนของเสาใน ปริมาณที่เหมาะสมเหล็กล่างนี้จะหิ้วแผ่นพื้นไว้ไม่ให้ตกกระแทกไปข้างล่างก็จะเป็นการป้องกัน Progressive collapse ได้ทั่วโลกที่เหล็กล่างหิ้วพื้นแสดงดังในรูปข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 กลไกการรับแรงของเหล็กเสริม

การคำนวณปริมาณเหล็กล่างที่ต้องการสูตรที่ใช้ในการคำนวณก็ได้มาจากสมมูลในแนวตั้งระหว่างแรงดึงในเหล็กล่างกับน้ำหนักของพื้น โดยสมมติให้แนวเหล็กทำมุม 30 องศา กับแนวราบจะได้

$$A_s = \frac{0.5w_u l_1 l_2}{\phi f_y} \tag{2.8}$$

ในสูตร A_s เป็นพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมล่างที่ต้องวิ่งต่อเนื่องผ่านแกนเสา w_u เป็นน้ำหนักประลัยแนวตั้งที่กระทำต่อพื้นแต่ต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน l_1 และ l_2 เป็นความยาวช่วงเสาวัดจากตำแหน่งศูนย์กลางเสาในแต่ละทิศทาง ϕ เป็นกำลังครากของเหล็กล่างเป็นค่าตัวคูณลดกำลังเท่ากับ 0.9 ในกรณีที่เป็นเสาต้นริมให้ใช้ $2/3$ ของเนื้อที่เหล็กที่คำนวณจากสูตร และหากเป็นเสาต้นมุมให้ใช้ $1/2$ ของพื้นที่เหล็กที่คำนวณจากสูตร ปริมาณเหล็กที่คำนวณจากสูตรข้างต้นไม่ใช่เหล็กที่ต้องใส่เพิ่มเติมแต่สามารถใช้เหล็กล่างที่ต้องใส่ในพื้นที่อยู่แล้วให้มีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับที่คำนวณจากสูตรข้างต้นแต่ไม่ควรต่ำกว่า 2 เส้น

2.7 การประมาณค่าความสามารถการโก่งคาะ ของพื้นรอบจตุรรองรับ โดยวิธี สัมประสิทธิ์

การคำนวณออกแบบ โมเมนต์โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์เพื่อที่จะวิเคราะห์จตุรรองรับในพื้นที่ การออกแบบนั้นจะต้องทำการตรวจสอบค่าการโก่งตัวบริเวณจตุรรองรับที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้น (ต่อเนื่อง2ด้าน,ต่อเนื่อง3ด้าน,ต่อเนื่อง4ด้าน) โดยการคำนวณหาโมเมนต์ที่แถบเสาออกมาโดยการ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ทำการคำนวณหาการโก่งคาะโดยการทำให้แบบจำลองใน ไฟไนท์อีลิเมนต์ ซึ่งทำการจำลอง โมเดล โดยการเปลี่ยนจตุรรองรับและ span ไว้หลายๆค่า และนำมาสร้างเป็นตาราง ซึ่งค่าการโก่งคาะในพื้นที่นั้นได้มาจากวิธีสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นที่ยอมรับของ ACI และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีทางไฟไนท์อีลิเมนต์ ในระบบพื้นต่อเนื่อง และสุดท้ายดูความแตกต่างและเปรียบเทียบค่า ไว้หลายๆกรณี คือ เปลี่ยนค่าอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว และกรณีของจตุรรองรับ ไว้หลากหลายแบบ

ศึกษากระบวนการหาค่าความสามารถในการโก่งคาะ ของพื้นรอบจตุรรองรับโดย วิธี สัมประสิทธิ์ ของบุคคล อื่นๆเช่น Lavey and Simpson ,Chang Hwang , Polak , Vanderbilt , เป็นต้น

2.7.1 การพัฒนา ตารางค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับการโก่งคาะของพื้น

พิจารณาที่ strips ด้านสั้นและด้านยาว ในพื้นที่ทรงสี่เหลี่ยม โดยให้ด้านสั้นเป็น l_a ด้านยาว เป็น l_b น้ำหนักบรรทุก w จะสามารถสร้างเป็นสมการการ โก่งคาะได้ดังนี้

$$\frac{5w_a l_a^4}{384EI} = \frac{5w_b l_b^4}{384EI}$$

$$\frac{w_a}{w_b} = \frac{l_b^4}{l_a^4}$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักบรรทุกรวมจะได้ว่า

$$w = w_a + w_b$$

$$w_a = w \left(\frac{l_b^4}{l_a^4 + l_b^4} \right) ; \text{สำหรับน้ำหนักที่ถ่ายลงพื้น}$$

$$w_a = w \cdot k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

W_a คือ น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงในด้านสั้น

W_b คือ น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงในด้านยาว

จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหาค่าการโก่งเคาะในด้านสั้นได้ดังนี้

$$\delta = \frac{5w_a l_a^4}{384EI} = \frac{5w_a l_a^4}{384E \frac{bt^3}{12}}$$

$$= \left(\frac{5}{384E \frac{b}{12}} \right) w.k. \frac{l_a^4}{t^3}$$

$$= C_a \frac{wl_a^4}{t^3} \quad (2.9)$$

ในทำนองเดียวกันในด้านยาวจะได้สมการออกมาดังนี้

$$= C_b \frac{wl_b^4}{t^3} \quad (2.10)$$

ในสมการที่ (2.9) และ (2.10) ตามลำดับนั้น เป็นการพิจารณาการหาค่าการโก่งเคาะในพื้นที่แบบง่ายเท่านั้น ในขณะที่การวิเคราะห์ที่ยากกว่านี้สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{i.e. } \delta = K_1 \frac{w_a l_a^4}{384EI} \quad \text{ซึ่งค่า } K_1 \text{ นั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ทำการออกแบบ}$$

$$\delta = C_a \frac{wl_a^4}{t^3}$$

$$\text{or } \delta = C_b \frac{wl_b^4}{t^3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าการโก่งเดาะนั้นจะทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม ไฟไนท์อีลิเมนต์ และนำค่าการโก่งเดาะมาใส่ในสมการที่ (2.9) และ (2.10) ตามลำดับ

ค่าสัมประสิทธิ์ในด้านสั้นได้ตามสมการที่(2.11)

$$C_a = \frac{\delta_{FE}}{\frac{wl^4}{l^3}} \quad (2.11)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ในด้านยาวได้ตามสมการที่(2.12)

$$C_b = \frac{\delta_{FE}}{\frac{wl^4}{l^3}} \quad (2.12)$$

โดยที่ค่าการโก่งเดาะที่คำนวณจากไฟไนท์อีลิเมนต์นั้น จากนั้นนำค่าการโก่งเดาะ แทนค่าในสมการที่ (2.11) สำหรับด้านสั้น และแทนในสมการที่ (2.12) สำหรับด้านยาว จากนั้นทำการเลือกขนาดด้านสั้นและยาวของพื้น และนำหน้าบรรทุกทุกไว้หลายค่า เพื่อที่จะได้ค่าการโก่งเดาะที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะวิเคราะห์หลายกรณีเพื่อความแม่นยำของผลที่ได้

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การโก่งเดาะรอบจุดรองรับโดยพิจารณาที่ อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว
ขนาดต่างๆ

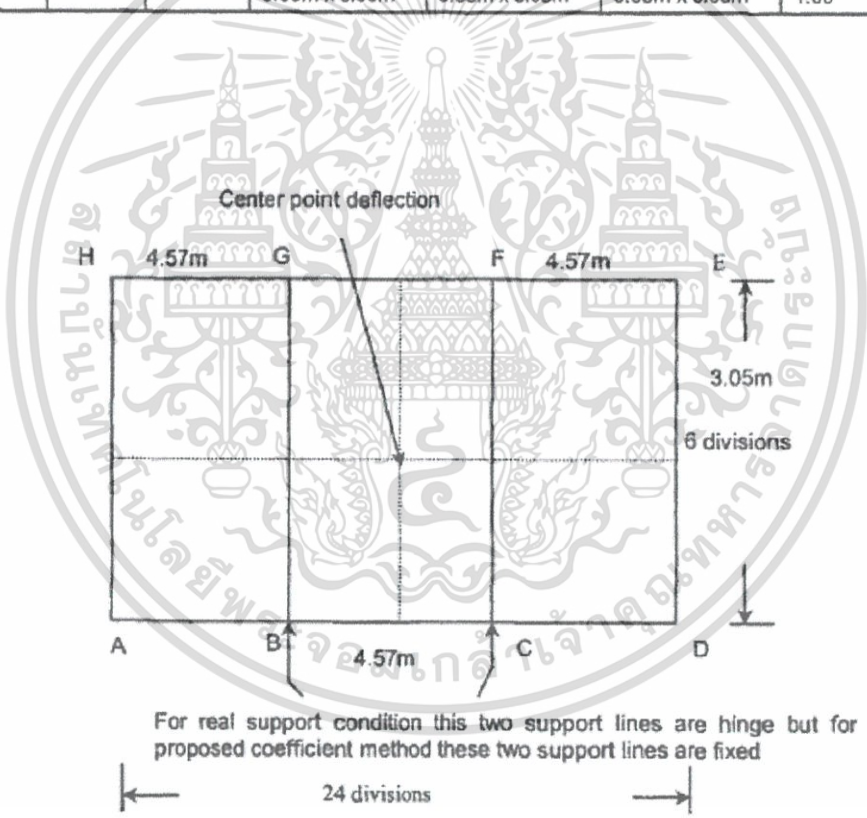
Span ratio $m = l_a / l_b$		Case 1 (10^{-10})	Case 2 (10^{-10})	Case 3 (10^{-10})	Case 4 (10^{-10})	Case 5 (10^{-10})	Case 6 (10^{-10})	Case 7 (10^{-10})	Case 8 (10^{-10})	Case 9 (10^{-10})
1.00	C _a	1.103	0.348	0.524	0.552	0.523	0.755	0.755	0.436	0.436
	C _b	1.103	0.348	0.523	0.552	0.523	0.755	0.755	0.436	0.436
0.90	C _a	1.307	0.407	0.697	0.697	0.569	0.862	0.958	0.552	0.494
	C _b	0.892	0.278	0.476	0.476	0.389	0.589	0.654	0.377	0.337
0.75	C _a	1.8000	0.552	1.132	0.900	0.639	1.045	1.423	0.784	0.589
	C _b	0.570	0.175	0.359	0.285	0.202	0.311	0.451	0.248	0.187
0.60	C _a	2.382	0.667	1.779	1.144	0.699	1.239	2.065	1.080	0.667
	C _b	0.308	0.086	0.230	0.148	0.090	0.160	0.267	0.140	0.086
0.50	C _a	2.762	0.697	2.313	1.283	0.716	1.335	2.534	1.232	0.707
	C _b	0.173	0.044	0.145	0.080	0.045	0.083	0.158	0.077	0.044

จากตารางที่ 2.1 เป็นการหาการโก่งเดาะของพื้น โดยเปลี่ยนอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว
ดังนี้ 0.50, 0.60, 0.75, 0.90, 1.00 สำหรับพื้นต่อเนื่อง จากรูปที่ 2.17 เป็นพื้น 3ช่วง โดยทำการ
วิเคราะห์ในโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยทำการวิเคราะห์แบ่งเป็น 3กรณี คือ กรณี a b c โดย ใน
กรณี a จุดรองรับภายนอกเป็นแบบยึดแน่น อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเปลี่ยนแปลงตาม
สเปนพื้นกรณี b จุดรองรับภายนอกเป็นแบบธรรมดาโดยให้ กรณี a อยู่ที่พื้นช่วงกลาง ให้เป็น กรณี
ที่ 2 กรณี b เป็นกรณีที่ 3 และกรณี c เป็นกรณีที่ 7 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความแตกต่างของแต่ละกรณีของพื้นสามช่วง ในรูปที่ 2.17 ที่จะนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

Case (defined in complete FE model)	Slab	Support case	Span of individual slab ($l_a \times l_b$)			Span ratio	Case (as per coeff. method)
			ABGH	BCFG	CDEF		
Case a	BCFG	All four edges fixed	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	0.50	Case 2
			3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	0.67	
			3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	0.75	
			3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	1.00	
Case b	BCFG	All four edges hinge	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	0.50	Case 3
			3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	0.67	
			3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	0.75	
			3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	1.00	
Case c	ABGH or CDEF	All four edges hinge	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	0.50	Case 7
			3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	0.67	
			3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	0.75	
			3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	1.00	



รูปที่ 2.18 แบบจำลองพื้นที่นำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการโก่งเคาะจากการวิเคราะห์ในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์และ วิธีสัมประสิทธิ์

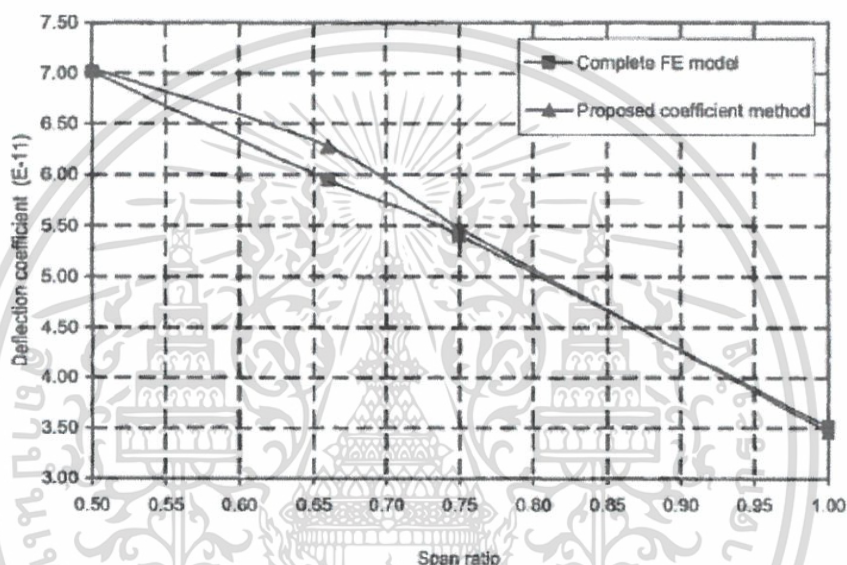
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์

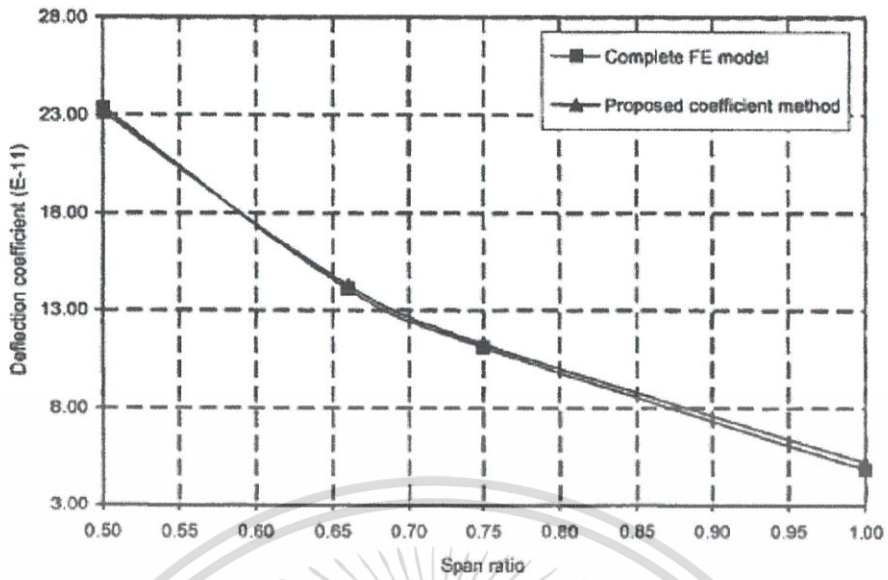
รูปที่ 2.18-2.20 เป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ เพื่อที่จะหาการโก่งคาะโดยวิธี สัมประสิทธิ์

2.7.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีอื่น

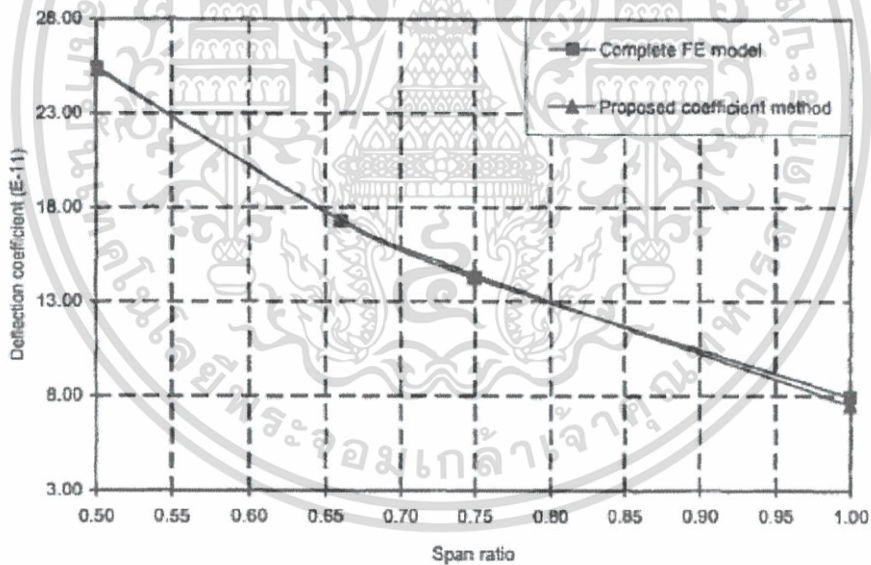
รูปที่ 2.21 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์จากวิธีสัมประสิทธิ์โมเมนต์กับวิธี Strips Method, Simson's Method , และ Levy's Method ในกรณีรูปที่ 2.22-2.25 นั้นเป็นการเปรียบเทียบ ระหว่างวิธี Strips Method และวิธีของ Winter and Nilson ในกรณีที่ 2



รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบค่าการโก่งคาะระหว่างวิธี ทางไฟไนท์เอลิเมนต์กับ วิธีสัมประสิทธิ์ในกรณี a ในรูปที่ 2.17

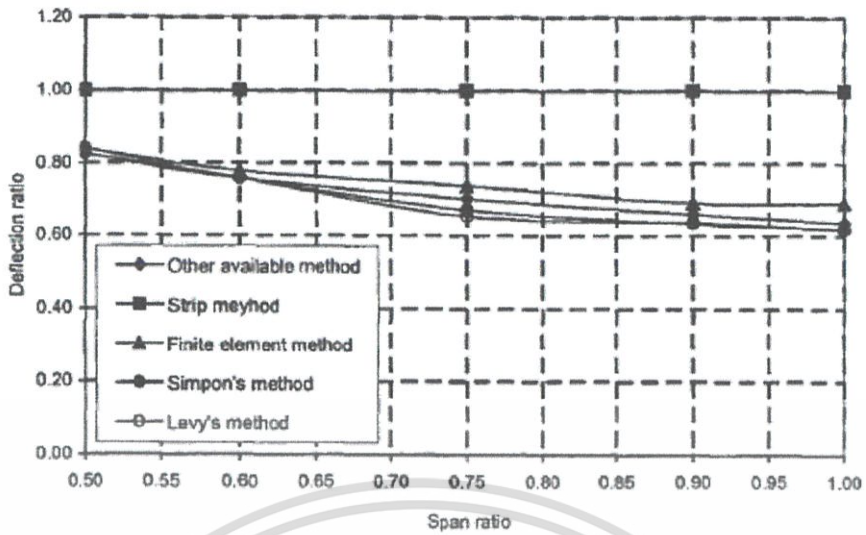


รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบค่าการโก่งเดาะระหว่างวิธี ทางไฟในท้อลิเมนต์กับ วิธีสัมประสิทธิ์ในกรณี b
ในรูปที่ 2.17

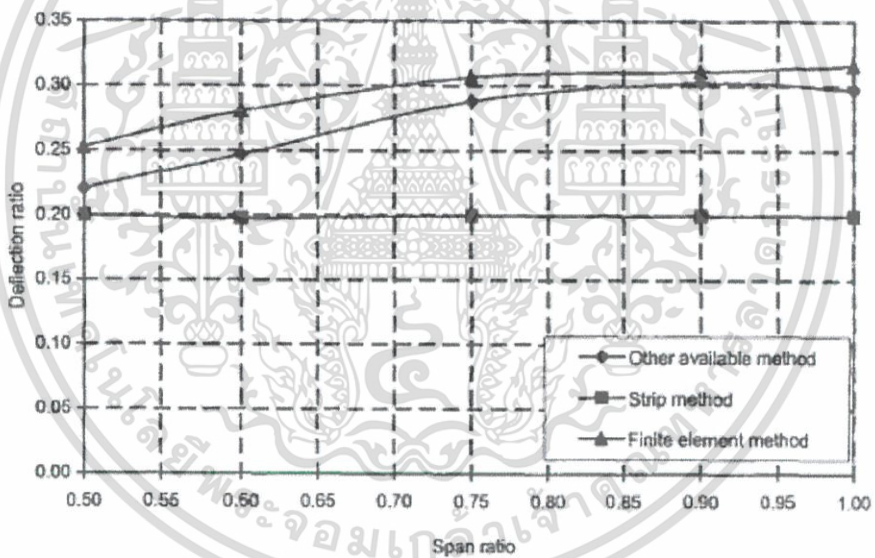


รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบค่าการโก่งเดาะระหว่างวิธี ทางไฟในท้อลิเมนต์กับ วิธีสัมประสิทธิ์ในกรณี c
ในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

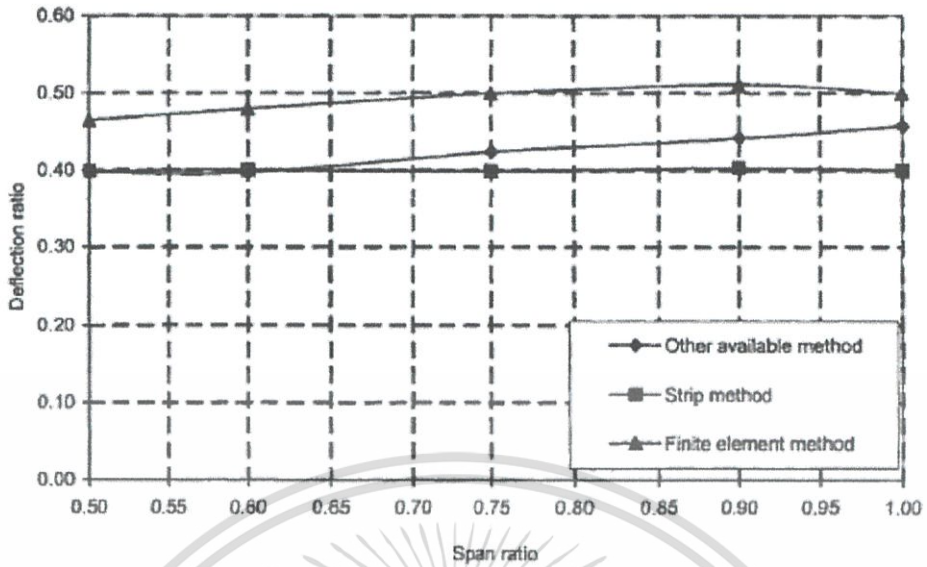


รูปที่ 2.22 ผลของค่าการโก่งเดาะในกรณีที่ดินสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 1

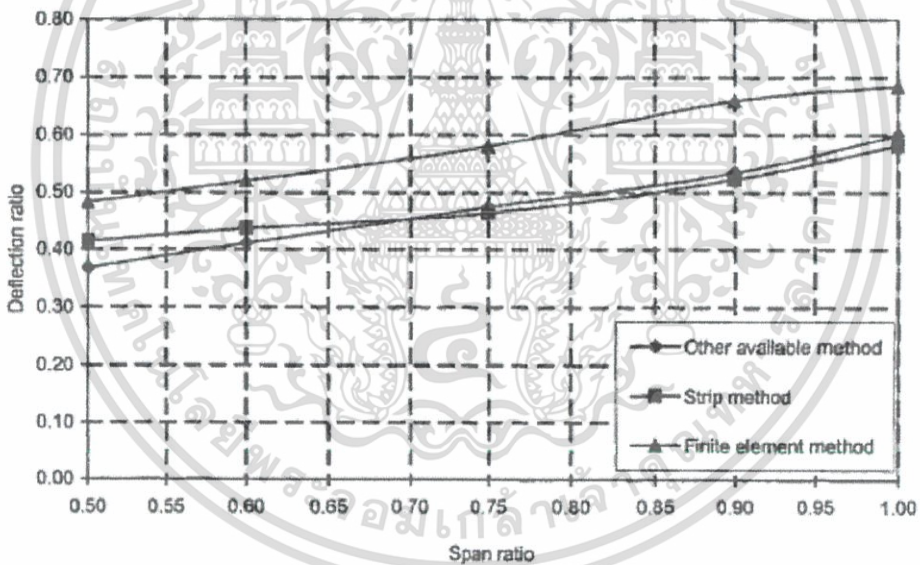


รูปที่ 2.23 ผลของค่าการโก่งเดาะในกรณีที่ดินสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

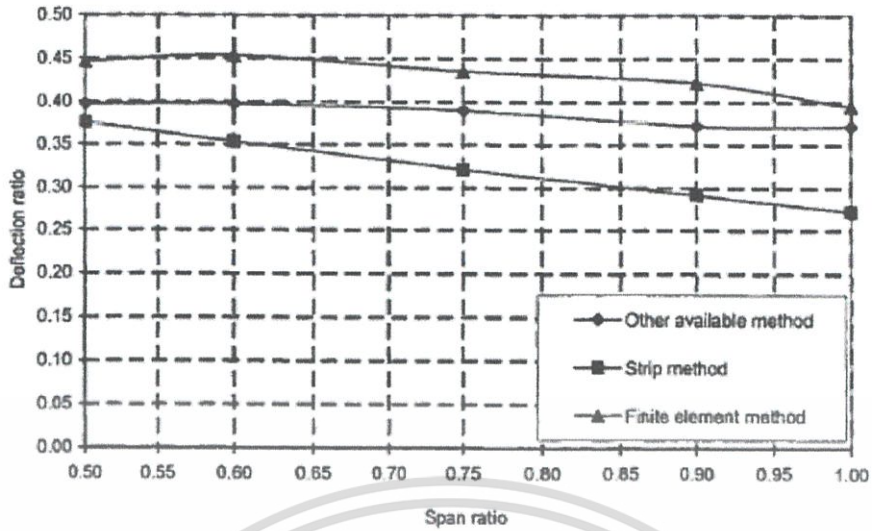


รูปที่ 2.24 ผลของค่าการโก่งเดาะในกรณีที่ดินสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 4



รูปที่ 2.25 ผลของค่าการโก่งเดาะในกรณีที่ดินสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ผลของค่าการโก่งเตาะในกรณีที่ดินสั้นต่อด้านยาวต่างๆ สำหรับ กรณีที่ 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ โมเมนต์สำหรับพื้น ไร้คานแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างดังนี้

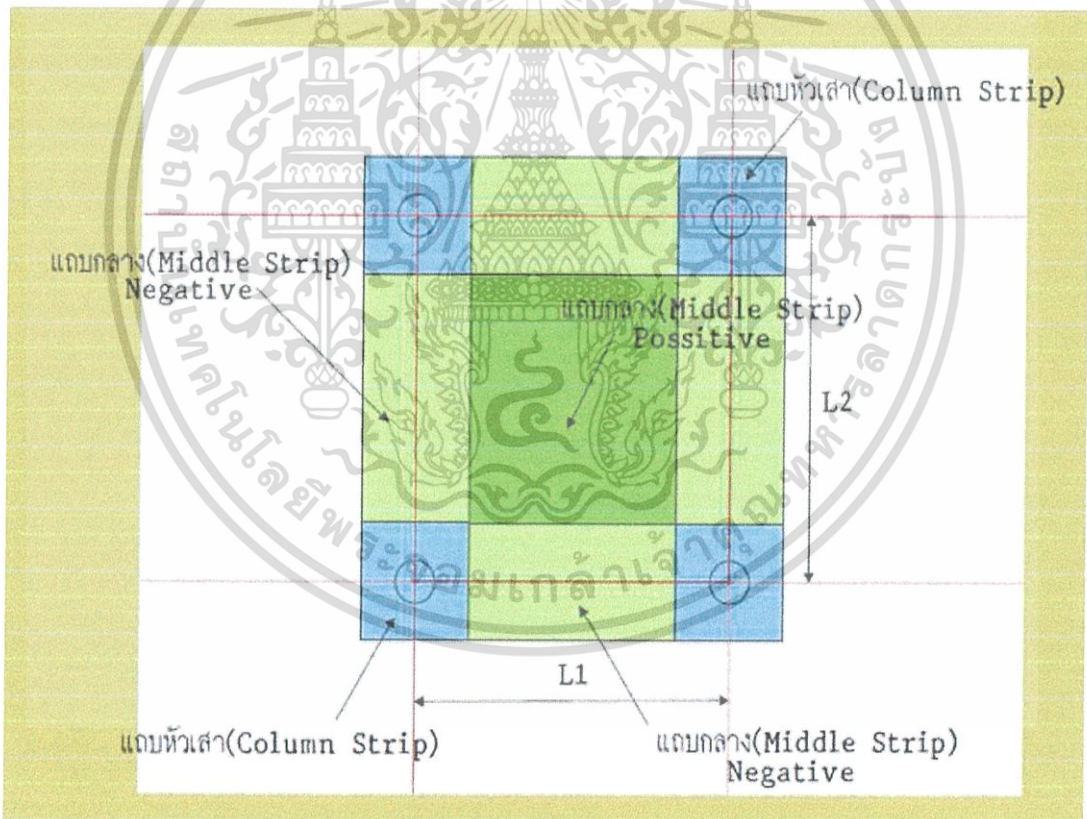
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพื้น ไร้คาน

การแบ่งรูปแบบพื้น ไร้คานสามารถแบ่ง ออกเป็น 3 รูปแบบ ตามลักษณะได้ดังนี้

แบบที่ 1 แบบไม่มีหัวเสา เรียกว่า Flat plate slabs without column heads

แบบที่ 2 แบบมีหัวเสา เรียกว่า Slabs with column heads without drops

แบบที่ 3 แบบมีหัวเสา+มีแป้นหัวเสา เรียกว่า Slabs with column heads with drops



รูปที่ 3.1 การเรียกชื่อแถบ (strip) panel division

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นสองทาง

ทำการศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นสองทางโดย พิจารณา ช่วง พื้น ต่อเนื่อง 2 ด้าน ต่อเนื่อง 3 ด้าน ต่อเนื่อง 4 ด้าน และ ดูพฤติกรรมโมเมนต์ และศึกษาความสัมพันธ์โมเมนต์ ของ พื้นสองทาง

3.3 ศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นไร้คาน

ทำการศึกษาพฤติกรรมและวิธีการออกแบบพื้นไร้คาน ศึกษา ค่าโมเมนต์บวกสูงสุด และ โมเมนต์ลบสูงสุด บริเวณ column strip และบริเวณ middle strip โดยวิธี Equivalent frame method

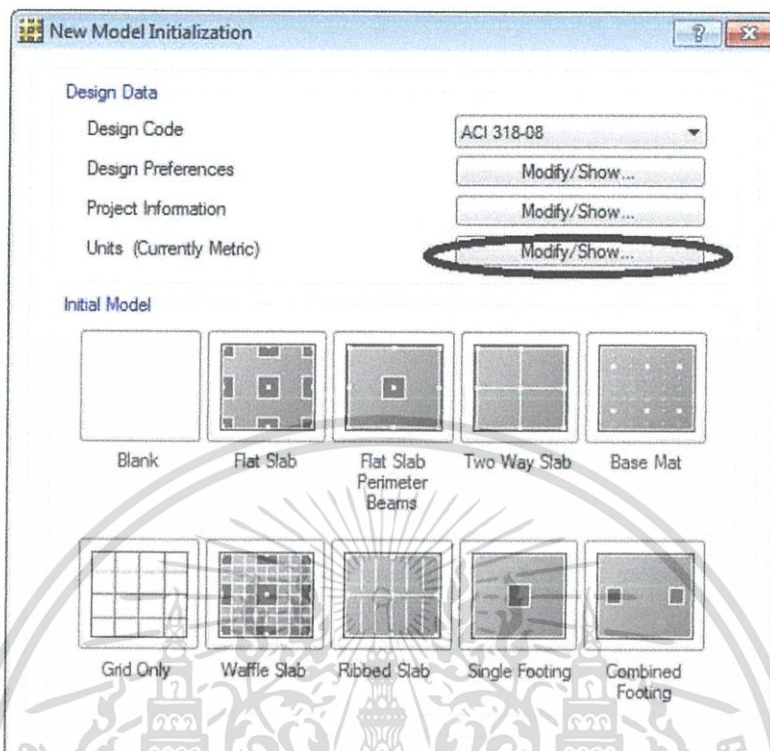
3.4 ทำการจำลองโมเดล อาคารโดยใช้การคำนวณโดยโปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์

ทำการศึกษาลงโมเดล อาคารโดยใช้การคำนวณโดยโปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์เพื่อดู พฤติกรรมของโมเมนต์ ค่าโมเมนต์บวกสูงสุด และ โมเมนต์ลบสูงสุด บริเวณ column strip และ บริเวณ middle strip และเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก วิธี Equivalent frame method

3.5 ทำการวิเคราะห์ผลหาค่าสัมพันธ์โมเมนต์ที่เหมาะสม

เมื่อ ทราบตำแหน่ง ค่าโมเมนต์บวกสูงสุด และ โมเมนต์ลบสูงสุด บริเวณ column strip และ บริเวณ middle strip แล้ว ตำแหน่ง ที่ได้ มาพิจารณาและวิเคราะห์ สร้างตาราง ค่าสัมพันธ์ โมเมนต์ออกมา

3.6 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ 3.2 แสดงการเลือกหน่วยตามต้องการ

3.6.1 ในการใช้โปรแกรมแต่ละครั้งนั้นผู้ที่ใช้โปรแกรมต้องทำการเลือกหน่วยให้ถูกต้องก่อน เพื่อป้องกันการสับสนในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบต่างๆ

3.6.2 ในโปรแกรม SAFE นั้นสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายรูปแบบ แต่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เพียง รูปแบบ 4 คือ

- grid
- slab
- column
- strip

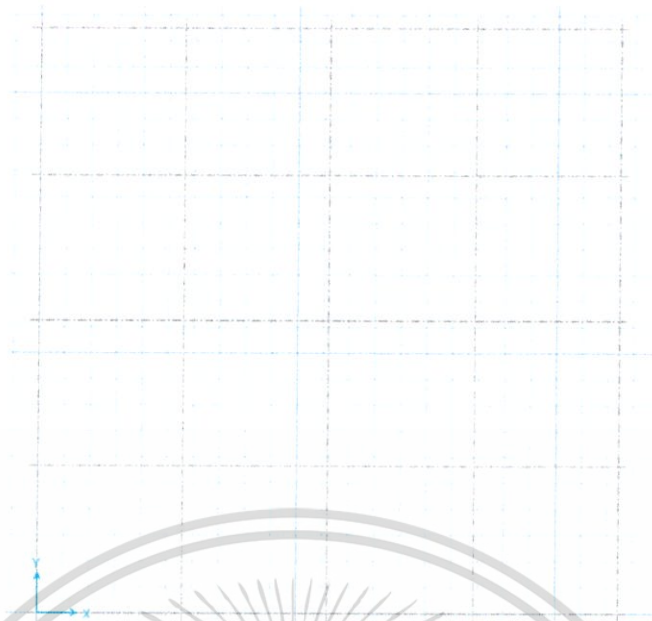
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 เมื่อเลือกรูปแบบ โมเดลแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการติตารงกริดโดยเลือกไปที่ Add/Modify Grids และกำหนด spacing ของพื้นโดยให้เลือกไปที่ spacing แล้ว ใส่ค่าลงไปตามที่ต้องการออกแบบ



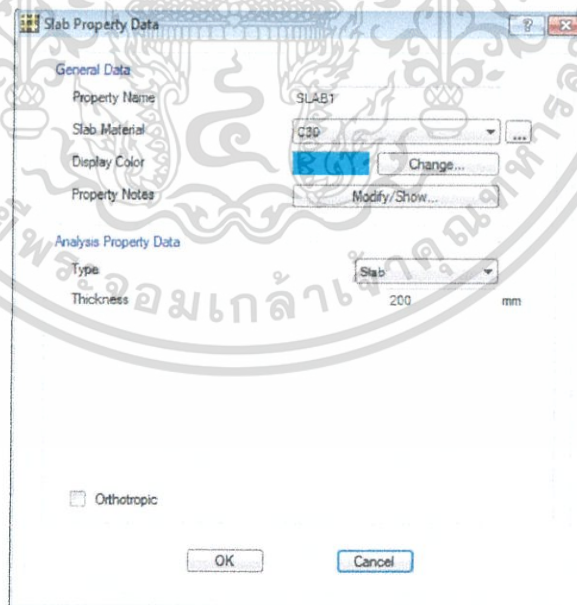
รูปที่ 3.4 เลือกไปที่ spacing แล้วใส่ ค่า ตามแนวแกน X และ แกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ค่าที่ได้ จะออกมาเป็นตารางกริดเช่นนี้

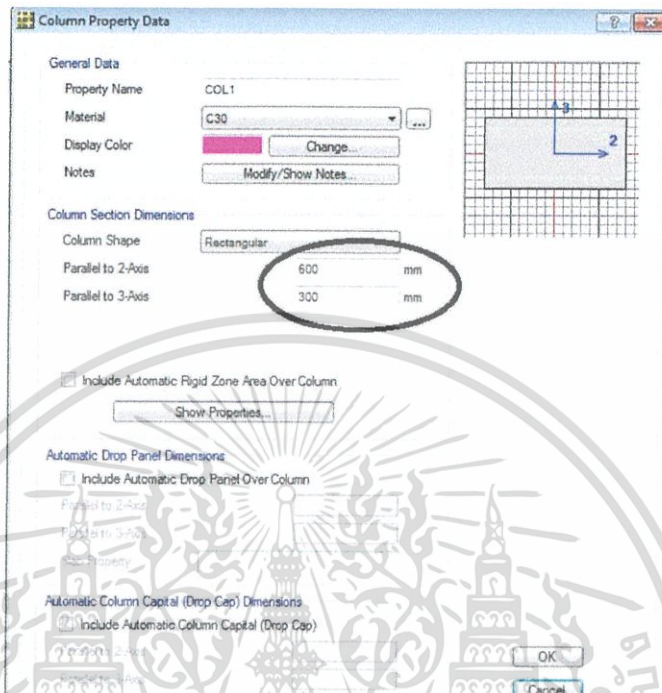
3.6 จากนั้นไปที่ slab property data เพื่อที่จะกำหนดชนิดของพื้นที่ใช้สำหรับการออกแบบ และเลือกความหนาของพื้น



รูปที่ 3.6 slab property data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

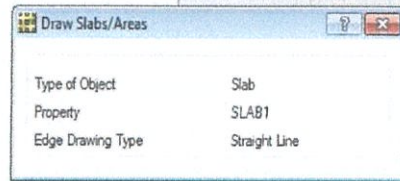
3.6.5 จากนั้นไปที่ column property data เพื่อที่จะกำหนดชนิดของเสาที่ใช้สำหรับการ
ออกแบบ และเลือกขนาดเสา ที่ต้องการออกแบบ



รูปที่ 3.7 column property data

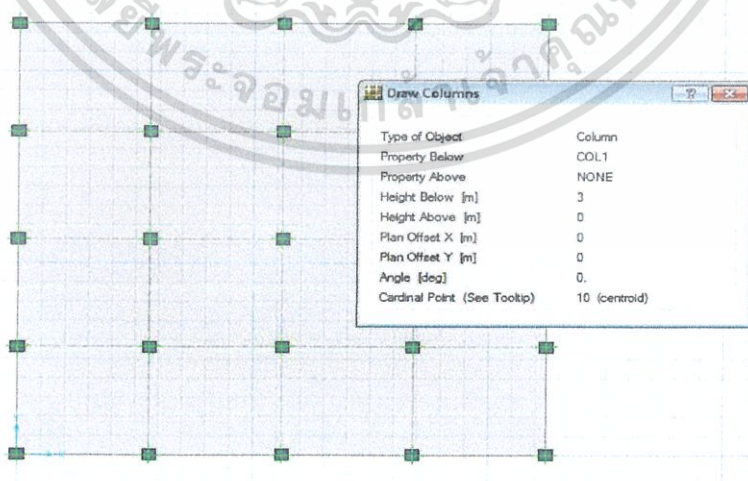
3.6.6 เมื่อกำหนด property เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ไปที่ icon ที่มีคำว่า Draw Slab/Area เพื่อที่จะนำค่า slab property data ที่ได้ กำหนด ไว้แล้วข้างต้น และทำการลากคลิกทุกมุมของกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โปรแกรมจะให้เลือก property ที่ได้กำหนดไว้เมื่อเลือกแล้วจากนั้นทำการลากคลุมกริดที่ได้ตีไว้ก่อนข้างต้น

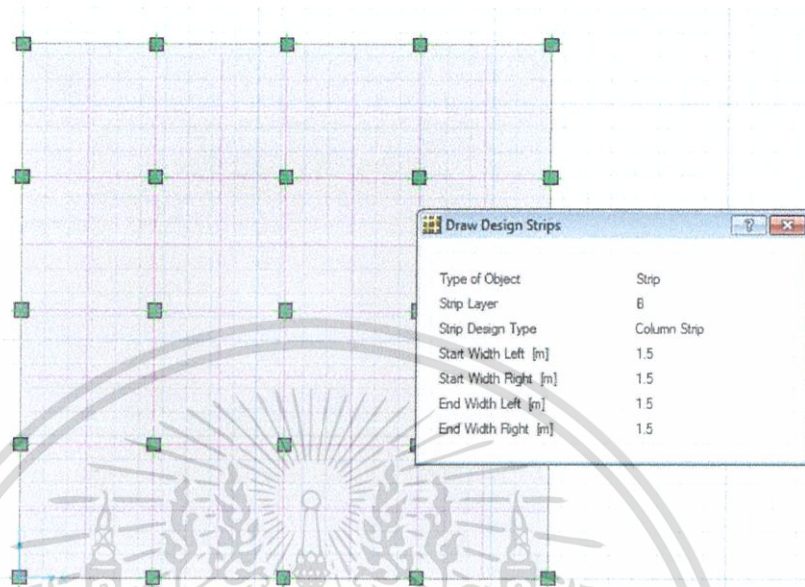
3.6.7จากนั้นให้ไปที่ icon ที่มีคำว่า Draw columns เพื่อที่จะนำเข้า ค่า column property data ที่ได้ กำหนดไว้แล้วข้างต้น และทำการลากคลุมกริด



รูปที่ 3.9 เมื่อเลือกคำสั่ง Draw Column ให้ ทำการลากคลุมกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

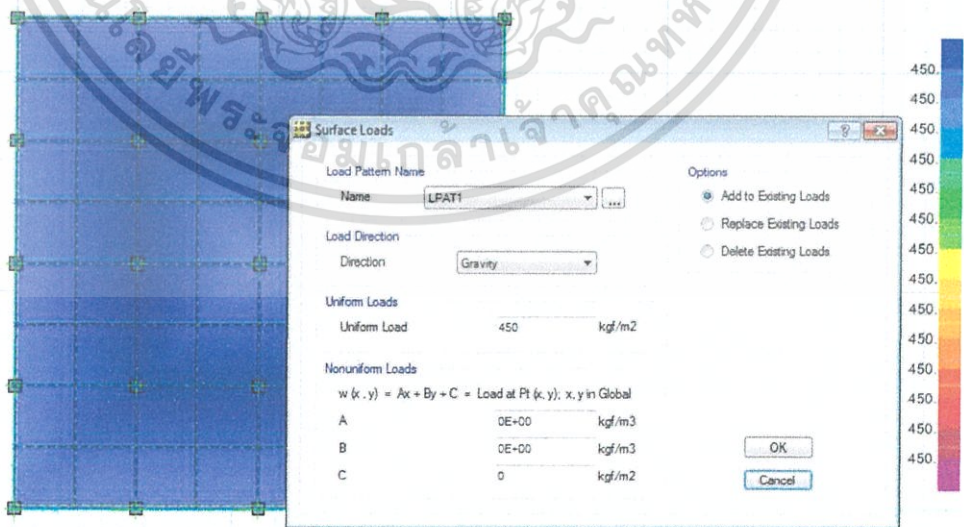
3.6.8จากนั้นให้ไปที่ icon ที่มีคำว่า Draw design strips เพื่อที่จะเป็น Guide ในการ ระบุตำแหน่ง ของโมเมนต์ บริเวณ Column strip และMiddle strip



รูปที่ 3.10 ทำการ ตีเส้น strip บริเวณ Column strip และMiddle strip

3.6.9จากนั้นให้ไป Assign>Load data>Surface load เพื่อที่จะ กำหนด load ที่ต้องการ

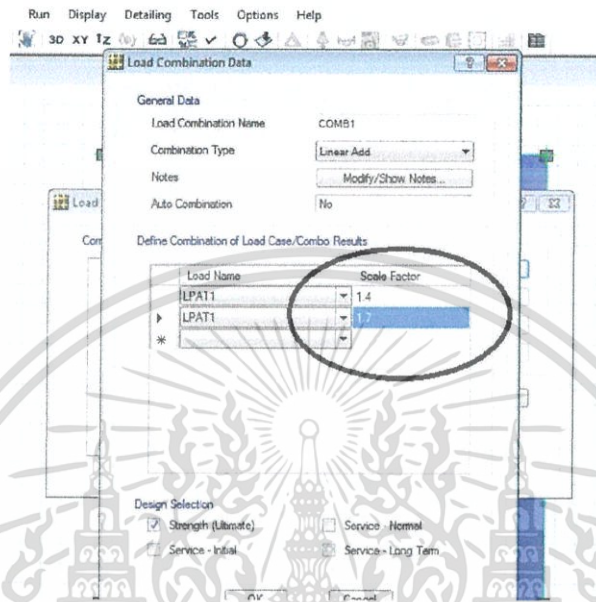
ออกแบบ



รูปที่ 3.11 ทำการใส่ค่า Dead load และLive load ที่ต้องการออกแบบลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

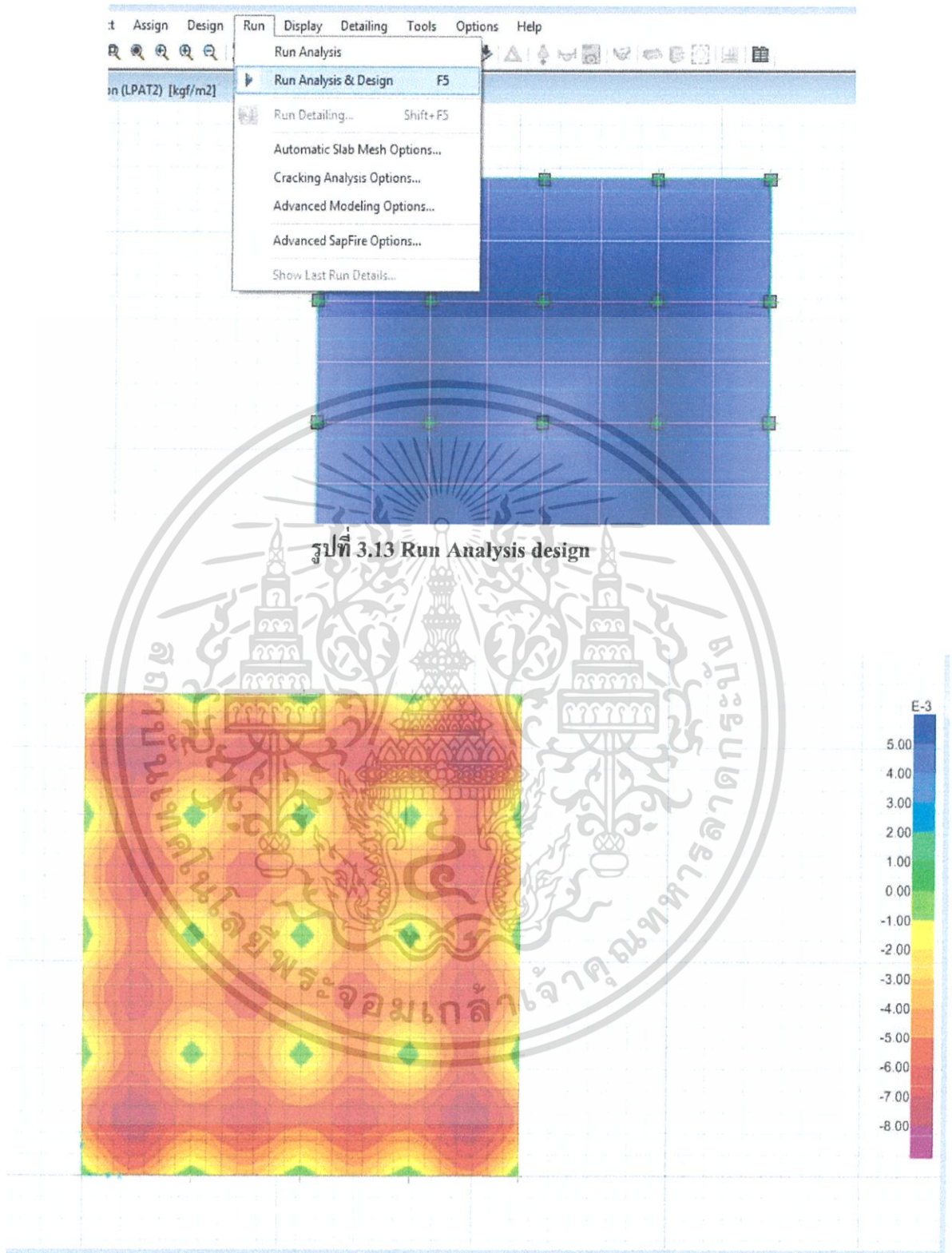
3.6.10 จากนั้นไปที่ Define>Load combination data เพื่อที่จะทำการรวมค่า Dead load และ Live load ให้เป็น Wu



รูปที่ 3.12 ใส่ค่าคงที่ลงใน Scale factor เพื่อที่จะ กำหนด Wu ที่ต้องการออกแบบ

3.6.11 จากนั้นไปที่ Run>Run Analysis design เพื่อที่จะ save โมเดล ที่ทำ เพราะถ้าไม่ save ก่อน จะไม่สามารถดูค่า moment ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

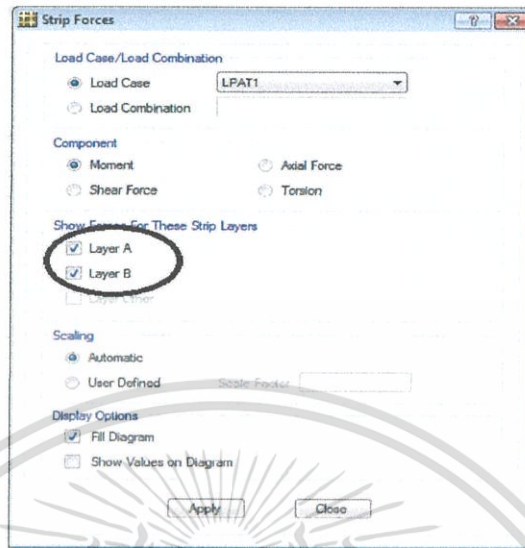


รูปที่ 3.13 Run Analysis design

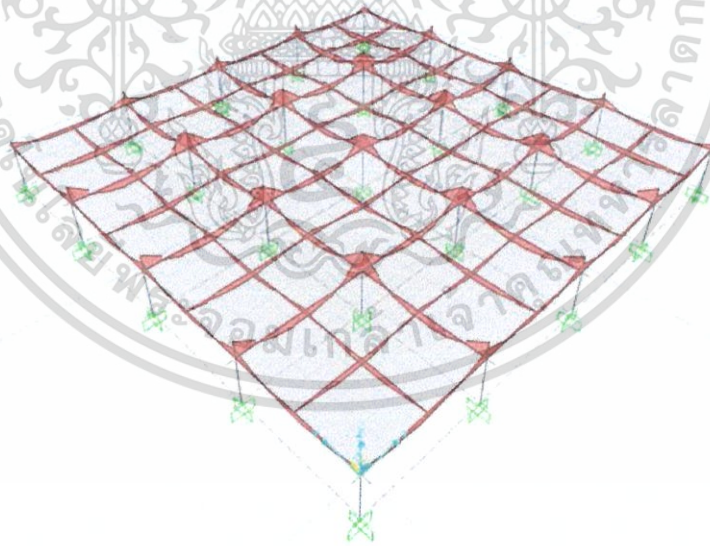
รูปที่ 3.14 เมื่อกด save แล้ว จะปรากฏ ภาพนี้ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.12 จากนั้นไปที่ Display> Show strip force เพื่อที่จะดู ค่า Bending moment ในพื้น



รูปที่ 3.15 เลือก layer ที่ต้องการเพื่อที่จะแสดงผลออกมา



รูปที่ 3.16 ค่า Bending moment ที่แสดงออกมา

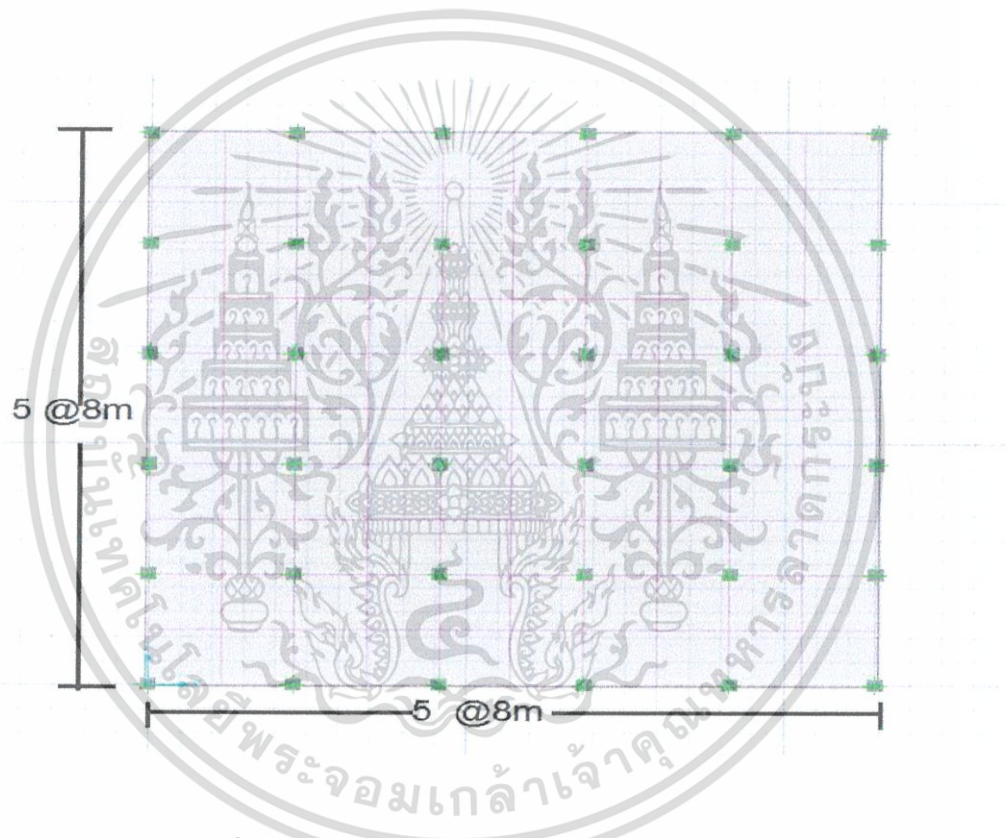
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

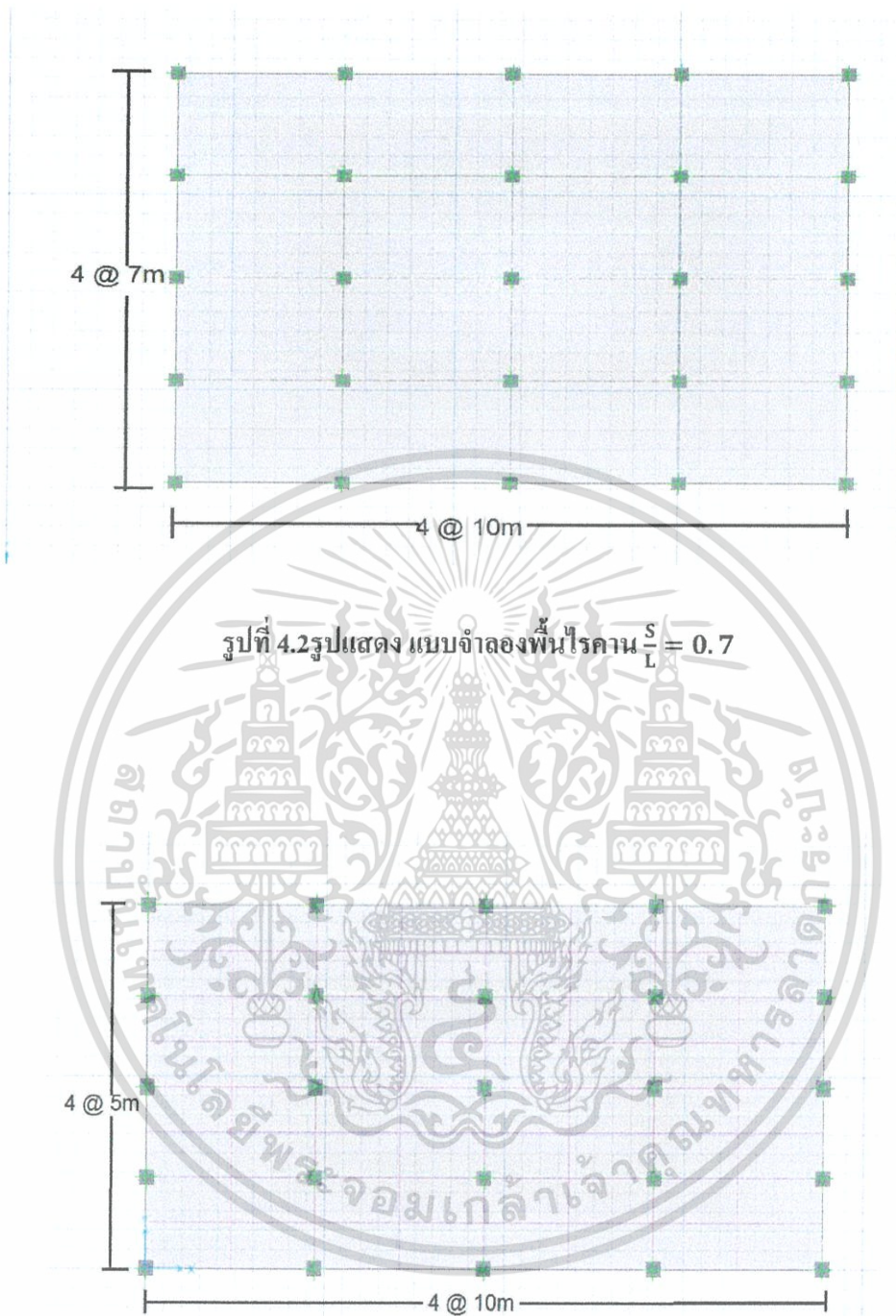
จากผลการวิเคราะห์ หาค่า Moment Maximum โดยวิธี Equivalent frame method และ วิธี จากโปรแกรม Finite element พร้อมทั้งวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์โมเมนต์ ได้ผลดังนี้

4.1 แสดงค่าการวิเคราะห์หา Moment Maximum โดยวิธี Equivalent frame method



รูปที่ 4.1 รูปแสดง แบบจำลองพื้นไรคาน $\frac{S}{L} = 1.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปแสดง แบบจำลองพื้นไรคาน $\frac{S}{L} = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 กรณี $W_u = 1590 \text{ kg-m}$

1) $\frac{S}{L} = 1.0$

ตารางที่ 4.1 ขนาดพื้นที่ 40x40 เมตร spacing 5 @ 8 เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้นและด้านยาว		แกนA		แกนB			แกนC
colum strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	54234.347	19706.266	44208.794	43087.576	19211.127	43034.828
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	13137.511	14736.265	14362.525	12807.418	14344.943

แกนC		แกนD			แกนE		แกนF	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
43034.828	19232.226	43034.828	43056.878	19211.127	43109.626	44230.844	19706.266	54263.747
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
14344.943	12821.484	14344.943	14352.293	12807.418	14369.875	14743.615	13137.511	0.000

2) $\frac{S}{L} = 0.7$

ตารางที่ 4.2 ขนาดพื้นที่ 28x40 เมตร spacing 4 @ 7 เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้น		แกนA		แกนB			แกนC
colum strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	75942.616	26562.682	60105.130	59089.777	26127.936	59059.181
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	17708.454	20035.043	19696.592	17418.624	19686.394

แกนC		แกนD			แกนE
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
59059.181	26127.936	59089.777	60105.130	26562.682	75942.616
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
19686.394	17418.624	19696.592	20035.043	17708.454	0.100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ขนาดพื้นที่ 28x40 เมตร spacing 4 @ 10 เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านยาว		แกนA		แกนB		แกนC	
colum strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	49793.719	19436.606	42491.354	40937.033	18668.291	40820.396
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	12957.737	14163.785	13645.678	12445.528	13606.799

แกนC		แกนD		แกนE	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
40820.396	18668.291	40937.033	42491.354	19436.606	49793.719
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
13606.799	12445.528	13645.678	14163.785	12957.737	0.000

$$3) \frac{s}{L} = 0.5$$

ตารางที่ 4.4 ขนาดพื้นที่ 20x40 เมตร spacing 4 @ 5 เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้น		แกนA		แกนB		แกนC	
colum strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	55333.179	18619.583	43000.298	42499.577	18423.909	42489.790
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	12413.055	14333.433	14166.526	12282.606	14163.263

แกนC		แกนD		แกนE	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
42489.790	18423.909	42499.577	43000.298	18619.583	55333.179
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
14163.263	12282.606	14166.526	14333.433	12413.055	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว		แกนA		แกนB		แกนC	
colume strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	61373.123	25151.570	54902.659	52336.432	23763.265	52066.832
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	16767.713	18300.886	17445.477	15842.177	17355.611

แกนC		แกนD		แกนE	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
52066.832	23763.265	52336.432	54902.659	25151.570	61373.123
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
17355.611	39605.442	17445.477	18300.886	16767.713	0.000

4.1.2 กรณี $W_u = 1730 \text{ kg-m}$

1) $\frac{S}{L} = 1.0$

ตารางที่ 4.6ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้นและด้านยาว		แกนA		แกนB		แกนC	
colume strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	53171.532	22552.264	51087.012	48040.858	20696.031	47565.384
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	15034.842	17029.004	16013.619	13797.354	15855.128

แกนC		แกนD		แกนE		แกนF	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750	0.600	1.000
47565.384	20886.221	47565.384	47565.384	15435.231	48040.858	51087.012	22552.264
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250	0.250	0.400
15855.128	13924.147	15855.128	15855.128	10290.154	16013.619	17029.004	15034.842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2) \frac{S}{L} = 0.7$$

ตารางที่ 4.7 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น	แกนA			แกนB		แกนC
colum strips moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
Mu	76156.821	29877.119	67436.931	64435.073	28269.570	64138.344
middle strips middle strips						
moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
Mu	0.000	19918.079	22478.977	21478.358	18846.380	21379.448

แกนC		แกนD			แกนE	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000	
64138.344	28269.570	64435.073	67436.931	29877.119	76156.821	
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000	
21379.448	18846.380	21478.358	22478.977	19918.079	0.000	

ตารางที่ 4.8 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว	แกนA			แกนB		แกนC
colum strips moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
Mu	44810.938	22772.405	48933.925	45243.885	19959.302	44331.001
middle strips middle strips						
moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
Mu	0.000	15181.603	16311.308	15081.295	13306.201	14777.000

แกนC		แกนD			แกนE
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
44331.001	19959.302	45243.885	48933.925	22772.405	44810.938
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
14777.000	13306.201	15081.295	16311.308	15181.603	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3) \frac{S}{L} = 0.5$$

ตารางที่ 4.9 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น		แกนA			แกนB		แกนC
colume strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	57039.555	20691.082	47812.161	46244.046	19972.608	46143.966
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	13794.054	15937.387	15414.682	13315.072	15381.322

แกนC		แกนD		แกนE	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
46143.966	19972.608	46244.046	47812.161	20691.082	57039.555
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
15381.322	13315.072	15414.682	15937.387	13794.054	0.000

ตารางที่ 4.10 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

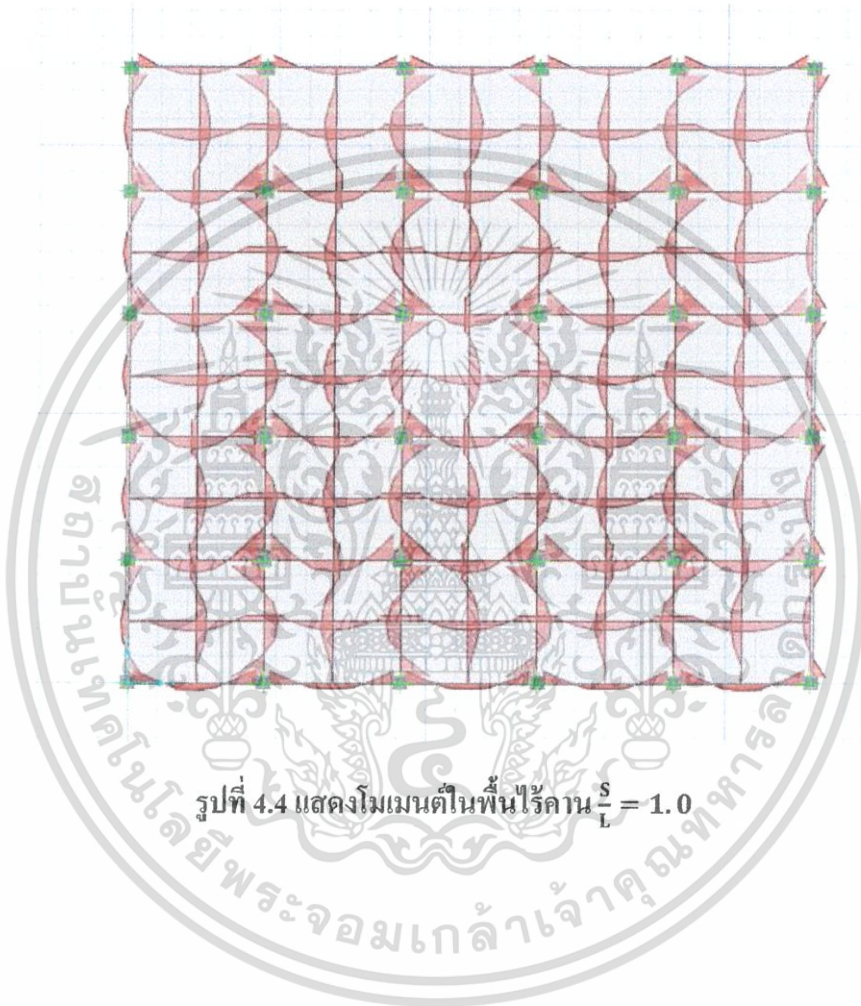
ด้านยาว		แกนA			แกนB		แกนC
colume strips	moment(%)	1.000	0.600	0.750	0.750	0.600	0.750
	Mu	51738.876	30116.858	63803.112	58411.883	25177.154	56544.645
middle strips	middle strips						
	moment(%)	0.000	0.400	0.250	0.250	0.400	0.250
	Mu	0.000	20077.905	21267.704	19470.628	16784.770	18848.215

แกนC		แกนD		แกนE	
0.750	0.600	0.750	0.750	0.600	1.000
56544.645	25177.154	58411.883	63803.112	30116.858	51738.876
0.250	0.400	0.250	0.250	0.400	0.000
18848.215	16784.770	19470.628	21267.704	20077.905	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

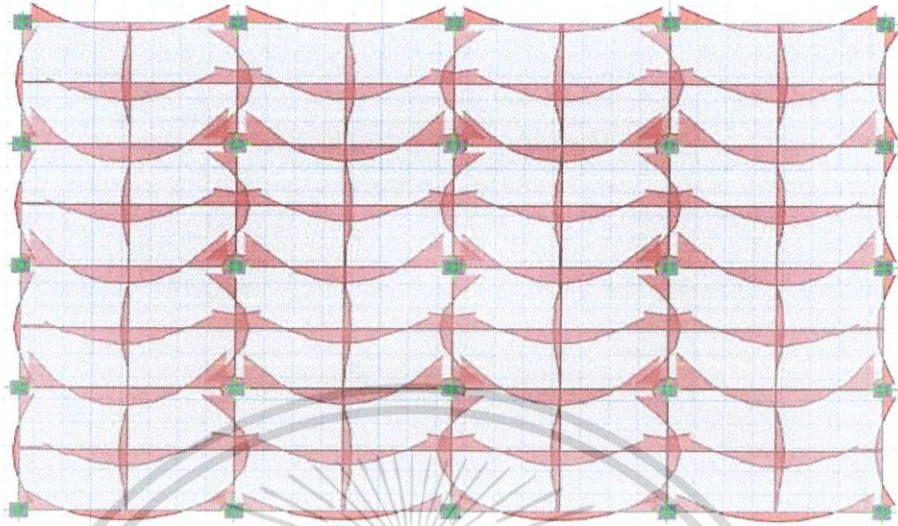
4.2 แสดงค่าการวิเคราะห์หา Moment Maximum โดยวิธี จากโปรแกรม Finite Element และหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ จากสมการที่ 4.1

$$M_u = CW_u S^2 \quad (4.1)$$

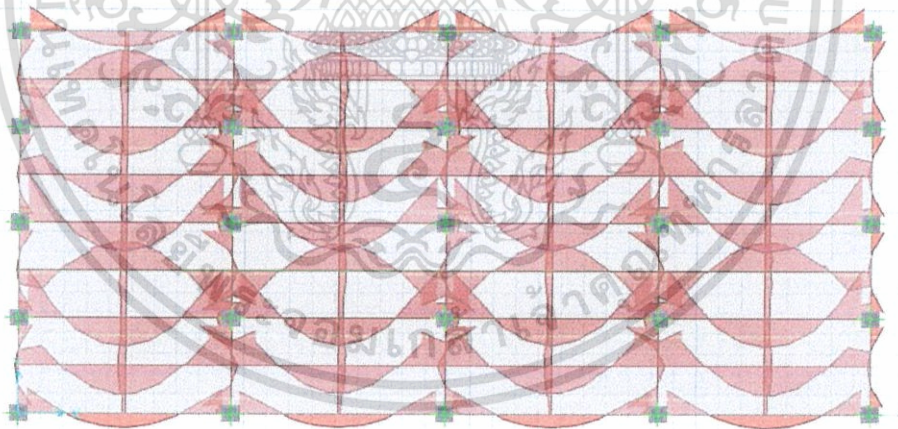


รูปที่ 4.4 แสดงโมเมนต์ในพื้นที่ราบ $\frac{s}{L} = 1.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงโมเมนต์ในพื้นที่ไร้คาน $\frac{s}{L} = 0.7$



รูปที่ 4.6 แสดงโมเมนต์ในพื้นที่ไร้คาน $\frac{s}{L} = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 กรณี $W_u = 1590 \text{ kg-m}$

1) $\frac{S}{L} = 1.0$

ตารางที่ 4.11 ขนาดพื้นที่ 40x40 เมตร spacing 5 @ 8 เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้นและด้านยาว S = 8 เมตร			Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	3765.120	0.037	$\frac{7L}{16}$
		M+Maxช่วงใน	4070.400	0.040	$\frac{7L}{16}$
		M-Maxช่วงนอก	7581.120	0.075	L
		M-Maxช่วงใน	8954.880	0.088	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	3103.680	0.031	$\frac{7L}{16}$
		M-Maxช่วงใน	1602.720	0.016	L
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	3205.440	0.032	$\frac{9L}{16}$
		M+Maxช่วงใน	3358.080	0.033	$\frac{9L}{16}$
		M-Maxช่วงนอก	7123.200	0.070	0.000
		M-Maxช่วงใน	8369.760	0.082	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	2493.120	0.025	$\frac{47L}{100}$
		M-Maxช่วงใน	1679.040	0.017	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	3332.640	0.033	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	7937.280	0.078	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	2391.360	0.024	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	1399.200	0.014	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2) \frac{S}{L} = 0.7$$

ตารางที่ 4.12 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น S = 7เมตร		Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์	
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	2711.270	0.035	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	2882.70	0.037	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	5547.190	0.071	L
		M-Maxช่วงใน	7198.884	0.092	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	1791.930	0.023	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	2430.790	0.031	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	2524.280	0.032	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	5266.720	0.068	0.000
		M-Maxช่วงใน	6809.330	0.087	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	1480.290	0.019	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	2477.540	0.032	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	6513.280	0.084	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน1	1308.890	0.017	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว S = 10เมตร			Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column	M+Maxช่วงนอก	6288.570	0.040	$\frac{L}{2}$
	strips	M+Maxช่วงใน	6317.090	0.040	$\frac{L}{2}$
M-Maxช่วงนอก		12338.790	0.078	L	
M-Maxช่วงใน		13682.260	0.086	L	
Middle strips		M+Maxช่วงใน	5900.960	0.037	$\frac{89L}{200}$
	M-Maxช่วงใน	5473.920	0.034	L	
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column	M+Maxช่วงนอก	5569.420	0.035	$\frac{L}{2}$
	strips	M+Maxช่วงใน	5543.190	0.035	$\frac{L}{2}$
M-Maxช่วงนอก		11358.420	0.071	0.000	
M-Maxช่วงใน		12473.080	0.078	L	
Middle strips		M+Maxช่วงใน	4967.070	0.031	$\frac{L}{2}$
	M-Maxช่วงใน	5481.430	0.034	0.000	
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column	M+Maxช่วงใน	5435.510	0.034	$\frac{L}{2}$
	strips	M-Maxช่วงใน	12250.590	0.077	0.000
Middle strips		M+Maxช่วงใน	4945.100	0.031	$\frac{L}{2}$
	M-Maxช่วงใน	5698.600	0.036	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3) \frac{S}{L} = 0.5$$

ตารางที่ 4.14 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5 เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้น S = 5 เมตร		Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์	
ต่อเนื่อง 2 ด้าน	Column strips	M+Max ช่วงนอก	1001.700	0.025	$\frac{L}{2}$
		M+Max ช่วงใน	1003.500	0.026	$\frac{L}{2}$
		M-Max ช่วงนอก	3323.100	0.084	L
		M-Max ช่วงใน	4300.950	0.108	L
	Middle strips	M+Max ช่วงใน	961.950	0.024	$\frac{3L}{5}$
		M-Max ช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง 3 ด้าน	Column strips	M+Max ช่วงนอก	922.200	0.023	$\frac{L}{2}$
		M+Max ช่วงใน	842.700	0.021	$\frac{L}{2}$
		M-Max ช่วงนอก	3243.600	0.082	L
		M-Max ช่วงใน	4118.100	0.104	0.000
	Middle strips	M+Max ช่วงใน	906.300	0.023	$\frac{3L}{5}$
		M-Max ช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง 4 ด้าน	Column strips	M+Max ช่วงใน	866.550	0.022	$\frac{L}{2}$
		M-Max ช่วงใน	3982.950	0.100	0.000
	Middle strips	M+Max ช่วงใน	826.800	0.021	$\frac{3L}{5}$
		M-Max ช่วงใน	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว S = 10เมตร		Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์	
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	4061.260	0.026	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	3990.840	0.025	$\frac{L}{2}$
M-Maxช่วงนอก		6786.120	0.043	L	
M-Maxช่วงใน		7259.550	0.046	L	
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	4022.690	0.025	$\frac{89L}{200}$
		M-Maxช่วงใน	4401.090	0.028	L
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	3714.870	0.023	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	3635.800	0.023	$\frac{L}{2}$
M-Maxช่วงนอก		6368.820	0.040	L	
M-Maxช่วงใน		6721.680	0.042	0.000	
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	3593.670	0.023	$\frac{11L}{20}$
		M-Maxช่วงใน	4400.750	0.028	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	3628.400	0.023	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	6614.722	0.042	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	3615.530	0.023	$\frac{11L}{20}$
		M-Maxช่วงใน	4515.160	0.028	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กรณี $W_u = 1730 \text{ kg-m}$

1) $\frac{S}{L} = 1.0$

ตารางที่ 4.16 ขนาดพื้นที่ 40x40 เมตร spacing 5 @ 8 เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้นและด้านยาว S = 8 เมตร			Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	4096.640	0.037	$\frac{7L}{16}$
		M+Maxช่วงใน	4428.800	0.040	$\frac{7L}{16}$
		M-Maxช่วงนอก	8248.640	0.075	L
		M-Maxช่วงใน	9771.040	0.088	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	3376.960	0.031	$\frac{7L}{16}$
		M-Maxช่วงใน	1716.160	0.016	L
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	3487.680	0.032	$\frac{9L}{16}$
		M+Maxช่วงใน	3653.760	0.033	$\frac{9L}{16}$
		M-Maxช่วงนอก	7695.040	0.070	0.000
		M-Maxช่วงใน	9079.040	0.082	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	2712.640	0.025	$\frac{47L}{100}$
		M-Maxช่วงใน	1826.880	0.017	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	3626.080	0.033	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	8608.480	0.078	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	2601.920	0.024	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	1522.400	0.014	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2) \frac{S}{L} = 0.7$$

ตารางที่ 4.17 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น S = 7เมตร		Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์	
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	2941.000	0.035	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	3153.440	0.037	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	6035.620	0.071	L
		M-Maxช่วงใน	7815.790	0.092	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	1949.710	0.023	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	2644.820	0.031	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	2746.550	0.032	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	5764.360	0.068	0.000
		M-Maxช่วงใน	7442.810	0.088	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	1610.630	0.019	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	2695.690	0.032	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	7086.770	0.084	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	1424.140	0.017	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว S = 10เมตร			Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วง นอก	6838.430	0.040	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วง ใน	6869.650	0.040	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วง นอก	13501.980	0.078	L
		M-Maxช่วง ใน	14972.270	0.087	L
	Middle strips	M+Maxช่วง ใน	6421.750	0.037	$\frac{89L}{200}$
		M-Maxช่วง ใน	5843.730	0.034	L
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วง นอก	6058.020	0.035	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วง ใน	6029.550	0.035	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วง นอก	12288.160	0.071	0.000
		M-Maxช่วง ใน	13680.010	0.079	L
	Middle strips	M+Maxช่วง ใน	5404.390	0.031	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วง ใน	5957.170	0.034	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วง ใน	5911.740	0.034	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วง ใน	13282.030	0.077	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วง ใน	5381.290	0.031	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วง ใน	6192.450	0.036	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3) \frac{S}{L} = 0.5$$

ตารางที่ 4.19 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น S = 5เมตร		Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์	
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	1107.200	0.026	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	1124.500	0.026	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	3633.000	0.084	L
		M-Maxช่วงใน	4688.300	0.108	L
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	1055.300	0.024	$\frac{3L}{5}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	1003.400	0.023	$\frac{L}{2}$
		M+Maxช่วงใน	916.900	0.021	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	3529.200	0.082	L
		M-Maxช่วงใน	4472.050	0.103	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	986.100	0.023	$\frac{3L}{5}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	942.850	0.022	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงใน	4333.650	0.100	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	899.600	0.021	$\frac{3L}{5}$
		M-Maxช่วงใน	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว S = 10เมตร		Moment (kg-m)	ค่า สัมประสิทธิ์ โมเมนต์ (c)	ตำแหน่ง โมเมนต์		
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	4422.470	0.026	$\frac{L}{2}$	
		M+Maxช่วงใน	4346.130	0.025	$\frac{L}{2}$	
		M-Maxช่วงนอก	7514.600	0.043	L	
		M-Maxช่วงใน	7912.610	0.046	L	
		Middle strips	M+Maxช่วงใน	4375.200	0.025	$\frac{89L}{200}$
			M-Maxช่วงใน	4788.010	0.028	L
	ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	4043.950	0.023	$\frac{L}{2}$
			M+Maxช่วงใน	3957.760	0.023	$\frac{L}{2}$
		M-Maxช่วงนอก	6952.260	0.040	L	
		M-Maxช่วงใน	7313.660	0.042	0.000	
		Middle strips	M+Maxช่วงใน	3909.950	0.023	$\frac{11L}{20}$
			M-Maxช่วงใน	4788.330	0.028	0.000
	ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	3950.370	0.023	$\frac{L}{2}$
			M-Maxช่วงใน	7190.200	0.042	0.000
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	3934.100	0.023	$\frac{11L}{20}$	
		M-Maxช่วงใน	4916.630	0.028	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ได้จากวิธี Equivalent frame method และ วิธี จากโปรแกรม Finite element และหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง จากสมการที่ 4.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|M_{\text{equi}} - M_{\text{finite}}| \times 100\%}{M_{\text{equi}}} \quad (4.2)$$

4.3.1 กรณี $W_u = 1590 \text{ kg-m}$

$$1) \frac{S}{L} = 1.0$$

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8 เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้นและด้านยาว			Mu	Mu/strips(equ)	Mu/strips(finite)	% ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	9853.133	4926.567	3765.120	23.575
		M+max ใน	19706.266	4926.567	4070.400	17.379
	column strips	M-max นอก	27117.174	13558.587	7581.120	44.086
		M-max ใน	54234.347	13558.587	8954.880	33.954
	middle strips	M+max ใน	13137.151	3284.288	3103.680	5.499
		M-max ใน	14736.265	3684.066	1602.720	56.496
ต่อเนื่อง3ด้าน		M+max นอก	9616.113	4808.057	3205.440	33.332
	column strips	M+max ใน	19232.226	4808.057	3358.080	30.157
		M-max นอก	21517.414	10758.707	7123.200	33.791
		M-max ใน	43034.828	10758.707	8369.760	22.205
		M+max ใน	12821.484	3205.371	2493.120	22.221
	middle strips	M-max ใน	14344.943	3586.236	1679.040	53.181
ต่อเนื่อง4ด้าน		M+max ใน	19232.226	4808.057	3332.640	30.686
	column strips	M-max ใน	43034.828	10758.707	7937.280	26.225
		M+max ใน	12821.484	3205.371	2391.360	25.395
	middle strips	M-max ใน	14344.943	3586.236	1399.200	60.984
				ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง	32.448	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2) \frac{S}{L} = 0.7$$

ตารางที่ 4.22เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	%ความแตกต่าง	
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	13281.341	5312.536	2711.268	48.965	
		M+max ใน	26562.682	5312.536	2882.670	45.738	
		M-max นอก	27117.174	10846.869	5547.192	48.859	
		M-max ใน	75942.616	15188.523	7198.884	52.603	
	middle strips	M+max ใน	17708.454	3541.691	1791.930	49.405	
		M-max ใน	20035.043	4007.009	0.000	0.000	
	ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	13063.968	5225.587	2430.792	53.483
			M+max ใน	26127.936	5225.587	2524.284	51.694
M-max นอก			29544.889	11817.955	5266.716	55.435	
M-max ใน			59089.777	11817.955	6809.334	42.381	
middle strips		M+max ใน	17418.624	3483.725	1480.290	57.508	
		M-max ใน	19696.592	3939.318	0.000	0.000	
ต่อเนื่อง4ด้าน		column strips	M+max ใน	26127.936	5225.587	2477.538	52.588
			M-max ใน	59089.777	11817.955	6513.276	44.887
	middle strips	M+max ใน	17418.624	3483.725	1308.888	62.428	
		M-max ใน	19696.592	3939.318	0.000	0.000	
				ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง		51.229	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	%ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2คาน	column strips	M+max นอก	9718.303	5553.316	6288.566	13.240
		M+max ใน	19436.606	5553.316	6317.089	13.753
		M-max นอก	27117.174	15495.528	12338.794	20.372
		M-max ใน	49793.719	14226.777	13682.260	3.827
	middle strips	M+max ใน	12957.737	3702.211	5900.957	59.390
		M-max ใน	14163.785	4046.796	5473.923	35.266
ต่อเนื่อง3คาน	column strips	M+max นอก	9334.146	5333.797	5569.423	4.418
		M+max ใน	18668.291	5333.797	5543.189	3.926
		M-max นอก	20468.517	11696.295	11358.423	2.889
		M-max ใน	40937.033	11696.295	12473.080	6.641
	middle strips	M+max ใน	12445.528	3555.865	4967.074	39.687
		M-max ใน	13645.678	3898.765	5481.431	40.594
ต่อเนื่อง4คาน	column strips	M+max ใน	18668.291	5333.797	5435.514	1.907
		M-max ใน	40937.033	11696.295	12260.594	4.825
	middle strips	M+max ใน	12445.528	3555.865	4945.997	39.094
		M-max ใน	13645.678	3898.765	5698.603	46.164
	เฉลี่ย%ความแตกต่าง					21.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3) \frac{S}{L} = 0.5$$

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5 เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้น			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	% ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	9309.792	3723.917	1001.700	73.101
		M+max ใน	18619.583	3723.917	1033.500	72.247
M-max นอก		27117.174	10846.869	3323.100	69.364	
M-max ใน		55333.179	11066.636	4300.950	61.136	
	middle strips	M+max ใน	12413.055	2482.611	961.950	61.252
		M-max ใน	14333.433	2866.687	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	9211.955	1842.391	922.200	49.945
		M+max ใน	18423.909	3684.782	842.700	77.130
M-max นอก		21249.789	8499.915	3243.600	61.840	
M-max ใน		42499.577	8499.915	4118.100	51.551	
	middle strips	M+max ใน	12282.606	2456.521	906.300	63.106
		M-max ใน	14166.526	2833.305	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	column strips	M+max ใน	18423.909	3684.782	866.550	76.483
		M-max ใน	42499.577	8499.915	3982.950	53.141
	middle strips	M+max ใน	12282.606	2456.521	826.800	66.343
		M-max ใน	14166.526	2833.305	0.000	0.000
			ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง			64.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	%ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	6287.893	5030.314	8122.512	61.471
		M+max ใน	25151.570	10060.628	7981.680	20.664
M-max นอก		33896.467	27117.174	13572.232	49.950	
M-max ใน		61373.123	24549.249	14519.096	40.857	
	middle strips	M+max ใน	16767.713	6707.085	8045.372	19.953
		M-max ใน	18300.888	7320.355	8802.180	20.243
ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	5940.816	4752.653	7429.744	56.328
		M+max ใน	23763.265	9505.306	7271.604	23.500
M-max นอก		13084.108	10467.287	12737.648	21.690	
M-max ใน		52336.433	20934.573	13443.352	35.784	
	middle strips	M+max ใน	15842.178	6336.871	7187.340	13.421
		M-max ใน	17197.978	6879.191	8801.492	27.944
ต่อเนื่อง4ด้าน	column strips	M+max ใน	23763.265	9505.306	7256.804	23.655
		M-max ใน	52336.433	20934.573	13229.444	36.806
	middle strips	M+max ใน	15842.178	6336.871	7231.052	14.111
		M-max ใน	17197.978	6879.191	9030.324	31.270
					ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง	31.103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 กรณี $W_u = 1730 \text{ kg-m}$

1) $\frac{S}{L} = 1.0$

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 40x40 เมตร spacing 5 @ 8 เมตร ทั้งสองด้าน ความหนาพื้น 0.2 เมตร

ด้านสั้นและด้านยาว		Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	% ความแตกต่าง	
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	11276.132	5638.066	4096.640	27.340
		M+max ใน	22552.264	5638.066	4428.800	21.448
	column strips	M-max นอก	26585.766	13292.883	8248.640	37.947
		M-max ใน	53171.532	13292.883	9771.040	26.494
	middle strips	M+max ใน	15034.843	3758.711	3376.960	10.156
		M-max ใน	17029.004	4257.251	1716.160	59.689
ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	10443.111	5221.555	3487.680	33.206
		M+max ใน	20886.221	5221.555	3653.760	30.025
	column strips	M-max นอก	23782.692	11891.346	7695.040	35.289
		M-max ใน	47565.384	11891.346	9079.040	23.650
	middle strips	M+max ใน	13924.147	3481.037	2712.640	22.074
		M-max ใน	15855.128	3963.782	1826.880	53.911
ต่อเนื่อง4ด้าน	column strips	M+max ใน	20886.221	5221.555	3626.080	30.556
		M-max ใน	47565.384	11891.346	8608.480	27.607
	middle strips	M+max ใน	13924.147	3481.037	2601.920	25.254
		M-max ใน	15855.128	3963.782	1522.400	61.592
			ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง		32.890	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2) \frac{S}{L} = 0.7$$

ตารางที่ 4.27เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 7เมตร ด้านสั้น ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	%ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	14938.560	5975.424	2949.996	50.631
		M+max ใน	29877.119	5975.424	3153.444	47.226
		M-max นอก	27117.174	10846.869	6035.624	44.356
		M-max ใน	76156.821	15231.364	7815.794	48.686
	middle strips	M+max ใน	19918.079	3983.616	1949.710	51.057
		M-max ใน	22478.977	4495.795	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	14134.785	5653.914	2644.824	53.221
		M+max ใน	28269.570	5653.914	2746.548	51.422
		M-max นอก	32217.537	12887.015	5764.360	55.270
		M-max ใน	64435.073	12887.015	7442.806	42.246
	middle strips	M+max ใน	18846.380	3769.276	1610.630	57.270
		M-max ใน	21478.358	4295.672	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	column strips	M+max ใน	28269.570	5653.914	2695.686	52.322
		M-max ใน	64435.073	12887.015	7086.772	45.008
	middle strips	M+max ใน	18846.380	3769.276	1424.136	62.217
		M-max ใน	21478.358	4295.672	0.000	0.000
				ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง		50.841

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 28x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	%ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	11386.203	6506.401	6838.434	5.103
		M+max ใน	22772.405	6506.401	6869.654	5.583
M-max นอก		27117.174	15495.528	13501.983	12.865	
M-max ใน		48933.925	13981.121	14972.271	7.089	
	middle strips	M+max ใน	15181.603	4337.601	6421.746	48.048
		M-max ใน	16311.308	4660.374	5843.729	25.392
ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	9979.651	5702.658	6058.023	6.232
		M+max ใน	19959.302	5702.658	6029.551	5.732
M-max นอก		22621.943	12926.824	12288.160	4.941	
M-max ใน		45243.885	12926.824	13680.011	5.827	
	middle strips	M+max ใน	13306.201	3801.772	5404.386	42.154
		M-max ใน	15081.295	4308.941	5957.174	38.251
ต่อเนื่อง4ด้าน	column strips	M+max ใน	19959.302	5702.658	5911.743	3.666
		M-max ใน	45243.885	12926.824	13282.026	2.748
	middle strips	M+max ใน	13306.201	3801.772	5381.289	41.547
		M-max ใน	15081.295	4308.941	6192.451	43.712
			ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง			18.681

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3) \frac{S}{L} = 0.5$$

ตารางที่ 4.29เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 5เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านสั้น			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	% ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2ด้าน	column strips	M+max นอก	10345.541	4138.216	1107.200	73.245
		M+max ใน	20691.082	4138.216	1124.500	72.826
M-max นอก		27117.174	10846.869	3633.000	66.506	
M-max ใน		57039.555	11407.911	4688.300	58.903	
	middle strips	M+max ใน	13794.054	2758.811	1055.300	61.748
		M-max ใน	15937.387	3187.477	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	column strips	M+max นอก	9986.304	3994.522	1003.400	74.881
		M+max ใน	19972.608	3994.522	916.900	77.046
M-max นอก		23122.023	9248.809	3529.200	61.842	
M-max ใน		46244.046	9248.809	4472.050	51.647	
	middle strips	M+max ใน	13315.072	2663.014	986.100	62.971
		M-max ใน	15414.682	3082.936	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	column strips	M+max ใน	19972.608	3994.522	942.850	76.396
		M-max ใน	46244.046	9248.809	4333.650	53.144
	middle strips	M+max ใน	13315.072	2663.014	899.600	66.219
		M-max ใน	15414.682	3082.936	0.000	0.000
			เฉลี่ย%ความแตกต่าง			65.952

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ ขนาดพื้น 20x40 เมตร spacing 4 @ 10เมตร ด้านยาว ความหนาพื้น 0.2เมตร

ด้านยาว			Mu	Mu/strips(eqi)	Mu/strips(finite)	% ความแตกต่าง
ต่อเนื่อง2คาน	column strips	M+max นอก	15058.429	6023.372	8844.944	46.844
		M+max ใน	30116.858	12046.743	8692.264	27.846
M-max นอก		27117.174	27117.174	15029.192	44.577	
M-max ใน		63803.113	25521.245	15825.220	37.992	
	middle strips	M+max ใน	20077.905	8031.162	8750.408	8.956
		M-max ใน	21267.705	8507.082	9576.020	12.565
ต่อเนื่อง3คาน	column strips	M+max นอก	12588.578	5035.431	8087.904	60.620
		M+max ใน	25177.155	10070.862	7915.520	21.402
M-max นอก		29205.941	11682.377	13904.520	19.021	
M-max ใน		58411.883	23364.753	14627.320	37.396	
	middle strips	M+max ใน	16784.770	6713.908	7819.892	16.473
		M-max ใน	16784.770	7788.251	9576.664	0.000
ต่อเนื่อง4คาน	column strips	M+max ใน	16784.770	10070.862	7900.740	21.549
		M-max ใน	16784.770	23364.753	14380.400	38.453
	middle strips	M+max ใน	16784.770	6713.908	7868.196	17.192
		M-max ใน	16784.770	7788.251	9833.260	26.258
					ค่าเฉลี่ย%ความแตกต่าง	27.321

ทำการหาค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ โมเมนต์ระหว่างวิธี Equivalent frame method และ วิธีทาง Finite element ได้ค่าความแตกต่างของโมเมนต์เท่ากับ 38.430 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นกรกล่าวผลสรุปงานวิจัยและเปรียบเทียบผลการ วิเคราะห์ทั้งหมดที่ได้ศึกษาตาม วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในบทแรก รวมถึงการเสนอแนะของการวิจัย และการวิจัยและปรับปรุงใน ขั้นตอนต่อไปซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ด้วยวิธี Conventional method ในโปรแกรม Finite element

ผลการวิเคราะห์โมเมนต์ในพื้นที่รับคานที่ตำแหน่ง Column strips และ Middle strips นั้น จะทำให้ทราบค่า Maximum Moment (Mu) ซึ่งค่า Maximum Moment (Mu) นี้ จะนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ซึ่ง สัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) จะนำไปใช้ออกแบบเหล็กเพื่อเสริมคอนกรีต ในขั้นตอนต่อไป โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ แบ่งเป็นสองกรณีคือ กรณี Uniform load (Wu) = 1590 kg/m และ 1730 kg/m ตามลำดับ พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ของทั้งสองกรณี และได้ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ของด้านสั้น และด้านยาว ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ด้านสั้น

โมเมนต์			ด้านสั้น		
			ค่าต่างๆ ของอัตราส่วน $m = \frac{S}{L}$		
			1.0	0.7	0.5
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	0.037	0.035	0.025
		M+Maxช่วงใน	0.040	0.037	0.026
		M-Maxช่วงนอก	0.075	0.071	0.084
		M-Maxช่วงใน	0.088	0.092	0.108
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	0.031	0.023	0.024
		M-Maxช่วงใน	0.016	0.000	0.000
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	0.032	0.031	0.023
		M+Maxช่วงใน	0.033	0.032	0.021
		M-Maxช่วงนอก	0.070	0.068	0.082
		M-Maxช่วงใน	0.082	0.088	0.104
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	0.025	0.019	0.023
		M-Maxช่วงใน	0.017	0.000	0.000
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	0.033	0.032	0.022
		M-Maxช่วงใน	0.078	0.084	0.100
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	0.024	0.017	0.021
		M-Maxช่วงใน	0.014	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ (C) ด้านยาว

โมเมนต์			ด้านยาว		
			ค่าต่างๆ ของอัตราส่วน $m = \frac{S}{L}$		
			1.0	0.7	0.5
ต่อเนื่อง2ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	0.037	0.040	0.026
		M+Maxช่วงใน	0.040	0.040	0.025
		M-Maxช่วงนอก	0.075	0.078	0.043
		M-Maxช่วงใน	0.088	0.086	0.046
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	0.031	0.037	0.025
		M-Maxช่วงใน	0.016	0.034	0.028
ต่อเนื่อง3ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงนอก	0.032	0.035	0.023
		M+Maxช่วงใน	0.033	0.035	0.023
		M-Maxช่วงนอก	0.070	0.071	0.040
		M-Maxช่วงใน	0.082	0.079	0.042
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	0.025	0.031	0.023
		M-Maxช่วงใน	0.017	0.034	0.028
ต่อเนื่อง4ด้าน	Column strips	M+Maxช่วงใน	0.033	0.034	0.023
		M-Maxช่วงใน	0.078	0.077	0.042
	Middle strips	M+Maxช่วงใน	0.024	0.031	0.023
		M-Maxช่วงใน	0.014	0.036	0.028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 สรุปการเปรียบเทียบผลการออกแบบ พื้นไร้คานด้วยวิธี Equivalent frame method และวิธีจากโปรแกรม finite element

จากการวิเคราะห์ ด้วยวิธีจากโปรแกรม finite element ค่าโมเมนต์ ที่วิเคราะห์ได้มีค่าแตกต่าง วิธี Equivalent frame method ถึง 38.430 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปได้จึงควรใช้วิธี จากโปรแกรม finite element ในการออกแบบมากกว่าวิธี Equivalent frame method แต่ถ้าหากไม่มีโปรแกรม finite element เช่น SAFE หรือ ETAB เป็นต้น การออกแบบโดยวิธี Equivalent frame method ก็ให้ค่าโมเมนต์ที่ Conservative ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้

5.2 วิเคราะห์ผลการวิเคราะห์

5.2.1 ในบางกรณีตำแหน่ง Moment maximum ค่าบวก ไม่ได้เกิดที่ กึ่งกลางพื้น อันเนื่องมาจากผลของจำนวนด้านที่ต่อเนื่อง มีจำนวนไม่เท่ากัน

5.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ในด้านยาวของพื้นไร้คานนั้น จะแตกต่างกับค่า สัมประสิทธิ์โมเมนต์ด้านยาวของพื้นสองทาง กรณีของพื้นไร้คาน ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ จะแบ่งตามกรณี ของอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว แต่ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ของพื้นสองทางนั้น จะมีแค่ค่าเดียวไม่ได้แบ่งตามกรณี

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการสร้างโมเดลนั้น ต้องมีความรู้ความเข้าใจอย่างมาก เพราะถ้าโมเดลผิดแบบ ผลที่ได้ นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก

5.3.2 โครงสร้างพื้นไร้คานที่มีความซับซ้อน ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Finite element นั้น อาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ผู้ที่ใช้ตาราง ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ ควรอ้างอิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและเพื่อความน่าเชื่อถือ

5.3.3 โครงสร้างโมเดลที่ทำการวิเคราะห์ควรเพิ่มหรือลด ระยะด้านสั้นและด้านยาว พร้อมทั้งเปลี่ยน Uniform load, ความหนาพื้นและหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์มาเฉลี่ยหลายๆกรณี เพื่อความแม่นยำของโมเมนต์ที่ได้

บรรณานุกรม

ชำนาญ ดวงจรัส และ เพลินพิศ ปานแก้ว. 2550. “การกระจายโมเมนต์ภายในแผ่นพื้นสองทางรองรับด้วยคานายึดหยุนและเสาด้วยวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์.” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 3(1) : 1-10.

ไพบุลย์ ปัญญาคะโป. 2545. *การออกแบบอาคาร*. กรุงเทพฯ : Library nine publishing .

วินิต ช่อวิเชียร และ วรนิติ ช่อวิเชียร. 2554. *การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง*. กรุงเทพฯ : นิวไทยไตรการพิมพ์.

สถาวิศกร. 2557. *แนวทางการออกแบบและก่อสร้างเพื่อป้องกันตึกถล่มในพื้นที่คาน*. [Online]. Available : http://www.coe.or.th/e_engineers/uploads/knowledge/files/File_20140818120918_a25839e63d08e091cb18d0.pdf

B. Ahmed and S.R. Chowdhury, 2003. “ESTIMATION OF SERVICEABILITY DEFLECTION OF EDGE SUPPORTED SLABS PART 2: COEFFICIENT METHOD.” *Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES*. 28(8): 203-210.

Hayder Mohammed and Kadhim Al-Mutairee, 2013. “Computer Program for Analysis and Design of Rectangular Edge-Supported Two-Way Slabs by Coefficient Method.” *Journal of Babylon University*. 21(1) : 174-187.

Mahmoud Abdelkader, 2013. *Analysis of flat slab by safe v12*. [Online]. Available : <http://www.youtube.com/watch?v=DOChojf-ax0>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CI-PREMIER PTE LTD

150 Orchard Road #07-14, Orchard Plaza Singapore 238841
Telephone: +65-6733 2922, Fax: +65-6235 3530
Company Reg. No. 4198/80

ESTIMATION OF SERVICEABILITY DEFLECTION OF EDGE SUPPORTED SLABS PART 2: COEFFICIENT METHOD

B. Ahmed*, Bangladesh University of Engineering & Technology, Bangladesh
S. R. Chowdhury, Ahsanullah University of Science & Technology, Bangladesh

28th Conference on **OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES: 28 - 29 August 2003**,
Singapore

Article Online Id: 100028021

The online version of this article can be found at:

<http://cipremier.com/100028021>

This article is brought to you with the support of
Singapore Concrete Institute

www.scinst.org.sg

All Rights reserved for CI-Premier PTE LTD

You are not Allowed to re-distribute or re-sale the article in any format without written approval of
CI-Premier PTE LTD

Visit Our Website for more information

www.cipremier.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESTIMATION OF SERVICEABILITY DEFLECTION OF EDGE SUPPORTED SLABS PART 2: COEFFICIENT METHOD

B. Ahmed*, Bangladesh University of Engineering & Technology, Bangladesh
S. R. Chowdhury, Ahsanullah University of Science & Technology, Bangladesh

Abstract

Calculation of design moments are based on coefficient method for edge supported slab systems. The design procedure for edge supported slabs lacks from the checking of the serviceability deflection of slabs using simple techniques like the calculation of strip moments using coefficient. A companion paper [1] summarises the methods available for calculating slab deflection, described the development and verification of a finite element model for simulating slab response. The model so verified has been employed in this paper for deflection of slab centre for various support cases and span ratios. These have been consolidated into tabular form which forms the basis for calculating the slab deflection using coefficient method and forms a method that is consistent with the moment coefficient method of ACI. Results obtained using the proposed method have also been compared with Finite Element results for continuous slab systems. Finally a comparison of slab deflection for various span ratios and support cases have been performed with some of the available methods.

Keywords: Deflection, edge supported slab, coefficient method, strip moment, ACI method

1. Introduction

It has been shown in a companion paper [1] that there are several methods available for the calculation of deflection of the edge-supported slabs. It was observed that the available methods such as Lavey and Simpson described by Ugral [2], Chang and Hwang [3], Polak [4], Vanderbilt *et al* [5] are either very difficult to use or oversimplifies the conditions such as strip method described by Ugral [2], ACI method [6]. A companion paper described the development and verification of a FE model using ANSYS [7] to simulate slab response. Results obtained from the FE model was converted into strip method of the ACI moment coefficient. This has been used to verify the FE result with ACI results by extracting results for various span ratios and all the nine support conditions. Results presented in the companion paper shows that the model can represent the behaviour of edge supported slab with sufficient accuracy. This paper utilises the developed model, to study the deflection pattern of such slabs under various conditions, results of which has been consolidated to develop a simple procedure to calculate the deflection in away similar to the moment calculation procedure.

2. Development of Coefficient Table for Slab Deflection

Considering the two central strips of a rectangular plate with short span l_a and long span l_b supporting a uniform load w . Equating the centre deflections of the short and long strips gives:

$$\frac{5w l_a^4}{384EI} = \frac{5w l_b^4}{384EI}$$

$$\frac{w_a}{w_b} = \frac{l_a^4}{l_b^4}$$

and also total load

$$w = w_a + w_b$$

solving:

$$w_a = w \left(\frac{l_b^4}{l_a^4 + l_b^4} \right); \text{ thus for a given slab:}$$

$$w_a = w.k \tag{1}$$

Where:

w_a = share of load w carried in the short direction

w_b = share of load w carried in the long direction

Again midpoint deflection in short direction can be expressed in the following form:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5w_a l_a^4}{384EI} = \frac{5w_a l_a^4}{384E \frac{bt^3}{12}} \\ &= \left(\frac{5}{384E \frac{b}{12}} \right) w.k \frac{l_a^4}{t^3} \\ &= C_a \frac{wl_a^4}{t^3} \end{aligned} \tag{2a}$$

In the same way midpoint deflection in long direction is:

$$= C_b \frac{wl_b^4}{t^3} \tag{2b}$$

Equations 2(a) and 2(b) are developed considering simply supported slab only while the philosophy and the final form of the equation is same for all the cases

i.e. $\delta = K_1 \frac{w l_a^4}{384EI}$ where K_1 depends on end restraint condition

$$\delta = C_a \frac{wl_a^4}{t^3}$$

or $\delta = C_b \frac{wl_b^4}{t^3}$

Thus using equations 2(a) or 2(b) it is possible to calculate deflection of slab having any support condition and span ratio provided a proper coefficient is available.

Using the verified model for slab; it is possible to obtain the deflection of slab centre for all support cases and span ratios and these can be used to compute the deflection coefficient as follows:

(i) When short direction is used:

$$C_a = \frac{\delta_{FE}}{\frac{wl^4}{t^3}} \quad (3a)$$

(ii) When long direction is used:

$$C_b = \frac{\delta_{FE}}{\frac{wl^4}{t^3}} \quad (3b)$$

A complete set of FE analyses has been conducted and the results of the analyses have been transformed using equations 3(a) and 3(b). Table 1 shows the coefficients to be used in short and long direction for different slab span ratio to calculate the immediate deflection of slab centre uniformly distributed load. For using these tables the magnitude of load to be used consists of self-weight of the slab and the applied load.

Table 1 Coefficient of immediate deflection of two-way edge supported slab centre, using short or long direction

Span ratio $m = l_a / l_b$		Case 1 (10^{-10})	Case 2 (10^{-10})	Case 3 (10^{-10})	Case 4 (10^{-10})	Case 5 (10^{-10})	Case 6 (10^{-10})	Case 7 (10^{-10})	Case 8 (10^{-10})	Case 9 (10^{-10})
1.00	C_a	1.103	0.348	0.524	0.552	0.523	0.755	0.755	0.436	0.436
	C_b	1.103	0.348	0.523	0.552	0.523	0.755	0.755	0.436	0.436
0.90	C_a	1.307	0.407	0.697	0.697	0.569	0.862	0.958	0.552	0.494
	C_b	0.892	0.278	0.476	0.476	0.389	0.589	0.654	0.377	0.337
0.75	C_a	1.8000	0.552	1.132	0.900	0.639	1.045	1.423	0.784	0.589
	C_b	0.570	0.175	0.359	0.285	0.202	0.311	0.451	0.248	0.187
0.60	C_a	2.382	0.667	1.779	1.144	0.699	1.239	2.065	1.080	0.667
	C_b	0.308	0.086	0.230	0.148	0.090	0.160	0.267	0.140	0.086
0.50	C_a	2.762	0.697	2.313	1.283	0.716	1.335	2.534	1.232	0.707
	C_b	0.173	0.044	0.145	0.080	0.045	0.083	0.158	0.077	0.044

3. Verification of Developed Coefficient Method for Various Realistic Conditions

The coefficient table (Table 1) developed for calculating slab centre immediate deflection may be used for span ratio other than span ratio 0.50, 0.60, 0.75, 0.90, 1.00 and for continuous of slab systems. Following sub sections describes the verification of the proposed coefficient table.

3.1 For Single Slab with Different Support Case

A slab with span 6.096m x 7.62m (20ft x 25ft), i.e., span ratio 0.67 has been selected for the first set of analyses. The slab has been modelled using 10x12 elements. Analyses show the insignificant variation considering all possible support cases (maximum of 4.4%) of result obtained using coefficient (by interpolation from Table 1 with result obtained from numerical model). Only for case 3 slight variations is observed though it is on safer side. So from above it can be concluded that Table 1 can be used for any slab span ratio.

3.2 Continuous Slab System

Table 1 for calculating the deflection of slab centre contains coefficients for all nine cases, which simulate the support conditions either to be fixed or simple support. But for continuous slab, coefficient of Table 1 should be checked to verify whether it could be used for such cases. For this purpose two types of slab with different span ratio and support conditions are discussed herein.

Figure 1 shows a three-span slab. This slab has been analysed using Finite Element method for various edge conditions (exterior supports either rigid or simple support and span ratios (0.50, 0.67, 0.75 and 1.00). The analyses have been classified into three categories namely cases a to c. In 'case a' all exterior supports are fixed and span ratio varies for all the three slabs at the same time. 'Case b' represents analysis of case-a with exterior support as simple support. In all these cases (a to c) results have been extracted for the middle slab thus 'case a' represent case 2, and thus 'case b' represent case 3 of ACI moment coefficient method respectively. 'Case c' represent the same FE analysis but results have been extracted for the exterior slab which represent case 7 of ACI moment coefficient method. Table 2 summarises all the necessary data for FE model.

Table 2 Different cases of Complete FE Model for Three-Span Slab Based on Figure 1

Case (defined in complete FE model)	Slab	Support case	Span of individual slab ($l_a \times l_b$)			Span ratio	Case (as per coeff. method)
			ABGH	BCFG	CDEF		
Case a	BCFG	All four edges fixed	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	0.50	Case 2
			3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	0.67	
			3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	0.75	
			3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	1.00	
Case b	BCFG	All four edges hinge	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	0.50	Case 3
			3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	0.67	
			3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	0.75	
			3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	1.00	
Case c	ABGH or CDEF	All four edges hinge	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	3.05m x 6.10m	0.50	Case 7
			3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	3.05m x 4.57m	0.67	
			3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	3.05m x 4.06m	0.75	
			3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	3.05m x 3.05m	1.00	

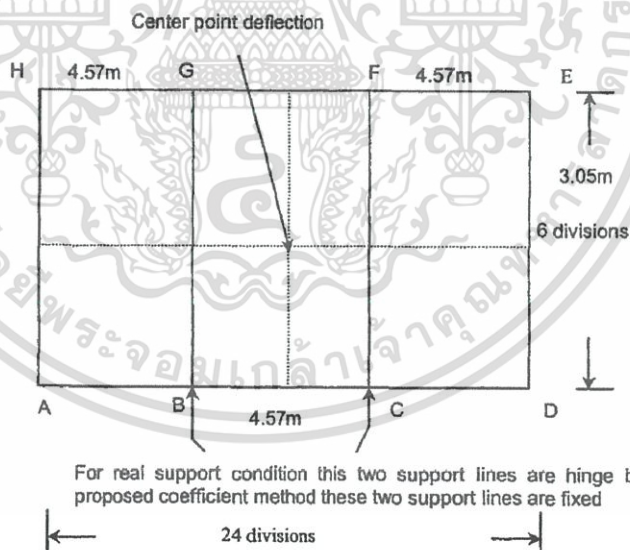


Figure 1 Slab selected for comparing deflection from FE analyses and coefficient method

3.3 Comparison of Results

Figures 2 to 4 compares the results obtained from FE analyses with that of the proposed coefficient method of analysis for the studies described in this section. It can be seen from these figures that the proposed method produce quite reasonable results for various cases that may occur in real slab systems and thus is suitable for using in design purpose.

4. Comparison with Other Methods

Figure 5 compares the results obtained from developed coefficient method with that of the different 4 methods such as Strip method, Simson's method and Levy's method referred by A.C. Ugral [2] also method described by Winter and Nilson [9], in terms of deflection ratio. Figures 6 to 9 compares the result with two different methods Strip method and the method described by Winter and Nilson, for the remaining eight cases.

In Figure 5 deflection ratios of slab centre have been obtained by dividing deflection of any slab by the slab centre deflection of that slab computed from strip method. In Figures 6 to 9 deflection ratios of slab centre have been obtained for different cases (cases 2, 4, 6 and 8) and different span ratios, dividing deflection of slab centre obtained from different methods by deflection of slab centre of simple support (case 1) of respective span ratio.

It can be seen from the finite element analyses results as well as from these results that strip method overestimates the deflection for cases 1 and 2 [10]. For these two cases the available simple equations provide satisfactory results. For cases 3 to 9, presently available methods always underestimate the slab deflection. Thus it can be concluded that the developed method always provides better results and is simple to use.

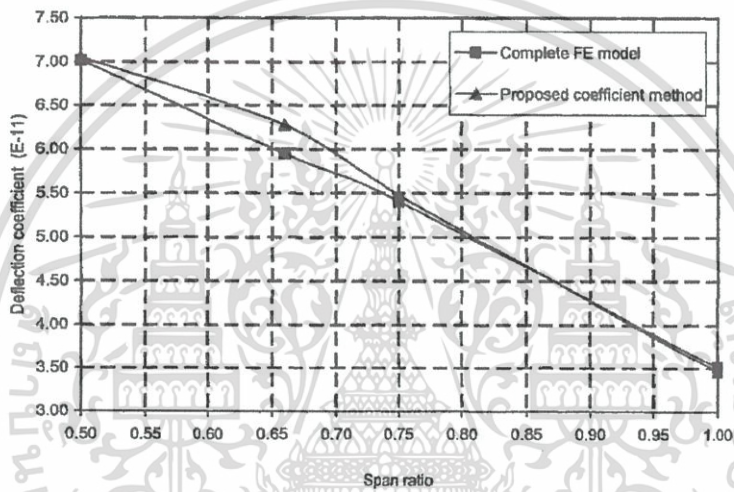


Figure 2 Comparison of deflection between complete FE model and proposed coefficient method for case a of Figure 1

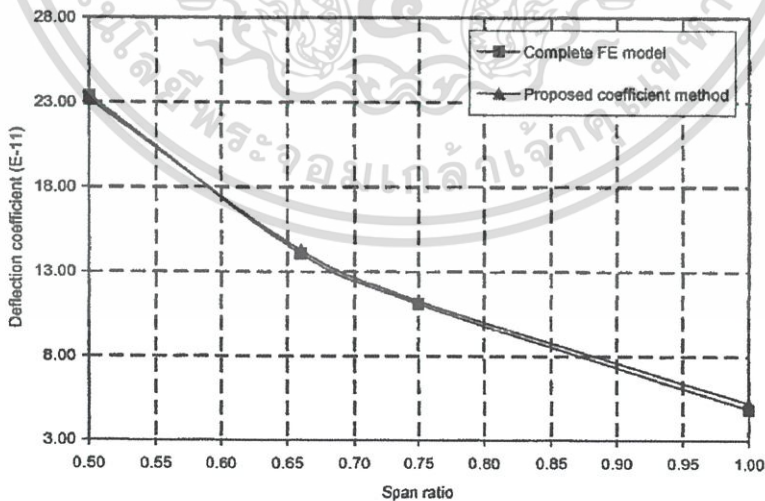


Figure 3 Comparison of deflection between complete FE model and proposed coefficient method for case b of Figure 1

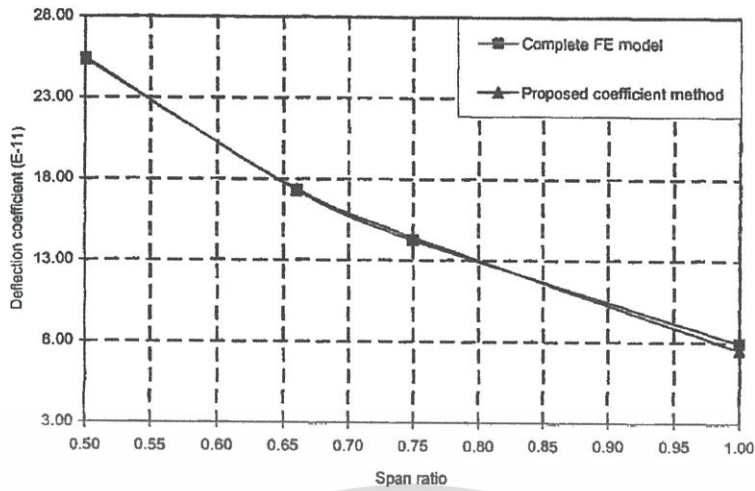


Figure 4 Comparison of deflection between complete FE model and proposed coefficient method for case c of Figure 1

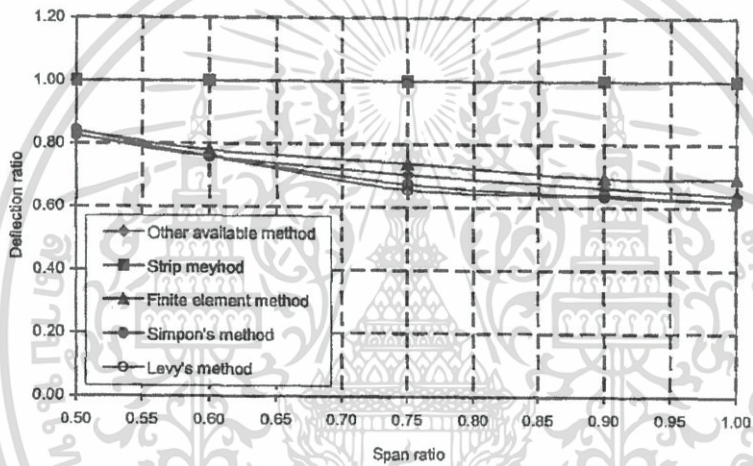


Figure 5 Effect of span ratio on deflection ratio (deflection/deflection for strip method) in various methods for case 1

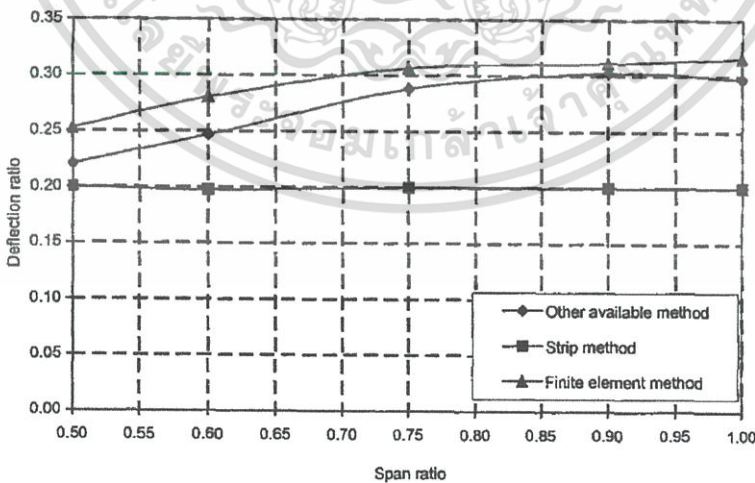


Figure 6 Effect of span ratio on deflection ratio (deflection/deflection for simple support) in various methods for case 2

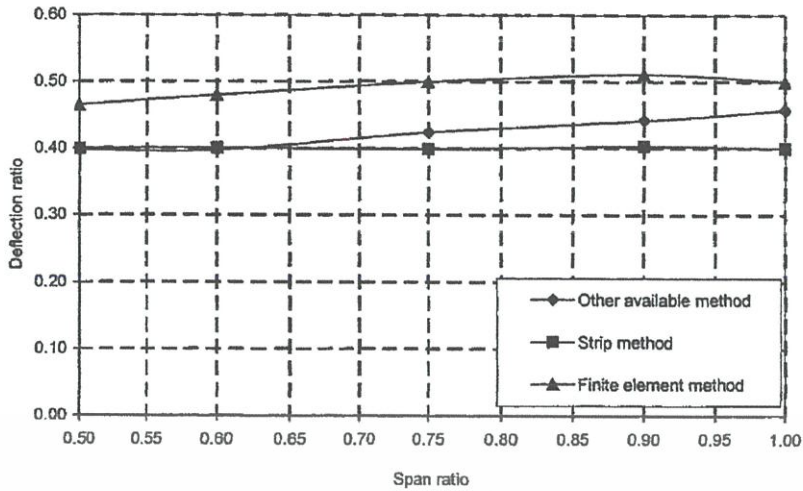


Figure 7 Effect of span ratio on deflection ratio (deflection/deflection for simple support) for various methods for case 4

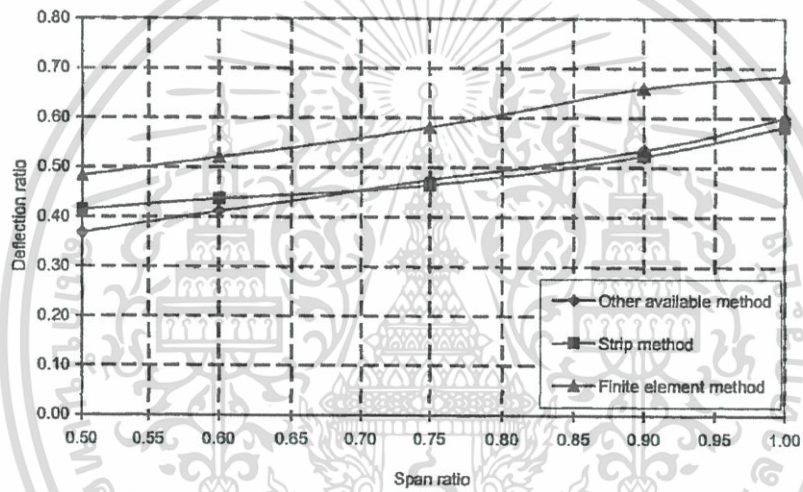


Figure 8 Effect of span ratio on deflection ratio (deflection/deflection for simple support) in various methods for case 6

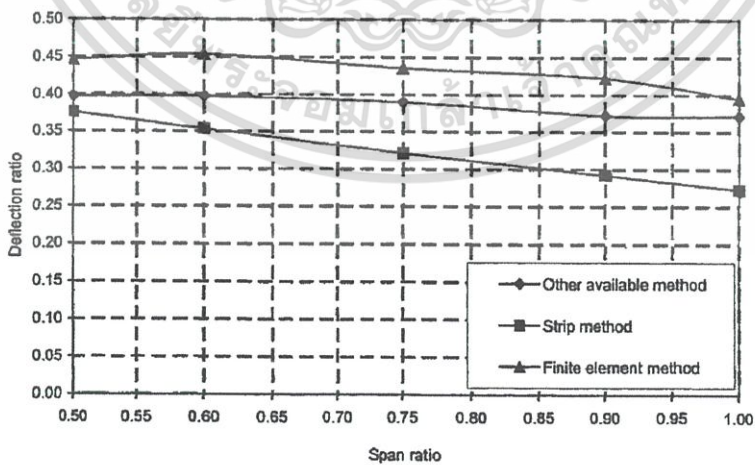


Figure 9 Effect of span ratio on deflection ratio (deflection/deflection for simple support) in various methods for case 8

5. Conclusions

The finite element model described in the companion paper [1] has been employed to study the deflection behaviour of edge supported slabs. Equations are derived for converting the FE moments and deflections into deflection coefficients. Studies have been conducted for understanding slab response; results of which have been converted in to deflection coefficients. A comprehensive table has been formulated for using in conjunction with the ACI moment coefficient tables. To verify this table further FE investigations have been conducted with continuous slab system having variable span ratios. It has been observed from the comparison of results that quite satisfactory results are obtained using the coefficient table and thus concluded that it can be incorporated in to future design practice. Finally results have been compared with available simple methods which demonstrated the accuracy of the proposed method.

References

- [1] Ahmed, B. and Chowdhury, S. R. (2003), "Estimation of serviceability deflection of edge supported slabs, Part 1: Modelling Slab Response", submitted to 28th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES to be held in Singapore on 28 - 29 August 2003.
- [2] Ugral, A. C. (1981), "Stresses in Plates and Shells", McGraw Hill, inc.
- [3] Chang, K. Y. and Hwang S. J. (1996), "Practical estimation of two-way slab deflections", Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 122, No. 2, pp. 150-159.
- [4] Polak, M. A. (1996), "Effective stiffness model for reinforced concrete slabs", Journal of American Society of Civil Engineers, Vol. 122, No. 9, pp. 1025-1030.
- [5] Vanderbilt, M. D., Sozen, M. A. and Siess, C. P. (1965), "Deflection of multiple- panel reinforced concrete floor slabs", Journal of Structural Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 91, No. 4, pp. 77-101.
- [6] ACI Publication (1995), "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", American Concrete Institute (ACI), Detroit.
- [7] ANSYS 5.4, Operations Guide, SASIP Inc, 201 Johnson Road, Houston, PA 15342-1300.
- [8] Chowdhury, S. R. (1999), "Numerical analysis of edge supported slabs", M.Sc. thesis, submitted to the Department of Civil Engineering, BUET, Bangladesh.
- [9] Arthur H. N. and George W. (1986), "Design of Concrete Structures", Tenth Edition, McGraw-Hill International Editions, pp. 266-270.
- [10] Ahmed, B. and Chowdhury, S. R. (1999) "Simplified calculation method for serviceability deflection of edge supported slabs; Part 2: Coefficient method" Journal of the Civil Engineering Division, The Institution of Engineers, Bangladesh, Vol. CE 27, No. 1, June 1999, pp. 41-57

Computer Program for Analysis and Design of Rectangular Edge-Supported Two-Way Slabs by Coefficient Method

Hayder Mohammed Kadhim Al-Mutairee

Department of Civil Engineering/ College of Engineering/ University of Babylon

Abstract

A computer program to analysis and design any rectangular edge-supported two-way slab under effects of uniformly distributed load is presented here. The program which called (POTWS – Program Of Two-Way Slabs) analyzes the two-way slab according to the coefficient method (or method three) and satisfies all design requirements of the (ACI 318M-2008). The deflection computes and compares with the permissible limit. QuickBASIC language used to construct the program. The analysis steps and design results concern middle strip of the slab. The main program with related external file briefly discussed. The program results were accurate, precise and coincide with hand calculations results. The present program facilitates the designer job and makes him gain the time as well as opens the way to study the effects of many design parameters easily.

الخلاصة

برنامج حاسوبي لتحليل وتصميم اي سقف مستطيل ثنائي العمل و ذو نهايات مسندة تحت تأثير أحمال منتشرة بانتظام تم اعداده. البرنامج أطلق عليه (POTWS) (برنامج السقوف ثنائية العمل) يقوم بتحليل السقوف ثنائية العمل وفقاً لطريقة المعامل (أو طريقة ثلاثة) ويوفر كل متطلبات معهد الخرسانة الأمريكي (ACI 318M-2008). حسب الطول وتم مقارنته مع الحدود المسموحة. استخدام لغة (QuickBASIC) لأعداد البرنامج. نتائج خطوات التحليل والتصميم متطابقة بالشريط الوسطي للسقف. البرنامج الرئيسي مع الملف الخارجي المتعلق به تم شرحه باختصار. نتائج البرنامج كانت مضبوطة، دقيقة ومتطابقة مع نتائج الحسابات اليدوية. البرنامج المستحضر يسهل وظيفة المصمم ويجعله رابحاً للوقت إضافة الى إنه يفتح الطريق لدراسة معاملات تصميم عدة بسهولة.

1- Introduction

This research is limited to analysis and design a two-way rectangular slabs supported on stiff beams or wall. Two-way slabs are rarely statically determinate in their internal moments and shears. Such slabs most highly indeterminate of all ordinary structures, thus require a three dimensional approach for analysis, even single panel simply supported [Ferguson, 1981].

An exact analysis of forces, moments and displacements in a two-way slab is complex due to the fact of highly indeterminate nature; this is true even when the effects of creep and nonlinear behavior of concrete are neglected [Hassoun, 1985]. Numerical methods such as finite elements can be used for analysis of the two-way slab but it is required mesh of finite elements which leads to a lot of input data which it is not suitable for everyday practical design. The application simplicity of ACI Code methods (coefficient methods: Method Two , and Method Three [Nilson and Winter, 1986]) made these methods suitable for practical design as well as some designers believe that these methods are still valuable design methods [Ferguson, 1981] and [Syal and Goel, 2004].

2- Coefficient Methods

The complexity of the generalized approach for two-way slabs, particularly for systems that do not meet the requirements permitting analysis by the "direct design method" [Nilson et al., 2004], has led many engineers to continue using the coefficient methods [[Syal and Goel, 2004], [Nilson and Winter, 1986] and [Vazirani and Chandola, 2004]] for special cases of two-way slabs supported on four sides of each slab panel.

Though coefficient was not a part of the [ACI 318M-2008] or later ACI Codes, its use is permissible under the current code provision that a slab system may be designed by any procedure satisfying conditions of equilibrium and geometric compatibility, if it is shown that the design strength at every section is at least equal to the required strength and the serviceability requirements are met [[Ferguson, 1981], [Nilson and Winter, 1986] and [Amer et al., 2008]].

3- Deflection Control

The [ACI 318M-2008], section 9.5.3, specifies a minimum slab thickness in two-way slabs to control deflection, this specification as illustrated in references of [Nilson et al., 2004], depend on properties of (beams around the slab), therefore, eliminate here. Alternative to the use of minimum slab thickness equations, the deflection at the center of a slab panel can be calculated, and results compared against limitations of ACI-Code, Table 9.5 (b), as explained in Reference [Nilson and Winter, 1986], and as illustrated in steps of main program (680 to 780).

4- The Present Program

4.1 Details of the Main Program

This program had been written utilizing [QuickBASIC Help Manual] and the steps as follows:

Steps 10 to 60: clear window, dimension statements, define the roots and open files for input coefficients and output results.

Steps 70 to 120: read the matrix of coefficients and closed the input file (Coeffs.Dat).

Steps 130 to 320: input case of slab, dimensions of slab, loads, properties of materials, size of reinforcement, required thickness of slab and type of occupation.

Steps 330 to 470: computation of total dead load, ultimate load and coefficients.

Steps 480 to 570: computation the applied shear forces for long and short directions and nominal shear strength provided by concrete section.

Steps 580 to 610: compute the minimum area of reinforcement.

Steps 620 to 650: computation of external moments.

Steps 660 to 780: determination of deflection and comparison with permissible limits.

Steps 790 to 820: calculation of design parameters.

Steps 830 to 990: calculation of negative reinforcement for short direction.

Steps 1000 to 1160: calculation of positive reinforcement for short direction.

Steps 1170 to 1330: calculation of negative reinforcement for long direction.

Steps 1340 to 1500: calculation of positive reinforcement for long direction.

Steps 1510 to 1630: printing output results on screen.

Steps 1640 to 1740: printing output results in output file (Out.Dat).

Steps 1750: close output file.

Steps 1760: end program.

Note: when the thickness of the slab (t) does not check the shear or strength requirement, the program prints these errors and cancels the input data then starts from the beginning, while when serviceability requirement does not check the program offers two choices either continue or start from beginning, after printing the error.

4.2 List of the Main Program

```
REM =====
REM = Computer Program for Analysis and Design of Rectangular Two-Way Slabs By Coefficient Method =
REM =====
10  CLS
20  DIM COE(99, 9), NPO(9)
30  DRI$ = "D:\Coeffs\Coeffs.DAT"
40  DRO$ = "D:\Output\Out.DAT"
50  OPEN DRI$ FOR INPUT AS #1
60  OPEN DRO$ FOR OUTPUT AS #2
70  FOR I = 1 TO 99
80  FOR J = 1 TO 9
90  INPUT #1, COE(I, J)
100 NEXT J
110 NEXT I
120 CLOSE #1

REM ***** INPUT INFORMATION *****
REM -----
130 INPUT "INPUT CASE OF SLAB ", C
140 INPUT "INPUT CLEAR LONGER SPAN (m) ", L
150 INPUT "INPUT CLEAR SHORTER SPAN (m) ", W
160 INPUT "INPUT SERVICE LIVE LOAD (kN/m^2) ", WL
170 INPUT "INPUT SERVICE SUPERIMPOSED DEAD LOAD (kN/m^2) ", Wds
180 INPUT "INPUT YIELD STRENGTH OF STEEL (MPa) ", fy
190 INPUT "INPUT COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (Cylinder)(MPa) ", fc1
200 INPUT "INPUT DIMETER OF BARS (mm) ", db
210 INPUT "INPUT THICKNESS OF THE SLAB (m) ", t
220 PRINT " SELECT THE TYPE OF OCCUPATION OF SLAB (1) OR (2) OR (3): "
230 PRINT " (1)- WHEN SLAB NOT SUPPORT OR ATTACHED TO NONSTRUCTURAL "
240 PRINT "     ELEMENTS LIKELY TO BE DAMAGED BY LARGE DEFLECTION  "
250 PRINT " (2)- WHEN SLAB SUPPORT OR ATTACHED TO NONSTRUCTURAL  "
260 PRINT "     ELEMENTS LIKELY TO BE DAMAGED BY LARGE DEFLECTIONS  "
270 PRINT " (3)- WHEN SLAB SUPPORT OR ATTACHED TO NONSTRUCTURAL  "
280 PRINT "     ELEMENTS NOT LIKELY TO BE DAMAGED BY LARGE DEFLECTIONS "
290 INPUT ID
300 IF ID = 1 THEN FD = 360
310 IF ID = 2 THEN FD = 480
320 IF ID = 3 THEN FD = 240

REM ***** COMPUTATIONS OF LOADS AND COEFFICIENTS *****
REM -----
330 WD = Wds + 24.5 * t
340 Wu = 1.6 * WL + 1.2 * WD
350 m = W / L
360 mm = INT(m * 20) / 20
370 IF m < .5 THEN PRINT "Error !! This Slab Is One-Way, Change Dimensions ": GOTO 130
380 IF m > 1 THEN PRINT "Error !! In Dimensions Of Slab ": GOTO 130
390 HHH = (C - 1) * 11 + (20 - mm * 20)
400 FOR K = 2 TO 9
```

مجلة جامعة بلال / العلوم الهندسية / العدد (1) / المجلد (1) : 2013

```

410 NPO(K) = COE(HHH, K) + (COE(HHH + 1, K) - COE(HHH, K)) * (mm + .05 - m) / (.05)
420 NEXT K
430 NPO(1) = COE(HHH, 1)
440 CA = NPO(1): Cnw = NPO(2): Cnl = NPO(3): Cpwl = NPO(4): Cpll = NPO(5)
450 Cpwd = NPO(6): Cpld = NPO(7): SFw = NPO(8): SF1 = NPO(9)
460 dw = (1000 * t) - 20 - db / 2
470 dl = (1000 * t) - 20 - 1.5 * db

```

REM ***** SHEAR FORCES *****

REM -----

```

480 RL = (Wu * L * SF1) / 2
490 Vul = (RL - Wu * SF1 * (dl / 1000)) / .75
500 Vc = 170 * SQR(fc1) * (dl / 1000)
510 IF Vul > Vc THEN PRINT " Change The Thickness Of Slab, Vul/.75 > Vc"
520 IF Vul > Vc THEN GOTO 130
530 RW = (Wu * W * SFw) / 2
540 Vuw = (RW - Wu * SFw * (dw / 1000)) / .75
550 Vc = 170 * SQR(fc1) * (dw / 1000)
560 IF Vuw > Vc THEN PRINT " Change The Thickness Of Slab, Vus/.75 > Vc"
570 IF Vuw > Vc THEN GOTO 130

```

REM ***** MINIMUM AREA OF REINFORCEMENT *****

REM -----

```

580 IF fy < 420 THEN ASmin = 2 * (t * 1000)
590 IF fy = 420 THEN ASmin = 1.8 * (t * 1000)
600 IF fy > 420 THEN FAS = (.756 / fy): IF FAS < .0014 THEN FAS = .0014
610 IF fy > 420 THEN ASmin = 1000 * FAS * (t * 1000)

```

REM ***** CALCULATIONS OF MOMENTS *****

REM -----

```

620 Mnw = (Cnw * Wu * W ^ 2)
630 Mpw = (Cpwl * 1.6 * WL + Cpwd * 1.2 * WD) * W ^ 2
640 Mnl = (Cnl * Wu * L ^ 2)
650 Mpl = (Cpll * 1.6 * WL + Cpld * 1.2 * WD) * L ^ 2
660 Mnw = INT(Mnw * 100) / 100: Mpw = INT(Mpw * 100) / 100
670 Mnl = INT(Mnl * 100) / 100: Mpl = INT(Mpl * 100) / 100

```

REM ***** CHECK DEFLECTION IN TWO WAY-SLAB *****

REM -----

```

660 DefL = W / FD * 1000: DF = 1 / 16: LF = 3 / 32: IZ = 0
670 INPUT "The Edge-Supports Masonry Walls? (1 for Yes and 2 for No) ", IZ
680 Ec = 4700 * fc1 ^ .5: Ie = 1000 * (1000 * t) ^ 3 / 12
690 Mpwdd = Cpwd * WD * W ^ 2: Mpwld = Cpwl * WL * W ^ 2
700 Mpldd = Cpld * WD * L ^ 2: Mplld = Cpll * WL * L ^ 2
710 IF IZ = 1 THEN DF = 5 / 48: IF IZ = 1 THEN LF = 5 / 48
720 DLd = DF / (2 * Ec * Ie) * (Mpwdd * W ^ 2 + Mpldd * L ^ 2) * 10 ^ 12
730 DLl = LF / (2 * Ec * Ie) * (Mpwld * W ^ 2 + Mplld * L ^ 2) * 10 ^ 12
740 IF ID = 1 THEN DLT = DLl: GOTO 770
750 IF ID = 2 THEN DLT = 1.5 * DLd + DLl: GOTO 770
760 IF ID = 3 THEN DLT = 1.5 * DLd + DLl: GOTO 770
770 IF DefL < DLT THEN INPUT " CONTINUE 1-YES. 2-NO. ", IU

```

```

780 IF IU = 2 THEN PRINT " DEFLECTION NOT CHECKED ": GOTO 130

REM ***** CALCULATIONS OF REINFORCEMENTS *****
REM -----
790 IF fc1 <= 28 THEN B1 = .85 ELSE B1 = (.85 - .05 * (fc1 - 28) / 7)
800 IF B1 < .65 THEN B1 = .65
810 OUmax = (382.5 * B1 / (fy + 600))
820 Rut = 2.55 * B1 * fc1 / (8 * fy)

830 FII = .9: IFII = 0
840 Rnw = (Mnw / (FII * fc1 * dw ^ 2 / 1000))
850 KK1 = .7183 - (1.695 * Rnw)
860 IF KK1 < 0 THEN PRINT "ASnw > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
870 OUnw = (.8475 - SQR(KK1))
880 IF OUnw > OUmax THEN PRINT "ASnw > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
890 ROnw = OUnw * fc1 / fy
900 ASnw = ROnw * 1000 * dw
910 IF IFII > 0 GOTO 1000
920 IF ROnw <= Rut GOTO 1000
930 a = ASnw * fy / (850 * fc1)
940 CC = a / B1
950 Et = .003 * (dw - CC) / CC
960 FII = .65 + (Et - .002) * 250 / 3
970 IF FII < .65 THEN FII = .65
980 IFII = 1
990 GOTO 840

1000 FII = .9: IFII = 0
1010 Rpw = (Mpw / (FII * fc1 * dw ^ 2 / 1000))
1020 KK1 = .7183 - (1.695 * Rpw)
1030 IF KK1 < 0 THEN PRINT "ASpw > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
1040 OUpw = (.8475 - SQR(KK1))
1050 IF OUpw > OUmax THEN PRINT "ASpw > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
1060 ROpw = OUpw * fc1 / fy
1070 ASpw = ROpw * 1000 * dw
1080 IF IFII > 0 GOTO 1170
1090 IF ROpw <= Rut GOTO 1170
1100 a = ASpw * fy / (850 * fc1)
1110 CC = a / B1
1120 Et = .003 * (dw - CC) / CC
1130 FII = .65 + (Et - .002) * 250 / 3
1140 IF FII < .65 THEN FII = .65
1150 IFII = 1
1160 GOTO 1010

1170 FII = .9: IFII = 0
1180 Rnl = (Mnl / (FII * fc1 * dl ^ 2 / 1000))
1190 KK1 = .7183 - (1.695 * Rnl)
1200 IF KK1 < 0 THEN PRINT "ASnl > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
1210 OUnl = (.8475 - SQR(KK1))
1220 IF OUnl > OUmax THEN PRINT "ASnl > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130

```

```

1230 ROnl = OUnl * fc1 / fy
1240 ASnl = ROnl * 1000 * dl
1250 IF IFII > 0 GOTO 1340
1260 IF ROnl <= Rut GOTO 1340
1270 a = ASnl * fy / (850 * fc1)
1280 CC = a / B1
1290 Et = .003 * (dl - CC) / CC
1300 FII = .65 + (Et - .002) * 250 / 3
1310 IF FII < .65 THEN FII = .65
1320 IFII = 1
1330 GOTO 1180

1340 FII = .9: IFII = 0
1350 Rpl = (Mpl / (FII * fc1 * dl ^ 2 / 1000))
1360 KK1 = .7183 - (1.695 * Rpl)
1370 IF KK1 < 0 THEN PRINT "ASpl > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
1380 OUpl = (.8475 - SQR(KK1))
1390 IF OUpl > OUmax THEN PRINT "ASpl > ASmax, Increase Thickness": GOTO 130
1400 ROpl = OUpl * fc1 / fy
1410 ASpl = ROpl * 1000 * dl
1420 IF IFII > 0 GOTO 1510
1430 IF ROpl <= Rut GOTO 1510
1440 a = ASpl * fy / (850 * fc1)
1450 CC = a / B1
1460 Et = .003 * (dl - CC) / CC
1470 FII = .65 + (Et - .002) * 250 / 3
1480 IF FII < .65 THEN FII = .65
1490 IFII = 1
1500 GOTO 1350

REM ***** OUTPUT RESULTS *****
REM -----
1510 ASnw = INT(ASnw + .5): ASnl = INT(ASnl + .5): ASpw = INT(ASpw + .5)
1520 ASpl = INT(ASpl + .5): ASmin = INT(ASmin + .5)
1530 PRINT " Negative moment of short direction (kN.m/m) =": Mnw
1540 PRINT " Positive moment of short direction (kN.m/m) =": Mpw
1550 PRINT " Negative moment of long direction (kN.m/m) =": Mnl
1560 PRINT " Positive moment of long direction (kN.m/m) =": Mpl
1570 PRINT " Negative area of reinforcement for short direction (mm^2/m) =": ASnw
1580 PRINT " Positive area of reinforcement for short direction (mm^2/m) =": ASpw
1590 PRINT " Negative area of reinforcement for long direction (mm^2/m) =": ASnl
1600 PRINT " Positive area of reinforcement for long direction (mm^2/m) =": ASpl
1610 PRINT " Minimum area of reinforcement must be provided (mm^2/m) =": ASmin
1620 PRINT " Permissible deflection (mm) =": DefL
1630 PRINT " Total deflection as computed (mm) =": DLT
1640 PRINT #2, " Negative moment of short direction (kN.m/m) =": Mnw
1650 PRINT #2, " Positive moment of short direction (kN.m/m) =": Mpw
1660 PRINT #2, " Negative moment of long direction (kN.m/m) =": Mnl
1670 PRINT #2, " Positive moment of long direction (kN.m/m) =": Mpl
1680 PRINT #2, " Negative area of reinforcement for short direction (mm^2/m) =": ASnw
1690 PRINT #2, " Positive area of reinforcement for short direction (mm^2/m) =": ASpw

```

```
1700 PRINT #2, " Negative area of reinforcement for long direction (mm^2/m) ="; ASnl
1710 PRINT #2, " Positive area of reinforcement for long direction (mm^2/m) ="; ASpl
1720 PRINT #2, " Minimum area of reinforcement must be provided (mm^2/m) ="; ASmin
1730 PRINT #2, " Permissible deflection (mm) ="; DefL
1740 PRINT #2, " Total deflection as computed (mm) ="; DLT
1750 CLOSE #2
1760 END
```

4.3 Related External File (Coefficients File)

```
1,0,0,036,036,036,5,5
1,0,0,04,033,04,033,55,45
1,0,0,045,029,045,029,6,4
1,0,0,05,026,05,026,66,34
1,0,0,056,023,056,023,71,29
1,0,0,061,019,061,019,76,24
1,0,0,068,016,068,016,81,19
1,0,0,074,013,074,013,85,15
1,0,0,081,01,081,01,89,11
1,0,0,088,008,088,008,92,08
1,0,0,095,006,095,006,94,06
2,045,045,027,027,018,018,5,5
2,05,041,03,025,02,016,55,45
2,055,037,034,022,022,014,6,4
2,06,031,037,019,024,012,66,34
2,065,027,041,017,026,011,71,29
2,069,022,045,014,028,009,76,24
2,074,017,049,012,03,007,81,19
2,077,014,053,01,032,006,85,15
2,081,01,058,007,034,004,89,11
2,084,007,062,006,035,003,92,08
2,086,006,066,004,037,002,94,06
3,0,076,027,032,018,027,17,83
3,0,072,031,029,021,025,2,8
3,0,07,035,027,025,024,23,77
3,0,065,04,024,029,022,28,72
3,0,061,045,022,034,02,33,67
3,0,056,051,019,04,018,39,61
3,0,05,057,016,046,016,45,55
3,0,043,064,014,054,014,53,47
3,0,035,071,011,062,011,61,39
3,0,028,08,009,071,009,69,31
3,0,022,088,007,08,007,76,24
4,05,05,032,032,027,027,5,5
4,055,045,035,029,03,024,55,45
4,06,04,039,026,033,022,6,4
4,066,034,043,023,036,019,66,34
4,071,029,048,02,039,016,71,29
4,076,024,052,016,043,013,76,24
4,081,019,057,014,046,011,81,19
4,085,015,062,011,05,009,85,15
4,089,011,067,009,053,007,89,11
```



4,092,008,072,007,056,005,92,08
 4,094,006,077,005,059,004,94,06
 5,075,0,032,027,027,018,83,17
 5,079,0,034,024,028,015,86,14
 5,08,0,037,021,029,013,88,12
 5,082,0,041,019,031,011,9,1
 5,083,0,044,016,032,009,92,08
 5,085,0,047,013,033,007,94,06
 5,086,0,051,011,035,005,95,05
 5,087,0,055,009,036,004,96,04
 5,088,0,059,007,037,003,97,03
 5,089,0,063,005,038,002,98,02
 5,09,0,067,004,039,001,99,01
 6,071,0,035,032,033,027,71,29
 6,075,0,038,029,036,024,75,25
 6,079,0,042,025,039,021,79,21
 6,083,0,046,022,042,017,83,17
 6,086,0,051,019,045,015,86,14
 6,088,0,055,016,048,012,88,12
 6,091,0,06,013,051,009,91,09
 6,093,0,064,01,054,007,93,07
 6,095,0,068,008,056,006,95,05
 6,096,0,073,006,058,004,96,04
 6,097,0,078,005,061,003,97,03
 7,0,071,032,035,027,033,29,71
 7,0,067,036,032,031,031,33,67
 7,0,062,04,029,035,028,38,62
 7,0,057,045,026,04,025,43,57
 7,0,051,051,023,045,022,49,51
 7,0,044,056,02,051,02,56,44
 7,0,038,063,017,058,017,62,38
 7,0,031,07,014,065,014,69,31
 7,0,024,077,011,073,012,76,24
 7,0,019,085,009,081,009,81,19
 7,0,014,092,007,089,007,86,14
 8,033,061,028,03,02,023,33,67
 8,038,056,031,027,022,021,38,62
 8,043,052,035,024,025,019,43,57
 8,049,046,04,022,029,017,49,51
 8,055,041,044,019,032,015,55,45
 8,061,036,049,016,036,013,61,39
 8,068,029,054,014,04,011,68,32
 8,074,024,059,011,044,009,74,26
 8,08,018,065,009,048,007,8,2
 8,085,014,07,007,052,005,85,15
 8,089,01,076,005,056,004,89,11
 9,061,033,03,028,023,02,67,33
 9,065,029,032,025,024,017,71,29
 9,068,025,036,022,026,015,75,25
 9,072,021,039,02,028,013,79,21
 9,075,017,042,017,029,01,83,17



9,078,014,046,013,031,007,86,14
 9,081,011,05,011,033,006,89,11
 9,083,008,054,009,034,005,92,08
 9,085,006,059,007,036,004,94,06
 9,086,005,063,006,037,003,95,05
 9,088,003,067,004,038,002,97,03

Note: Each row consists of nine terms as follows;

- 1- case of the slab.
- 2- coefficient of short direction for negative moment.
- 3- coefficient of long direction for negative moment.
- 4- coefficient of short direction for live load positive moment.
- 5- coefficient of long direction for live load positive moment.
- 6- coefficient of short direction for dead load positive moment.
- 7- coefficient of long direction for dead load positive moment.
- 8- ratio of load for short direction.
- 9- ratio of load for long direction.

5- Illustration Example

Design a two-way slab has clear dimensions (8.2m length and 5m width), the superimposed dead load $W_{ds} = 2 \text{ kN/m}^2$, and live load $WL = 5 \text{ kN/m}^2$. The slab is supporting to nonstructural elements likely to be damaged by large deflections. $f_y = 400 \text{ MPa}$, $f'_c = 28 \text{ MPa}$ and diameter of bars (available in situ) $db = 12 \text{ mm}$. The slab location represents case nine.

5.1 Hand Calculations Solution

a- Compute the ultimate load and effective depths:

$$W_u = 1.2 \times (2 + 24.5 \times t) + 1.6 \times 5 \text{ thus; } W_u = 7.545 + 8 = 15.545 \text{ kN/m}^2$$

$$d_s = t - \text{cover} - db/2 = 175 - 20 - 12/2 = 149 \text{ mm}$$

$$d_l = d_s - db = 149 - 12 = 137 \text{ mm}$$

b- Determine the coefficients: Case (9), $m = 5/8.2 = 0.6098$ thus from tables 8.3 to 8.6 respectively of reference [Nilson and Winter, 1986], the coefficients are as follows: $C_{a,neg} = 0.084608$, $C_{b,neg} = 0.006392$, $C_{a,d1} = 0.035608$, $C_{b,d1} = 0.004196$, $C_{a,d2} = 0.058020$, $C_{b,d2} = 0.007392$ and the ratio of load in short directions = 0.93608 (all these values from interpolation).

c- Compute the moments:

$$M_{nw} = C_{a,neg} \times W_u \times l_a^2 = 0.084608 \times 15.545 \times 5^2 = 32.88078 \text{ kN} \cdot \frac{m}{\square}$$

$$M_{pw} = (C_{a,d1} \times W_{du} + C_{a,d2} \times W_{lu}) l_a^2 = (0.035608 \times 7.545 + 0.058020 \times 8) \times 5^2 = 18.32056 \text{ kN} \cdot \frac{m}{\square}$$

$$M_{nl} = C_{b,neg} \times W_u \times l_b^2 = 0.006392 \times 15.545 \times 8.2^2 = 6.68121 \text{ kN} \cdot \frac{m}{\square}$$

$$M_{pl} = (C_{b,d1} \times W_{du} + C_{b,d2} \times W_{lu}) l_b^2 = (0.004196 \times 7.545 + 0.007392 \times 8) \times 8.2^2 = 6.10504 \text{ kN} \cdot \frac{m}{\square}$$

d- Calculate the ratios of reinforcements; by solving the equation of strength [ACI 318M-2008]:

$M_u = \phi \rho b d^2 f_y \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$, the solution of this equation for ρ will be:

$$\rho = \frac{f'_c}{f_y} \quad , \text{ (assume } \phi = 0.9 \text{ , i.e. assume all ratios smaller than } \rho_{\tau} \text{) thus:}$$

$\rho_{nw} = 0.004267$, $\rho_{pw} = 0.002338$, $\rho_{st} = 0.000997$ and $\rho_{sh} = 0.000911$, now compute

$$\left[0.85 \times \beta_1 \times \frac{c}{f_y} \times \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + 0.005} \right]$$

ρ_{τ} which equal to $\rho_{\tau} = 0.018966$ larger than all ratios, thus $\phi = 0.9$ always. The areas of reinforcements will be:

$$AS_{pw} = \rho_{pw} \times b \times ds = 34 \frac{mm^2}{m}$$

$$AS_{nw} = \rho_{nw} \times b \times ds = 635 \frac{mm^2}{m}$$

$$AS_{pl} = \rho_{st} \times b \times dl = 125 \frac{mm^2}{m}$$

$$AS_{nl} = \rho_{sh} \times b \times dl = 137 \frac{mm^2}{m}$$

Compute the minimum area of reinforcement must be provided for temperature and shrinkage, $AS_{min} = 0.002 \times b \times t = 0.002 \times 1000 \times 175 = 350 \frac{mm^2}{m}$,

hence the AS_{nl} and AS_{pl} must be modified to be equal to $350 \frac{mm^2}{m}$.

e- *Check shear requirements*; the ratio of load in short direction represents the critical and equals to 93.608% as computed above, thus the maximum reaction along the long direction is equal to $15.545 \times 0.93608 \times 5 \times 0.5 = 36.378$ kN, thus the shear at the critical section $V_{ud} = 36.378 - 15.545 \times 0.93608 \times 0.149 = 34.21$ kN,

$$V_c = 0.17 \sqrt{28} \times 1000 \times 0.149 = 134.03 \text{ kN}$$

which $\frac{V_{ud}}{\phi} = \frac{34.21}{0.75} = 45.61 \text{ kN}$, hence the ACI Code requirements for shear are satisfied.

f- *Check the deflection requirements*; the deflection due to sustain dead load can be computed as (computed for long and short directions then take the average):

$$\Delta d = \frac{1}{16} \frac{M_b l_b^2}{E_c I_{eff}}$$

, where; M_b = the positive dead load moment of long or short direction, l_b = the length of long or short direction, E_c = modulus elasticity of concrete and I_{eff} represent effective moment of inertia of the concrete cross section of unit width and taken here as the gross moment of inertia because the amount of cracking at service load is usually not extensive [Nilson and Winter, 1986],

$$M_{b-long} = 0.00496 \times \left(\frac{7.545}{1.2}\right) \times 8.2^2 = 1.77395 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m},$$

$E_c = 4700 \times \sqrt{28} = 24870 \text{ MPa}$, $I_{eff} = 1000 \times 175^3 / 12 = 446614583.3 \text{ mm}^4$,
thus

$$\Delta d = \frac{1}{16} \frac{[(1.77395 \times 8.2^2) + (5.59713 \times [5^2]) \times 0.5 \times 10]^{12}}{24870 \times 446614583.3} = 0.72927 \text{ mm}$$

The deflection due to live load can be computed as (computed for long and short directions then take the average):

$$\Delta l = \frac{3}{32} \frac{M_b l_b^2}{E_c I_{eff}}, M_b = \text{the positive live load moment of long or short direction,}$$

$$\Delta l = \frac{3}{32} \frac{[(2.48519 \times 8.2^2) + (7.25250 \times [5^2]) \times 0.5 \times 10]^{12}}{24870 \times 446614583.3} = 1.47039 \text{ mm}$$

Total deflection DLT = $\Delta d \times T + \Delta l = 0.72927 \times 1.5 + 1.47039 = 2.56429 \text{ mm}$

The limit of deflection $DefL = \frac{l_a}{480}$, [ACI 318M-2008], thus
 $DefL = \frac{5000}{480} = 10.416 \text{ mm}$, larger than the total deflection, hence ACI Code requirements for deflection are satisfied.

5.2 Program Calculations Input Data and Results

a- Input the following data:

9, 8.2, 5, 5, 2, 400, 28, 12, 0.175, 2, 2, the results appear as shown below.

Note: each comma meaning press enter key to continue.

b- Output results:

Negative moment of short direction (kN.m/m) = 32.88147

Positive moment of short direction (kN.m/m) = 18.32177

Negative moment of long direction (kN.m/m) = 6.679375

Positive moment of long direction (kN.m/m) = 6.103653

Negative area of reinforcement for short direction (mm²/m) = 636

Positive area of reinforcement for short direction (mm²/m) = 348

Negative area of reinforcement for long direction (mm^2/m) = 136

Positive area of reinforcement for long direction (mm^2/m) = 124

Minimum area of reinforcement must be provided (mm^2/m) = 350

Permissible deflection (mm) = 10.41667

Total deflection as computed (mm) = 2.564106

As shown above, there is agreement between the results of program and hand calculations (small differences expected because of the approximate nature of the calculations), and the simplicity of application of the present program (POTWS).

6- Conclusions

Based on the results obtained from several test examples done the following conclusions can be drawn. These may be summarized as follows:

- 1- The results of the present program (POTWS) are accurate, precise and coincide with hand calculation results, therefore; its can be used safely to analysis and design of any rectangular edge-supported two-way slab under uniformly distributed load.
- 2- The program (POTWS) facilitates the engineers and designers job as well as make them gain the time, this fact is very important. The required time to input data is about ten seconds and the running time less than one second.
- 3- The constructed program opens the way to study the effects of material properties, loads and many other design parameters on the values of moments, shear forces and deflection of rectangular edge-supported two-way slabs easily.
- 4- The application of program proved the facilities and efficiency of the QuickBASIC language to construct and running the engineering programs.

Appendix 1: References

- ACI-Code (318M-08), 2008, "Building Code Requirement for Structural Concrete", Provided by IHS under license with ACI.
- Amer M.I., Mohammed S.M. and Qussay W.A., 2008, "Design of Reinforced Concrete Structures", Diyala University, Iraq, First Edition.
- Arthur H. Nilson and George Winter, 1986, "Design of Concrete Structures", McGraw-Hill, New York.
- Arthur H. Nilson, David Drawin and Charles W. Dolan, 2004, "Design of Concrete Structures", McGraw-Hill, New York.
- I.C. Syal and A.K. Goel, 2004, "Reinforced Concrete Structures", S. Chand and Company Ltd, India.
- M. Nadim Hassoun, 1985, "Design of Reinforced Concrete Structures", PWS Publishers, USA.
- Phil M. Ferguson, 1981, "Reinforced Concrete Fundamentals" John Wiley & Sons, New York.
- QuickBASIC Help Manual.
- V.N. Vazirani and S.P. Chandola, 2004, "Concise Handbook of Civil Engineering", S. Chand and Company Ltd, India.

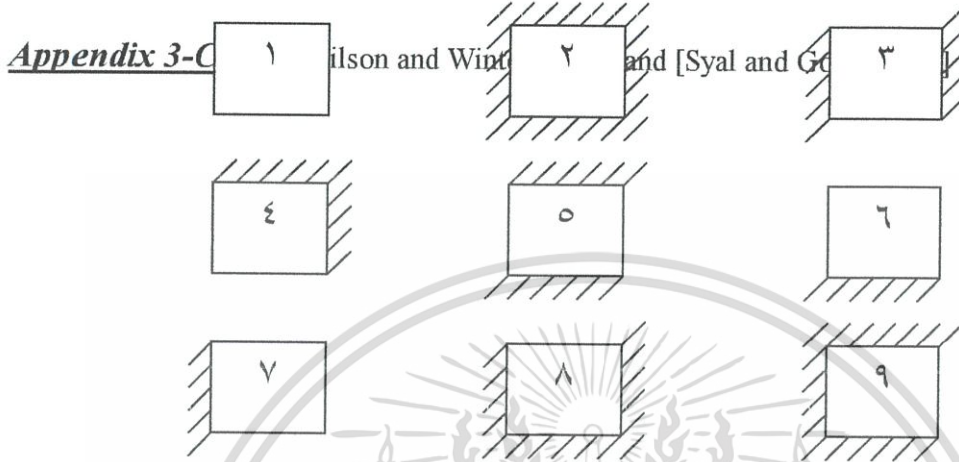
Appendix 2- Notation

= factor relating depth of equivalent rectangular compressive stress block to neutral axis depth.

ν_c = 24.5 kN/m^3 .

ϵ_t	= net tensile strain in extreme layer of longitudinal tension steel at nominal strength.
ρ_{nl}	= ratio of negative reinforcement for long direction, (in program ROnl).
ρ_{nw}	= ratio of negative reinforcement for short direction, (in program RONw).
ρ_{pl}	= ratio of positive reinforcement for long direction, (in program ROpl).
ρ_{pw}	= ratio of positive reinforcement for short direction, (in program ROPw).
ϵ_{cu}	= crushing strain of concrete = 0.003.
a	= depth of equivalent rectangular stress block, mm.
ASnl	= negative area of reinforcement required in long direction, mm ² /m.
ASnw	= negative area of reinforcement required in short direction, mm ² /m.
ASpl	= positive area of reinforcement required in long direction, mm ² /m.
ASpw	= positive area of reinforcement required in short direction, mm ² /m.
b	= width of the section, usually taken (1000 mm) in slabs.
C	= case of the slab.
CC	= distance from extreme compression fiber to neutral axis, mm.
db	= diameter of bars used in situ, mm.
DefL	= permissible deflection limit [ACI 318M-2008] (Table 9.5.b), mm.
dl	= effective depth of slab in long direction, mm.
DLT	= computed deflection, mm.
ds	= effective depth of slab in short direction (mm).
Ec	= modulus elasticity of concrete, MPa.
fc'	= compressive strength of concrete (cylinder), MPa.
FII	= ϕ = capacity reduction factor .
fy	= yield strength of steel, MPa.
ID	= factor specify the occupation of slab.
I_e, I_{eff}	= effective moment of inertia of the concrete cross section of unit width, mm ⁴ .
L and l_b	= length of the slab (clear), m.
m	= the resisting moment in the short direction, kN.m/m.
Mnl	= negative moment of long direction, N.mm.
Mnw	= negative moment of short direction, N.mm.
Mpl	= positive moment of long direction, N.mm.
Mpw	= positive moment of short direction, N.mm.
OUmax	= $\omega_{max} \square = \rho_{max} \times \frac{f_y}{f_c'}$.
RL	= means reaction of long direction (on short span).
Rut	= $\rho_t = 2.55 * \beta_1 * f_c' / (8 * f_y)$ [ACI 318M-2008].
RW	= means reaction of short direction (on long span).
t	= thickness of slab, m.
Vc	= nominal shear strength provided by concrete section, kN.
Vul	= shear force at the critical section of long direction, kN.
Vuw	= shear force at the critical section of short direction, kN.
W or l_a	= width of the slab (clear), m.
WD	= total dead load, kN/m ² (superimposed plus weight of slab).
Wds	= dead load (superimposed), kN/m ² .

- W_u** = total ultimate dead load, kN/m^2 .
WL = service live load (superimposed), kN/m^2 .
 W_{Lu} = total ultimate live load, kN/m^2 .
 W_u = total ultimate load on slab, kN/m^2 .



Appendix 4-Steps of Installation and Running the Program

- 1- Open the appendix CD disc and copy the folder of *QuickBASIC* language, then paste this folder at any drive.
- 2- Construct folder called "*Coeffs*" on drive "D".
- 3- Construct folder called "*Output*" on drive "D".
- 4- Open the appendix CD disc and copy the file *Coeff.Dat*, then paste this file in folder *Coeffs* which construct in step two above.
- 5- Open the appendix CD disc and copy the file of program *POTWS.BAS*, then paste this folder at any drive.
- 6- Press double on the file *POTWS.BAS*, to open with *QuickBASIC* language.
- 7- After opening program, press *Run* order then press *Start* to run the program.
- 8- Now input the data required, as printed in the screen, then press enter after each term, the results appear.
- 9- Go to the output folder construct in step three mentioned above to show the results at *Out.dat* file.