ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้กับแรงที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

Accepted tolerances with decreasing force of reinforced concrete columns

โดย

นายบุญเลิศ เนตรบุตร

นายพิษณุ รัตนมังคละ

วัน เดือน ปี 15 ตค. 2541

เลขทะเบียน 038997

เลขเรียกหนังสือ T 40138 บ.๖๒๓

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038997

ACCEPTED TOLERANCES WITH DECREASING FORCE OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

BY

MR.BOONLERT NATBOOT

MR.PISANU RATTANAMANGKA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENTS

FOR THE BACHELOR'S DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ : ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้กับแรงที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Accepted tolerances with decreasing force of reinforce concrete - columns)

นักศึกษา : 1. นายบุญเลิศ เนตรบุตร รหัสประจำตัว 37014219

: 2. นายพิษณุ รัตนมังคละ รหัสประจำตัว 37014292

หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล	.....
2. อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	.....
3. อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้กับแรงที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ACCEPTED TOLERANCES WITH DECREASING FORCE OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

โดย : นายบุญเลิศ เนตรบุตร

: นายพิษณุ รัตนมังคละ

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่องความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้กับแรงที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีวัตถุประสงค์ เพื่อรวบรวมข้อมูลมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ วิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และเขียนโปรแกรมคำนวณ SafeRCcol เพื่อแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างการรับน้ำหนักจริง และค่าที่ได้จากการออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย โปรแกรมดังกล่าวเหมาะสำหรับการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นเสาสั้น เสาปลอกเดี่ยว และเสาเกิดการหนีศูนย์แกนเดียว

ABSTRACT

The aims of this study are (i) to collect the accepted tolerances (ii) to analyze the factors effected the reinforced concrete columns due to construction technique, material properties and (iii) to write the program, SafeRCcol, for calculate the loading capacity of the reinforced concrete columns which can be compared with the designed values. SafeRCcol is suitable for analysis the load capacity of the reinforced concrete columns, short length, tied and one-eccentric columns.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้กำลังรับแรงในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง เพื่อนำผลที่ได้ไปช่วยในการตัดสินใจในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อมีความคลาดเคลื่อน

ทางกลุ่มผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ผู้ได้ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

และขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่างดีเยี่ยม น้อง ๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องเอกสารตลอดจนผู้ใหญ่ที่คอยให้กำลังใจ ในการทำโครงงานพิเศษนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และสุดท้ายขอขอบคุณคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือให้โครงงานพิเศษฉบับนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

นายบุญเลิศ เนตรบุตร
นายพิษณุ รัตนมังคละ
ชั้นปี 4H วิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฌ
สัญลักษณ์	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	2
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานพิเศษ	3
2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการลดกำลังของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 มาตรฐานและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	4
2.3 พฤติกรรมการรับน้ำหนักและปัจจัยที่ทำให้กำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง	14
2.4 ลักษณะการวิบัติของเสาสั้น	28
2.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์การสูญเสียกำลังการรับน้ำหนัก	30
3. การทำงานของโปรแกรม SafeRCcol	42
3.1 กล่าวนำ	42
3.2 การพัฒนาโปรแกรม	42
3.3 ความต้องการทางด้านฮาร์ดแวร์	42
3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.5 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม 45

4. ตัวอย่างการคำนวณกำลังรับน้ำหนักโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 48

4.1 กล่าวนำ 48

4.2 ตัวอย่างการคำนวณกำลังรับน้ำหนักโดยโปรแกรม SafeRCcol 48

4.3 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดระหว่างการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ 55

5. สรุปผลและวิจารณ์ 63

5.1 กล่าวนำ 63

5.2 สรุปผลการทำโครงงานพิเศษ 63

5.3 ข้อเสนอแนะโครงงานพิเศษ 64

เอกสารอ้างอิง 65

ภาคผนวก 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดระบุมวลต่อเมตรและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเหล็กเส้นกลม	5
2.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับความยาวของเหล็กเส้นกลม	5
2.3 คุณสมบัติที่ต้องการของเหล็กเส้นกลม	6
2.4 ขนาดระบุ มวลต่อเมตรและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเหล็กข้ออ้อย	7
2.5 ช่วงระหว่างบั้ง ส่วนสูงบั้งและความกว้างของครีบของเหล็กข้ออ้อย	8
2.6 ความต้านทานแรงดึงและความยืดของเหล็กข้ออ้อย	8
2.7 คุณสมบัติที่ต้องการของเหล็กข้ออ้อย	9
4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างจริงกับค่ามาตรฐาน	51
4.2 ผลการวิเคราะห์กำลังการรับน้ำหนักเมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียกำลังโดยโปรแกรม SafeRCcol จากตัวอย่างการคำนวณ	52
4.3 ผลการเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณกำลังระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม SafeRCcol กับการออกแบบ ตัวอย่างที่1	56
4.4 ผลการเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณกำลังระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม SafeRCcol กับการออกแบบ ตัวอย่างที่2	57
4.5 ผลการเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณกำลังระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม SafeRCcol กับการออกแบบ ตัวอย่างที่3	58
4.6 ผลการเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณกำลังระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม SafeRCcol กับการออกแบบ ตัวอย่างที่4	59
4.7 ผลการเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณกำลังระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม SafeRCcol กับการออกแบบ ตัวอย่างที่5	60
4.8 ผลการเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณกำลังระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรม SafeRCcol กับการออกแบบ ตัวอย่างที่6	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าตัดแปลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	17
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบและเวลาหลังรับน้ำหนักบรรทุก	21
2.3 การล้าของคอนกรีต	24
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเวลา	27
2.5 การหดตัวของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	27
2.6 หน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเหล็กยืนของเสาสั้นถูกแรงกระทำตามแกน	29
2.7 ตำแหน่งเสากับการรับน้ำหนักในโครงสร้างอาคาร	30
2.8 ขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กของเสาที่ได้จากการออกแบบ	31
2.9 การหนีศูนย์ของหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	37
2.10 หน่วยแรงที่ลดลงในคอนกรีตเนื่องจากเสาหนีศูนย์	38
2.11 การหดตัวของเหล็กเสริมในหน้าตัดเสาเนื่องจากเสาหนีศูนย์	39
3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม SafeRCcol	44
3.2 หน้าต่างก่อนเข้าสู่โปรแกรม SafeRCcol	45
3.3 หน้าต่างโปรแกรม SafeRCcol	46
3.4 หน้าต่างใช้ในการป้อนข้อมูลจากการออกแบบ	46
3.5 หน้าต่างที่ใช้ป้อนข้อมูลจากการก่อสร้างจริง	47
3.6 หน้าต่างแสดงปุ่มการคำนวณ	47
3.7 หน้าต่างแสดงปุ่มที่จะแสดงผลการคำนวณ	47
4.1 หน้าตัดเสาที่ได้จากการออกแบบเพื่อนำไปคำนวณโดยโปรแกรม SafeRCcol	48
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสารับได้	53
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกกับเวลา	54
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณเพิ่มกับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	54
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหน้าตัดเสากับตัวคูณลดของการหนีศูนย์จากโครงงานพิเศษเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการออกแบบ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

P_u = น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับได้

f_c' = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

f_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม

A_c = พื้นที่หน้าตัดของเสาส่วนที่เป็นพื้นที่คอนกรีต

A_{st} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่

LL = น้ำหนักบรรทุกจร

A_s = พื้นที่เหล็กเสริมด้านที่ไม่รับแรงอัด

A_s' = พื้นที่เหล็กเสริมด้านรับแรงอัด

A_t = พื้นที่หน้าตัดแปลง

I_t = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลง

M = โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเสาหนีศูนย์

e = ระยะหนีศูนย์ของเสา

c = ระยะครึ่งหนึ่งของความกว้างเสาด้านที่รับโมเมนต์จากการหนีศูนย์

f_{ce} = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดแปลงมีค่าสูงสุดและต่ำสุด

C_t = สัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีต ณ เวลาใด ๆ หลังรับน้ำหนักบรรทุก

C_u = สัมประสิทธิ์การล้าสูงสุด

t_1 = เวลาเป็นวันโดยนับหลังวันที่รับน้ำหนักบรรทุก

t = อายุคอนกรีตหลังเทลงแบบ

t_0 = เวลาที่คอนกรีตได้รับน้ำหนักบรรทุก

f_{ci}' = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เมื่อเริ่มต้นรับน้ำหนักบรรทุก

h = ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

V = ปริมาตรเสาคอนกรีต

S = พื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ

f_{ct}' = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เวลาใด ๆ

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

E_s = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม

w = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_c = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในคอนกรีต

f_s = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กยืน

P = น้ำหนักบรรทุกที่กระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัด

A_g = พื้นที่หน้าตัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

f_{cc} = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในคอนกรีต เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

f_{sc} = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กยืน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

t_{c1} = เวลาเป็นวันหลังจากบ่มชื้น

ε_{shu1} = หน่วยการหดตัวอิสระสูงสุดของคอนกรีตที่เสนอโดย branson

ε_{shu} = หน่วยการหดตัวอิสระสูงสุดของคอนกรีตเมื่อไม่มีเหล็กเสริม

ε_{sh} = หน่วยการหดตัวอิสระที่เวลาใด ๆ เมื่อไม่มีเหล็กเสริม

$f_{cc'}$ = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต หลังจากการบ่มชื้น

t_c = เวลาที่คอนกรีตได้รับการบ่มชื้น

$\beta(t)$ = ความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับเวลาที่คอนกรีตได้รับการบ่มชื้น ปริมาตรและพื้นที่ผิวสัมผัสที่สัมผัสกับอากาศ ซึ่งมีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต

$\beta(h)$ = ความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต

$\phi P_{n(max)}$ = ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากการออกแบบ

ρ = อัตราส่วนระหว่างเหล็กเสริมกับหน้าตัดเสา

A_{g1} = ขนาดพื้นที่หน้าตัดเสาที่ได้จากการวัดขนาดจริง

A_{c1} = ขนาดพื้นที่หน้าตัดเสาส่วนที่เป็นคอนกรีตที่ได้จากการวัดจริง.

*$f_{c'}$ = ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ

*E_c = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตคำนวณจากค่า *$f_{c'}$

f_{c1}. = ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตเมื่อเริ่มมีแรงมากระทำ

f_{si} = ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมเมื่อเริ่มมีแรงมากระทำ

f_{ct} = ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตที่พิจารณาหลังได้รับน้ำหนักบรรทุก ณ.เวลาใดๆ

f_{st} = ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมที่พิจารณาหลังได้รับน้ำหนักบรรทุก ณ.เวลาใดๆ

ε_{si} = หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

ε_{sc} = หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมเนื่องจากการล้าจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง.

ε_{cc} = หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมเนื่องจากการล้าจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง

ε_{ci} = หน่วยการหดตัวในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

f_{ci} = ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อทำหน้าที่รับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน ความสามารถในการรับน้ำหนัก ย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิ คุณสมบัติของคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ ขนาดรูปร่างและเทคนิคการก่อสร้างแต่ในการทำงานจริงความสามารถในการรับน้ำหนัก ของเสาจะลดลงอันเนื่องมาจาก คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องจากอิทธิพลต่างๆ อาทิ เกิดการล้า และการหดตัวของคอนกรีต หรือความไม่เที่ยงตรงในการก่อสร้าง เช่น ความสามารถในการรับกำลังของคอนกรีตลดลง หรือ หล่อเสาหนีศูนย์ ถึงแม้ปัญหาบางอย่างจะมีมาตรฐานความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เป็นข้อกำหนดแล้วก็ตาม แต่ยังมีพฤติกรรมบางอย่างที่ไม่สามารถพิสูจน์ได้ ณ.สถานที่ก่อสร้าง เช่นการล้าและการหดตัวเนื่องจากการเสียความชื้นของคอนกรีต ทำให้ผู้ควบคุมงานไม่สามารถมั่นใจได้ว่าเสานั้นยังรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย เพราะไม่มีผลการรับรองที่แน่นอน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจัดทำโครงงานพิเศษนี้ขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อแสดงคุณสมบัติและมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ของ คอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2.2 เพื่อแสดงผลที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ รวมทั้งกระบวนการก่อสร้าง ที่มีผลต่อกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์หากำลังการรับน้ำหนักของเสาที่เกิดขึ้นจริงอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ รวมทั้งกระบวนการก่อสร้าง แล้วเปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้จากการออกแบบว่ายังอยู่ในอัตราส่วนความปลอดภัยที่สามารถยอมรับได้หรือไม่

1.2.4 เพื่อแสดง Program Computerในการวิเคราะห์หากำลังการรับน้ำหนักของเสาที่เกิดขึ้นจริงอันเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ รวมทั้งกระบวนการก่อสร้างเปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้จากการออกแบบ ซึ่งกำลังที่เกิดขึ้นจริงอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัย ที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอมรับได้ หรือไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อันจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจของผู้ควบคุมงาน ณ.สถานที่ก่อสร้างได้ถูกต้องและรวดเร็ว

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้กับแรงที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านต่างๆ รวมทั้งมาตรฐานความคลาดที่ยอมรับได้ ของคอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ ที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ต่างมีผลต่อการลดลงของกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก อาทิ อิทธิพลเนื่องจากการล้า และการหดตัวของคอนกรีต แล้วนำความสัมพันธ์ของคุณสมบัติและความคลาดเคลื่อนเหล่านี้มาวิเคราะห์หากำลังการรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้โปรแกรม SafeRCcol และนำผลคำนวณมาเปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้จากการออกแบบ พร้อมแสดงผลการผ่านเกณฑ์หรือต่ำกว่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับได้ เพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้ควบคุมงานได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติ และมาตรฐานความคลาดเคลื่อน ที่ยอมรับได้ของ คอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.4.2 ศึกษาถึงผลกระทบจากคุณสมบัติ และความคลาดเคลื่อน ที่ทำให้กำลังการรับน้ำหนักของเสา คอนกรีตเสริมเหล็กลดลง โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านการล้า และการหดตัวของคอนกรีต

1.4.3 ศึกษาที่มาของตัวคูณลดกำลังที่ใช้ใน ทฤษฎีการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง

1.4.4 วิเคราะห์หากำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่สามารถรับได้จริง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักที่ได้จากการออกแบบ

1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

1.5.1 ศึกษาคุณสมบัติของ คอนกรีต เหล็กเสริม และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังการรับน้ำหนักของ เสา คอนกรีตเสริมเหล็ก

1.5.2 รวบรวมข้อมูลมาตรฐานความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ของ คอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.5.3 ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในสถานที่ก่อสร้างจริง เมื่อเกิดการคลาดเคลื่อนจากการก่อสร้าง

1.5.4 เขียน Program Computerโดยใช้ภาษา Delphi 2 หากำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.5 วิเคราะห์ข้อมูลจากการก่อสร้างจริงเพื่อเปรียบเทียบกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักจริงกับค่าจากการออกแบบตามทฤษฎีกำลังประลัยและพิจารณาผลการยอมรับค่าที่ได้จากการก่อสร้างจริง

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงงานพิเศษ

1.6.1 ได้ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของ คอนกรีต เหล็กเสริม ไม้แบบ รวมทั้งมาตรฐาน ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

1.6.2 จากผลการวิเคราะห์หากำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากความคลาดเคลื่อน และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่เกิดขึ้นก่อน และหลังการก่อสร้างเสร็จ สามารถช่วยในการตัดสินใจของผู้ควบคุมงานได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น

1.6.3 ความรู้ที่ได้จากการทำโครงงานพิเศษนี้ สามารถนำไปใช้ประกอบอาชีพวิศวกรรมโยธา ในภายภาคหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการลดกำลังของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.1 กล่าวนำ

โดยทั่วไปค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ได้จากการออกแบบกับค่าที่ได้จากการก่อสร้างจริงอาจไม่เท่ากัน เป็นผลดีเมื่อค่าความสามารถในการรับน้ำหนักที่ได้จากการก่อสร้าง มีค่ามากกว่าค่าจากการออกแบบ นับเป็นผลเสียหากเป็นตรงข้ามกับดังกล่าวข้างต้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ควบคุมงาน ต้องพิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ปัจจัยต่างๆที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้จากการออกแบบแตกต่างจากค่าที่ได้เกิดจากการก่อสร้างจริงมีดังนี้

2.1.1 ความคลาดเคลื่อนของวัสดุที่ประกอบขึ้น เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งก็คือ คอนกรีตเหล็กเสริม และแบบหล่อ

2.1.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่เกิดขึ้นเช่น การคืบ การหดตัวของคอนกรีตหรือกำลังของคอนกรีตที่นำมาก่อสร้างน้อยกว่าที่ออกแบบไว้

2.1.3 ความไม่เที่ยงตรงในการก่อสร้าง เช่น การหล่อเสาหนีศูนย์

2.2 มาตรฐานและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ขององค์ประกอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

องค์ประกอบของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่สำคัญ ได้แก่ เหล็กเสริมคอนกรีต คอนกรีต และแบบหล่อ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

2.2.1 เหล็กเสริม ประกอบด้วย

2.2.1.1 เหล็กเส้นกลม เหล็กเส้นกลมที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [1] ชั้นคุณภาพเดียวคือ SR24 คือกำลังรับแรงดึงที่จุดครากเท่ากับ 2400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีขนาดระบุ มวลต่อเมตรและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนแสดงในตารางที่2.1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับความยาวแสดงในตารางที่2.2 และคุณสมบัติที่ต้องการของเหล็กเส้นกลมแสดงในตารางที่2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.1ขนาดระบุมวลต่อเมตรและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม2527)

ชื่อขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	พื้นที่ภาคตัดขวาง (ตารางมิลลิเมตร)	มวลต่อเมตร (กิโลกรัม)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน สำหรับมวลต่อเมตร	
				เฉลี่ย ร้อยละ	แต่ละเส้น ร้อยละ
RB 6	6	28.3	0.222	±5.0	±10.0
RB 9	9	63.6	0.499	±5.0	±10.0
RB 12	12	113.1	0.888	±5.0	±10.0
RB 15	15	176.7	1.387	±5.0	±10.0
RB 19	19	283.5	2.226	±3.5	±6.0
RB 22	22	380.1	2.984	±3.5	±6.0
RB 25	25	490.9	3.853	±3.5	±6.0
RB 28	28	615.8	4.834	±3.5	±6.0
RB 34	34	907.9	7.127	±3.5	±6.0

หมายเหตุ เหล็กเส้นกลมที่ทำด้วยเหล็กกล้าละมุนมีมวล 0.785 กิโลกรัมต่อความยาว 1 เมตร เมื่อมีพื้นที่ภาคตัดขวาง1ตารางเซนติเมตร หากพื้นที่ภาคตัดขวางต่างไปจาก 1 ตารางเซนติเมตรอาจคำนวณได้จากสูตร

มวลต่อเมตร=$0.785\frac{\pi}{2}D^2$ กิโลกรัมหรือ $0.6165\,D^2$ กิโลกรัมเมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับความยาว (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2527)

ความยาว	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับความยาว
ไม่เกิน 10 เมตร	0 ถึง +55 มิลลิเมตร
เกิน 10 เมตร	ส่วนเกิน:ยอมให้เกินกว่า55มิลลิเมตรได้อีก 5 มิลลิเมตร ทุกๆ 1 เมตรที่ มากกว่า10เมตรแต่ส่วนเกินทั้งหมดต้องไม่เกินกว่า 120 มิลลิเมตร ส่วนขาด: ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติที่ต้องการของเส้นเหล็กกลม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2527)

หัวข้อ	คุณสมบัติ
ก.ลักษณะทั่วไป	-เหล็กเส้นกลมต้องมีผิวเรียบเกลี้ยงไม่มีรอยปริหรือร้าว -เหล็กเส้นกลมต้องมีภาคตัดขวางสม่ำเสมอโดยตลอด และต้องไม่มีปีก หรือ ลูกคลื่น
ข.คุณสมบัติทางกล	-ความต้านทานแรงดึงต้องไม่น้อยกว่า 3900 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร -ความต้านทานแรงดึงที่จุดครากต้องไม่น้อยกว่า 2400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร -ความยืดต้องไม่น้อยกว่า 21 % -การดัดโค้งเย็นพื้นทดสอบต้องไม่มีรอยปริตรงส่วนโค้งของด้านนอกของพื้นทดสอบ ตลอดการดัดโค้ง 180 องศา

2.2.1.2 เหล็กข้ออ้อย เป็นเหล็กเส้นกลมที่มีบั้ง (tranverse rib)และอาจมีครีบ (longitudinal rib) ที่ผิวเพื่อเสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีตเหล็กข้ออ้อยต้องทำขึ้นจากเหล็กแท่งเล็ก (billet) เหล็กแท่งใหญ่ (bloom) หรือเหล็กแท่งหล่อ (inget) โดยตรงด้วยกรรมวิธีการรีดร้อน โดยต้องไม่มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นมาก่อน และเหล็กแท่งดังกล่าวต้องทำมาจากกรรมวิธีแบบ open hearth , basic oxygens หรือ electric arc furnace มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [2] ครอบคลุมเหล็กข้ออ้อยที่มีความยาวตั้งแต่ 3.40 เมตร ขึ้นไป ซึ่งอาจนำไปใช้เสริมคอนกรีต สำหรับงานก่อสร้างทั่วไปได้ ซึ่งค่ามาตรฐานดังกล่าวได้แก่ ขนาดระบุ มวลต่อเมตร และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเหล็กข้ออ้อยแสดงในตารางที่ 2.4 ช่วงระหว่างบั้ง ส่วนสูงของบั้ง ความกว้างของช่องว่างหรือของครีบหน่วยเป็นมิลลิเมตรแสดงในตารางที่2.5 ค่าความต้านทานแรงดึงแสดงตามชั้นคุณภาพซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลของเหล็กข้ออ้อยแสดงในตารางที่2.6 และคุณสมบัติที่ต้องการแสดงในตารางที่2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ชื่อขนาด ขนาดระบุ มวลต่อเมตร เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนมวลต่อเมตรของเหล็กข้ออ้อย (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสหกรรม 2536)

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนร้อยละ	
	เส้นผ่าศูนย์กลางระบุ มิลลิเมตร	พื้นที่หน้าตัดระบุ ตารางมิลลิเมตร	ต่อเส้น	ต่อเส้น	เฉลี่ย 5 เส้น
DB10	10	78.54	0.616	±6	±5
DB12	12	113.10	0.888	±6	±5
DB16	16	201.06	1.578	±6	±5
DB20	20	314.16	2.466	±5	±4
DB22	22	380.13	2.984	±5	±4
DB25	25	490.87	3.853	±5	±4
DB28	28	615.75	4.834	±5	±4
DB32	32	804.25	6.313	±4	±3.5
DB36	36	1017.88	7.990	±4	±3.5
DB40	40	1256.64	9.865	±4	±3.5

หมายเหตุ

1. พื้นที่หน้าตัดระบุ = π(เส้นผ่าศูนย์กลางระบุเป็นมิลลิเมตร) D^2 /4 ตารางมิลลิเมตร
2. มวลระบุกิโลกรัมต่อเมตรมีค่าเท่ากับ0.00785(พื้นที่หน้าตัดระบุเป็นตารางมิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ช่วงระหว่างบั้ง ส่วนสูงของบั้ง และความกว้างของช่องว่างหรือของครีบหน่วยเป็นมิลลิเมตร ของเหล็กข้ออ้อย(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2536)

ชื่อขนาด	ช่วงระหว่างบั้ง	ส่วนสูงของบั้ง		ผลรวมของความกว้างของ
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ช่องว่างหรือของครีบ สูงสุด
DB10	7.0	0.4	0.8	7.9
DB12	8.4	0.5	1.0	9.4
DB16	11.2	0.7	1.4	12.6
DB20	14.0	1.0	2.0	15.7
DB22	15.4	1.1	2.2	17.3
DB25	17.5	1.3	2.6	19.7
DB28	19.6	1.4	2.8	22.0
DB32	22.4	1.6	3.2	25.2
DB36	25.2	1.8	3.6	28.3
DB40	28.0	2.0	4.0	31.4

ตารางที่ 2.6 ความต้านทานแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดครากและความยืดของเหล็กข้ออ้อย (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2536)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง เมกะพาสคัล (กิโลกรัมแรงต่อตารางมิลลิเมตร)	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก เมกะพาสคัล (กิโลกรัมแรงต่อตารางมิลลิเมตร)	ความยืด ร้อยละ
SD30	480(49)	295(30)	17
SD40	560(57)	390(40)	15
SD50	620(63)	490(50)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.7 คุณสมบัติที่ต้องการของเหล็กข้ออ้อย(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2536)

หัวข้อ	คุณสมบัติ
ก.ลักษณะทั่วไป	-เหล็กข้ออ้อยต้องมีผิวเรียบเกลี้ยง ไม่มีรอยปริแตก -เหล็กข้ออ้อยต้องมีบั้งเป็นระยะๆเท่าๆกันโดยสม่ำเสมอตลอดเส้น บั้งและครีบที่อยู่ตรงกันข้ามกันต้องมีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน

2.2.1.3 การจัดวางและการต่อเหล็กเสริมในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก อ้างอิงจากเกณฑ์มาตฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ.2534 [3] ซึ่งกำหนดตามหัวข้อต่างๆดังนี้

(1) การจัดวางเหล็กเสริม ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเส้นตามยาว ของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวต้องไม่แคบกว่า 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น แต่ต้องไม่แคบกว่า 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ และทั้งหมดนี้ต้องไม่แคบกว่า 4 เซนติเมตร

(2) การต่อเหล็กเสริม การต่อเหล็กเสริมมีการจัดวางแบ่งได้ทั้งหมด 5 กรณีได้แก่

(ก) เหล็กเสริมหลายเส้นที่ขนานกัน และมัดรวมกันเป็นกำเพื่อให้รับแรงเป็นหน่วยเดียวกันนั้น ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- ต้องเป็นเหล็กข้ออ้อยทุกเส้น
- มีจำนวนไม่เกินกำละ 4 เส้น และมีเหล็กปลอกพันรวบเหล็กแต่ละกำนี้
- เหล็กแต่ละเส้นในกำหนึ่งๆ ต้องสิ้นสุดในตำแหน่งเยื้องกัน โดยมีระยะห่างกันอย่างน้อย 40 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก นอกเสียจากที่เมื่อสิ้นสุดที่หลาย ณ. ที่รองรับ หากใช้วิธีกำหนดระยะเรียงโดยถือเอาขนาดเหล็กเป็นหลัก ให้ถือว่าเหล็กแต่ละกำเป็นเสมือนเหล็กเส้นเดียวกันที่มีเนื้อที่ต่อหน้าตัดเท่ากันกับเหล็กทั้งกำนั้น

(ข) เมื่อเหล็กเสริมตามแนวยาวดัดเยื่องกันที่รอยต่อ ความลาดเอียงของเหล็กเสริมที่ดัดเยื้องเมื่อเทียบกับแกนของเสาต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6 เหล็กส่วนบนและล่างของส่วนที่ดุ้งต้องขนานกับแกนเสาจุดที่ดุ้งเหล็กนั้น

(ค) การต่อเหล็กเสริมรับแรงอัด

- เมื่อต่อเหล็กเสริมโดยวิธีทาบ ความยาวที่ทาบอย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าต่อไปนี้ สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูงกว่านี้ ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่สั้น กว่า 20, 24, 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีกำลังคราก 3,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือน้อยกว่าและค่า 4,000 กับ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และต้องไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต้องเพิ่มระยะทาบอีก 1/3 ของค่าเริ่มต้น สำหรับเหล็กเส้นกลมทาบอย่างน้อย 2 เท่าของเหล็กข้ออ้อย

(ง) การต่อเหล็กเสริมรับแรงดึง โดยวิธีทาบ ห้ามใช้กับเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตร

- ความยาวของเหล็กข้ออ้อยที่นำมาต่อทาบกันไม่น้อยกว่า 24, 30, 36 เท่าของ เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคราก 3,000 ,4,000, 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และต้องไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร . สำหรับเหล็กเส้นกลมใช้ 2 เท่าของเหล็กข้ออ้อย

(จ) สำหรับการต่อโดยวิธีการเชื่อม ต้องต่อเหนือระดับพื้นหนึ่งเมตรจนถึงระดับกึ่งกลางความสูง

2.2.1.4 เกณฑ์มาตราฐานและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของเหล็กเสริมในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก [3] ระยะที่ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ต้องจัดวางเหล็กเสริมให้เที่ยงตรงตามตำแหน่งที่ระบุไว้ โดยยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกินระยะที่กำหนดดังต่อไปนี้

(1) สำหรับความลึก d ในองค์อาคารที่รับแรงอัด ในผนังและในเสา เมื่อ d มีค่าไม่เกิน 50 เซนติเมตร ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ 0.5 เซนติเมตร

(2) สำหรับองค์อาคารรับแรงดัดและในเสาเมื่อ d มีค่ามากกว่า 50 เซนติเมตร ยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ ± 1 เซนติเมตร

(3) ในเสาปลอกเดี่ยว ปริมาณของเหล็กที่ต่อทาบกัน ต้องมีอัตราส่วนของเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.04 ในความยาว 1เมตร ของเสาไม่ว่าจะเป็นช่วงใด

(4) เหล็กปลอกเกลียวระยะเรียงศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เกิน 1/6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางแกนคอนกรีต ระยะช่องว่างระหว่างเกลียวไม่ห่างกว่า 7 เซนติเมตรและไม่แคบกว่า 3 เซนติเมตร แต่ต้องไม่แคบกว่า 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ใช้

(5) ในเสาปลอกเดี่ยว เหล็กปลอกต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร เหล็กยืนไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร ระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืนและไม่ห่างกว่า 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก และต้องห่างไม่เกินด้านแคบที่สุดของเสา

(6) เหล็กเสริมตามยาวทุกเส้นต้องรัดไว้ด้วยเหล็กปลอกเดี่ยว โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดังนี้

- ขนาดอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร สำหรับเหล็กเส้นตามยาว ขนาด 20 มิลลิเมตร หรือ เล็กกว่า

- ขนาดอย่างน้อย 9 มิลลิเมตรสำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาด 25 ถึง 32 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดอย่างน้อย 12 มิลลิเมตรสำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาดใหญ่กว่า 32 มิลลิเมตรและสำหรับเหล็กเส้นตามยาวมัดรวมกันเป็นกำ

(7) คอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม มีข้อกำหนดดังนี้

- คอนกรีตหล่อในที่สำหรับเสา

- เหล็กปลอกเดี่ยวหรือเกลียว ระยะหุ้มต่ำสุด 3.5 เซนติเมตร

- กรณีไม่สัมผัสกับดินหรือไม่ถูกแดดฝน ระยะหุ้มต่ำสุด 3 เซนติเมตร

-สำหรับเหล็กเสริมที่มัดรวมกันเป็นกำ ระยะหุ้มต่ำสุดของคอนกรีตต้องเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นเดียวซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับเหล็กทั้งกำรวมกัน แต่ไม่จำเป็นต้องมากกว่า 5 เซนติเมตร

(8) พิกัดเหล็กเสริมในเสา พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยืน สำหรับเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.08 ของพื้นที่ หน้าตัดเสาทั้งหมด ขนาดไม่เล็กกว่า. 12 เซนติเมตรสำหรับเสาปลอกเกลียวต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 6 เส้น เสาปลอกเดี่ยวมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 4 เส้น

2.2.2 คอนกรีต ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสม และ วิธีการประเมินผลการทดสอบกำลัง และวิธีการเทคอนกรีต สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.2.1 คุณสมบัติของคอนกรีต คอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย มวลรวมหยาบ น้ำและสารผสมเพิ่มตามข้อกำหนด ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีความข้นเหลวที่พอเหมาะที่จะทำไแน่นได้ภายในแบบหล่อและรอบเหล็กเสริมหลังจากอัดแน่นโดยกระทุ้งด้วยมือหรือโดยวิธีสั่นอธิบายคุณสมบัติของคอนกรีตแต่ละหัวข้อย่อยได้ดังนี้

(1) กำลังอัดของคอนกรีต ในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ค่าต่ำสุดของกำลังอัดของแท่งคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง15 เซนติเมตรสูง 30 เซนติเมตร อายุ 28 วันมีค่าต่ำสุด 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 แต่ถ้าเป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ 3 ซึ่งให้กำลังสูงเร็วกว่าให้คิดอายุที่ 7 วัน กำลังอัดของคอนกรีตแต่ละชนิด จะถือว่าเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อผลเฉลี่ยกำลังอัดของการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกันเท่ากับหรือมากกว่า fc' (กำลังที่ทดสอบแต่ละครั้งอาจจะต่ำกว่า fc'ที่กำหนดได้ไม่เกินกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

(2) ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้หล่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก สูงสุด10 เซนติเมตร ต่ำสุด 5 เซนติเมตร

(3) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ ที่ใช้ผสมคอนกรีตในการหล่อเสา มีค่าใหญ่สุด 4เซนติเมตร หรือขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต้องไม่โตกว่า 1/5 ของด้านที่แคบที่สุดของแบบหล่อหรือต้องไม่โตกว่าระยะช่องว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ข้อกำหนดในการเทคอนกรีต[3] มีข้อกำหนดดังนี้

(1) เมื่อเทคอนกรีตลงในแบบหล่อแล้ว จะต้องอัดคอนกรีตให้แน่น ภายในเวลา 30 นาที นับตั้งแต่ปล่อยคอนกรีตออกจากเครื่องผสม นอกจากจะมีเครื่องกวนพิเศษสำหรับการนี้โดยเฉพาะหรือมีเครื่องผสมติดรถซึ่งจะกวนอยู่ตลอดเวลาในกรณีเช่นนั้นให้เพิ่มเวลาเป็น 2 ชั่วโมง ตั้งแต่บรรจุ cement เข้าเครื่องผสม ต้องเทภายใน 30 นาที นับตั้งแต่ปล่อยคอนกรีตออกจากเครื่อง

(2) การจี้คอนกรีตสำหรับเสาขนาดใหญ่ ควรใช้เครื่องสั่นชนิดเกาะติดกับข้างแบบ แต่ทั้งนี้แบบหล่อต้องแข็งแรงพอที่จะสามารถรับความสั่นได้โดยไม่ทำให้รูปร่างขององค์อาคารผิดไปจากที่กำหนด

2.2.3 แบบหล่อ(term water) อ้างอิงตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(ว.ส.ท.)[3]ได้ดังนี้

2.2.3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

(1) แบบหล่อจะต้องได้รับการตรวจก่อนจึงจะเรียงเหล็กเสริมได้

(2) แบบหล่อจะต้องแน่นพอควร เพื่อป้องกันไม่ให้มอร์ต้าไหลออกจากคอนกรีต

(3) แบบหล่อจะต้องสะอาด ปราศจากฝุ่นละออง มอร์ตา และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ในกรณีที่ไม่สามารถเข้าถึง กัน แบบจากภายในได้ จะต้องจัดช่องว่างไว้สำหรับให้สามารถขจัดสิ่งที่ไม่ต้องการต่างออกก่อนเทคอนกรีต

(4) ห้ามนำแบบหล่อซึ่งชำรุดจากการใช้งานครั้งหลังสุด จนถึงขั้นที่อาจทำลายผิวหน้าหรือคุณภาพคอนกรีตได้มาใช้อีก

(5) ให้หลีกเลี่ยงการบรรทุกน้ำหนักบนคอนกรีตซึ่งเทได้เพียง1สัปดาห์ห้ามโยนของหนักๆ เช่น มวลรวม ไม้กระดาน เหล็กเสริมหรืออื่นๆ ลงบนคอนกรีตใหม่ๆ หรือแม้กระทั่งการกองวัสดุ

(6) ห้ามโยนหรือกองวัสดุก่อสร้างบนแบบหล่อในลักษณะที่จะทำให้แบบหล่อชำรุดหรือเป็นการเพิ่มน้ำหนักมากเกินไป

(7) การเคลือบผิวแบบหล่อ จะต้องกระทำก่อนเรียงเหล็กเสริม และ จะต้องไม่ใช้ในปริมาณมากเกินไปจนเปื้อนเหล็ก

(8) สำหรับแบบหล่อเสาต้องได้ดิ่ง ไม่หนีศูนย์ การค้ำยันแข็งแรงมั่นคง

2.2.3.2 ระยะเวลาการถอดแบบเสา ปูนซีเมนต์ชนิดธรรมดา ถอดแบบได้หลังการหล่อ 48 ชั่วโมง

2.2.3.3 มาตรฐานความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของแบบหล่อเสา [4] กำหนดให้ดังนี้

(1) ความคลาดเคลื่อนจากสายแนวดิ่งในแต่ละชั้นยอมให้ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ความคลาดเคลื่อนจากระดับหรือจากความลาดที่ระบุในแบบในช่วง 1 เมตร. ไม่เกิน 15 มิลลิเมตร

(3) ความคลาดเคลื่อนของแนวอาคาร จากแนวที่กำหนดในแบบ และตำแหน่งเสาผนังและฝาประจันที่เกี่ยวข้องในช่วง 10 เมตรไม่เกิน 20 มิลลิเมตร

(4) ความคลาดเคลื่อนของขนาดหน้าตัดเสา น้อยกว่าที่กำหนดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และมากกว่าที่กำหนดไม่เกิน10 มิลลิเมตร

2.2.3.4 การบ่มคอนกรีตเสา ภายหลังการถอดแบบหล่อหรือถ้าแบบหล่อเป็นไม้ก็สามารถใช้ไม้แบบช่วยในการบ่มได้ ส่วนวิธีอื่นๆที่ใช้บ่มเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีดังนี้

(1) การใช้แผ่นพลาสติกปิดคลุมเป็นการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

(2) การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต ซึ่งเป็นเยื่อบางๆ คลุมผิวไว้ ป้องกันการระเหยของน้ำ

(3) การฉีดพ่นน้ำหรือรดน้ำทำให้ผิวคอนกรีตเปียกชุ่มทั่วกันตลอดเวลาเพื่อป้องกันการแตกร้าวเนื่องจากผิวคอนกรีตแห้ง

(4) ใช้กระสอบป่านชุ่มน้ำคลุม

2.2.4. มาตรฐานและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.2.4.1 เสาต้องมีความยาวเกินกว่า 3 เท่าของด้านที่แคบที่สุด

2.2.4.2 ขนาดเล็กที่สุดของเสา ต้องมีด้านแคบที่สุด หรือ เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร เสาที่อยู่ระหว่างเสาหลักและไม่ต่อเนื่อง จากชั้นถึงชั้นอาจมีขนาดเล็กกว่าได้ แต่ต้องมีด้านแคบที่สุดไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตร

2.2.4.3 พิกัดหน้าตัดเสา ที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับเสาปลอกเกลียวที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับผนัง หรือ ตอม่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดของเสาขอบนอกสุดให้ถือว่าห่างจากผิวของเหล็กปลอกเกลียวออกไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร ไม่ว่าจะเป็นเสากลม เสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.2.4.4 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของเสา คอนกรีตเสริมเหล็ก

(1) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่ง

(ก) ทุก10ฟุต(3.1เมตร)ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.25 นิ้ว(0.6 เซนติเมตร)

(ข) สำหรับความสูงของโครงสร้างทั้งหมดคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน1นิ้ว

(2) ขนาดหน้าตัดของเสา

(ก) หน้าตัด 12 นิ้ว คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 3/8 นิ้ว(0.93 เซนติเมตร)

(ข) ขนาดหน้าตัดกว้างกว่า12นิ้วคลาดเคลื่อนได้+1/2นิ้วและ-3/8นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พฤติกรรมการรับน้ำหนักและปัจจัยที่มีผลทำให้กำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก อธิบายเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

2.3.1 พฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นหลัก ถ้าเสาคอนกรีตเสริมเหล็กปราศจากการสูญเสียกำลัง ความสามารถในการรับน้ำหนักประลัยสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$P_u = f_c' A_c + f_y A_{st} \qquad (1)$$

โดยที่

P_u = น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับได้ กิโลกรัม

f_c' = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

A_c = พื้นที่หน้าตัดของเสาส่วนที่เป็นเฉพาะคอนกรีต ตารางเซนติเมตร

A_{st} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ตารางเซนติเมตร

เนื่องจากความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ได้จากการก่อสร้างจริงจะเปลี่ยนแปลงไป สาเหตุจากความไม่แน่นอนของกำลังวัสดุหรือความคลาดเคลื่อนระหว่างการก่อสร้าง จากสาเหตุเหล่านี้ เพื่อความปลอดภัยในการรับน้ำหนัก มาตรฐาน ACI จึงได้กำหนดสูตรคำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังสำหรับเสาปลอกเดี่ยวไว้ดังสมการที่ (2)

$$P_u = 0.7x0.8(0.85x f_c' A_c + f_y A_{st}) \qquad (2)$$

โดยที่

P_u = 1.4D.L. + 1.7L.L.

D.L. = น้ำหนักบรรทุกคงที่ กิโลกรัม

L.L. = น้ำหนักบรรทุกจร กิโลกรัม

จากสมการที่ (2) เหตุผลที่จำเป็นต้องมีตัวคูณลด และตัวคูณเพิ่มในสูตรคำนวณการออกแบบ [5] สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.3.1.1 ความจำเป็นต้องมีตัวคูณลดเพราะ

(1) คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้อาจจะไม่เป็นไปตามที่เรากำหนดในการออกแบบ เพราะ

- ความไม่คงตัวในคุณสมบัติของวัสดุ ทั้งในแรงอัดประลัยของคอนกรีตและแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม

- ในการทดสอบในห้องทดลอง อัตราการเพิ่มน้ำหนักในเครื่องทดสอบจะมีผลต่อการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตที่หล่ออยู่หน้างาน กับคุณสมบัติของลูกปูนที่ถูกเก็บไว้ในห้องทดสองเพื่อการทดสอบ

- ผลของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต อาจทำให้เกิดการแตกร้าวในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะมีผลต่อกำลังประลัยที่จะรับได้ ยกตัวอย่างในเสา การหดตัวของคอนกรีตอาจส่งผลให้หน่วยแรงในเหล็กรับแรงอัดในเสา ถึงจุดครากก่อนที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้เกิดการวิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเสาชะลูดที่มีเหล็กเสริมน้อย

(2) ขนาดขององค์อาคารในการก่อสร้างจริง อาจจะไม่เป็นไปตามที่เรากำหนดในการออกแบบ โดย เฉพาะอย่างยิ่ง

- ขนาดของเหล็กเสริม อาจไม่ตรง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการรีด

- ขนาดขององค์อาคาร อาจคลาดเคลื่อนเนื่องจาก เข้าไม้แบบไม่ถูกต้องและการวางเหล็กเสริมไม่ถูกต้อง

(3) สมมติฐานในการสร้าง สมการออกแบบ และ การปรับแต่งให้ง่ายต่อการใช้ เช่นการใช้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแทนเส้นโค้งในการคำนวณหาแรงในคอนกรีต และการกำจัดให้ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.003 ส่งผลให้การคำนวณคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

2.3.1.2 ความจำเป็นต้องมีตัวคูณเพิ่มเพราะ

(1) น้ำหนักที่กระทำอาจ ไม่ตรงกับที่กำหนด น้ำหนักคงที่ อาจคลาดเคลื่อน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของขนาดขององค์อาคาร น้ำหนักของวัสดุ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างหรือแบบสถาปัตยกรรม น้ำหนักจรเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาที่ใช้และตามชนิดของอาคาร

(2) ความไม่แน่นอนในการคำนวณผลของน้ำหนักที่กระทำซึ่งจะส่งผลให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงแตกต่างไปจากหน่วยแรงที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์โดยวิศวกร

2.3.1.3 จำเป็นต้องมีทั้งตัวคูณลดและตัวคูณเพิ่ม เพราะความเสียหายที่เกิดจากการวิบัติของอาคาร สิ่งที่ควรคำนึงถึงได้แก่ ชนิดของการวิบัติและการเตือนก่อนวิบัติความเป็นไปได้ ในการสูญเสียชีวิตของผู้ใช้อาคาร ผลต่อสังคมเนื่องจากการสูญเสียเวลา รายได้ และทรัพย์สิน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือสร้างใหม่

ตัวคูณเพิ่มและตัวคูณลดที่แสดงในสมการที่ (2)สามารถอธิบายที่มาของแต่ละค่าได้ดังนี้

ค่า 1.4 = ตัวคูณเพิ่ม ความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่นำมาออกแบบกับการก่อสร้างจริง

ค่า 1.7 = ตัวคูณเพิ่ม ความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกจรที่นำมาออกแบบกับสภาพการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า 0.7 = ตัวคูณลด ของความไม่แน่นอนในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญมาก ต่อความมั่นคงของอาคาร เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติวัสดุ รวมทั้งความผิดพลาดในการก่อสร้าง

ค่า 0.8 = ตัวคูณลด เพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังเนื่องจากการหนีศูนย์ของเสาจากการก่อสร้าง

ค่า 0.85 = ตัวคูณลด เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่สูญเสียไปเนื่องจาก การล้าเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลานาน รวมทั้งการสูญเสียความชื้นในเนื้อคอนกรีต

2.3.2 ปัจจัยที่ทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง

2.3.2.1 ความคลาดเคลื่อนของหน้าตัดเสา ถึงแม้วิศวกรได้ออกแบบขนาดหน้าตัดเสาที่เหมาะสมกับน้ำหนักที่ต้องรับแต่ในการก่อสร้าง ณ. สถานที่ก่อสร้างจริง ขนาดอาจเปลี่ยนแปลงไป ทั้งเพิ่มหรือลด อันมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการประกอบแบบ หรือความไม่ละเอียดในการวัดของช่าง เมื่อขนาดหน้าตัดเสาที่เปลี่ยนย่อมส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีต เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดเป็นตัวแปรสำคัญต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.3.2.2 ความคลาดเคลื่อนของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นตัวแปรสำคัญในกำหนดขนาดโครงสร้างความสามารถ ในการรับกำลัง ซึ่งกำลังรับแรงอัดนี้ต้องได้รับการออกแบบที่เหมาะสม กับขนาดโครงสร้างหรือข้อกำหนดต่างๆ แม้วิศวกรจะออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ให้กำลังที่ต้องการ แต่เมื่อก่อสร้างจริงส่วนผสมนั้นอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสาเหตุต่างๆ

2.3.2.3 ความคลาดเคลื่อนของความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก รวมทั้งพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมเหล็กเสริมเป็นวัสดุสำคัญที่ช่วยคอนกรีตในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถช่วยลดขนาดหน้าตัดเสาให้มีขนาดที่พอเหมาะโดยเฉพาะให้เหมาะสมทางด้านสถาปัตยกรรม แต่สามารถรับน้ำหนักได้ตามต้องการในการก่อสร้างต้องนำตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในการก่อสร้าง ไปทดสอบแรงดึง เพื่อหา ความต้านทานแรงดึงประลัย และความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมาตรฐานการก่อสร้าง

2.3.2.4 เสาสั้นหนีศูนย์จากการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นโครงสร้างที่อาศัยคุณสมบัติของเหล็กเสริมและคอนกรีตช่วยในการรับน้ำหนัก นอกจากคุณสมบัติของวัสดุเป็นไปตามต้องการแล้ว การก่อสร้างต้องแม่นยำโดยเฉพาะ เสาหล่อต้องได้ศูนย์ แต่ในการทำงานจริง ๆ ยากที่จะทำได้ ต้องมีความคลาดเคลื่อนบ้างไม่มากก็น้อย ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้ส่งผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักโดยตรง ในโครงงานพิเศษนี้ได้แยกพิจารณาส่วนของคอนกรีตและส่วนของเหล็กเสริมที่ได้รับอิทธิพลจากการหนีศูนย์ เพื่อหากำลังที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถสรุปการวิเคราะห์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ในช่วงอิลาสติก เพื่อหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนรูปตัดเสาหรือกำลังต้านทานของเสา อาจหาได้จากหลักการสมดุลของแรงและจากการรูปกระจายของหน่วยการยืด-หดตัวบนหน้าตัดเสา หรือหาจากหน้าตัดแปลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งอาจแปลงให้เป็นหน้าตัดของเสาคอนกรีตล้วน ซึ่งขึ้นกับระยะเยื้องศูนย์อันเนื่องมาจากการหนีศูนย์ [6] เมื่อระยะเยื้องศูนย์มีค่าน้อยหน้าตัดของเสาจะรับแต่หน่วยแรงอัด จากหน้าตัดแปลง ถ้ากำหนดให้

$$A_s = A_{s'} \tag{3}$$

โดยที่

A_s = พื้นที่เหล็กเสริมด้านที่ไม่รับแรงอัด ตารางเซนติเมตร

$A_{s'}$ = พื้นที่เหล็กเสริมด้านรับแรงอัด ตารางเซนติเมตร

จะได้เนื้อที่ของหน้าตัดแปลงดังสมการที่ (4)

$$A_t = A_g[1+(n-1)\rho_g \tag{4}$$

โดยที่

A_t = พื้นที่หน้าตัดแปลง ตารางเซนติเมตร

โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลง

$$I_t = I_{\text{คอนกรีต}}+(n-1)I_{\text{เหล็กยืน}} \tag{5}$$

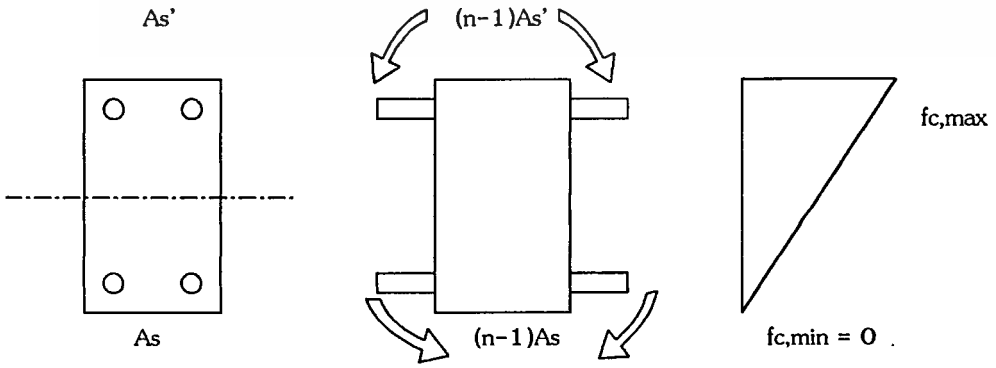
แต่หากพิจารณารวมผลของการล้าของคอนกรีต จะต้องใช้ค่าอัตราส่วนโมดูลัสซึ่งมีค่าเท่ากับ 2n แทนในส่วนที่รับแรงอัด

โดยที่

I_t = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลง ตารางเซนติเมตรคูณตารางเซนติเมตร

$I_{\text{คอนกรีต}}$ = โมเมนต์อินเนอร์เชียของคอนกรีต ตารางเซนติเมตรคูณตารางเซนติเมตร

$I_{\text{เหล็กยืน}}$ = โมเมนต์อินเนอร์เชียของเหล็กยืน ตารางเซนติเมตรคูณตารางเซนติเมตร



รูปที่2.1 หน้าตัดแปลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ค่าหน่วยแรง ดังสมการที่ (6)

$$f_{ce}\ \text{max หรือ min} = \frac{P}{A_t} \pm \frac{Mc}{I_t} \qquad (6)$$

$$M = P \times e \qquad (7)$$

โดยที่

M = ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหนีศูนย์ของเสา กิโลกรัมคูณเซนติเมตร

e = ระยะหนีศูนย์ที่เกิดขึ้น เซนติเมตร

c = ระยะครึ่งหนึ่งของ(ความกว้างหรือยาวของหน้าตัดเสา)ด้านที่เสาหนีศูนย์ เซนติเมตร

f_{ce} = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดแปลงมีค่าสูงสุดและต่ำสุด กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แต่หากพิจารณารวมผลของการล้าของคอนกรีต จะต้องใช้ค่าอัตราส่วนโมดูลัสซึ่งมีค่าเท่ากับ 2n แทนในส่วนที่รับแรงอัด ถ้าไม่ต้องการให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นให้แทนค่า f_{ce} min= 0 ในสมการที่(6) จะได้สมการที่ (8)

$$\frac{P}{A_t} = \frac{Mc}{I_t} \qquad (8)$$

แทนค่าในสมการที่ (8)ในสมการที่(6) จะได้สมการที่ (9)

$$f_{ce}\ \text{max} = \frac{2Mc}{I_t} \qquad (9)$$

ในโครงงานพิเศษนี้จะใช้ค่า f_{ce} max ในการคำนวณ ค่าความสูญเสียกำลังที่รับแรงได้อันเนื่องมาจากการที่เสาหนีศูนย์

2.3.2.5 การล้าของคอนกรีต การล้าของคอนกรีตเป็นพฤติกรรมหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างเกิดการเสียรูป และ ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง เนื่องจากคอนกรีตจะหดตัวเพิ่มมากขึ้น ภายใต้น้ำหนักหรือแรงอัดที่กระทำคงที่แต่บรรทุกค้างไว้เป็นเวลานาน สันนิษฐานกันว่า การล้าของคอนกรีตเกิดจาก การหดตัวของช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต การไหลหนืดของซีเมนต์เพสท์ การไหลของผลึก ในวัสดุผสม และจากการซึมของน้ำที่หนีจากวุ้นซีเมนต์ เมื่อมีน้ำหนักภายนอกกระทำต่อคอนกรีตแต่ในปัจจุบันยังไม่มีผลแน่ชัดในเรื่องนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการล้าของคอนกรีต ได้แก่

(1) น้ำหนักบรรทุกค้าง การล้าของคอนกรีตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของน้ำหนักบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ความแข็งแรงของคอนกรีต การล้าของคอนกรีตเป็นสัดส่วน ผกผันกับกำลังความแข็งแรงของ คอนกรีต ถ้าความแข็งแรงของคอนกรีตมีค่าสูงอัตราการล้าของคอนกรีตจะมีค่าต่ำ

(3) ชนิดปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะเกิดการล้าของคอนกรีตมากกว่าคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทแข็งตัวเร็ว

(4) อัตราส่วนผสมของคอนกรีต คอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำการล้าของคอนกรีตจะมีค่าต่ำด้วย

(5) วัสดุผสม การล้าของคอนกรีตจะลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนผสม ที่มีความละเอียดขึ้น

(6) การบ่ม คอนกรีตที่ได้รับการบ่มชื้นตลอดเวลาจะมีอัตราการล้าต่ำกว่าคอนกรีตที่บ่มในอากาศ

(7) อายุของคอนกรีต อัตราการล้าของคอนกรีตจะลดลงเมื่ออายุของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

(8) วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ได้แก่ PFA หรือ GGBS จะช่วยลดการคืบ

(9) น้ำยาผสมคอนกรีต Air Entraining มีแนวโน้มที่จะเพิ่มการคืบสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังเท่ากันน้ำยาลดน้ำและลดน้ำจำนวนมาก การคืบจะใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่ว ๆ ไปน้ำยาเร่งการก่อตัว มีแนวโน้มจะเพิ่มการคืบ

(10) ชนิดของมวลรวมและปริมาณของมวลรวม การคืบเกิดเนื่องจาก ซีเมนตเพสต์ ดังนั้นชนิดของมวลรวมมีผลต่อการคืบน้อย,หินที่มีความแข็งมากจะก่อให้เกิดการคืบน้อย,ยิ่งใช้ปริมาณมวลรวมมาก การคืบจะยิ่งน้อย

(11) ความชื้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะก่อให้เกิดการคืบมากขึ้น

การศึกษาพฤติกรรมการล้าของคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่นอนได้ แต่ที่ผ่านมาก็ได้มีผู้ที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้ และได้แนะนำสมการในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการล้า Branson [6] ได้เสนอสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์การล้าไว้ดังสมการที่(10)

$$C_t = \frac{t_l^{0.60}}{10 + t_l^{0.60}} C_u \qquad (10)$$

โดยที่

t_l = เวลาเป็น วัน โดยนับหลังวันที่รับน้ำหนัก

C_t = สัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีต ณ.เวลาใด ๆ หลังรับน้ำหนักบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
038997

C_u = ค่าสัมประสิทธิ์การล้าสูงสุด (Ultimate creep coefficient) มีค่าระหว่าง 1.3 ถึง 4.15 แต่ Branson แนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 2.35 ที่สภาวะมาตรฐาน ทั้งนี้จะต้องปรับแก้ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ อายุของคอนกรีตเมื่อเริ่มรับน้ำหนัก ความหนาของส่วนโครงสร้าง ค่าการยุบตัว ฯลฯ

การคาดคะเนการล้าของคอนกรีตที่เวลาใดๆ อาจพิจารณาจากสมการ (10) ซึ่งเป็นสมการของค่าสัมประสิทธิ์การล้าที่สภาวะมาตรฐาน (standard creep coefficient) ที่ Branson เสนอไว้สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวไม่เกิน 10 ซม. ความชื้นสัมพันธ์ 40% ได้รับการบ่มชื้น และรับน้ำหนักหลังจากที่หล่อแล้ว 7 วัน แต่เนื่องจากสมการของ Branson มีข้อจำกัดมาก โครงงานพิเศษนี้จึงได้ศึกษาสมการจาก N.J.Gardner and J.W.Zhao [8] ซึ่งมีตัวแปรตามสภาพความเป็นจริงมากกว่าโดย N.J.Gardner and J.W.Zhao [8] ได้เสนอสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์การล้า ไว้ดังสมการที่ (11)

$$C_t = \left[\frac{7.27+\ln(t-t_0)}{17.18}\right] x \left[1.57+2.98x\frac{f_{c'}}{f_{ci'}}\left(\frac{254.83}{f_{c'}}\right)^{\frac{1}{2}} x \left[(1-h^2)x\left(\frac{t-t_0}{t-(t_0 x 10x\left(\frac{V}{S}\right)^2)}\right)\right]\right] \qquad (11)$$

(a) (b) (c)

จากสมการ (1) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของสมการที่ (11) ได้ดังนี้

พจน์ (a) เป็นความสัมพันธ์ของเวลาการรับน้ำหนักบรรทุกกับสัมประสิทธิ์การล้า

พจน์ (b) เป็นความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกับสัมประสิทธิ์การล้า

พจน์(c) เป็นความสัมพันธ์ของอากาศและพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศกับสัมประสิทธิ์กาล้า

โดยที่

C_t = สัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีต ณ.เวลาใด ๆ หลังรับน้ำหนักบรรทุก

t = อายุคอนกรีตหลังเทลงแบบ วัน

t_0 = เวลาก่อนที่คอนกรีตได้รับน้ำหนักบรรทุก วัน

$f_{c'}$ = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.

$f_{ci'}$ = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อเริ่มต้นรับน้ำหนักบรรทุก กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.

h = ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ.ในรอบ 30ปี มีค่าเท่ากับ 77% (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2541)

V = ปริมาตรคอนกรีต ลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = พื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ ตารางเซนติเมตร

เนื่องจากคอนกรีตจะพัฒนากำลังรับแรงอัด ตามเวลาอายุที่เพิ่มขึ้น และกำลังสูงสุด เมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นสมบูรณ์ ซึ่งขึ้นกับชนิดของปูนซีเมนต์ สามารถวิเคราะห์จากสมการที่ (12)

$$f_{ct'} = \frac{t}{a+bt} f_{c'} \qquad (12)$$

โดยที่

$f_{ct'}$ = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เวลาใดๆ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.

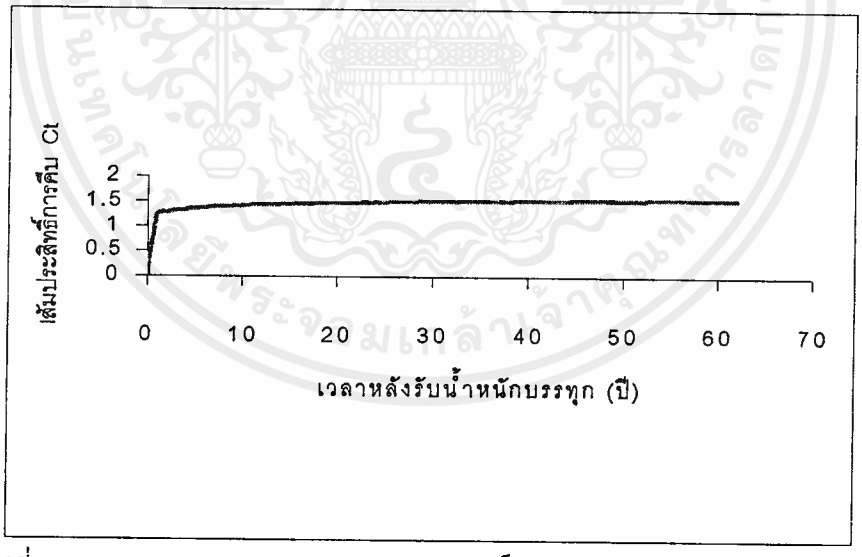
สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

a = 4.06 b = 0.85

สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3

a = 2.36 b = 0.92

จากปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการล้าของคอนกรีตสามารถแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีตและเวลาหลังรับน้ำหนักบรรทุกคงค้างจากสมการ (11) ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตและเวลาหลังรับน้ำหนักบรรทุกคงค้างจากสมการที่ (11)

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต นั้นตามมาตรฐาน American Concrete Institute (ACI) หรือ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(ว.ส.ท.) กำหนดสูตรสำหรับหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโดยให้ขึ้นกับ กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ดังสมการ (13)

$$E_c = w^{1.5} 4270\sqrt{f_{c'}} \qquad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

w = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตันต่อลูกบาศก์เมตร

f_c' = กำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28วัน กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ฉะนั้นสำหรับคอนกรีตธรรมดา(หน่วยน้ำหนัก w = 2.323 ตันต่อลูกบาศก์เมตร)จะได้ดังสมการที่ (14)

$$E_c = 15100\sqrt{f_c'} \qquad (14)$$

เนื่องจากการล้า ของคอนกรีตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ดังนั้นเมื่อเสารับน้ำหนักคงค้าง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนไปสามารถหาได้จากสมการที่ (15)

$$E_{cr} = \frac{E_c}{(1+C_t)} \qquad (15)$$

โดยที่

E_{cr} = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการล้าของคอนกรี กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

โครงงานพิเศษนี้ได้พิจารณาเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมซึ่งมีพื้นที่คอนกรีต และเหล็กเสริมเป็น A_c และ Ast ตามลำดับ มีแรงกระทำในแนวแกน P ซึ่งกระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัดจากสมการสมดุลของแรงภายนอกและแรงภายในจะได้สมการที่(16)และสมการที่(17)ตามลำดับ

$$A_g = A_c + A_{st} \qquad (16)$$

$$P = A_c f_c + A_{st} f_s \qquad (17)$$

โดยที่

f_c = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในคอนกรีต กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_s = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กยืน กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P = น้ำหนักที่กระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัด กิโลกรัม

A_g = พื้นที่หน้าตัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ตารางเซนติเมตร

ดังนั้นความเครียดในคอนกรีตที่เวลาใดเวลาหนึ่ง หลังรับน้ำหนักบรรทุกจะมีค่าดังสมการที่ (18)

$$\varepsilon_c = \frac{f_c}{E_{cr}} \qquad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการที่ (15) ในสมการที่ (18) จะได้สมการที่(19)

$$\varepsilon_c = \frac{f_c(1+C_t)}{E_c} \tag{19}$$

ในช่วงอิลาสติกหรือเมื่อหน่วยการหดตัวในเสามีค่าน้อยๆ ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการหดตัวทั้งคอนกรีต และเหล็กเสริมจะเป็นเส้นตรง [6] จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่(20)และสมการที่ (21) ตามลำดับ

$$f_s = E_s \varepsilon_s \tag{20}$$

$$f_c = E_c \varepsilon_c \tag{21}$$

และเมื่อคอนกรีตและเหล็กเสริมมีการยึดรั้งกันดี ดังสมการที่ (22)

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \tag{22}$$

แทนค่าสมการที่(20) และสมการที่ (21)ลงในสมการที่ (22)ได้เป็นสมการที่ (23)

$$f_s = \frac{E_s f_c}{E_c} \tag{23}$$

อัตราส่วนระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตแสดงดังสมการที่(24)

$$n = \frac{E_s}{E_c} \tag{24}$$

แทนค่าสมการที่ (24) ในสมการที่ (23)ได้สมการที่ (25)

$$f_s = n f_c \tag{25}$$

พิจารณาหน่วยแรง และ ความเครียดในเหล็กเมื่อเวลาผ่านไปจากสมการที่ (20) ได้สมการที่ (26)

$$\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \tag{26}$$

แทนค่าสมการ ที่ (19) และสมการที่ (26) ลงในสมการที่ (22) ได้สมการที่ (27)

$$\frac{f_s}{Es} = \frac{f_c(1+C_t)}{E_c} \tag{27}$$

จัดรูปสมการที่ (27)ใหม่ ได้เป็นสมการที่ (28)

$$f_s = \frac{E_s}{E_c}(1+C_{t.})f_c \tag{28}$$

แทนค่าสมการที่ (25)ในสมการที่ (28) ได้สมการที่ (29)

$$f_s = n(1+C_{t.})f_c \tag{29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการที่ (29)ในสมการที่ (17) ได้สมการที่ (30)

$$P = f_{cc}\{A_c + A_s n(1+C_{t\cdot})\} \quad (30)$$

จัดรูปสมการที่(30)ให้อยู่ในรูปของหน่วยแรงในเหล็ก ได้ดังสมการที่ (31)

$$P = f_{sc}\left\{\frac{A_c}{n(1+C_{t\cdot})} + A_s\right\} \quad (31)$$

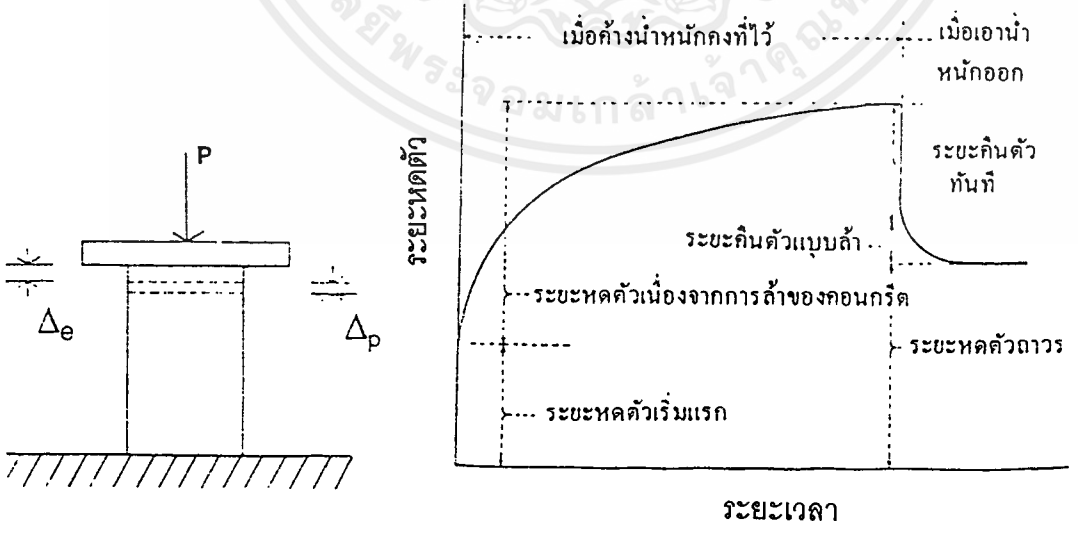
โดยที่

P = น้ำหนักที่กระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัด กิโลกรัม

f_{cc} = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในคอนกรีต เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_{sc} = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กยืน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากสมการที่ (30) และ (31) สามารถสรุปได้ว่า การคืบของคอนกรีตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ทำให้หน่วยแรงในคอนกรีตลดต่ำลง และหน่วยแรงในเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นกว่าขณะที่แรงปกติกระทำต่อเสา ทำให้เกิดการถ่ายแรงจากคอนกรีตให้กับเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกค้างไว้บนแท่งคอนกรีตล้วนเป็นเวลามากกว่าหนึ่งปี การล้าจะทำให้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตลดลงเหลือเพียงร้อยละ 75 ถึง 85 เท่านั้น [9] การล้าของคอนกรีตจะมีผลต่อพฤติกรรมของส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในสภาวะที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานเท่านั้น พฤติกรรมการล้าของคอนกรีต แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การล้าของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.6 การสูญเสียความชื้นของคอนกรีต การสูญเสียความชื้นของคอนกรีตเป็นอีกพฤติกรรมแบบหนึ่งที่ผู้ควบคุมงานมักมองข้าม ซึ่งส่วนใหญ่คิดว่ามีผลกระทบไม่มากแต่ในความเป็นจริงแล้ว การสูญเสียความชื้นเป็นคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ส่วนของโครงสร้างเกิดการเสียรูป (deformation)มากขึ้น และทำให้กำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง โดยขึ้นอยู่กับเวลาที่ผ่านไป เช่นเดียวกับการล้าของคอนกรีต แต่ไม่ได้เกิดจากน้ำหนักหรือแรงกดอัดที่กระทำ การหดตัวของคอนกรีตในลักษณะนี้เกิดจากการสูญเสียความชื้น เนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อคอนกรีตภายใต้อุณหภูมิคงที่ทำให้ปริมาตรคอนกรีตลดน้อยลง แต่เมื่อคอนกรีตที่หดตัวนี้ได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นก็จะพองหรือยืดตัวออก และมีปริมาตรเท่าเดิม ฉะนั้นในสภาวะแวดล้อมที่มีการแห้งและเปียกสลับกันปริมาตรของคอนกรีตจะเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวของคอนกรีตได้แก่ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเพสต์กับมวลรวม โมดูลัสของมวลรวม ปริมาณของมวลรวม การหดตัวของเพสต์ และสภาพการแห้งขึ้นอยู่กับสภาพ ณ.สถานที่ก่อสร้างจริง

การวิเคราะห์หาการหดตัวของคอนกรีตที่เวลาใดๆ เนื่องจากสูญเสียความชื้นนั้น มีผู้ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่นอนได้ แต่ที่ผ่านมาก็ได้มีผู้ที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้และได้แนะนำสมการในการหาค่าการหดตัวของคอนกรีต Branson[7]เสนอสมการของหน่วยการยืดหดตัวที่มาตรฐาน (standard shrinkage strain coefficient) สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวไม่เกิน 10 เซนติเมตร ความชื้นสัมพัทธ์ 40% ได้รับการบ่มชื้นเป็นเวลา 7วันและความหนาของชิ้นส่วนไม่เกิน 15 เซนติเมตร ไว้ดังสมการที่ (32)

$$\varepsilon_{sh} = \left(\frac{t_{c1}}{35+t_{c1}}\right)\varepsilon_{shu} \qquad (32)$$

โดยที่

t_{c1} = เวลาเป็น วัน หลังจากบ่มชื้น

ε_{shu} = หน่วยการหดตัวสูงสุดของ Branson (Ultimate shrinkage strain) มีค่าระหว่าง 0.415 ถึง 0.0010 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร แต่ Branson แนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.0008 ที่สภาวะมาตรฐาน

ทั้งนี้จะต้องปรับแก้ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ อายุของคอนกรีตที่ได้รับการบ่มชื้น ความหนาของส่วนโครงสร้าง ค่าการยุบตัว ฯลฯ สำหรับตัวคูณปรับแก้ความชื้นสัมพัทธ์ H คือ

1.40- 0.01H เมื่อ 40 % ≤ H ≤ 80%

และ 3.00 - 0.03H เมื่อ 80 % ≤ H ≤ 100%

เนื่องจากสมการของ Branson [7] มีข้อจำกัดมาก โครงงานพิเศษนี้จึงได้ศึกษาสมการจาก N.J. Gardner and J.W.Zhao [8] ซึ่งมีตัวแปรตามสภาพความเป็นจริงมากกว่า และได้เสนอชุดสมการที่ (33) สมการที่ (34) สมการที่(35) และสมการที่ (36)ไว้ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{shu} \times \beta(h) \times \beta(t) \tag{33}$$

$$\varepsilon_{shu} = 900 \times K \times \left(\frac{f_c'}{f_{cc}'}\right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{254.83}{f_c'}\right)^{\frac{1}{2}} \times 10^{-6} \tag{34}$$

$$\beta(t) = \left[\frac{7.27 + \ln(t - t_c)}{17.18}\right] \times \left(\frac{t - t_c}{t - t_c + 1.25 \times \left(\frac{V}{S}\right)^2}\right) \tag{35}$$

$$\beta(h) = (1 - h^4) \quad \text{และ} \quad h < 0.99 \tag{36}$$

โดยที่

ε_{sh} = หน่วยการหดตัวของคอนกรีตอย่างอิสระเมื่อไม่มีเหล็กเสริมที่เวลาใด ๆ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

ε_{shu} = หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีต มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

f_{cc}' = ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อเสร็จสิ้นการบ่มชื้น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

t_c = เวลาที่คอนกรีตได้รับการบ่มชื้น วัน

$\beta(t)$ = เป็นความสัมพันธ์ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาที่คอนกรีตได้รับการบ่มชื้น,ปริมาตรและพื้นที่ผิวส่วนที่สัมผัสซึ่งมีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต

$\beta(h)$ = เป็นความสัมพันธ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งมีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต การบ่มชื้นจะทำเป็นเวลา 7 วัน นับตั้งแต่วันเทคอนกรีต [3]

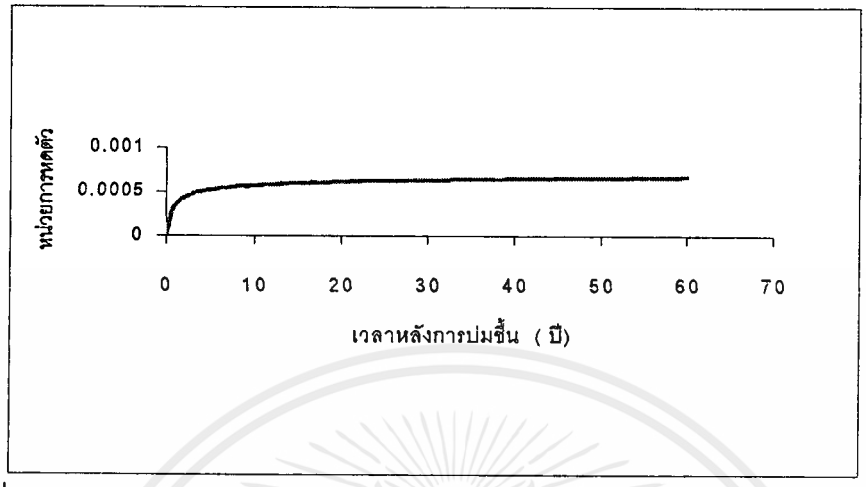
K = 1 สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

K = 0.20 สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2

K = 1.33 สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3

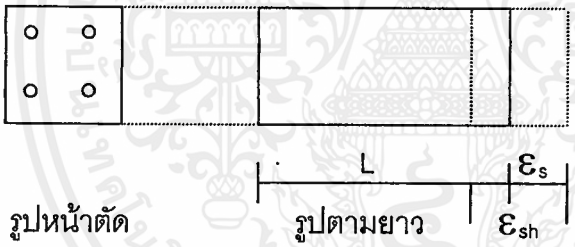
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์หน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเวลาเนื่องจากการสูญเสียความชื้นแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเวลาเนื่องจากการสูญเสียความชื้นจากสมการที่ (33)

พิจารณาการหดตัวของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมยาวหนึ่งหน่วยความยาว ดังรูปที่ 2.5



รูปที่2.5 การหดตัวในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

การหดตัวอย่างอิสระของคอนกรีตเท่ากับ ε_{sh} แต่เนื่องจากเหล็กเสริม หน้าตัดจะหดตัวเป็นระยะ ε_s ซึ่งน้อยกว่าระยะ ε_{sh} ดังนั้นจะเกิดหน่วยแรงอัดในเหล็กดังสมการที่ (37)

$$f_s = \varepsilon_s E_s \tag{37}$$

โดยที่

ε_s = การหดตัวของเหล็กเสริม มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

พิจารณาหน่วยแรงในคอนกรีต ดังสมการที่ (38)

$$f_c = (\varepsilon_{sh} - \varepsilon_s)\frac{E_c}{(1+C_t)} \tag{38}$$

แทนค่าสมการที่ (37) ในสมการที่ (38) จะได้สมการที่ (39)

$$f_c = (\varepsilon_{sh} - \frac{f_s}{E_s})\frac{E_c}{(1+C_t)} \tag{39}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมดุลของแรงเนื่องจากไม่มีแรงภายนอกกระทำ แรงดึงในคอนกรีตจะเท่ากับแรงอัดในเหล็กเสริม

$$A_{st} f_s = A_c f_c \tag{40}$$

จากสมการที่ (39) และสมการมที่ (40) จะได้หน่วยแรงในคอนกรีต ดังสมการที่(41)และสมการที่(42) ตามลำดับ

$$f_{cs} = \frac{\varepsilon_{sh}}{\frac{1+C_t}{E_c} + \frac{A_c}{E_s A_s}} \tag{41}$$

หรือ

$$f_{cs} = \frac{\varepsilon_{sh} E_s}{n(1+C_t) + \frac{A_c}{A_s}}$$

$$f_{cs} = \frac{\varepsilon_{sh} E_s \rho}{\rho n(1+C_t) + 1} \tag{42}$$

โดยที่

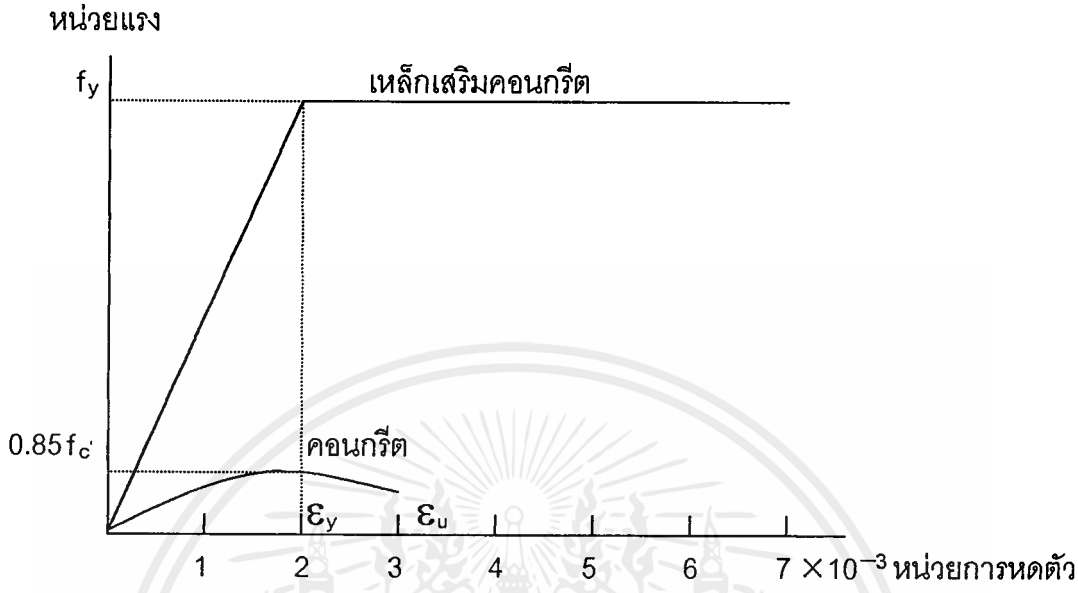
f_{cs} = หน่วยแรงในคอนกรีตเนื่องจากการหดตัว กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากสมการที่(42)จะได้ว่าหน่วยแรงดึงในคอนกรีตเป็นสัดส่วนกับหน่วยการหดตัวอิสระและเมื่ออัตราส่วนของเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น จะทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตเพิ่มขึ้นด้วย จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ว่าเหล็กเสริมในเสาเป็นตัวขัดขวางการหดตัวของคอนกรีตทำให้การหดตัวเป็นไปอย่างไม่อิสระ ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นในคอนกรีตและหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริม [10] ซึ่งหน่วยแรงที่เปลี่ยนไปนี้จะไปรวมกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำ และการล้าจากน้ำหนักบรรทุกทำให้เกิดการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.4 ลักษณะการวิบัติของเสาสั้น

กำลังความสามารถในการรับแรงอัดตามแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวและปลอกเกลียว ก่อนที่คอนกรีตหุ้มจะถูกอัดจนแตก จะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังรับแรงอัดที่ได้ จากคอนกรีตและเหล็กยืน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง กับหน่วยการหดตัว ของคอนกรีตและเหล็กเสริม เหล็กเสริมที่มีจุดครากอยู่ระหว่าง 3000 ถึง 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เหล็กเสริมนั้นจะมีหน่วยการหดตัวที่จุดคราก เท่ากับ 0.0015 ถึง 0.002 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร และให้คอนกรีตมีหน่วยการหดตัวสูงสุดก่อนการวิบัติเท่ากับ 0.003 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการวิบัตินั้นจะเกิดโดยเหล็กเสริมในเสาจะถูกอัดถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตจะถูกอัดจนถึงหน่วยแรงอัดสูงสุดเพียงเล็กน้อย หน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเหล็กยืนแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

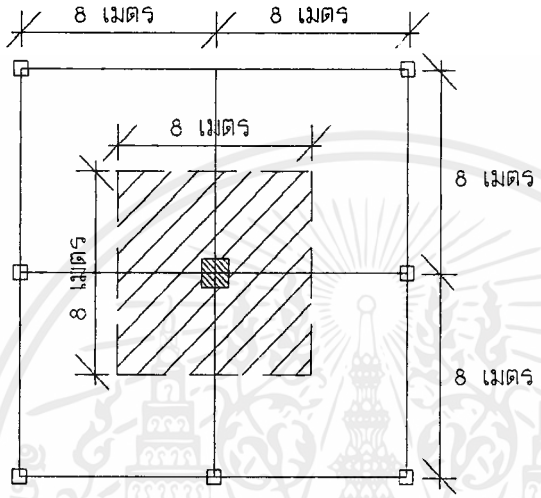


รูปที่2.6 หน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเหล็กยืน
เมื่อเสาสั้นถูกแรงกระทำตามแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์การสูญเสียกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

- เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง (creep)
- การสูญเสียความชื้นในคอนกรีต (shrinkage)
- เสาหนีศูนย์จากการก่อสร้าง



รูปที่2.7 ตำแหน่งเสากับการรับน้ำหนักในโครงสร้างอาคาร

จากโครงสร้างตัวอย่างข้างบน เสาต้นกลาง ขนาด 0.50x0.50 เมตร ต้องรับน้ำหนักของโครงสร้างจำนวน 4 ชั้น กำหนด ระยะจากพื้นถึงพื้น 3 เมตร พื้นหนา 25 เซนติเมตร ความสูงของเสา 2.75 เมตร กำหนดใช้ f_c' = 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร f_y = 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.5.1 ออกแบบหน้าตัดเสา และเหล็กเสริม

น้ำหนักบรรทุกคงที่

พื้น = 0.25x2400x8x8x4 = 153,600 กิโลกรัม

กำแพง = 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

= 250x2.75x14.8x4

= 40,700 กิโลกรัม

น้ำหนักเสา (ขนาดเสา 0.5x0.5 เมตร) = 0.5x0.5x2.75x2400x4

= 6,600 กิโลกรัม

น้ำหนักบรรทุกคงที่รวม = 200,900 กิโลกรัม

น้ำหนักบรรทุกจร

กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร = 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

น้ำหนักบรรทุกจรรวม = 300x8x8x4 = 76,800 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_u = 1.4DL. + 1.7LL.$$

$$= 1.4x200,900 + 1.7x76,800$$

น้ำหนักบรรทุกรวม = 411,820 กิโลกรัม

จาก $\phi P_{n(max)} = 0.8\phi\{0.85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\}$

แทนค่า

$$411,820 = 0.8x0.7\{0.85x280[(50x50) - A_{st}]+4,000 A_{st}\}$$

ปริมาณเหล็กเสริม A_{st} = 37.32 ตารางเซนติเมตร

$$\rho = A_{st}/A_g$$

$$= 37.32/2500$$

$$= 0.015 > 0.01$$ ใช้ได้

ดังนั้นเลือกใช้เหล็กยืน 12-DB 20 (A_{st} = 12x3.14=37.68 ตารางเซนติเมตร)

$$\rho = 37.68/2500$$

$$= 0.0151 > 0.01$$ ใช้ได้

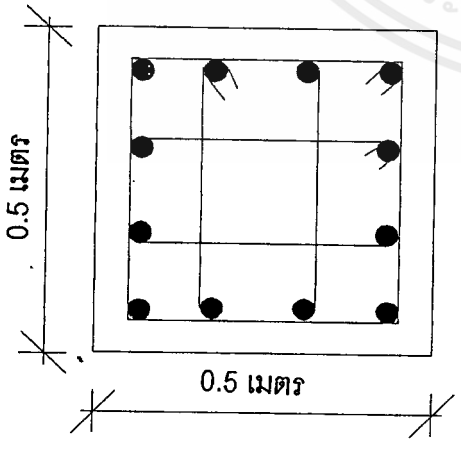
เหล็กปลอก ใช้เหล็กปลอกเดี่ยวขนาด RB6 มม.

ต้องการระยะเรียง = 16 เท่าของเหล็กยืน = 16x2 = 32 เซนติเมตร

หรือ = 48 เท่าของเหล็กปลอก = 48x0.6 = 28.8 เซนติเมตร

= ด้านแคบที่สุดของเสา = 50 เซนติเมตร

ดังนั้น เหล็กปลอก ใช้เหล็กปลอกเดี่ยวขนาด RB6 มิลลิเมตร @ 0.25 เมตร



รูปที่2.8 ขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 จากขนาดที่ได้จากการออกแบบสามารถหาน้ำหนักที่เสารับได้จริง

$$P_u = 0.8x0.7\{0.85x280(2500-37.68)+(4000x37.68)\}$$

$$= 412,581.2 \text{ กิโลกรัม}$$

ความสามารถในการรับน้ำหนักจริงมากกว่าที่ออกแบบไว้

$$= 421,581.2-411,820$$

$$= 761.2 \text{ กิโลกรัม}$$

2.5.3 การสูญเสียกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างนี้สมมติให้พิจารณาที่เวลา 5 ปี หรือ t = 1825 วัน หลังจากเสาต้นนี้ได้รับการหล่อ

2.5.3.1 พิจารณาผลจากการน้ำหนักบรรทุกคงค้าง (creep)

พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเสา

$$A_{g1} = 50 \times 50 = 2,500 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

(ตัวอย่างการวิเคราะห์นี้คิดว่าขนาดเสาที่วัดได้หลังจากก่อสร้างเสร็จไม่คลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้ สำหรับการพิจารณาผลจากการคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติวัสดุที่นำมาก่อสร้างจะแสดงในตัวอย่างการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆทั้งหมดที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในบทตัวอย่างการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์)

แต่ $A_{st} = 37.68$ ตารางเซนติเมตร

$$A_{c1} = 2500-37.68$$

$$= 2462.32 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

$$*E_c = 15100\sqrt{*f_c} \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

$$= 252,671.328 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

แต่ $E_s = 2.04 \times 10^6$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ดังนั้น $n = 2.04 \times 10^6 / 252,671.328$

$$= 8.0737$$

เมื่อพิจารณาที่เวลา 5 ปี t = 1825 วัน หลังจากการหล่อ และ t_0 = 1 ปี หรือ 365 วัน

(สมมติว่า เสาต้นนี้รับน้ำหนักหลังจากการหล่อเสร็จ 1ปี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะรับน้ำหนักเต็มที่ เมื่อเวลาผ่านไปหลังการก่อสร้าง 2 ปี แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดโครงสร้างด้วย ซึ่งยากที่จะพิจารณาได้ถูกต้อง ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้ คิดว่าการล้าของเสาเกิดขึ้นหลังจากการหล่อเป็นเวลา 1 ปี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (11)ในหัวข้อ (2.3.2.5) สัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีต

$$C_t = \left[\frac{7.27+\ln(t-t_0)}{17.18}\right]x\left[1.57+2.98x\frac{f_c'}{f_{ci}'}\left(\frac{254.83}{f_c'}\right)^{\frac{1}{2}}x\left[(1-h^2)x\left(\frac{t-t_0}{t-(t_0x10x\left(\frac{V}{S}\right)^2}\right)\right]\right]$$

จากคุณสมบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่พิจารณาจะได้

V = 275x50x50 = 687,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

S = 4x50x275 = 55,000 ตารางเซนติเมตร

h = 77% (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในประเทศไทย)

V/S = 12.5 เซนติเมตร

จากสมการที่ (12) ในหัวข้อ (2.3.2.5) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อพิจารณาที่เวลาใดๆ

$$f_c' = \frac{365x280}{4+(0.85x365)}$$

= 325.218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ดังนั้น จากสมการที่ (11) จะได้

$$C_t = \left[\frac{7.27+\ln(1825-365)}{17.18}\right]x\left[1.57+2.98x\frac{280}{325218}\left(\frac{25483}{280}\right)^{\frac{1}{2}}x\left[(1-0.77^2)x\left(\frac{1825-365}{1825-(365x10x(125)^2}\right)\right]\right]$$

C_t = 1.328

เมื่อเสาเริ่มมีแรงกระทำ t = 365 วัน C_t = 0

P = 277,700 กิโลกรัม

แทนค่า P และ C_t ในสมการที่ (30)จากหัวข้อ (2.3.2.5) จะได้ หน่วยแรงในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง

$$f_{ci} = \frac{277700}{2462.32+37.68x8.0737}$$

= 100.378 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

และ f_{si} = 8.0737x100.378 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

= 810.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เมื่อเวลาผ่านไป 4 ปี หลังจากรับน้ำหนักบรรทุก

C_t = 1.328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า P และ C_t ในสมการที่ (30) ได้หน่วยแรงในคอนกรีต

$$f_{ct} = \frac{277700}{2462.22+[(37.68x8.073)(1+1.328)]}$$

$$= 87.59 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

และได้หน่วยแรงในเหล็กเสริม $f_{st} = 8.073(1+1.328)(87.59)$

$$= 1646.16 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

ดังนั้นสามารถหาหน่วยแรงที่เปลี่ยนไปได้ดังนี้

หน่วยแรงในคอนกรีตลดลงเนื่องจากการล้า (creep)

$$= f_{ci}-f_{ct} = 100.378-87.59 = 12.788 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

หน่วยแรงในเหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการล้า (creep)

$$= f_{st}-f_{si} = 1646.16-810.42 = 835.74 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

หน่วยการหดตัวเนื่องจากล้า (creep)

หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริม

$$\varepsilon_{sc} = \frac{f_{st}-f_{si}}{E_s}$$

$$= (1646.16-810.42) / 2.04x10^6$$

$$= 0.0004096 \text{ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร}$$

เนื่องจาก $\varepsilon_s = \varepsilon_c$

ดังนั้นหน่วยการหดตัวในคอนกรีต $\varepsilon_{cc} = 0.0004096$ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

หน่วยการหดตัวเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุก

หน่วยการหดตัวในคอนกรีต

$$\varepsilon_{ci} = \frac{f_{ci}}{15100\sqrt{f_c'}}$$

$$= \frac{100.378}{15100\sqrt{280}}$$

$$= 0.000397 \text{ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร}$$

หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริม

$$\varepsilon_{si} = \frac{f_{si}}{E_s}$$

$$= \frac{810.42}{2.04x10^6}$$

$$= 0.000397 \text{ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร}$$

หรือ $\varepsilon_{ci} = \varepsilon_{si}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักที่ลดลงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจาก creep

$$P_{rc} = (f_{ci} - f_{ct}]A_C] + [(f_{st} - f_{si})A_{st}]$$

$$= [(100.378-87.59)2462.32] + [(1646.16-810.42)37.68]$$

$$= 62,972.80 \text{ กิโลกรัม}$$

2.5.3.2 พิจารณาผลจากการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต (shrinkage)

จากสมการที่ (33).ในหัวข้อ (2.3.2.6)

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{shu} \times \beta(h) \times \beta(t)$$

จากคุณสมบัติต่างๆ

$K = 1$ สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

$$f_{cc'} = \frac{7 \times 280}{4 + (7 \times 0.85)}$$

$= 197$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.

$t = 1825$ วัน

$t_c = 7$ วัน

$V/S = 12.5$ เซนติเมตร

$h = 0.77$

แทนค่าในสมการ (33) จะได้

$$\varepsilon_{shu} = 900 \times 1 \times \left(\frac{280}{197}\right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{254.83}{280}\right)^{\frac{1}{2}} \times 10^{-6}$$

$= 0.001023$ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

$$\beta(t) = \left[\frac{7.27 + \ln(1825-7)}{17.18}\right] \times \left[\frac{1825-7}{1818 + (1.25 \times 12.5^2)}\right]$$

$= 0.7766$

$$\beta(h) = (1-h^4)$$

$$= (1-0.77^4)$$

$$= 0.648$$

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{shu} \times \beta(h) \times \beta(t)$$

ดังนั้นจะได้

$$\varepsilon_{sh} = 0.001023 \times 0.648 \times 0.7766$$

$= 0.00051$ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_1 = A_s / A_{g1}$$

$$= 0.000515$$

$$n = 8.0737$$

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียความชื้น

จากสมการที่ (42) ในหัวข้อ(2.3.2.6)

$$F_c = \frac{\varepsilon_{sh} E_s \rho_1}{\rho_1 n(1+C_t)+1}$$

$$= \frac{0.000515 \times 2.04 \times 10^6 \times 0.0151}{0.0151 \times 8.015(1+1.328)+1}$$

$$= 12.38 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

จากสมดุลของแรงเนื่องจากไม่มีแรงภายนอกกระทำ แรงดึงในคอนกรีตจะเท่ากับแรงอัดในเหล็กเสริม (ผลของแรงที่กระทำไม่มีผลต่อการเกิด shrinkage)

นั่นคือ $p_{rs} = A_{c1} \times F_c$

$$= 2462.32 \times 12.38$$

$$= 30,483.52 \text{ กิโลกรัม}$$

สำหรับแรงดึงในคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีตแต่ในการวิเคราะห์จะไม่นำส่วนนี้มาพิจารณาเพราะมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การยืดหดที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันของคอนกรีตในหน้าตัดที่เกิดขึ้นพร้อมกับ shrinkage ทำให้คอนกรีตแตกร้าว จึงพิจารณาว่าไม่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีต

ดังนั้นกำลังลดลงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (p_{rs})

$$p_{rs} = 30,483.52 \text{ กิโลกรัม}$$

หน่วยการหดตัวของเหล็กยืนเนื่องจาก shrinkage

$$\varepsilon_{ss} = \frac{P_{rs}}{A_s E_s}$$

$$= \frac{30,483.52}{37.68 \times 2.04 \times 10^6}$$

$$= 0.000396 \quad \text{มิลลิเมตร ต่อ มิลลิเมตร}$$

หน่วยการหดของคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียความชื้น

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ss} = 0.000396 \text{ มิลลิเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อไม่พิจารณาการสูญเสียกำลังจากปัจจัยต่างๆ

$$p = *f_c A_{c1} + A_s * f_y$$

กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อสูญเสียกำลังจากการคืบและการหดตัว

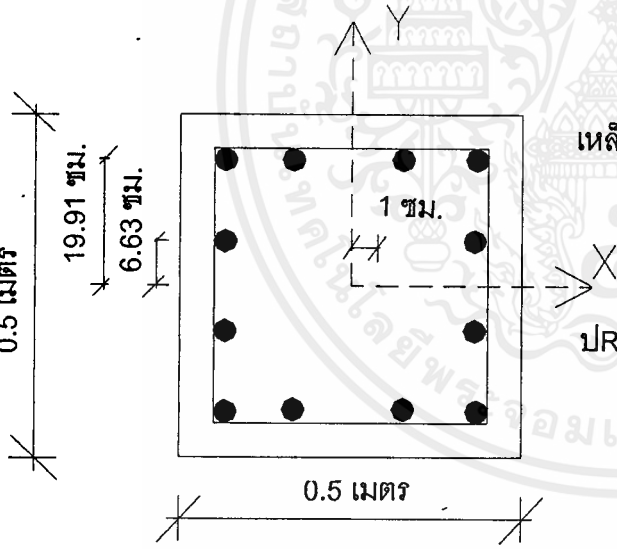
$$p_{cs} = (*f_c A_{c1} + A_s * f_y) - (P_{rc} + p_{rs})$$

$$= [(280 \times 2462.32) + (37.68 \times 4000)] - (76,755.39 + 30,483.52)$$

$$= 732,930.69 \text{ กิโลกรัม}$$

2.5.3.3 พิจารณาเมื่อเสาหนีศูนย์จากการก่อสร้าง

ตัวอย่างการวิเคราะห์นี้สมมติว่า ณ.สถานที่ก่อสร้างจริงช่างได้ตั้งแบบเสาคลาดเคลื่อนทำให้เสาที่หล่อแล้วเกิดการหนีสูญ 1 เซนติเมตร



รูปที่2.9 การหนีศูนย์ของหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการออกแบบโครงสร้างน้ำหนักบรรทุกที่เสาต้องรับมีค่าเท่ากับ

200,900+76,800 = 277,700 กิโลกรัม

moment ที่เกิดขึ้นเมื่อเสาหนีสูญ 1 เซนติเมตร

M = 277,700x1 = 277,700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเสาเนื่องจาก moment ด้านเดียวกับทิศการเกิด moment จากสมการที่ (8) ในหัวข้อ (2.3.2.4)

$$\sigma_c = \frac{MC}{I_t}$$

เมื่อ $I_t = I_{\text{คอนกรีต}} + (n-1)I_{\text{เหล็กยืน}}$

$$I_{\text{เหล็กยืน}} = \sum\frac{\pi D^4}{64} + \sum A_s d^2$$

$$= \frac{12x\pi x 2^4}{64} + 2x3.14\left[(2x6.635x6.635) + (4x19.9x19.91)\right]$$

$$= 10{,}520.127 \text{ ตารางเซนติเมตรคูณตารางเซนติเมตร}$$

$$I_t = \frac{50x50^3}{12} + (8.0125-1)(10{,}520.127)$$

$$= 594{,}632 \text{ ตารางเซนติเมตรคูณตารางเซนติเมตร}$$

เนื่องจาก เสาหนีศูนย์ มีค่าน้อย โมเมนต์ที่เกิดขึ้นทำให้คอนกรีตและเหล็กเสริมยังอยู่ภายใต้แรงอัดจะได้ว่า

$$\frac{p}{A_t} \pm \frac{MC}{I_t} \le f_c$$

เมื่อ A_t = เนื้อที่หน้าตัดแปลงของหน้าตัดเสาซึ่งย่อมมีค่ามากกว่า A_c

$$\frac{p}{A_t} = 280 - \frac{277700x25}{594632}$$

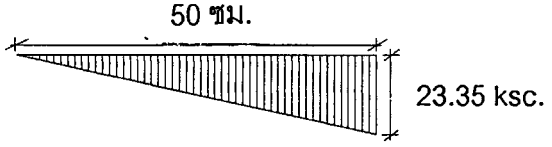
$$= 280 - 11.675$$

$$= 268.325 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

ดังนั้นหน่วยแรงในคอนกรีตเหลือน้อยที่สุด = 268.325 -11.675 = 256.65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ดังนั้นหน่วยแรงในคอนกรีตลดลงมากที่สุดเมื่อเสาเกิดการหนีศูนย์

$$= 280-256.65 = 23.35 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$



รูปที่2.10 หน่วยแรงที่ลดลงในคอนกรีตเนื่องจากเสาหนีศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตในเสาลดลงเนื่องจากการหนีศูนย์

$$p_{ec} = 0.5 \times 23.35 \times A_{c1}$$

$$= 0.5 \times 23.35 \times 2462.32$$

$$p_{ec} = 28{,}747.6 \text{ กิโลกรัม}$$

หาความเครียดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต

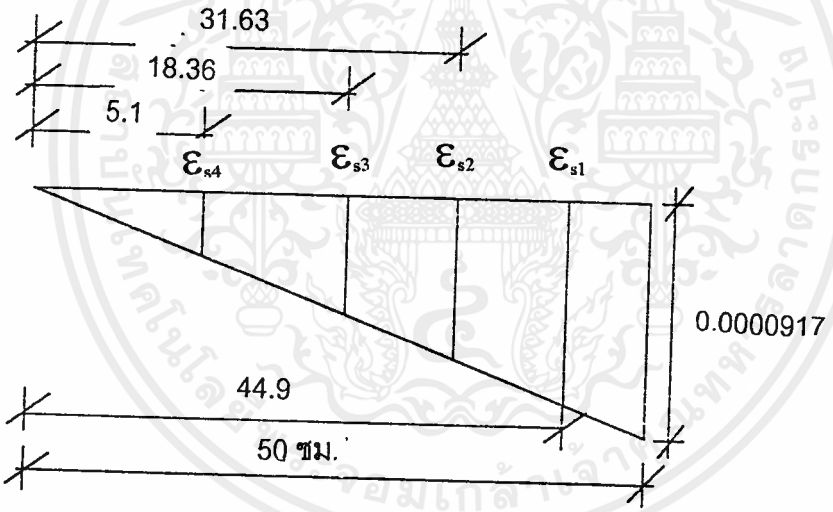
จาก $$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

$$= \frac{23.35}{15100\sqrt{280}} = 0.0000924 \text{ มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร}$$

พิจารณาเหล็กเสริม

ความเครียดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต = ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม

พิจารณาหาความเครียดของเหล็กเสริมแต่ละแถวในหน้าตัดเสา แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่2.11 การหดตัวของเหล็กเสริม ณ.ตำแหน่งการเสริมเหล็กในหน้าตัดเสา

คอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดจากเสาหนีศูนย์

ε_{s1} = (0.0000924x44.90)/50 = 0.00008297 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

ε_{s2} = (0.0000924x31.63)/50 = 0.00005845 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

ε_{s3} = (0.0000924x18.36)/50 = 0.000033929 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

ε_{s4} = (0.0000924x 5.10)/50 = 0.0000094248 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมแต่ละเส้น ณ. ตำแหน่งต่าง ๆ

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

σ_{s1} = 0.00008297x 2.04x10^6 = 169.269 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

σ_{s2} = 0.00005845x 2.04x10^6 = 119.2425 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

σ_{s3} = 0.000033929x 2.04x10^6 = 69.215 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

σ_{s4} = 0.0000094248x 2.04x10^6 = 19.176 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ดังนั้นแรงที่ลดลงในเหล็กเสริมเมื่อเสาหนีศูนย์ 1 เซนติเมตร

P_{se} = 3.14[(4x169.269) + (2x119.2925) + (2x69.215) + (4x19.176)]

= 3,550.934 กิโลกรัม

ดังนั้นกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงเนื่องจากเสาหนีศูนย์

P_{re} = 28,747.6 + 3,550.934 = 32,298.524 กิโลกรัม

จากตัวอย่างการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

กำลังรับน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากการ creep

P_{rc} = 62,972.8 กิโลกรัม

กำลังรับน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจาก shrinkage

P_{rs} = 30,483.52 กิโลกรัม

กำลังรับน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจาก เสาหนีศูนย์

P_{re} = 32,298.534 กิโลกรัม

กำลังรับน้ำหนักที่สูญเสียทั้งหมด

P_{rt} = 62,972.8+30,483.52+32,298.534

= 125,754.854 กิโลกรัม

หน่วยการหดตัวทั้งหมดของคอนกรีต

$^*\varepsilon_c = \varepsilon_{ci} + \varepsilon_{cc} + \varepsilon_{cs} + \varepsilon_{ce}$

= 0.000397+0.000589+0.000396+0.0000924

= 0.00147 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

หน่วยการหดตัวทั้งหมดของเหล็กเสริม

$^*\varepsilon_s = \varepsilon_{si} + \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{ss} + \varepsilon_{se}$

= 0.000397+0.000589+0.000396+0.00008297

= 0.001465 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

P_u = ขนาดน้ำหนักบรรทุกที่คูณด้วยตัวคูณเพิ่มที่เสาจะต้องรับได้ กิโลกรัม

$\phi P_{n(max)}$ = ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการออกแบบ กิโลกรัม

ρ = อัตราส่วนระหว่างเหล็กเสริมกับหน้าตัดเสา

A_{g1} = ขนาดพื้นที่หน้าตัดเสาที่ได้จากการวัดขนาดจริง ตารางเซนติเมตร

A_{c1} = ขนาดพื้นที่หน้าตัดเสาส่วนที่เป็นคอนกรีตที่ได้จากการวัดจริง. ตารางเซนติเมตร

$*f_c'$ = ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$*E_c$ = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตคำนวณจากค่า $*f_c'$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_{c1}. = ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตเมื่อเริ่มมีแรงมากระทำ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_{si} = ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมเมื่อเริ่มมีแรงมากระทำ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

C = ระยะครึ่งหนึ่งของขนาดหน้าตัดเสาด้านที่รับโมเมนต์ เซนติเมตร

f_{ct} = ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตที่พิจารณาหลังได้รับน้ำหนักบรรทุก ณ.เวลาใดๆ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

f_{st} = ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมที่พิจารณาหลังได้รับน้ำหนักบรรทุก ณ.เวลาใดๆ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ε_{si} = หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

ε_{sc} = หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมเนื่องจากการล้าจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง. มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

ε_{cc} = หน่วยการหดตัวในเหล็กเสริมเนื่องจากการล้าจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง มิลลิเมตร.ต่อมิลลิเมตร

ε_{ci} = หน่วยการหดตัวในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

f_{ci} = ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทำงานของโปรแกรม SafeRCcol

3.1กล่าวนำ

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการคำนวณหากำลังการรับน้ำหนัก ที่เสาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้จริง ซึ่งพิจารณาจากพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำการก่อสร้าง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้ ผลที่ได้จะช่วยในการตัดสินใจในการควบคุมงาน ด้วยเหตุนี้จึงได้สร้างโปรแกรมสำหรับคำนวณขึ้น เพื่อความสะดวกในการพิจารณา

3.2 การพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรม SafeRCcol เป็นโปรแกรมบน windows ที่สร้างจาก Delphi 2 ซึ่งเป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมแบบ Visual

3.3 ความต้องการทางด้านฮาร์ดแวร์

โปรแกรม SafeRCcol มีความต้องการทางด้านฮาร์ดแวร์ดังต่อไปนี้

3.3.1 ซีพียู 386 ขึ้นไป (ควรเป็น486-DX ขึ้นไป)

3.3.2 หน่วยความจำหลักอย่างน้อย 6 เมกกะไบต์ (ควรเป็น 8 เมกกะไบต์)

3.3.3 เนื้อที่ในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 1 เมกกะไบต์

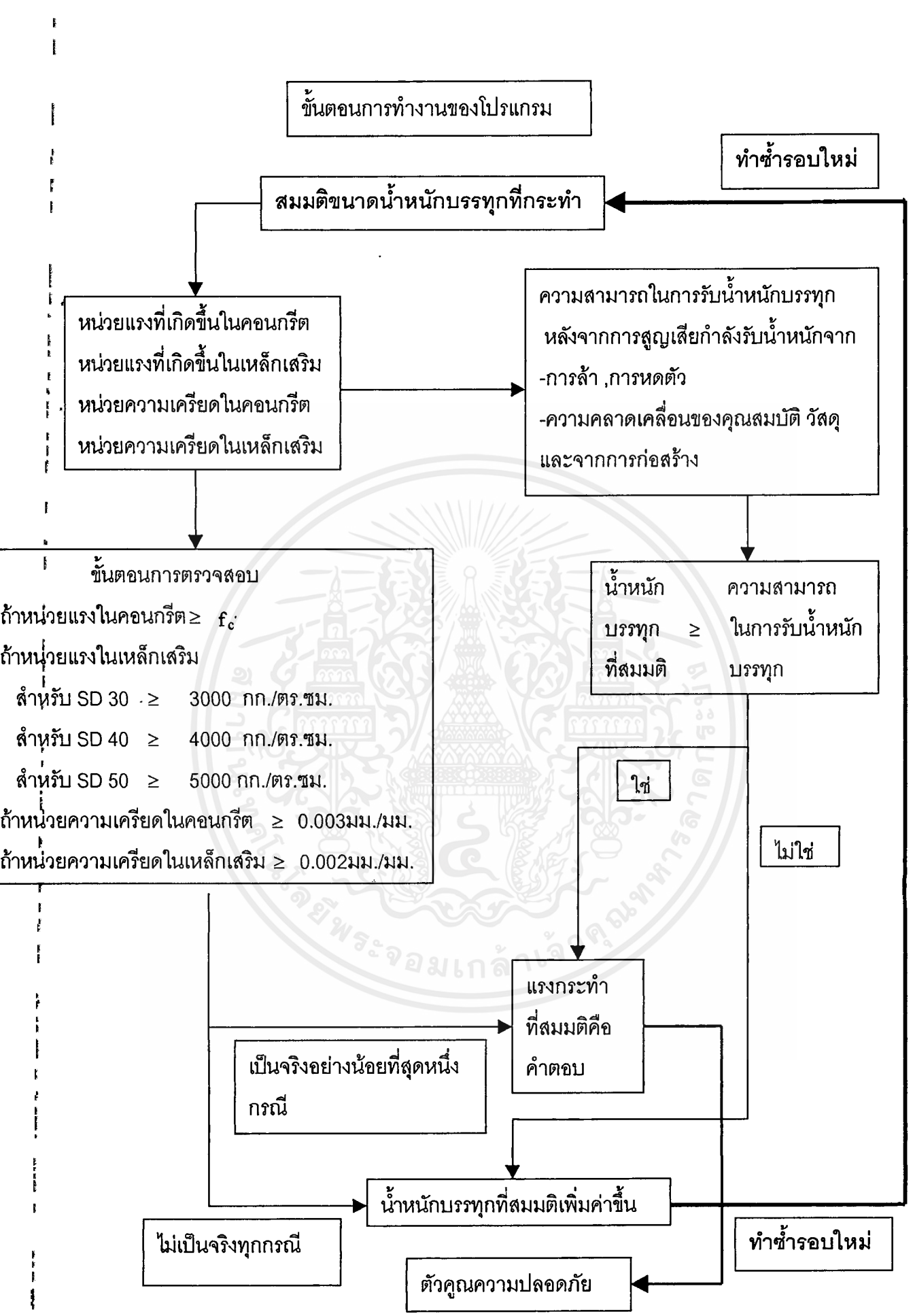
3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานโปรแกรม SafeRCcol เริ่มต้นจากโปรแกรมกำหนดน้ำหนักบรรทุกซึ่งสอดคล้องกับขนาดหน้าตัดเสาที่ผู้ใช้โปรแกรมป้อนเข้าไป หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณหาหน่วยแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริม เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้น พร้อมกับตรวจสอบหน่วยแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นตามเงื่อนไข มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ถ้าเงื่อนไขที่ตรวจสอบเป็นจริงเพียงกรณีเดียว น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดขึ้นนั้นก็คือน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสารับได้ ในขณะเดียวกันโปรแกรมจะทำการคำนวณหา ความสามารถในการรับน้ำหนักที่แท้จริงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหลังการสูญเสียกำลังรับน้ำหนัก เนื่องจากการล้าจากการรับน้ำหนักบรรทุกคงค้างการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต และความคลาดเคลื่อนของขนาด รวมทั้งคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงจากการออกแบบถ้าน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดขึ้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ กำลังการรับน้ำหนักที่เสารับได้หลังการสูญเสียกำลัง น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดขึ้นเท่ากับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสารับได้ หากการตรวจสอบหน่วยแรงและความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคอนกรีต และเหล็กเสริม รวมทั้งกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โปรแกรมจะกำหนดน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น พร้อมกับทำการคำนวณและตรวจสอบ ตามเงื่อนไขเหมือนรอบที่ผ่านมา โปรแกรมจะทำลักษณะเช่นนี้จนกว่าเงื่อนไขที่กำหนดเป็นจริง ซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดขึ้นนั้น คือน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสารับได้ หลังจากนั้นก็จะนำน้ำหนักบรรทุกนั้นไปคำนวณหาตัวคูณปลอดภัย ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำงานของโปรแกรม SafeRCcol ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

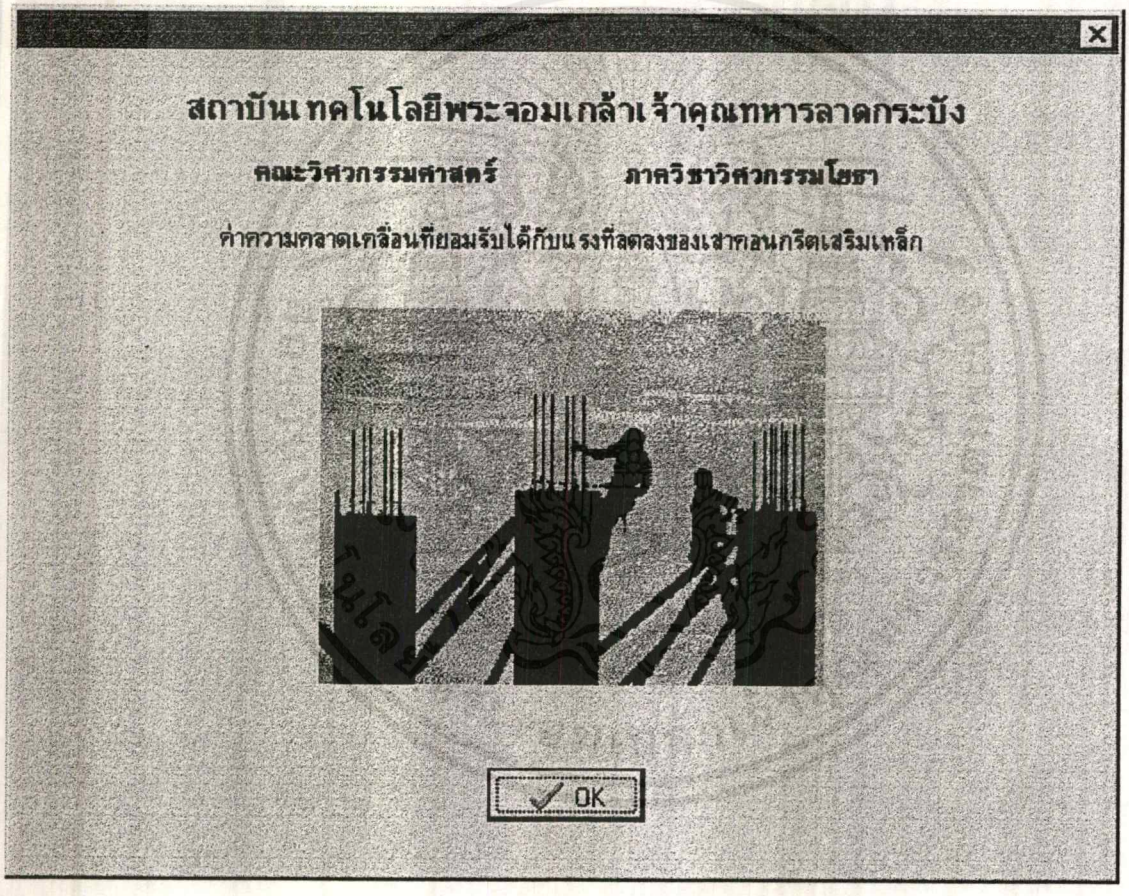


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

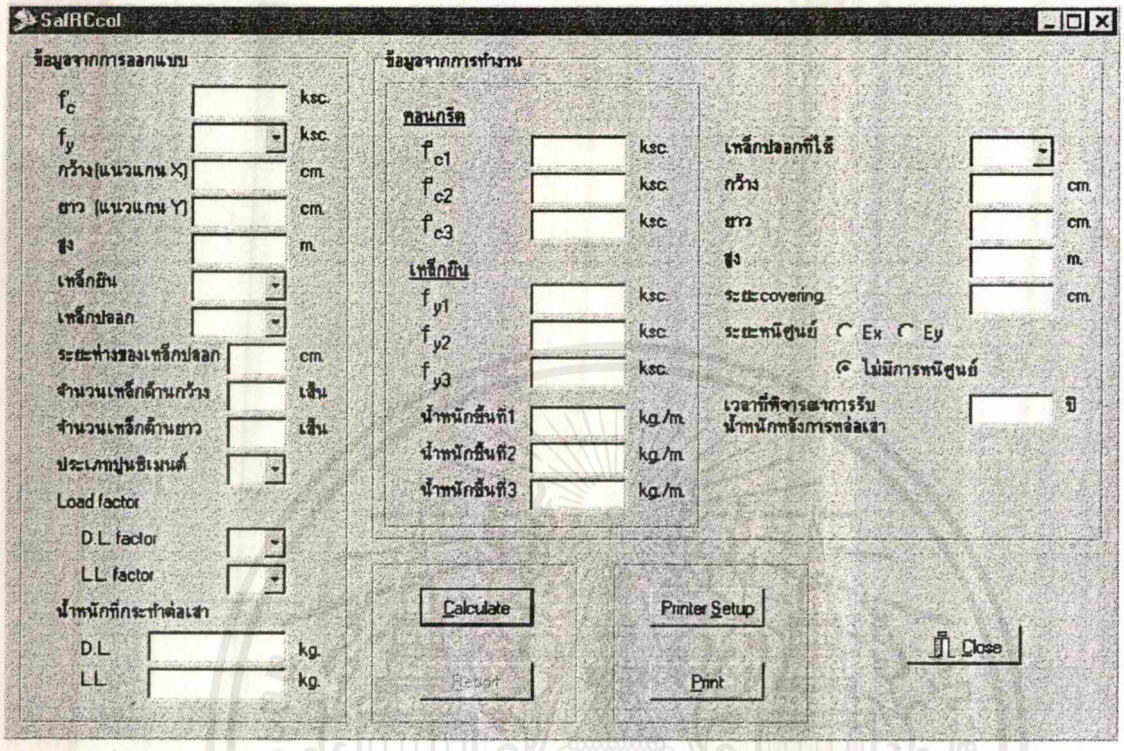
3.5.1 ทำการเรียกโปรแกรม SafeRCcol จาก file SafeRCcol.exe จะปรากฏหน้าต่างแรกดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หน้าต่างก่อนเข้าสู่โปรแกรม SafeRCcol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

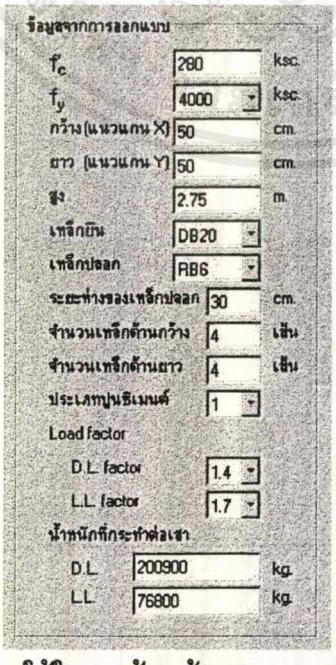
3.5.2 กดปุ่ม O.K. เข้าสู่หน้าต่างการป้อนข้อมูล และคำนวณจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่3.3



รูปที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรม SafeRCcol

3.5.3 ทำการป้อนข้อมูลซึ่งมีสองส่วน คือ

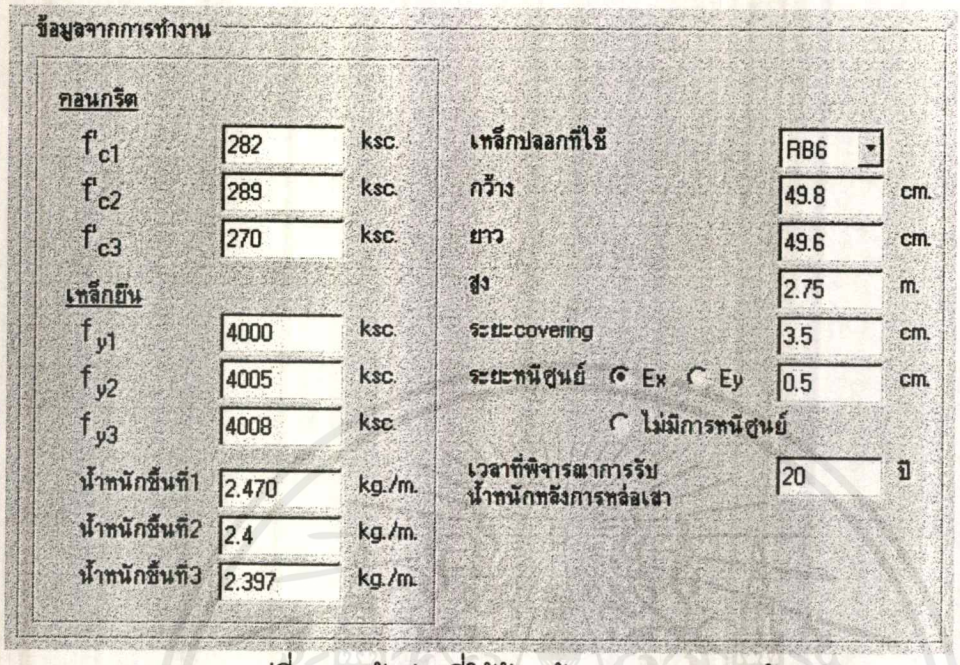
- ข้อมูลจากการออกแบบ



รูปที่ 3.4 หน้าต่างใช้ในการป้อนข้อมูลจากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

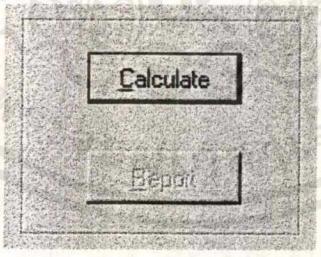
- ข้อมูลจากการทำงานจริง



รูปที่ 3.5 หน้าต่างที่ใช้ป้อนข้อมูลจากการก่อสร้างจริง

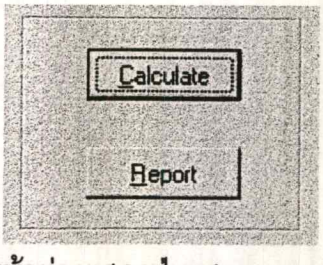
3.5.4 ทำการคำนวณและดูผลจากการคำนวณ

- ถ้าป้อนข้อมูลไม่ครบปุ่มการแสดงผลการคำนวณจะไม่ทำงาน



รูปที่ 3.6 หน้าต่างแสดงปุ่มการคำนวณ

- เมื่อป้อนข้อมูลครบปุ่มแสดงผลการคำนวณจะทำงาน



รูปที่ 3.7 หน้าต่างแสดงปุ่มแสดงผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

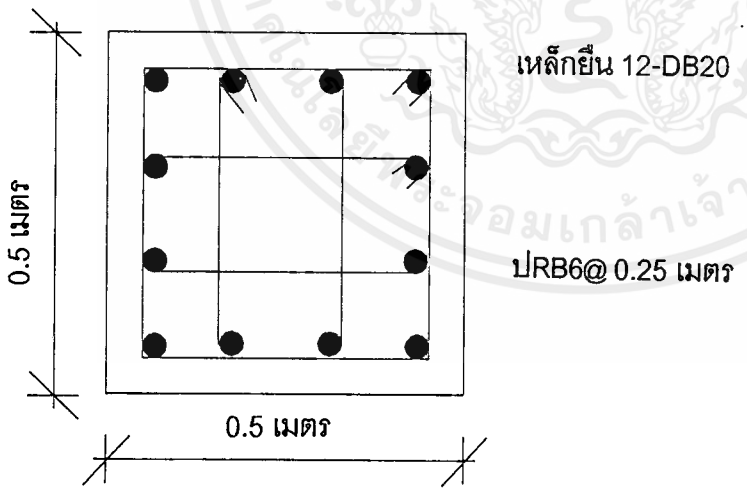
ตัวอย่างการคำนวณกำลังรับน้ำหนักโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะแสดงถึงตัวอย่างการคำนวณกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกคงที่และของน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งพิจารณาจากพฤติกรรมการรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้งปัจจัยที่ทำให้กำลังการรับน้ำหนักลดลงที่เวลาต่างๆกัน ตลอดจนนำกำลังการรับน้ำหนักที่ได้จากโครงงานพิเศษนี้ ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการออกแบบ ซึ่งกระบวนการต่างๆในการคำนวณ จะถูกคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้น

4.2 ตัวอย่างการคำนวณกำลังการรับน้ำหนักโดยโปรแกรม SafeRCcol

ในตัวอย่างการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้มาจากการออกแบบ เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริง ได้ใช้คุณสมบัติของวัสดุ และข้อมูลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ข้อมูลจากการออกแบบ

- ขนาดเสาด้านกว้าง = 50 เซนติเมตร
- ขนาดเสาด้านยาว = 50 เซนติเมตร
- ความสูงเสา = 2.75 เมตร.
- กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน =280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ประเภทปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีต ประเภทที่1
- เหล็กยืน = 12-DB20
- เหล็กปลอก = RB6 @ 0.25 ม.
- กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กยืน 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กยืน = 2,040,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต = $15,100\sqrt{f_c'}$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกคงที่ = 1.4
- ตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจร = 1.7
- น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ
- น้ำหนักบรรทุกคงที่ = 200,900 กิโลกรัม
- น้ำหนักบรรทุกจร = 76,800 กิโลกรัม

4.2.2 ข้อมูลจากการก่อสร้างจริง

- ขนาดเสาด้านกว้าง = 49.8 เซนติเมตร
- ขนาดเสาด้านยาว = 49.6 เซนติเมตร
- กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ได้จากการทดสอบแท่งคอนกรีตทรงกระบอก 3 ชิ้น
  - ชิ้นที่1 = 282 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
  - ชิ้นที่2 = 289 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
  - ชิ้นที่3 = 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ประเภทปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีต = ประเภทที่1
- กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กยืน ได้จากการทดสอบตัวอย่าง3ชิ้น
  - ชิ้นที่1 = 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
  - ชิ้นที่2 = 4005 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
  - ชิ้นที่3 = 4008 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำหนักต่อเมตรของเหล็กยืน ได้จากการชั่ง ตัวอย่าง3ชิ้น

ชิ้นที่1 = 2.470 กิโลกรัมต่อเมตร

ชิ้นที่2 = 2.400 กิโลกรัมต่อเมตร

ชิ้นที่3 = 2.397 กิโลกรัมต่อเมตร

- เหล็กปลอก = RB6 @ 0.25 เมตร

- เสาหนีศูนย์จากการก่อสร้างทางด้านกว้าง = 0.5 เซนติเมตร

นอกจากการคลาดเคลื่อนต่างๆจากการก่อสร้างที่ทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมย่อมเสื่อมอายุตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กย่อมน้อยลงตามอายุการใช้งานเช่นเดียวกันซึ่งสำหรับโครงงานพิเศษนี้ การสูญเสียพลังงานที่เห็นได้เด่นชัดคือ การล้าเนื่องจากรับน้ำหนักบรรทุกคงค้างหรือการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต

ดังนั้นตัวอย่างที่นำมาแสดงในโครงงานพิเศษนี้ จะเป็นตัวอย่างที่แตกต่างกันในเรื่องเวลาที่เสานั้นรับน้ำหนัก ซึ่งจะเริ่มพิจารณาตั้งแต่หล่อเสาเสร็จ หรืออาจกล่าวได้ว่าพิจารณาจากอายุของเสานั้น เพื่อจะแสดงให้เห็นเด่นชัดถึงกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักที่แท้จริงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เปลี่ยนไป ตามอายุการใช้งาน โดยแยกการพิจารณาดังนี้

ตัวอย่างที่1 คำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ก่อนที่จะรับน้ำหนักบรรทุก สมมติพิจารณาที่เวลา 0.5 ปี หลังการหล่อเสา

(สำหรับงานวิจัยนี้ประมาณว่าเสาเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกหลังการหล่อเสา 1ปี)

ตัวอย่างที่2 คำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังรับน้ำหนักบรรทุก สมมติพิจารณาที่เวลา 5 ปี หลังการหล่อเสา

ตัวอย่างที่3 คำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่อายุการใช้งานของอาคาร สมมติพิจารณาที่เวลา 51 ปี หลังการหล่อเสา

4.2.3 ผลการคำนวณจากโปรแกรม SafeRCcol แบ่งได้ 2 ส่วนดังนี้

4.2.3.1 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ และความคลาดเคลื่อนจากการก่อสร้างจริงกับเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย แสดงในตารางที่4.1

4.2.3.2 ผลการวิเคราะห์การสูญเสียกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง การสูญเสียความชื้นในคอนกรีต เสาหนีสูญจากการก่อสร้าง และกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบกับกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจากการออกแบบ โดยแยกพิจารณาที่เวลา 0.5 ปี 5ปี และ 51ปีหลังการหล่อเสา แสดงในตารางที่4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างจริงกับค่ามาตรฐาน

	ชิ้นที่1	ชิ้นที่2	ชิ้นที่3	ค่าเฉลี่ย
คอนกรีต				
ค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังอัดแท่งคอนกรีต	2 ksc.	9 ksc.	-10 ksc.	0.33 ksc.
เทียบกับมาตรฐาน ว.ส.ท.	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
เหล็กเสริม				
ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังแรงดึงที่จุดคราก	0 ksc.	5 ksc.	8 ksc.	4.33 ksc.
เทียบกับมาตรฐาน ว.ส.ท.	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ค่าความคลาดเคลื่อนน้ำหนักต่อเมตร	0.162%	-2.676%	-2.798%	-1.771%
เทียบกับมาตรฐาน มอก.	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ค่าความคลาดเคลื่อนจากการก่อสร้าง				
ค่าความคลาดเคลื่อนของเสา				
ด้านกว้าง	-0.2 cm.			
เทียบกับมาตรฐาน ว.ส.ท.	ผ่าน			
ด้านยาว	-0.4 cm.			
เทียบกับมาตรฐาน ว.ส.ท.	ผ่าน			
ระยะหนีศูนย์	0.51 cm.			
เทียบกับมาตรฐาน ว.ส.ท.	ผ่าน			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังการรับน้ำหนัก

ระยะเวลาที่พิจารณากำลังรับน้ำหนักหลังหล่อเสา	0.5	ปี	5	ปี	51	ปี
ผลจากการออกแบบ						
กำลังรับน้ำหนักที่ได้จากการออกแบบ	412622	kg.	412622	kg.	412622	kg.
ตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกคงที่	1.4		1.4		1.4	
ตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกจร	1.7		1.7		1.7	
ผลการก่อสร้างจริงโดยวิเคราะห์กำลังวัสดุจากการทดสอบ						
กำลังรับน้ำหนักที่ได้จากสูตรการออกแบบ	407699	kg.	407699	kg.	407699	kg.
กำลังรับน้ำหนักเมื่อไม่คิดการสูญเสียกำลังของวัสดุ	830343	kg.	830343	kg.	830343	kg.
ผลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกจริง						
การสูญเสียกำลังจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง	0	kg.	62736	kg.	70825	kg.
การสูญเสียกำลังโดยสูญเสียความชื้นในคอนกรีต	15184	kg.	29947	kg.	37244	kg.
การสูญเสียกำลังจากเสาหนีศูนย์ในการก่อสร้าง	0	kg.	16205	kg.	16205	kg.
รวมการสูญเสียกำลังรับน้ำหนัก	15184	kg.	108888	kg.	124274	kg.
หน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต	0	ksc.	126.41	ksc.	128.07	ksc.
หน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นเหล็กยืน	410.06	ksc.	2562	ksc.	2868.31	ksc.
หน่วยการหดตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต	0.0002	mm./mm	0.0013	mm./mm	0.00141	mm./mm.
หน่วยการหดตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในเหล็กยืน	0.0002	mm./mm	0.0013	mm./mm.	0.00141	mm./mm.
ผลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสารับได้						
การสูญเสียกำลังจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง	0	kg.	114346	kg.	114029	kg.
สูญเสียกำลังจากการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต	15184	kg.	29947	kg.	37244	kg.
การสูญเสียกำลังจากเสาหนีศูนย์จากการก่อสร้าง	0	kg.	29536	kg.	26090	kg.
รวมการสูญเสียกำลังรับน้ำหนัก	15184	kg.	173829	kg.	177363	kg.
หน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต	0	ksc.	230.4	ksc.	206.2	ksc.
หน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในเหล็กยืน	410.06	ksc.	4004.4	ksc.	4004.46	ksc.
หน่วยการหดตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต	0.0002	mm./mm	0.002	mm./mm	0.00197	mm./mm.
หน่วยการหดตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในเหล็กยืน	0.0002	mm./mm	0.002	mm./mm	0.00196	mm./mm.
น้ำหนักสุทธิที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับได้จริง	815159	kg.	506150	kg.	447100	kg.
ตัวคูณเพิ่ม สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่	2.77		1.72		1.52	
ตัวคูณเพิ่ม สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร	3.36		2.09		1.85	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สรุปผลตัวอย่างการคำนวณโดยโปรแกรม SafeRCcol

จากตัวอย่างการคำนวณสามารถสรุปผลได้ดังนี้

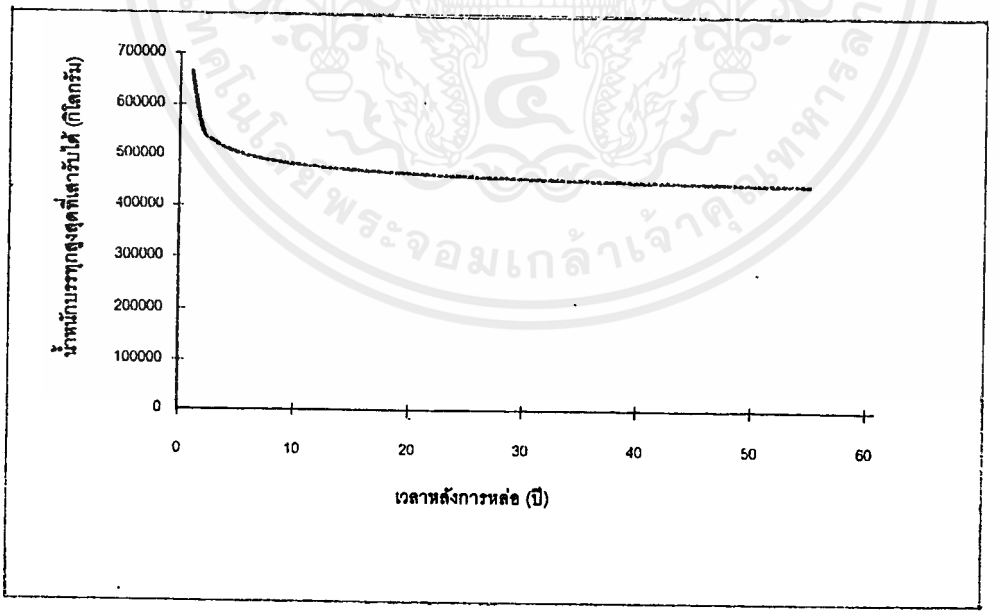
(1) กำลังความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากการก่อสร้างจริงที่อายุการใช้งานมีค่าสูงกว่า ค่าที่ต้องการจากการออกแบบ

(2) ตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักบรรทุกคงที่ ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับได้จริง สูงกว่าตัวคูณเพิ่มจากการออกแบบ

(3) กำลังรับน้ำหนักบรรทุก ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดน้อยลง ตามอายุการใช้งาน ปัจจัยหลักที่ทำให้กำลังรับน้ำหนักลดลงคือ การล้าหลังรับน้ำหนักบรรทุกและการสูญเสียความชื้นในคอนกรีต เป็นผลให้ตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกลดลงตามอายุการใช้งานด้วย

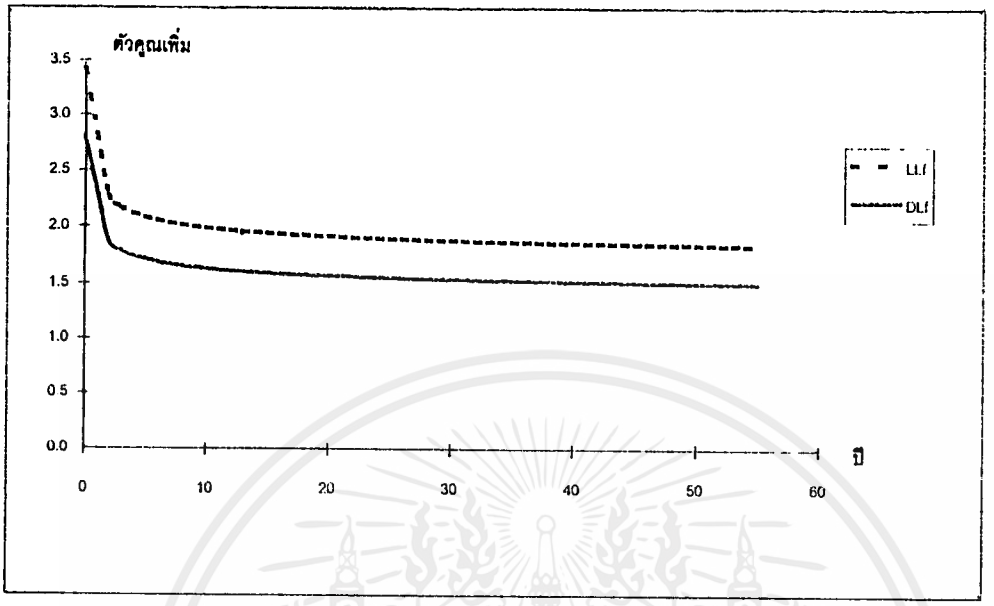
(4)จากตัวอย่าง กำลังการรับน้ำหนักที่ได้เมื่ออายุการใช้งาน สูงกว่า ค่าที่ต้องการจากการออกแบบ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนของวัสดุ ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากข้อมูลดังกล่าวสามารถ สรุปได้ว่า ความคลาดเคลื่อนของเสาจากที่ออกแบบของตัวอย่างนี้ยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ปลอดภัย

(5) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุก รวมทั้งตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกกับอายุการใช้งานที่คำนวณได้จากโปรแกรม SafeRCcol แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 รูปที่4.3 และรูปที่ 4.4ตามลำดับ

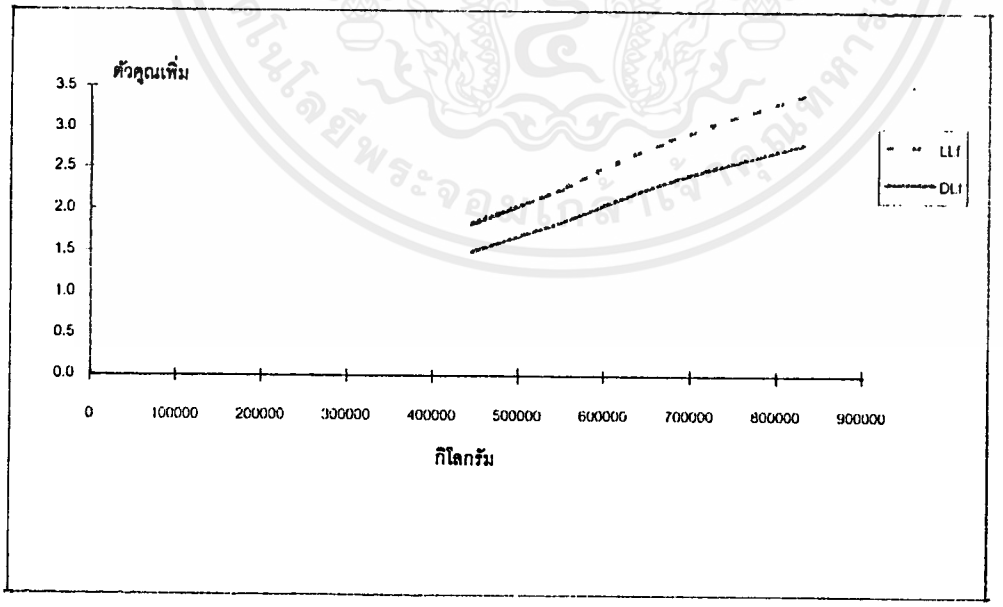


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาสามารถรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกกับเวลา



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณเพิ่มกับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดระหว่างการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

ตัวอย่างการคำนวณที่แสดงในตารางการเปรียบเทียบในหัวข้อนี้ได้นำค่าคลาดเคลื่อนของวัสดุของขนาดเสาซึ่งมีหลายขนาดหน้าตัด ในกรณีที่มีค่ามากที่สุดที่เป็นค่าลบ แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับ มาใช้ในการคำนวณ เพื่อหากำลังการรับน้ำหนักที่ต่ำที่สุดซึ่งเป็นผลจากความคลาดเคลื่อน รวมทั้งได้นำค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดสอบลูกปูนซึ่งมี 3 แท่ง โดยมีทั้งสูงกว่าและต่ำกว่าค่าในการออกแบบ โดยค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของ 3 แท่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มาใช้ในการคำนวณ นำค่าพวกนี้ไปคำนวณโดยใช้โปรแกรม นำไปเปรียบเทียบกับค่าจากสมการออกแบบ เพื่อศึกษาว่าสมการออกแบบนั้นสามารถครอบคลุมถึงกรณีความคลาดเคลื่อนที่มาก ๆ ได้ดีเพียงใด ซึ่งจะรวมไปถึงการเปรียบเทียบค่าตัวคูณลดที่อยู่ในสมการออกแบบ ตลอดจนศึกษาอิทธิพลของ ขนาดเสา กำลังประลัยของคอนกรีตทรงกระบอก และ กำลังแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม ที่มีผลต่อ การล้า การหดตัวจากการสูญเสียความชื้นและการเยื้องศูนย์ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่1 ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดของการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

fc'ออกแบบ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'ทดสอบ 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'เฉลี่ย 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fy 3000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เริ่มรับน้ำหนักหลังหล่อ1ปี

อายุ50ปี

ความสูงของเสา 3 เมตร

ระยะหนีศูนย์มากที่สุดที่ยอมรับได้ 0.6 เซนติเมตร

ขนาดหน้าตัดเสา ตร.ซม.	พื้นที่หน้าตัดออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่คลาดเคลื่อน ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมคลาดเคลื่อน ตร.ซม.	กำลังรับน้ำหนักเต็มที่ กก.	กำลังลดลงจากการล้า กก.	%ที่ลดลงจากการล้า	กำลังลดจากการหดตัว กก.	%ลดลงจากการหดตัว	กำลังลดจากการหนีศูนย์ กก.	%ที่ลดลงจากหนีศูนย์	รวมกำลังที่ลดลง กก.	%ของกำลังที่ลดลง	กำลังที่ได้จากโปรแกรม กก.	กำลังที่ได้จากออกแบบ กก.	หาค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์	หาค่าตัวคูณลดของคอนกรีต
20x20	400	380.25	4.52	4.252	106756	7073	6.63	4910	4.60	7137	6.69	19120	17.91	38100	58421	0.842	0.478
30x30	900	870.25	16.08	15.12	259143	28028	10.82	15454	5.96	12262	4.73	55744	21.51	100600	140616	0.891	0.473
40x40	1600	1560.25	37.68	35.81	488540	68911	14.11	33216	6.80	18317	3.75	120444	24.65	205950	264092	0.918	0.492
50x50	2500	2450.25	78.56	74.61	817740	145135	17.75	61564	7.53	26114	3.19	232813	28.47	377400	443184	0.935	0.521
60x60	3600	3540.25	123.2	117	1206813	229776	19.04	92541	7.67	32516	2.69	354834	29.40	576150	653814	0.947	0.533
70x70	4900	4830.25	192.96	185.28	1717083	362910	21.14	135692	7.90	40885	2.38	539487	31.42	864050	929122	0.955	0.562

ตัวอย่างที่2

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดของการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

fc'ออกแบบ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'ทดสอบ 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'เฉลี่ย 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fy 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เริ่มรับน้ำหนักหลังหล่อ 1 ปี

อายุ 50 ปี

ความสูงของเสา 3 เมตร

ระยะหนีศูนย์มากที่สุดที่ยอมรับได้ 0.6 เซนติเมตร

ขนาดหน้าตัดเสา ตร.ซม.	พื้นที่หน้าตัดออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่คลาดเคลื่อน ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมคลาดเคลื่อน ตร.ซม.	กำลังรับน้ำหนักเต็มที่ กก.	กำลังลดลงจากการล้า กก.	% ที่ลดลงจากการล้า	กำลังลดจากการหดตัว กก.	%ลดลงจากการหดตัว	กำลังลดจากการหนีศูนย์ กก.	% ที่ลดลงจากหนีศูนย์	รวมกำลังที่ลดลง กก.	%ของกำลังที่ลดลง	กำลังที่ได้จากโปรแกรม กก.	กำลังที่ได้จากออกแบบ กก.	หาค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์	หาค่าตัวคูณลดของคอนกรีต
20x20	400	380.25	4.52	4.252	111008	10906	9.82	4910	4.42	11006	9.91	26822	24.16	58750	60952	0.842	0.764
30x30	900	870.25	16.08	15.12	274263	42196	15.39	15455	5.64	18459	6.73	76110	27.75	151450	149621	0.891	0.748
40x40	1600	1560.25	37.68	35.81	524350	102170	19.49	33216	6.33	27158	5.18	162543	31.00	305350	285193	0.918	0.769
50x50	2500	2450.25	78.56	74.61	892350	209589	23.49	61564	6.90	37711	4.23	308864	34.61	545000	487178	0.935	0.793
60x60	3600	3540.25	123.2	117	1323813	321783	24.31	92541	6.99	45536	3.44	459860	34.74	806850	722806	0.947	0.772
70x70	4900	4830.25	192.96	185.28	1902363	475200	24.98	135692	7.13	53536	2.81	664428	34.93	1131400	1037179	0.955	0.725

ตัวอย่างที่3

ตารางที่4.5 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดของการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

fc'ออกแบบ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'ทดสอบ 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'เฉลี่ย 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fy 3000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เริ่มรับน้ำหนักหลังหล่อ 1 ปี

อายุ 50 ปี

ความสูงของเสา 3 เมตร

ระยะหนีศูนย์มากที่สุดที่ยอมรับได้ 0.6 เซนติเมตร

ขนาดหน้าตัดเสา ตร.ซม.	พื้นที่หน้าตัดออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่คลาดเคลื่อน ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมคลาดเคลื่อน ตร.ซม.	กำลังรับน้ำหนักเต็มที่ กก.	กำลังลดลงจากการล้า กก.	% ที่ลดลงจากการล้า	กำลังลดจากการหดตัว กก.	%ลดลงจากการหดตัว	กำลังลดจากการหนีศูนย์ กก.	% ที่ลดลงจากหนีศูนย์	รวมกำลังที่ลดลง กก.	%ของกำลังที่ลดลง	กำลังที่ได้จากโปรแกรม กก.	กำลังที่ได้จากออกแบบ กก.	หาค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์	หาค่าตัวคูณลดของคอนกรีต
20x20	400	380.25	4.52	4.252	118035	7368	6.24	4681	3.97	7665	6.49	19713	16.70	40950	58421	0.842	0.523
30x30	900	870.25	16.08	15.12	284796	28913	10.15	14813	5.20	13049	4.58	56774	19.93	107050	140616	0.891	0.517
40x40	1600	1560.25	37.68	35.81	534273	70840	13.26	31954	5.98	16374	3.06	122168	22.87	217550	264092	0.930	0.524
50x50	2500	2450.25	78.56	74.61	889009	148900	16.75	59454	6.69	27442	3.09	235796	26.52	395600	443184	0.935	0.564
60x60	3600	3540.25	123.2	117	1309510	235618	17.99	89481	6.83	34125	2.61	359225	27.43	602600	653814	0.946	0.575
70x70	4900	4830.25	192.96	185.28	1856432	371974	20.04	131488	7.08	42772	2.30	546234	29.42	900100	929122	0.955	0.604

ตัวอย่างที่4 ตารางที่4.6 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดของการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

fc'ออกแบบ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'ทดสอบ 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'เฉลี่ย 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fy 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เริ่มรับน้ำหนักหลังหล่อ 1 ปี

อายุ 50 ปี

ความสูงของเสา 3 เมตร

ระยะหนีศูนย์มากที่สุดที่ยอมรับได้ 0.6 เซนติเมตร

ขนาดหน้าตัดเสา ตร.ซม.	พื้นที่หน้าตัดออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่คลาดเคลื่อน ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมคลาดเคลื่อน ตร.ซม.	กำลังรับน้ำหนักเต็มที่ กก.	กำลังลดลงจากการล้า กก.	%ที่ลดลงจากการล้า	กำลังลดจากการหดตัว กก.	%ลดลงจากการหดตัว	กำลังลดจากการหนีศูนย์ กก.	%ที่ลดลงจากหนีศูนย์	รวมกำลังที่ลดลง กก.	%ของกำลังที่ลดลง	กำลังที่ได้จากโปรแกรม กก.	กำลังที่ได้จากออกแบบ กก.	หาค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์	หาค่าตัวคูณลดของคอนกรีต
20x20	400	380.25	4.52	4.252	122287	11245	9.20	4681	3.83	11699	9.57	27624	22.59	62500	60952	0.842	0.823
30x30	900	870.25	16.08	15.12	299916	43214	14.41	14813	4.94	19503	6.50	77530	25.85	160000	149621	0.891	0.805
40x40	1600	1560.25	37.68	35.81	570083	104445	18.32	31954	5.61	28564	5.01	164963	28.94	320750	285193	0.918	0.826
50x50	2500	2450.25	78.56	74.61	963619	216481	22.47	59454	6.17	39897	4.14	315832	32.78	575150	487178	0.935	0.863
60x60	3600	3540.25	123.2	117	1426510	341013	23.91	89481	6.27	49390	3.46	479884	33.64	872150	722806	0.946	0.877
70x70	4900	4830.25	192.96	185.28	2041712	519362	25.44	131488	6.44	59720	2.92	710571	34.80	1256750	1037179	0.955	0.872

ตัวอย่างที่5

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดของการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

fc'ออกแบบ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'ทดสอบ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'เฉลี่ย 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fy 3000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เริ่มรับน้ำหนักหลังหล่อ 1 ปี

อายุ 50 ปี

ความสูงของเสา 3 เมตร

ระยะหนีศูนย์มากที่สุดที่ยอมรับได้ 0.6 เซนติเมตร

ขนาดหน้าตัดเสา ตร.ซม.	พื้นที่หน้าตัดออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่คลาดเคลื่อน ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมคลาดเคลื่อน ตร.ซม.	กำลังรับน้ำหนักเต็มที่ กก.	กำลังลดลงจากการล้า กก.	% ที่ลดลงจากการล้า	กำลังลดจากการหดตัว กก.	%ลดลงจากการหดตัว	กำลังลดจากการหนีศูนย์ กก.	% ที่ลดลงจากหนีศูนย์	รวมกำลังที่ลดลง กก.	%ของกำลังที่ลดลง	กำลังที่ได้จากโปรแกรม กก.	กำลังที่ได้จากออกแบบ กก.	หาค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์	หาค่าตัวคูณลดของคอนกรีต
20x20	400	380.25	4.52	4.252	125555	7542	6.01	4545	3.62	7998	6.37	20085	16.00	42750	58421	0.842	0.552
30x30	900	870.25	16.08	15.12	301899	29442	9.75	14431	4.78	13549	4.49	57422	19.02	111150	140616	0.891	0.544
40x40	1600	1560.25	37.68	35.81	564762	72006	12.75	31199	5.52	20048	3.55	123253	21.82	224950	264092	0.918	0.562
50x50	2500	2450.25	78.56	74.61	936522	151177	16.14	58184	6.21	28289	3.02	237650	25.38	407200	443184	0.935	0.591
60x60	3600	3540.25	123.2	117	1377975	239130	17.35	87637	6.36	35148	2.55	361914	26.26	619400	653814	0.946	0.602
70x70	4900	4830.25	192.96	185.28	1949331	377453	19.36	128944	6.61	43975	2.26	550372	28.23	923050	929122	0.955	0.632

ตัวอย่างที่6

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักและตัวคูณลดของการคำนวณจากโปรแกรมกับการออกแบบ

fc'ออกแบบ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'ทดสอบ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fc'เฉลี่ย 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

fy 4000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เริ่มรับน้ำหนักหลังหล่อ 1 ปี

อายุ 50 ปี

ความสูงของเสา 3 เมตร

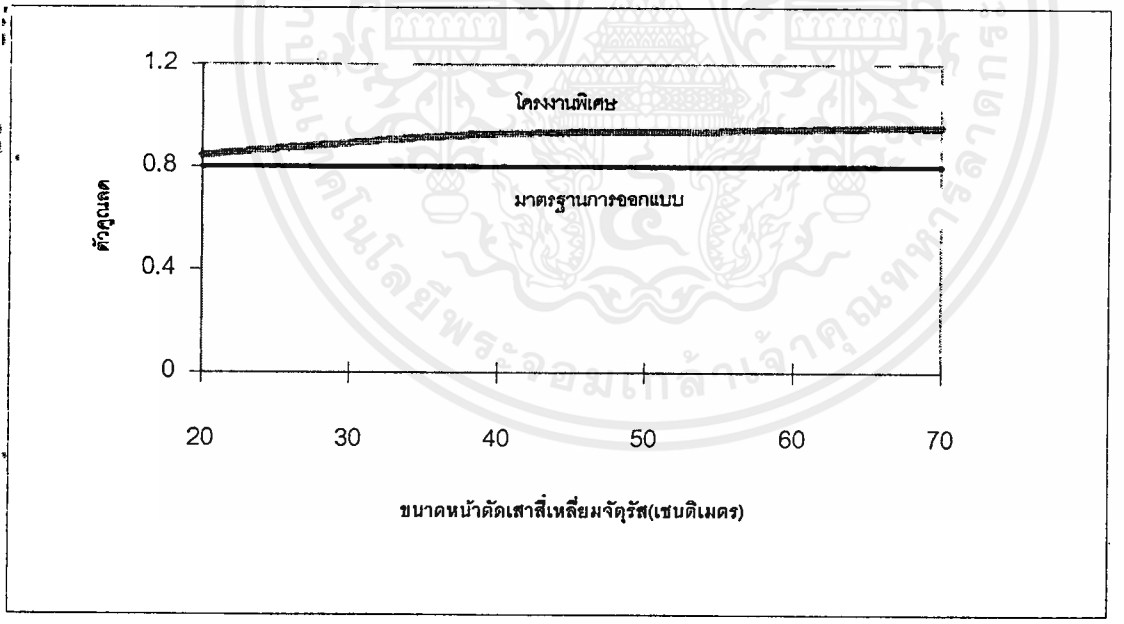
ระยะหนีศูนย์มากที่สุดที่ยอมรับได้ 0.6 เซนติเมตร

ขนาดหน้าตัดเสา ตร.ซม.	พื้นที่หน้าตัดออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่คลาดเคลื่อน ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมออกแบบ ตร.ซม.	พื้นที่เหล็กเสริมคลาดเคลื่อน ตร.ซม.	กำลังรับน้ำหนักเต็มที่ กก.	กำลังลดลงจากการล้า กก.	%ที่ลดลงจากการล้า	กำลังลดจากการหดตัว กก.	%ลดลงจากการหดตัว	กำลังลดจากการหนีศูนย์ กก.	%ที่ลดลงจากหนีศูนย์	รวมกำลังที่ลดลง กก.	%ของกำลังที่ลดลง	กำลังที่ได้จากโปรแกรม กก.	กำลังที่ได้จากออกแบบ กก.	หาค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์	หาค่าตัวคูณลดของคอนกรีต
20x20	400	380.25	4.52	4.252	129807	11440	8.81	4545	3.50	12132	9.35	28118	21.7	64850	60952	0.842	0.861
30x30	900	870.25	16.08	15.12	317019	43825	13.82	14431	4.55	20168	6.36	78424	24.7	165450	149621	0.891	0.842
40x40	1600	1560.25	37.68	35.81	600572	105824	17.62	31199	5.19	29464	4.91	166487	27.7	330600	285193	0.918	0.862
50x50	2500	2450.25	78.56	74.61	1011132	219266	21.69	58184	5.75	41030	4.06	318480	31.5	590600	487178	0.935	0.900
60x60	3600	3540.25	123.2	117	1494975	345376	23.10	87637	5.86	50764	3.40	483776	32.4	894600	722806	0.946	0.914
70x70	4900	4830.25	192.96	185.28	2134611	541266	25.36	128944	6.04	63059	2.95	733269	34.4	1E+06	1037179	0.955	0.951

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางการเปรียบเทียบ

ค่าตัวคูณลดจากการหนีศูนย์ และตัวคูณลดกำลังประลัยแท่งคอนกรีตที่เงื่อนไขต่าง ๆ กัน เช่น ค่ากำลังประลัยของแท่งคอนกรีตเท่ากัน แต่ค่าแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริมต่างกัน โดยมีขนาดหน้าตัดเสาหลายๆ ขนาด ทำให้เห็นแนวโน้มของค่าตัวคูณทั้งสองค่าได้อย่างชัดเจน โดยตัวคูณลดจากการหนีศูนย์ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าในสมการออกแบบซึ่งมีค่า 0.80 และมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อขนาดเสาใหญ่ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 ส่วนตัวคูณลดของกำลังประลัยของแท่งคอนกรีตจะมีค่าสูง เมื่อกำลังของคอนกรีตและค่าแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริมมีค่าสูง

นอกจากนี้ในตารางได้แสดงค่ากำลังที่ลดลงไป จากการล้าการหดตัวและการหนีศูนย์ จากค่าในตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อเสามีหน้าตัดที่ใหญ่ขึ้นจะเกิดการล้าและการหดตัวมากขึ้น แต่การหนีศูนย์จะทำให้กำลังการรับน้ำหนักลดลงมากขึ้นถ้าขนาดของเสายิ่งเล็กลง สำหรับค่ากำลังการรับน้ำหนักในกรณีที่ต่ำที่สุดจะมีค่ามากกว่าค่าจากการออกแบบในกรณีของเหล็ก SD40 และจะน้อยกว่าในกรณีของเหล็ก SD30



รูปที่4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหน้าตัดเสากับตัวคูณลดของการหนีสูญ จากโครงงานพิเศษเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

5.1 กล่าวนำ

โครงงานพิเศษนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง ซึ่งประกอบไปด้วยการล้าจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง การหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียความชื้น ความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติวัสดุ รวมทั้งกระบวนการก่อสร้าง และศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก จากกำลังการรับน้ำหนักที่แท้จริงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก นำไปหาตัวคูณปลอดภัยโดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการออกแบบ และได้นำขั้นตอนการคำนวณหาค่าดังกล่าวนั้นไปสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการวิเคราะห์ผล ซึ่งสามารถช่วยในการตัดสินใจในการควบคุมงาน เมื่อการก่อสร้างคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้

5.2 สรุปผลการทำโครงงานพิเศษ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) ความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากค่าที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจเพิ่มหรือลด สามารถเป็นไปได้ทั้งสองกรณี ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เช่น กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ก่อสร้างจริงอาจมากหรือน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ จากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นใช้มาตรฐานที่ยอมให้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

(2) การล้าของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากรับน้ำหนักบรรทุกคงค้างและการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตเป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่ทำให้กำลังการรับน้ำหนักลดลงตามอายุการใช้งาน

(3) ความคลาดเคลื่อนจากขบวนการก่อสร้าง เช่น เกิดการหนีศูนย์ของเสาทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาลดลง

(4) โครงงานพิเศษนี้มีข้อจำกัด คือเหมาะสมเฉพาะ การพิจารณาเสาปลอกเดี่ยว หน้าตัดสี่เหลี่ยม หนีศูนย์แกนเดียว และเป็นเสาสั้น

(5) การคำนวณค่ากำลังความสามารถในการรับน้ำหนักที่แท้จริงของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในโครงงานนี้เหมาะสมกับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) โครงงานพิเศษนี้ใช้ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังประลัย เป็นพื้นฐานในการศึกษาและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการศึกษาเพื่อใช้ในการตัดสินใจ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

จากการทำโครงงานพิเศษนี้ ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้ กำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พฤติกรรมการล้า และการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดกำลัง และเป็นที่มาของตัวคูณลดกำลังในสูตรการออกแบบเสา ซึ่งพฤติกรรมนี้เป็นพฤติกรรมที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ทำให้ปัจจุบันยังไม่มีมาตราฐานที่แน่นอนในการวิเคราะห์ค่าดังกล่าว จึงเห็นว่าโครงงานต่อเนื่องในเรื่องนี้ควรเป็นในลักษณะศึกษา และเปรียบเทียบทฤษฎีที่แตกต่างกัน เพื่อจะเป็นแนวทางในการศึกษาที่ถูกต้องในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2527. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กเส้นกลม มอก. 20-2527. กรุงเทพฯ.14น.

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2536. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กข้ออ้อย มอก. 24-2536. กรุงเทพฯ.13น.

[3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2534. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ว.ส.ท. 2534. กรุงเทพฯ. 91น.

[4] American Concrete Institute (1989), Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89), Detroit.

[5] Mc Gregor, J.G. (1976), Safety and Limite states Design for Reinforced Concrete, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.3, No.4, pp.484-513.

[6] วินิต ช่อวิเชียร.2540. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พานิชย์.กรุงเทพฯ. น. 375-411.

[7] Branson, D.E. (1977), Deformation of Concrete Structure, Mcgraw – Hill,New York, 15p.

[8] Gardner, N.J. and Zhao, J.W. (1993), Creep and Shrinkage Revisited, ACI Meterials Journal, Vol.90, No.3, pp.236-245.

[9] Nilson, A.H., and Winter, G. (1991) Design of Concrete Structure,11 th.Ed., McGraw Hill Book Co., pp.45-53.

[10] ต่อกุล กาญจนาลัย. 2538. พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็ก. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. น. 9-80.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

(บันทึกในแผ่น Diskette)

ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

- A:\ SafeRCcol โปรแกรมการคำนวณเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากการก่อสร้างจริงกับการออกแบบ
- A:\ Source Code รายละเอียดและขั้นตอนการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาDelphi 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้