การวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม

An Analysis of the Distribution Cost of Reinforced Concrete.

นายวารินทร์ ตนพยอม รหัส 50371094

นางสาวสุนีรัตน์ คงเนียม รหัส 50371285

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 19 ก.ค 2554
เลขทะเบียน 1555 7069
เลขเรียกหนังสือ ฟร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2483D 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวารินทร์ ตนพยอม	รหัส 50371094
	นางสาวสุนีรัตน์ คงเนียม	รหัส 50371285
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	2553	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ

(อาจารย์บุญพล มีไชโย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวารินทร์	ตนพยอม	รหัส 50371094
	นางสาวสุนีรัตน์	คงเนียม	รหัส 50371285
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับ การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยศึกษาถึงการกระจายตัวของมูลค่าของคอนกรีตต่อการก่อสร้างอาคารในแต่ละอาคาร และนำมาวิเคราะห์

คณะผู้ศึกษาได้ศึกษาแบบขยายวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรวม,โรงละคร (Phitsanulok) พร้อมทำการออกแบบโครงสร้าง พื้น คาน เสา ขึ้นมาใหม่ วิเคราะห์พบว่าการกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต(S/C)

Project title	An Analysis of the Distribution Cost Reinforced Concrete.
Name	Mr.Varin Tonphayom ID. 50371094
	Miss.Suneerat Kongnium ID. 50371285
Project advisor	Dr. Sirichai Tanratanawong
Major	Civil Engineering
Department	Civil Engineering
Academic year	2010

Abstract

This project is a study and analysis about The distribution of value of construction materials, concrete and reinforcing steel. Study the distribution of the value of concrete for construction of buildings in each building. And understanding them.

Board of Education extended the study of engineering projects including construction of school buildings, theaters (Phitsanulok) with the structural design of floor beams, columns a new analysis found that the distribution of value of construction materials, concrete and reinforcing steel. Be increased or decreased depending on the percentage ratio of cross-sectional area of concrete reinforced with steel (S / C).

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา และชี้แนะแก้ไขรายงานโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้เขียนรู้สึกสำนึกในความกรุณา และขอขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้อง ที่สนับสนุนส่งเสริมในเรื่องการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายวารินทร์ ตนพยอม

นางสาวสุนีรัตน์ คงเนียม

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ซ
สารบัญรูป.....ฌ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....ญ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....1
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน.....2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....2
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4
2.1 คอนกรีต.....4
2.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต.....4
2.1.2 กำลังอัดของคอนกรีต.....5
2.1.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต.....6
2.2 เหล็กเสริม.....7
2.2.1 เหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบ.....8
2.2.2 เหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อย.....9
2.2.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก.....10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 น้ำหนักบรรทุก.....11
2.3.1 น้ำหนักบรรทุกจร.....11
2.3.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่.....13
2.4 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.....14
2.4.1 หน่วยแรงดัด.....15
2.4.2 แรงยึดหน่วง.....24
2.4.3 หน่วยแรงเฉือน.....28
2.4.4 หน่วยแรงแบกทาน.....32
2.4.5 หน่วยแรงบิด.....32
2.5 การออกแบบพื้น.....33
2.6 การออกแบบคาน.....34
2.6.1 คานยื่น.....35
2.6.2 คานต่อเนื่อง.....36
2.6.3 การออกแบบคานรับแรงบิด.....37
2.7 การออกแบบเสา.....39
2.7.1 ข้อกำหนดการออกแบบเสาตามมาตรฐาน ว.ส.ท.....39
2.7.2 การออกแบบเสา.....41
2.7.3 สมการออกแบบเสารับแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน.....43

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....45
3.1 วางแผนโครงการ.....45
3.1.1 การทำความเข้าใจกับโครงการ.....45
3.1.2 การคิดวัตถุประสงค์.....45
3.2 รวบรวมข้อมูล.....45
3.2.1 จากข้อมูลจริงที่ได้มีการปฏิบัติจริง.....45
3.2.2 ข้อมูลจากทฤษฎี.....45
3.3 วิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (แผ่นพื้น).....46
3.3.1 พื้นทางเดียว เหล็กข้ออ้อย SD40.....46
3.2.2 พื้นทางเดียวเหล็กกลม SR24.....46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 วิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คาน).....46
3.4.1 งานออกแบบคาน.....46
3.4.2 คานชนิดหน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต(f_c'): 280 กก./ตร.ซม.....47
3.4.3 คานชนิดหน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต(f_c'): 210 กก./ตร.ซม.....47
3.5 วิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (เสา).....47
3.5.1 เสาปลอกเดี่ยว (Ag: 0.24 m^2).....47
3.5.2 เสาปลอกเดี่ยว (Ag: 0.20 m^2).....48
3.5.3 เสาปลอกเกลียว (Ag: 0.19 m^2).....48
3.5.4 เสาปลอกเกลียว (Ag: 0.20 m^2).....48

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....49
4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (แผ่นพื้น).....49
4.1.1 ผลการทดลอง.....49
4.1.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง.....49
4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คาน).....52
4.2.1 ผลการทดลอง.....52
4.2.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง.....52
4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (เสา).....55
4.3.1 ผลการทดลอง.....55
4.3.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง.....55

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....59
5.1 บทสรุป.....59
5.2 ข้อเสนอแนะ.....59

เอกสารอ้างอิง.....60

ภาคผนวก 61

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมบัติของเหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบ.....8

2.2 สมบัติของเหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อย.....9

2.3 น้ำหนักบรรทุกจรตาม พรบ.กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522.....11

2.4 แรงลมสำหรับออกแบบอาคาร.....12

2.5 น้ำหนักบรรทุกคงที่หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร.....13

2.6 น้ำหนักบรรทุกคงที่หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร (กก./ม.^{2}).....14

2.7 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์.....34

2.8 ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล.....44

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต....4

2.2 แท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์....5

2.3 แท่งคอนกรีตทรงกระบอก....6

2.4 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต....7

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและการยืดตัว....10

2.6 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับน้ำหนักกระทำ.... 16

2.7 รูปหน้าตัด ไดอะแกรมของความเครียดและความเค้นของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก....16

2.8 การกระจายความเค้นและความเครียดในคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด....21

2.9 การจัดโมเมนต์เพื่อการออกแบบ....23

2.10 หน่วยแรงยึดหน่วง....25

2.11 ระยะยึดหน่วง....27

2.12 การหาแรงเฉือนของคาน....28

2.13 พฤติกรรมรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก....31

2.14 การรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัด....35

2.15 การเสริมเหล็กคานขื่น....35

2.16 การวิเคราะห์คานขื่น....36

2.17 แปลนแนวคานB4....37

2.18 เสารับโมเมนต์....43

2.19 สัญลักษณ์ของการยึดปลาย....44

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

As	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงในคานคอนกรีต
As'	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัดในคานคอนกรีต
ACI	=	มาตรฐานของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา
Ag	=	พื้นที่หน้าตัดสุทธิของเสา
Ast	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
$ASTM$	=	มาตรฐานการทดสอบวัสดุของอเมริกา
Br	=	หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้
βc	=	อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา
DB	=	เหล็กเสริมชนิดข้ออ้อย
DL	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่
ds	=	กำลังที่ให้ออกแบบ
d	=	ความลึกและประสิทธิผล
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (ซม.)
Ec	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
Es	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
εs	=	หน่วยการยืดตัวสูงสุดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม
$\varepsilon s'$	=	หน่วยการยืดตัวสูงสุดของเหล็กเสริมรับแรงอัด
fs	=	กำลังดึงหรือกำลังอัดของเหล็กเสริม

f_c'	=	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต
f_s'	=	กำลังดึงหรือกำลังอัดของเหล็กเสริมรับแรงอัดในคาน
f_c	=	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต
f_w	=	หน่วยแรงที่เกิดขึ้น
f_a	=	หน่วยแรงที่ใช้งานที่ยอมให้
LL	=	น้ำหนักบรรทุกจร
Mu	=	โมเมนต์ดัดประลัยสูงสุด
Mn	=	โมเมนต์ดัดที่ออกแบบ
$m = \frac{S}{L}$	=	อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวของแผ่นพื้น
MC	=	โมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้ วิธีหน่วยแรงใช้งาน
M'	=	โมเมนต์ส่วนเกิน
M	=	โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น
$N.A.$	=	แกนสะเทินในหน้าตัด
Pn	=	กำลังรับต้านทานแรงอัดสูงสุด
P	=	แรงอัดตามแนวแกน วิธีหน่วยแรงใช้งาน
ρ	=	อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดโครงสร้าง
Pc	=	น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้โดยคอนกรีต (kg)
Ps	=	น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้โดยเหล็กเสริม (kg)
ρ_{max}	=	ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุด

ρ_{min}	=	ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด
ρb	=	อัตราส่วนของเหล็กที่สภาวะสมดุล
rs	=	กำลังที่ต้องการออกแบบ
RB	=	เหล็กเสริมชนิดเส้นกลมผิวเรียบ
U	=	น้ำหนักบรรทุกประลัย
μ	=	หน่วยแรงยึดหน่วง
μa	=	หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้
Vc	=	แรงเฉือนประลัยที่เกิดขึ้น
Vu	=	แรงเฉือนประลัยที่หน้าตัดที่หน้าตัดวิกฤต
Vn	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
Vs	=	กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กปลอกหรือเหล็กเสริมทางขวาง
VC	=	แรงเฉือนที่เกิดที่คอนกรีตรับได้
v	=	หน่วยแรงเฉือนที่คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (กก./ซม^2)
vc	=	หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ที่คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (กก./ซม^2)
$\emptyset$	=	ตัวคูณลดค่า ขึ้นกับชิ้นส่วนโครงสร้าง
W	=	แรงลม
$\sum o$	=	ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมด (ซม.^{2})

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

การเริ่มงานก่อสร้างเป็นขบวนการที่มีความสำคัญ ซึ่งหมายถึง การเตรียมงานก่อสร้างอย่างมีระบบ ช่วยทำให้การก่อสร้างสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ดังคำที่ว่า เตรียมงานดีมีชัยไปกว่าครึ่ง นอกจากนี้การเตรียมงานทำให้ผู้รับเหมาก่อสร้างสามารถมองเห็นปัญหาและหาวิธีแก้ไขปัญหาก่อนลงมือทำการก่อสร้างได้ เช่น ปัญหาสัญญาและเอกสารสัญญา ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความสำคัญประการหนึ่ง เพราะงานก่อสร้างเป็นธุรกิจที่มีมูลค่าสูงและมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะเจ้าของโครงการ และผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งทั้งสองฝ่ายจะต้องมีความยุติธรรมต่อกัน ตามข้อตกลงที่ได้กำหนดกันขึ้น ที่ทำให้ทั้งสองฝ่ายเข้าใจตรงกัน และมีความต้องการที่ยึดถือปฏิบัติ สาระสำคัญดังกล่าวประกอบด้วย มูลค่างานก่อสร้าง ซึ่งเป็นค่าของงานที่ผู้ว่าจ้างตกลงกับผู้รับจ้าง ซึ่งรวมถึงค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อสร้าง ค่าดำเนินงาน ค่าภาษี โดยระบุเป็นราคาต่อหน่วยของงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและข้อตกลงที่ทั้งสองฝ่ายได้ทำต่อกัน คณะผู้ศึกษาได้เห็นชอบจะใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมในการออกแบบกราฟเปรียบเทียบราคางบประมาณการก่อสร้างเพื่อช่วยให้งานประมาณมูลค่างานก่อสร้างง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น

ด้วยข้อกำหนดของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร นิสิตที่จะสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีต้องทำโครงงาน คณะผู้ศึกษาได้แก่ นายวารินทร์ ตนพะยอม และนางสาวสุนีรัตน์ คงเนียม เห็นพ้องกันว่าจะทำโครงงานเพื่อประโยชน์ต่องานประมาณมูลค่างานก่อสร้าง โดยการทำโครงงานออกแบบการวิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุการก่อสร้างจึงได้ปรึกษา ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์ เพื่อศึกษาขั้นตอนและจัดทำแบบการวิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุการก่อสร้างดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนการออกแบบการประมาณราคากลางการก่อสร้าง

1.2.2 เพื่อออกแบบการวิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุการก่อสร้าง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้แบบการประมาณราคาวัสดุเสริมเหล็กอาจต่างกัน

1.3.2 ได้แบบการวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

1.3.3 เป็นกรณีศึกษาสำหรับนิสิตและผู้สนใจ เกี่ยวกับการกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 งานโครงสร้างก่อสร้าง อาคารเรียนรวม,โรงละคร(Phitsanulok) มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4.2 ราคาวัสดุก่อสร้าง ม.ค. 54 กระทรวงพาณิชย์

1.4.3 กำลังอัดประลัยคอนกรีต (fc')

1.4.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (SD40,SR24)

1.4.5 การวิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้างนี้ไม่นำเหล็กปลอกมาคำนวณ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 วางแผนโครงงานวิศวกรรม

1.5.2 รวบรวมข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์

1.5.3 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีต

1.5.4 วิเคราะห์ผลการศึกษาข้อมูล

1.5.5 พิมพ์รายงานและสรุปผลโครงงานวิศวกรรม

1.6 แผนการดำเนินงาน

เดือน / กิจกรรม	ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. วางแผนโครงการ																				
2. รวบรวมข้อมูลที่จะวิเคราะห์																				
3. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น																				
4. วิเคราะห์ผลการศึกษา																				
5. พิมพ์รายงานสรุปผลโครงงาน																				

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1. ค่าถ่ายเอกสาร	1,000	บาท
2. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	1,000	บาท
รวมเป็นเงิน	2,000	บาท (สองพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ : ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

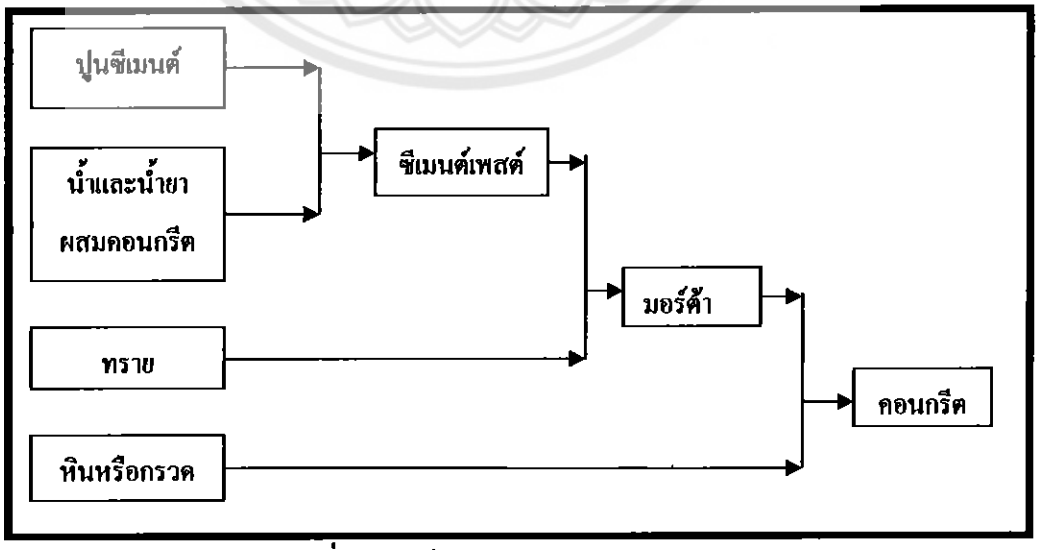
2.1 คอนกรีต

คอนกรีต (Concrete) คือวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม เช่น สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้ มีความคงทนสูง ไม่ติดไฟ สามารถเทหล่อได้ในสถานที่ก่อสร้าง ตกแต่งผิวให้สวยงามได้ และที่สำคัญ คือ มีราคาไม่แพง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับราคาเหล็กรูปพรรณ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และจะน้ำยาผสมคอนกรีตผสมกับวัสดุผสม อันได้แก่ ทราย หิน หรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการหลังจากนั้นก็แปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

2.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะ ดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ	เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)
ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย	เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)
มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด	เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

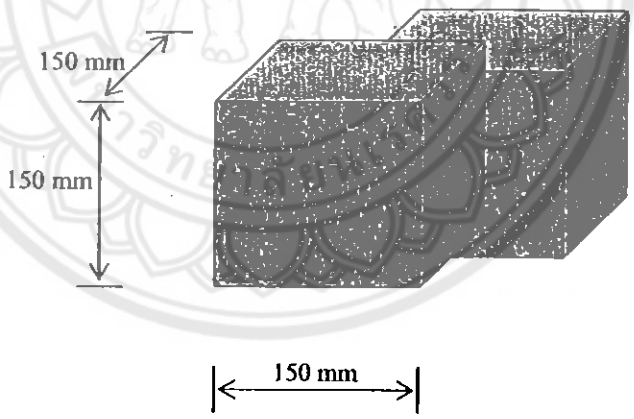


รูปที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต

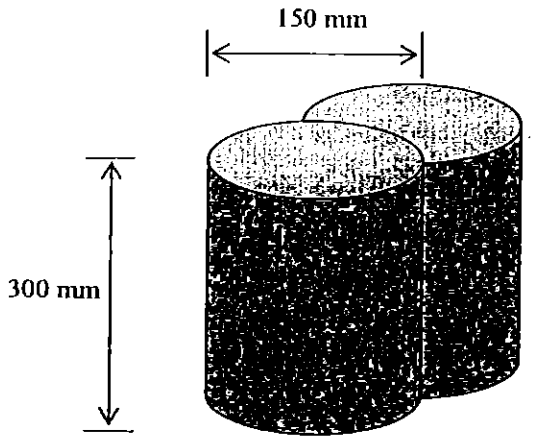
2.1.2 กำลังอัดของคอนกรีต (f_c')

กำลังอัดของคอนกรีตเป็นสมบัติความคงทนที่สำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกำลังอัดคอนกรีต เช่น อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(W/C) อายุของคอนกรีต ชนิดของปูนซีเมนต์ วิธีการบ่มและชนิดของมวลรวม เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจึงควรพิจารณาถึงกำลังรับแรงของคอนกรีตโดยเฉพาะกำลังอัดของคอนกรีต เนื่องจากต้องใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำ การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งปกติใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันของการบ่ม ด้วยการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C192 หรือทดสอบตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาดเท่ากับ 150 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ BS ส่วนกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ในรูปที่ 2.2 และ 2.3 เป็นตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ตามลำดับ

f_c' ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก = 0.833 f_c' ของตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ (2.1)



รูปที่ 2.2 แท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์



รูปที่ 2.3 แท่งคอนกรีตทรงกระบอก

2.1.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Ec)

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of elasticity : Ec) ของคอนกรีต เป็นอัตราส่วนของแรงอัดต่อหน่วยการหดตัว ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งพบว่ามีจุดพิจารณา 3 จุด ดังนี้

2.1.3.1 Initial Tangent Modulus เป็นความลาดเอียงของเส้นสัมผัสที่ลากจากจุดเริ่มต้นสัมผัสกับเส้นกราฟระหว่างหน่วยแรงอัดและการหดตัว ซึ่งแสดงไว้ในกราฟกำหนดเป็นจุดที่ 1

2.1.3.2 Secant Modulus เป็นความลาดเอียงของเส้นในกราฟที่เริ่มจากจุดเริ่มต้นสัมผัสกับเส้นกราฟ ณ จุดใด ๆ ที่ต้องการหา โดยทั่วไปแล้วมักพิจารณาที่จุดซึ่งมีแรงหน่วยอัดเท่ากับร้อยละ 40 หรือ 50 ของหน่วยแรงอัดสูงสุด (40 – 50 % ของ fc' หรือ 0.40 - 0.50 fc') ซึ่งแสดงไว้ในกราฟกำหนดเป็นจุดที่ 2

2.1.3.3 Tangent Modulus เป็นความลาดเอียงของเส้นตรงที่ลากจากจุดใด ๆ นอกเหนือจากจุดเริ่มต้นของกราฟ ซึ่งแสดงไว้ในกราฟกำหนดเป็นจุดที่ 3

มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) กำหนดให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Ec) ของคอนกรีตไว้และทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2.2

$$Ec = w^{1.5}4{,}270\sqrt{fc'} \qquad (2.2)$$

และเมื่อกำหนดให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 1,600 – 2,400 ตันต่อลูกบาศก์เมตร (w = 1,600 – 2,400 kg / m) จากนั้นสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.3

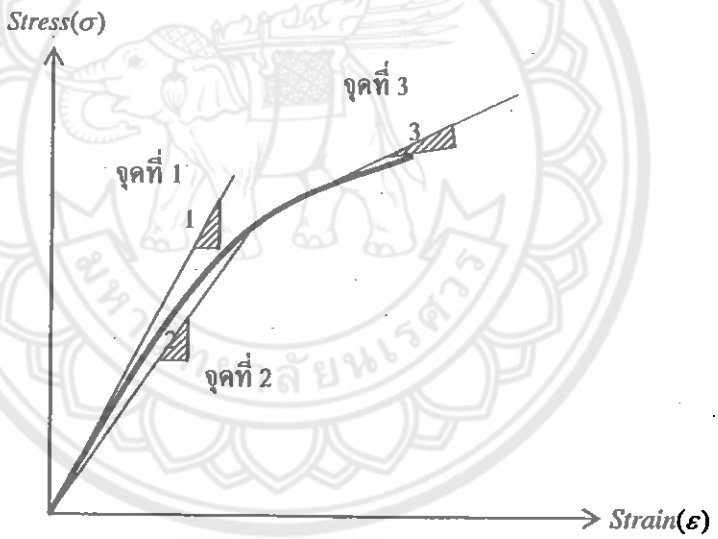
$$Ec = 15{,}210\sqrt{fc'} \qquad (2.3)$$

เมื่อกำหนดให้

Ec = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กก. / ซม^2)

w = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กก. / ซม^3)

Fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กก. / ซม^2)



รูปที่ 2.4 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

2.2 เหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นเหล็กกล้าละมุน หรือเรียกว่า Mild steel เหล็กเสริมคอนกรีตมีทั้งเหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบ (Round bars: RB) และเหล็กเส้นกลมแบบข้ออ้อย (Deformed bars: DB) ส่วนมาตรฐานที่ใช้ควบคุมคุณภาพเหล็กเส้นในประเทศไทย ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ส่วนลักษณะของเหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบ (Round

bars) มีผิวเรียบตลอดความยาว ส่วนลักษณะของเหล็กเส้นเส้นกลมแบบข้ออ้อย (Deformed bars) มีลักษณะเป็นปล้องครีบและเกลียวตลอดความยาวของเส้น มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 เหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบ (Round bars: RB)

เหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบเมื่อปรากฏอยู่ในแบบหรือรูปแบบรายการก่อสร้างมักใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรย่อภาษาอังกฤษว่า RB ซึ่งมาจาก Round bars ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) คือ SR24 ซึ่งหมายถึงมีค่ากำลังต้านทานแรงดึงจุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 2400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2:ksc) เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตชนิดนี้เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดเล็กหรือขนาดกลาง การกำหนดในแบบวิศวกรรมโครงสร้างมักใช้อักษรย่อ RB ตามด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น 4RB12 หมายถึงใช้เหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น และมักปรากฏในแบบขยายเสาหรือคาน เป็นต้น ส่วนในแบบวิศวกรรม หากเขียนเป็น St-RB6@0.15 m.หรือ ป-RB6@0.15 m. นั้น หมายถึงใช้เหล็กลูกตั้งเป็นเหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบรับแรงเฉือนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ระยะจัดเรียงห่างกันเท่ากับ 15 เซนติเมตร ตารางที่ 1 เป็นสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างเหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบบางส่วน

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเหล็กเส้นกลมแบบผิวเรียบ

ชนิด (สัญลักษณ์)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	เส้นรอบรูป (cm.)	พื้นที่หน้าตัด ($cm.^2$)
RB6	6	1.886	0.28
RB9	9	2.829	0.64
RB12	12	3.771	1.13
RB15	15	4.714	1.77
RB19	19	5.971	2.84
RB25	25	7.857	4.91

2.2.2 เหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อย (Deformed bars: DB)

เหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อยมีผิวเรียบโดยรอบความยาวเป็นปล้องหรือครีบเกลียว และมีปรากฏอยู่ในแบบหรือรูปแบบรายการก่อสร้างมักใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรย่อเป็นภาษาอังกฤษว่า DB ซึ่งย่อมาจาก Deformed bars และชั้นคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) กำหนดไว้ คือ SD30,SD40 และ SD50 ซึ่งหมายถึงมีค่ากำลังต้านทานแรงดึงจุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 3,000 4,000 และ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กม./ซม.2) เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตชนิดนี้เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ และเหล็กเส้นกลมแบบข้ออ้อยยังมีสมบัติการยึดเกาะได้ดีอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากมีผิวโดยรอบความยาวเป็นเป็นปล้องหรือครีบเกลียว ส่วนการกำหนดในแบบวิศวกรรมโครงสร้างมักใช้อักษรย่อ DB ตามด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น 4DB12 หมายถึงใช้เหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น ซึ่งมักปรากฏในแบบขยายเสาหรือคาน เป็นต้น ส่วนในกรณีที่เป็นคานหรือเสาที่มีความต้องการให้โครงสร้างต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษอาจเห็นปรากฏในแบบวิศวกรรมเป็น St- DB10 @ 0.15 m. หรือ ป- DB10 @ 0.15 m. ซึ่งหมายถึงใช้เหล็กลูกตั้งเป็นเหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อยรับแรงเฉือนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ระยะจัดเรียงห่างกันเท่ากับ 15 เซนติเมตร

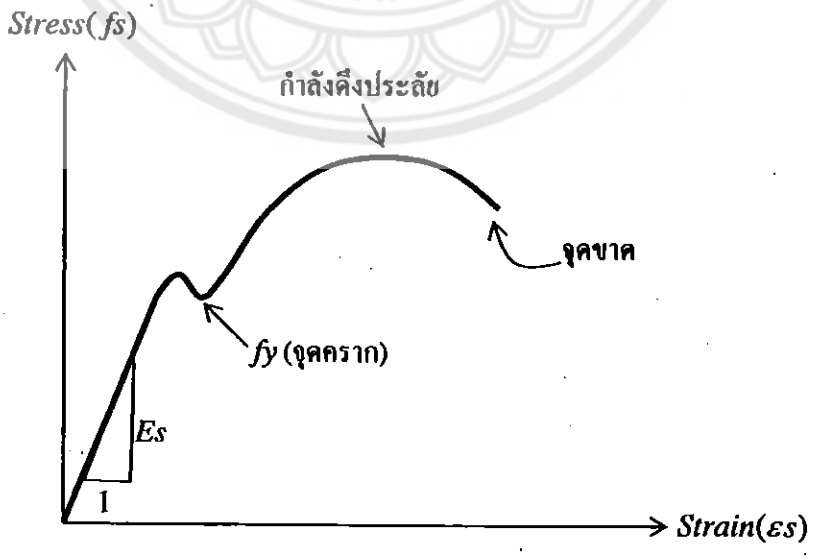
ตารางที่ 2.2 สมบัติของเหล็กเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อย

ชนิด (สัญลักษณ์)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	เส้นรอบรูป (cm.)	พื้นที่หน้าตัด (cm.^{2})
DB10	10	3.140	0.78
DB12	12	3.771	1.13
DB16	16	5.029	2.01
DB20	20	3.290	3.14
DB25	25	7.857	4.91
DB28	28	8.800	6.61
DB32	32	10.060	8.04

2.2.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (*Es*)

ในรูปที่ 2.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม ได้จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการในการหากำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเสริมในรูปที่ 2.5 พบว่าขณะหน่วยแรงดึงอยู่ในช่วงอีลาสติก (Elasticity) หน่วยแรงดึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริมซึ่งเป็นไปตามกฎหมายของฮุค (Hook's law) การยืดตัวของเหล็กในช่วงนี้ค่อนข้างน้อยและสามารถหดตัวกลับตามแนวเดิมได้หากเลิกดึง และเมื่อแรงดึงมากขึ้นจนกระทั่งหน่วยแรงที่เหล็กเริ่มดรากจะเป็นจุดสิ้นสุดของช่วงอีลาสติก และเรียกจุดนี้ว่า หน่วยแรงที่จุดดราก (Yield strength, *Fy*) จากนั้นเมื่อเหล็กเสริมรับแรงดึงจนกระทั่งถึงกำลังสูงสุด (Ultimate tensile strength) หน่วยแรงดึงจะค่อยๆ ลดลง และหน้าตัดเหล็กเสริมเริ่มเป็นคอดคอดเกิดขึ้นและเล็กลง ตามลำดับจนกระทั่งท้ายที่สุดเหล็กเสริมถูกดึงขาดออกจากกัน เรียกว่า หน่วยแรงดึงที่จุดขาดของเหล็กเสริม ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity: *Es*) ของเหล็กเสริม คือความชันของเส้นสัมผัสหรืออัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงดึงต่อหน่วยการยืดตัวในช่วงอีลาสติก โดยทั่วไปแล้วไม่ว่าจะเป็นเหล็กเส้นแบบผิวเรียบหรือข้ออ้อยในทุกชั้นคุณภาพ มีค่าเท่ากับตามสมการที่ 2.4

$$Es = 2.04 \times 10^{6} \quad \text{กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กก./ซม.}^{2}\text{)} \qquad (2.4)$$



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและการยืดตัว

2.3 น้ำหนักบรรทุก

ก่อนออกแบบหาขนาดรูปตัดของชิ้นส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น สิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณาคือการวิเคราะห์โครงสร้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักที่มากระทำ อาจกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์โครงสร้างมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการหาขนาดของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงแบกทานน้ำหนักหรือการบรรทุกน้ำหนักของโครงสร้างนั้นๆ เพื่อหาแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน แรงบิดและโมเมนต์ดัด ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบควรทราบ คือ เงื่อนไขของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างและต้องแม่นยำเพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในระยะยาวของโครงสร้างที่ออกแบบสำหรับน้ำนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างและต้องแม่นยำ

2.3.1 น้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างแบบครั้งคราว เคลื่อนที่ได้และยังสามารถเปลี่ยนแปลงค่าขนาดน้ำหนักได้ตลอดเวลา น้ำหนักดังกล่าวมีหลายชนิด เช่น น้ำหนักตัวผู้พักอาศัย สิ่งของ เครื่องใช้ รถยนต์ เป็นต้น โดยน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวเป็นน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ในตารางที่ 2.3 เป็นตัวอย่างน้ำหนักบรรทุกสำหรับใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างเสริมเหล็ก นอกจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในแนวดิ่งแล้วยังมีแรงกระทำต่อโครงสร้างแนวระนาบหรือด้านข้างของอาคาร เช่น แรงลม แรงสั่นจากแผ่นดินไหว ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 น้ำหนักบรรทุกจรตาม พรบ.กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522

ชนิดอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจร(กก./ม.^{2})
1. หลังคา	50
2. กันสาด หลังคาคอนกรีต (ดาดฟ้า)	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4. อาคาร หอพัก โรงแรม	200
5. สำนักงาน ธนาคาร	250

ชนิดอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจร
6. อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงเรียน ห้องโถง บันได ทางเดินอาคารชุด หอพัก โรงแรม ตลอดทั้งโรงพยาบาล สำนักงาน ธนาคาร ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร	300
7. ที่จอดรถ ที่เก็บรถยนต์นั่ง ห้องโถง บันได ทางเดินอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม	400
8. โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ ห้องโถง บันได ทางเดิน ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร หอสมุด	500
9. ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600
10. ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่น ๆ	800

ตารางที่ 2.4 แรงลมสำหรับออกแบบอาคาร

ขนาดความสูงอาคาร	น้ำหนักบรรทุกจร (กก./ม.^{2})
1. อาคารสูงไม่เกิน 10 เมตร	50
2. อาคารสูงไม่เกิน 10 – 20 เมตร	80
3. อาคารสูงไม่เกิน 20 – 40 เมตร	120
4. อาคารสูงเกิน 40 เมตร	160

2.3.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) หมายถึง น้ำหนักที่มีตำแหน่งกระทำคงที่ถาวร และไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของน้ำหนัก เป็นน้ำหนักของ โครงสร้างหรือชิ้นส่วนอาคารเอง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากหน่วยน้ำหนักของวัสดุประกอบ โครงสร้างคูณด้วยปริมาตรของชิ้นส่วนอาคารนั้นๆ น้ำหนักบรรทุกคงที่ดังกล่าว เช่น พื้นคอนกรีต เสาคอนกรีต และคานคอนกรีต

ตารางที่ 2.5 และ 2.6 เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้คำนวณที่มีต่อหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กก./ม.^{3}) และหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร (กก./ม.^{2}) ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักบรรทุกคงที่หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ขนาดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกคงที่ (กก./ม.^{3})
1. คอนกรีตเสริมเหล็ก	1,600 – 2,400
2. เหล็ก	7,850
3. ไม้	800 – 900
4. อิฐ	1,900

ตารางที่ 2.6 น้ำหนักบรรทุกคงที่หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร (กก./ม.^{2})

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกคงที่ (กก./ม.^{2})
1. กระเบื้องลอนคู่	15
2. กระเบื้องเคลือบ	50
3. แป้ไม้	5
4. แป้เหล็ก	5-15
5. ก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น	180
6. ก่ออิฐบล็อกเต็มแผ่น	360
7. ก่ออิฐบล็อกครึ่งแผ่น	120
8. ก่ออิฐบล็อกเต็มแผ่น	220
9. ฝ้าเพดาน	14 – 26

2.4 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำวิธีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานเป็นวิธีการออกแบบวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากออกแบบได้ง่าย การออกแบบวิธีนี้อาศัยหลักการของทฤษฎีเส้นตรง (Straight line theory) โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นของการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ดังนี้

1. ทั้งก่อนและหลังรับแรงดัด ระนาบรูปตัดยังคงเป็นระนาบ กล่าวคือการกระจายของหน่วยการยืด-หดตัวบนหน้าตัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแกนสะเทิน (N.A.)

2. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตใต้แนวสะเทิน

3. หน่วยแรงกับหน่วยแรงการยืด-หดตัวของวัสดุคอนกรีตและเหล็ก มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรง

4. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $Ec = 15{,}210\sqrt{fc'}$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กก./ซม^2)

หลักเกณฑ์การออกแบบด้วยวิธีวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working design method: WDM)

ทฤษฎีอีลาสติก (Elastic theory) สมมติให้การกระจายของหน่วยแรงบนรูปตัดของส่วนโครงสร้างเป็นเส้นตรงและมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดหรือหดตัวของวัสดุนั้น โดยมีหลักเกณฑ์ว่า หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (Working stress : fw) บนรูปหน้าตัดโครงสร้างมีค่าไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ใช้งานที่ยอมให้ (Allowable stress : fa) และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$fw \leq fa \tag{2.5}$$

เมื่อกำหนดให้

fw = หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (Working stress)

fa = หน่วยแรงที่ใช้งานที่ยอมให้ (Allowable stress)

ส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตประกอบด้วยกรณีสำคัญ 4 กรณี ดังต่อไปนี้

2.4.1 หน่วยแรงดัด (Flexure)

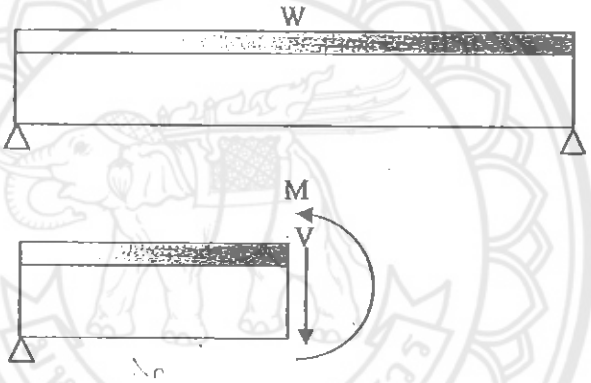
แรงดัด (Flexure) จะเกิดขึ้นในชิ้นส่วนของอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น คาน และพื้น บทนี้กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working design method: WDM) พฤติกรรมการดัดสามารถอธิบายด้วยคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ

2.4.1.1 คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง (Singly reinforcement beam)

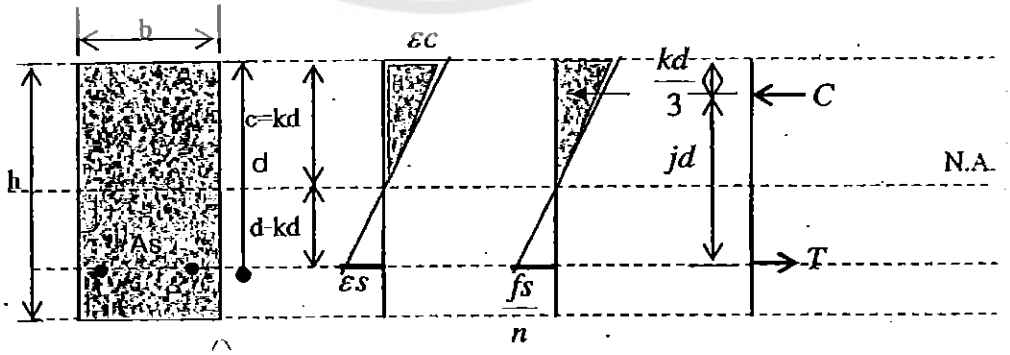
2.4.1.2 คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly reinforcement beam)

คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง (Singly reinforcement beam)

ในรูปที่ 2.6 เมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีน้ำหนักกระทำดังรูป เกิดการดัดภายในโครงสร้าง กล่าวคือเกิดโมเมนต์ดัดขึ้นในคานดังกล่าว เมื่อนำมาเขียนรูปขยายเพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมภายในโครงสร้างดังกล่าว ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดกว้างเท่ากับ b และลึกเท่ากับ h มีเหล็กเสริมรับแรงดึงอยู่ด้านล่างเป็น As จากนั้นมาเขียนรูปไดอะแกรมของความเครียด (Strain diagram) ในรูปแบบของ εc และ εs มีระยะจากแกนสะเทิน (Neural axis: N.A.) เท่ากับ kd และ $d - kd$ จากนั้นจึงนำมาเขียนรูปเพื่อศึกษาพฤติกรรมเป็นความเค้น (Stress diagram) ต่อไป



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับน้ำหนักกระทำ



รูปที่ 2.7 รูปหน้าตัด ไดอะแกรมของความเครียดและความเค้นของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เนื่องจากหน่วยแรงกับการยืดตัวบนหน้าตัดคานเป็นสัดส่วนโดยตรงและถือว่าเป็นเส้นตรง ดังนั้นที่ตำแหน่งของเหล็กเสริมสามารถเขียนได้ ดังสมการที่

$$\varepsilon s = \varepsilon c \tag{2.6}$$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.8 ในรูปไดอะแกรมของความเครียด (Strain diagram) สรุปได้ดังสมการ

$$fc = \frac{fs}{n} \tag{2.7}$$

หรือสามารถเขียนใหม่ได้ ดังสมการ

$$fs = nfc \tag{2.8}$$

จากสมการพบว่าเหล็กเสริมสามารถรับแรงดึงได้มากกว่าคอนกรีตประมาณ n เท่าของคอนกรีต และหากพิจารณาตามกฎของฮุค (Hook's law) จะได้ดังสมการที่ (2.9)

$$fs = \varepsilon s \times Es; fc = \varepsilon c \times Ec \tag{2.9}$$

จากสมการที่ (139) สามารถเขียนใหม่ได้ในสมการที่ (2.10)

$$\varepsilon s = \frac{fs}{Es} \; ; \; \varepsilon c = \frac{fc}{Ec} \tag{2.10}$$

นำสมการที่ (2.10) แทนที่ในสมการที่ (2.6) จะได้ดังสมการที่ (2.11)

$$\frac{fs}{Es} = \frac{fc}{Ec} \tag{2.11}$$

หรือ

$$fs = \frac{Es}{Ec} fc \tag{2.12}$$

ซึ่งเป็นสมการเดียวกับสมการที่ (2.6) โดยที่ $n = \frac{Es}{Ec}$

$$fs = nfc \tag{2.13}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.12) พบว่า สอดคล้องกับสมการที่ (2.13) และสามารถแสดงได้ในสมการที่ (2.14) เรียกว่าอัตราส่วนโมดูลัส (Modulus ratio)

$$n = \frac{Es}{Ec} \tag{2.14}$$

จากรูปที่ 2.8 พิจารณาเป็นรูปสามเหลี่ยมคล้ายพบว่าสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.15-2.16)

$$\frac{\varepsilon c}{kd} = \frac{\varepsilon s}{d-kd} \tag{2.15}$$

$$\frac{\varepsilon c}{\varepsilon s} = \frac{kd}{d-kd} \tag{2.16}$$

นำสมการที่ (2.10) แทนที่ในสมการที่ (2.16)

$$\frac{fc}{Es} \cdot \frac{Es}{fs} = \frac{kd}{d-kd} \tag{2.17}$$

นำสมการที่ (2.12) แทนที่ในสมการที่ (2.17) ได้เป็นสมการที่ (2.18)

$$n\frac{fc}{fs} = \frac{kd}{d-kd} \tag{2.18}$$

หรืออาจแสดงเป็นสมการที่ (2.19) ดังนี้

$$fs = \frac{1-k}{k} nfc \tag{2.19}$$

ดังนั้นสามารถหาค่าของ k ได้ดังนี้

$$k = \frac{1}{1+\frac{fs}{nfc}} \tag{2.20}$$

จากรูปที่ 2.8 พบว่า $jd = d - \frac{kd}{3}$ จากรูปไดอะแกรมของความเครียด (Strain diagram) ในรูปแบบชอง εc และ εs ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า j ได้ดังนี้

$$j = \frac{1}{d}\left(d - \frac{kd}{3}\right)$$

หรือเขียนใหม่ได้ ดังสมการที่ (2.21)

$$j = 1 - \frac{k}{3} \tag{2.21}$$

จากรูปที่ 2.8 พิจารณาความเค้น (Stress diagram) ในรูปแบบของ fc และ fs พบว่ามีค่าแรงเกิดขึ้นวนส่วนบนของคานซึ่งเป็นแรงอัดมีค่าเท่ากับ C ดังสมการที่ (2.22)

$$C = \frac{1}{2} \cdot fc \cdot b \cdot kd \tag{2.22}$$

จากนั้นคำนวณโมเมนต์จากแรงอัดในคอนกรีตได้ว่า

$$MC = \frac{1}{2} \cdot fc \cdot b \cdot kd \cdot j \cdot d$$

$$MC = \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot b \cdot kd^2$$

เมื่อกำหนดให้ $R = \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$MC = R \cdot b \cdot d^2 \tag{2.23}$$

จากรูปที่ 2.8 พิจารณาความเค้น (Stress diagram) ในรูปแบบของ fc และ fs พบว่ามีค่าแรงเกิดขึ้นในส่วนล่างของคานซึ่งเป็นแรงดึงมีค่าเท่ากับ T ดังสมการที่ (2.24)

$$T = As \cdot fs \tag{2.24}$$

จากนั้นคำนวณโมเมนต์จากแรงดึงในเหล็กเสริมได้ว่า

$$AS = AS \cdot fs \cdot j \cdot d$$

$$As = \frac{M}{fs \cdot j \cdot d} \tag{2.25}$$

เมื่อกำหนดให้

AS = ปริมาณเหล็กเสริม (พื้นที่หน้าตัด)

M = โมเมนต์ดัดสูงสุด

ในสมการที่ (2.25) เป็นการคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เกิดขึ้นในกรณีที่โมเมนต์ที่เกิดขึ้น (M) มีค่าน้อยกว่าโมเมนต์ต้านทานของคอนกรีต $(MC$ หรือ $MR)$ ดังแสดงในสมการที่ (2.26)

$$M < MC \text{ หรือ } M < MR \tag{2.26}$$

เมื่อกำหนดให้

M = โมเมนต์ดัดสูงสุด

MC = โมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้ หรือ เขียนเป็น MR

คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Doubly reinforcement beam)

เป็นที่ทราบดีว่าคานเป็นองค์อาคารในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำหน้าที่ในการยึดรั้งหัวเสาและรับน้ำหนักบรรทุกจากผนัง และพื้น เป็นต้น คานถูกกำหนดขึ้นด้วยการพิจารณาจากแปลนพื้นในแบบสถาปัตยกรรม ส่วนใหญ่มักกำหนดในบริเวณที่มีผนังอาคาน คานส่วนมากเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรืออาจเป็นรูปทรงอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานสถาปัตยกรรม และความเหมาะสมของงาน เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกและเกิดโมเมนต์สูงสุด (M) มากกว่าโมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้ $(MC$ หรือ $MR)$ ดังสมการที่ (2.27) ต้องออกแบบให้คานคอนกรีตมีเหล็กเสริมรับแรงอัดด้วยโดยการคำนวณหาค่าโมเมนต์ส่วนเกิน (M') และนำไปหาปริมาณเหล็กเสริมสำหรับรับแรงอัดต่อไปดังแสดงในสมการที่ (2.28) รายละเอียดการวิเคราะห์สามารถพิจารณาโดยใช้รูปที่ 2.8

$$M > MC \text{ หรือ } M > MR \tag{2.27}$$

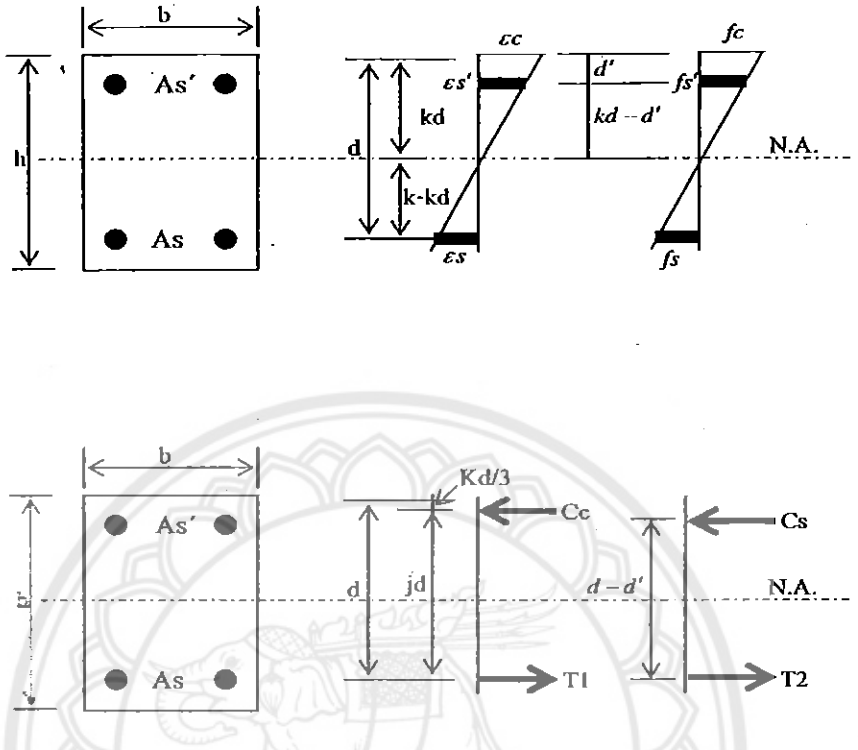
$$M' = M - MC \text{ หรือ } M' = M - MR \tag{2.28}$$

เมื่อกำหนดให้

M = โมเมนต์ดัดสูงสุด

MC = MR = โมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้ หรือ (หนังสือเล่มนี้ใช้ $MR = MC$)

M' = โมเมนต์ส่วนเกิน



รูปที่ 2.8 การกระจายความเค้นและความเครียดในคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

จากรูปที่ 2.8 สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ในทฤษฎีอีลาสติกและได้ว่า

$$\varepsilon c = \frac{fc}{Ec} \qquad (2.29)$$

$$\varepsilon s = \frac{fs}{Es} \qquad (2.30)$$

$$\varepsilon s' = \frac{fs'}{Es} \qquad (2.31)$$

ในรูปไดอะแกรมของความเครียด (*Strain diagram*) พิจารณาเป็นรูปสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่า

$$\frac{\varepsilon c}{kd} = \frac{\varepsilon s}{d-kd} \qquad (2.32)$$

และสามารถพิจารณาได้อีกว่า

$$\frac{\varepsilon c}{kd} = \frac{\varepsilon s'}{kd - d'} \tag{2.33}$$

นำสมการที่ (2.29) และ (2.30) แทนในสมการที่ (2.31) จากนั้นจะได้ว่า

$$fs = \frac{Es}{Ec} \cdot fc \cdot \frac{d-kd}{kd} \tag{2.34}$$

และเขียนใหม่ได้ว่า

$$fs = n \cdot fc \cdot \frac{d-kd}{kd} \tag{2.35}$$

จากนั้นนำสมการที่ (2.31) แทนที่ในสมการที่ (2.33) จะได้ว่า

$$\frac{\varepsilon c}{kd} = \frac{fs'}{Es(kd-d')} \tag{2.36}$$

$$\frac{fs'}{Es(kd-d')} = \frac{fs}{Es(d-kd)} \tag{2.37}$$

$$fs' = fs \frac{kd-d'}{d-kd} \tag{2.38}$$

$$fs' = fs \frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k} \tag{2.39}$$

โดยที่ Semi-elastic code กำหนดให้หน่วยแรงอัดที่ใช้คำนวณเป็น 2 เท่าของทฤษฎีอีลาสติก ดังนั้น จะได้ว่า

$$fs = 2fs \cdot \frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k} \tag{2.40}$$

จากรูปที่ 11 พบว่า $Cs = T2$ หรือเขียนลักษณะแทนค่า ได้ว่า

$$As' \times fs' = Asc \times fs \tag{2.41}$$

นำสมการที่ (2.39) แทนที่ในสมการที่ (2.40) จะได้ว่า

$$As' \cdot 2fs \cdot \frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k} = Asc \times fs$$

$$As' = \frac{Asc}{2} \frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}$$

นำสมการที่ (2.35) แทนที่ในสมการที่ (2.40) จะได้ว่า

$$fs' = 2 \cdot n \cdot fc \cdot \frac{d-kd}{kd} \cdot \frac{kd-d'}{d-kd}$$

$$fs' = 2 \cdot n \cdot fc \cdot \frac{kd-d'}{kd} \qquad (2.42)$$

โดยที่ $\rho = \frac{As}{bd}$ และ $\rho' = \frac{As'}{bd}$

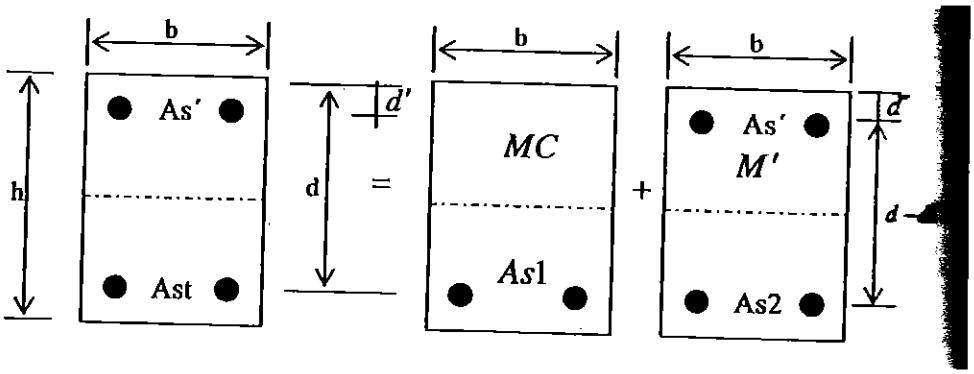
จากรูปที่ 2.8 พบว่า $Cc + Cs = T1 + T2$ และสามารถเขียนได้ว่า

$$\frac{1}{2} \cdot fc \cdot b \cdot k \cdot d + As'fs' = Asc \cdot fs + As \cdot fs = Ast \cdot fs \qquad (2.43)$$

จากนั้นนำสมการที่ (2.44) และ (2.41) แทนที่ในสมการที่ (2.42) จะได้ว่า

$$k = \sqrt{2n\left(\rho + \frac{2\rho' d'}{d}\right) + n^2(\rho + 2\rho')^2} - n(\rho + 2\rho') \qquad (2.44)$$

เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกและเกิดโมเมนต์สูงสุด (M) มากกว่าโมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้ (MC) ดังสมการที่ (2.27) ต้องออกแบบให้คอนกรีตมีเหล็กเสริมรับแรงอัดด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การจัดโมเมนต์เพื่อการออกแบบ

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา พบว่าโมเมนต์เนื่องจากคอนกรีต ได้ดังสมการที่ (2.23) คือ $MC = R \cdot b \cdot d^2$ และเมื่อพิจารณารวมระหว่างรูปที่ 2.8 และ 2.9 สามารถเขียนสมการ ได้ว่า

$$As1 = \frac{MC}{fs \cdot j \cdot d} \tag{2.45}$$

เมื่อ$M > MC$ และคำนวณโมเมนต์ส่วนเกินจะได้ว่า $M' = M - MC$ ดังแสดงไว้ในสมการที่ (2.28) และสามารถคำนวณปริมาณเหล็กเสริม ได้ว่า

$$As2 = \frac{M'}{fs(d-d')} \tag{2.46}$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมดได้ดังนี้

$$Ast = As1 + As2 \tag{2.47}$$

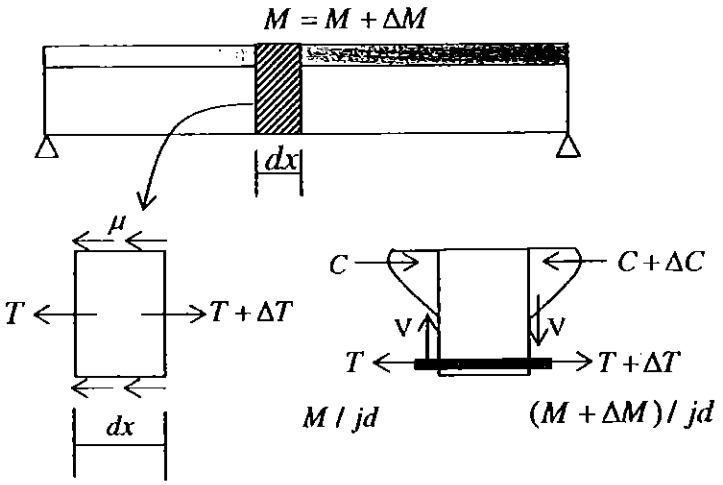
ส่วนเหล็กรับแรงอัดสามารถคำนวณได้ว่า

$$As = \frac{1}{2} As2 \left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right] \tag{2.48}$$

2.4.2 แรงยึดหน่วง (Bond)

ปกติแล้วโครงสร้างหรือชิ้นส่วนอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้องการให้มีการยึดหน่วงกันระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยทั่วไปการเสริมเหล็กมักงอปลายของเหล็กเสริม สำหรับการถ่ายแรง หรืออาจเป็นการต่อทาบด้วยการเชื่อมแบบต่างๆ เป็นต้น สำหรับการออกแบบตามแนวยาวในคาน และเหล็กเสริมตามขวาง เพื่อให้ได้รับแรงดัดและแรงเฉือนได้ การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อชิ้นส่วนอาคารรับน้ำหนักบรรทุกเหล็กเสริมจะไม่หลุดล่อนออกจากคอนกรีต นั่นเป็นเพราะได้รับการออกแบบการยึดเหนี่ยวหรือยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนในรูปที่ 2.10 อธิบายพฤติกรรมของการยึดหน่วง

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 2.10 หน่วยแรงยึดหน่วง

จากรูปที่ 2.10 พบว่า

$$(T + \Delta T) - T = \mu \sum 0 \cdot \Delta l \qquad (2.49)$$

$$\Delta T \cdot jd = V \cdot \Delta l \qquad (2.50)$$

$$T + \Delta T - T = \mu \cdot \sum 0 \cdot \Delta l \qquad (2.51)$$

$$\Delta T = \mu \sum 0 \cdot \Delta l \qquad (2.52)$$

นำสมการที่ (2.53) แทนในสมการที่ (2.52)

$$\mu \cdot \sum 0 \cdot \Delta l \cdot jd = V \cdot \Delta T \qquad (2.53)$$

ดังนั้นจะได้หน่วยแรงการยึดหน่วง ดังนี้

$$\mu = \frac{V \cdot \Delta l}{\sum 0 \cdot \Delta l \cdot jd} = \frac{V}{\sum 0 \cdot jd} \qquad (2.54)$$

เมื่อกำหนดให้

μ = หน่วยแรงยึดหน่วง (กก./ซม^2)

$\sum 0$ = ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมด (ซม.)

V = แรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น (กก.)

16557069
2/5.
2 4837
2553

การยึดหน่วงที่ยอมให้

มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดค่าหน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ ดังนี้

1. กรณีที่เป็นเหล็กเสริมเส้นกลมแบบผิวเรียบ:

$$\mu a = \frac{1.145\sqrt{fc'}}{D} \leq 11 \text{เหล็กกบน} \quad (2.55)$$

$$\mu a = \frac{1.615\sqrt{fc'}}{D} \leq 11 \text{เหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน} \quad (2.56)$$

2. กรณีที่เป็นเหล็กเสริมเส้นกลมแบบผิวข้ออ้อย:

$$\mu a = \frac{2.29\sqrt{fc'}}{D} \leq 25 \text{เหล็กกบน} \quad (2.57)$$

$$\mu a = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{D} \leq 35 \text{เหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน} \quad (2.58)$$

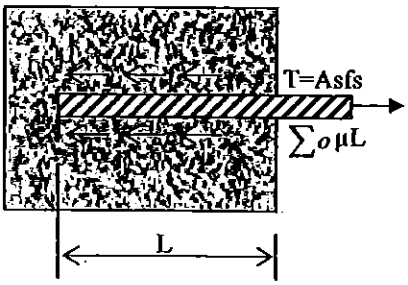
เมื่อกำหนดให้

μa = หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ (กก./ซม^2)

fc' = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต (กก./ซม^2)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (ซม.)

อย่างไรก็ตาม เมื่อออกแบบหรือคำนวณให้แรงยึดหน่วงเพียงพอแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกอย่างหนึ่งคือ ความยาวหรือระยะยึดหน่วง (L) ที่ต้องเพียงพอสำหรับแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระยะยึดหน่วง (L)

ในรูปที่ 2.11 พบว่า

$$\sum 0 \cdot \mu \cdot L = As \cdot fs \qquad (2.59)$$

$$L = \frac{As \cdot fs}{\sum o \cdot \mu} \qquad (2.60)$$

เมื่อกำหนดให้

As = เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม หรือ $As = \frac{\pi D^2}{4}$

$\sum 0$ = เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม

$\sum 0 = 2\pi r = \pi D$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$L = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{fs}{\mu} = \frac{D \cdot fs}{4\mu} \qquad (2.61)$$

เมื่อกำหนดให้

L = ระยะยึดหน่วง (ซม.)

fs = กำลังดึงของเหล็กเสริม (กก./ซม^2)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม (ซม.)

μ = แรงยึดหน่วง (กก./ซม^2)

2.4.3 หน่วยแรงเฉือน (Shearing)

แรงเฉือนในคอนกรีต (วิธีหน่วยแรงใช้งาน) ในคานคอนกรีตเสริมเหล็กนอกจากการเสริมเหล็กในแนวตามยาวคานตลอดแล้ว ยังต้องมีการออกแบบให้มีความปลอดภัยและเพียงพอต่อการพฤติกรรมการเฉือน กล่าวคือต้องออกแบบเหล็กตามขวางหรือเหล็กลูกตั้ง โดยอาศัยทำหน้าที่รัดรอบเหล็กแกนให้ได้รูปร่างที่ต้องการ และหน้าที่สำคัญของเหล็กลูกตั้งคือมีไว้เพื่อแรงเฉือน โดยเฉพาะในกรณีที่แรงเฉือนมีค่าเกินขนาดที่กำหนดไว้ หรือเกินกว่าที่คอนกรีตจะรับได้ ทั้งนี้เพื่อให้คานวิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดัดก่อนที่จะวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนเมื่อแรงเฉือนเกิดขึ้นในคานเกินค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต จะเกิดแรงเฉือนส่วนเกินขึ้นมา ซึ่งสามารถหาค่าแรงเฉือนส่วนที่เกินมา

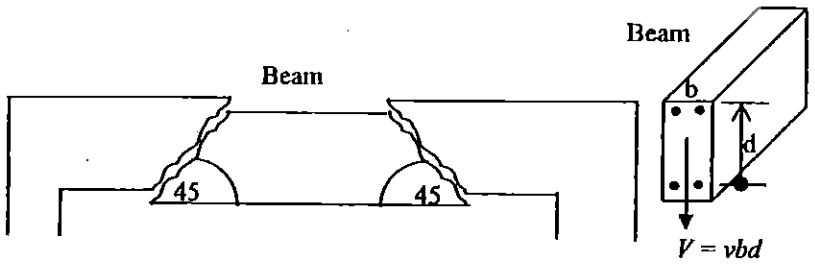
$$V' = V - VC \qquad (2.62)$$

เมื่อกำหนดให้

V' = แรงเฉือนส่วนที่เกิน (กก.)

V = แรงเฉือนที่เกิดขึ้น (กก.)

VC = แรงเฉือนที่เกิดที่คอนกรีตรับได้ (กก.)



รูปที่ 2.12 การหาแรงเฉือนของคาน

ในรูปที่ 2.12 พบว่าเมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกแล้วคานเกิดการร้าวหรือขาดในแนวดึงทแยง อย่างไรก็ตามการหาหน่วยแรงเฉือนจากหน้าตัดสามารถหาจากหน้าตัดคานตรงๆ (รูปที่ 2.12) ดังแสดงในสมการที่ (2.63) หรือ (2.64) หน่วยแรงเฉือน (v) จะต้องไม่เกิน $1.32\sqrt{fc'}$ กก./ซม.^{2}

$$v = \frac{V}{bd} \tag{2.63}$$

$$V = v \cdot b \cdot d \tag{2.64}$$

ส่วนค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (vc) สำหรับคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริม ให้ใช้ตามสมการที่ (2.64) และ (2.65)

$$vc = 0.29\sqrt{fc'} \tag{2.65}$$

$$VC = v \cdot b \cdot d \tag{2.66}$$

เมื่อกำหนดให้

v = หน่วยแรงเฉือนที่คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (กก./ซม.^{2})

vc = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ที่คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (กก./ซม.^{2})

V = แรงเฉือนที่เกิดขึ้น (กก.)

VC = แรงเฉือนที่คานคอนกรีต (ซม.)

b = ความกว้างของคาน (ซม.)

d = ความลึกประสิทธิผล (ซม.)

fc' = กำลังอัดคอนกรีต (กม./ซม.^{2})

แรงเฉือนในเหล็กเสริม

เมื่อต้องการเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องเสริมตามแนวทแยงเพื่อรับกับแนวขาดเนื่องจากแรงเฉือน ดังรูปที่ 2.13 อย่างไรก็ตามหากเสริมเหล็กตามในทิศทางดังกล่าว

ในทางปฏิบัตินั้นทำงานได้ยาก จึงนิยมวางเหล็กเสริมรับแรงเฉือนหรือเหล็กลูกตั้งแนวตั้งฉากกับแนวราบ

ในรูปที่ 2.13 การเสริมเหล็กลูกตั้งนั้นทำโดยให้มีระยะห่างกันเท่ากับ s แรงดึง T เป็นแรงดึงทแยงทำมุม 45 องศา ส่วน t เป็นแรงดึงในเหล็กลูกตั้ง และสามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$T = t\cos(45° - \alpha) \tag{2.67}$$

$$T = t(cos45°cos\,\alpha + sin45° \cdot sin\,\alpha) \tag{2.68}$$

$$T = \frac{t}{\sqrt{2}}(cos\,\alpha + sin\,\alpha) \tag{2.69}$$

โดยที่

$$T = Av \cdot fv \tag{2.70}$$

เมื่อกำหนดให้

$Av =$ เป็นพื้นที่หน้าตัดเหล็กลูกตั้ง คิด 2 ขา = $2As$

$fs =$ หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมหรือเหล็กลูกตั้ง = fv

ในรูปที่ 2.13 เมื่อให้คานมีขนาดกว้าง b เสริมเหล็กในระยะ s หรือเป็นด้านตรงข้ามมุมฉาก และพบว่า $H = v' \cdot b \cdot s$ และพิจารณาแรงในแนวแกนราบ จะได้ว่า

$$T = H \cdot cos45° \tag{2.71}$$

หรือ

$$T = v' \cdot b \cdot s\,cos45° \tag{2.72}$$

เมื่อกำหนดให้ v' เป็นหน่วยแรงเฉือนส่วนเกิน ซึ่งเขียนได้ว่า

$$v' = \frac{V_I}{bd} \tag{2.73}$$

นำสมการที่ (2.73) แทนที่ในสมการที่ (2.72) จะได้ว่า

$$T = \frac{V_I}{bd} \cdot b \cdot s\, cos45° = \frac{V_I}{d} \cdot s \cdot cos45° = \frac{V_I}{d\sqrt{2}} \qquad (2.74)$$

จากสมการที่ (2.68) ที่ว่า $T = \frac{t}{\sqrt{2}}(\cos\alpha + \sin\alpha)$ จากนั้นนำค่า Tและt แทนที่จะได้ว่า $T = \frac{t}{\sqrt{2}}(\cos\alpha + \sin\alpha)\frac{A_V \cdot f_V}{\sqrt{2}}(\cos\alpha + \sin\alpha)$ หรือเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{V_I s}{d\sqrt{2}} = \frac{A_V \cdot f_V}{\sqrt{2}}(\cos\alpha + \sin\alpha)$$

คำนวณค่า S ได้ดังนี้

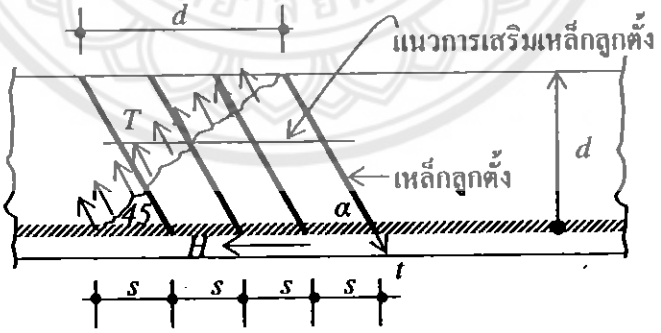
$$S = \frac{A_V \cdot f_V \cdot d(\cos\alpha + \sin\alpha)}{V_I} \qquad (2.75)$$

เหล็กลูกตั้งโดยทั่วไปเสริมในแนวตั้งฉากกับแนวราบ หรือทำมุม $\alpha = 90$ องศา จากนั้นนำไปแทนที่ในสมการที่ (2.75) จะได้ว่า

$$S = \frac{A_V \cdot f_V \cdot d}{V_I} \qquad (2.76)$$

หรือ

$$V' = \frac{A_V \cdot f_V \cdot d}{s} \qquad (2.77)$$



รูปที่ 2.13 พฤติกรรมรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4.4 หน่วยแรงแบกทาน (Bearing)

มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือ มาตรฐานของ ว.ส.ท. ได้แบ่งชนิดของหน่วยแรงแบกทานไว้เป็น 2 ชนิด ดังแสดงในสมการที่แสดงไว้ด้านล่าง

1. กรณีรับเต็มเนื้อที่ (Br)

$$Br = 0.29\sqrt{fc'}$$

2. กรณีรับหนึ่งในสามของเนื้อที่หรือน้อยกว่า (Br)

$$Br = 0.53\sqrt{fc'}$$

เมื่อกำหนดให้

fc = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (กก. / ซม.^{2})

vc = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (กก. / ซม.^{2})

Br = หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ (กก. / ซม.^{2})

fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (กก. / ซม.^{2})

2.4.5 หน่วยแรงบิด (Torsion)

หน่วยแรงบิดสูงสุด

$$vt = \frac{35MT}{\sum x^2 y}$$

เมื่อกำหนดให้

MT = โมเมนต์บิด

vt = หน่วยแรงบิด

x, y = เป็นด้านสั้นและด้านยาว ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.5 การออกแบบพื้น

การออกแบบพื้นที่เสริมเหล็กทางเดียว การตรวจสอบว่าพื้นที่ออกแบบ เป็นพื้นที่เสริมเหล็กทางเดียวหรือพื้นที่เสริมเหล็กสองทางกระทำเหมือนวิธีการออกแบบ ด้วยวิธีกำลัง กล่าวคือใช้ระยะด้านสั้นหารด้วยระยะของด้านยาวหากพบว่ามีค่ามากกกว่า 0.05 พิจารณาเป็นพื้นที่เสริมเหล็กสองทาง แต่ถ้าอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวของพื้นมีค่าน้อยกว่า 0.50 พิจารณาเป็นพื้นเสริมเหล็กทางเดียว ส่วนระยะห่างของเหล็กเสริมในพื้นใช้ไม่เกิน 3 เท่าของความหนาแผ่นพื้น อย่างไรก็ตาม หากอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านสั้นต่อด้านยาวของพื้นมีค่าเท่ากับ 0.50 พอดี อาจออกแบบให้เป็นพื้นเสริมเหล็กทางเดียวหรือพื้นเสริมเหล็กสองทางก็ได้

$m = \frac{S}{L} < 0.5$ เป็นพื้นเสริมเหล็กทางเดียว

$m = \frac{S}{L} > 0.5$ เป็นพื้นเสริมเหล็กสองทาง

เมื่อกำหนดให้

m = อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว

S = ความยาวด้านสั้น

L = ความยาวด้านยาว

การคำนวณความหนาของพื้นเสริมเหล็กทางเดียวสามารถออกแบบความหนาเบื้องต้นได้ดังนี้

1. พื้นที่ช่วงเดียว ความหนา(t) = $\frac{L}{20}$
2. พื้นต่อเนื่องข้างเดียว ความหนา(t) = $\frac{L}{24}$
3. พื้นที่ต่อเนื่องทั้งสองข้าง ความหนา(t) = $\frac{L}{28}$
4. พื้นยื่น ความหนา(t) = $\frac{L}{10}$

$$M = C.W.S^2 \qquad (2.78)$$

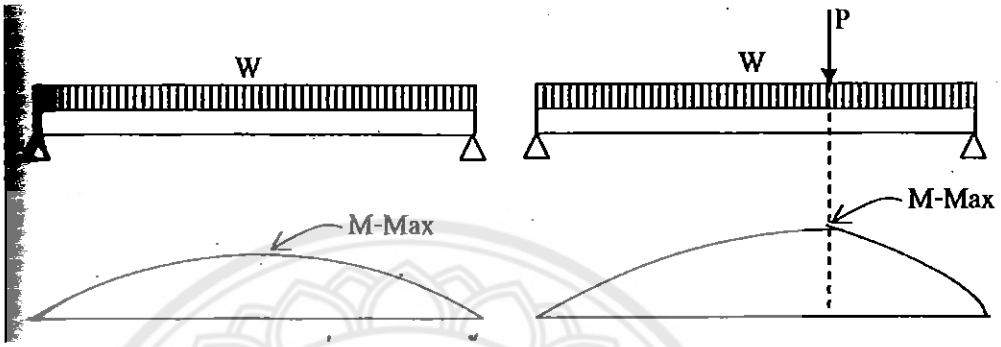
ตารางที่ 2.7 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์

กรณีของพื้นสองทาง	ช่วงสั้น						ช่วงยาว
	ค่าต่างๆ ของ C						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	
กรณีที่ 1 ช่วงพื้นภายใน							
โมเมนต์ลบ -ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.033	0.040	0048	0.055	0.063	0.083	0.033
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	-	-	-	-	-	-	-
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
กรณีที่ 2 ไม่ต่อเนื่องกันด้านเดียว							
โมเมนต์ลบ -ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
กรณีที่ 3 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน							
โมเมนต์ลบ -ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
กรณีที่ 4 ไม่ต่อเนื่องกันสามด้าน							
โมเมนต์ลบ -ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
กรณีที่ 5 ไม่ต่อเนื่องกันทั้งสี่ด้าน							
โมเมนต์ลบ -ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	-	-	-	-	-	-	-
-ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050

2.6 การออกแบบคาน

คานทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำหรือถ่ายลงมากระทำ เช่น ถ่ายมาจากผนังก่ออิฐ และ/หรือน้ำหนักจากพื้นอาคารที่ถ่ายลงมา เป็นต้น โดยเมื่อคานรับน้ำหนักดังกล่าวแล้วทำให้

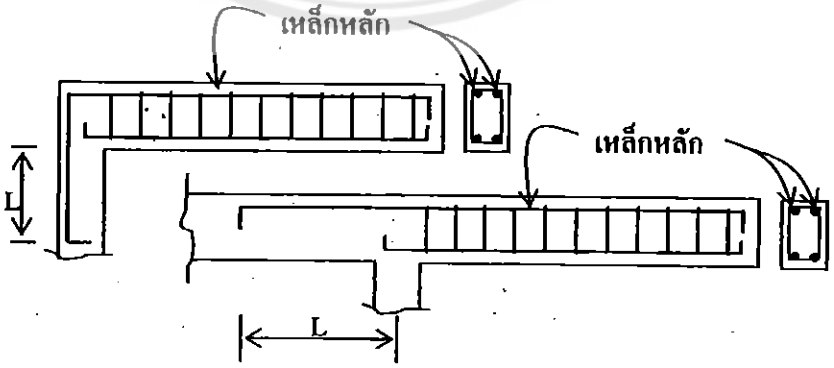
เกิดการดัด และการเฉือนในตัวคานเอง หรือแม้กระทั่งอาจเกิดการบิดขึ้นหากน้ำหนักที่กระทำบนคานไม่สมดุลกับแนวตั้งฉากกับแนวแกนของคาน ซึ่งแต่ละชนิดต้องวิเคราะห์ และออกแบบด้วยวิธีการที่แตกต่างกันโดยเฉพาะการจัดเหล็กเสริม



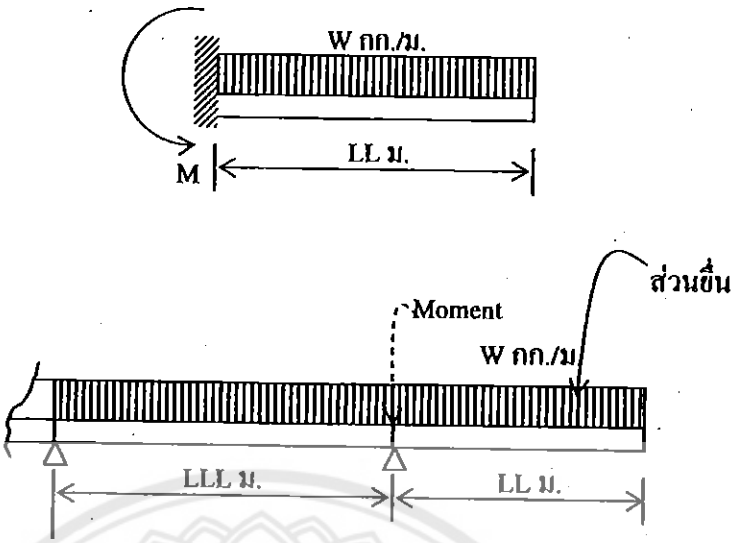
รูปที่ 2.14 การรับน้ำหนักและโมเมนต์ดัด

2.6.1. คานยื่น

การเสริมเหล็กในคานประเภทนี้ จะพิจารณาเหล็กด้านผิวบนของคานเป็นเหล็กหลัก ดังแสดงในรูป การเสริมเหล็กทำด้วยการเสริมล้วงลึกหรือฝังเข้าไปในเสาให้มีระยะมากพอสำหรับการยึดหน่วงหรือหากมีการออกแบบให้มีความต่อเนื่องกับคานตัวถัดไปก็ต้องมีระยะฝังหรือล้วงเข้าไปให้มากพอสำหรับการยึดเหนี่ยว ซึ่งระยะการยึดหน่วงในที่นี้คือระยะ L การคำนวณจะกล่าวต่อไปในขั้นตอนการออกแบบ ส่วนการวิเคราะห์คานยื่นมักเป็นไปตามรูปที่ 2.15 และ 2.16



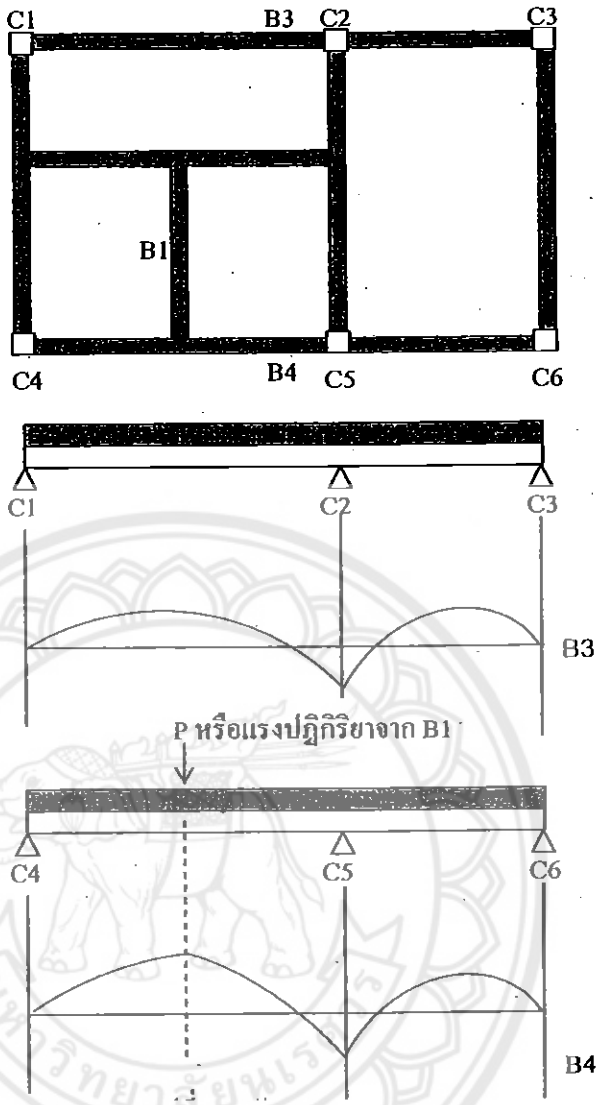
รูปที่ 2.15 การเสริมเหล็กคานยื่น



รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์คานยื่น

2.6.2 คานต่อเนื่อง

การวิเคราะห์โครงสร้างสามารถหาค่าหน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกภายนอกได้ โดยในบางครั้งอาจออกแบบคานในแบบโครงสร้างวิศวกรรมให้เป็นคานต่อเนื่องกันเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทำงานด้านออกแบบและก่อสร้าง ซึ่งแทนที่จะวิเคราะห์และออกแบบคานที่ละตัวหรือครั้งละช่วง เช่น ในรูปที่ 2.17 พิจารณาคาน B3 และ B4 สามารถวิเคราะห์เพื่อหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกพร้อมกันทั้งสองช่วงได้ และพิจารณาเสริมเหล็กตามค่าของโมเมนต์ที่วิเคราะห์ได้ ส่วนหลักการวิเคราะห์โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องศึกษาวิชา การวิเคราะห์โครงสร้างมาแล้ว



รูปที่ 2.17 แปลนแนวคาน B4

2.6.3 การออกแบบคานรับแรงบิด

คานที่รับบันไดยื่น หรือคานที่รับกันสาด ต้องให้พิจารณาให้รับแรงบิด (Torsion) หรือต้องออกแบบให้รับกับโมเมนต์คัด (M) และโมเมนต์บิด (MT) ไปพร้อมๆ กัน เช่น คาน RB1 ซึ่งพบว่า ปัจจัยการต้านทานหน่วยแรงบิดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก RB1 ประกอบด้วย

1. ขนาดหน้าตัดคาน
2. เหล็กเสริมตามยาวที่มุมทั้งสี่มุมของคานรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. เหล็กลูกตั้ง

ข้อกำหนดการออกแบบ

1. หน่วยแรงบิดสูงสุด $vt = \frac{35MT}{\sum x^2 y}$ (2.79)

เมื่อกำหนดให้

MT = โมเมนต์บิด

vt = หน่วยแรงบิด

x, y = เป็นด้านสั้นและด้านยาว ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2. เมื่อหน่วยแรงบิดที่คำนวณได้ในข้อที่ 1 มีค่ามากกว่า$1.32\sqrt{fc'}$ ต้องเพิ่มขนาดหน้าตัดคานใหม่

3. เมื่อคานรับแรงดัดและแรงบิดไปพร้อมๆ กัน ให้รวมหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงทั้งสองดังกล่าวและจากนั้นยอมให้ใช้ได้ไม่เกิน $1.65\sqrt{fc'}$

4. ในคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เหล็กเสริมอาจประกอบด้วย
   1. เหล็กเสริมตามยาว และเหล็กลูกตั้งซึ่งพันครบรอบ
   2. เหล็กเสริมตามยาว และเหล็กลูกตั้งเกลียว พันให้ทำมุม 45 องศากับแนวเหล็กเสริมตามยาว ในทิศทางเกิดแรงดึงในเหล็กเสริมเมื่อเกิดแรงบิด

5. หน้าตัดเหล็กลูกตั้งหนึ่งขา ซึ่งพันครบรอบ เพื่อต้านทานหน่วยแรงบิดอย่างเดียว ใช้สมการดังนี้

$$Av = \frac{MT \cdot S}{2Ac \cdot fv} \quad (2.80)$$

6. หน้าตัดเหล็กเสริมชนิดปลอกเกลียว ซึ่งรับเฉพาะแรงบิดเท่านั้น ใช้สมการดังนี้

$$Av = \frac{MT \cdot S}{2\sqrt{2Ac \cdot fc}} \quad (2.81)$$

7. เหล็กเสริมตามยาว ต้องเสริมให้รับแรงบิด โดยจัดไว้ทุกมุมของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยม เหล็กเสริมตามยาวนี้เป็นเหล็กที่ต้องเสริมพิเศษ และใช้สมการดังนี้

$$Ast = \frac{MT \cdot z}{2Ac \cdot fs} \quad (2.82)$$

เมื่อกำหนดให้

MT = โมเมนต์บิด

Ast = เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวแต่ละมุม

Av = เนื้อที่หน้าตัดเหล็กลูกตั้งหรือปลอกเกลียว

Ac = เนื้อที่หน้าตัดคอนกรีตภายในเหล็กลูกตั้ง หรือปลอกเกลียว

fv = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กลูกตั้ง

fs = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมตามยาว

S = ระยะเหล็กลูกตั้งหรือปลอกเกลียว

z = ระยะระหว่างเหล็กเสริมตามยาวโดยเฉลี่ย

2.7 การออกแบบเสา

เสาทำหน้าที่รับน้ำหนักจากคาน จากนั้นน้ำหนักจะถูกถ่ายลงสู่ฐานรากและพื้นโลกต่อไป องค์อาคารเสามีรูปร่างหรือขนาดแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน หรืองานด้านสถาปัตยกรรม ของอาคารพบมากหน่อยมักเป็นเสารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า ง่ายต่อการออกแบบและก่อสร้าง ส่วนเสาทรงกลมหรือรูปร่างแบบพิเศษอื่นๆ การก่อสร้างแพงกว่าและการออกแบบอาจมีเงื่อนไขที่มากกว่าอย่างไรก็ตามในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบต้องสามารถศึกษาและออกแบบเสาได้ในทุกรูปแบบ

2.7.1 ข้อกำหนดการออกแบบเสาตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

หัวข้อนี้กล่าวถึงข้อกำหนดการออกแบบเสาตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. ที่ควรทราบในบางข้อ

1. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน (As) สำหรับเสา จะต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกกว่า 0.08 ของพื้นที่หน้าตัดเสา(A_g)หรืออยู่ในช่วงไม่น้อยกว่าร้อยละ1 (1%) และไม่มากกว่าร้อยละ 8 (8%) ของพื้นที่หน้าตัดเสา(A_g)

2. ขนาดของเหล็กต้องไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร ถ้าเป็นเสาสี่เหลี่ยมต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 4 เส้น ถ้าเป็นเสากลมต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 6 เส้น

3. ช่องว่างระหว่างเหล็กยืนของเสาต้องไม่น้อยกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก หรือไม่น้อยกว่า$1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดมวลรวมหยาบใหญ่สุด แต่ไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร

4. เสาปลอกเดี่ยว เหล็กยืนต้องมีเหล็กลูกตั้งพันรอบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร โดยมีระยะจัดเรียงเหล็กลูกตั้งดังนี้

   4.1 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน

   4.2 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กลูกตั้ง

   4.3 หรือใช้ระยะเท่ากับด้านที่แคบที่สุดของเสา

5. เสาปลอกเกลียว เหล็กยืนต้องมีเหล็กลูกตั้งพันต่อเนื่องโดยรอบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร โดยมีระยะจัดเรียงเหล็กลูกตั้งดังนี้

   5.1 $\frac{1}{6}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน

   5.2 ระยะไม่ห่างกันเกิน 7 เซนติเมตร

   5.3 ระยะห่างไม่แคบกว่า 3 เซนติเมตร

   5.4 ระยะห่างไม่แคบกว่า$1\frac{1}{2}$ เท่าของมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุด

6. ความหาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กจะต้องไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุด

7. ระยะทาบเหล็กสำหรับเหล็กข้ออ้อย

   7.1 สำหรับคอนกรีตทีมีกำลังอัด 200 กก./ซม^{2}หรือสูงกว่าขึ้นไป

      1) ระยะทาบใช้ 20 เท่า ของเส้นผ่านสูญกลางเหล็กที่มีกำลังดราก 3,500 กก./ซม^{2}หรือน้อยกว่ากว่าลงไป

2) ระยะทาบใช้ 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลัง 4200 กก./ซม^2

3) ระยะทาบใช้ 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 5,200 กก./ซม^2

7.2 สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่า 200 กก./ซม^2

1) ระยะทาบใช้ 27 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 3,500 กก./ซม^2 หรือน้อยกว่าลงไป

2) ระยะทาบใช้ 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 4,200 กก./ซม^2

3) ระยะทาบใช้ 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีกำลังดราก 5,200 กก./ซม^2

8. ระยะทาบเหล็กสำหรับเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ

8.1 สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 กก./ ซม^{2}หรือสูงกว่าขึ้นไป

1) ระยะทาบใช้40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 3,500 กก./ซม^2 หรือน้อยกว่าลงไป

2) ระยะทาบใช้ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 4,200 กก./ซม^2

3) ระยะทาบใช้ 60 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีกำลังดราก 5,200 กก./ซม^2

8.2 สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่า 200 กก./ซม^2

1) ระยะทาบใช้ 54 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 3,500 กก./ซม^2 หรือน้อยกว่าลงไป

2) ระยะทาบใช้ 64 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังดราก 4,200 กก./ซม^2

3) ระยะทาบใช้ 80 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีกำลังดราก 5,200 กก./ซม^2

อย่างไรก็ตาม ถ้าขนาดเหล็กเสริมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตร แล้วควรจะต่อเหล็กเสริมด้วยวิธีเชื่อมหรือการต่อยึดปลายแบบอื่น มากกว่าต่อโดยวิธีทาบ

2.7.2 การออกแบบเสา

โดยทั่วไปแล้วอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะเป็นเสาสั้น ซึ่งตามมาตรฐาน ว.ส.ท.กำหนดว่าขนาดของเสาจะต้องมีอัตราส่วน $\frac{h}{t}$ ไม่เกิน 15 โดยที่ h เป็นความสูงของเสาระหว่างชั้นและ t เป็นด้านแคบของเสาเหลี่ยม หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสากลม ถ้าหากเกินแล้วต้องพิจารณาเป็นเสายาว สำหรับสมการที่ใช้ในการออกแบบเสาสั้นนั้นให้ไว้ในสมการที่ (2.83-2.86)

$$P = 0.85Ag(0.25fc' + pfs) \text{ และ } P = Ag(0.25fc' + pfs) \quad (2.83)$$

$$Pc = 0.85Ag(0.25fc') \text{ และ } Pc = Ag(0.25fc') \quad (2.84)$$

$$Ps = P - Pc \quad (2.85)$$

$$As = \frac{Ps}{0.85fs} \quad (2.86)$$

เมื่อกำหนดให้

P = น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้โดยปลอดภัย (กก.)

Pc = น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้โดยคอนกรีต (กก.)

Ps = น้ำหนักที่สามารถรับได้โดยเหล็กเสริม (กก.)

Ag = พื้นที่หน้าตัดของเสา (ซม.^{2})

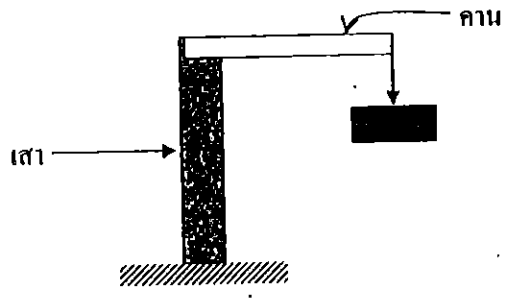
fc' = กำลังอัดของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

p = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดเสา ละอยู่ระหว่าง 0.001-0.008 (ร้อยละ1-8) และ $p\frac{As}{Ag}$ โดยที่ As = พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (ซม.^{2})

fs = หน่วยแรงอักที่ยอมให้ในเหล็ก (กก./ซม.^{2})โดยที่

กรณีเหล็กเสริมชนิดเส้นกลมผิวเรียบ $(RB)fs$ = 1,200 กก./ซม.^{2}

กรณีเหล็กเสริมชนิดข้ออ้อย $(DB)fs$ = 1,500 กก./ซม.^{2}



รูปที่ 2.18 เสารับโมเมนต์

2.7.3 สมการออกแบบเสารับแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน

ใช้หลักการพิจารณาจากอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ จากนั้นนำมาพิจารณาเป็นผลบวกของอัตราส่วนนี้ ทั้งแรงในแนวแกนและโมเมนต์ทางแกน x และ y ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

$$\frac{fa}{Fa}+\frac{fbx}{Fbx}+\frac{fby}{Fby}\leq 1 \tag{2.87}$$

$$fa=\frac{P}{Ag} \tag{2.88}$$

$$fbx=\frac{MxCx}{Ix} \tag{2.89}$$

$$fby=\frac{MyCy}{Iy} \tag{2.90}$$

$$Fa=0.34(1+pm)fc' \tag{2.91}$$

$$m=\frac{fy}{0.85fc'} \tag{2.92}$$

$$Fb=0.45fc' \tag{2.93}$$

$$\rho = \frac{Ast}{bd} \qquad (2.94)$$

เมื่อกำหนดให้

fa = หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแนวแกน

Fa = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

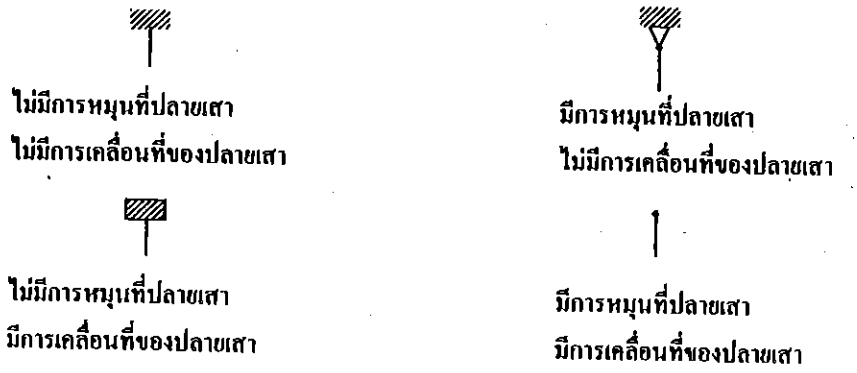
fbx = หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น

Fbx, Fby = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

ρ = ปริมาณเหล็กเสริม

ตารางที่ 2.8 ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6
ลักษณะการโค้งงอ						
ค่า K ตามทฤษฎี	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า K ที่ใช้ออกแบบ	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0



รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของการยึดปลาย

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 วางแผนโครงการ

การวางแผนโครงการขั้นแรกคือการทำความเข้าใจความหมายของชื่อของโครงการก่อนที่จะลงมือปฏิบัติ ขั้นสองคือคิดวัตถุประสงค์ที่จะได้สำหรับโครงการและขั้นต่อๆ ไปจะเป็นส่วนของการรวบรวมข้อมูล วิธีการปฏิบัติงาน ผลที่จะได้การการปฏิบัติและจบด้วยการสรุปผลของการปฏิบัติงานโครงการ

3.1.1 การทำความเข้าใจกับโครงการ

เริ่มจากการทำความเข้าใจของคำว่า 'การวิเคราะห์กระจายมูลค่าวัสดุก่อสร้าง' โดยวิเคราะห์ว่าโครงการที่ปฏิบัตินี้สามารถที่จะแก้ปัญหาหรือช่วยทำให้เข้าใจกับปัญหาที่พบได้ในปัจจุบันได้มากน้อยเพียงใด และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการที่ปฏิบัติว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

3.1.2 การคิดวัตถุประสงค์

3.1.2.1 ความเป็นไปได้ของเป้าหมายหรือผลที่ได้จากการปฏิบัติโครงการ

3.1.2.2 โครงการที่ปฏิบัตินี้มีประโยชน์ตรงความต้องการของบุคคลทั่วไป

3.1.2.3 จุดมุ่งหมายของผู้ปฏิบัติโครงการ

3.2 รวบรวมข้อมูล

ประสิทธิภาพของโครงการที่ปฏิบัติจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ผู้ปฏิบัติเพิ่งหามาได้ ซึ่งข้อมูลที่จะใช้สำหรับการปฏิบัติโครงการยิ่งมีมากเท่าไรก็จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นแต่ความยากในการปฏิบัติก็ยากขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับโครงการเรื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างนี้ผู้ปฏิบัติงานได้มีการทำการรวบรวมข้อมูล 2 วิธีด้วยกัน

3.2.1 จากข้อมูลจริงที่ได้มีการปฏิบัติจริง

ข้อมูลชนิดนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำเรื่องขอข้อมูลจากกองอาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยเรื่องที่ทำการขอนี้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับโครงการการก่อสร้างอาคารที่สำเร็จเสร็จสิ้น อาทิ งานก่อสร้างอาคารเรียนรวม,โรงละคร(Phitsanulok) ซึ่งข้อมูลที่จะทำการขอนั้นต้องทำเรื่องร้องขอผ่านทางคณะไปยังกองอาคารและสถานที่

3.2.2 ข้อมูลจากทฤษฎี

3.2.2.1 ค้นคว้าจากห้องสมุด

3.2.2.2 ค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต

3.2.2.3 สอบถามวิธีการปฏิบัติจากอาจารย์ที่ปรึกษา

3.3 วิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (แผ่นพื้น)

จาก AutoCAD Drawing ผังคานชั้นที่ 1 รูปที่ ผ.1.2 ก และแบบขยายพื้น รูปที่ ผ.1.2 ข (ส่วนอาคารเรียน) ได้เลือกพื้นชนิด PF1 มาวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง ซึ่งมีขนาดกว้าง×ยาว×หนา: 2.5×5.5×0.175 โดยเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมของเหล็กข้ออ้อย (SD40) และเหล็กกลม (SR24) เป็นตัวแปลหลักที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

3.3.1 พื้นทางเดียว เหล็กข้ออ้อย (SD40)

3.3.1.1 นำค่าขนาดพื้นที่เลือกไว้ไปออกแบบพื้นโดยใช้โปรแกรม RC. RIT. Version 1.2 (รูปที่ ผ.1.1) เลือกออกแบบพื้นทางเดียว

3.3.1.2 กรอกข้อมูลที่เลือกไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรม (รูปที่ ผ.2.1 ก)

3.3.1.3 เลือกขนาดเหล็กที่ต้องการใช้ของเหล็กเสริมหลัก (ตรงส่วนสรุปผล) และกดคำนวณ จะได้พื้นที่ของเหล็กเสริมต้านทานแรง (As) ของเหล็กเสริมหลัก ในการวิเคราะห์เลือกใช้เหล็กขนาด DB 12, 16, 20, 25, 28, และ 32 mm.

3.3.1.4 เขียนตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.3.1) หาน้ำหนักเหล็กจาก : (พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก×5.5×550× 7.86) ÷ 1000 (Kg.)

3.3.1.5 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.1 ก)

3.3.2 พื้นทางเดียว เหล็กกลม (SR24)

3.3.2.1 ออกแบบพื้นโดยใช้โปรแกรม RC. RIT. Version 1.2 (รูปที่ ผ.1.1)

3.3.2.2 กรอกข้อมูลที่เลือกไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรม (รูปที่ ผ.2.1 ข)

3.3.2.3 ทำการวิเคราะห์การกระจายมูลค่าวัสดุเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3 - 3.3.1.4

**เปลี่ยนขนาดเหล็กที่ใช้วิเคราะห์เป็น RB 9, 12, 15, 19, และ 25 mm.

3.3.2.4 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.1 ข)

3.4 วิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คาน)

จาก AutoCAD Drawing ผังคานชั้นที่ 1 [รูปที่ ผ.1.2 (ก)] เลือกใช้คานช่วง C1- C6 แบบขยายพื้น [รูปที่ ผ.1.2 (ข)] , [รูปที่ ผ.1.2 (ค)] (ส่วนอาคารเรียน) สำหรับการออกแบบคาน โดยใช้หน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') เป็นตัวแปรต้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่มีชั้นคุณภาพ (SD40) เป็นตัวแปรตามสำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

3.4.1 งานออกแบบคาน

ใช้โปรแกรม RC. RIT. Version 1.2 (รูปที่ ผ.1.1) ออกแบบคาน โดยค่า น้ำหนักจรเฉลี่ยที่พื้นรับน้ำหนัก (L.L.) : 300 Kg./cm^2, น้ำหนักของวัสดุตกแต่งพื้น (F.L.) : 50 Kg./cm^2, และน้ำหนัก

คงที่ (D.L.) : 480 Kg./cm^2 จะได้ Uniform load : 830 Kg./m. ส่วนช่วงคาน C1- C6 ที่เลือกจะใช้ออกแบบเป็นคาน 5 span ทางด้านซ้ายเป็น (Over Hanging) และทางด้านขวาเป็น (Hinge Support) ได้ผลวิเคราะห์คานดังรูปที่ (ผ.2.2 ก), (ผ.2.2 ข), (ผ.2.2 ค) แล้วเริ่มทำการออกแบบ (DESIGE) คาน

3.4.2 คานชนิดหน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') : 280 กก./ตร.ซม.

3.4.2.1 เลือกออกแบบคานโดยสมมติหน้าตัดมีขนาดเท่ากับ 25× 40 cm.

3.4.2.2 กรอกข้อมูลที่เลือกไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรม (รูปที่ ผ.2.3 ก)

3.4.2.3 เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่มีชั้นคุณภาพ (SD40) ที่ต้องการใช้ของเหล็กเสริมเหล็กเสริมกลางคาน (+Mmax) และเหล็กเสริมริมเสา (-Mmax) ในส่วนนั้นๆ จะได้เนื้อที่ของเหล็กเสริมต้านทานแรง (As) ของเหล็กเสริมกลางคาน และเหล็กเสริมริมเสา โดยในการวิเคราะห์เลือกใช้ เหล็กขนาด 12, 16, 20, 25, 28, และ 32 mm.

3.4.2.4 เขียนตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.3.2) โดยค่า S/C หาจากผลรวมเนื้อที่ของเหล็กเสริมต้านทานแรง (As) ของเหล็กเสริมกลางคาน และเหล็กเสริมริมเสา × 100 ÷ พื้นที่หน้าตัด, หาน้ำหนักเหล็กจาก: [(700*As ของเหล็กเสริมกลางคาน)+(500*As ของเหล็กเสริมริมเสา)* 7.86]÷1000(Kg.)

3.4.2.5 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.2 ก)

3.4.3 คานชนิดหน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') : 210 กก./ตร.ซม.

3.4.3.1 กรอกข้อมูลที่เลือกไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรมเช่นเดียวกับ ข้อ 3.4.2.2 แต่เปลี่ยนหน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') : 280 กก./ตร.ซม. เป็นหน่วยกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') : 210 กก./ตร.ซม.

3.4.3.2 ทำการวิเคราะห์การกระจายมูลค่าวัสดุก่อสร้างเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.3 - 3.4.2.4

3.4.3.3 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.2 ข)

3.5 วิเคราะห์การกระจายตัวมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (เสา)

จาก AutoCAD Drawing แบบขยายเสา รูปที่ ผ.1.3 และ ELEVATION รูปที่ ผ.1.4 (ส่วนอาคารเรียน) หาน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกน P (Kg.) จากทฤษฎีการออกแบบเสา: P = 0.85Ag (0.25fc'+fsPg) ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนที่คำนวณได้ สำหรับออกแบบเสาที่มีขนาดหน้าตัดและแบบที่แตกต่างไป เลือกใช้ขนาดเหล็กเสริมที่มีชั้นคุณภาพ (SD40) และแบบเสาที่ใช้เป็นตัวแปรสำหรับวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

3.5.1 เสาปลอกเดี่ยว(Ag : 0.24 m^2)

3.5.1.1 ออกแบบเสาโดยใช้โปรแกรม RC. RIT. Version 1.2 (รูปที่ ผ.1.1) เลือกออกแบบเสา

3.5.1.2 เลือกออกแบบเสาชนิดเสาปลอกเดี่ยว กรอกข้อมูลที่คำนวณได้ไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรมดังรูปที่ ผ.2.4 ก

3.5.1.3 เลือกขนาดเหล็กเสริมที่ต้องการใช้สำหรับเหล็กยืน (ช่องสรุปผล) โดยในการวิเคราะห์เลือกใช้เหล็กขนาด 12, 16, 20, 25, 28, และ 32 mm.

3.5.1.4 เขียนตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุ (รูปที่ 3.3 ก) หาอัตราส่วนพื้นระหว่างเหล็กกับคอนกรีต (S/C) : จำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ × Nominal Cross-Section Area ÷ พื้นที่หน้าตัด (Ag) และราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คอนกรีต - เหล็กเสริม)

3.5.1.5 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.3 ก)

3.5.2 เสาปลอกเดี่ยว (Ag : 0.20 m^2)

3.5.2.1 การออกแบบเสาใช้วิธีเดียวกับข้อ 3.5.1.1

3.5.2.2 เลือกออกแบบเสาชนิดเสาปลอกเดี่ยว กรอกข้อมูลที่คำนวณได้ไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรมดัง รูปที่ ผ.2.4 ข

3.5.2.3 ทำการวิเคราะห์การกระจายมูลค่าวัสดุเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1.3 - 3.5.1.4

3.5.2.4 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.3 ข)

3.5.3 เสาปลอกเกลียว (Ag : 0.19 m^2)

3.5.3.1 ออกแบบเสาโดยใช้โปรแกรม RC. RIT. Version 1.2 (รูปที่ ผ.1.1) เลือกออกแบบเสา

3.5.3.2 เลือกออกแบบเสาชนิดเสาปลอกเกลียว กรอกข้อมูลที่คำนวณได้ไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรมดังรูปที่ ผ.2.4 ค

3.5.3.3 เลือกขนาดเหล็กเสริมที่ต้องการใช้สำหรับเหล็กยืน (ช่องสรุปผล) โดยในวิเคราะห์เลือกใช้ เหล็กขนาด 12, 16, 20, 25, 28, และ 32 mm.

3.5.3.4 เขียนตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.3.3 ข) หาอัตราส่วนพื้นระหว่างเหล็กกับคอนกรีต (S/C) : จำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ × Nominal Cross-Section Area ÷ พื้นที่หน้าตัด (Ag) และราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คอนกรีต - เหล็กเสริม)

3.5.3.5 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.3 ค)

3.5.4 เสาปลอกเกลียว (Ag : 0.20 m^2)

3.5.4.1 การออกแบบเสาใช้วิธีเดียวกับข้อ 3.5.3.1

3.5.4.2 เลือกออกแบบเสาชนิดเสาปลอกเดี่ยว กรอกข้อมูลที่คำนวณได้ไว้ในส่วนกรอกข้อมูลของโปรแกรมดังรูปที่ ผ.2.4 ง

3.5.4.3 ทำการวิเคราะห์การกระจายมูลค่าวัสดุเช่นเดียวกับข้อ 3.5.3.3 - 3.5.3.4

3.5.4.4 เขียนกราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ (รูปที่ ผ.4.3 ง)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ลงมือปฏิบัติทดลอง โดยเลือกที่จะออกแบบโครงสร้างในส่วนของงาน พื้น คาน และเสา มาวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริมซึ่งผลการทดลองและวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (แผ่นพื้น)

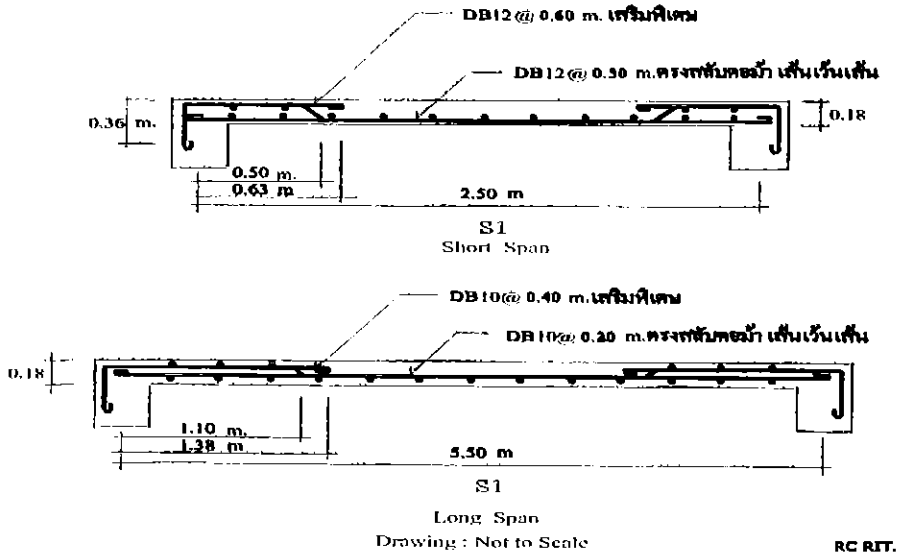
4.1.1 ผลการทดลอง

จากการเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมของเหล็กข้ออ้อย (SD40) และเหล็กกลม (SR24) สำหรับการออกแบบแผ่นพื้นทางเดียวจะทำให้ได้ตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุก่อสร้าง รูปที่ ผ.3.1

4.1.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

จากตารางผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ ร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต (S/C) กับ ราคามูลค่าวัสดุรวม (คอนกรีต-เหล็กเสริม) รูปที่ ผ.4.1 ก – รูปที่ ผ.4.1 ข วิเคราะห์ได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมและชนิดของเหล็กเสริมที่นำมาใช้มีผลต่อราคามูลค่าวัสดุโดยรวม ซึ่งเห็นได้ว่าเหล็กข้ออ้อย (SD40) ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้างถูกกว่าเหล็กกลม (SR24) และจากกราฟความสัมพันธ์ เหล็กข้ออ้อย (SD-40) ขนาด 12mm. ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง(คอนกรีต-เหล็ก)จะต่ำที่สุด = 8183 Bath (S/C = 0.440%)และเหล็กกลม(SR-24) ขนาด 25 mm. ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง(คอนกรีต- เหล็ก) จะมีค่ามากที่สุด= 8978 Bath (S/C = 0.627%)

ตัวอย่างรายการคำนวณแผ่นพื้น 1



* รายการคำนวณ *

* ออกแบบพื้น ค.ส.ล.*

Slab No. S1

ข้อกำหนดในการออกแบบ : fc' = 320 ksc , ใช้เหล็ก SD40 , fy = 4000 ksc

LL = 300 ksm. , FL = 50 ksm. พื้นกว้าง = 2.5 m. ยาว = 5.5 m.

Design Constant

n = Es /Ec = 2040000/ 15210*sqr(fc') = 7

k =1 /(1+ fs/n*fc) = .344 , j =1-k/3 = .885

fc = .375* sqr (fc') = 120 ksc.

R = 0.5*fc*j*k = 18.27 ksc.

S / L = .45 <= 0.5 จะคำนวณออกแบบเป็นพื้นทางเดียว

1. DL = 420 ksm.

LL = 300 ksm.

FL = 50 ksm.

จะได้ w = 770 ksm.

2. ออกแบบเหล็กเสริมหลัก

M = ws^2/8 , As = M / (fs.j.d)

M = 601.56 kg-m /m

d = 5.74 cm.

t = 8.34 cm. < 17.5 cm. OK.

dจริง = 14.9 cm.

As+ = 2.85 cm^2 /m ** ใช้ DB 12 @ 30 cm.

3. ออกแบบเหล็กเสริมกันการแตกร้าว

As Temp. = 3.15 cm^2 /m ** ใช้ DB 10 @ 20 cm.

4. Check Shear : v = .57 ksc. < vc = 5.19 ksc. OK.

5. Check Bond : u = 5.81 ksc . < u Allow = 35 ksc. OK.

ตัวอย่างรายการคำนวณแผ่นพื้น 2

* ออกแบบพื้น ค.ส.ล.*

Slab No. S1

ข้อกำหนดในการออกแบบ : fc' = 320 ksc , ใช้เหล็ก SD40 , fy = 4000 ksc

LL = 300 ksm. , FL = 50 ksm. พื้นกว้าง = 2.5 m. ยาว = 5.5 m.

Design Constant

n = Es /Ec = 2040000/ 15210*sqr(fc') = 7

k =1 /(1+ fs/n*fc) = .344 , j =1-k/3 = .885

fc = .375* sqr (fc') = 120 ksc.

R = 0.5*fc*j*k = 18.27 ksc.

S / L = .45 <= 0.5 จะคำนวณออกแบบเป็นพื้นทางเดียว

1. DL = 420 ksm.

LL = 300 ksm.

FL = 50 ksm.

จะได้ w = 770 ksm.

2. ออกแบบเหล็กเสริมหลัก

M = ws^2/8 , As = M / (fs.j.d)

M = 601.56 kg-m /m

d = 5.74 cm.

t = 9.34 cm. < 17.5 cm. OK.

dจริง = 13.9 cm.

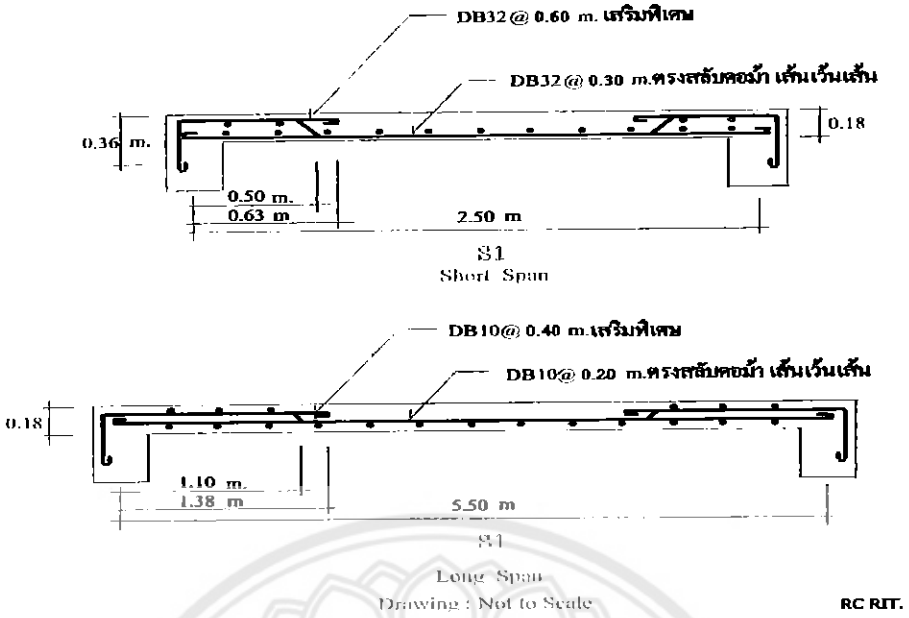
As+ = 3.06 cm^2 /m ** ใช้ DB 32 @ 30 cm.

3. ออกแบบเหล็กเสริมกันการแตกร้าว

As Temp. = 3.15 cm^2 /m ** ใช้ DB 10 @ 20 cm.

4. Check Shear : v = .62 ksc. < vc = 5.19 ksc. OK.

5. Check Bond ; u = 2.33 ksc . < u Allow = 18.06 ksc. OK.



4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คาน)

4.2.1 ผลการทดลอง

จากการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่มีชั้นคุณภาพ (SD40) : 12, 16, 20, 25, 28, และ 32 mm. และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') : 280, 210 KSC สำหรับการออกแบบคาน สามารถเขียนตารางวิเคราะห์ผลและมูลค่าวัสดุก่อสร้าง รูปที่ ผ.3.2

4.2.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

จากตารางผลการทดลองปฏิบัติที่ได้ รูปที่ 3.2 เมื่อนำไปเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ของร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต (S/C) กับ ราคามูลค่าวัสดุรวม (คอนกรีต-เหล็กเสริม) รูปที่ ผ.4.2 ก – รูปที่ ผ.4.2 ข ที่กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc':280) ของ DB25 ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คอนกรีต – เหล็ก) จะต่ำที่สุด = 326.49 Bath/m. (S/C = 2.48%) และที่กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc':210) ของ DB16 ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คอนกรีต – เหล็ก) จะมีค่ามากที่สุด = 398.54 Bath/m. (S/C = 5.26%) ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม ที่เห็นได้ชัดเจนคือ ร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต โดยค่าร้อยละของอัตราส่วนยิ่งมีค่าที่ลดลงราคามูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีต และเหล็กเสริมย่อมจะลดลงด้วยเช่นกัน แต่ก็ยังมีปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้อย่างชัดเจนคือกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') ที่นำมาใช้ในการก่อสร้างยิ่งมีค่ากำลังอัดประลัยน้อยเพียงใดร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีตก็ยิ่งเพิ่มขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะบอกได้ว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') แปรผันตรงกับราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คอนกรีต - เหล็กเสริม)

ตัวอย่างรายการคำนวณคาน

* รายการคำนวณ *

* ออกแบบคาน ค.ส.ธ. * Beam No. B1' & No. B1

จากการวิเคราะห์โครงสร้าง ได้ +Mmax = 5272.05 kg-m.

-Mmax = -5316.13 kg-m.

ข้อกำหนดในการออกแบบ : fc' = 210 ksc , fy = 4000 ksc.

Design Constant

n = Es /Ec = 2040000/ 15210*sqr(fc') = 9

k =1 /(1+ fs/n*fc) = .307 , j =1-k/3 = .898

fc = .375* sqr (fc') = 78.75 ksc.

R = 0.5*fc*j*k = 10.86 ksc.

สมมติหน้าตัด ขนาด 25 x 40 cm.

d = 33.93 cm. , d' = 6.34 cm.

Mw = (R)(b)(d)^2 = 3126.24 kg-m.

As1 = Mw / (fs*j*d) = 6.41 ตร.ซม.

1. ออกแบบเหล็กเสริม + Mmax

Mmax - Mw = 2145.81 kg-m.

* จะคำนวณออกแบบ + Mmax เป็น Doubly Reinforced Section

1.1 ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึง

As2 = (Mmax - Mw)/ (fs*(d-d')) = 4.86 ตร.ซม.

As = As1 + As2 = 11.27

** ใช้ 4 - DB 16 + 2 - DB 16 จัด 2 แถว

1.2 ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงอัด (As')

fc1 = (kd-d')*fc / kd = 30.82 ksc.

T2 = (+Mmax - Mw) /(d-d') = 7776.54 kg.

As' = T2 / (2n-1)fc1 = 14.84 ตร.ซม.

** ใช้ 4 - DB 16 + 4 - DB 16 จัด 2 แถว

Check : 2nfc1 = 554.82 < fs OK.

2. ออกแบบเหล็กเสริม - Mmax

Mmax - Mw = 2189.89 kg-m.

* จะคำนวณออกแบบ - Mmax เป็น Doubly Reinforced Section

2.1 ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึง ; (d = 33.93 cm. , d' = 6.34 cm.)

As2 = (Mmax - Mw)/ (fs*(d-d')) = 4.96 ตร.ซม.

As = As1 + As2 = 11.37

** ใช้ 4 - DB 16 + 2 - DB 16 จัด 2 แถว

2.2 ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงอัด (As')

fc1 = (kd-d')*fc / kd = 30.82 ksc.

T2 = (+Mmax - Mw) /(d-d') = 7936.29 kg.

As' = T2 / (2n-1)fc1 = 15.15 ตร.ซม.

** ใช้ 4 - DB 16 + 4 - DB 16 จัด 2 แถว

Check : 2nfc1 = 554.82 < fs OK.

3. ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน (Shearing Stress)

Vmax = 4192.42 kg., w = 0 kg/m

Vd = Vmax - (w*d) = 4192.42 kg.

v = Vd / bd = 4.94 ksc. > vc = 4.2 ksc.

* ต้องใช้เหล็กปลอกรับแรงเฉือนส่วนเกิน : เลือกใช้ ป. RB 9

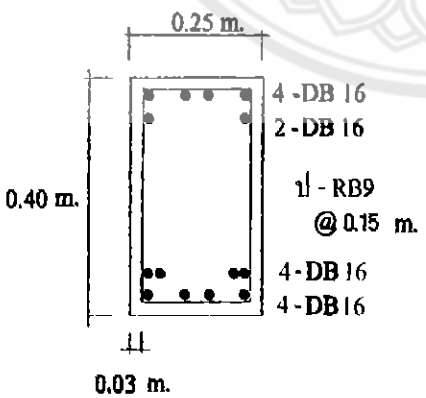
S = Av*fv*d / V'

V' = (v - vc)bd = 627.3 kg.

S = 16.97 cm. ใช้ = 15 cm.

4. ตรวจสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress)

u = V/ (ผลรวมเส้นรอบวง *j*d) = 4.56 ksc. < u Allow = 20.74 ksc. OK.

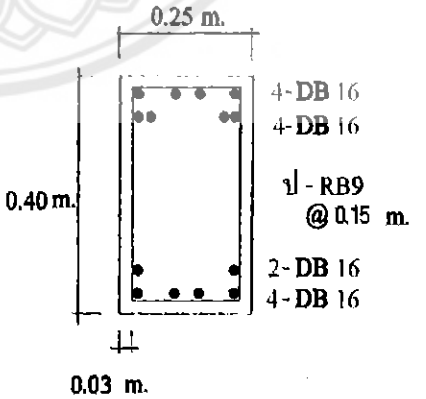


B1'

ริมเสา

Drawing : Not to Scale

RC RIT.



B1

กลางคาน

Drawing : Not to Scale

RC RIT.

4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (เสา)

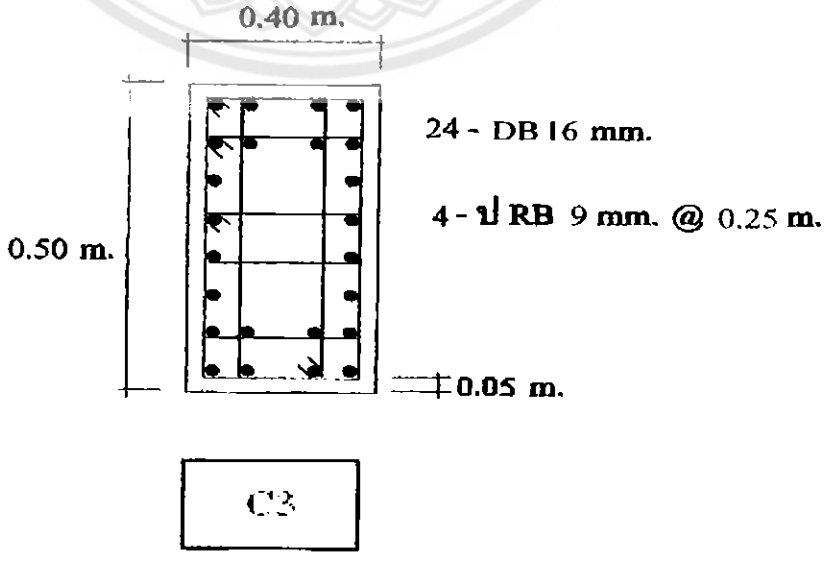
4.3.1 ผลการทดลอง

จากการเลือกออกแบบเสาให้มีหน้าตัด - ชนิดเสาที่แตกต่างกันไปและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่มีชั้นคุณภาพ (SD40): 12, 16, 20, 25, 28, และ32 mm. สามารถเขียนตารางวิเคราะห์ผลและมูลค่าวัสดุก่อสร้าง รูปที่ ผ.3.3 ก – รูปที่ ผ.3.4 ข

4.3.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

จากตารางผลการทดลองปฏิบัติที่ได้ รูปที่ ผ.3.3 ก – รูปที่ ผ.3.4 ข เมื่อนำไปเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ของร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต(S/C) กับ ราคามูลค่าวัสดุรวม (คอนกรีต-เหล็กเสริม) รูปที่ ผ.4.3 ก – รูปที่ ผ.4.3 ง เสาปลอกเดี่ยวพื้นที่หน้าตัด : 0.24 m^2ของ DB12 ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง(คอนกรีต – เหล็ก) จะต่ำที่สุด = 4950 Bath (S/C = 1.13%) และเสาปลอกเดี่ยวพื้นที่หน้าตัด : 0.20 m^2 ของ DB20 ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง(คอนกรีต – เหล็ก) จะมีค่ามากที่สุด = 6243 Bath (S/C = 2.51%) ซึ่งผลวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง (คอนกรีต – เหล็กเสริม) กรณีการออกแบบคาน ร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต (S/C) มีผลต่อราคามูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม แต่ปัจจัยที่มีผลต่อราคามูลค่าวัสดุสำหรับการออกแบบเสานั้นคือพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปมีผลกับร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต ไม่ว่าจะการออกแบบเสาปลอกเดี่ยวหรือเสาปลอกเกลียวจะเห็นได้ว่าพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีตมีค่าลดลง

ตัวอย่างรายการคำนวณเสา 1



Drawing : Not to Scale

RC RIT.

*** รายการคำนวณ ***

*** ออกแบบเสาปลอกเดี่ยว ***

Column No. C3

ขนาดเสา 40 x 50 cm.

P = 198000 kg , fc' = 320 ksc , fy = 4000 ksc.

เสาสูง = 4.5 m.

อัตราส่วนความชะลูด = ความสูงเสา / ด้านแคบเสา

= 11.25 < 15 เป็นเสาสั้น ,R = 1.00

Ag = 2000 sq.cm

จาก P = 0.85*Ag(0.25fc' + fs*As/Ag)

As = 45.59 sq.cm

ใช้ 24 - DB 16 **

* ตรวจสอบค่า Pg *

Pg = .023 (0.01 < Pg < 0.08) OK.

*** หาระยะห่างเหล็กปลอก ***

ใช้ค่าน้อยที่สุดของค่าต่อไปนี้

1) 16 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กยืน = 25 cm.

2) 48 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอก = 43 cm.

3) ด้านแคบเสา = 40 cm.

*** ใช้ ป. RB 9 @ 25 cm.**

ตัวอย่างรายการคำนวณเสา 2

*** รายการคำนวณ ***

*** ออกแบบเสาปลอกเกลียว ***

Column No. C1

เสาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 49.1849 cm.

P = 198000 kg , fc' = 280 ksc , fy = 4000 ksc.

เสาสูง = 4.5 m.

อัตราส่วนความชะลูด = ความสูงเสา / ด้านแคบเสา

= 9.15 < 15 เป็นเสาสั้น, R = 1.00

* หาปริมาณเหล็กยืน *

Ag = 1900 sq.cm

จาก P = Ag(0.25fc' + fs*As/Ag)

As = 40.63 sq.cm

ใช้ 22 - DB 16 ***

ระยะห่างระหว่างเหล็กยืน = 4.08 cm. > 4 cm. OK.

* ตรวจสอบค่า Pg *

Pg = .021 (0.01 < Pg < 0.08) OK.

*** หาระยะห่างเหล็กปลอก ***

Ps = 0.45 - (Ag/Ac -1) * fc'/fy

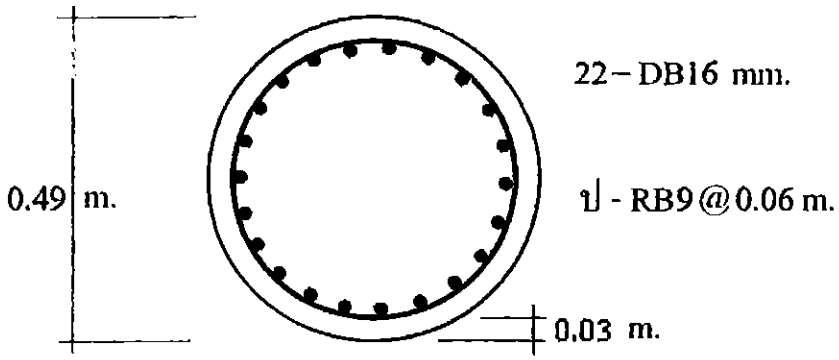
Ps = .0094

S = 4*Aspiral / (Ps *Dc)

S = 6.29 cm. (3 < S < 7) OK.

*** ใช้ ป - RB 9 @ 6 cm.**

RC. RI1



C1

Drawing : Not to Scale

RC RIT.

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม ราคามูลค่าวัสดุก่อสร้าง(คอนกรีต – เหล็กเสริม)นั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่ปัจจัยหลายอย่างแต่หลักๆแล้วปัจจัยนั้นอยู่ที่การออกแบบโครงสร้างในส่วนนั้นๆไม่ว่าจะเป็นการออกแบบ พื้น คาน เสา ควรที่จะออกแบบโครงสร้างให้มีร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีต(S/C) ให้มีค่าน้อยหรือต่ำที่สุดเพราะค่าร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่ลดลงจะส่งผลต่อราคามูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีต-เหล็กเสริมที่ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับคอนกรีตของการออกแบบโครงสร้างคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') ซึ่งสามารถบอกได้อีกอย่างหนึ่งว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') แปรผันตรงต่อการกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุก่อสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริมข้างต้นนี้อย่างไรก็ดีปัจจัยที่ทำให้ผลของราคามูลค่าวัสดุที่ลดลง ยังถือว่าเป็นปัจจัยเพียงส่วนหนึ่งของการประมาณราคาการก่อสร้างเท่านั้นเพราะราคามูลค่าวัสดุที่ลดลงใช่ว่าราคาการก่อสร้างของโครงสร้างนั้นๆจะถูกลงไปด้วย ซึ่งปัจจัยของราคาการก่อสร้างจริงนั้นมีทั้ง กำลังคนที่จะใช้ก่อสร้าง เครื่องจักรที่จะใช้ในงานก่อสร้าง ความยากง่ายของงาน ฯลฯ

เอกสารอ้างอิง

การผลิตปูนซีเมนต์ http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter6/t24-6-l3.htm สารานุกรมไทย สำหรับเยาวชน เล่ม 24

พิภพ สุนทรสมัย.(2544).**การประมาณราคาก่อสร้าง ฉบับปรับปรุงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 26 .** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น).

ปริญญา ศุภศรี.(2545).**กลยุทธ์การวิเคราะห์ราคางานก่อสร้าง.กรุงเทพฯ: คณะบุคคล ปริญญา ศุภศรี และรักษพงศ์ นพวงศ์.**

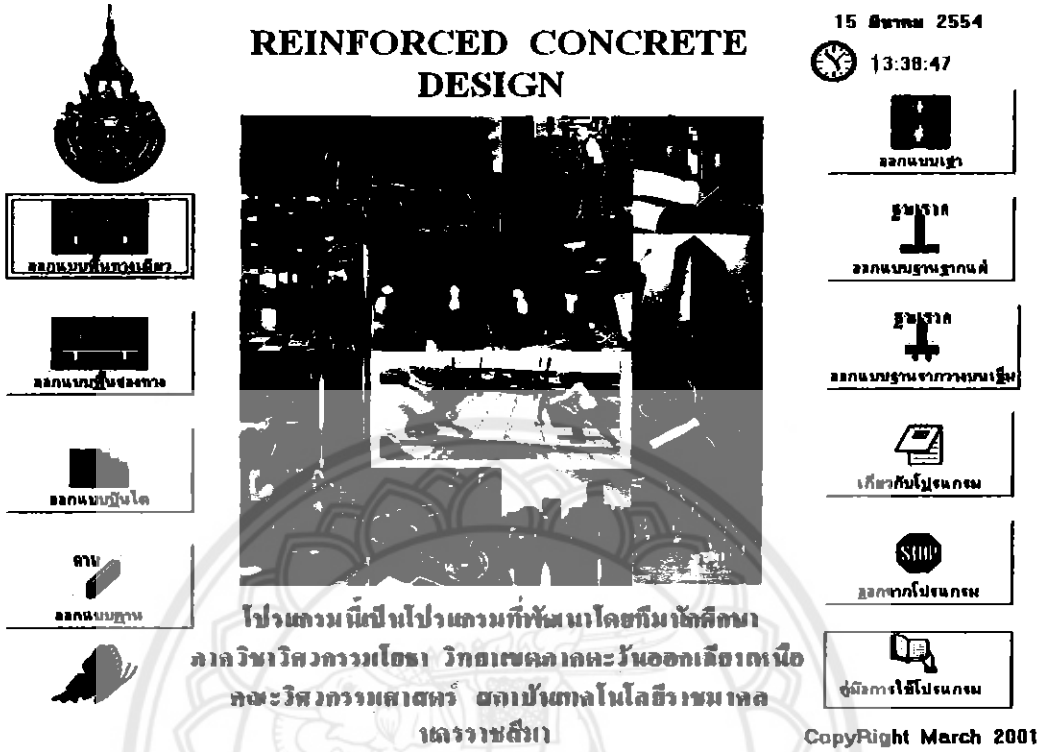
พงศ์พัน วรสุนทโรสถ.**วัสดุก่อสร้าง.**กรุงเทพฯ: หจก.เอช-เอน การพิมพ์

ดร.สถาพร โภคา .(2544). **การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (วิธีหน่วยแรงใช้งาน). กรุงเทพฯ** : ไลบรารี่ นาย

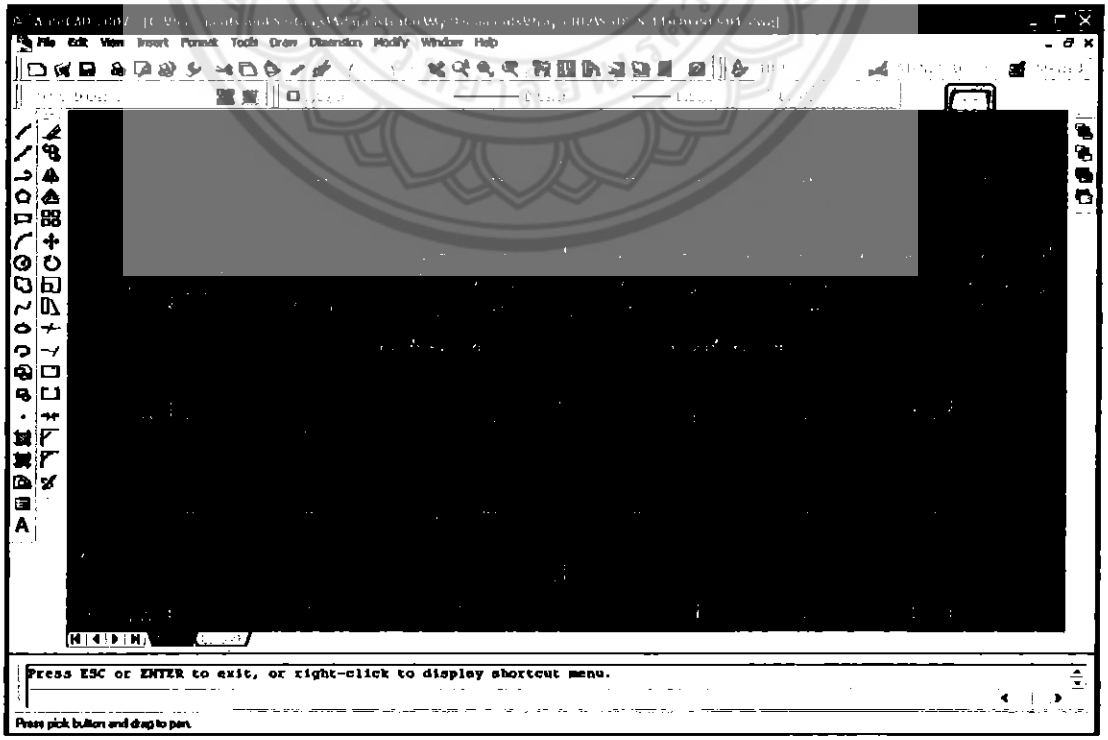
ราคาวัสดุก่อสร้างกรุงเทพมหานคร เดือน มกราคมปี 2554 กระทรวงพาณิชย์ http://www.indexpr.moc.go.thPRICE_PRESENTtablecsi_month_region.aspDDMonth=01&DDYear=2554&DDProvince=10&B1=%B5%A1%C5%A7

รศ.วิชัย ฤกษ์ภูรทัต.(2551).**บริหารการก่อสร้าง Construction Management. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.**

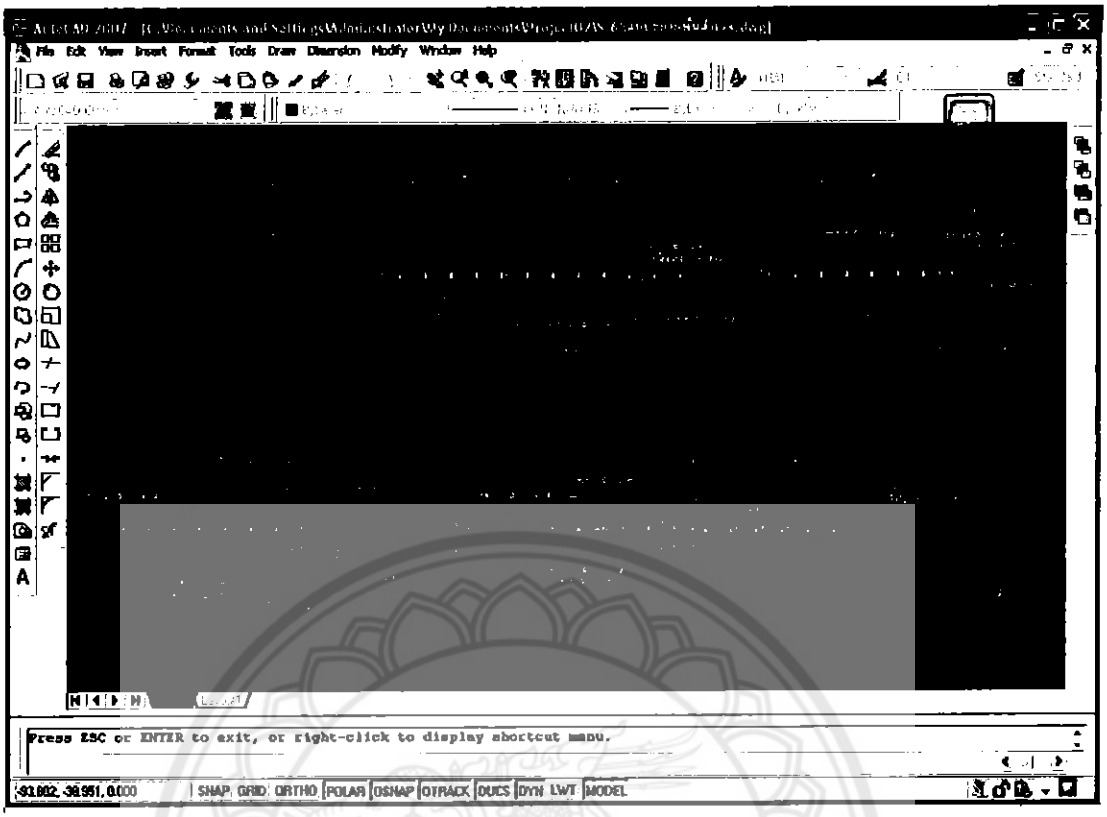
ภาคผนวก



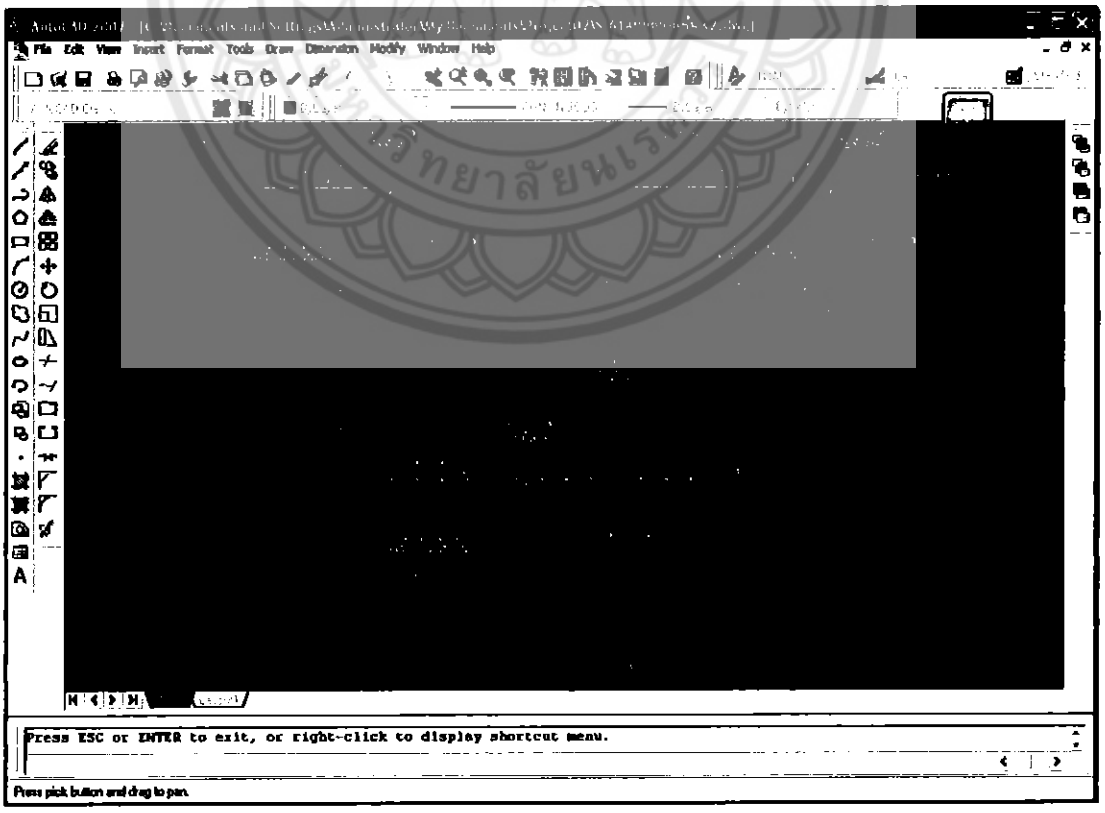
รูปที่ ผ. 1.1



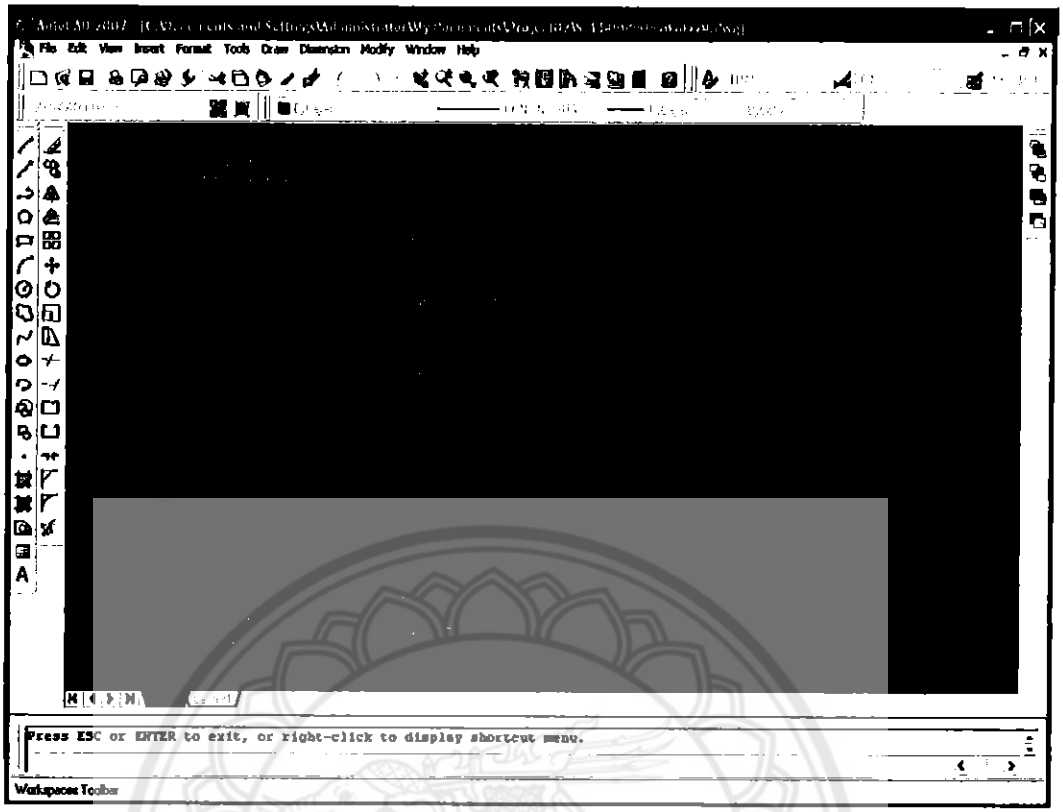
รูปที่ ผ. 1.2 ก



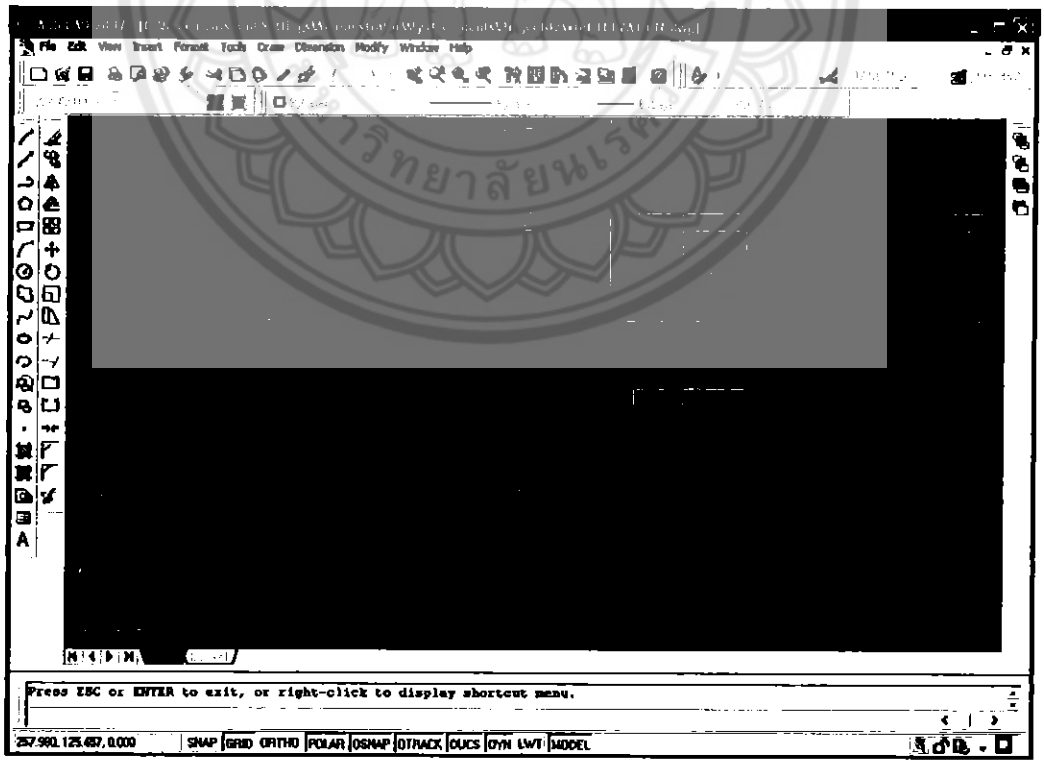
รูปที่ ผ. 1.2 ข



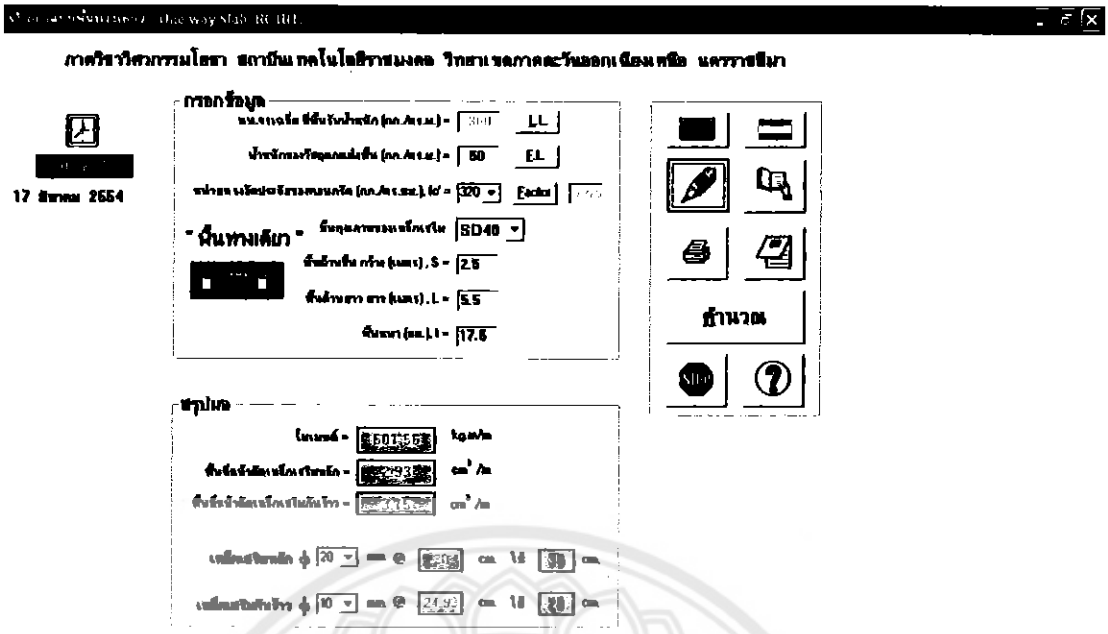
รูปที่ ผ. 1.2 ค



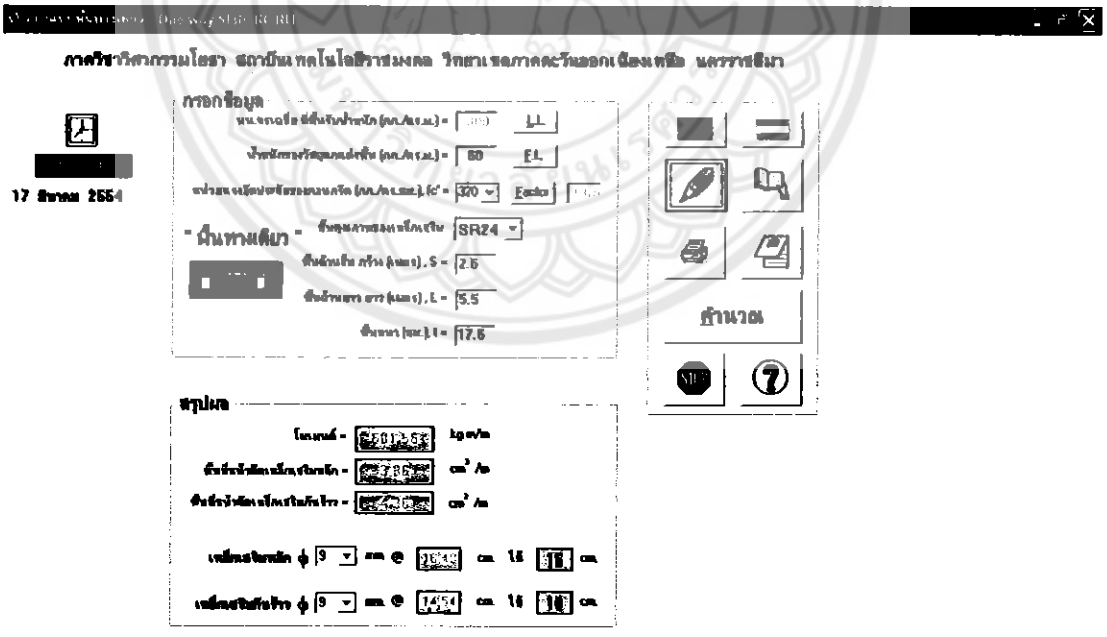
รูปที่ ผ. 1.3



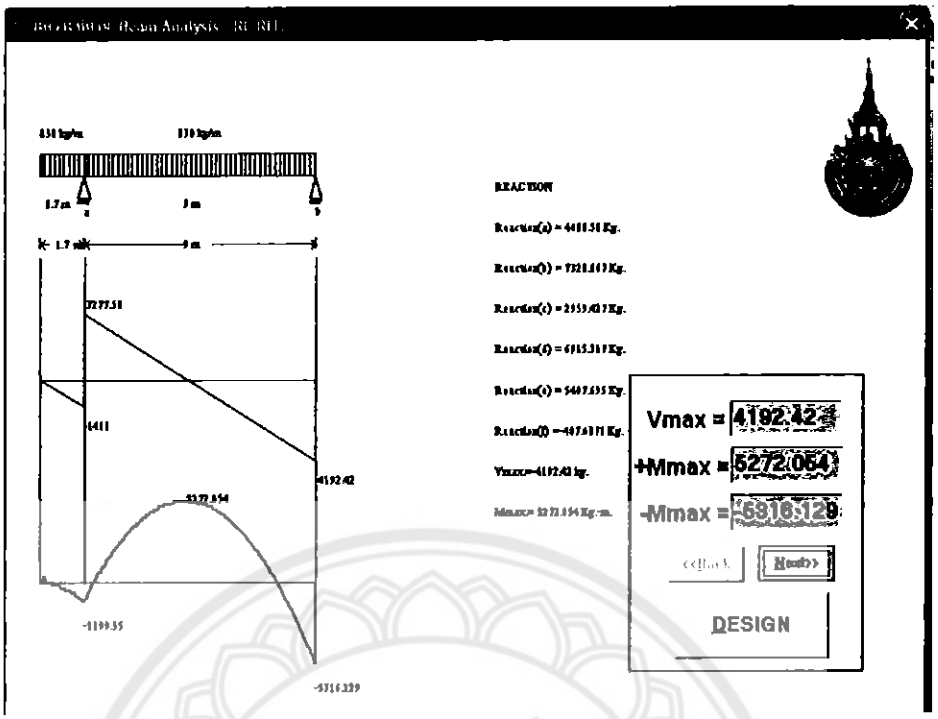
รูปที่ ผ. 1.4



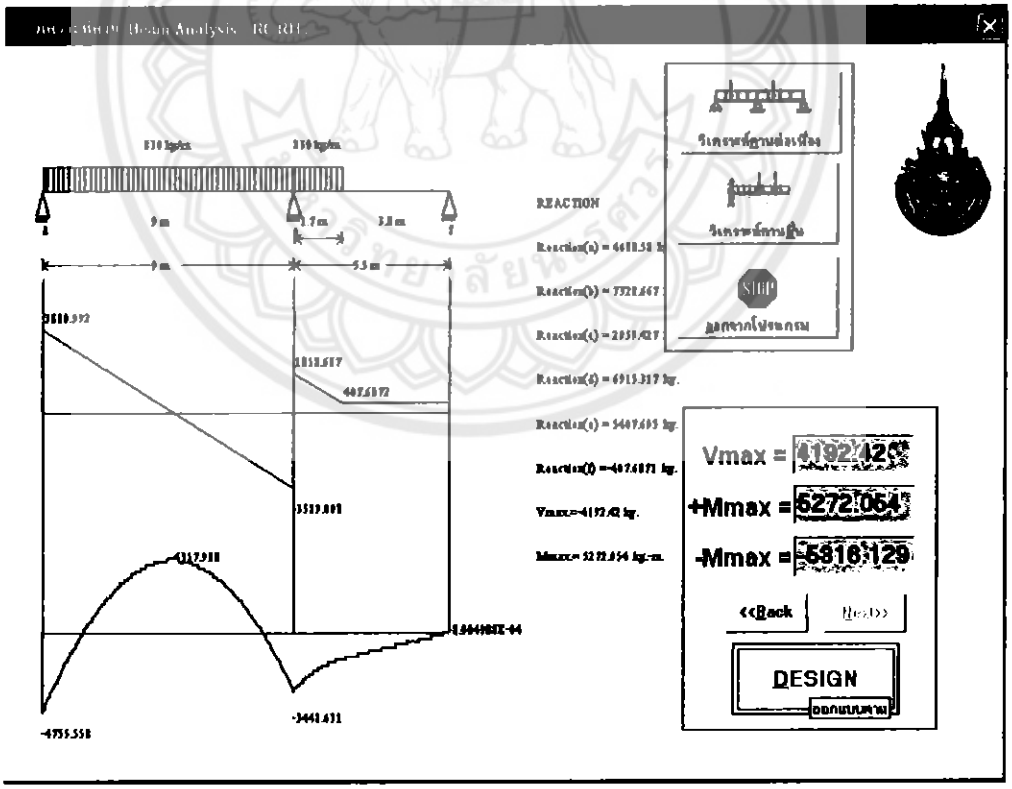
รูปที่ ผ. 2.1 ก



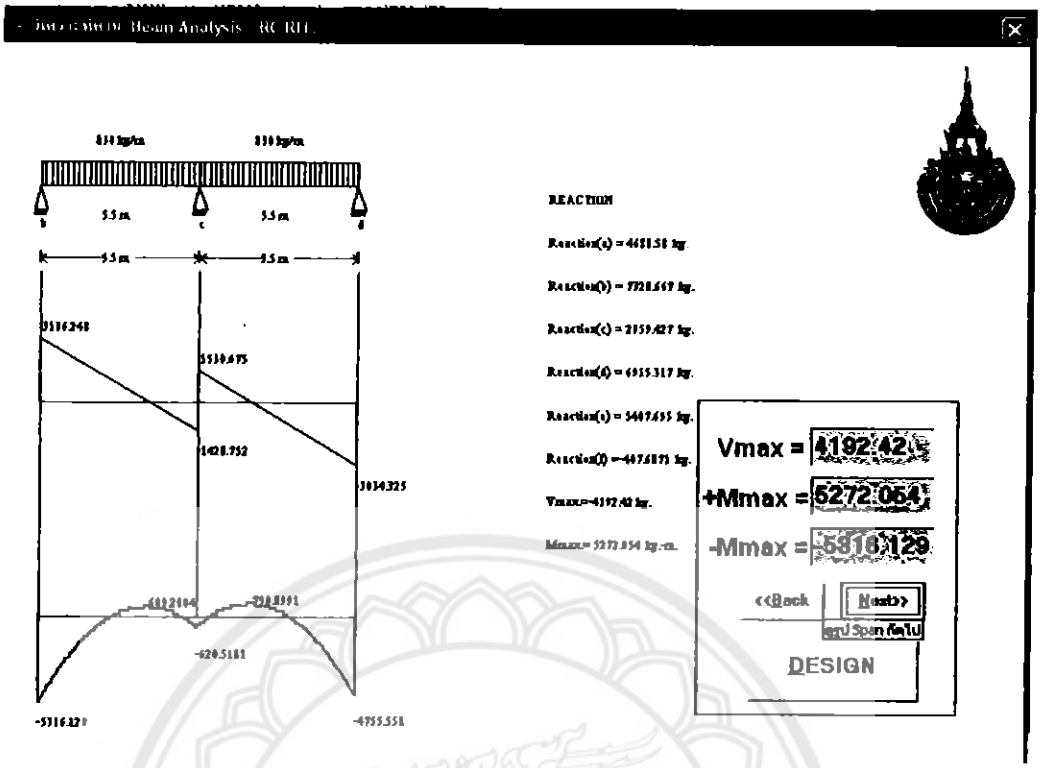
รูปที่ ผ. 2.1 ข



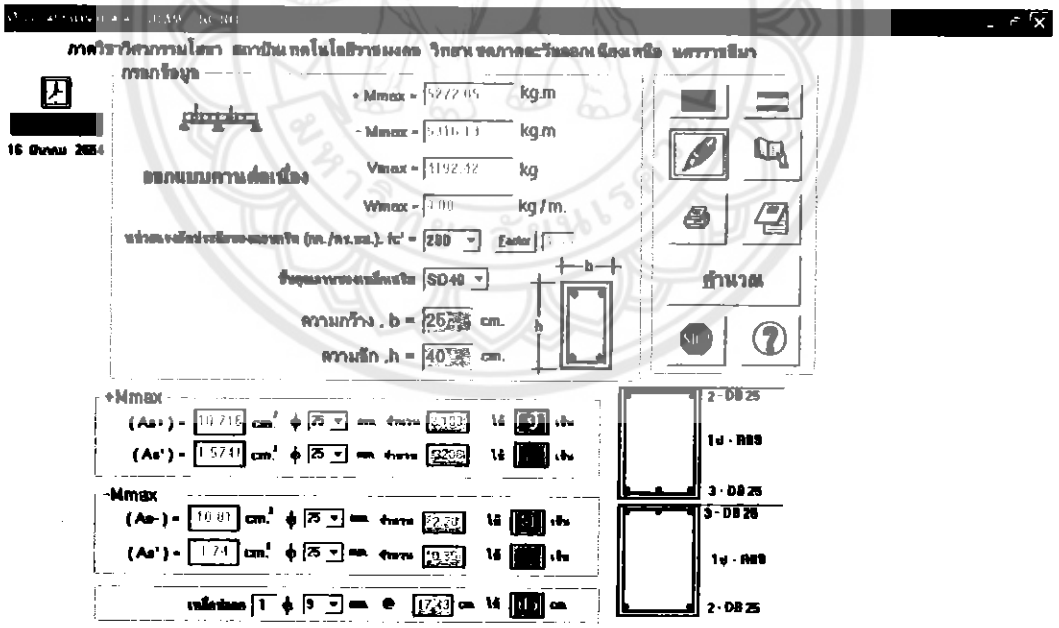
รูปที่ ผ. 2.2 ก



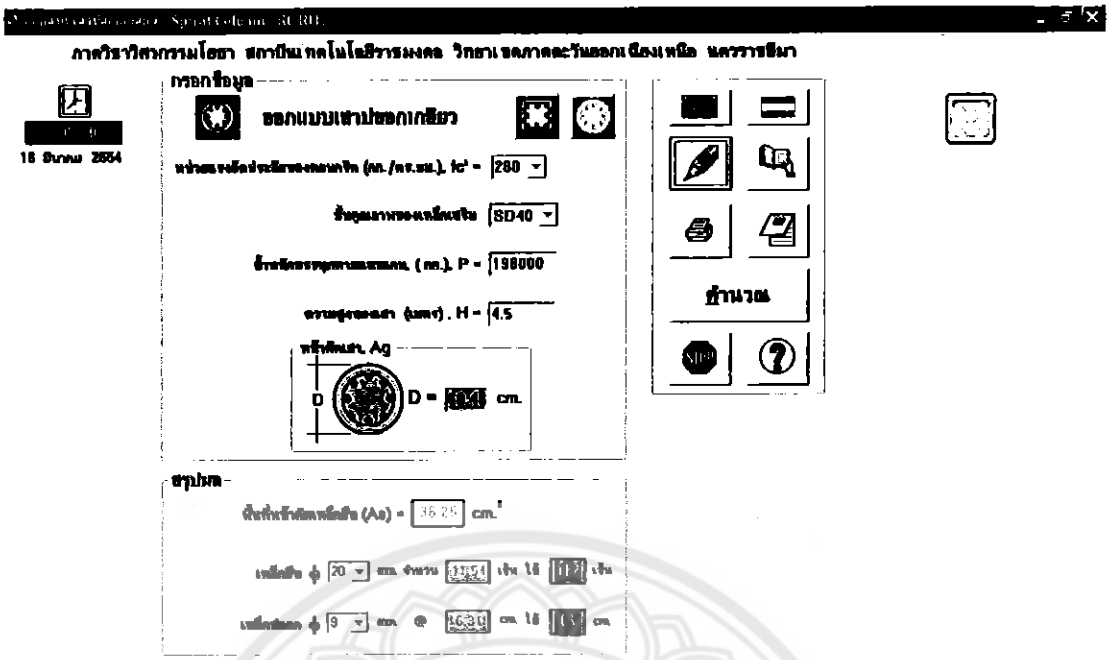
รูปที่ ผ.2.2 ข



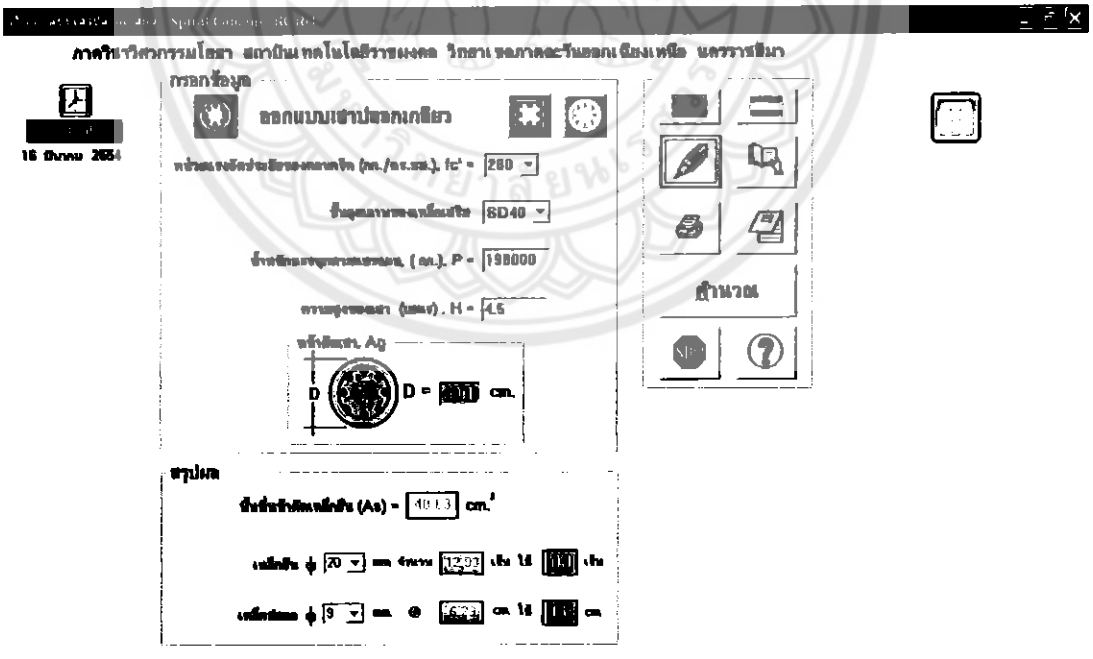
รูปที่ ผ.2.2 ก



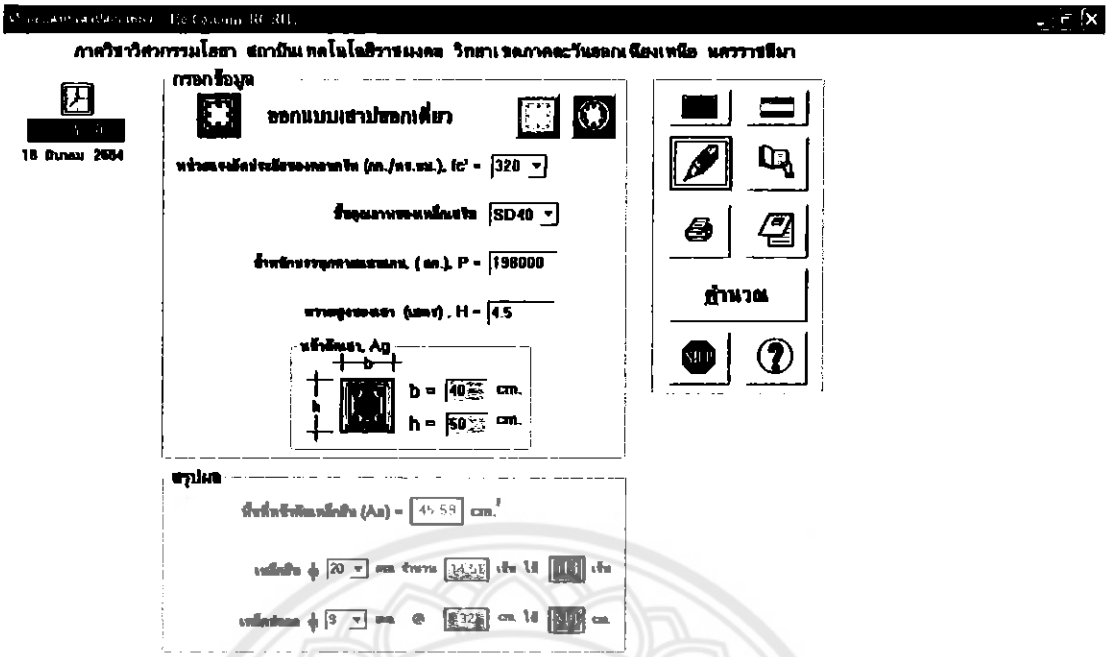
รูปที่ ผ.2.3 ก



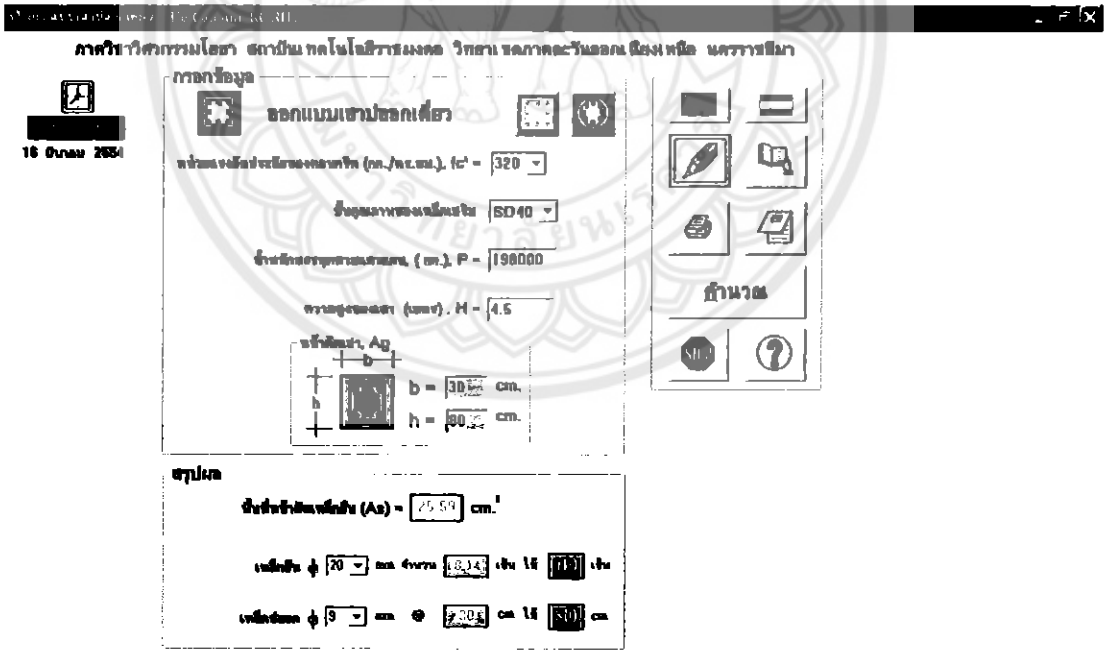
รูปที่ ผ. 2.4 ก



รูปที่ ผ. 2.4 ข



รูปที่ ผ. 2.4 ค



รูปที่ ผ. 2.4 ง

ตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุ(พื้น)

	ขนาด mm	พื้นที่หน้าตัด cm2/m	น้ำหนัก (Kg.)	ราคา Bath/Kg	ราคาค่าแรง (Bath)	ราคาค่าแรง&วัสดุ (Bath)	ราคาวัสดุ (Bath.)	ราคา (Bath.)	ปริมาตรคอนกรีต ต่อเมตร(m3)	ปริมาตรคอนกรีต ต่อตร.ม.(m3)	S/C (%)
แผ่นพื้น SD - 40	12	2.85	67.76	22.29	1510.44	344.92	6328.00	8183.36	240625.00	10590.00	0.440
	16	2.89	68.71	22.13	1520.64	344.92	6328.00	8193.56	240625.00	10711.00	0.445
	20	2.93	69.67	22.13	1541.69	344.92	6328.00	8214.61	240625.00	10832.00	0.450
	25	2.98	70.85	22.13	1568.00	344.92	6328.00	8240.92	240625.00	10983.25	0.456
	28	3.01	71.57	22.13	1583.78	344.92	6328.00	8258.70	240625.00	11074.00	0.460

	ขนาด mm	พื้นที่หน้าตัด cm2/m	น้ำหนัก (Kg.)	ราคา Bath/Kg	ราคาค่าแรง (Bath)	ราคาค่าแรง&วัสดุ (Bath)	ราคาวัสดุ (Bath.)	ราคา (Bath.)	ปริมาตรคอนกรีต ต่อเมตร(m3)	ปริมาตรคอนกรีต ต่อตร.ม.(m3)	S/C (%)
แผ่นพื้น SR - 24	9	3.86	91.78	22.80	2092.52	490.58	6329.00	8911.10	240625.00	14414.00	0.599
	12	3.90	92.73	22.59	2093.81	490.58	6328.00	8912.39	240625.00	14535.00	0.604
	15	3.94	93.68	22.26	2085.30	490.58	6328.00	8903.88	240625.00	14656.00	0.609
	19	3.99	94.97	22.26	2111.77	490.58	6328.00	8930.35	240625.00	14807.25	0.615
	25	4.08	97.01	22.26	2159.40	490.58	6328.00	8977.98	240625.00	15079.50	0.627

รูปที่ ผ 3.1

ตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุ(คาน)

ขนาด mm	Mmax(+) As+(cm2)	(เหล็กรับ) As'(cm2)	Mmax(-) As-(cm2)	(โมเม) As'(cm2)	พื้นที่หน้าตัด ต่อเมตร(cm2)	S/C	น้ำหนัก (Kg.)	ราคา(Bath/Kg) (ราคาเหล็ก)	ราคาค่าแรง (Bath)	ราคาค่าแรง (Bath.)	ราคา (Bath.)	ราคาต่อเมตร (Bath/m)
12	10.97	2.27	11.06	2.42	1000.00	2.67	125.80	22.29	2804.08	9231	12035.08	332.46
16	11.01	2.44	11.10	2.60	1000.00	2.72	127.86	22.13	2829.52	9231	12060.52	333.16
20	11.42	3.85	11.52	4.03	1000.00	3.08	145.13	22.13	3211.67	9231	12442.67	343.72
25	10.72	1.57	10.81	1.74	1000.00	2.48	116.94	22.13	2587.92	9231	11818.92	326.49
28	10.77	1.79	10.87	1.96	1000.00	2.54	119.55	22.13	2645.66	9231	11876.66	328.08
32	10.85	2.11	10.94	2.29	1000.00	2.62	123.28	22.13	2728.20	9231	11959.20	330.36
												fc'280

ขนาด mm	Mmax(+) As+(cm2)	(เหล็กรับ) As'(cm2)	Mmax(-) As-(cm2)	(โมเม) As'(cm2)	พื้นที่หน้าตัด ต่อเมตร(cm2)	S/C	น้ำหนัก (Kg.)	ราคา(Bath/Kg) (ราคาเหล็ก)	ราคาค่าแรง (Bath)	ราคาค่าแรง (Bath.)	ราคา (Bath.)	ราคาต่อเมตร (Bath/m)
12	11.11	11.95	11.20	12.19	1000.00	4.64	218.74	22.29	4875.90	8941.4	13817.20	381.69
16	11.27	14.84	11.37	15.15	1000.00	5.26	247.89	22.13	5485.85	8941.4	14427.25	398.54
20	11.44	12.18	11.54	12.40	1000.00	4.76	224.04	22.13	4957.92	8941.4	13899.32	383.96
25	10.74	9.58	10.83	9.79	1000.00	4.09	192.81	22.13	4266.93	8941.4	13208.33	364.87
28	10.81	10.13	10.91	10.35	1000.00	4.22	198.77	22.13	4398.76	8941.4	13340.16	368.51
32	10.92	10.93	11.01	11.17	1000.00	4.40	207.38	22.13	4589.33	8941.4	13530.73	373.79
												fc'210

รูปที่ ผ 3.2

ตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุก่อสร้าง (เสาปลอกเดี่ยว)

ขนาด mm	จำนวนเส้น	ความยาวเหล็กที่ใช้ (ค่าความคลุ่น +4.5 ซม.)	Nominal Mass (kg./ม.) (ตามมอก.)	น้ำหนักเหล็กทั้งหมด (Kg)	ราคา (Baht/Kg)	ราคาเหล็กรวม (Baht)	Nominal Cross Section Area (ตร.ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)	พื้นที่ผิวหน้าตัด ผิวหนัง(ตร.ม.)	EC	ราคาคอนกรีต (บาท/ลบ.ม.)	ราคาเหล็กรวม (บาท)
12	24	450	0.89	9613	22.50	216,292.50	1.13	0.002712	0.24	1.13	2650	4990.1
16	16	450	1.58	9604	22.50	216,090.00	2.01	0.003216	0.24	1.17	2650	5089.9
20	10	450	2.47	11115	22.50	250,087.50	3.14	0.00314	0.24	1.31	2650	5783.9
25	8	450	3.85	13848	22.50	311,580.00	4.91	0.003848	0.24	1.33	2650	5939.9
28	6	450	4.83	13041	22.50	293,422.50	6.16	0.003696	0.24	1.34	2650	5882.8
32	4	450	6.31	11371	22.50	255,847.50	8.04	0.003216	0.24	1.36	2650	5783.9
												เสาปลอกเดี่ยว Ag : 0.24 ตร.ม.

ขนาด mm	จำนวนเส้น	ความยาวเหล็กที่ใช้ (ค่าความคลุ่น +4.5 ซม.)	Nominal Mass (kg./ม.) (ตามมอก.)	น้ำหนักเหล็กทั้งหมด (Kg)	ราคา (Baht/Kg)	ราคาเหล็กรวม (Baht)	Nominal Cross Section Area (ตร.ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)	พื้นที่ผิวหน้าตัด ผิวหนัง(ตร.ม.)	EC	ราคาคอนกรีต (บาท/ลบ.ม.)	ราคาเหล็กรวม (บาท)
12	40	450	0.89	16022	22.50	360,495.00	1.13	0.004520	0.32	2.27	2650	8316.2
16	24	450	1.58	14414	22.50	324,315.00	2.01	0.004824	0.32	2.41	2650	8316.2
20	16	450	2.47	17784	22.50	400,140.00	3.14	0.005024	0.32	2.51	2650	8543.1
25	10	450	3.85	17310	22.50	389,475.00	4.91	0.00496	0.32	2.48	2650	8443.9
28	8	450	4.83	17388	22.50	391,230.00	6.16	0.004928	0.32	2.46	2650	8383.8
32	6	450	6.31	17037	22.50	383,332.50	8.04	0.004824	0.32	2.41	2650	8316.2
												เสาปลอกเดี่ยว Ag : 0.32 ตร.ม.

รูปที่ ผ 3.3 ก

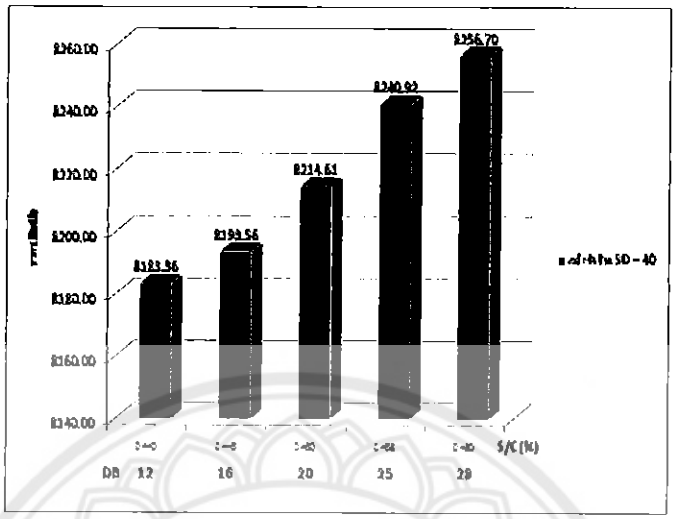
ตารางวิเคราะห์มูลค่าวัสดุก่อสร้าง (เสาปลอกเกลียว)

ขนาด mm	จำนวนเส้น	ความยาวเหล็กที่ใช้ (ค่าความคลุ่น +4.5 ซม.)	Nominal Mass (kg./ม.) (ตามมอก.)	น้ำหนักเหล็กทั้งหมด (Kg)	ราคา (Baht/Kg)	ราคาเหล็กรวม (Baht)	Nominal Cross Section Area (ตร.ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)	พื้นที่ผิวหน้าตัด ผิวหนัง(ตร.ม.)	EC	ราคาคอนกรีต (บาท/ลบ.ม.)	ราคาเหล็กรวม (บาท)
12	24	450	0.89	9613	22.50	216,292.50	1.13	0.002712	0.24	1.13	2650	4990.1
16	16	450	1.58	9604	22.50	216,090.00	2.01	0.003216	0.24	1.17	2650	5089.9
20	10	450	2.47	11115	22.50	250,087.50	3.14	0.00314	0.24	1.31	2650	5783.9
25	8	450	3.85	13848	22.50	311,580.00	4.91	0.003848	0.24	1.33	2650	5939.9
28	6	450	4.83	13041	22.50	293,422.50	6.16	0.003696	0.24	1.34	2650	5882.8
32	4	450	6.31	11371	22.50	255,847.50	8.04	0.003216	0.24	1.36	2650	5783.9
												เสาปลอกเกลียว Ag : 0.32 ตร.ม.

ขนาด mm	จำนวนเส้น	ความยาวเหล็กที่ใช้ (ค่าความคลุ่น +4.5 ซม.)	Nominal Mass (kg./ม.) (ตามมอก.)	น้ำหนักเหล็กทั้งหมด (Kg)	ราคา (Baht/Kg)	ราคาเหล็กรวม (Baht)	Nominal Cross Section Area (ตร.ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)	พื้นที่ผิวหน้าตัด ผิวหนัง(ตร.ม.)	EC	ราคาคอนกรีต (บาท/ลบ.ม.)	ราคาเหล็กรวม (บาท)
12	40	450	0.89	16022	22.50	360,495.00	1.13	0.004520	0.32	2.27	2650	8316.2
16	24	450	1.58	14414	22.50	324,315.00	2.01	0.004824	0.32	2.41	2650	8316.2
20	16	450	2.47	17784	22.50	400,140.00	3.14	0.005024	0.32	2.51	2650	8543.1
25	10	450	3.85	17310	22.50	389,475.00	4.91	0.00496	0.32	2.48	2650	8443.9
28	8	450	4.83	17388	22.50	391,230.00	6.16	0.004928	0.32	2.46	2650	8383.8
32	6	450	6.31	17037	22.50	383,332.50	8.04	0.004824	0.32	2.41	2650	8316.2
												เสาปลอกเกลียว Ag : 0.32 ตร.ม.

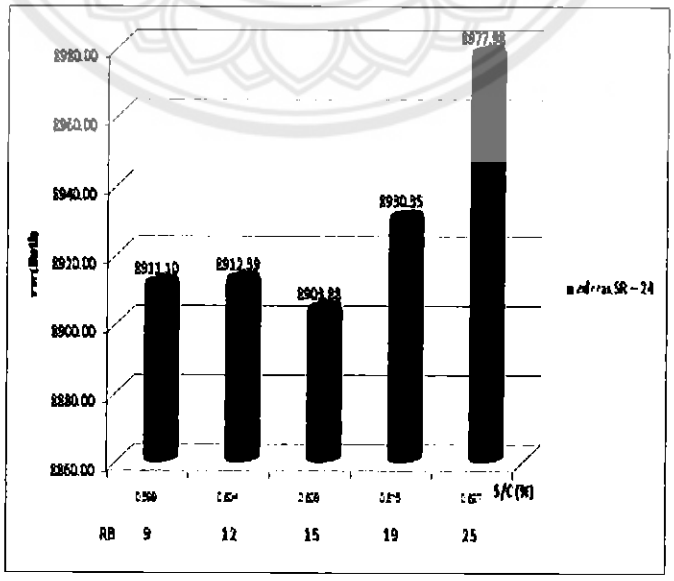
รูปที่ ผ 3.3 ข

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัตถุ (หิน เหล็กข้ออ้อยSD-40)



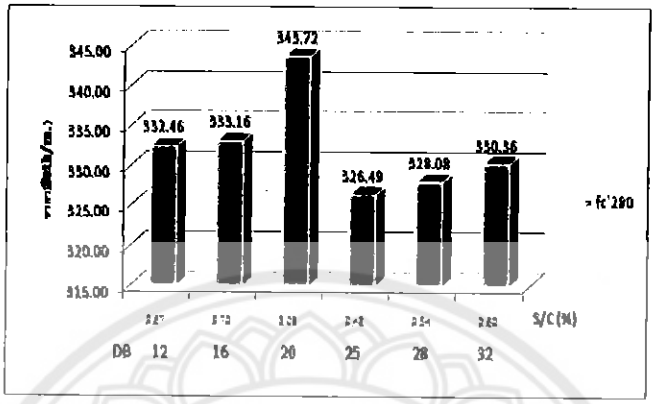
รูปที่ ผ. 4.1 ก

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัตถุ (หิน เหล็กกลม SR-24)



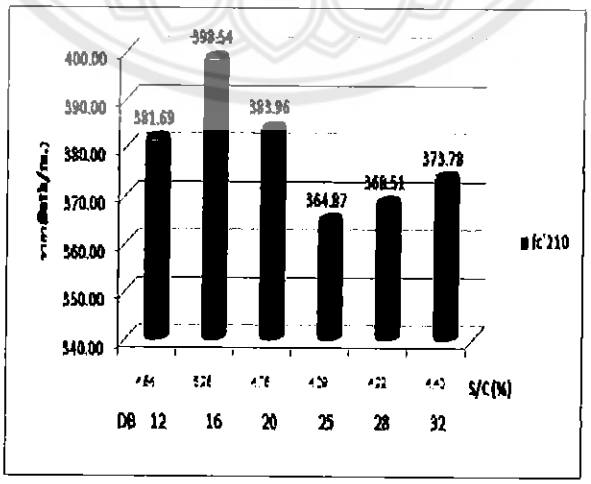
รูปที่ ผ. 4.1 ข

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ(คาน fc': 280 กก./ตร.ซม.)



รูปที่ ผ.4.2 ก

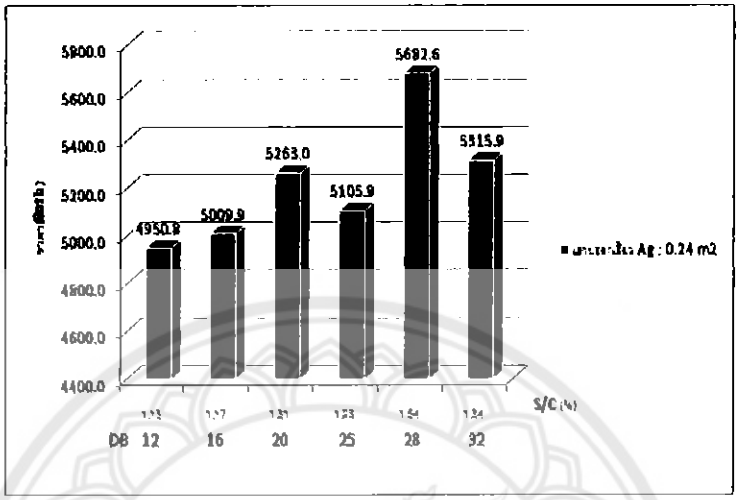
กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ(คาน fc': 210 กก./ตร.ซม.)



รูปที่ ผ.4.2 ข

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ

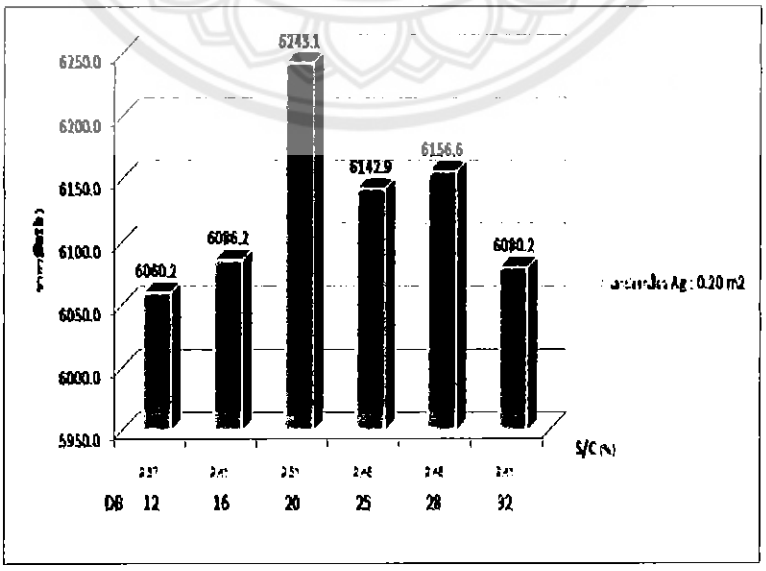
(เสาปลอกเดี่ยว Ag : 0.24 m^2)



รูปที่ ผ. 4.3 ก

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ

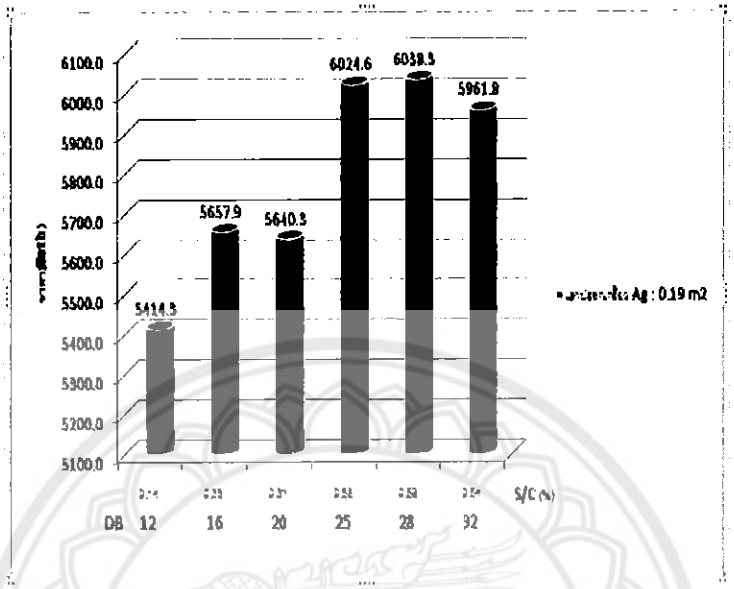
(เสาปลอกเดี่ยว Ag : 0.20 m^2)



รูปที่ ผ. 4.3 ข

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ

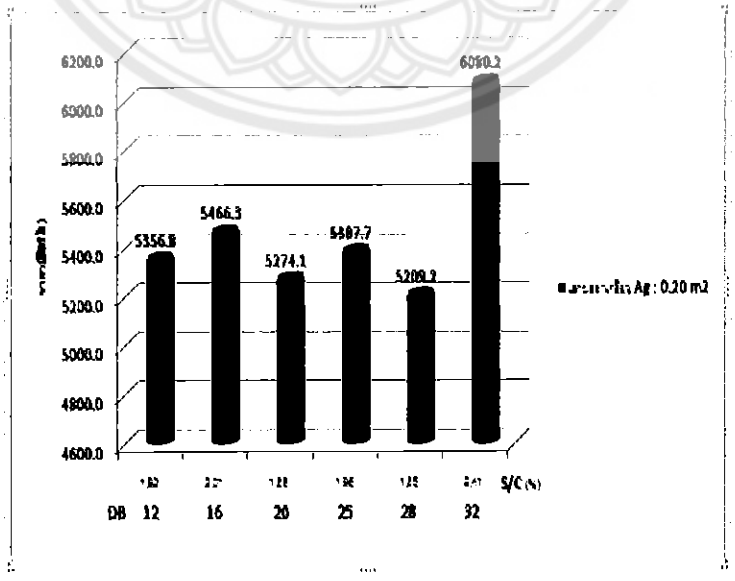
(เสาปลอกเกลียว Ag : 0.19 m^2)



รูปที่ ผ. 4.3 ค

กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของมูลค่าวัสดุ

(เสาปลอกเกลียว Ag : 0.20 m^2)



รูปที่ ผ. 4.3 ง.

ราคาวัสดุก่อสร้าง

(ราคาเงินสด ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ไม่รวมค่าขนส่ง)

เดือน มกราคม ปี 2554 กรุงเทพมหานคร กระทรวงพาณิชย์

0101000000000000	คอนกรีตผสมเสร็จ	หน่วย	เดือนก่อนหน้า	มกราคม
0101010000000000	กำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.) รูปลูกบาศก์ 15x15x15 ซม. และรูปทรงกระบอก 15 x 30 ซม. ตราซีแพค * กทม.รอบใน			
0101010100100000	รูปลูกบาศก์ 180 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 140 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,430.00	2,430.00
0101010100200000	รูปลูกบาศก์ 210 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 180 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,470.00	2,470.00
0101010100300000	รูปลูกบาศก์ 240 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 210 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,510.00	2,510.00
0101010100400000	รูปลูกบาศก์ 280 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 240 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,550.00	2,550.00
0101010100500000	รูปลูกบาศก์ 320 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 280 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,630.00	2,630.00
0101010100600000	รูปลูกบาศก์ 350 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 300 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,680.00	2,680.00
0101010100700000	รูปลูกบาศก์ 380 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 320 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,740.00	2,740.00
0101010100800000	รูปลูกบาศก์ 400 กก./ตร.ซม. และรูปทรงกระบอก 350 กก./ตร.ซม.*	ลบ.ม.	2,810.00	2,810.00

0401010100000000	**เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ SR.24 (มอก. 20 - 2527)**			
0401010100100000	**ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 10 เมตร**	**ตัน**	22,240.00	23,640.00
0401010100200000	**ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. ยาว 10 เมตร**	**ตัน**	21,360.00	22,800.00
0401010100300000	**ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 10 เมตร**	**ตัน**	20,940.00	22,580.00
0401010100400000	**ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 10 เมตร**	**ตัน**	20,820.00	22,260.00
0401010100500000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,820.00	22,260.00
0401010100600000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,820.00	22,260.00
0401020000000000	**เหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย**			
0401020100000000	**เหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย SD.30 (มอก. 24 - 2536)**			
0401020100100000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,680.00	22,150.00
0401020100200000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,480.00	21,850.00
0401020100300000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,480.00	21,950.00
0401020100400000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,480.00	21,950.00
0401020100500000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,480.00	21,950.00
0401020200000000	**เหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย SD.40 (มอก. 24 - 2536)**			
0401020200200000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,840.00	22,290.00
0401020200300000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,680.00	22,130.00
0401020200400000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,680.00	22,130.00
0401020200500000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,680.00	22,130.00
0401020200600000	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มม. ยาว 10 เมตร	ตัน	20,680.00	22,130.00

รูปที่ ผ. 4.4

ภาคผนวก (ก.)

ตารางที่ ผ.(ก.)1.1 ตัวอย่างโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity: *Es*) **ของคอนกรีต ที่ค่า** *fc'* **ต่างๆ**

รายการ	*fc'* (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
Es(kg/cm^2)	183,152.70	201,208.40	220,413.80	235,632.30	251,511.98

โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity: Es) ของคอนกรีต ที่ค่า *fc'* ต่างๆ **ใช้สมการในการคำนวณดังนี้**

$Es = 15{,}210\sqrt{fc'}$ (kg/cm^2)

เมื่อกำหนดให้

Es = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (kg/cm^2)

fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (kg/cm^2)

ตารางที่ ผ.(ก.)1.2 ตัวอย่างหน่วยแรงอัดปลอดภัย (*fc*) ของคอนกรีต ที่ค่า *fc'* ต่างๆ

รายการ	*fc'* (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
fc (kg/cm^2)	65	79	95	108	126

หน่วยแรงอัดปลอดภัย (*fc*) ของคอนกรีต ที่ค่า *fc'* ต่างๆ ใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$fc = 0.45\,fc'$ (kg/cm^2)

เมื่อกำหนดให้

fc = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต (kg/cm^2)

fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (kg/cm^2)

อย่างไรก็ตาม ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 ให้ใช้หน่วยแรงอัดปลอดภัย (fc) ของคอนกรีต ไม่เกิน 65 kg/cm^2

ตารางที่ ผ.(ก.)1.3 ตัวอย่างหน่วยแรงเฉือนของคานที่ไม่มีเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน (Vc) ที่ค่า fc' ต่างๆ

รายการ	fc' (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
Vc (kg/cm^2)	3.49	3.84	4.20	4.49	4.85

หน่วยแรงเฉือนของคานที่ไม่มีเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน (Vc) ที่ค่า fc' ต่างๆ ใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$Vc = 0.29\sqrt{fc'} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

เมื่อกำหนดให้

Vs = หน่วยแรงเฉือนของคานที่ไม่มีเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน (kg/cm^2)

fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (kg/cm^2)

ตารางที่ ผ.(ก.)1.4 ตัวอย่างอัตราส่วนของโมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริมต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (n) ที่ค่า fc' ต่างๆ

รายการ	fc' (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
Es(kg/cm^2)	183,152.70	201,208.40	220,413.80	235,632.30	251,511.98
n	11	10	9.3	8.7	8

อัตราส่วนของโมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริมต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (n) ที่ค่า fc' ต่างๆ ใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$n = Es / Ec \qquad (kg/cm^2)$$

เมื่อกำหนดให้

Ec = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (kg/cm^2)

fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (kg/cm^2)

Es = โมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริม ใช้ 2.04×10^6 (kg/cm^2)

ตารางที่ ผ.(ก.)1.5 ค่า k j และ R ที่ fc' และ fc ต่างๆ กรณีเหล็ก RB และ fs เท่ากับ 1,200 kg/cm^2

รายการ	fc' (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
fc (kg/cm^2)	65	79	95	108	126
n	11	10	9.3	8.7	8

รายการ	f_c' (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
k	0.373	0.397	0.424	0.439	0.457
j	0.876	0.868	0.859	0.854	0.848
R	10.62	13.61	17.30	20.24	24.38

ตารางที่ ผ.(ก.)1.6 ค่า k ,j และ R ที่ f_c' และ f_c ต่างๆ กรณีเหล็ก DB และ f_s เท่ากับ 1,500 kg/cm^2

รายการ	f_c' (kg/cm^2)				
	145	175	210	240	280
f_c (kg/cm^2)	65	79	95	108	126
n	11	10	9.3	8.7	8
k	0.323	0.345	0.371	0.385	0.402
j	0.892	0.885	0.876	0.872	0.866
R	9.36	12.06	15.43	18.13	21.93

คำอธิบายตารางที่ ผ1.5 และ ผ1.6

ค่า k ,j และ R ที่ f_c' และ f_c ต่างๆ กรณีเหล็ก RB ใช้สมการในการคำนวณดังนี้

1. $k = 1/(1+(f_s/n.f_c))$

2. $j = 1-(k/3)$

3. $R = \frac{1}{2} . f_c . k . j$ kg/cm^2

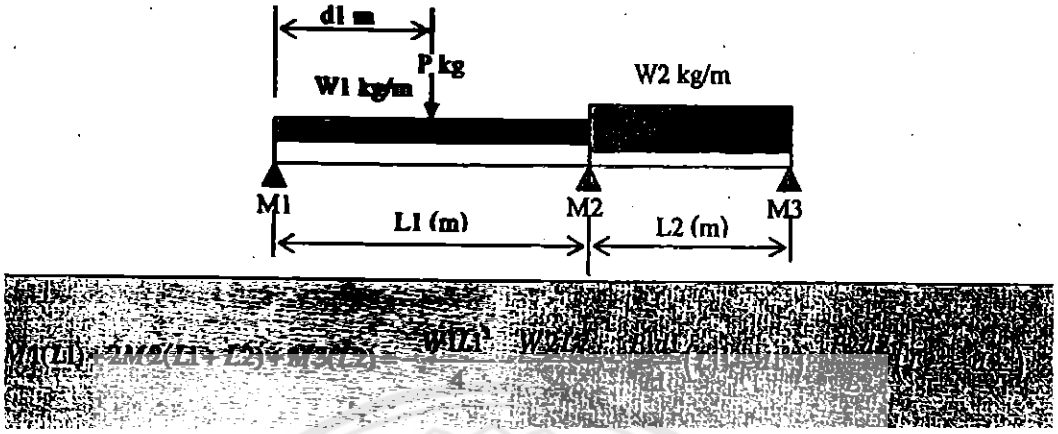
ตารางที่ ผ.(ก.)1.7 คุณสมบัติของเหล็ก RB สำหรับการออกแบบ

ชนิด (สัญลักษณ์)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	เส้นรอบรูป (cm.)	พื้นที่หน้าตัด ($cm.^2$)
RB6	6	1.886	0.28
RB9	9	2.829	0.64
RB12	12	3.771	1.13
RB15	15	4.714	1.77
RB19	19	5.971	2.84
RB25	25	7.857	4.91

ตารางที่ ผ.(ก.)1.8 คุณสมบัติของเหล็ก DB สำหรับการออกแบบ

ชนิด (สัญลักษณ์)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	เส้นรอบรูป (cm.)	พื้นที่หน้าตัด ($cm.^2$)
DB10	10	3.140	0.78
DB12	12	3.771	1.13
DB16	16	5.029	2.01
DB20	20	3.290	3.14
DB25	25	7.857	4.91
DB28	28	8.800	6.61
DB32	32	10.060	8.04

ตารางที่ ผ.(ก.)1.9 ตัวอย่างสมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนต์และแรงปฏิกิริยา ในคานต่อเนื่อง



ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวสุนีรัตน์ คงเนียม

ภูมิลำเนา 92 ถ.ราเมศวร ต. ในเมือง อ. เมือง จ. พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- ประกาศนียบัตรประกอบวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) สาขาวิชา ช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tuokke@hotmail.com

ชื่อ นายวารินทร์ ตนพยอม

ภูมิลำเนา 65/44 ถ.ราชดำเนิน 2 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

-มัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม

-ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: holysmall@hotmail.com