โปรแกรมการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานและทฤษฎีกำลังประลัย

Reinforced Concrete Design Program by Working Stress Theory and Ultimate Strength Theory

โดย

นายกิตติพงศ์	เกียรติธรรมรัช	36014030
นายขวัญรัฐ	เพ็งนิติ	36014049
นายนิพนธ์	โตสงวน	36014223

วัน เดือน ปี -2 ต.ค. 2541
เลขทะเบียน 038444
เลขเรียกหนังสือ T 39 ป 2539

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ โปรแกรมการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานและทฤษฎีกำลังประลัย

นักศึกษา นายกิตติพงศ์ เกียรติธรรมรัช รหัส 36014030
นายขวัญรัฐ เพ็งนิติ รหัส 36014049
นายนิพนธ์ โตสงวน รหัส 36014223

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ	
ดร. แดง เหรียญสุวรรณ	
อาจารย์วิบูลย์ วุฒิญาณ	
อาจารย์สมชาย สำลีรางกูล	

ภาควิชาโยธารับรองแล้ว

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

รายงานการศึกษาโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในรายวิชา Special Project ตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตของนักศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2539 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดเวลาในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดต่าง ๆ ของ กองวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยหรือกรุงเทพมหานครหรือไม่

คณะผู้จัดทำหวังว่ารายงานและโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศไม่มากก็น้อย

คณะผู้จัดทำ

นายกิตติพงศ์ เกียรติธรรมรัช รหัส 36014030

นายขวัญรัฐ เพ็งนิติ รหัส 36014049

นายนิพนธ์ โตสงวน รหัส 36014223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญรูป	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน	1
กำลังต้านทานของคอนกรีต	1
การเสริมเหล็กและการดัดงอ	4
การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ค.ส.ล.	8
คานคอนกรีตเสริมเหล็ก	14
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	30
เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	34
ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	37
บทที่ 2 ทฤษฎีกำลังประลัย	48
คานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	52
เสาและฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	56
บทที่ 3 แสดงขั้นตอนในการคำนวณด้วยโปรแกรม	59
บทที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณและวิธีการใช้	70
วิธีการใช้ทั่วไป	70
วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธี Working Stress Design	72
วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธี Ultimate Strength Design	86
ตัวอย่างการแสดงผลทางจอภาพและทางเครื่อง Printer	92
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป	118
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

หัวข้อปริญญานิพนธ์ โปรแกรมการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานและทฤษฎีกำลังประลัย (Reinforced Concrete Design Program by Working Stress Theory and Ultimate strength Theory)

โดย นายกิตติพงศ์ เกียรติธรรมรัช 36014030
นายขวัญรัฐ เพ็งนิติ 36014049
นายนิพนธ์ โตสงวน 36014223

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ

วัตถุประสงค์

โปรแกรมการออกแบบโครงสร้างอาคารค่อนกรีตเสริมเหล็กนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างของอาคาร ในส่วนพื้น คาน เสา ฐานราก ให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ผู้ใช้ต้องการ และน้ำหนักของตัวโครงสร้างได้อย่างปลอดภัยและมีความประหยัดในการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถปรับค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงของคอนกรีต และเหล็กเสริมที่ใช้ในการออกแบบเพื่อความถูกต้องในการคำนวณ

ในภาวะการปัจจุบันสภาพทางเศรษฐกิจอยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโตมีผลทำให้อาคารต่าง ๆ ต้องมีการก่อสร้างกันมากขึ้นประกอบกับราคาที่ดินในปัจจุบันมีราคาสูงมาก จึงทำให้อาคารต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคารสำนักงาน อาคารที่พักเพื่ออยู่อาศัยในรูปคอนโดมิเนียมเหล่านี้ต้องทำการออกแบบและก่อสร้างให้มีความสูงมากขึ้น การออกแบบอาคารต้องให้มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการ มีความปลอดภัยต่อผู้คนที่ใช้ตัวอาคารนั้น ๆ และต้องมีความถูกต้องรวดเร็วในการออกแบบ

ในการออกแบบโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไป มีหลักที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. มีความมั่นคงแข็งแรงที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการโดยไม่เกิดความแตกร้าว พังทลาย รวมทั้งไม่มีการเอนเอียงของอาคาร
2. มีความปลอดภัย
3. มีความประหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมี 2 ทฤษฎี คือ

1. ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Theory)
2. ทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Theory)

การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ได้ใช้กันแพร่หลายและคุ้นเคยกันมากในประเทศไทย เป็นการออกแบบให้รูปตัดสามารถต้านทานต่อแรงต่าง ๆ ที่คำนวณหาค่ามาได้ การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ ให้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานตามประเภทของอาคาร โดยมีหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในส่วนของอาคารไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ที่กำหนดโดยเทศบัญญัติและพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร หรือมาตรฐานทางวิชาชีพ เช่น ของวิศวกรรมสถานฯ เป็นต้น

การออกแบบโดยวิธีกำลังประลัย เป็นการออกแบบให้รูปตัดสามารถต้านทานต่อแรงประลัยใช้งานต่าง ๆ ที่คำนวณหาค่าจากการวิเคราะห์โดยวิธีหน่วยแรงใช้งานให้รับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากผลคูณของน้ำหนักบรรทุกใช้งานตามประเภทของอาคารกับส่วนปลอดภัยตามชนิดของน้ำหนักบรรทุกนั้น โดยมีหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในส่วนของอาคารไม่เกินกว่าหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ตามที่กำหนดการออกแบบโดยวิธีนี้ใช้กันมากในต่างประเทศ เนื่องจากให้ค่าที่คาดหมายได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงในการรับน้ำหนักของโครงสร้างของอาคาร

จากหลักการและทฤษฎีข้างต้นผู้จัดทำจึงมีความคิดว่า ควรจะมีโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณออกแบบหรือพื้นที่จะสามารถใช้ตรวจสอบโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบไปแล้วว่ามีความถูกต้องหรือไม่และมีทั้งการคำนวณออกแบบโครงสร้างโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานและวิธีกำลังประลัยในโปรแกรมเดียวกัน ให้ผู้ที่ใช้โปรแกรมสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ

ส่วนโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อความสะดวกรวดเร็วมากขึ้นนั้น จะเขียนโดย Visual Basic Version 4 เพราะหน้าจอของ Visual Basic จะเป็นเสมือน Windows ซึ่งง่ายต่อการใช้งานและเรียนรู้การใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปริยานุช คล้อยคล้าย อาจารย์สุนิษา สัมฤทธิ์ อาจารย์สุรีรัตน์ เทพหัสดิน ณ อยุธยา และอาจารย์เพ็งพิศ โพธิทรัพย์ ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดพิมพ์ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรม และอธิบายเนื้อหาการคำนวณ รวมทั้งให้กำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ บุคคลที่ข้าพเจ้ามิอาจจะลืมกล่าวถึงในพระคุณของท่านก็คือ บิดา และมารดา ผู้ซึ่งสนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียน คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจจนประสบความสำเร็จมาจนกระทั่งบัดนี้

1. นายกิตติพงศ์ เกียรติธรรมรัช
2. นายขวัญรัฐ เพ็งนิติ
3. นายนิพนธ์ โตสงวน

นักศึกษาผู้ประกาศ

(...../...../.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของคอนกรีต 2

รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก 2

รูปที่ 1.3 การดัดงอเหล็ก 4

รูปที่ 1.4 การรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเดี่ยวชนิดฐานแผ่และการโก่งงอ
ของฐานรากอันเนื่องจากแรงดันขึ้น 38

รูปที่ 3.1 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
พื้น คสล. ทางเดียวด้วยวิธี Working Stress 60

รูปที่ 3.2 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
พื้น คสล. สองทางด้วยวิธี Working Stress 61

รูปที่ 3.3 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
คาน คสล. ด้วยวิธี Working Stress 62

รูปที่ 3.4 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
เสา คสล. ด้วยวิธี Working Stress 63

รูปที่ 3.5 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
ฐานรากแผ่ คสล. ด้วยวิธี Working Stress 64

รูปที่ 3.6 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
ฐานรากเสาเข็ม คสล. ด้วยวิธี Working Stress 65

รูปที่ 3.7 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
พื้น คสล. ด้วยวิธี Ultimate Strength 66

รูปที่ 3.8 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
คาน คสล. ด้วยวิธี Ultimate Strength 67

รูปที่ 3.9 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
เสา คสล. ด้วยวิ ธี Ultimate Strength 68

รูปที่ 3.10 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
ฐานราก คสล. ด้วยวิธี Ultimate Strength 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 กำลังจุดคลากและกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริม 3
ตารางที่ 1.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับของอตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 5
ตารางที่ 1.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ 27
ตารางที่ 1.4 ความหนาต่ำสุดของพื้นที่และความลึกต่ำสุดของคาน 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน

กำลังต้านทานของคอนกรีต

กำลังต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของวัสดุคอนกรีต และวิธีการทำคอนกรีต เช่น การผสม การเท และการบ่มคอนกรีต ตลอดจนอายุของคอนกรีต กำลังต้านทานของคอนกรีตที่สำคัญ คือกำลังต้านทานแรงอัดซึ่งใช้เป็นหลักในการออกแบบอาคารส่วนกำลังต้านทานอย่างอื่นจะเทียบจากกำลังต้านทานแรงอักนี้

โดยปกติกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตถือเอาจากผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน หลังจากหล่อแล้วเป็นเกณฑ์ แต่ในบางครั้งก็อาจจะใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเมื่อมีอายุ 3 หรือ 7 วันก็ได้ โดยเฉพาะพวกคอนกรีตชนิดแข็งตัวเร็ว

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) ทำได้โดยการกดแท่งทดสอบมาตรฐานด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก แท่งทดสอบมาตรฐานนี้อาจเป็นแท่งทรงกระบอกขนาด ϕ15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. หรือเป็นรูปลูกบาศก์ขนาด 15 * 15 * 15 ซ.ม. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปลูกบาศก์จะสูงกว่าของแท่งทรงกระบอกประมาณ 13% จำนวนแท่งทดสอบที่จะนำมาทดสอบนี้ควรใช้อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอายุของคอนกรีต ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเมื่ออายุ 7 วัน จะน้อยกว่าเมื่ออายุ 28 วัน ประมาณ 25%

ระดับความแข็งแรงของคอนกรีตจะถือเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อผลเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัดของการทดลอง 3 ครั้งติดต่อกัน มีค่าเกินกว่าค่า f'_c ที่ต้องการและกำลังอัดของแต่ละครั้งอาจจะต่ำกว่า f'_c ที่ต้องการได้ไม่เกิน 30 กก. ต่อตารางเซนติเมตร

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีต จะได้ตามรูปที่ 1 จะเห็นว่าเส้นสัมพันธ์ดังกล่าวเกือบเป็นเส้นตรงในช่วงอีลาสติกเมื่อหน่วยแรงอัดน้อย ๆ ไม่เกิน f'_c เส้นสัมพันธ์จะเริ่มโค้งลง เมื่อคอนกรีตเริ่มจะถูกอัดแตกหน่วยการหดตัวสูงสุดประมาณ 0.003 - 0.004

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต หาได้จากเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการหดตัว ค่าโมดูลัสนี้แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุต่อการโก่งในคานขึ้นอยู่กับกำลังอัดของคอนกรีต และน้ำหนักของคอนกรีต มีวิธีการหาต่าง ๆ กันดังนี้

ก. Initial modulas พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสซึ่งได้จากการลากเส้นให้สัมผัสกับเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว ณ จุดเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

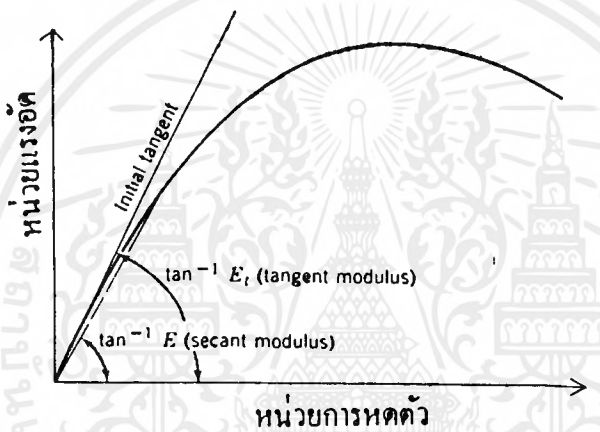
ข. Secant modulus พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้นกับจุดใด ๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวที่ต้องการหา

ค. Tangent modulus พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใด ๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตไว้ดังนี้

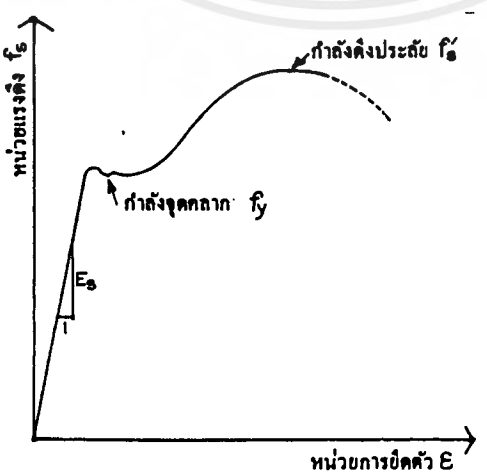
$$E_c = w^{1.5}\ 4270\ \sqrt{f'_c}\ \text{กก./ซม.}^2$$

ในเมื่อ w เป็นหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (2.323 ตัน/ลบ.เมตร)



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของคอนกรีต

กำลังต้านทานของเหล็กเสริมที่สำคัญ ซึ่งใช้การพิจารณาออกแบบ คือ ความต้านทานแรงดึงและแรงอัด กำลังต้านทานของเหล็กเสริมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุที่ใช้ผสม ซึ่งได้แก่ ธาตุเหล็ก, คาร์บอน, ซิลิกอน, มังกานิส และกำมะถัน



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเสริมได้จากการนำชิ้นตัวอย่างยาวท่อนละ 90 ซม. มาทดสอบรับแรงดึงตามวิธีมาตรฐาน ผลการทดสอบจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวดังรูปที่ 2 จะเห็นว่าภายในช่วงอีลาสติก หน่วยแรงดึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดตัว จนกระทั่งถึงจุดคลาก f_y เหล็กจะถูกดึงยืดออกมากในขณะที่แรงดึงค่อนข้างคงที่ ความยืดตัวเหล็กในช่วงนี้ประมาณสิบเท่าของการยืดตัวในช่วงอีลาสติก ตรงจุดคลากจากนี้เหล็กจะรับแรงดึงได้อีกจนกระทั่งถึงกำลังประลัยของเหล็กเสริม จากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการยืดตัวในช่วงอีลาสติกก็จะหาค่าโมดูลัสหยุ่นของเหล็กเสริมได้

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมไว้ดังนี้

$$E_S = 2.04 * 10^6 \text{ กก. / ซม.}^2$$

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมที่ใช้ในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังตารางที่ 3

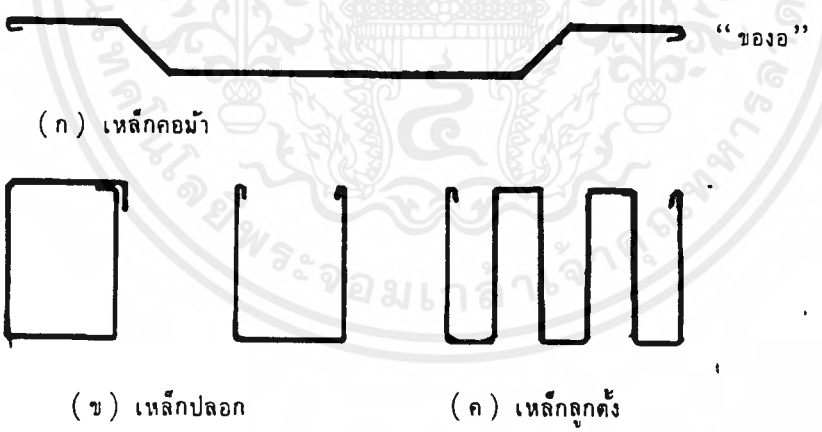
ตารางที่ 1.1 กำลังจุดคลากและกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริม

ชนิดของเหล็กเสริม	ชั้นคุณภาพ	กำลังจุดคลาก กก./ซม.^{2}	กำลังดึงประลัย กก./ซม.^{2}
เหล็กกลมเรียบ	SR 24 (ϕ 6, 9, 12, 15, 19, 25 มม.)	2400	
เหล็กข้ออ้อย	SD 30 (ϕ 10, 12, 16, 20, 25, 28 มม.)	3000	4900
	SD 40 (ϕ 10, 12, 16, 20, 25, 36 มม.)	4000	5700
	SD 50 (ϕ 32 มม.)	5000	6300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสริมเหล็กและการดัดงอ

การเสริมเหล็กในคอนกรีตต้องกระทำให้ถูกตำแหน่ง ตามพฤติกรรมการรับน้ำหนักของส่วนโครงสร้างในส่วนของอาคารที่ต้องรับโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง เช่น คานช่วงเดียว พื้นเสริมเหล็กทางเดียว ก็จะเสริมเหล็กไว้ทางด้านล่างเพื่อให้ทำหน้าที่ด้านทานแรงดึงอันเนื่องจากโมเมนต์ดัด โดยเสริมเหล็กตามยาวของส่วนโครงสร้างนั้น และหากต้องด้านทานแรงเฉือนมากเกินกว่ากำลังด้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต ก็จะเสริมเหล็กเพื่อให้ทำหน้าที่ด้านทานแรงเฉือนในส่วนที่คอนกรีตด้านทานไม่ได้ โดยอาจใช้เหล็กเสริมตามยาวของส่วนโครงสร้างแล้วดัดงอขึ้นตรงตำแหน่งที่จะต้องด้านทานแรงเฉือน ซึ่งเรียกว่าเหล็กคอม้า หรือใช้เหล็กเสริมตั้งวางเป็นระยะ ๆ ตามความยาวของส่วนโครงสร้างตรงตำแหน่งที่ต้องการซึ่งเรียกว่าเหล็กลูกตั้ง เหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียวที่ใช้ในเสา นอกจากจะช่วยยึดเหล็กยืนในเสาให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ยังช่วยด้านทานการขยายตัวทางข้างของเสาเมื่อถูกแรงอัด ทำให้รับแรงอัดได้ดีขึ้น นอกจากนี้ปลายเหล็กเสริมก็ควรดัดทำเป็นตาขอด้วยวิธีดัดเย็นเรียกว่าของอ เพื่อใช้เป็นส่วนช่วยด้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 1.3 การดัดงอเหล็ก

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดเกี่ยวกับ "ของอมาตรฐาน" ไว้ดังนี้

(ก) ส่วนที่งอเป็นครึ่งวงกลมโดยมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น แต่ระยะที่ยื่นนี้ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม.

(ข) ส่วนที่งอเป็นมุมฉาก โดยมีส่วนยื่นต่อออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) สำหรับเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอกให้งอ 90 องศา หรือ 135 องศา โดยมีส่วนที่ยื่นถึงปลายขออีกอย่างน้อย 6 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม. และต้องมีรัศมีวัดด้านในของเหล็กไม่สั้นกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

(ง) ของอมาตรฐานสามารถทานแรงดึงในเหล็กได้ถึง 700 กก./ซม.^{2}

นอกจากนี้มาตรฐาน ว.ส.ท. ยังกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับของอด้วย กล่าวคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของการงอเหล็กจะวัดด้านในของเหล็กที่งอ สำหรับเหล็กโครงสร้างและเหล็กชนิดแข็งปานกลาง 6 มม. ถึง 25 มม. ให้ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของงอเท่ากับ 5 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก ส่วนเหล็กชนิดอื่นให้ใช้ดังนี้

ตารางที่ 1.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับของอตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ขนาดของเหล็ก	ขนาดผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุด (D)
9 ถึง 15 มม.	5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น
19 ถึง 25 มม.	6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

ระยะเรียงของเหล็กเสริม, X ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก, Z และระยะห่างของการวางเหล็กตะแกรง, Y

แสดงระยะความหนามาตรฐานสำหรับส่วนโครงสร้าง คสล. ต่าง ๆ ดังนี้

คาน

$X \geq$ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

$X \geq$ 1.34 เท่า ของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

$X \geq$ 2.5 ซม.

เมื่ออยู่ในที่ร่มไม่ถูกดิน แดด และน้ำโดยตรง

$X \geq$ 2 ซม.

เมื่อต้องถูกแดด ฝนหรือสัมผัสกับดิน :

$Z \geq$ 3 ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 มม.

$Z \geq$ 4 ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดโตกว่า 15 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียว

$X \geq$ 1.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยืน

$X \geq$ 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

$X \geq$ 4 ซม.

เมื่ออยู่ในที่ร่มไม่ถูกดิน แดด และน้ำโดยตรง :

$Z \geq$ 3 ซม.

$Z \geq$ 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุหยาบ

เมื่อต้องถูกแดด ฝนหรือสัมผัสกับดิน :

$Z \geq$ 4 ซม.

ฐานราก

$X \geq$ 4 ซม. เมื่อใช้ไม้แบบข้างฐานราก

$X \geq$ 6 ซม. เมื่อไม่ใช้ไม้แบบข้างฐานราก

เมื่อใช้ไม้แบบและต้องสัมผัสกับดิน :

$Z \geq$ 4 ซม.

Z หรือ X ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้น

แผ่นพื้นหรือตง

$Y \leq$ 3 เท่าของความหนาของพื้น

$Y \leq$ 30 ซม.

$Y \geq$ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

$Y \geq$ 1.34 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

$Y \geq$ 2.5 ซม.

เมื่อต้องถูกแดด ฝนหรือสัมผัสกับดิน :

$Z \geq$ 3 ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 ซม.

$Z \geq$ 4 ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดโตกว่า 15 ซม.

เมื่ออยู่ในที่ร่ม :

$Z \geq$ 2 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดปลายเหล็กเสริมตามยาว

ก. ปลายเหล็กเสริมจะต้องปล่อยเลยจุดที่ไม่ต้องรับแรงไปอีก ไม่น้อยกว่าความลึกของคาน หรือไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม ปลายเหล็กเสริมอาจทำเป็นขอ และมีระยะฝังที่เพียงพอ

ข. เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก จะต้องยื่นเข้าไปในที่รองรับไม่น้อยกว่า 15 ซม. เป็นจำนวนไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามสำหรับคานช่วงเดียว และไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่สำหรับคานต่อเนื่อง

ค. เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามจะต้องปล่อยเลยจุดดัดกลับของโมเมนต์เป็นระยะไม่น้อยกว่าความลึกคาน หรือหนึ่งในสิบหกของช่วงว่างของคาน

การต่อคามเหล็กเสริม

โดยปกติจะไม่ยอมให้มีการต่อเหล็กเสริม นอกจากที่ได้แสดงไว้ในแบบหรือได้ระบุไว้การต่อเหล็กเสริมนี้อาจต่อโดยวิธีทาบ วิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่น ๆ ก็ได้ที่ให้มีการถ่ายแรงได้เต็มที่ ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กเสริม ณ จุดที่เกิดหน่วยแรงสูงสุดเท่าที่จะทำได้และไม่ควรใช้วิธีต่อทาบกับเหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 มม.

การต่อเหล็กเสริมรับแรงดึง ความยาวของเหล็กข้ออ้อยที่นำมาต่อทาบกันจะต้องไม่น้อยกว่า 26, 35 และ 43 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคลาก 3000, 4000 และ 5000 กก./ซม^2 ตามลำดับ หรือไม่น้อยกว่า 30 ซม. สำหรับเหล็กกลมผิวเรียบใช้ระยะทาบเป็น 2 เท่า ของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

การต่อเหล็กเสริมรับแรงอัด สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 กก./ซม.^{2} หรือสูงกว่านี้ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยจะต้องไม่น้อยกว่า 17, 23 และ 29 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคลากเท่ากับ 3000 หรือน้อยกว่า และค่า 4000 กับ 5000 กก./ซม.^{2} ตามลำดับและต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กก./ซม.^{2} ระยะทาบจะต้องเพิ่มอีกหนึ่งในสามของค่าข้างต้น สำหรับเหล็กกลมผิวเรียบใช้ระยะทาบอย่างน้อยเป็น 2 เท่า ของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเสริมต้านการยืดหด

ในพื้น คสล. ที่ใช้เป็นส่วนอาคารหรือหลังคา ซึ่งเสริมเหล็กรับแรงทางเดียวจะต้องเสริมเหล็กในแนวตั้งฉากกับเหล็กเอก เพื่อรับแรงเนื่องจากความยืดหดของคอนกรีต ขนาดของเหล็กที่ใช้ต้องไม่เล็กกว่า 6 มม. และเรียงเหล็กห่างกันไม่เกิน 3 เท่า ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ 30 ซม. ปริมาณของเหล็กเสริมที่ใช้จะต้องมีอัตราส่วนเนื้อที่เหล็กต่อหน้าตัดคอนกรีตทั้งหมดไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ข้างล่างนี้

พื้นซึ่งเสริมด้วยเหล็กกลมผิวเรียบ 0.0025
พื้นซึ่งเสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยและมี $f_y < 4200$ ซม.^{2} 0.0020
พื้นซึ่งเสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยและมี $f_y = 42000$ ซม.^{2} 0.0018

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างเป็นการคำนวณหาแรงปฏิกริยา แรงเฉือน แรงบิดและโมเมนต์ดัด อันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง ซึ่งต้องดำเนินการก่อนที่จะออกแบบโครงสร้างเพื่อเลือกขนาดและให้รายละเอียดของโครงสร้างแต่ละส่วนให้สามารถต้านทานต่อแรงต่าง ๆ ที่หาได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้าง คสล.

มาตรฐาน ว.ส.ท. หรือ มาตรฐาน ACI กำหนดให้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน หากโครงสร้างเป็นแบบดีเทอร์มิเนทก็สามารถคำนวณหาแรงต่าง ๆ ได้เลย โดยอาศัยสมการของการสมดุลย์ดังกล่าวไว้ในหนังสือทฤษฎีโครงสร้าง (4) แต่ถ้าโครงสร้างเป็นแบบอินดีเทอร์มิเนทก็ต้องวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการกระจายโมเมนต์ (Moment Distribution Method) หรือใช้สมการของมุมและการโก่งตัว (Slope deflection Equation) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียดที่กล่าวไว้ในหนังสือวิเคราะห์โครงสร้าง (9) อย่างไรก็ดีสำหรับโครงอาคารแบบธรรมดามาตรฐาน ว.ส.ท. อนุญาตให้ใช้การวิเคราะห์โดยประมาณได้ เช่น โครงอาคารรับแรงลมก็อาจใช้วิธี Portal หรือวิธี Cantilever ดังที่กล่าวในหนังสือทฤษฎีโครงสร้าง(4) สำหรับโครงอาคารสูงหลายชั้นที่รับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งก็อาจวิเคราะห์โดยประมาณโดยพิจารณาทีละชั้น โดยถือว่าปลายเสาที่อยู่ตรงข้ามกับปลายติดกับชั้นนั้นมีสภาพยึดแน่น และจัดน้ำหนักบรรทุกคงที่วางเต็มช่วงของโครงสร้าง แต่จัดน้ำหนักบรรทุกจะวางเต็มในสองช่วงข้างเคียงทีหนึ่ง วางเต็มช่วงเว้นช่วงอีกหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อหาค่าสูงสุดของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด หรืออาจพิจารณาในลักษณะคานต่อเนื่องแล้วใช้ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนตามข้อกำหนดในมาตรฐานซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่เกี่ยวข้องต่อไป สำหรับแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง แบบมีหรือไม่มีคานรองรับที่เรียกว่าแผ่นพื้นไร้คานก็อาจวิเคราะห์โดยละเอียดหรือวิเคราะห์โดยประมาณ ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหาโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนก่อนที่จะนำไปออกแบบต่อไป

การออกแบบโครงสร้าง ค.ส.ล.

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกระทำได้สองวิธี คือ

1. การออกแบบโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design) หรือทฤษฎีเส้นตรง (Straight-line Theory) การออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ใช้กันแพร่หลายและคุ้นเคยกันมากในประเทศเป็นการออกแบบให้รูปตัดสามารถต้านทานต่อแรงต่าง ๆ ที่คำนวณหาค่ามาจากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน ให้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working load) ตามประเภทของอาคารที่กำหนดโดยเทศบัญญัติและพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร หรือมาตรฐานทางวิชาชีพ เช่น ของวิศวกรรมสถานฯ เป็นต้น

สมมติฐานเบื้องต้นของทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน

1. ระนาบรูปตัด ยังคงเป็นระนาบทั้งก่อนและหลังการรับแรงดัด
2. วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎหมายของฮุค
3. หน่วยการยืดหรือหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน
4. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต
5. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
6. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ $w^{1.5}\ 4270\ \sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}
7. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมเท่ากับ $2.04 * 10^6$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับใช้ในการออกแบบโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานได้มาจากการกำหนดส่วนลดความต้านทานแรงประลัยของวัสดุนั้น ๆ โดยหน่วยแรงในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นในส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดตัวหรือหดตัววัสดุนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตเมื่อรับแรงต่าง ๆ กำหนดเป็นส่วนเทียบจากกำลังอัดประลัย f'_c ของแท่งคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน เช่น หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงดัดเมื่อเกิดหน่วยแรงอัดที่ผิวเท่ากับ 0.45 f'_c ซึ่งจะเห็นว่าใช้อัตราส่วนปลอดภัยเท่านั้น f'_c /0.45 fc เท่ากับ 2.2 ส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมก็กำหนดเป็นส่วนเทียบจากกำลังจุดคลาก (f_y) เช่น หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ 0.5f_y ซึ่งจะเห็นว่าใช้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ f_y/0.5f_y หรือเท่ากับ 2.0

หน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน สำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริมในกรณีที่รับแรงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีต

สำหรับแรงดัด

หน่วยแรงอัดที่ผิว $f_c = 0.45\ f'_c$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงดึงที่ผิวในฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน

$$f_c = 0.42\sqrt{f'_c}\ \text{กก./ซม.}^2$$

สำหรับแรงเฉือน

คานที่ไม่มีเหล็กเสริมแรงเฉือน $v_c = 0.29\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}

ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน $v_c = 0.32\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}

คานที่เสริมเหล็กลูกตั้งหรือคอม้า หรือประกอบกันทั้ง 2 อย่าง

(แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน) $v = 1.32\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}

พื้นและฐานราก (ตามเส้นขอบ) $v_c = 0.53\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}

สำหรับแรงกด

รับเต็มเนื้อที่ $f_c = 0.25\ f'_c$ กก./ซม.^{2}

รับไม่เกินหนึ่งในสามของเนื้อที่ $f_c = 0.37\ f'_c$ กก./ซม.^{2}

สำหรับแรงยึดเหนี่ยว

เหล็กรับแรงดึง $\dfrac{1.145\sqrt{f'_c}}{D} < 11$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กอื่นรับแรงดึง $1.615\frac{\sqrt{f'_c}}{D} < 11$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

เมื่อต้องการทราบค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ก็แทนค่า f'_c ลงในสมการต่าง ๆ ข้างต้น (ตารางที่ 3 ภาคผนวก)

อนึ่ง ในกรณีที่ทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้แท่งลูกบาศก์ (15 * 15 * 15 ซม.) มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เทียบเป็นกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ดังนี้

f'_c = (0.885)(กำลังอัดประลัยของแท่งลูกบาศก์)

ในกรณีที่มีการควบคุมไม่เข้มงวด ให้ใช้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 5/6 ของ f'_c ในการคำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ต่าง ๆ

หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้เสริมคอนกรีตจะต้องมีหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังนี้

ก. รับแรงดึง

- เหล็กเส้นชนิดเหล็กโครงสร้าง (เมื่อไม่มีผลการทดสอบ) ใช้ 1200 กก./ซม.^{2}
- เหล็กเสริมเอกที่มีขนาด 9 มม. หรือเล็กกว่าในพื้นที่เสริมเหล็กทางเดียวที่ช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. ให้ใช้ 0.50 เท่าของกำลังคลากต่ำสุดแต่ไม่เกิน 2100 กก./ซม.^{2}
- เหล็กข้ออ้อยที่มี f_y สูงกว่า 3400 กก./ซม.^{2} ให้ใช้ 0.50 เท่าของกำลังคลากต่ำสุดแต่ไม่ <- เกิน 1500 กก./ซม.^{2}
- เหล็กข้ออ้อยที่มี f_y สูงกว่า 4200 กก./ซม.^{2} ใช้ได้ไม่เกิน 1700 กก./ซม.^{2}
- เหล็กขวั้นใช้ 0.50 เท่าของกำลังพิสูจน์แต่ไม่เกิน 2400 กก./ซม.^{2}

ข. รับแรงอัดในเสา

เสาเหล็กปลอกเกลียว

ให้ใช้ 0.40 เท่า ของกำลังคลากต่ำสุด แต่ไม่เกิน 2100 กก./ซม.^{2}

เสาเหล็กปลอกเดี่ยว

ให้ใช้ 0.85 เท่าของค่าที่กำหนดในเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1750 กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเหล็กขึ้นเป็นเหล็กรูปชนิด A36 (ASTM) ใช้ 1250 กก./ซม.^{2}

และเหล็กรูปชนิด A7 (ASTM) ใช้ 1100 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงลมและแผ่นดินไหว

โครงสร้างที่ต้องออกแบบเพื่อต้านทานแรงลมและแผ่นดินไหวร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ ยอมให้เพิ่มหน่วยแรงต่าง ๆ ขึ้นอีกร้อยละ 30 จากค่าของหน่วยแรงที่กล่าวมาแล้ว แต่จะต้องไม่ทำให้ขนาดของโครงสร้างเล็กลงไปกว่าที่จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรได้

โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก E_s

ค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กให้ใช้ $2.04 * 10^6$ กก./ซม.^{2}

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต E_C

ค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ให้คำนวณได้ดังนี้

เมื่อน้ำหนักของคอนกรีต W = 1.15 ถึง 2.48 ตัน/ม.^{3}

$$E_C = w^{1.5}\ 4270\ \sqrt{f'_c} \quad \text{กก./ซม.}^2$$

เมื่อน้ำหนักของคอนกรีตธรรมดา W = 2.33 ตัน/ม.^{3}

$$E_C = 15210\ \sqrt{f'_c} \quad \text{กก./ซม.}^2$$

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต, กก./ซม.^{2}

อัตราส่วนโมดูลัส n คืออัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก E_s กับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต E_C

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2040000}{15210\ \sqrt{f_c}} \text{ ประมาณ } 134/\sqrt{f'_c}$$

ค่า n อาจใช้เป็นเลขจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงที่สุด แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6

ค่า n สำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา อาจสมมติให้เท่ากับค่า n ของคอนกรีตธรรมดาซึ่งมีกำลังเท่ากัน ยกเว้นสำหรับการคำนวณระยะโก่ง

อัตราส่วนโมดูลัสนี้ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงในคาน และพื้น ค.ส.ล. ที่ใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดด้วย โดยแปลงเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัดให้เป็นคอนกรีตที่มีเนื้อที่หน้าตัด 2n เท่าของเหล็กเสริมหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมที่คำนวณได้ต้องไม่เกินหน่วยแรงดึงที่ยอมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงที่ยอมให้ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีต

คอนกรีตล้วน $f_c = 0.330$ $f'_c \leq 60$ กก./ซม.^{2}

คอนกรีตเสริมเหล็ก $f_c = 0.375$ $f'_c \leq 65$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมรับแรงดึง $f_s = 1200$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

$f_s = 0.5\ f_y \leq 1500$ กก./ซม.^{2} (เหล็กข้ออ้อยที่มี $f_y \leq 4200$ กก./ซม.^{2})

$f_s = 1700$ กก./ซม.^{2} (เหล็กข้ออ้อยที่มี $f_y > 4200$ กก./ซม.^{2})

$f_s = 0.50$ เท่าของกำลังพิสูจน์แต่ไม่เกิน 2400 กก./ซม.^{2} (เหล็กขวั้น)

เหล็กเสริมรับแรงอัดในเสา

เสาปลอกเกลียว $f_s = 1200$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

$f_s = 0.4\ f_y \leq 2100$ กก./ซม.^{2} (เหล็กข้ออ้อย,เหล็กขวั้น)

เสาปลอกเดี่ยว : ใช้ 0.35 เท่าของค่าที่กำหนดของเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1750 กก./ซม.^{2}

เสาเหล็กรูปพรรณ : $f_s = 1250$ กก./ซม.^{2}

เหล็กหล่อ : $f_s = 700$ กก./ซม.^{2}

2. การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design)

เป็นการออกแบบให้รูปตัดสามารถต้านทานต่อแรงประลัยใช้งานต่าง ๆ ที่คำนวณหาค่ามาจากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานให้รับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากผลคูณของน้ำหนักบรรทุกใช้งานตามประเภทของอาคารกับส่วนปลอดภัยตามชนิดของน้ำหนักบรรทุกนั้น โดยมีหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในส่วนของอาคารไม่เกินกว่าหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ตามที่กำหนด การออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ใช้กันมากในต่างประเทศ เนื่องจากให้ค่าคาดหมายได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมการรับน้ำหนักจริงของส่วนอาคาร

อัตราส่วนปลอดภัยของการออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย สามารถหาได้จากส่วนปลอดภัยของน้ำหนักบรรทุกและส่วนปลอดภัยของความสามารถต้านทานแรงต่าง ๆ เช่น มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดน้ำหนักบรรทุกประลัยสำหรับอาคารที่ไม่คิดให้รับแรงลม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักบรรทุกประลัยสำหรับ = (1.4) (น้ำหนักบรรทุกคงที่) + (1.7) (น้ำหนักบรรทุกจร) ดังนั้น ส่วนปลอดภัยของน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร จะเท่ากับ 1.4 และ 1.7 ตามลำดับ แต่ความสามารถต้านทานแรงต่าง ๆ ต้องลดลงตามลักษณะของการรับแรง เช่น เมื่อส่วนของอาคารรับแรงดัดความสามารถต้านทานแรงดัดจะลดเหลือเพียงร้อยละ 90 เท่านั้น ดังนั้น อัตราส่วนปลอดภัยของการออกแบบสำหรับต้านแรงดัดด้วยทฤษฎีนี้จะอยู่ระหว่าง 1.4/0.9 ถึง 1.7/0.9 นั่นคือ อยู่ระหว่าง 1.55 ถึง 1.88

คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานเป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่อยู่ในแนวนอนใช้สำหรับรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในแนวดิ่ง เช่น น้ำหนักแผ่จากพื้นอาคารหรือน้ำหนักที่กดเป็นจุดจากคานขวาง โดยทำให้เกิดโมเมนต์ดัด แรงเฉือนและบางครั้งก็มีโมเมนต์บิดเกิดขึ้นด้วย เป็นผลให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ขึ้นในตัวคาน คือ หน่วยแรงดัดหน่วยแรงเฉือน หน่วยแรงดึงทแยง และหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องเลือกใช้ขนาดรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้ โดยหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดในตัวคานมีค่าไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ รูปตัดของคานคอนกรีตแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือแบบรูปตัวทีเป็นแบบที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการทำแบบหล่อคอนกรีต

พฤติกรรมของคาน คสล.

พิจารณาคาน คสล. ช่วงเดียวที่มีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในขณะที่คานยังไม่รับน้ำหนักบรรทุกจะสมมติว่าคานนี้ยังไม่ร้าว แม้ว่ารอยร้าวอาจเกิดขึ้นบ้าง เนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต เมื่อคานรับน้ำหนักหรือแรงที่มีค่าน้อย ๆ คานจะโก่งในลักษณะที่คานมีแรงดัดชนิดแรงอัดกระทำ และที่ส่วนท้องคานมีแรงดัดชนิดแรงดึงกระทำ การคำนวณหาหน่วยแรงต่าง ๆ ตลอดจนการโก่งตัวของคานในสภาวะนี้ กระทำโดยถือว่าคาน คสล. นี้เป็นคานคอนกรีตล้วนโดยไม่คำนึงว่ามีเหล็กเสริมอยู่ด้วย ตำแหน่งของแนวแกนสะเทินจะอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้าตัดคาน การกระจายของหน่วยแรง (stress distribution) และหน่วยการยืดหดตัว (strain distribution) จะเป็นเชิงเส้น มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน คาน คสล. ในขณะนี้ยังไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้นจนกว่าจะรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น จนหน่วยแรงดึงในคอนกรีตเกินกว่า ค่าโมดูลัสแห่งการแตกร้าว (Modulus of Rupture, $f_r = 1.99\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}) ตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตเริ่มร้าวที่ผิวล่างโดยที่รอยร้าวมีแนวตั้งฉากกับความยาวคานที่บริเวณกลางคานและมีแนวเฉียงที่บริเวณปลายคาน ตรงที่เกิดรอยร้าว ตำแหน่งของแนวแกนสะเทินจะขยับสูงขึ้น คอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือรอยร้าวแต่ต่ำกว่าแนวแกนสะเทินยังรับแรงดึงได้อีกบ้างเล็กน้อย แต่มักจะไม่นำมาคิดโดยสมมติให้เหล็กเสริมทำหน้าที่ต้านทานแรงดึงทั้งหมด ส่วนการกระจายของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตในช่วงอีลาสติกยังคงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างจากแกนสะเทิน หน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนี้สามารถหาได้โดยอาศัยแรงคู่ขนานที่กระทำบนระนาบของหน้าตัดหรือใช้วิธีของหน้าตัดแปลงร้าว

เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นอีกเหล็กจะยืดตัวมากขึ้นรอยร้าวก็เพิ่มขึ้นและมากขึ้น และแกนสะเทินก็สูงขึ้น หน่วยแรงต่าง ๆ ก็เพิ่มขึ้นเกินกว่าขีดยืดหยุ่นและเริ่มไม่เป็นสัดส่วนกับค่าโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้น เพราะถึงแม้ว่าช่วงแขนโมเมนต์จะมากขึ้น แต่พื้นที่ของคอนกรีตส่วนที่รับแรงอัดลดลง การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเริ่มไม่เป็นเส้นตรง หน่วยแรงดึงและการยืดตัวในเหล็กเสริมก็เพิ่มขึ้น หากคานดังกล่าวเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุลย์ (under reinforced) เหล็กเสริมในคานจะถูกดึงจนถึงจุดคลากก่อน เหล็กจะยืดมากเมื่อเลยจุดคลาก คานโก่งตัวมาก ทำให้คอนกรีตร้าวมากขึ้นจนมองเห็นได้ชัด เป็นเครื่องเตือนให้ทราบล่วงหน้าถึงการชำรุดที่จะเกิดขึ้นต่อไป หากเอาน้ำหนักบรรทุกออกเสียบ้างก็จะช่วยไม่ให้คานถึงกับพังทลายลงมาได้ แต่ถ้าเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอีกจนถึงน้ำหนักประลัยคอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือแกนสะเทินจะถูกอัดแตก โดยที่การกระจายของหน่วยแรงเป็นรูปโค้งพาราโบลา มีหน่วยหดตัวสูงสุดประมาณ 0.003-0.004 เรียกการชำรุดแบบนี้ว่าเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure) สำหรับคานที่เสริมเหล็กเกินสมดุลย์ (over reinforced) หรือเหล็กเสริมมีกำลังจุดคลากสูงมาก คานจะชำรุดแบบแรงอัดเป็นหลักโดยคอนกรีตถูกอัดถึงกำลังประลัยก่อนที่เหล็กเสริมจะเริ่มคลาก เป็นการชำรุดทันทีทันใดโดยไม่มีการเตือนให้ทราบล่วงหน้า จัดว่าอันตรายมาก

การพิจารณาออกแบบคาน คสล. โดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน อาศัยพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานในช่วงอีลาสติกและสมมติฐาน

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการออกแบบคาน

1. ความลึกประสิทธิผลของคาน (d) คือ ระยะระหว่างผิวนอกของคอนกรีตที่รับแรงอัด กับจุดศูนย์ถ่วงของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง
2. ขนาดรูปตัดของคานจะต้องจัดสัดส่วนความกว้างความลึกให้มากพอที่จะต้านทานการโก่งของคานไม่ให้มากเกินไป เช่น L/360 ถ้ามิได้คำนวณการโก่งของคานความลึกของคานควรจะถือเกณฑ์ไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\frac{L}{20}$ สำหรับคานช่วงเดียว

$\frac{L}{23}$ สำหรับคานต่อเนื่องปลายเดียว

$\frac{L}{26}$ สำหรับคานต่อเนื่องสองปลาย

$\frac{L}{10}$ สำหรับคานยื่น

3. คานที่จะพิจารณาว่าเป็นคานลึกเมื่อช่วงยาวน้อยกว่า 2.5 เท่าของความลึกสำหรับคานต่อเนื่องและช่วงยาวน้อยกว่า 1.25 เท่าของความลึกสำหรับคานช่วงเดียว ต้องถือว่าหน่วยการยืดหดตัวไม่เป็นปฏิภาคกับระยะจากแนวแกนสะเทิน ต้องคำนึงถึงการโก่งทางข้างของคานด้วย ปริมาณเหล็กเสริมทางนอนต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 เท่าของหน้าตัด (หรือไม่น้อยกว่าปริมาณในข้อ 4) และปริมาณเหล็กเสริมทางตั้งไม่น้อยกว่า 0.0015 เท่าของหน้าตัด
4. เหล็กเสริมรับแรงดึงจะต้องมีปริมาณในเกณฑ์ที่ค่าของเปอร์เซ็นต์เหล็ก p ไม่น้อยกว่า $14/f_y$ นอกจากหน้าตัดทุกแห่งตลอดคานจะมีเหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบไม่น้อยกว่า 1.34 เท่าของที่คำนวณได้
5. เหล็กเสริมทางยาวจะต้องมีเนื้อที่หน้าตัดมากพอโดยมีหน่วยแรงดึงไม่เกินค่าที่ยอมให้ ขนาดและจำนวนเหล็กเสริมควรให้พอเหมาะกับความกว้างของคานเพื่อให้เทคอนกรีตได้สะดวก เมื่อมีเหล็กเสริมมากกว่าหนึ่งชั้นก็ควรจัดเหล็กขนาดใหญ่กว่าวางไว้ล่างและจัดเหล็กในแต่ละชั้นให้ดูเหมือนกันทั้งสองข้างของแกนในแนวดิ่ง

ความต้านทานต่อแรงดัด

การศึกษาความต้านทานแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มี 3 กรณี คือ

1) การตรวจสอบหาค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในคอนกรีตและเหล็กเสริมของคาน คสล. ที่กำหนดให้เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกหรือโมเมนต์ดัดที่ต้องการ
2) การตรวจสอบหาค่าโมเมนต์ต้านทานหรือความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจรของคาน คสล. ที่กำหนดให้ ตามค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การพิจารณาออกแบบรูปตัดคานและปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกหรือโมเมนต์ดัดที่กำหนดให้ ตามค่าแน่วยแรงที่ยอมให้ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม

ในแต่ละกรณีที่กล่าวข้างต้นความต้านทานแรงดัดของคาน คสล. ขึ้นอยู่กับรูปร่างของหน้าตัดหรือขนาดของรูปตัด และวิธีการเสริมเหล็กในคาน ซึ่งต้องพิจารณาต่อไป

คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียว

พิจารณาคานคสล. ซึ่งมีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง b ลึก t เสริมเหล็กรับแรงดึงที่มีเนื้อหน้าตัด A_s เพียงอย่างเดียว โดยมีความลึกประสิทธิผลนับจากผิวบนของคานมายังจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมเท่ากับ d เมื่อคานนี้รับน้ำหนักบรรทุกเกิดโมเมนต์ดัดในลักษณะที่ด้านบนของคานมีอาการถูกอัด และด้านล่างของคานมีอาการถูกดึงให้ kd เป็นระยะจากผิวบนของคานถึงแนวแกนสะเทิน ดังนั้น การกระจายของหน่วยการยืดและหดตัวโดยมี E_c เป็นหน่วยการหดตัวที่ขอบบนของคอนกรีต และ E_s เป็นหน่วยการยืดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม แสดงการกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแกนสะเทินให้ f_c เป็นหน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่ผิวบนของคาน และ f_s เป็นหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม ถ้าสมมติคอนกรีตร้าวที่ผิวล่าง จนถึงแนวแกนสะเทินและไม่คิดความต้านทานแรงดึงของคอนกรีต ดังนั้นแรงอัดทั้งหมดในคอนกรีต (C) จะเท่ากับ $1/2\ f_c\ bkd$ ซึ่งกระทำที่ระยะ kd/3 จากผิวบนของคาน และแรงดึงทั้งหมดในเหล็กเสริม (T) จะเท่ากับ $A_s f_s$ หรือเท่ากับ $pbdf_s$ ในเมื่อ p เป็นเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ As/bd ให้ระยะระหว่างแรงอัดทั้งหมดกับแรงดึงทั้งหมดบนหน้าตัดมีค่าเท่ากับ jd ซึ่งเป็นช่วงแขนของโมเมนต์ นั่นคือ ระยะ jd เท่ากับ d-kd/3 หรือ j เท่ากับ 1-k/3 นั่นเอง

ความต้านทานต่อแรงดัดของคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึงหาได้ดังนี้

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต $M_c = Rbd^2$

ในเมื่อ $R = 1/2\ f_c\ kj$ ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับค่า f_s และ f_c

โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม $M_s = T.jd = A_s\ f_s\ jd = f_s\ pjbd^2$

คาน คสล. ที่มีโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตเท่ากับโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมเรียกว่า คานมีเหล็กเสริมสมดุลย์ (balanced design) กล่าวคือ เมื่อคานรับน้ำหนักหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตและเหล็กเสริมตามลำดับ ปริมาณเหล็กเสริมสมดุลย์เท่ากับ $1/(2\ f_s / f_c)\ (f_s / nf_c + 1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าคาน คสล. มีโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมน้อยกว่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต เรียกว่า คานเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุลย์ (under reinforced) ซึ่งความต้านทานโมเมนต์ของคานเท่ากับโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม ในทำนองกลับกัน หากคาน คสล. มีโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมมากกว่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต เรียกว่า คานเสริมเหล็กเกินสมดุลย์ (over reinforced) กล่าวคือ เมื่อคานรับน้ำหนักหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมจะมีค่าถึงหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ดังนั้น ความต้านทานโมเมนต์ของคานเท่ากับโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต

เมื่อคานต้องรับน้ำหนักบรรทุกหรือโมเมนต์ดัด (M) หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมหาได้จากสมการ หน่วยแรงอัดในคอนกรีต $f_c = \frac{2M}{kj\ bd^2}$

หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม $f_s = \frac{M}{A_s\ jd}$

จากการหาความต้านทานของคานต่อแรงดัดตามสมการ จะเห็นว่าต้องทราบค่าของ k หรือตำแหน่งของแกนสะเทิน kd ก่อนจึงจะคำนวณได้ ซึ่งมีวิธีพิจารณาดังต่อไปนี้

กรณีที่ทราบขนาดรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมในคาน ($p = \frac{A_s}{bd}$)

ให้พิจารณาจากการสมดุลย์ของแรงที่กระทำบนหน้าตัดนั้น ซึ่งจะได้

แรงอัดทั้งหมดของคอนกรีต (C) = แรงดึงทั้งหมดในเหล็กเสริม (T)

แทนค่า C และ T จะได้ $\frac{1}{2} f_c\ bkd = A_s\ f_s$

หรือ $\frac{f_c}{f_s} = \frac{2p}{k}$

แต่รูปการกระจายของหน่วยการยืดหดตัว จะเห็นว่า $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} = \frac{kd}{d-kd}$

หรือ $\frac{f_c/E_c}{f_s/E_s} = \frac{kd}{d-kd} = \frac{k}{1-k}$

ถ้าให้ $n = \frac{E_s}{E_c}$ ซึ่งจะเรียกว่าอัตราส่วนโมดูลัส ดังนั้น

แทนค่า $\frac{f_c}{f_s}$ จากสมการ ลงในสมการ จะเห็นค่า k ได้ดังนี้

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีทราบเฉพาะหน่วยแรงที่ยอมให้ ของคอนกรีต (f_c) และของเหล็กเสริม (f_s) ซึ่งเป็นกรณีของการออกแบบคาน

ให้พิจารณาจากรูปการกระจายของหน่วยการยืดหดตัว ซึ่งจะได้ตามสมการ คือ

$$n.\frac{f_c}{f_s} = \frac{k}{1-k}$$

ดังนั้นจะได้

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

การพิจารณาออกแบบคาน

เมื่อต้องการแบบรูปตัดคานให้รับน้ำหนักบรรทุกหรือโมเมนต์ดัด (M) ตามที่ต้องการ โดยมีหน่วยแรงที่ยอมให้ในคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็น f_c และ f_s ตามลำดับ กระทำได้ดังนี้

จากสมการ (3.3.1) จะได้ $bd^2 = \frac{M}{R}$

ถ้าสมมติความกว้างของคาน (b) จะได้ความลึก $d = \sqrt{M/Rb}$

ในที่นี้ค่า $R = \frac{1}{2} f_c\, kj$

สำหรับคานช่วงเดียวธรรมดา อัตราส่วนระหว่างช่วงความยาวคานต่อความลึกของคานไม่ควรน้อยกว่า 20 ทั้งนี้ เพื่อไม่ให้คานโก่งมากเกินไป สำหรับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานประมาณ ดังนั้น ถ้าใช้และ ความกว้างของคาน b ควรสมมติปริมาณ

ความลึกของคาน $= d + \frac{1}{2}\phi +$ ความหนาของคอนกรีตหุ้ม

ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ A_s หาได้จากสมการ $A_s = \frac{M}{f_s\, jd}$

เมื่อได้ปริมาณเหล็กเสริม A_s ก็เลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม และจำนวนที่ต้องใช้โดยให้มีเนื้อที่ของเหล็กเสริมเท่ากับหรือมากกว่าค่าปริมาณของเหล็กเสริมที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038444

คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

ตามปกติการออกแบบคานค.ส.ล. ให้เหล็กรับแรงดึงและคอนกรีตรับแรงอัดทั้งหมด จะประหยัดแต่บางกรณีก็จำเป็นต้องจำกัดขนาดรูปตัดของคาน เพื่อผลทางสถาปัตยกรรม เช่น เพื่อมิให้ความสูงของเพดานซึ่งอยู่ที่ระดับท้องคานต่ำเกินไป นอกจากนี้คานรูปตัด T (T beam) ที่ต่อเนื่องหลาย ๆ ช่วงโมเมนต์ลบบริเวณที่รองรับอาจใช้ปีกคานซึ่งอยู่ตอนบนมาต้านทานแรงอัดตอนล่างได้ จึงต้องพิจารณาแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในแต่ละกรณีล้วนแต่ทำให้โมเมนต์ต้านทานของคอนกรีตไม่เพียงพอ จำเป็นจะต้องเสริมเหล็กรับแรงอัดด้วยเพื่อต้านทานต่อโมเมนต์ส่วนที่เกินจากโมเมนต์ต้านทานของคอนกรีต ทำให้หน้าตัดของคานมีทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัด

พิจารณาคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด b * t โดยมีเหล็กเสริมรับแรงอัดปริมาณเท่ากับ A_s' ที่ระยะลึก d′ จากขอบนอกสุดของส่วนรับแรงอัด และมีเหล็กเสริมรับแรงดึงปริมาณเท่ากับ A_s อยู่ที่ระยะลึกประสิทธิผล d ให้ kd เป็นระยะจากผิวบนของคานถึงแนวแกนสะเทินการกระจายของหน่วยการยืดและหดตัว โดยมี ε_c เป็นหน่วยการหดตัวที่ขอบบนของคอนกรีต ε_s' เป็นหน่วยการหดตัวที่เหล็กเสริมรับแรงอัด และ ε_c เป็นหน่วยการยืดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึง แสดงการกระจายของหน่วยแรงโดยมี f_c เป็นหน่วยหน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่ผิวบนของคาน f_s' เป็นหน่วยแรงอัดตรงตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงอัดและ f_s เป็นหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงดึง

ความต้านทานต่อแรงอัดของคาน คสล. แบบนี้จะได้จากการพิจารณารวมโมเมนต์ต้านทาน M_1 และ M_2 โดยที่ M_1 เป็นโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตหรือโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึงที่มีปริมาณ A_{s1} ส่วน M_2 เป็นโมเมนต์ต้านทาน โดยเหล็กเสริมรับแรงอัด A_s' หรือโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึงที่มีปริมาณ A_{s2} (ซึ่งเท่ากับ $A_s - A_{s1}$)

นั่นคือ $M = M_1 + M_2$

จากรูป โมเมนต์ต้านทาน $M_1 = \frac{1}{2} f_c \, k \, j \, bd^2$

หรือ $M_1 = R \, bd^2$

ดังนั้น ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับโมเมนต์ M_1 $A_{s1} = \dfrac{M_1}{f_s \, j \, d}$

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับโมเมนต์ M_2

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_s \, (d - d')}$$

เหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด A_s' ได้จากการพิจารณาสภาพการสมดุลย์ของแรงซึ่งจะได้

$$C_s = T_2$$

$$A_s' f_s' = A_{s2} f_s$$

และในช่วงอีลาสติกหน่วยแรงในเหล็กเสริมเป็นปฏิภาคกับระยะจากแนวแกนสะเทิน

$$\frac{f_s}{f_s'} = \frac{d - kd}{kd - d'}$$

แต่มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้เหล็กเสริมรับแรงอัดมีหน่วยแรงเป็น 2 เท่าของหน่วยแรงที่คำนวณได้จากทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน $A_s' = \frac{1}{2} A_{s2} \frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}} = K . A_{s2}$

ใช้หาเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด

จะเห็นว่า ในการวิเคราะห์หาความต้านทานต่อแรงดัดของคานแบบนี้ จะต้องหาโมเมนต์ต้านทาน M_1 และ M_2 ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นทั้งในคอนกรีตและเหล็กเสริมด้วยว่าต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้

ส่วนการออกแบบคานนี้ เพื่อให้ต้านทานโมเมนต์ M ต้องทราบขนาดรูปตัดของคานก่อน ตลอดจนหน่วยแรงที่ยอมให้คอนกรีต F_c และเหล็กเสริม f_s แล้วพิจารณาตามลำดับข้างต้น อย่างไรก็ตาม การที่จะวิเคราะห์และออกแบบคานแบบนี้ดังกล่าวข้างต้น สิ่งจำเป็นคือ ต้องทราบค่า k หรือตำแหน่งของแกนสะเทิน สำหรับกรณีออกแบบคานซึ่งทราบเฉพาะหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต (f_c) และของเหล็กเสริม (f_s) จะหาค่า k ซึ่งเหมือนกับการพิจารณาคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง ส่วนกรณีที่ทราบขนาดรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมในคาน การหาค่า k กระทำได้ดังนี้

ให้พิจารณาจากการสมดุลย์ของแรงที่กระทำบนหน้าตัดนั้น (ไม่คิดพื้นที่ของคอนกรีตส่วนที่ถูกแทนที่โดยเหล็กเสริมรับแรงยัด) ซึ่งจะได้

$$k = \sqrt{2n\,(p - p') + n^2\,(p - p')^2} - n\,(p - p')$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือนและแรงดึงทแยงในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

นอกจากคานต้องรับโมเมนต์ดัดอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกแล้ว น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคานยังก่อให้เกิดแรงเฉือนแรงดึงทแยง ตลอดจนแรงยึดเหนี่ยว ซึ่งจะต้องออกแบบให้คานต้านทานโดยปลอดภัยอีกด้วย

หน่วยแรงดึงทแยง

เมื่อพิจารณาสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีด้าน a ซึ่งมีขนาดเล็กมากที่หน้าตัดใด ๆ ในแนวแกนสะเทินของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก จะเห็นว่าที่ขอบของลูกบาศก์มีแรงเฉือน 2 คู่ กระทำในแนวดิ่งและแนวนอนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากที่ตำแหน่งนี้หน่วยแรงดัดเป็นศูนย์

การกระทำของแรงเฉือนนี้เป็นผลให้เกิดเป็นแรงดึงในแนว AB และเป็นแรงอัดในแนว CD ทำมุม 45 องศากับแนวแกนสะเทิน

นั่นคือ ที่แนวแกนสะเทิน หน่วยแรงดึงทแยงมีค่าเท่ากับหน่วยแรงเฉือนและทำมุม 45 องศา กับแนวแกนสะเทินด้วย

ในกรณีที่จุดพิจารณามิได้อยู่ในแนวแกนสะเทินก็จะต้องพิจารณาผลของแรงดัดเพิ่มเข้าไปด้วย

$$t = \frac{1}{2} f + \sqrt{\frac{1}{4} f^2 + v^2}$$

มีทิศกระทำเอียงเป็นมุม a กับแนวราบ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\tan 2\alpha = \frac{2v}{f}$$

เมื่อ f = หน่วยแรงดัด, กก./ซม.^{2}

v = หน่วยแรงเฉือนในแนวดิ่ง, กก./ซม.^{2}

α = มุมที่หน่วยแรงดึงทแยงทำกับแนวราบองศา

หน่วยแรงดึงทแยงนี้จะเป็นสาเหตุให้คานคอนกรีตร้าวเฉียง ๆ กับแนวราบโดยเฉพาะที่ใกล้ฐานรอง เนื่องจากคอนกรีตทนแรงดึงได้ต่ำ

แสดงคานคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับวัสดุที่มีเนื้อเดียวกันและยืดหยุ่น เส้นหนักและต่อเนื่องตามความยาวคาน คือ แนวแรงดึงทแยงในคานมีแนวราบที่กลางคานทุกระดับของความลึกของคาน ใกล้ปลายคานหรือฐานรองเข้าไปค่าของแรงดึงจากโมเมนต์ดัดลดลง แรงเฉือนจะมีส่วนในการพิจารณาค่าของแรงดึงทแยงมากขึ้น ที่ฐานรองแรงดึงจากโมเมนต์ดัดเป็นศูนย์และมีแต่แรงเฉือน ฉะนั้น แรงดึงทแยงที่ฐานรองจึงเอียง 45 องศาทุกระดับความลึกของคาน เส้นหยักสั้น ๆ แสดงรอยร้าวของคอนกรีตตั้งฉากกับแนวแรงดึงทแยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงคานคอนกรีตเสริมเหล็ก แนวแรงดึงในคานที่บริเวณกลางคานจะต่างไปเพราะเหล็กต้านทานแรงดึงไว้ และบริเวณปลายคานยังคงมีแนวแรงดึงทแยงคล้ายกับคานคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก เพราะหน่วยแรงเฉือนในคอนกรีตที่อยู่เหนือเหล็กเสริมขึ้นไปมีค่าสูงดังรูป เส้นหยักสั้น ๆ แสดงรอยร้าวในคานคอนกรีตเนื่องจากแรงดึงทแยง ฉะนั้นการพิจารณาเสริมเหล็กให้ถูกต้องตามเป็นจริงแล้วควรจะเสริมเหล็กตามเส้นแสดงแนวของแรงดึงทแยง ซึ่งทำมุมประมาณ 45 องศาที่ปลายคาน และเอียงน้อยลงเมื่อห่างจากปลายคานหรือฐานรอง

หน่วยแรงเฉือน

หน่วยแรงเฉือนในคานเกิดจากผลต่างของโมเมนต์ที่กระทำในแต่ละข้างหน้าตัดคาน สำหรับคานที่ทำด้วยวัสดุยืดหยุ่นและเป็นเนื้อเดียวกันอย่างแท้จริง เช่น ไม้ หรือเหล็ก จะคำนวณหาหน่วยแรงเฉือนได้จากสมการ $v = \frac{VQ}{Ib}$ แต่คานคอนกรีตเสริมเหล็กมิใช่วัสดุประเภทยืดหยุ่นและเป็นเนื้อเดียวกัน จึงมิอาจคำนวณหน่วยแรงเฉือนจากสมการข้างต้นได้ อย่างไรก็ดี การพิจารณาหาหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน คสล. ยังอาศัยหลักการอย่างเดียวกัน แต่ไม่คิดความต้านทานแรงดึงของคอนกรีต ซึ่งจะได้ค่าหน่วยแรงเฉือน $v = \frac{V}{bjd}$ และมีลักษณะการกระจายของหน่วยแรงเฉือน คือ เป็นเส้นโค้งเหนือแนวแกนสะเทิน และเป็นเส้นตรงมีค่าที่ใต้แนวแกนสะเทินลงมา หน่วยแรงเฉือนโดยลำดับแล้วมิอาจทำให้คานชำรุดได้ หากแต่มาในรูปของหน่วยแรงดึงทแยงอันเป็นสาเหตุให้คานชำรุดด้วยแรงดึงของคอนกรีต สมการสำหรับหน่วยแรงเฉือนที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบสมการสำเร็จที่ได้จากผลการทดลองขณะที่คอนกรีตเริ่มร้าว ซึ่งเป็นสมการสำหรับออกแบบด้วยกำลังประลัย แต่เมื่อนำมาใช้กับการออกแบบด้วยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน ก็ใช้ส่วนปลอดภัยลดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ลง ฉะนั้น ปัจจุบันนี้จึงใช้สมการ หาค่าหน่วยแรงเฉือนซึ่งใช้วัดค่าหน่วยแรงดึงทแยงในคาน

คอนกรีต

คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

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

คานรูปตัด T

$$v = \frac{V}{b'd}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ v = หน่วยแรงเฉือนที่ใช้วัดแรงดึงทแยง, กก./ซม.^{2}

V= แรงเฉือนในคานคอนกรีตที่หน้าตัดใด ๆ , กก.

b = กว้างของคานคอนกรีต, ซม.

d = ความลึกประสิทธิผลของคานคอนกรีต, ซม.

b′= ความกว้างของตัวคานรูปตัด T, ซม.

ในการออกแบบให้ถือว่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดเกิดที่หน้าตัดซึ่งห่างจากขอบฐานรองเป็นระยะ d

ความต้านทานแรงเฉือนของคานคอนกรีต

คานคอนกรีตเองก็มีส่วนต้านทานหน่วยแรงเฉือนด้วย หน่วยเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีตล้วน ๆ ที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากขอบฐานรองเป็นระยะ d ต้องไม่เกิน

$$v_c = 0.29\sqrt{f'_c} \text{ กก./ซม.}^2$$

หรือสำหรับการคำนวณที่ละเอียด

$$v_c = 0.265\sqrt{f'_c} + 91.5\frac{p_w V d}{M} \text{ กก./ซม.}^2 \leqslant 0.464\sqrt{f'_c} \text{ กก./ซม.}^2$$

หน่วยแรงเฉือนของหน้าตัดที่อยู่ระหว่างระยะ d จากขอบฐานรองไม่ถือว่าวิกฤติ

เมื่อ v_c = หน่วยแรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีต, กก./ซม.^{2}

V = แรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น, กก.

M = โมเมนต์ที่หน้าตัดนั้นและมีค่าไม่น้อยกว่า Vd, กก.-ม.

$$p_w = \frac{As}{b'd}$$

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน

f'_c = กำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน, กก./ซม.^{2}

เหล็กเสริมรับแรงเสริม

เมื่อคานคอนกรีตต้องต้านทานแรงเฉือนมากเกินกว่าที่คานคอนกรีตเองจะสามารถรับไว้ได้ ก็จำเป็นต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือนส่วนที่เกิน

นั่นคือ $V' = V - V_c$

$V_c = V_c\, bd$

เมื่อ V = แรงเฉือนที่คานต้องต้านทาน, กก.

V_c = แรงเฉือนที่คอนกรีตรับไว้ได้, กก.

V′ = แรงเฉือนต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน, กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเสริมสำหรับต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กนี้มีทั้งชนิดตั้ง (เหล็กลูกตั้ง) และชนิดเฉียงทำมุมกับแนวนอน (เหล็กคอกม้า)

แสดงเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนทำมุม α กับแนวนอนเรียงห่างกันตามแนวนอนเป็นระยะ s ดังได้กล่าวแล้วว่าบริเวณฐานรองแรงดึงทแยงมากที่สุดทำมุม 45 องศา กับแนวนอน ถ้าให้ T เป็นแรงดึงทแยงซึ่งทำมุม 45 องศา กับแนวนอนที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือน g ต้องทาน

แรงดึงทแยง $T = v' b\ s \sin 45$ องศา

แรงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

$$s = \frac{A_v f_v d}{V'}$$

มาตรฐานกำหนดสำหรับเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในคาน วสล.

1. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือนให้ใช้ได้ ตามข้อกำหนดเดียวกับเหล็กรับโมเมนต์
2. หน่วยแรงเฉือน v จะต้องไม่เกิน $1.32\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2} สำหรับหน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน
3. บริเวณที่ต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะต้องให้มีระยะเรียงไม่เกิน d และเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องมากกว่า 0.0015 bs ในเนื้อที่ bs เมื่อหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า $0.795\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2} ระยะเรียงต้องไม่เกินเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะต้องเสริมให้เลยต้องการทางทฤษฎีออกไปอีกระยะ d
4. เหล็กคอม้าพิจารณาให้รับแรงเฉือนได้เพียง 3/4 ของช่วงกลางส่วนที่เอียง
5. เหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่เป็นเหล็กคอม้า เส้นเดียวหรือหลายเส้นที่ห่างจากฐานรองเท่านั้น รับแรงเฉือนได้ V′ โดยคำนวณจาก

   $V' = A_v f_v \sin \alpha$

   แต่ V′ ต้องไม่เกิน $0.398\ bd\sqrt{f_c'}$

6. ปลายเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะต้องงอแต่ละปลายให้ดีเช่นงอเป็นขอมาตรฐานพันรอบเหล็กเสริมตามยาว 180 องศา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงยึดเหนี่ยว

หน่วยแรงยึดเหนี่ยว

เหล็กเสริมตามยาวสำหรับโมเมนต์ดัดนี้ทำหน้าที่รับแรงดึง จึงจำเป็นจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต เพื่อป้องกันมิให้เหล็กเสริมครูดออกจากคอนกรีตเมื่อรับแรงดึง

พิจารณาเป็นรูปตัดทางยาวของคาน ความยาวของรูปตัดนี้น้อยมากน้ำหนักจากภายนอกไม่มีผลในการพิจารณา และไม่คำนึงถึงแรงดันในคอนกรีตใต้แนวแกนสะเทิน แรงอัด C_1 และแรงดึง T_1 ทางซีกขวามากกว่า C_2 และ T_2 ทางซีกซ้าย แรงเฉือน V ทางซีกขวาและซ้ายถือว่าเท่ากันเพราะไม่มีผลจากน้ำหนักภายนอก

จะได้ $$u = \frac{V}{(\Sigma O)jd}$$

เมื่อ u = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น, กก./ซม.^{2}

ΣO = ผลบวกของเส้นรอบวงของเหล็กเสริมตามยาว, ซม.

jd = ระยะแขนโมเมนต์, ซม.

ดังนั้น เพื่อป้องกันมิให้เหล็กเสริมครูดออกจากคอนกรีต ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่คำนวณได้จากสมการ จะต้องไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวยอมให้

ระยะฝังและระยะทาบของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมตามยาวของคานจำเป็นต้องมีระยะฝังที่มากพอเช่นในคานยื่นเพื่อป้องกันมิให้คานชำรุดด้วยสาเหตุแรงยึดเหนี่ยวไม่เพียงพอ

เมื่อจำเป็นต้องต่อเหล็กเสริมในคานโดยใช้วิธีทาบ ต้องจัดให้มีระยะทาบเพียงพอเพื่อให้คอนกรีตเป็นสื่อในการถ่ายแรงจากเหล็กเสริมเส้นหนึ่งไปยังเหล็กเสริมอีกเส้นหนึ่ง

ระยะฝังและระยะทาบของเหล็กเสริมพิจารณาได้ดังนี้ สมมติเหล็กเสริมในคานมีเนื้อที่หน้าตัด A_s หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม f_s เส้นผ่าศูนย์กลาง d มีหน่วยแรงยึดเหนี่ยว u ระยะฝังหรือระยะทาบของเหล็กเสริม L

ระยะฝังหรือระยะทาบของเหล็กเสริม $$L = \frac{d f_s}{4u}$$

ในกรณีต่อทาบ ใช้ค่า u เท่ากับสามในสี่ของค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้

ตารางแสดงค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ u ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. โดยที่ f'_c เป็นกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก และ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริมสำหรับเหล็กกลมผิวเรียบ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของค่าที่ให้ไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 305 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 24-2516 แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 11 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 1.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้

ชนิดของเหล็ก	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ กก./ซม.^{2}
เหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 305 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 24—2516 :	
เหล็กบน*	$\frac{2.29\sqrt{f'_c}}{D} \leq 25$
เหล็กอื่น ๆ นอกเหนือจากเหล็กบน.....	$\frac{3.23\sqrt{f'_c}}{D} \leq 35$
เหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 408 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 24—2516 :	
เหล็กบน*	$0.556\sqrt{f'_c}$
เหล็กอื่น ๆ นอกเหนือจากเหล็กบน.....	$0.795\sqrt{f'_c}$
เหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดทั้งหมด.....	$1.72\sqrt{f'_c} \leq 28$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการออกแบบคาน คสล.

การออกแบบคาน คสล. เป็นการออกแบบขนาดรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้เพื่อให้สามารถต้านทานต่อแรงต่าง ๆ เช่น โมเมนต์ แรงเฉือน และแรงยึดเหนี่ยวได้อย่างปลอดภัยและประหยัด โดยมีหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งควรทำตามลำดับขั้น ดังต่อไปนี้

1. กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ f'_c , f_c , f_s และ n ตามมาตรฐานกำหนด

2. เลือกขนาดรูปตัดของคานโดยจัดส่วนความกว้างความลึกให้มากพอที่จะต้านทานการโก่งของคานไม่ให้มากเกินไป (ความลึกของคานประมาณ 1/10 ถึง 1/20 ของช่วงความยาวคาน ความกว้างของคานประมาณ 1/2 ถึง 3/4 ของความลึกของคาน) แต่ในบางครั้งอาจต้องใช้ขนาดรูปตัดคานตามที่กำหนดตามความสวยงามทางด้านสถาปัตยกรรม ซึ่งเมื่อประมาณความหนาของคอนกรีตที่หุ้มจะได้ความลึกประสิทธิผลของคาน d

3. หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักของคาน, ผนังฯ และน้ำหนักบรรทุกจรตามข้อกำหนดในแต่ละประเภทของอาคารแล้วคำนวณหาโมเมนต์ดัดแรงเฉือน โมเมนต์บิดตามวิธีวิเคราะห์โครงสร้างหรือใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดตามมาตรฐานการออกแบบ

4. คำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคอนกรีตจากรูปตัด และหน่วยแรงที่เลือกใช้แล้วเปรียบเทียบกับค่าโมเมนต์ดัดที่ต้องต้านทาน

ถ้า $M_C > M$ ก็ออกแบบหาปริมาณเหล็กเสริมในคานแบบเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

ถ้า $M_C < M$ ก็ออกแบบหาปริมาณเหล็กเสริมในคานแบบเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

5. ตรวจสอบแรงเฉือน, แรงยึดเหนี่ยวและแรงบิด จากรูปตัดที่เลือกใช้หากมีค่าน้อยกว่าค่าที่ต้องต้านทาน ก็ออกแบบเหล็กเสริมให้รับแรงนั้น ๆ

6. เขียนรูปแสดงขนาดรูปตัดและรายละเอียดการเสริมเหล็ก ตลอดจนตำแหน่งการดัดงอเหล็กเสริม

- คานช่วงเดียว เหล็กเสริมหลักตลอดความยาวคานเป็นเหล็กล่างเพราะรับโมเมนต์บวก ถ้าเหล็กล่างมีจำนวน 2 เส้น ก็อาจดัดเหล็กล่างขึ้นไปเป็นเหล็กดอม้า เพื่อให้ต้านทานแรงดึงทแยงที่ตรงปลายคานห่างจากที่รองรับประมาณ 1/4 ของช่วงคาน ส่วนเหล็กล่างที่เหลือ (ไม่น้อยกว่า 1/3 ของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก) ก็จะปล่อยให้เลยเข้าไปในที่รองรับไม่น้อยกว่า 15 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คานยื่น เหล็กเสริมหลักตลอดความยาวคานเป็นเหล็กบน เพราะรับโมเมนต์ลบและต้องฝังในคานช่วงในถัดเข้าไปจากเสาที่รับคานยื่นนั้น หรืออาจฝังลงไปในเสาถ้าไม่มีคานช่วงใน โดยที่ระยะฝังเพียงพอที่หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้

- คานต่อเนื่อง เหล็กเสริมหลักตามความยาวคานมีทั้งเหล็กบนและเหล็กล่าง บริเวณกลางช่วงคานจะเป็นเหล็กล่าง เพราะรับโมเมนต์บวก ตรงที่รองรับจะเป็นเหล็กบนเพราะรับโมเมนต์ลบ ในกรณีที่เหล็กล่างมีจำนวนเกิน 2 เส้น มักนิยมดัดเหล็กล่างขึ้นไปเป็นเหล็กบนตรงตำแหน่งที่โมเมนต์เปลี่ยนจากบวกไปลบ ส่วนเหล็กล่างที่เหลือ (ไม่น้อยกว่า 1/4 ของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก) ก็จะปล่อยให้เลยเข้าไปในเสาหรือที่รองรับไม่น้อยกว่า 15 ซม. ส่วนเหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์ลบ (ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสาม) จะต้องยื่นเลยจุดดัดไป ระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคานหรือ 1/16 ของระยะช่องว่าง แสดงตำแหน่งที่ควรดัดเหล็กทำคอม้าในคานต่อเนื่อง

- การลดปริมาณเหล็กเสริมตามความยาวคาน ในตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมเกินความต้องการของรูปโมเมนต์ก็อาจลดจำนวนเส้นลงสัดส่วน โดยการตัดหรืองอคอม้าของเหล็กเสริมได้ แต่ต้องยื่นเหล็กจากจุดที่ตัดเหล็ก (ทางทฤษฎี) ออกไปอีกไม่น้อยกว่าความลึก d หรือไม่น้อยกว่า 12 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นเป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก ที่กระทำแผ่บนเนื้อที่แล้วทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกให้กับคานที่รองรับ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายชนิดอาจจำแนกตามลักษณะการถ่ายน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นนั้น เช่น พื้น คสล. เสริมเหล็กทางเดียวโดยมีคานรับพื้นสองด้าน พื้น คสล. เสริมเหล็กสองทาง โดยมีคานรับพื้นทั้งสี่ด้าน หรือรอบพื้นทั้ง 4 ด้าน พื้นคอนกรีตมีทั้งแบบที่ท้องพื้นหรือส่วนล่างของพื้นเป็นแผ่นเรียบขนานกับผิวหน้าของพื้นเรียกว่าพื้นคอนกรีตแบบตัน (Solid Slab) หรืออาจเป็นแบบทีมีส่วนล่างมีลักษณะเป็นตงเป็นระยะ ๆ ห่างกันพอสมควรเรียกว่า พื้นระบบตง (Joist Floor หรือ Ribbed Slab) มีพื้นคอนกรีตอีกแบบหนึ่งไม่มีคานรับพื้น แต่ถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงสู่หัวเสาโดยตรง เรียกพื้นแบบนี้ว่า พื้นไร้คาน (Flat Slab)

พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กทางเดียว (One Way Slab)

พื้นคอนกรีตแบบนี้ใช้กับพื้นห้องที่มีด้านยาวซึ่งยาวกว่าด้านกว้างตั้งแต่สองเท่าขึ้นไป มีคานรับพื้นทางขอบด้านยาวของพื้นทั้งสองด้าน หลักเกณฑ์ที่ใช้ออกแบบก็เหมือนกับที่ใช้ออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยพิจารณาออกแบบพื้นซึ่งกว้างทุก ๆ หนึ่งเมตรในแนวที่ตั้งฉากกับคานรับพื้น มีความลึกเท่ากับความหนาของพื้น และให้พื้นรับน้ำหนักจรรวมกับน้ำหนักของพื้นเองซึ่งรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุที่มาปูพื้น คิดเป็นน้ำหนักแผ่ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร อาจมีช่วงเดียวหรือต่อเนื่องหลายช่วง ซึ่งสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์คัดได้ เหล็กเสริมหลัก (main steel)

วางในแนวตั้งฉากกับคานรับพื้นเพียงทางเดียว และทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักให้กับคานที่รองรับในทิศทางที่ขนานกับคานรับพื้น ต้องมีเหล็กเสริมกันร้าว ในอัตราดังนี้

เหล็กผิวเรียบ 0.0025 เท่าของเนื้อที่หน้าตัดพื้น

เหล็กข้ออ้อย 0.0020 เท่าของเนื้อที่หน้าตัดพื้น

เหล็กเสริมที่ใช้ขนาดต้องไม่เล็กกว่า 6 ม.ม. วางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของพื้นเมื่อไม่คิดการโก่งของพื้น พื้นต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

L/25	พื้นช่วงเดียวธรรมดา
L/30	พื้นต่อเนื่องข้างเดียว
L/35	พื้นต่อเนื่องทั้งสองข้าง
L/12	พื้นยื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายน้ำหนักของพื้นเสริมเหล็กทางเดียวลงบนคาน ให้คิดครึ่งหนึ่งของความกว้างของห้องแต่ละซีกของคาน

พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กสองทาง (Two-way Slab)

พื้นคอนกรีตแบบนี้ใช้กับพื้นห้องที่มีลักษณะที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีด้านยาวเกือบเท่ากัน คือด้านยาวไม่มากกว่า 2 เท่าของด้านกว้าง มีเหล็กเสริมทั้งสองทางเพื่อใช้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจากพื้นลงสู่คานที่รองรับทั้งสี่ด้าน ความหนาของพื้นต้องไม่น้อยกว่า 8 ซม. หรือ 1/180 ของเส้นรอบรูปของพื้นนั้น เหล็กเสริมสำหรับพื้นแบบนี้วางเหล็กเสริมช่วงสั้นไว้ล่างเพราะต้องรับน้ำหนักมากกว่าเหล็กทั้งสองทางจะต้องวางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของพื้น โดยมีอัตราส่วนของเหล็กเสริมในแต่ละทิศไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้

การออกแบบพื้นนี้ พิจารณาจากพื้นกว้าง 1 เมตร ทั้งทางช่วงสั้นและช่วงยาว สำหรับรับน้ำหนักแผ่เป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตรก็คิดแบบเดียวกับพื้นที่เสริมเหล็กทางเดียว แต่น้ำหนักแผ่ที่ใช้ออกแบบทั้งทางช่วงสั้นและทางช่วงยาวจะต้องแปลงค่า เพื่อที่จะให้การโก่งในแนวดิ่งของพื้นแต่ละจุดเมื่อคำนวณจากช่วงสั้นกับช่วงยาวต้องมีค่าเท่ากัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึงผลที่เกิดจากการต่อเนื่อง และการยึดแน่นกับที่รองรับด้วย

จากข้อพิจารณาข้างต้น จะเห็นว่าการคำนวณออกแบบแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทางนี้ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน วสท. ได้ให้วิธีคำนวณออกแบบโดยประมาณสำหรับแผ่นพื้นแบบนี้ไว้ถึงสามวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ในแต่ละวิธีจะให้ผลต่างกันไปบ้างในข้อปลีกย่อย แต่ทุกวิธีก็ให้ความปลอดภัยเพียงพอ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีคำนวณและออกแบบที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีอื่น

การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทางตามวิธีที่ 2 ของมาตรฐาน วสท.

ขอบข่าย

แผ่นพื้นอาจเป็นแบบต้นหรือเป็นครีบ และอาจต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องแต่ต้องมีผนังหรือคานรองรับทั้งสี่ด้าน ซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับพื้น

โมเมนต์ดัด

ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นจะได้จากการพิจารณาแบ่งแผ่นพื้นขนาดกว้าง S และยาว L (ค่า S และ L เป็นค่าน้อยของระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างที่รองรับหรือช่วงว่างบวกกับอีก 2 เท่าของความหนาของพื้น) ให้เป็นแถบต่าง ๆ ในแต่ละทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบกลาง ให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น

แถบเสา ให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น ดังนั้น แต่ละซีกในช่วงพื้นเดียวกันจะมีขนาดเท่ากับพื้นที่หนึ่งในสี่ของช่วงพื้นนั้น

ในกรณีที่ L > 2S แถบกลางที่ขนานกับด้านสั้นให้มีความกว้างเท่ากับผลต่างระหว่างด้านทั้งสองที่เหลือเป็นความกว้างของแถบเสา

ถ้าให้ w = น้ำหนักรถบรรทุกรวมซึ่งแผ่สม่ำเสมอบนแผ่นพื้น กก/ม^2

C = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ในแต่ละทิศทาง (ช่วงสั้น, ช่วงยาว) สำหรับแผ่นพื้นแบบเสริมเหล็กสองทาง ซึ่งขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของแผ่นพื้น (5 กรณี) และอัตราส่วน m ซึ่งเท่ากับ S/L

ดังนั้น โมเมนต์ดัดในแถบกลางคำนวณจาก $M = CwS^2$ กก.-เมตร/เมตร

โมเมนต์ดัดในแถบเสาเท่ากับสองในสามของโมเมนต์ในแถบกลาง

ค่าโมเมนต์ดัดในแถบกลางของพื้นที่คำนวณจากสมการ ที่ทั้งโมเมนต์ลบและโมเมนต์บวก

ค่าโมเมนต์ลบ เป็นโมเมนต์ตรงขอบคานที่รองรับ ส่วนค่าโมเมนต์บวกเป็นโมเมนต์ตามแนวศูนย์กลางของช่วงพื้น M_S เป็นโมเมนต์ในแถบกลางที่ขนานกับด้านสั้น และ M_L เป็นโมเมนต์ในแถบกลางที่ขนานกับด้านยาว

หากค่าโมเมนต์ลบที่ด้านใดของที่รองรับมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ของโมเมนต์อีกด้านหนึ่งให้นำสองในสามของผลต่างของโมเมนต์กระจายออกไปตามสัดส่วนของความแข็งแกร่งของแผ่นพื้น

แรงเฉือน

แรงเฉือนในแผ่นพื้นคำนวณโดยสมมติว่าน้ำหนักแผ่บนแผ่นพื้น (w) ถูกแบ่งไปยังที่รองรับโดยเส้นที่ลาก 45 องศาจากมุมทั้งสี่ตัดกับเส้นมีเดียนของช่วงพื้นที่ขนานกับด้านยาว

ดังนั้น แรงเฉือนเฉลี่ยที่กระทำทางด้าน AD และ BC $= \frac{wS^2}{4}$

แรงเฉือนเฉลี่ยที่กระทำทางด้าน AB และ DC $= \frac{wS^2}{4}\left(\frac{2-m}{m}\right)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คานที่รองรับ

น้ำหนักแผ่นพื้นซึ่งแบ่งไปลงบนคานที่รองรับให้สมมติเช่นเดียวกับการหาแรงเฉือนข้างต้น แต่โมเมนต์ในคานคำนวณจากน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ ดังนี้

คานด้านสั้น AD, BC รับน้ำหนักแผ่ $= \frac{wS}{3}$

คานด้านยาว AB, DC รับน้ำหนักแผ่ $= \frac{wS}{3}\left(\frac{3-m^2}{2}\right)$

การจัดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง

เหล็กเสริมหลักในแต่ละแถบมีทั้งเหล็กบนและเหล็กล่าง บริเวณกลางช่วงของแผ่นพื้นจะเป็นเหล็กล่าง เพราะรับโมเมนต์บวกตรงที่รองรับจะเป็นเหล็กบน เพราะรับโมเมนต์ลบ อย่างไรก็ดีเหล็กเสริมที่ขนานกับด้านสั้นจะจัดให้อยู่ด้านล่างกว่า หรืออยู่บนกว่าเหล็กเสริมที่ขนานกับด้านยาวที่กลางช่วงและที่รองรับตามลำดับ เนื่องจากรับโมเมนต์คัดมากกว่านั่นเอง ประมาณสองในสามของเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกที่เป็นเหล็กล่าง อาจพิจารณาดัดขึ้นไปเป็นเหล็กบนให้รับโมเมนต์ลบได้ที่ตำแหน่งที่โมเมนต์เปลี่ยนจากบวกไปลบแล้วปล่อยเลยเข้าไปที่รองรับ หากปริมาณเหล็กเสริมที่ดัดขึ้นไปนี้ยังไม่พอที่จะต้านโมเมนต์ลบได้ก็จะใส่เหล็กเสริมพิเศษเพิ่ม ส่วนเหล็กล่างที่เหลือจะปล่อยเลยเข้าไปในที่รองรับ แสดงตำแหน่งที่ควรดัดเหล็ก และระยะที่ควรหยุดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นช่วงนอกและช่วงใน

สำหรับที่มุมนอกของแผ่นพื้นต้องเสริมเหล็กพิเศษทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อกันรอยแตกร้าวในแนวทแยง โดยเรียงออกไปจากมุมในแต่ละทิศทางเป็นระยะหนึ่งในห้าของด้านยาว เหล็กเสริมด้านบน หากไม่สะดวกต่อการก่อสร้าง ก็อาจเสริมเหล็กสองทางในแนวที่ขนานกับด้านของพื้นแต่ละด้านก็ได้ อย่างไรก็ดี เหล็กเสริมในแต่ละแถบต้องมีขนาดและระยะเรียงเท่ากับปริมาณที่ต้องการสำหรับโมเมนต์บวกสูงสุดในแผ่นพื้นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาเป็นส่วนของอาคารในแนวดิ่งที่รับแรงอัดหรือทั้งแรงอัดและแรงดัดร่วมกันที่ได้จากการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากคานหรือแผ่นพื้นไร้คาน เสาคอนกรีตเสริมเหล็กอาจมีรูปตัดกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีเหล็กเสริมชนิดเหล็กยืน ใช้ช่วยคอนกรีตรับน้ำหนักและเหล็กเสริมทางข้างชนิดปลอกเกลียว ซึ่งพันต่อเนื่องกันรอบเหล็กยืนที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม เรียกว่าเสาปลอกเกลียว เหล็กเสริมทางข้างอาจเป็นชนิดปลอกเดี่ยวพันรอบเหล็กยืนที่วางในตำแหน่งของรูปสี่เหลี่ยมเว้นเป็นระยะเรียกว่า เสาปลอกเดี่ยวเหล็กเสริมทางข้างนี้ ช่วยให้เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักได้ดีขึ้น ประเภทของเสาอาจแยกออกเป็นเสาสั้นและเสายาว

เสาสั้น หมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดน้อยไม่เกินพิกัดที่จะทำให้เสานั้นแตกร้าวโดยการโก่งเดาะ

เสายาว หมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดมาก ประมาณค่าเท่ากับ 60 หรือมากกว่าความสามารถในการรับน้ำหนักจะน้อยกว่าเสาสั้นในขนาดเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการโก่งเดาะของเสา

จากการทดลองของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวที่มีขาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมเท่ากันโดยให้รับน้ำหนักตามแนวแกน พบว่าที่จุดค่าของเสาทั้งเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวจะมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งหรือหดตัว (Deformation) เหมือนกันแต่เมื่อเสารับน้ำหนักกว่าจุดนี้ เสาปลอกเดี่ยวจะชำรุดก่อนโดยคอนกรีตที่หุ้มจะถูกอัดแตกโดยแรงเฉือนในแนวทแยง และเหล็กเสริมตามยาวจะบิดเบี้ยวด้วยการโก่งเดาะ โดยมีค่าน้ำหนักประลัยเท่ากับค่าน้ำหนักที่ทำให้เสาถึงจุดคาด ส่วนเสาปลอกเกลียว เมื่อน้ำหนักเลยจุดคลาก คอนกรีตที่หุ้มจะถูกอัดแตกออกแต่เหล็กปลอกที่พันอยู่โดยรอบจะช่วยต้านทานการแตกออกของคอนกรีตภายในได้ ทำให้เสาปลอกเกลียวรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้อีกมีน้ำหนักประลัยสูงกว่าเสาปลอกเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตาม การโก่งตัวได้มากขึ้นจะไม่ถือว่าเสานี้เหมาะในการใช้งานอีก ดังนั้น ส่วนของน้ำหนักประลัยที่เพิ่มขึ้นจะถือเป็นเพียงข้อดีของเสาปลอกเกลียวเท่านั้น คือมีความปลอดภัยสูงกว่าถือว่าเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวรับน้ำหนักประลัยได้มากกว่า ซึ่งความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้จากการรวมกำลังรับน้ำหนักที่ได้จากส่วนของคอนกรีตและเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน

กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาสั้นแบบต่าง ๆ ที่รับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียวได้มาจากผลการทดลองหากำลังรับน้ำหนักของเสาที่รับแรงตามแนวแกนโดยใช้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 2.5 และเผื่อระยะเฉศูนย์ต่ำสุด (0.10t สำหรับเสาปลอกเดี่ยวและ 0.05 D สำหรับเสาปลอกเกลียว) คำนวณได้ดังนี้

1. เสาปลอกเกลียว

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีปลอกเกลียวพันถี่ ๆ รอบเหล็กยืนที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม ให้คำนวณกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกนดังนี้

$$P = A_g \left(0.25 f_c' + f_s p_g \right)$$

2. เสาปลอกเดี่ยว

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีปลอกเดี่ยวพันเป็นระยะ ๆ รอบเหล็กยืนที่อยู่บนเส้นขอบของรูปสี่เหลี่ยมให้คำนวณการรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน ดังนี้

$$P = 0.85 A_g \left(0.25 f_c' + f_s p_g \right)$$

เมื่อ P = กำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยตามแนวแกนของเสา

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสาคอนกรีต

f_g = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

= 0.40 f_y แต่ไม่เกิน 2,100 กก./ซม.^{2}

f_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสา

ก) อัตราส่วน h/t ความสูงของเสาระหว่างชั้นต่อด้านแคบของเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของเสากลมไม่ควรเกิน 15 มิฉะนั้นแล้วจะต้องลดกำลังรับน้ำหนักของเสาดังกล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) เนื้อที่หน้าตัดเหล็กยืนของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่เกิน0.08 ของเนื้อที่หน้าตัดเสาและมีขนาดไม่เล็กกว่า 12 มม. เสาเหลี่ยมต้องมีเหล็กยืนอย่างน้อย 4 เส้น และเสากลมอย่างน้อย 6 เส้น

ค) ช่องว่างระหว่างเหล็กยืนของเสาต้องไม่น้อยกว่า 1 1/2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กหรือ 1 1/2 เท่าของวัสดุผสมหยาบใหญ่สุดหรือ 4 ซม.

ง) ปลอกเกลียวต้องมีประมาณไม่น้อยกว่าที่คำนวณจาก

$$p_s = 0.45 \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_y}$$

เมื่อ P_s = อัตราส่วนระหว่างปริมาณของเหล็กปลอกเกลียวกับปริมาณของแกนเสาที่วัดที่ขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

f_y = กำลังคลากของเหล็กปลอกเกลียวแต่ไม่เกิน 4,200 กก./ซม.^{2}

จ) เสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยวคอนกรีตหุ้มเหล็กที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกนคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 3 ซม. หรือ 1 1/2 เท่าขนาดวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด

ฉ) เสาปลอกเดี่ยวต้องใช้เหล็กปลอกไม่เล็กกว่า 6 มม. ระยะห่างไม่เกิน 16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยืน 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอก และไม่ห่างกันมากกว่าด้านแคบของเสา

ช) เหล็กปลอกเกลียวของเสาต้องพันต่อเนื่องสม่ำเสมอ มีระยะห่างไม่เกิน 7 ซม. และไม่แคบกว่า 3 ซม. หรือ 1 1/2 เท่าขนาดวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เล็กกว่า 6 มม.

ซ) เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดมากกว่าความต้องการในการรับน้ำหนักมาก ๆ การหาปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดนี้ยอมให้ใช้ A_g เพียงครึ่งเดียว

ฌ) การต่อเหล็กยืนในเสาอาจต่อโดยวิธีทาบหรือเมื่อขนาดเหล็กยืนโตกว่า25 มม. ก็ควรต่อโดยวิธีเชื่อม การต่อเหล็กยืนให้ต่อที่พื้นชั้นล่างของพื้นนั้น ๆ เมื่อต้องดัดเหล็กเยื้องกันที่รอยต่อ ความลาดเอียงต้องไม่เกิน 1 : 6 เมื่อเทียบกับแกนของเสาส่วนเหล็กบนและเหล็กล่างของส่วนที่ดุ้ง ต้องขนานกับแกนเสา และต้องมีเหล็กยึดในแนวราบอย่างเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฐานรากเป็นโครงสร้างของอาคารส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากอาคารส่วนบนลงสู่พื้นดินโดยมีหลักเกณฑ์ว่า การทรุดตัวของฐานรากทุก ๆ ฐานรากเท่ากันและน้อยมาก ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กที่นิยมใช้กันมากเพราะทำการก่อสร้างได้สะดวก ให้กำลังต้านทานสูงการถ่ายน้ำหนักอาคารจากฐานรากลงสู่พื้นดินทำได้ 2 ประการ คือ ในท้องที่ใกล้ภูเขาหรือที่เป็นดินลูกรังหรือทรายอัดแน่น ซึ่งดินมีคุณภาพดีทนต่อแรงกดได้สูง ก็ใช้ฐานรากวางบนดินเรียกว่าฐานแผ่ แต่ในท้องที่ซึ่งเป็นดินเหนียวและเป็นที่ลุ่มคุณภาพของดินไม่ดีพอที่จะใช้ฐานแผ่ พอต้องใช้ฐานรากขนาดใหญ่ขึ้นเป็นการสิ้นเปลือง ควรใช้ฐานรากชนิดฐานรากวางบนเข็มโดยใช้น้ำหนักจากฐานรากถ่ายแบ่งให้เข็มทุก ๆ ต้นเท่ากัน และเสาเข็มถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินที่ลึกต่ำลงไป โดยอาศัยความฝืดระหว่างผิวเสาเข็มกับดินที่อยู่โดยรอบเป็นส่วนใหญ่ การใช้เสาเข็มยาวในบางท้องที่ปลายเสาเข็มอาจอยู่ในระดับดินแน่นมาก ๆ แรงกดที่ปลายเสาเข็มก็อาจช่วยในการรับน้ำหนักได้บ้าง

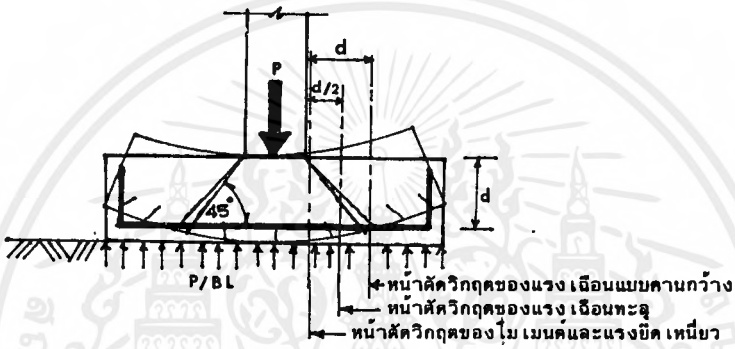
การพิจารณาการออกแบบฐานราก

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อฐานรากเพื่อส่งถ่ายไปยังชั้นดินที่รองรับประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจรของส่วนอาคารที่อยู่เหนือฐานรากและน้ำหนักของฐานรากเอง ซึ่งประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักที่ฐานรากต้องรับน้ำหนักจรที่ใช้ออกแบบฐานรากไม่จำเป็นต้องเป็นผลรวมของทุก ๆ ชั้นเสมอไป เพราะโครงอาคารสูงบางประเภท เช่น อาคารสำนักงาน คงไม่มีโอกาสบรรทุกน้ำหนักพร้อมกันทีเดียวทุกชั้น ดังนั้น จึงสามารถพิจารณาลดน้ำหนักลงได้บ้าง ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อบังคับที่กำหนด

จากรูปสมมติให้ฐานรากเดี่ยวชนิดฐานแผ่ต้องรับน้ำหนักบรรทุก P และให้ฐานรากมีขนาดกว้าง B ยาว L น้ำหนัก P ที่กระทำจะถ่ายจากฐานรากสู่ชั้นดินใต้ฐานรากโดยสมมติให้น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ ดินใต้ฐานรากจะมีหน่วยแรงดันขึ้นเท่ากับ P/BL หากออกแบบฐานรากไม่แข็งแรงพอฐานรากจะโก่งงอ ดังแสดงอันเนื่องจากแรงดันขึ้นนี้ ซึ่งด้านล่างของฐานรากในส่วนที่สัมผัสกับดินจะรับแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ดัดที่กระทำคอนกรีตจะแตกร้าวตรงด้านนี้เพราะรับแรงดึงได้น้อยมาก จึงควรพิจารณาเสริมเหล็กตรงส่วนที่ใกล้ผิวดินตรงระนาบที่ตัดผ่านฐานรากและใกล้กับเสาตอหม้อเป็นส่วนที่ฐานรากรับโมเมนต์ดัดมากที่สุดเรียกว่า หน้าตัดวิกฤตสำหรับหารพิจารณาโมเมนต์ดัด และใช้สำหรับหารพิจารณาแรงยึดเหนี่ยวด้วยเพราะแรงเฉือนตรงหน้าตัดนั้นมีค่ามากที่สุด แต่การวิบัติของฐานรากเนื่องจากแรงเฉือนแบบคานกว้าง จะเกิดตรงระนาบที่ห่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาตอม่อเป็นระยะเท่ากับความลึกประสิทธิผลโดยมีรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงทแยงมุมประมาณ 45 องศา หรือเป็นแบบเฉือนทะลุในลักษณะที่เสาเจาะผ่านฐานรากเป็นรูปปิรามิด หน้าตัดวิกฤติของแรงเฉือนทะลุจะพิจารณาตามเส้นขอบที่ห่างจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล



รูปที่ 1.4 การรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเดี่ยวชนิดฐานแผ่และการโก่งงอของฐานรากอันเนื่องจากแรงดันขึ้น

ฉะนั้น ต้องพิจารณาออกแบบให้ฐานรากรับแรงต่างๆ ได้ปลอดภัยปกติจะใช้เหล็กเสริมให้ต้านทานแรงดึงอันเนื่องมาจากโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว และพิจารณาให้รูปตัดส่วนที่เป็นคอนกรีตต้านทานแรงอัดและแรงเฉือน ในกรณีที่ฐานรากหนากว่า 25 ซม. อาจพิจารณาเสริมเหล็กรับแรงเฉือนได้

เมื่อพิจารณาออกแบบใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักสู่ชั้นดินต้องคำนึงถึงความสามารถของดินข้างรอบเสาเข็มว่ามีความสามารถรับน้ำหนักได้ดีหรือไม่ตลอดจนระยะห่างระหว่างเสาเข็ม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของเสาเข็ม ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยของเสาเข็มที่ตอกเป็นกลุ่มอาจไม่เท่ากับผลรวมของกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มแต่ละต้น เพราะมีดินบางชนิดถูกทำลายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกลงหลังจากการตอกเข็ม นอกจากนี้ควรพิจารณาถึงระดับน้ำใต้ดินเมื่อใช้เข็มไม้วัดความสั่นสะเทือน เนื่องจากการตอกเข็มซึ่งอาจทำให้อาคารข้างเคียงเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงระยะระห่างเสาเข็มไม่ควรให้แคบเกินไป เพราะอาจทำให้กำลังรับน้ำหนักของดินระหว่างกลางเสาเข็มลดลง ช่วงระยะห่างของเสาเข็มธรรมดาอย่างน้อยที่สุดควรให้ห่างกันอย่างน้อยประมาณ 90 ซม. ช่วงระยะห่างจากศูนย์กลางของหัวเสาเข็มไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้ให้ข้อกำหนดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาออกแบบฐานรากดังต่อไปนี้

ในกรณีที่ไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดิน

1. น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้บนชั้นดินเดิม ไม่เกิน 2 ตันต่อตารางเมตร
2. หน่วยแรงฝืกที่ยอมให้
   - ดินที่อยู่ในระดับลึกไม่เกิน 7 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง หน่วยแรงฝืดของดินที่ยอมให้ เท่ากับ 600 กก.ต่อตารางเมตร
   - ดินที่มีความลึกเกินกว่า 7 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง หน่วยแรงฝืดของดินที่ยอมให้เท่ากับ 800 + 200 L กก.ต่อตารางเมตร

ในเมื่อ L เป็นความยาวของเสาเข็มเป็นเมตร เฉพาะส่วนที่ลึกเกินกว่า 7 เมตร

ในกรณีที่มีเอกสารทดสอบคุณสมบัติของดินหรือมีการทดสอบหากำลังแบกทานของเสาเข็มในบริเวณก่อสร้างหรือข้างเคียง ให้ใช้กำลังแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตราต่อไปนี้

1. ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบคุณสมบัติดิน
2. ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม
3. ไม่เกินร้อยละ 50 ของกำลังแบกทานของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบกำลังแบกทานสูงสุด

การกระจายน้ำหนัก

1. ฐานแผ่ เมื่อฐานรากวางบนดินที่รับน้ำหนักตามแนวแกน การกระจายน้ำหนักให้ถือหน่วยแรงดันขึ้นของดินมีค่าสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด หาได้จาก

$$p = \frac{P}{A_F} = \frac{P}{BL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ p = แรงดันขึ้นของดิน

P = น้ำหนักทั้งหมดจากฐานราก

A_F = พื้นที่ของฐานราก

B,L = ความกว้างและความยาวของฐานราก

2. ฐานรากวางบนเสาเข็ม เมื่อฐานรากวางบนเสาเข็มมีน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนให้ถือว่า เสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนักจากฐานรากเฉลี่ยเท่ากันทุกต้น และหาค่าได้จาก

$$P_1 = \frac{P}{N}$$

เมื่อ P = น้ำหนักรวมทั้งหมดของฐานราก

P_1= น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับไว้

N =จำนวนเสาเข็ม

โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยว

1. หน้าตัดวิกฤติ

ก) โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยวจากแรงภายนอกที่หน้าตัดใด ๆ ให้คำนวณจากแรงภายนอกที่กระทำข้างใดข้างหนึ่งของหน้าตัดวิกฤติ ซึ่งได้จากการผ่านระนาบดิ่งตลอดแนวฐานราก

ข) สำหรับฐานรากเดี่ยว โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดคำนวณได้จากวิธีในข้อ ก ที่ตำแหน่งหน้าตัดวิกฤติดังต่อไปนี้

1. ที่ขอบเสา ตอม่อ หรือกำแพง สำหรับฐานรากที่รับเสาตอม่อหรือกำแพงคอนกรีต
2. ที่กึ่งกลางระหว่างขอบหรือกึ่งกลางกำแพงสำหรับฐานรากรับกำแพงก่อ
3. ที่กึ่งกลางระหว่างขอบเสาหรือตอม่อ กับขอบแผ่นเหล็กรองใต้เสา สำหรับฐานรากที่ใช้แผ่นเหล็กดัด

แรงเฉือนที่ใช้คำนวณแรงยึดเหนี่ยวคำนวณได้จากแรงดันขึ้นของดินหรือเสาเข็มในพื้นที่นอกเส้นวิกฤติในแต่ละกรณี

ค) ความกว้างของฐานรากซึ่งรับแรงอัดที่หน้าตัดใด ๆ คือความกว้างทั้งหมดที่ส่วนบนของฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเสริมเหล็ก

ก) ฐานรากที่เสริมเหล็กทางเดียวต้องเสริมเหล็กให้มีปริมาณที่จะต้านทานโมเมนต์และแรงยึดเหนี่ยวที่หน้าตัดแรงวิกฤติอย่างเพียงพอ และต้องกระจายเหล็กให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของหน้าตัดนั้น ๆ

ข) ฐานรากที่เสริมเหล็ก 2 ทางต้องเสริมเหล็กแต่ละทางให้ต้านทานโมเมนต์และแรงยึดเหนี่ยวที่หน้าตัดวิกฤติอย่างเพียงพอ และต้องกระจายเหล็กเสริมให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของฐานรากในแต่ละทางด้วย

ค) ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เสริมเหล็ก 2 ทางต้องเสริมเหล็กแต่ละทางเท่ากันโดยอาศัยหลักเกณฑ์ในข้อ ข.

ง) ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็ก 2 ทาง เสริมเหล็กทางด้านยาวต้องกระจายให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างทางด้านสั้นและอยู่ด้านล่างใต้เหล็กเสริมทางด้านสั้น ส่วนเหล็กเสริมทางด้านสั้นให้กระจายสม่ำเสมอเป็น 2 พวก คือ แถบกลาง และแถบริม

หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือน

ความต้านทานต่อแรงเฉือนของฐานรากที่รับน้ำหนักเป็นจุดจากเสาตอม่อต้องแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณี และฐานรากจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะต้านทานแรงเฉือนที่สูงกว่าในกรณีใดก็ตาม

ก) พิจารณาว่าฐานรากเป็นคานกว้างมีแนวร้าว เนื่องจากแรงดึงทแยงตามระนาบเฉียงตลอดความกว้างของฐานรากและห่างจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะ d แรงเฉือน (V) ที่ใช้คำนวณคิดจากแรงดันขึ้นของดินหรือจากเข็มที่อยู่ในพื้นที่นอกเส้นที่ห่างจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะ d การคำนวณหน่วยแรงเฉือนใช้สูตร $v = V/bd$

ข) พิจารณาว่าแนวร้าวที่ฐานรากเป็นแบบเฉือนทะลุตามเส้นขอบที่ฐานรากของกรวยกลมหรือกรวยเหลี่ยมโดยรวมน้ำหนักกดจากเสาตอม่อและห่างจากเสาตอม่อ d/2 การคำนวณหน่วยแรงเฉือน $v = V/bd$ ใช้ค่า $b = 4(a+d)$ แรงเฉือน (V) คิดจากแรงดันขึ้นของดิน หรือจากเสาเข็มที่อยู่ภายนอกพื้นที่เส้นรอบรูปที่ห่างจากเส้นขอบเสาตอม่อเป็นระยะ d/2

แรงเฉือนที่คิดจากแรงดันขึ้นของเสาเข็มที่ใกล้หน้าตัดวิกฤติในทั้ง 2 กรณีดังกล่าวต้องลดค่าลงตามส่วนโดยเฉพาะพิจารณาว่าเสาเข็มที่อยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไป 15 ซม. หรือมากกว่านี้ให้คิดเต็มกำลังของเสาเข็ม และเสาเข็มที่อยู่ภายในหน้าตัดวิกฤติเข้ามา 15 ซม. หรือมากกว่าไม่ต้องนำมาคิดแรงเฉือน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $P' = (x + 15) P / 30$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P = กำลังของเสาเข็ม

P′= กำลังของเสาเข็มที่ประสิทธิผล

x = ระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤติของศูนย์กลางเสาเข็ม มีค่าเป็นลบเมื่ออยู่ภายในหน้าตัดวิกฤติและมีค่าเป็นบวกที่มีอยู่ภายนอกที่หน้าตัดวิกฤติ P′= P/2

การถ่ายแรงจากเสาตอม่อลงฐานราก

การถ่ายแรงจากเสาตอม่อลงฐานรากที่รองรับให้ถือว่า แรงอัดคอนกรีตในเสาตอม่อถ่ายลงเป็นแรงกด ลงไปส่วนบนของฐานรากโดยมีหน่วยแรงกด ไม่เกินหน่วยแรงกดที่ทำให้ของคอนกรีตที่ทำฐานราก ส่วนแรงจากเหล็กเสริมตามแกนในเสาตอม่อถ่ายลงไปยังฐานรากได้โดยใช้เหล็กเดือยหรือต่อเหล็กเสริมตามแกนนั้นเข้าไปในฐานรากให้ระยะฝังที่มากพอที่จะถ่ายแรงโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวในกรณีที่ใช้เหล็กเดือยเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเดือยจะต้องไม่น้อยกว่าเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามแกนและจะต้องใช้เหล็กเดือยไม่น้อยกว่า 4 เส้น

ความหนาต่ำสุดของฐานราก

ก) ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กความหนาของคอนกรีตเหนือเหล็กเสริมที่ขอบนอกของฐานรากต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม.

ข) ฐานรากคอนกรีตล้วนที่วางบนดิน ความหนาของขอบนอกต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. และฐานรากที่วางบนเสาเข็มต้องมีความหนาที่ขอบนอกไม่น้อยกว่า 35 ซม. จากหัวเข็ม

แรงเฉือนและแรงดึงทแยง

1. แรงเฉือนประลัย

ในการคำนวณหาหน่วยแรงเฉือนประลัยซึ่งใช้แรงวัดดึงทแยงในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กให้คำนวณที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ และค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{หน่วยแรงเฉือนประลัย} \quad v_u = \frac{V_u}{bd}$$

ในที่นี้ V_u เป็นแรงเฉือนประลัยที่ระยะ d จากขอบที่รองรับ

b, d เป็นความกว้างและความลึกประสิทธิผลของคานตามลำดับ

สำหรับคานรูปตัว I หรือ T ให้ใช้ค่า b' แทน b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยแรงเฉือนในคาน คสล. ซึ่งไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

ในคานคอนกรีตที่มีแต่เหล็กเสริมรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว แต่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะต้องออกแบบให้ค่าหน่วยเฉือนที่เกิดขึ้นในตัวคานคอนกรีต ณ จุดวิกฤต (ระยะ d จากขอบที่รอบรับ) ไม่เกินกว่าค่าแรงเฉือนที่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าว เนื่องจากแรงดึงในแนวทแยง ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยที่คอนกรีตสามารถรับได้มีค่าเท่ากับ

$$v_c = \frac{V_c}{bd} = \left(0.504\sqrt{f'_c} + \frac{176 p_w V d}{M}\right) \leq 0.93\sqrt{f_c'}$$

เมื่อ Pw = อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อหน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีต

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน

V = แรงเฉือนที่หน้าตัดที่พิจารณา

M = โมเมนต์ที่หน้าตัดที่พิจารณา (ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า V_d)

ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดแรงเฉือนที่ยอมให้ในคานคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเป็น

$$v_c = \phi\left(0.504\sqrt{f_c'} + \frac{176 p_w V d}{M}\right) \leq 0.93\phi\sqrt{f_c'}$$

โดยที่ ϕ เป็นตัวคูณลดค่ากำลังประลัย มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับแรงดึงทแยง

นอกจากการใช้สมการข้างต้นเพื่อหาหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในคานคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแล้ว มาตรฐาน ว.ส.ท. ยังกำหนดค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตโดยประมาณไว้อีกด้วย คือ $0.53\phi\sqrt{f_c'}$ ทั้งนี้เพื่อให้การคำนวณง่ายและสะดวกขึ้น

3. แรงเฉือนในพื้นและฐานราก

หน่วยแรงเฉือนประลัยที่หน้าตัดวิกฤติ (คือหน้าตัดที่ตั้งได้ฉากกับระนาบของพื้นโดยห่างจากขอบโดยรอบของน้ำหนักที่กระทำเป็นจุด หรือโดยรอบพื้นที่ของที่รองรับออกไปเป็นระยะ d) คำนวณได้โดยใช้สมการ

$$v_u = \frac{V_u}{b_o d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้นี้จะต้องมีค่าไม่เกิน $1.06\varnothing\sqrt{f_c'}$ ในกรณีที่ไม่มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือน และถ้ามีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนค่า Vc นี้จะต้องไม่เกิน $1.59\varnothing\sqrt{f_c'}$ ในกรณีที่พื้นหรือรากฐานบางกว่า 25 ซม. จะใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนไม่ได้

4. การเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

ณ หน้าตัดใด ๆ ที่มีหน่วยแรงเสริมประลัย V_u เกินกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยของคอนกรีต Vc ของอาคารซึ่งไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือนเพื่อให้รับหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เกิน

ในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนนี้ จะต้องเสริมให้เลยจากจุดที่ต้องการทางทฤษฎีออกไปอีกเป็นระยะเท่ากับความลึกประสิทธิผล d ของส่วนโครงสร้าง จำนวนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ณ หน้าตัดระหว่างขอบของที่รองรับและหน้าตัดห่างออกมาเป็นระยะ d ให้ใช้เท่ากับที่ต้องการตรงหน้าตัด d นั้น

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่ต้องการไว้ดังนี้

เหล็กเสริมในแนวตั้ง $A_v = (V_u - V_c)\, s / \phi\, f_y d$

เหล็กเสริมในแนวเอียง $A_v = (V_u - V_c)\, s / \phi\, f_y d\, (\sin\alpha + \cos\alpha)$

ในที่นี้ V_u = แรงเฉือนประลัยทั้งหมด

V_C = แรงเฉือนประลัยของคอนกรีตที่สามารถรับได้

Av = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

f_y = กำลังจุดคลากของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน(จะต้องไม่เกิน 4200 กก./ซม.^{2})

d = ความลึกประสิทธิผลของส่วนโครงสร้าง

α= มุมเอียงระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกับแกนตามยาวของอาคาร

s = ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

5. ระยะเรียงของเหล็ก

โดยทั่วไปจะเรียงเหล็กลูกตั้งให้ห่างกันอย่างน้อย 10 ซม. การเลือกขนาดของเหล็กลูกตั้งก็ต้องเลือกให้พอที่จะไม่ทำให้ระยะห่างระหว่างเหล็กลูกตั้งชิดเกินกว่าที่กำหนด โดยปกติจะวางเรียงเหล็กลูกตั้งตลอดแกนความยาวคาน ถึงแม้ว่าจะต้องการเหล็กลูกตั้งเพียงบางส่วนเท่านั้น ระยะเรียงที่ใช้จะคำนวณจากค่าแรงเฉือนที่มากที่สุด แต่ถ้าหากต้องการเหล็กเสริมรับแรงเฉือนตลอดแนวคาน หรือเมื่อค่าแรงเฉือนแปรเปลี่ยนกับความยาวคาน ก็จะคำนวณหาระยะเรียงเป็นช่วง ๆ ไปนี้เป็นข้อกำหนดถึงระยะห่างมากที่สุดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดในสภาวะใช้งาน

จากการออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัยโดยนำกำลังต้านทานแรงประลัยของคอนกรีตและเหล็กเสริมมาใช้พิจารณาออกแบบ ประกอบกับในปัจจุบันเหล็กเสริมมีกำลังจุดคลากสูงขึ้นมากทำให้ได้ขนาดของส่วนโครงสร้างเล็กลง ส่วนของโครงสร้างที่คำนวณออกแบบได้นั้นมีกำลังต้านทานต่อน้ำหนักหรือแรง ณ จุดประลัยได้แน่นอน แต่ในสภาวะใช้งานปกติอาจไม่เหมาะสม เพราะอาจสั่นไหวง่าย มีการโก่งตัวมาก หรือมีรอยร้าวกว้างมาก จนดูแล้วน่าจะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้น ภายหลังจากการออกแบบหาขนาดรูปตัดและเหล็กเสริม ควรตรวจสอบเกี่ยวกับความกว้างของรอยร้าวและการโก่งตัวในสภาวะใช้งานปกติ ให้อยู่ภายในพิกัดที่กำหนด

1. **พิกัดควบคุมรอยร้าว**

เมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักจนกระทั่งหน่วยแรงดึงที่ผิวคอนกรีตเกินกว่าค่าโมดูลัสแห่งการแตกร้าว $f_r = 1.99\sqrt{f'_c}$ รอยร้าวจะเริ่มปรากฏขึ้นในสภาวะใช้งาน ยอมให้คอนกรีตมีรอยร้าวได้ (hairline cracks หรือ microcracks) แต่ต้องไม่กว้างมากจนสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

จากการทดลองเพื่อหาความกว้างของรอยร้าวของเนื้อคอนกรีตที่ขอบรับแรงดึงของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าความกว้างของรอยร้าวจะลดลง เมื่อเสริมเหล็กด้วยเหล็กข้ออ้อยและวางเรียบอย่างสม่ำเสมอในบริเวณที่คอนกรีตรับแรงดึง ความกว้างของรอยร้าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

ความกว้างของรอยร้าวที่ขอบรับแรงดึงของคาน คสล. (w) คำนวณได้จากสมการที่เสนอโดย Gergely และ Lutz

$$w = 0.011\,\beta\, f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-3} \quad \text{มม.}$$

ในที่นี้ f_s = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมเมื่อรับน้ำหนักใช้งาน (ประมาณ $0.6\,f_y$)

d_c = ระยะจากขอบรับแรงดึงถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมแถวแรก, ซม.

A = เนื้อที่ของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหนึ่งเส้น, ซม.^{2}

= เนื้อที่ของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมที่มีศูนย์ถ่วงอันเดียวกันกับศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมทั้งหมด หารด้วย จำนวนเหล็กเสริม

β = 1.2 สำหรับคาน คสล. และ = 1.35 สำหรับพื้น คสล.มาตรฐาน ว.ส.ท. ให้ใช้สมการต่อไปนี้เพื่อควบคุมความกว้างของรอยร้าวในคาน คสล. ซึ่งดัดแปลงจากสมการเมื่อใช้เหล็กเสริมที่มีจุดคลากเกิน 2800 กก./ซม.^{2} แต่ไม่เกิน 5600 กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีความกว้างของรอยร้าว

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{กก./ซม.}$$

สำหรับคานภายนอก ค่า Z ต้องไม่เกิน 25,890 กก./ซม. (นั่นคือความกว้างของรอยร้าวไม่เกิน 0.33 มม.)

สำหรับคานภายใน ค่า Z ต้องไม่เกิน 31,245 กก./ซม. (นั่นคือความกว้างของรอยร้าวไม่เกิน 0.41 มม.)

สำหรับพื้น คสล. ทางเดียว ให้คูณค่าที่กำหนดข้างต้นด้วยค่า 1.2/1.35

เมื่อปีกของคานรูปตัวทีรับแรงดึง ต้องเรียงเหล็กเสริมรับแรงดึงให้กระจายตลอดความกว้างประสิทธิผลของปีกคาน โดยที่ความกว้างประสิทธิผลของปีกคานเป็นค่าน้อยระหว่าง 1/10 (ช่วงความยาวคาน) + 8 (ความหนาของพื้น) หรือ 1/2 (ระยะห่างระหว่างอกคาน)

2. พิกัดควบคุมระยะโก่ง

ส่วนของโครงสร้างที่รับแรงดัด ต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่ระยะโก่งต้องไม่มากเกินไป หรือทำให้รูปลักษณะเปลี่ยนแปลงไปอันจะเป็นเหตุให้ไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ หากออกแบบให้ส่วนของโครงสร้างที่รับแรงดัดมีความหนาหรือความลึกไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ในตาราง แสดงความหนาต่ำสุดของพื้นที่และความลึกต่ำสุดของคานก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณหาระยะโก่ง ค่าที่ให้ในตารางแสดงความหนาต่ำสุดของพื้นที่และความลึกต่ำสุดของคานใช้กับคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและเหล็กเสริมมีกำลังจุกคลากเท่ากับ 4200 กก./ซม.^{2} หากใช้เหล็กเสริมมีกำลังจุดคลากเป็นอย่างอื่น ให้คูณค่าในตารางดังกล่าวด้วย $(0.4 + f_y / 7000)$

ตารางที่ 1.4 ความหนาต่ำสุดของพื้นที่และความลึกต่ำสุดของคาน

ส่วนของโครงสร้าง	ความหนาหรือความลึกต่ำสุด			
	ช่วงเดียว	ต่อเนื่องด้านเดียว	ต่อเนื่องสองด้าน	ปลายยื่น
พื้นทางเดียว	1/20	1/24	1/28	1/10
คานหรือพื้นระบบตั้งทางเดียว	1/16	1/18.5	1/21	1/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ออกแบบอาจต้องการหาระยะโก่งของโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักแบบใดแบบหนึ่ง ก็ได้กล่าวคือ ในบางครั้งอาจต้องการทราบถึงระยะโก่งมากที่สุด ที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อรับน้ำหนักคงที่และน้ำหนักจรใช้งานทั้งหมด หรืออาจเป็นระยะโก่ง เนื่องจากน้ำหนักจรเพียงอย่างเดียว และในบางคราวอาจต้องการทราบถึงระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาโดยปกติน้ำหนักจรใช้งานไม่ได้กระทำพร้อมกันทีเดียวบนโครงสร้าง ดังนั้น ระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาอาจจะคำนวณได้จากการกระทำของน้ำหนักคงที่รวมกับเศษส่วนของน้ำหนักจรใช้งาน เศษส่วนของน้ำหนักจรใช้งานที่จะพิจารณานี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานของโครงสร้างเป็นต้นว่า ต้องการคำนวณหาระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาของคานที่รับน้ำหนักของบ้านพักอาศัย ผู้ออกแบบอาจจะคิดว่าเพียง 20% ของน้ำหนักจรเท่านั้นที่จะค้างอยู่ต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน แต่สำหรับโกดังเก็บของอาจต้องคิดถึง 100% ของน้ำหนักจร เป็นต้น

วิธีการคำนวณหาระยะโก่งที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อรับน้ำหนักจะทำได้โดยใช้วิธีอีลาสติกสำหรับน้ำหนักที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะเขียนได้ในรูปทั่วไป คือ

$$\Delta_i = \frac{F\ (\text{น้ำหนัก, ช่วงความยาวคาน})}{E_c I_e}$$

ในที่นี้ F = (น้ำหนัก, ช่วงความยาวคาน) = ฟังก์ชั่นของน้ำหนักและช่วงยาวคาน

E_C= โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต $= 15100 \sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}.

I_e = โมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของหน้าตัด, ซม.^{4}

$$= (M_{cr}/M_a)^3 \ I_g + [\ 1 - (M_{cr}/M_a)^3\ ]\ I_{cr} \ < \ I_g$$

M_{cr} / M_a = อัตราส่วนระหว่างโมเมนต์แตกร้าวต่อโมเมนต์มากสุดที่กระทำ

I_g = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดทั้งหมด (ไม่คิดว่ามีเหล็กเสริม)

I_{cr} = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลงร้าว (คิดจาก $n = E_s/E_c$)

สำหรับคานต่อเนื่อง ค่า $I_e = \frac{1}{2}$ (I_e ที่กลางคาน + I_e ที่ฐานรอง)

ระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา $\Delta_a = \Delta_i \left(\frac{T}{1 + 50\ p'}\right)$

ในที่นี้ $P' = A'_s / bd$ โดยให้พิจารณาที่กึ่งกลางคาน สำหรับคานช่วงเดียวหรือคานต่อเนื่อง และพิจารณาที่ฐานรองสำหรับคานยื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = ตัวประกอบตามกาลเวลาที่มีน้ำหนักบรรทุกค้าง ให้ใช้ค่าดังนี้

บรรทุกค้างนาน 5 ปี หรือมากกว่า	T = 2.0
12 เดือน	T = 1.4
6 เดือน	T = 1.2
3 เดือน	T = 1.0

ระยะโก่งทั้งหมด $\Delta = \Delta_i + \Delta_a$

ระยะโก่งที่ยอมให้

1. ระยะโก่งทันทีเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน
   - ก. หลังคา ซึ่งไม่รับฝาผนังหรือส่วนที่มิใช่โครงสร้าง 1/180
   - ข. พื้น ซึ่งไม่รับฝาผนังหรือส่วนที่มิใช่โครงสร้าง 1/360
2. ระยะโก่งทั้งหมดที่ได้จากระยะโก่งทันทีที่รวมกับระยะโก่งตามกาลเวลา
   - ก. หลังคาหรือพื้น ที่รับฝาผนังหรือส่วนที่มิใช่โครงสร้าง และจะเกิดความเสียหายเมื่อโก่งตัวมากเกินควร 1/480
   - ข. หลังคาหรือพื้น ที่รับฝาผนังหรือส่วนที่มิใช่โครงสร้าง แต่ไม่น่าเกิดความเสียหายเมื่อโก่งตัวมากเกินควร 1/240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีกำลังประลัย

การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัยเป็นวิธีการหาขนาดของโครงสร้างในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยอาศัยกำลังประลัยของวัสดุที่ใช้ ค่าของแรงปฏิกิริยาต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการกระทำของน้ำหนักประลัยใช้งานซึ่งใช้ออกแบบ อาจหาได้โดยวิเคราะห์จากทฤษฎีอีลาสติก ทฤษฎีกำลังประลัยแตกต่างไปจากทฤษฎีอีลาสติก ก็คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กและคอนกรีตมีค่ามากเกินกว่าขีดยืดหยุ่น โดยเฉพาะค่าของหน่วยแรงในคอนกรีต จะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดหดตัวที่เกิดขึ้น อีกทั้งในการคำนวณโดยอาศัยทฤษฎีกำลังประลัย น้ำหนักที่ใช้ออกแบบจะเป็นน้ำหนักประลัยซึ่งได้จากการคูณน้ำหนักใช้งานด้วยตัวคูณน้ำหนักส่วนปลอดภัย

เหตุผลของการใช้ทฤษฎีกำลังประลัยในการออกแบบ คือ

1. ทฤษฎีกำลังประลัยให้ค่าคาดหมายได้ใกล้เคียงกับพฤติภาพตามความเป็นจริงของวัสดุ เนื่องจากมีการคำนึงถึงความไม่เป็นสัดส่วนกันของหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของวัสดุเมื่อน้ำหนักกระทำมีค่าสูง ๆ
2. เนื่องจากสามารถทราบค่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ได้แน่นอนกว่าน้ำหนักจร ดังนั้น จึงไม่ควรใช้ตัวคูณส่วนปลอดภัย (Factor of Safty) ตัวเดียวกันทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจรเหมือนในทฤษฎีอีลาสติก ซึ่งทฤษฎีกำลังประลัยจะแยกตัวคูณปลอดภัยไว้แต่ละอย่าง
3. การใช้ทฤษฎีอีลาสติกในการคำนวณออกแบบเสา เป็นการดัดแปลงมาจากทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งทฤษฎีอีลาสติกไม่ได้ให้พฤติภาพตามความเป็นจริง
4. การใช้ทฤษฎีกำลังประลัยคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสา ให้ผลหรือค่าที่ถูกต้องกว่าการใช้ทฤษฎีอีลาสติก
5. การคำนวณหากำลังประลัยในคอนกรีตอัดแรง ต้องใช้ทฤษฎีกำลังประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมมติฐานของทฤษฎีกำลังประลัย

สมมติฐานการคำนวณโดยทฤษฎีกำลังประลัย มีดังนี้

1. ระนาบของหน้าตัดก่อนและหลังที่มีการดัดยังคงเหมือนเดิม
2. ณ กำลังประลัย หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวไม่เป็นสัดส่วนกัน
3. หน่วยการยืดหดตัวที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน และหน่วยการยืดตัวในเหล็กเสริม มีค่าเท่ากับหน่วยการยืดตัวของคอนกรีต ณ ตำแหน่งเดียวกัน
4. ไม่คำนวณออกแบบให้คอนกรีตรับแรงดึง
5. หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตที่ขอบรับแรงอัด ณ กำลังประลัยมีค่าเท่ากับ 0.003
6. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 2.04×10^6 กก./ซม.^{2}
7. หน่วยแรงอัดมากที่สุดในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $0.85\, f'_c$
8. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมมีค่ามากที่สุดเท่ากับกำลังจุดคลาก f_y ถึงแม้ว่าหน่วยการยืดตัวจะให้ค่าสูงกว่าค่าที่ให้กำลังคลากก็ตาม

นอกจากสมมติฐานดังกล่าวแล้ว การสมมติเกี่ยวกับรูปของการแผ่หน่วยอัดแรงในคอนกรีตมีความสำคัญยิ่ง โดยอาจจะสมมติให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปโค้งพาราโบร่าหรือรูปอื่นใดก็ได้ที่ให้ผลการคำนวณที่สามารถคาดหมายกำลังประลัยได้ถูกต้องใกล้เคียงกับผลการทดลอง

การสมมติรูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมีอยู่สามแบบ คือ รูปโค้งพาลาโบร่า รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในที่นี้จะสมมติการแผ่ของหน่วยอัดแรงของคอนกรีตให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยให้ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเป็น $0.85\, f'_c$ รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดสมมูลจะล้อมรอบโดยของของหน้าตัดและเส้นตรงที่ลากขนานกับแกนสะเทิน มีระยะห่างจากการที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดมีระยะ $= k_1 c$ โดยที่ c เป็นระยะจากขอบที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดถึงแกนสะเทินโดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับแกนสะเทิน การสมมติแบบนี้ทำให้ง่ายและสะดวกในการคำนวณ สำหรับค่าของ k_1 นั้น จะมีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับกำลังอัดคอนกรีต f'_c ที่มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม.^{2} และค่าจะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 กก./ซม.^{2} เมื่อคอนกรีตมีค่า f'_c สูงกว่า 280 กก./ซม.^{2} ค่าต่ำสุดของ $k_1 = 0.65$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักประลัยใช้งาน(U) ที่จะใช้ในการออกแบบเพื่อหาขนาดของส่วนโครงสร้างและปริมาณเหล็กเสริมได้จากการคูณน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่กระทำด้วยตัวคูณน้ำหนัก(Load Factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำหนักบรรทุกนั้น ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ส่วนโครงสร้างมีกำลังต้านทานต่อแรงหรือน้ำหนักที่กระทำ ถ้ากำหนดให้

U =น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

D =น้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบคงที่

L =น้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบจรที่กำหนดบวกด้วยแรงกระแทก (ถ้ามี)

W=แรงลม

E =แรงจากแผ่นดินไหว

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ใช้น้ำหนักประลัย (U) ดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

   U = 1.4D + 1.7L

2. สำหรับอาคารคิดรับแรงลมด้วย

   U = 0.75 (1.4D + 1.7L + 1.7W)

   หรือ U = 0.9D + 1.3W

   โดยให้ใช้ค่า U ที่ให้ค่าสูงสุด แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่า U จากสมการ

3. สำหรับอาคารที่คิดรับแรงจากแผ่นดินไหว

   ให้แทนค่า W ในข้อ 2 ด้วยค่า W ในข้อ 2 ด้วยค่า 1.1E นั่นคือ

   U = 1.05D + 1.28L + 1.40E

   หรือ U = 0.9D + 1.43E

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดให้ใช้น้ำหนักประลัย (U) ดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

   U = 1.7D + 2.0L

2. สำหรับอาคารคิดรับแรงลมด้วย

   U = (1.7D + 2.0L + 2.0W)

   หรือ U = 0.9D + 1.3W

   โดยให้ U มีค่าสูงสุด แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่า U จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย

สำหรับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริงในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องลดค่าลง ทั้งนี้เพราะในการก่อสร้างอาจมีคุณภาพของงานแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยมาตรฐาน ว.ส.ท. จึงใช้ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย ϕ คูณเข้ากับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริง ซึ่งจะได้กำลังประลัยที่ใช้งานกล่าวคือ ถ้า M_u' เป็นแรงดัดประลัยของส่วนอาคารที่คำนวณได้จริง และ M_u เป็นแรงดัดประลัยที่ใช้งาน ดังนั้น $M_u = \phi M_u'$

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าของตัวคูณลดค่ากำลังประลัย ϕ (Strength Reducton Factor) มีดังนี้

ϕ = 0.90 สำหรับการดัด (ไม่มีแรงตามแนวแกนกระทำ)
= 0.90 สำหรับแรงดึงตามแนวแกนหรือแรงดันตามแนวแกนร่วมกับการดัด
= 0.85 สำหรับแรงเฉือน แรงบิด และแรงยึดเหนี่ยว
= 0.75สำหรับแรงอัดหรือแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเกลียว
= 0.70 สำหรับแรงอัดหรือแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเดี่ยว
= 0.70 สำหรับแรงกดบนคอนกรีต
= 0.65 สำหรับการดัดในคอนกรีตล้วน

4. หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของคอนกรีตและเหล็กเสริม

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดไว้ดังนี้

หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของคอนกรีต = 0.85 f_c'

หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของเหล็กเสริม = f_y แต่ไม่เกิน 5600 กก./ซม.^{2}

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครกำหนดไว้ดังนี้

หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของคอนกรีต = 150 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของเหล็กเสริม :

ก. เหล็กเส้นธรรมดาเมื่อไม่มีผลการทดสอบแรงดึงให้ใช้ไม่เกิน2000กก./ซม.^{2}

ข. เหล็กเสริมอื่นให้ใช้เท่ากับ 0.85 f_y แต่ไม่เกิน 4200 กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ความต้านทานต่อแรงอัด

1. หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียว

พิจารณาโครงสร้าง (คานหรือพื้น) ซึ่งมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด b และ t ตามรูปมีเหล็กเสริมรับแรงดึง A_s เพียงอย่างเดียว วางเรียงโดยมีความลึกประสิทธิผล d เมื่อคานที่รับน้ำหนักจนถึงน้ำหนักประลัย หน่วยการยืดและหดตัวและหน่วยแรงจะแผ่กระจาย โดยที่ ε_u เป็นหน่วยการหดตัวสูงสุดที่ขอบบนของคอนกรีต ณ จุดประลัย มีค่าประมาณ 0.003 ε_{su} เป็นหน่วยการยืดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม ณ จุดประลัย ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 0.85 f'_c และแผ่สม่ำเสมอบนเนื้อที่รับแรงอัดสมมูลย์ ab ตามมาตรฐานของการคำนวณ แรงอัดในคอนกรีต (C) จะเท่ากับ 0.85 f'_c ab แรงดึงในเหล็กเสริม (T) จะเท่ากับ A_s f_{su} โดยที่

f_m เป็นหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม

จากการสมดุลย์ของแรงบนหน้าตัดจะได้

แรงอัดในคอนกรีต (C) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T)

หรือ 0.85 f'_c ab = A_s f_{su}

ดังนั้นระยะ a = $A_s f_{su} / 0.85\ f'_c b$

ค่าโมเมนต์ดัดประลัยที่คานจะรับได้จริง M'_u จะคำนวณได้จากแรงดึงในเหล็กเสริม T คูณด้วยช่วงแขนโมเมนต์ jd หรือจากแรงอัดในคอนกรีต C คูณด้วยช่วงแขนโมเมนต์ jd ก็ได้ดังนี้ คือ

คำนวณจากแรงดึงในเหล็กเสริม :

$$M'_u = T.jd = A_s f_{su} \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

แทนค่าของ a จะได้ $M'_u = A_s f_{su} d \left(1 - 0.59\ p \frac{f_{su}}{f'_c}\right)$

ในเมื่อ p=As / bd อัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากแรงอัดในคอนกรีต

$$M_u' = C.jd = 0.85\, f_c' ab \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

แทนค่าของ a จะได้

$$M_u' = 0.85\, f_c' \, abd \left(1 - 0.59\, p \frac{f_{su}}{f_c'}\right)$$

เมื่อคานรับน้ำหนักถึงน้ำหนักประลัยคานจะเริ่มชำรุด การชำรุดของคานจะเกิดได้ 2 แบบ คือ แบบแรงดึงเป็นหลัก (tension failure) และแบบแรงอัดเป็นหลัก (compression failure) แบบแรกจะเกิดเมื่อเหล็กเสริมในคานมีจำนวนไม่พอควร ดังนั้นเหล็กเสริมจะรับแรงถึงจุดคลากก่อนที่คานจะชำรุด การชำรุดแบบหลัง (แรงอัดเป็นหลัก) จะเกิดเมื่อเหล็กเสริมมีจำนวนมากหรือมีกำลังจุดคลากสูงมาก ในลักษณะนี้คอนกรีตจะถูกอัดถึงกำลังประลัย โดยมีหน่วยการหดตัวสองเท่ากับ 0.003 ก่อนที่เหล็กเสริมจะเริ่มคลาก

กรณีแรงดึงเป็นหลัก เหล็กจะถูกดึงถึงจุดคลากก่อน ดังนั้น $f_{su} = f_y$ ตำแหน่งแกนสะเทินซึ่งห่างจากขอบบนของคานจะหาได้จากสมการ โดยแทนค่า f_m ด้วย f_y จะได้

$$M_u' = A_s\, f_y\, d \left(1 - 0.59\, p \frac{f_y}{f_c'}\right)$$

กรณีแรงอัดเป็นหลัก คอนกรีตจะถูกหักจนกระทั่งมีหน่วยการหดตัวสูงสุดเท่ากับ

$\varepsilon_u = 0.003$ หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม f_{su} อาจจะยังไม่ถึงจุดคลาก ซึ่งยังคงเป็นสัดส่วนกับหน่วยการหดตัว ε_{su} ดังนั้น $\varepsilon_{su} = f_{su}/E_s$

การอาศัยทฤษฎีของสามเหลี่ยมคล้ายในรูปการกระจายหน่วยการหดและการยืดตัวจะได้

$$c = \varepsilon_u/(\varepsilon_u + \varepsilon_{su})\, d$$

จากลักษณะการชำรุดของโครงสร้างที่กล่าวแล้วจะเห็นว่าปริมาณของเหล็กเสริมในคอนกรีตมีส่วนทำให้คานชำรุดแบบไหนก็ได้ปริมาณของเหล็กเสริมที่พอดีที่จะทำให้คอนกรีตถึงกำลังอัดประลัยพร้อม ๆ กับเหล็กเสริมถึงจุดคลาก เรียกว่า ปริมาณเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลย์ อัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีตที่สภาวะนี้เรียกอัตราส่วนที่สภาวะสมดุลย์ p_b ดังนั้น ถ้าอัตราส่วน p มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วน p_b คานจะชำรุดแบบแรงดึงเป็นหลัก แต่ถ้าอัตราส่วน p มากกว่าอัตราส่วน p_b คานจะชำรุดแบบแรงอัดเป็นหลัก

ณ สภาวะสมดุลย์ หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีต ε_u มีค่าเท่ากับ 0.003 และเหล็กเสริมถึงกำลังจุดคลาก f_y อัตราส่วน p_b จะหาได้จากสมการ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_b = 0.85\, k_1 \frac{0.003}{\frac{f_y}{E_s} + 0.003} \frac{f_c'}{f_y}$$

ค่าของ k_1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของรูปหน่วยแรงอัดสมมูลย์กับความลึกของแกนสะเทินมีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับค่ากำลังอัดของคอนกรีต f_c' เท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม.^{2} และค่าของ k_1 จะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 กก./ซม.^{2} เมื่อคอนกรีตมีค่า f_c' สูงกว่า 280 กก./ซม.^{2}

ในการคำนวณและออกแบบตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. ค่าอัตราส่วน p ให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.75 ของอัตราส่วน p_b ทั้งนี้เพื่อให้การชำรุดของคานเป็นไปในแบบแรงดึงเป็นหลักอย่างเดียว ดังนั้น

$$p_{max} = 0.75\, p_b$$

นอกจากนี้มาตรฐาน ว.ส.ท. ให้ใช้ $p_{min} = \frac{14}{f_y}$

ฉะนั้นเมื่อต้องออกแบบหน้าตัดตามมาตรฐานนี้ค่าหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม f_{su} จะเท่ากับ f_y ที่จุดประลัย

โมเมนต์คัดประลัย $M_u' = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = bd^2 f_c' q (1 - 0.59q)$

2. หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงอัด

ในบางครั้งหน้าตัดของคานถูกจำกัด ด้วยเหตุผลทางสถาปัตยกรรมทำให้ความลึกของคานตื้นกว่าความลึกในภาวะสมดุลย์เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตที่จะรับแรงอัดอาจมีไม่เพียงพอสำหรับค่าโมเมนต์คัดที่จะต้องรับ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเสริมเหล็กในส่วนรับแรงอัด ทำให้หน้าตัดของคานมีทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัด นอกจากการใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดเพื่อผลดังกล่าวแล้วเหล็กเสริมรับแรงอัดยังช่วยในการลดค่าการโก่งของคานและช่วยยึดเหล็กลูกตั้งตลอดแนวของคานอีกด้วย

ในคานประเภทนี้ ถ้าอัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิผลของคอนกรีต p ที่ใช้น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า p_{max} (= 0.75 p_b) การคำนวณหากำลังรับโมเมนต์คัดของคานโดยประมาณ อาจทำได้โดยไม่คิดรวมถึง ว่ามีเหล็กเสริมรับแรงอัดอยู่หรือไม่ และจะสมมติว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงถูกดึงจนถึงจุดคลาก แต่ถ้าอัตราส่วน p นี้มากกว่าค่า 0.75 p_b การวิเคราะห์ก็จะยุ่งยากขึ้น ทั้งนี้เพราะการชำรุดของโครงสร้างจะเป็นแบบแรงอัดเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาคานที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีเหล็กเสริมรับแรงอัด A_s' ที่ระยะลึก d' จากขอบนอกสุดของส่วนรับแรงอัด และมีเหล็กเสริมรับแรงดึง A_s อยู่ที่ระยะลึก d สมมติว่าที่จุดประลัยทั้งเหล็กเสริม A_s' และ A_s ถูกอัดและดึงจนถึงกำลังจุดคลาก ค่าโมเมนต์ดัดจะได้จากการรวมโมเมนต์ดัด M_1' และ M_2' โดยที่ M_1' เป็นโมเมนต์ดัด เนื่องจากแรงคู่ควบจากเหล็กเสริมรับแรงอัด A_s กับแรงในในส่วนเหล็กเสริมรับแรงดึงที่มีปริมาณหรือเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับเหล็กรับแรงอัดโมเมนต์ M_2' จะได้จากแรงคู่ควบของแรงในเหล็กเสริมรับแรงดึงที่เหลือจากการหักเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัดแล้ว (คือ $A_s - A_s'$) กับแรงในส่วนของคอนกรีตตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ค่าโมเมนต์ดัดประลัยที่ใช้งาน

$$M_u = \varnothing M_u' = \varnothing \left[(A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

ณ สภาวะสมดุลย์ หน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ ε_y คำนวณหาตำแหน่งของแกนสะเทินและรวมแรงในแนวราบจะได้อัตราส่วนของเหล็กเสริมต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลของคานแบบนี้สภาวะสมดุลย์ p คือ

$$p = p_b + p'$$

ในเมื่อ p_b เป็นอัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง ต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $0.85 k_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{6117}{6117 + f_y}$ เพื่อให้การชำรุดของคานเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก ดังนั้น

$$p_{max.} = 0.75 (p_b + p')$$

แต่มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดอัตราส่วน p_{max} ที่มากที่สุดที่ยอมให้ได้ดังนี้

$$p_{max} = 0.75 p_b + p'$$

หรือ $$(p - p')_{max} = 0.75 p_b$$

สำหรับการตรวจสอบดูว่าที่กำลังประลัยเหล็กเสริมรับแรงอัดจะถูกอัดถึงจุดคลากหรือไม่นั้นอาจทำได้โดย ในตอนแรกสมมติให้ $\varepsilon_s' = \varepsilon_y$ และใช้รูปการกระจายของหน่วยการยืดและหดตัว อาศัยทฤษฎีของสามเหลี่ยมคล้ายรวมแรงในแนวราบจะได้

$$p f_y bd = 0.85 k_1 f'_c bc + p' f_y bd$$

จะให้ค่า $(p - p')$ ที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดคลาก ดังนั้น

$$(p - p') > 0.85 k_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{d'}{d} \frac{6117}{6117 - f_y}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ถ้าอัตราส่วน (p - p′) น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ข้างต้น หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงอัดจะน้อยกว่าหน่วยแรงที่จุดคลาก ถ้าเป็นเช่นนั้น การคำนวณหาโมเมนต์ดัดประลัยจะต้องใช้หน่วยแรงและหน่วยการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กเสริมรับแรงอัด

4. หน้าตัดรูปอื่น

การคำนวณหากำลังรับแรงดัดประลัยของส่วนโครงสร้างที่มีหน้าตัดรูปอื่น ๆ จะทำได้โดยอาศัยสมมติฐานของการคำนวณที่กล่าวแล้วข้างต้นเป็นหลัก สำหรับปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงนั้น ควรใช้ไม่เกินพิกัดร้อยละ 75 ของค่าประมาณเหล็กเสริม ณ สภาวะสมดุลย์ ทั้งนี้เพื่อให้การชำรุดของส่วนโครงสร้างเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก

เสาและฐานรากของคอนกรีตเสริมเหล็ก

กำลังรับน้ำหนักตามแกน

ที่จุดประลัยคอนกรีตในเสาจะรับน้ำหนักได้เพียง 85% ของน้ำหนักที่ใช้ในการหากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ความสามารถในการรับน้ำหนักตามแกนของเสาได้จากการรวมกำลังรับน้ำหนักที่เป็นส่วนของคอนกรีตและของเหล็กเสริมดังนี้ คือ

น้ำหนักประลัย $P_0' = 0.85 f_c' A_c + f_y A_{st}$

เมื่อ f_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก

A_C = เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตทั้งหมด

f_y = กำลังจุดคลากของเหล็กเสริม

A_{st} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด

การออกแบบเสาสั้น

มาตรฐาน ว.ส.ท. ให้ใช้ค่ากำลังประลัยในการออกแบบซึ่งได้จากผลคูณของกำลังประลัยที่ได้จากทฤษฎีกับตัวคูณลดค่ากำลังประลัย ϕ โดยที่ ϕ มีค่าเท่ากับ 0.70 สำหรับเสาปลอกเดี่ยวและเท่ากับ 0.85 สำหรับเสาปลอกเกลียว

สำหรับเสาสั้นจะออกแบบให้รับน้ำหนักตามแกนอย่างเดียว ต้องพิจารณาออกแบบเสานั้นให้รับโมเมนต์ด้วย โดยใช้ระยะเยื้องศูนย์ e อย่างน้อยเท่ากับ 0.10 t หรือ 0.05 t สำหรับเสาปลอกเดี่ยวหรือเสาปลอกเกลียวตามลำดับ ในเมื่อ t เป็นความหนาของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมหรือหน้าตัดวงกลมทางด้านที่พิจารณาออกแบบ อย่างไรก็ตาม ค่า e ต้องไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว สำหรับคอนกรีตหล่อในที่และไม่น้อยกว่า 0.6 นิ้ว สำหรับคอนกรีตหล่อสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบฐานราก

การพิจารณาออกแบบเพื่อหาขนาดของฐานรากและเหล็กเสริมที่ต้องใช้ เนื่องจากโมเมนต์ดัดแรงเฉือน (ทางเดียวและสองทาง) และแรงยึดเหนี่ยวหรือความยาวยึดรั้ง ณ หน้าตัดวิกฤตที่เกิดน้ำหนักหรือแรงอัดประลัยตลอดจนโมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ มีวิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวในทฤษฎีอีลาสติก แต่ใช้หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบเพื่อหาขนาดความกว้างและความยาวของฐานราก ให้พิจารณาจากการกระทำของแรงอัดและโมเมนต์ดัดที่ใช้งาน โดยหน่วยแรงที่ยอมให้ของดินหรือของเสาเข็มที่หาได้จากการคำนวณทางปฐพีกลศาสตร์

หน่วยแรงเฉือนประลัยที่ยอมให้ของฐานราก คสล.

สำหรับแรงเฉือนทางเดียว = $0.53 \phi \sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

สำหรับแรงเฉือนสองทาง = $0.265 (2 + 4/\beta_c) \phi \sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

แต่ไม่เกินกว่า $1.06 \phi \sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

ในที่นี้ β_c = อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของหน้าตัดเสาที่รับแรงกระทำ

ϕ = ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย = 0.85

แรงเฉือนที่คิดจากแรงดันขึ้นของเสาเข็มที่อยู่ใกล้หน้าตัดวิกฤติมีค่าเท่ากับกำลังของเสาเข็ม เมื่อศูนย์กลางของเสาเข็มอยู่ภายนอกหน้าตัดวิกฤติ ที่ระยะครึ่งหนึ่งของขนาดเสาเข็มและมีค่าลดลงเป็นเส้นตรงจนมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ภายในหน้าตัดวิกฤติที่ระยะครึ่งหนึ่งของขนาดเสาเข็ม นั่นคือ ถ้า d เป็นขนาดเสาเข็มและ P เป็นกำลังของเสาเข็มจะหาแรงดันขึ้นของเสาเข็ม P′จากสมการ

$$P' = P [(1/2) + (x/d_p)]$$

เมื่อ X เป็นระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤติกับศูนย์กลางเสาเข็มมีค่าเป็นลบเมื่ออยู่ภายในหน้าตัดวิกฤติเข้ามา มีค่าเป็นบวกเมื่ออยู่ภายนอกหน้าตัดวิกฤติออกไป

การถ่ายแรงจากเสาตอม่อสู่ฐานรากให้ถือว่าแรงอัดจากเสาตอม่อถ่ายไปยังฐานรากโดยแรงกด ซึ่งหน่วยแรงกดประลัยที่เกิดขึ้นต้องไม่เกิน $0.85 \phi f_c'$ โดยที่ ϕ มีค่าเท่ากับ 0.7 ส่วนแรงดึงที่เกิดจากแรงดัดจะถ่ายผ่านเหล็กเสริมตามแกนของเสาตอม่อไปยังฐานราก ซึ่งอาจใช้เหล็กเดือยหรือยื่นเหล็กเสริมตามแกนนั้น เข้าไปยังฐานรากโดยตรงโดยให้มีความยาวที่วัดจากขอบบนของฐานรากไม่น้อยกว่าความยาวยึดรั้ง l_d ของเหล็กเสริมที่จะถ่ายแรงโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

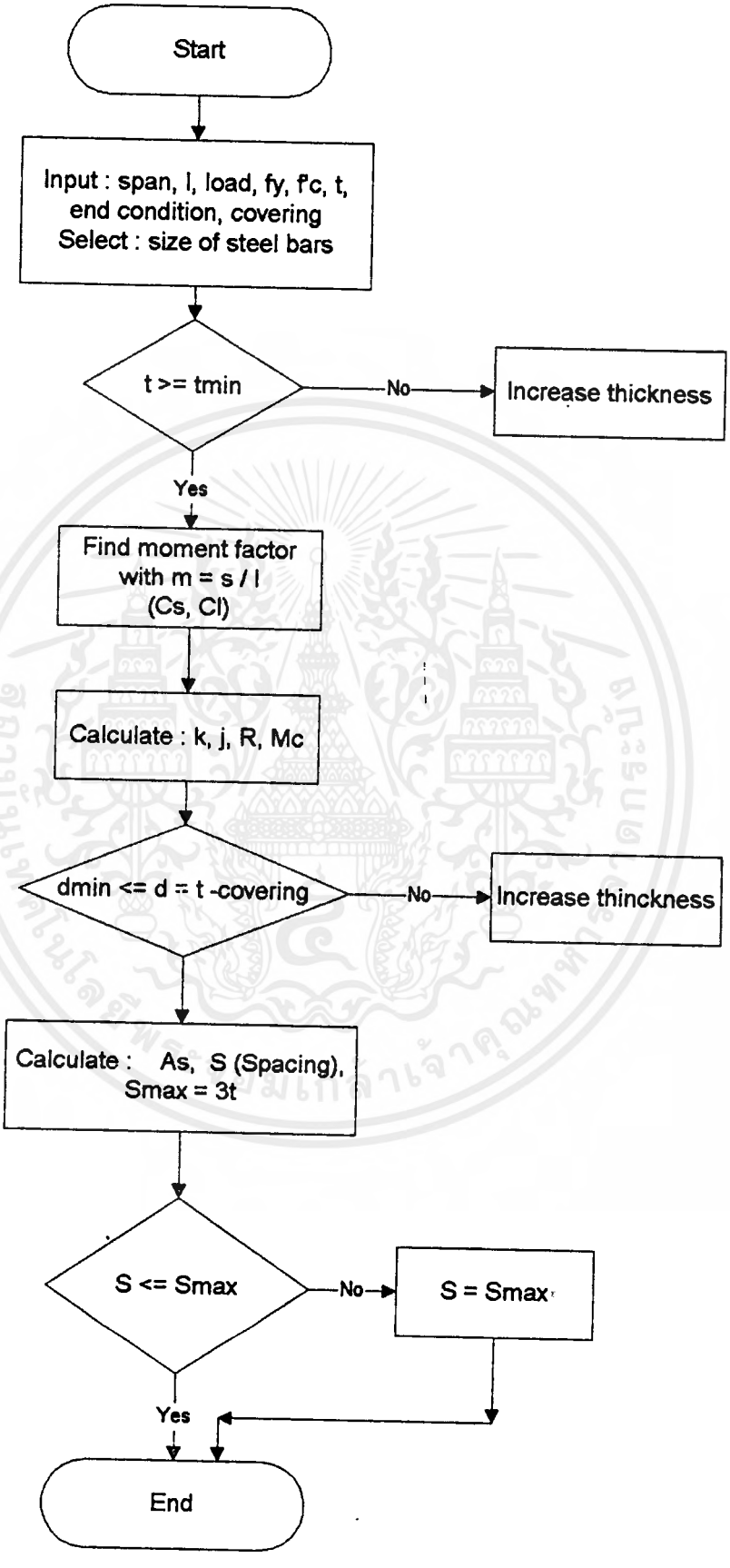
เหล็กเดือยต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่า 4 เส้น วัดเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเหล็กเดือยต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 ของเนื้อที่หน้าตัดเสา และขนาดของเหล็กเดือยต้องไม่ใหญ่กว่าขนาดของเหล็กเสริมตามแกนเกินกว่า 3 มม. ระยะทาบระหว่างเหล็กเดือยกับเหล็กเสริมตามแกนต้องไม่น้อยกว่าความยาวยึดรั้งที่คิดจากเหล็กเสริมที่มีขนาดใหญ่กว่า และจะต้องยื่นเหล็กเดือยเข้าไปยังฐานรากโดยให้มีความยาวเพียงพอที่จะรับหน่วยแรงได้ถึง หน่วยแรงที่จุดคลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แสดงขั้นตอนในการคำนวณด้วยโปรแกรม

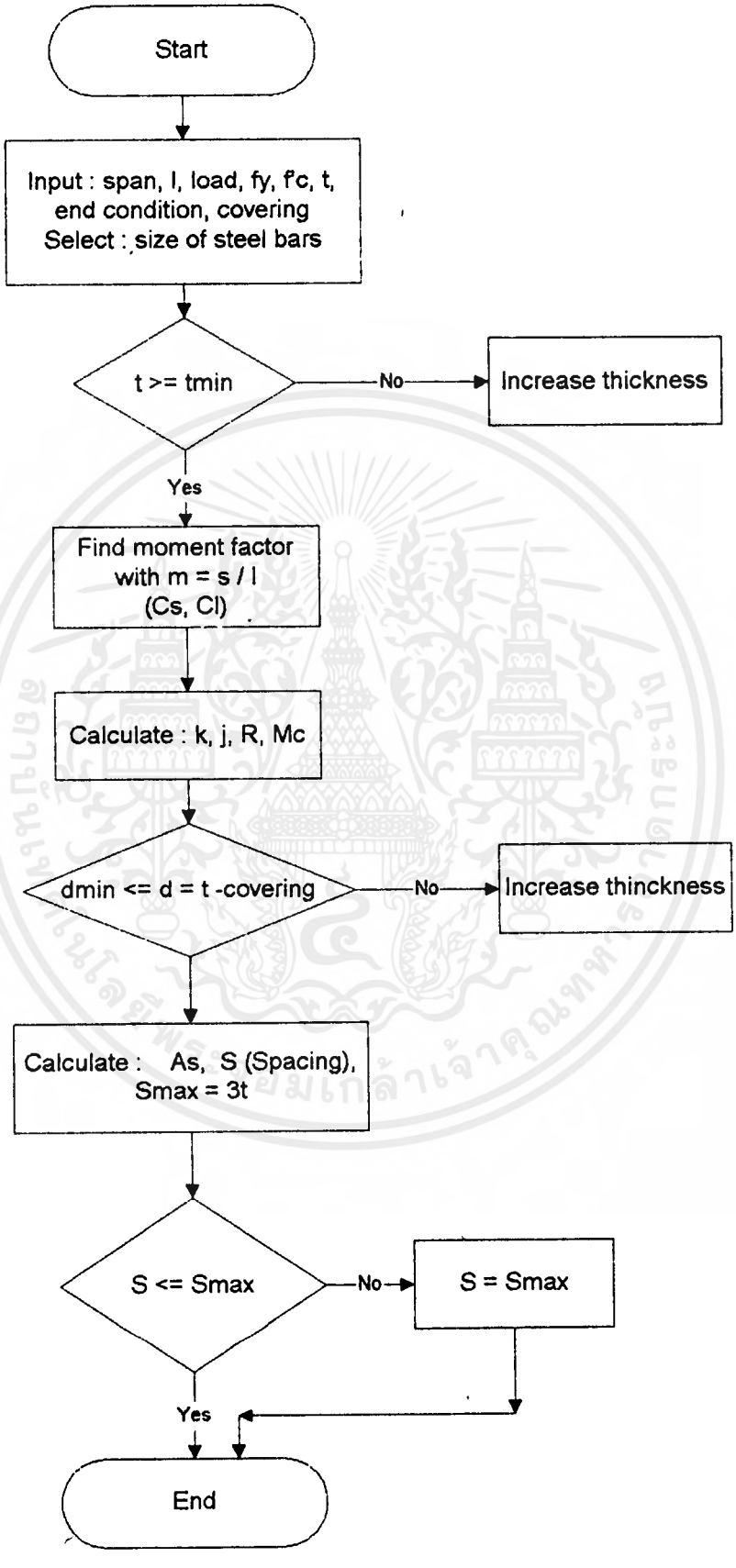
ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมการคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะแสดงด้วย Flow chart โดยจะแสดงการคำนวณทั้งสองวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



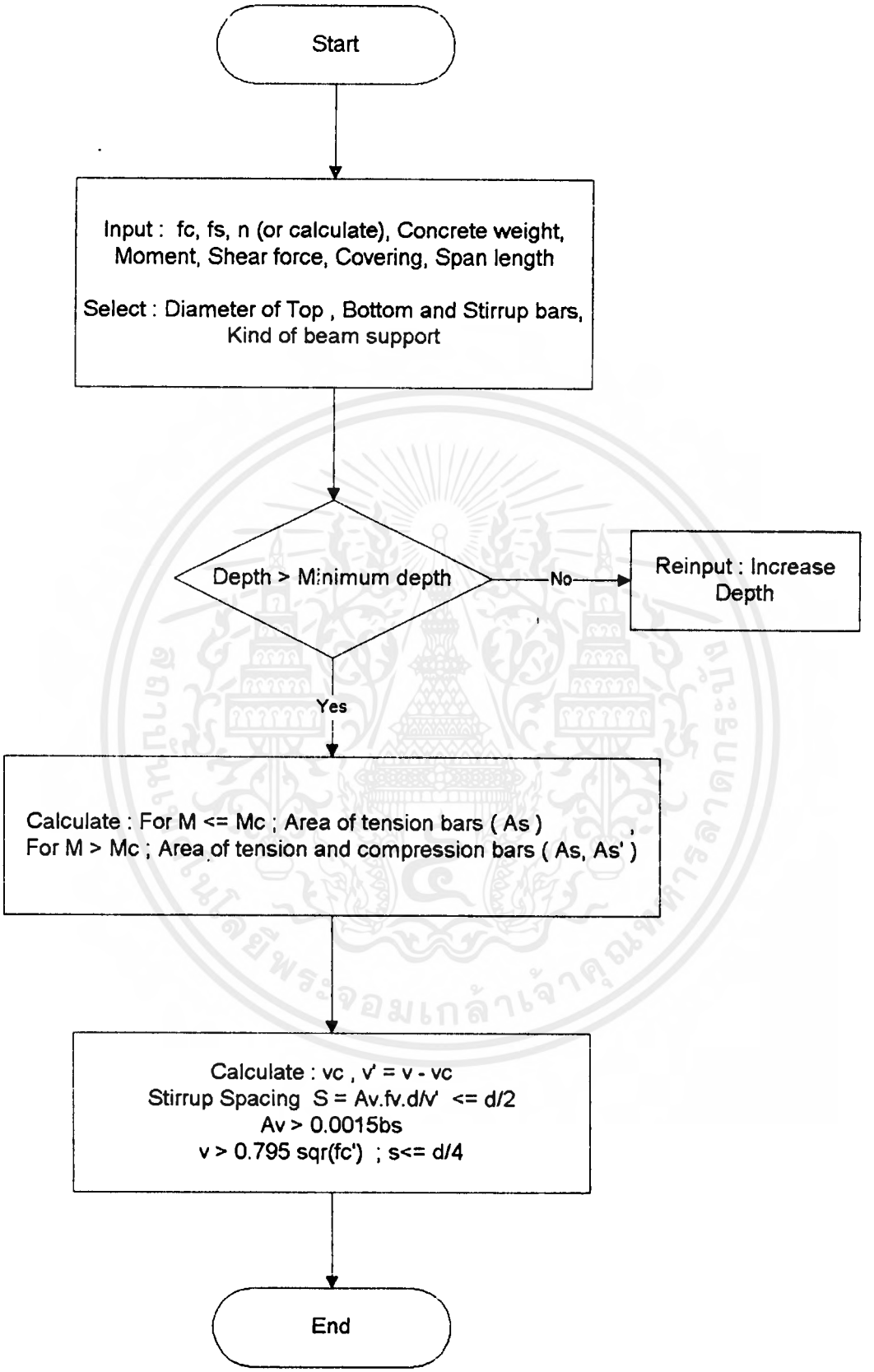
รูปที่ 3.1 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
พื้น คสล. ทางเดียวด้วยวิธี Working Stress

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
พื้น คสล. สองทางด้วยวิธี Working Stress

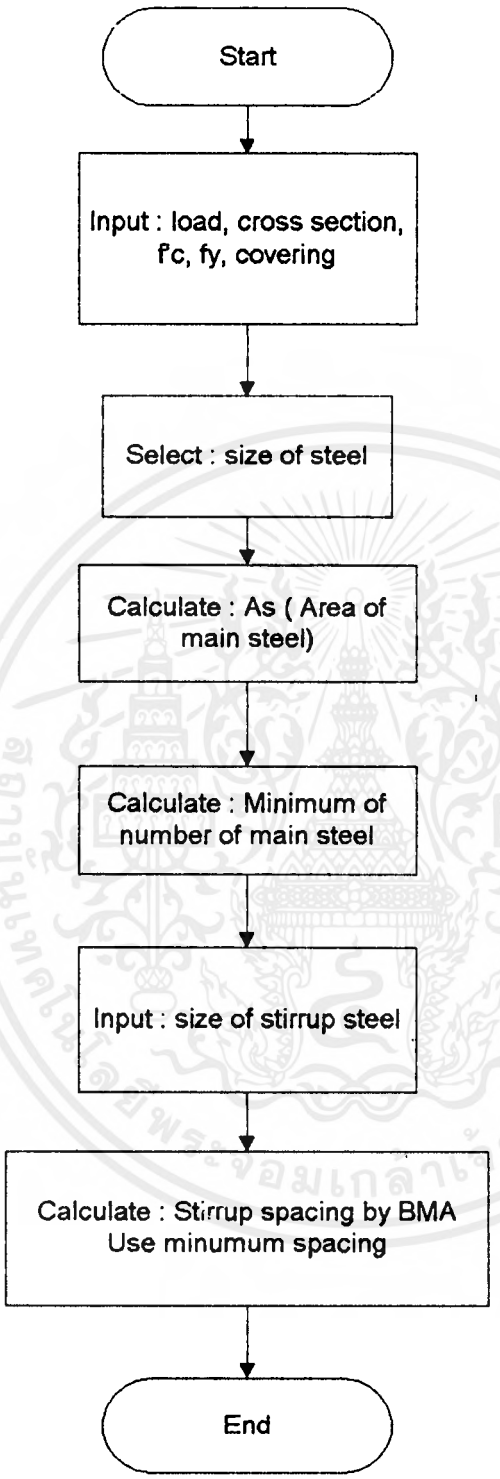
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ

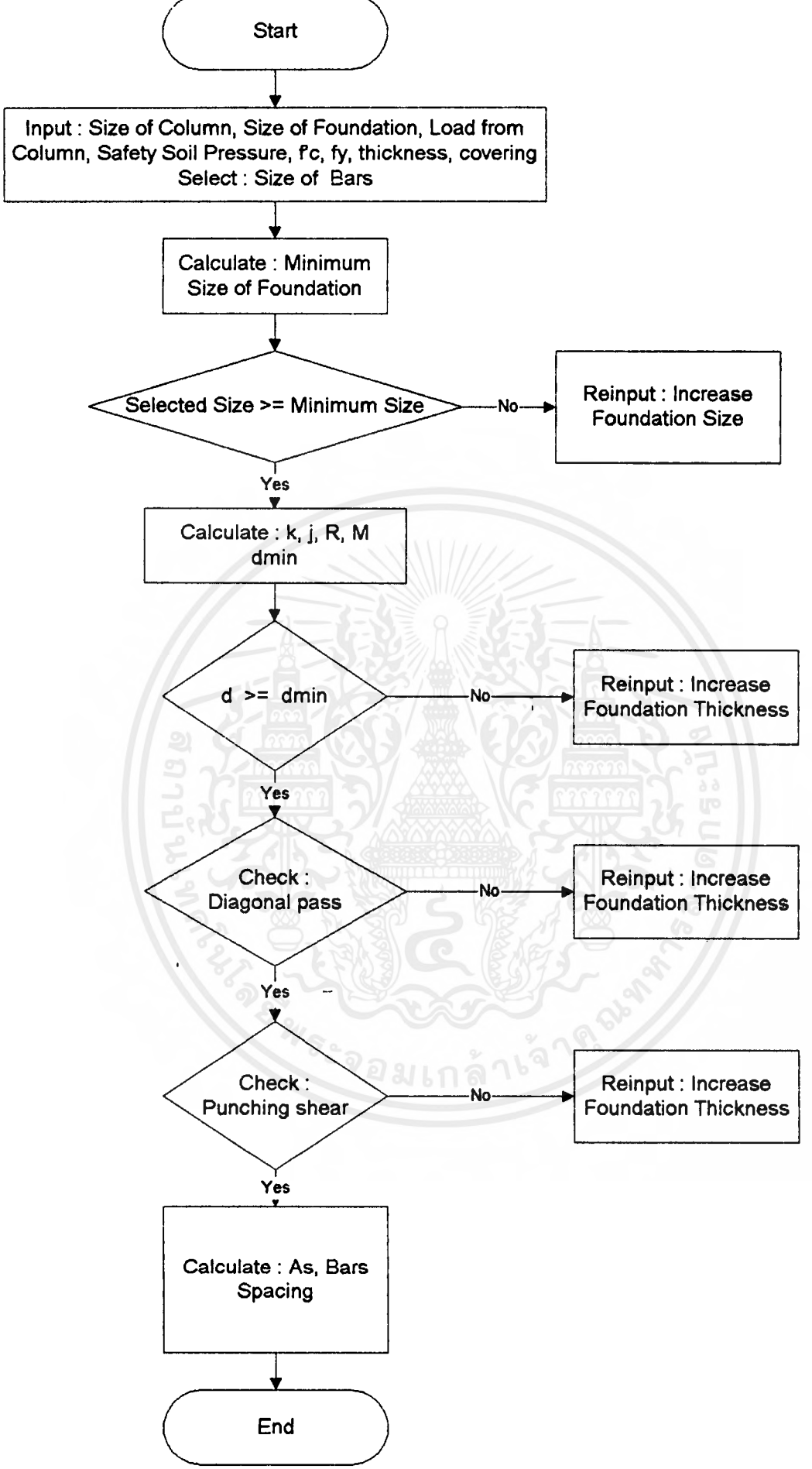
คาน คสล. ด้วยวิธี Working Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



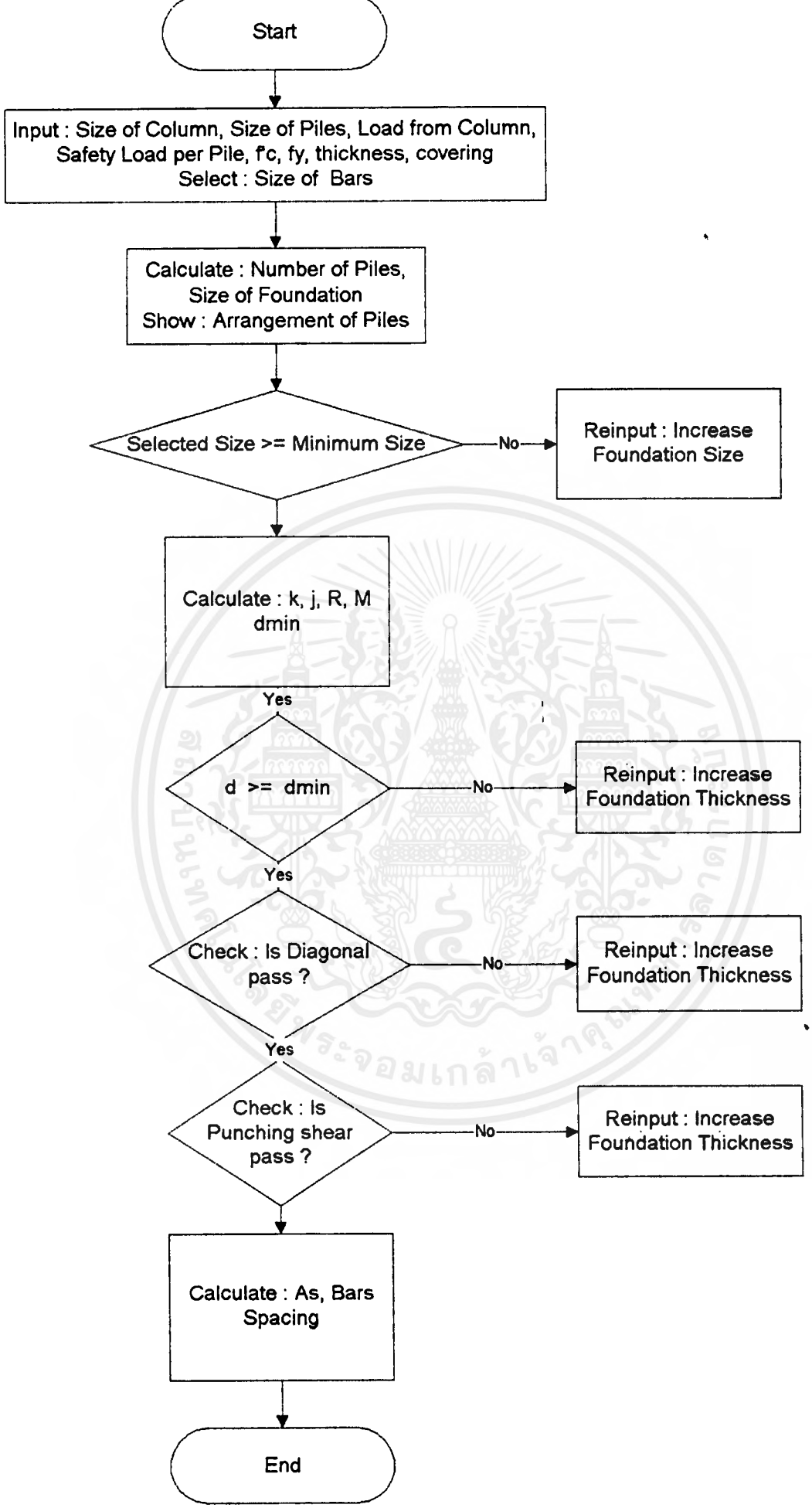
รูปที่ 3.4 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ เสา คสล. ด้วยวิธี Working Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



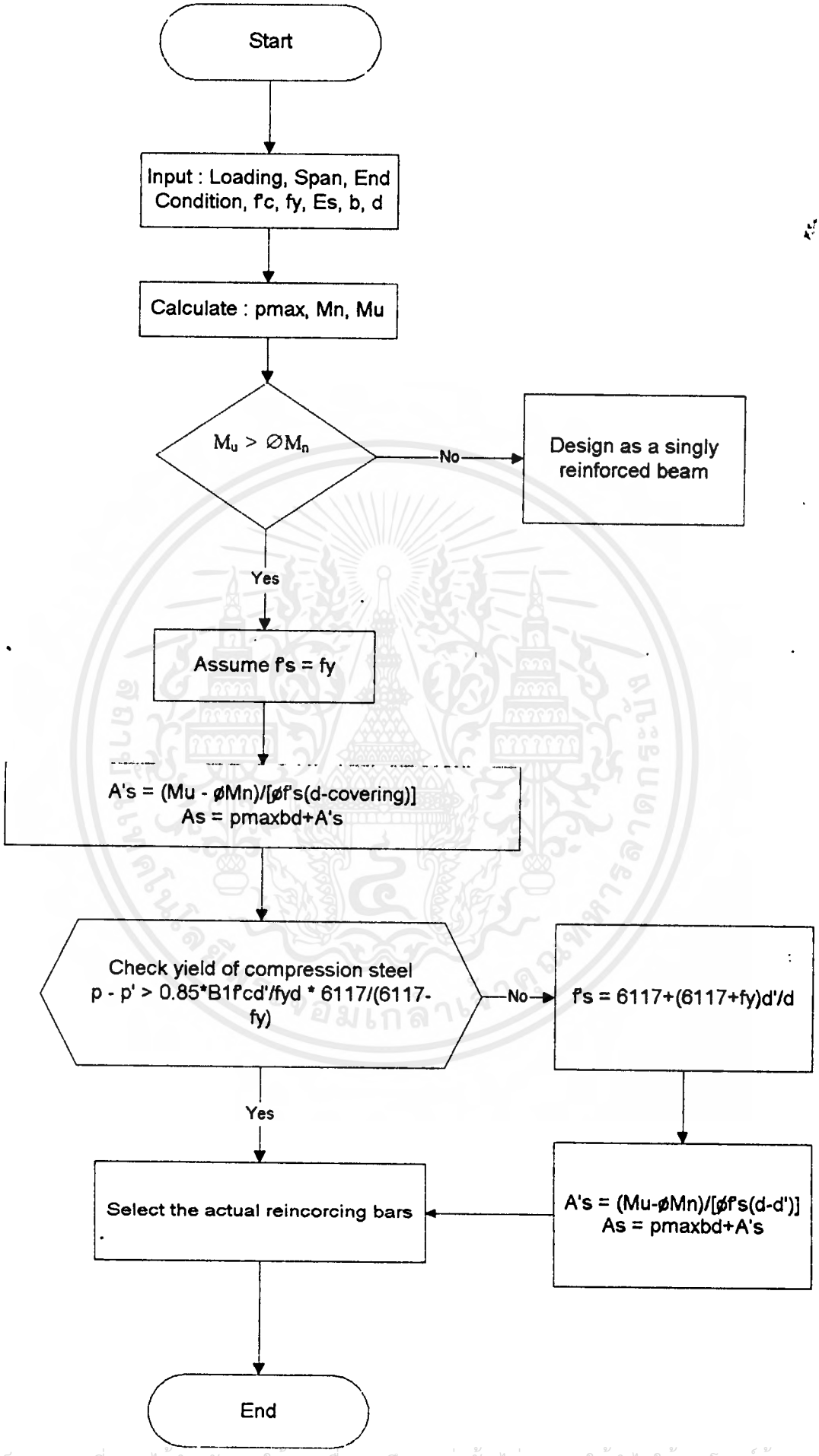
รูปที่ 3.5 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
ฐานรากแผ่ คสล. ด้วยวิธี Working Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
ฐานรากเสาเข็ม คสล. ด้วยวิธี Working Stress

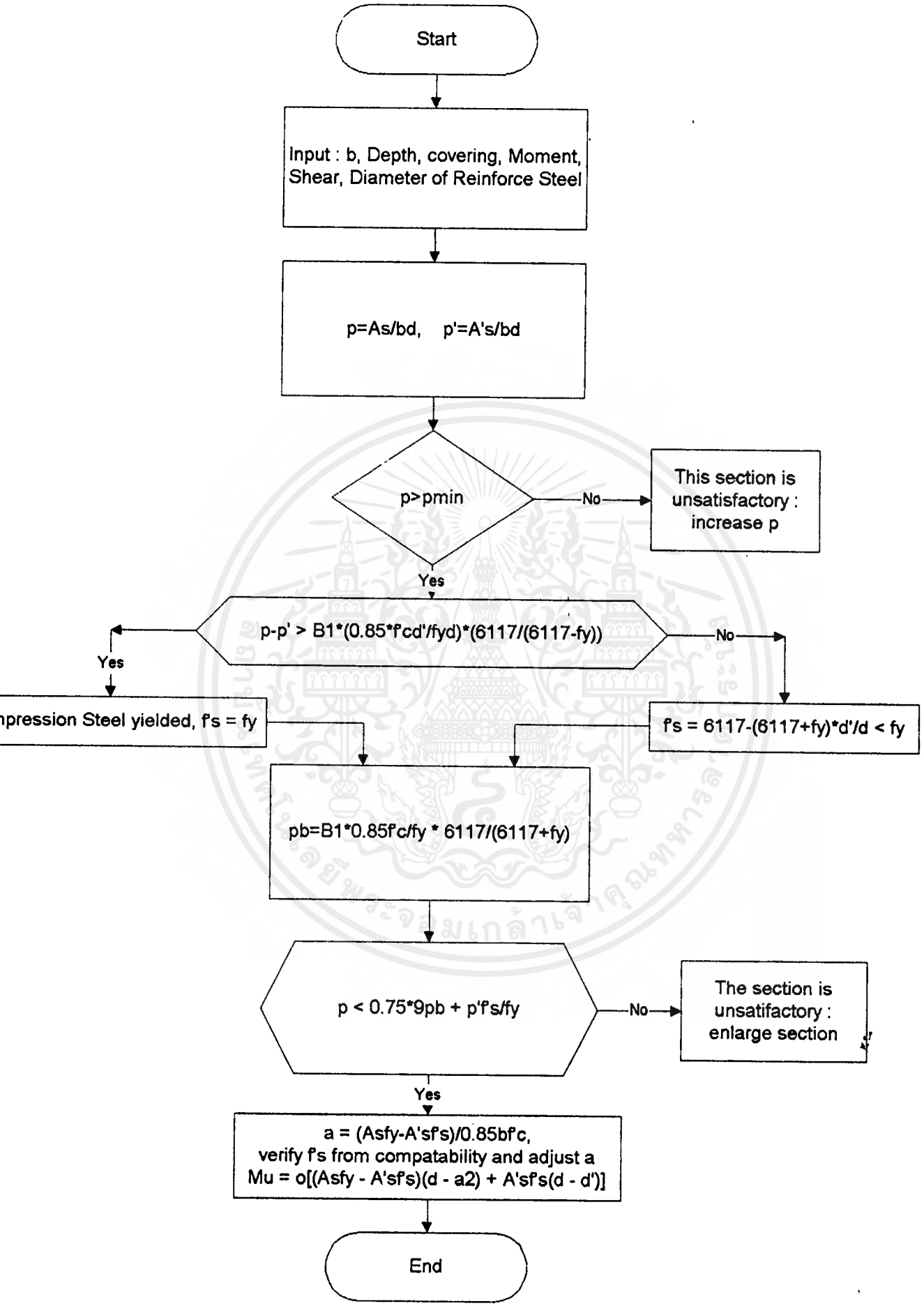


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.7 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ

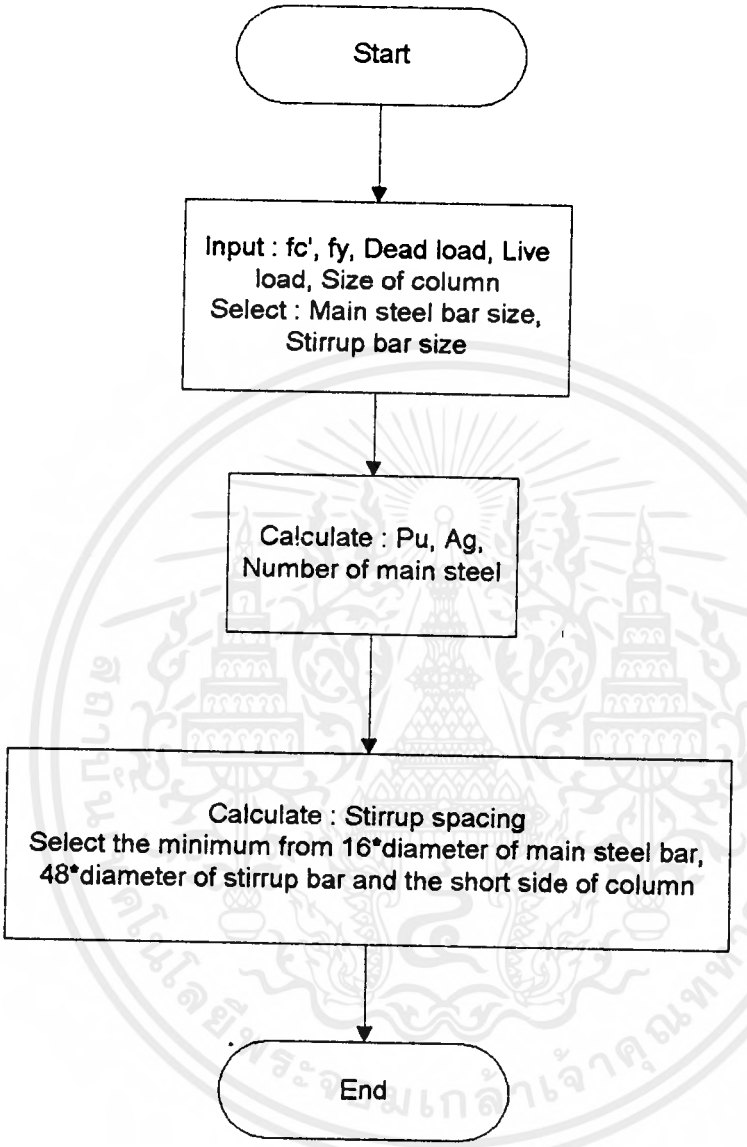
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้น ดศล. ด้วยวิธี Ultimate Strength



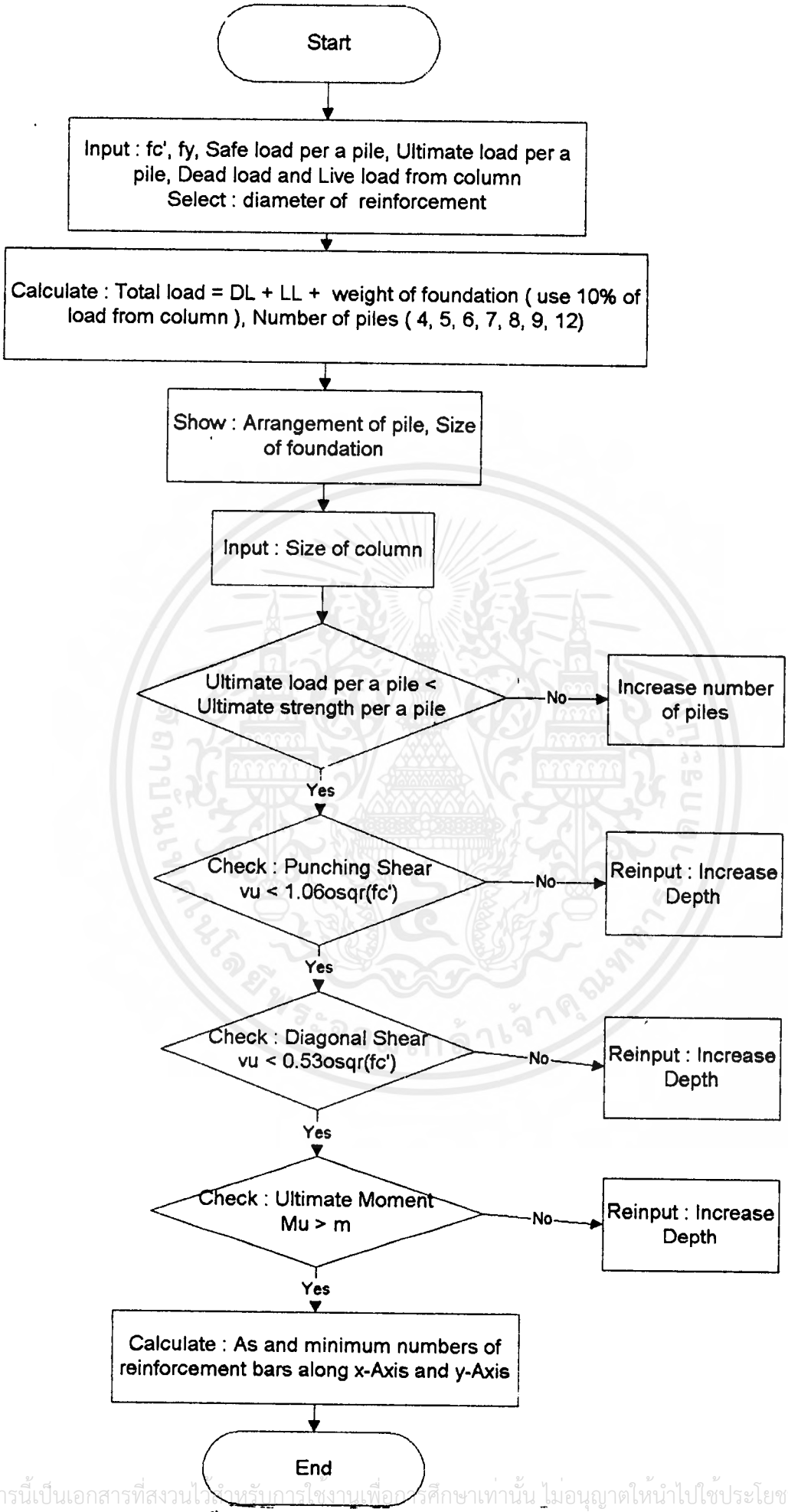
รูปที่ 3.8 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ
คาน คสล. ด้วยวิธี Ultimate Strength

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ เสา คสล. ด้วยวิ ธี Ultimate Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 Flow Chart แสดงขั้นตอนในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 4
ตัวอย่างการคำนวณและวิธีการใช้

วิธีการใช้โปรแกรมคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนี้ ลักษณะการใช้จะเหมือนกับการใช้โปรแกรมในระบบปฏิบัติการ Windows ทั่วไป

วิธีการ Install และเข้าสู่โปรแกรม

1. ก่อนที่จะเข้าสู่โปรแกรมจะต้องมี File พิเศษอยู่ตัวหนึ่งนั่นคือ VB40016.dll เสียก่อน ผู้ใช้จะต้องทำการ Install VB40016.dll ลงใน subdirectory "SYSTEM" ของ Windows โดยใช้คำสั่ง

C:\ COPY A:VB40016.DLL C:\WINDOWS\SYSTEM

C:\ COPY A:RC.EXE C:\WINDOWS

2. เข้าสู่ระบบปฏิบัติการ Windows ด้วยคำสั่ง

C:\ WIN

3. เรียก โปรแกรม RC.exe จาก เมนู File\Run หรือ จาก Program Maneger

วิธีการใช้ทั่วไป

1.ในการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ สามารถเลือกค่าที่จะเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการใช้

1.1 ใช้การ click mouse ในช่องใส่ค่าที่ต้องการจะเปลี่ยน หรือ

1.2 ใช้การกดปุ่ม Tab ไปเรื่อย ๆ จนกว่า curser จะเลื่อนไปอยู่ยังตำแหน่งช่องที่ต้องการจะเปี่ยนแปลงค่าแล้วจากนั้นใช้ key board ในการเปลี่ยนข้อมูล

2. ในการเลือกปุ่มคำสั่งต่าง ๆ สามารถเลือกได้ด้วยการ

2.1 ใช้การ click mouse ที่ปุ่มคำสั่งที่ต้องการ

2.2 ใช้การกดปุ่ม Tab ไปเรื่อย ๆ จนกว่า จะถึงปุ่มคำสั่งที่ต้องการ

2.3 กดปุ่ม 'Alt' ค้างไว้ แล้วตามด้วยอักษรที่ขีดเส้นใต้อยู่ที่ปุ่ม

3. ปุ่มคำสั่งที่เป็น Radio Button จะเลือกได้เพียงหนึ่งปุ่มในกลุ่มนั้นจะสามารถเลือกได้โดยการ

3.1 click mouse ที่ปุ่มที่ต้องการ

3.2 กดปุ่ม Tab ไปยัง Frame ที่กลุ่มของ Radio Button อยู่ แล้วใช้ลูกศรเลือกปุ่มที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเลือกใช้ข้อมูลจาก Combo box Combo box คือ กล่องที่ให้เลือกใช้ข้อมูลจากที่กำหนดไว้ให้แล้วสามารถเลือกได้โดยการ

4.1 click mouse ที่ลูกศรสามเหลี่ยมที่ชี้ลง ข้อมูลที่ให้เลือกจะปรากฏเป็นแถบลงมา click mouse อีกทีที่ข้อมูลที่ต้องการ

4.2 กดปุ่ม Tab จนกว่าแถบสว่างจะไปถึง Combo box นั้น ใช้ปุ่มลูกศรชี้ขึ้นชี้ลงบนแป้นพิมพ์เลือกข้อมูลที่ต้องการ

วิธีการใช้คำสั่งต่าง ๆ ในโปรแกรม

1. Continue เป็นคำสั่งที่ต้องการเปลี่ยนหน้าจอไปยังหน้าจอถัดไป
2. Exit เป็นคำสั่งที่สั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงาน
3. Back เป็นคำสั่งที่ต้องการเปลี่ยนหน้าจอไปยังหน้าจอก่อนหน้าหน้าจอปัจจุบัน
4. Calculate เป็นคำสั่งที่สั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณข้อมูลที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป
5. Print เป็นคำสั่งที่สั่งให้โปรแกรมทำการแสดงข้อมูลออกมาทางเครื่องพิมพ์

การออกจากโปรแกรม สามารถทำได้ดังนี้

1.กดปุ่ม Exit แล้วโปรแกรมจะถามว่าต้องการออกจากโปรแกรมจริง ๆ หรือไม่ ถ้าต้องการออกให้ กดปุ่ม Yes ถ้าไม่ต้องการออกให้กดปุ่ม No

2. ให้กดปุ่มที่มีเครื่องหมาย " - " ที่อยู่ด้านซ้ายบนของหน้าต่างแล้วเลื่อน mouse ไปที่คำสั่ง close ก็สามารถออกจากโปรแกรมได้เช่นกัน

การคำนวณและการ Print

เมื่อใส่ข้อมูลจนครบถ้วนแล้ว ให้กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณข้อมูล และถ้าหากต้องการแสดงข้อมูลออกมาทางเครื่องพิมพ์ก็กดปุ่ม Print โดยจะต้องต่อเครื่อง ' Printer .ให้เรียบร้อยเสียก่อน

การเตือนของโปรแกรม

ถ้ามีการผิดพลาดของข้อมูลที่ผู้ใช้ใส่เข้าไปในโปรแกรม , ข้อมูลไม่ได้มาตรฐานตามกำหนด หรือ โครงสร้างคอนกรีตไม่สามารถอยู่อย่างมั่นคงได้ โปรแกรมจะทำการเตือนให้ผู้ใช้ทราบด้วยการแสดง window โดยการบอกข้อผิดพลาด และคำสั่งให้ปฏิบัติตาม ให้ผู้ใช้ปฏิบัติตามคำสั่ง และกดปุ่ม OK เพื่อปิด window นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยวิธี Working Stress Design

1. วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.1 วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Slab Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Working Stress Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ในหน้าจอนี้จะเป็นขั้นตอนในการใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- ค่า n จะเปลี่ยนไปตามค่า fc' ที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป หรือ ผู้ใช้อาจจะเปลี่ยนค่าเองก็ได้
- Concrete Weight ซึ่งใช้หน่วย ksc

2. ใน Frame 'Standard fc' ผู้ใช้จะต้องเลือกมาตราฐานในการคำนวณค่า fc ซึ่งมีอยู่ 2 มาตราฐานคือ BMA และ ACI
3. สำหรับค่า fy โปรแกรมจะใช้ค่า 2400 ksc และค่า fs จะใช้ค่า1200 ksc
4. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 3.

หน้าจอนี้จะเป็นการกำหนดว่าแผ่นพื้นที่ต้องการคำนวณเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวหรือสองทางจากการใช้อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของพื้น ถ้าความยาวต่อความกว้างเป็นอัตราส่วนที่มากกว่า 2 จะเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว แต่ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 จะเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

1. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่า ดังนี้

- ความกว้างของพื้น
- ความยาวของพื้น

3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
5. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

หน้าจอที่ 4

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Live Load ซึ่งใช้หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- Thickness ซึ่งใช้หน่วย cm
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

3. เลือกขนาดของเหล็กเสริมหลัก
4. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
7. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
8. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Slab Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Working Stress Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ในหน้าจอนี้จะเป็นขั้นตอนในการใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้
   - fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
   - ค่า n จะเปลี่ยนไปตามค่า fc' ที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป หรือ ผู้ใช้อาจจะเปลี่ยนค่าเองก็ได้
   - Concrete Weight ซึ่งใช้หน่วย ksc
2. ใน Frame 'Standard fc' ผู้ใช้จะต้องเลือกมาตราฐานในการคำนวณค่า fc ซึ่งมีอยู่ 2 มาตราฐานคือ BMA และ ACI
3. สำหรับค่า fy โปรแกรมจะใช้ค่า 2400 ksc และค่า fs จะใช้ค่า1200 ksc
4. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 3.

หน้าจอนี้จะเป็นการกำหนดว่าแผ่นพื้นที่ต้องการคำนวณเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวหรือสองทางจากการใช้อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของพื้น ถ้าความยาวต่อความกว้างเป็นอัตราส่วนที่มากกว่า 2 จะเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว แต่ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 จะเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

1. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่า ดังนี้

- ความกว้างของพื้น
- ความยาวของพื้น

3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป

4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

5. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

หน้าจอที่ 4

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name

2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Live Load ซึ่งใช้หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- Thickness ซึ่งใช้หน่วย cm
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

3. เลือกขนาดของเหล็กเสริมในด้านสั้นและด้านยาวทั้งเหล็กเสริมล่างและเหล็กเสริมบนด้านต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

4. ใน Frame 'End Support Conditions' เลือกชนิดของความต่อเนื่องของแผ่นพื้น

4.1 ถ้าเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องด้านเดียวให้เลือกว่า ไม่ต่อเนื่องด้านสั้นหรือด้านยาว

4.2 ถ้าเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องสองด้านให้เลือกว่า ไม่ต่อเนื่องสองด้านใด

4.3 ถ้าเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องสามด้านให้เลือกว่า ต่อเนื่องด้านใด

5. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ

6. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

7. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

8. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์

9. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Beam Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Working Stress Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ในหน้าจอนี้จะเป็นขั้นตอนในการใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- ค่า n จะเปลี่ยนไปตามค่า fc' ที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป หรือ ผู้ใช้อาจจะเปลี่ยนค่าเองก็ได้
- Concrete Weight ซึ่งใช้หน่วย ksc

2. ใน Frame 'Standard fc' ผู้ใช้จะต้องเลือกมาตราฐานในการคำนวณค่า fc ซึ่งมีอยู่ 2 มาตราฐานคือ BMA และ ACI
3. สำหรับค่า fy โปรแกรมจะใช้ค่า 2400 ksc และค่า fs จะใช้ค่า1200 ksc
4. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 3

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name

2. ใน Frame 'Input Data' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Moment ซึ่งใช้หน่วย Kg-m
- Shear Force ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Span Length ซึ่งใช้หน่วย m
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

3. ใน Frame 'Input Data' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- ผู้ใช้จะต้องเลือกว่าคานเป็นคานชนิดใดเพื่อใช้ในการตรวจสอบความลึกน้อยสุดตามมาตราฐาน
- Depth ซึ่งใช้หน่วย cm โดยสามารถดูความลึกของคานน้อยที่สุดได้จาก 'Minimum Depth'
- Width ซึ่งใช้หน่วย cm

3. เลือกขนาดของเหล็กเสริมบน ล่าง และ เหล็กปลอก
4. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
7. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
8. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 4

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Axial Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm
- Width ซึ่งใช้หน่วย cm
- Depth ซึ่งใช้หน่วย cm

3. เลือกขนาดของเหล็กยืน และเหล็กปลอก
4. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
7. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
8. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลอกเกลียว

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Column Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Working Stress Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ในหน้าจอนี้จะเป็นขั้นตอนในการใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- ค่า n จะเปลี่ยนไปตามค่า fc' ที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป หรือ ผู้ใช้อาจจะเปลี่ยนค่าเองก็ได้
- Concrete Weight ซึ่งใช้หน่วย ksc

2. ใน Frame 'Standard fc' ผู้ใช้จะต้องเลือกมาตราฐานในการคำนวณค่า fc ซึ่งมีอยู่ 2 มาตราฐานคือ BMA และ ACI
3. สำหรับค่า fy โปรแกรมจะใช้ค่า 2400 ksc และค่า fs จะใช้ค่า1200 ksc
4. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

หน้าจอที่ 3

1. เลือกว่าจะทำการคำนวณเสาชนิด 'Spiral Column'
2. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
3. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
4. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 4

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสน เวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Axial Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Column Diameter ซึ่งใช้หน่วย cm
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

3. เลือกขนาดของเหล็กยืน และเหล็กปลอก
4. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
7. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
8. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.1 วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Footing Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Working Stress Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ในหน้าจอนี้จะเป็นขั้นตอนในการใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- ค่า n จะเปลี่ยนไปตามค่า fc' ที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป หรือ ผู้ใช้อาจจะเปลี่ยนค่าเองก็ได้
- Concrete Weight ซึ่งใช้หน่วย ksc

2. ใน Frame 'Standard fc' ผู้ใช้จะต้องเลือกมาตราฐานในการคำนวณค่า fc ซึ่งมีอยู่ 2 มาตราฐานคือ BMA และ ACI
3. สำหรับค่า fy โปรแกรมจะใช้ค่า 2400 ksc และค่า fs จะใช้ค่า1200 ksc
4. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

หน้าจอที่ 3

1. เลือกว่าจะทำการคำนวณฐานรากชนิด 'Spread Footing'
2. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
3. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
4. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 4

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสน เวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Column Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Allowable Soil Pressure ซึ่งใช้หน่วย Kg / m^2
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

โปรแกรมจะแสดงค่า Minimum Footing Area ซึ่งใช้หน่วย m^2

3. เลือกขนาดของเหล็กในแนวแกน x และแนวแกน y
4. ใน Frame 'Size of Footing And Column'

- ขนาดของฐานราก กว้าง และยาว โดยเทียบกับแนวแกน x และแกน y
- ขนาดของเสา กว้าง และยาว โดยเทียบกับแนวแกน x และแกน y
- Thickness ซึ่งใช้หน่วย m

5. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
6. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
7. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
8. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
9. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Footing Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Working Stress Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ในหน้าจอนี้จะเป็นขั้นตอนในการใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- ค่า n จะเปลี่ยนไปตามค่า fc' ที่ผู้ใช้ใส่เข้าไป หรือ ผู้ใช้อาจจะเปลี่ยนค่าเองก็ได้
- Concrete Weight ซึ่งใช้หน่วย ksc

2. ใน Frame 'Standard fc' ผู้ใช้จะต้องเลือกมาตราฐานในการคำนวณค่า fc ซึ่งมีอยู่ 2 มาตราฐานคือ BMA และ ACI
3. สำหรับค่า fy โปรแกรมจะใช้ค่า 2400 ksc และค่า fs จะใช้ค่า1200 ksc
4. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
5. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
6. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

หน้าจอที่ 3

1. เลือกว่าจะทำการคำนวณฐานรากชนิด 'Pile Footing'
2. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
3. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
4. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ 4

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Column Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Safe Load Per Pile ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm
- Pile Width ซึ่งใช้หน่วย cm

3. กดปุ่ม 'Press to show footing size and pile arrangment' เพื่อแสดงขนาดของฐานรากและการจัดเรียงเสาเข็ม
4. ใน Frame 'Footing Size And Pile Arrangement' จะแสดงค่าความกว้างยาว และระยะห่างอย่างน้อยของฐานรากและเข็ม ในหน่วย cm ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้
5. ใน Frame 'Footing Size And Pile Arrangement' จะต้องทำการใส่ค่าขนาดของเสาตามแกน x และ y ตามที่แสดงในรูปของฐานราก
6. ใส่ค่า Thickness ซึ่งใช้หน่วย cm
7. เลือกขนาดของเหล็กเสริมตามแกน x และ y
8. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
9. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
10. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
11. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์
12. หากต้องการเปลี่ยนค่า Material Properties สามารถเปลี่ยนในหน้าจอได้นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยวิธี Ultimate Strength Design

1. วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Slab Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Ultimate Strength Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Live Load ซึ่งใช้หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- Thickness ซึ่งใช้หน่วย cm
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

3. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่า ดังนี้

- ความกว้างของพื้น
- ความยาวของพื้น

4. เลือกขนาดของเหล็กเสริมในด้านสั้นและด้านยาวทั้งเหล็กเสริมล่างและเหล็กเสริมบน ด้านต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง
5. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือกค่า fy ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือก Load Factor

4. ใน Frame 'End Support Conditions' เลือกชนิดของความต่อเนื่องของแผ่นพื้น

4.1 ถ้าเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องด้านเดียวให้เลือกว่า ไม่ต่อเนื่องด้านสั้นหรือด้านยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ถ้าเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องสองด้านให้เลือกว่า ไม่ต่อเนื่องสองด้านใด

4.3 ถ้าเป็นชนิดไม่ต่อเนื่องสามด้านให้เลือกว่า ต่อเนื่องด้านใด

5. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ

6. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

7. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

8. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Beam Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Ultimate Strength Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

มีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ใน Frame 'Input Data' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Reduction Factor
- Moment ซึ่งใช้หน่วย Kg-m
- Shear Force ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Span Length ซึ่งใช้หน่วย m
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm

3. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือกค่า fy ซึ่งใช้หน่วย ksc

4. ทำการใส่ค่า

- Depth ซึ่งใช้หน่วย cm โดยสามารถดูความลึกของคานน้อยที่สุดได้จาก 'Minimum Depth'
- Width ซึ่งใช้หน่วย cm

5. เลือกขนาดของเหล็กเสริมบน ล่าง และ เหล็กปลอก
6. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
7. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
8. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
9. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดเหล็กปลอกเดี่ยว

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Column Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Ultimate Strength Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2.

ขั้นตอนในการใช้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Dead Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Live Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm
- Size Of Column ซึ่งใช้หน่วย cm ทั้งด้านกว้างและยาว

3. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือกค่า fy ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือก Load Factor

4. เลือกขนาดของเหล็กยืน และเหล็กปลอก
5. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ
6. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม
7. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา
8. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 วิธีการใช้สำหรับการคำนวณโครงสร้างฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน้าจอที่ 1.

หน้าจอนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกตัวโครงสร้างที่ต้องการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ใน Frame 'Structure' เลือก Footing Design
2. ใน Frame 'Design Method' เลือก Ultimate Strength Design
3. กดปุ่ม Continue เพื่อทำงานขั้นต่อไป
4. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

หน้าจอที่ 2

ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นแรกผู้ใช้โปรแกรมควรจะใส่ชื่อของโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันความสับสนเวลาแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ในช่อง Element Name
2. ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่าดังต่อไปนี้

- Dead Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Live Load ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Safe Load Per Pile ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Ultimate Load Per Pile ซึ่งใช้หน่วย Kg
- Covering ซึ่งใช้หน่วย cm
- Pile Width ซึ่งใช้หน่วย cm

3. ใน Frame 'Material Properties' ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องใส่ค่า Material Properties เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- fc' ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือกค่า fy ซึ่งใช้หน่วย ksc
- เลือก Load Factor

4. กดปุ่ม 'Press to show footing size and pile arrangment' เพื่อแสดงขนาดของฐานรากและการจัดเรียงเสาเข็ม
5. ใน Frame 'Footing Size And Pile Arrangement' จะแสดงค่าความกว้างยาว และระยะห่างอย่างน้อยของฐานรากและเข็ม ในหน่วย cm ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใน Frame 'Footing Size And Pile Arrangement' จะต้องทำการใส่ค่าขนาดของเสาตามแกน x และ y ตามที่แสดงในรูปของฐานราก

7. ใส่ค่า Thickness ซึ่งใช้หน่วย cm

8. เลือกขนาดของเหล็กเสริมตามแกน x และ y

9. กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการคำนวณ

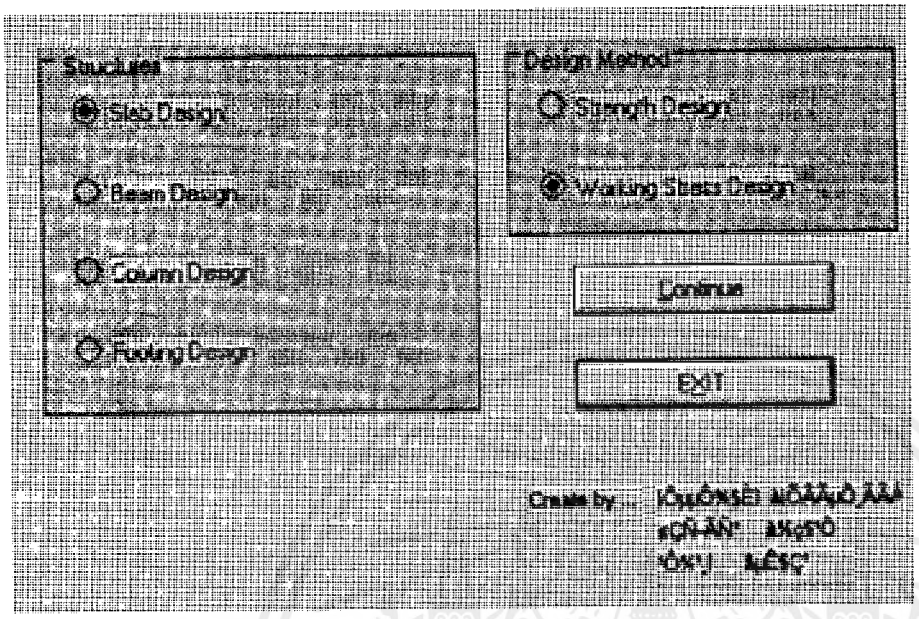
10. กดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

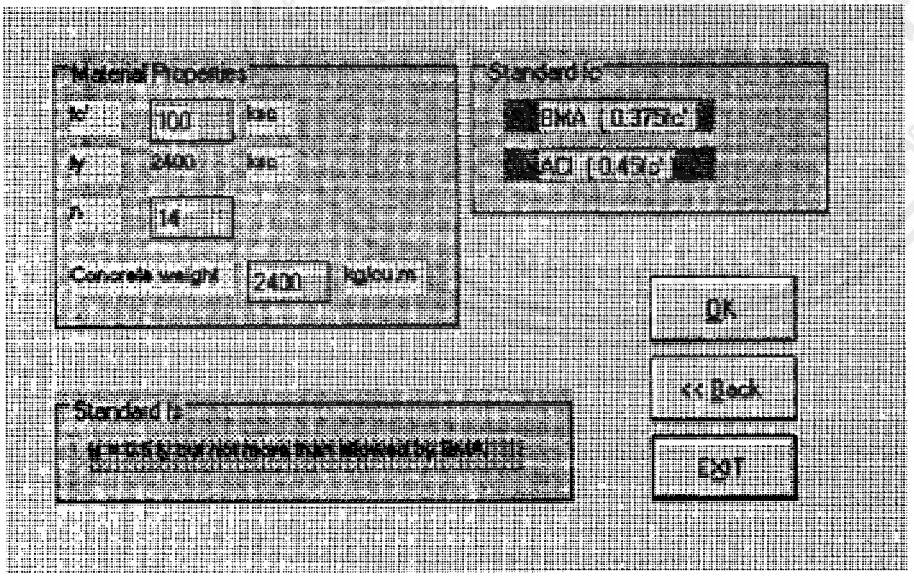
11. กดปุ่ม Back หากต้องการกลับไปยังหน้าจอที่ผ่านมา

12. กดปุ่ม Print เพื่อแสดงผลการคำนวณออกทางเครื่องพิมพ์

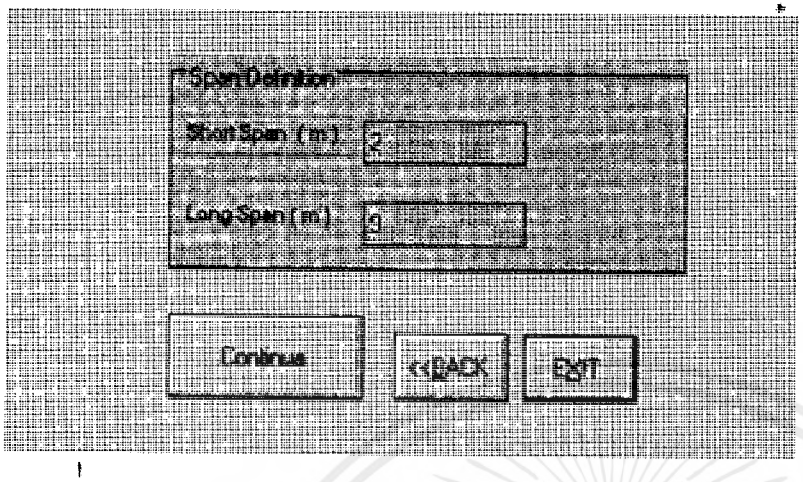
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

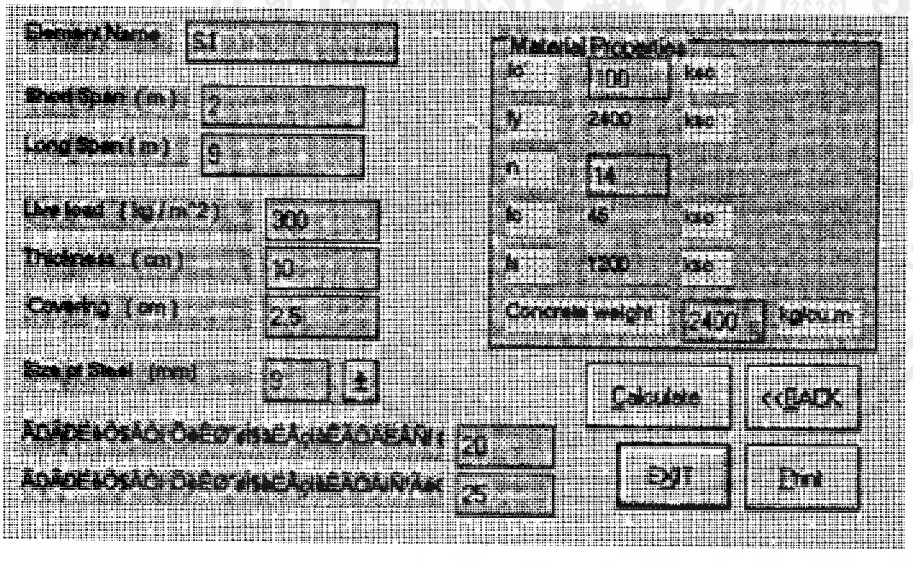
ตัวอย่างการแสดงผลทางจอภาพและทางเครื่อง Printer





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



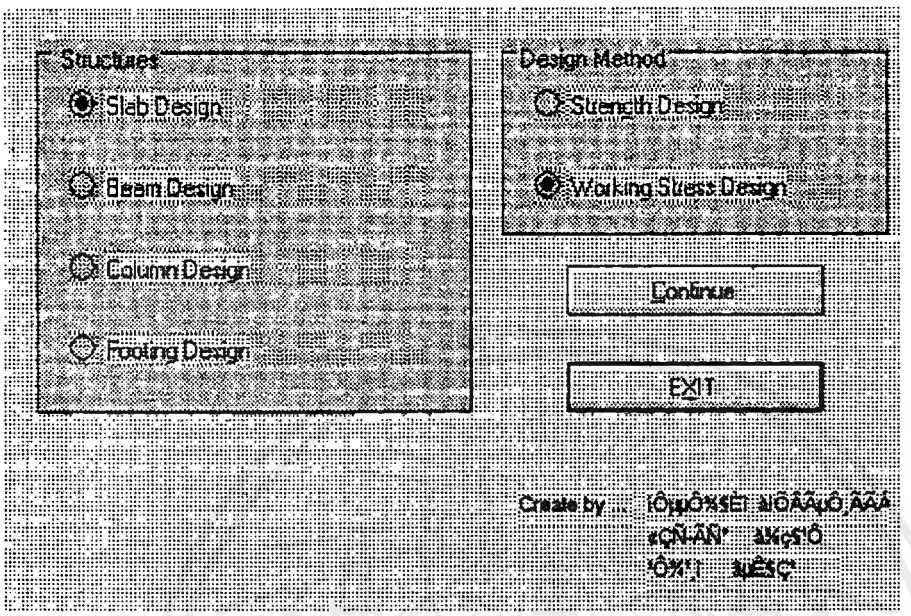


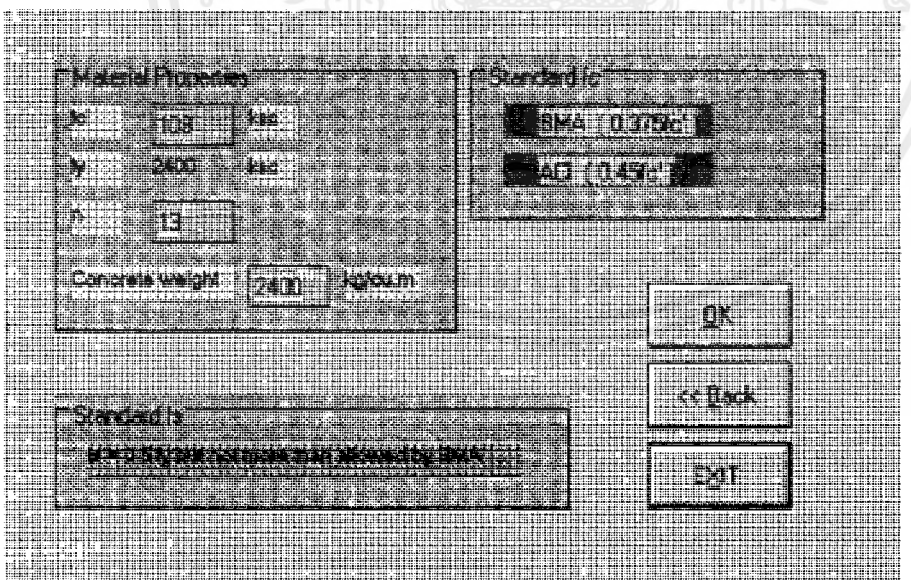
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
One Way Slab Design by Working Stress Method

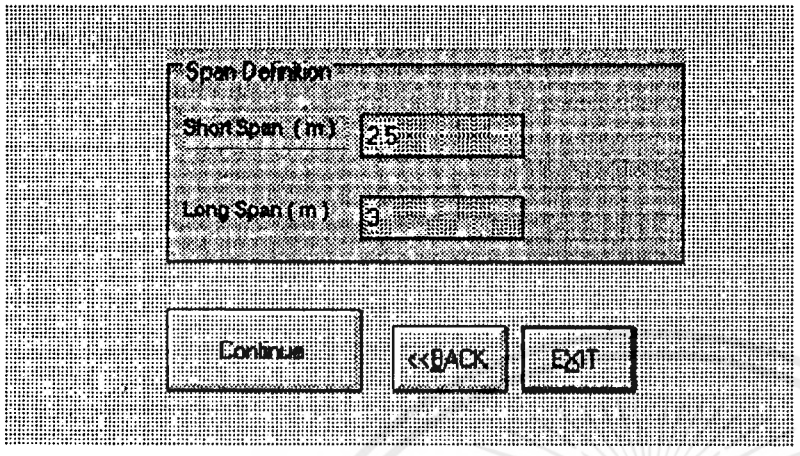
Element Name : S1
Material Properties : f'c = 100 ksc
fc = 45 ksc
fy = 2400 ksc
fs = 1200 ksc
n = 14
Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
Size : Short Span = 2 m
: Long Span = 9 m
Live Load = 300 Kg
Thickness = 10 cm
Covering = 2.5 cm
k = 0.3443
j = 0.8852
R = 6.857
d = 7.5 cm
Mc = 38570.781 Kg.m
Moment = 270 Kg.m
Main Steel : As = 3.3889 cm^2
: use RB9Maximum Spacing = 20 cm^2
Temperator Steel : Ats = 2.5 cm^2
: use RB9Maximum Spacing = 25 cm^2
vc = 0 Kg/cm^2
v = 0.72 Kg/cm^2

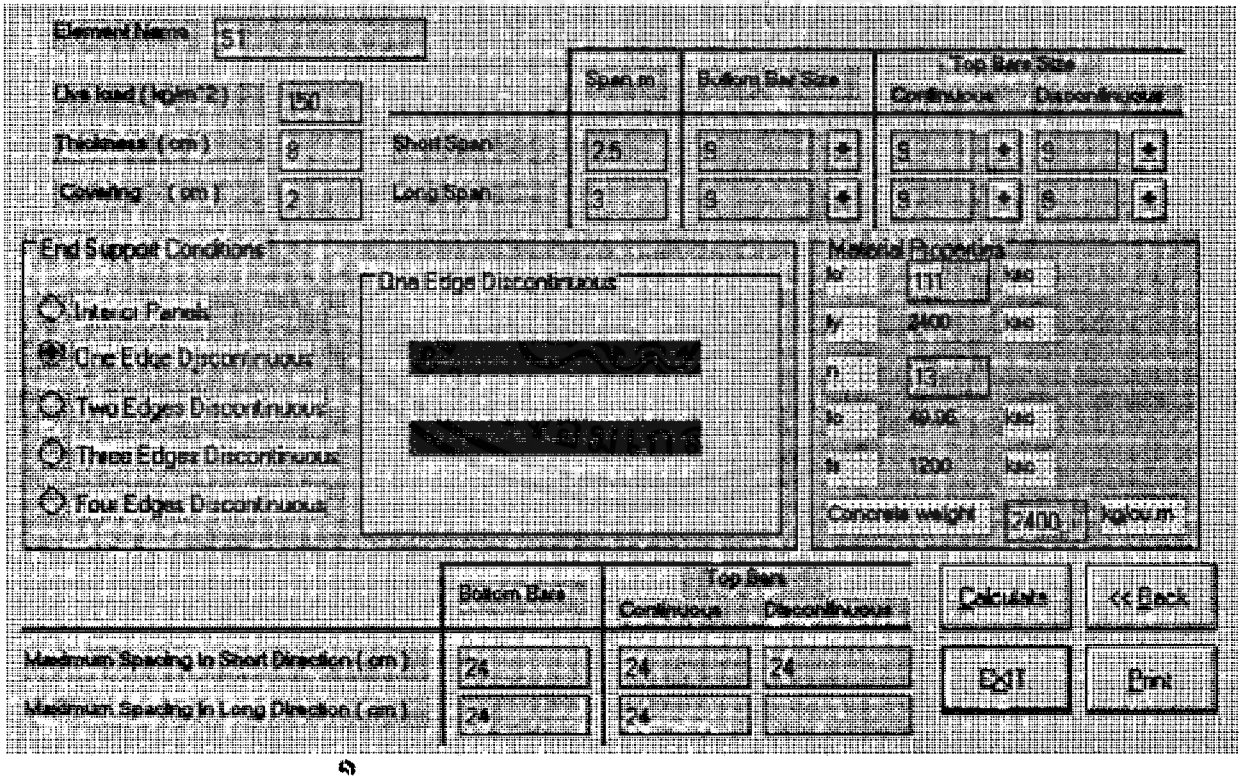
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

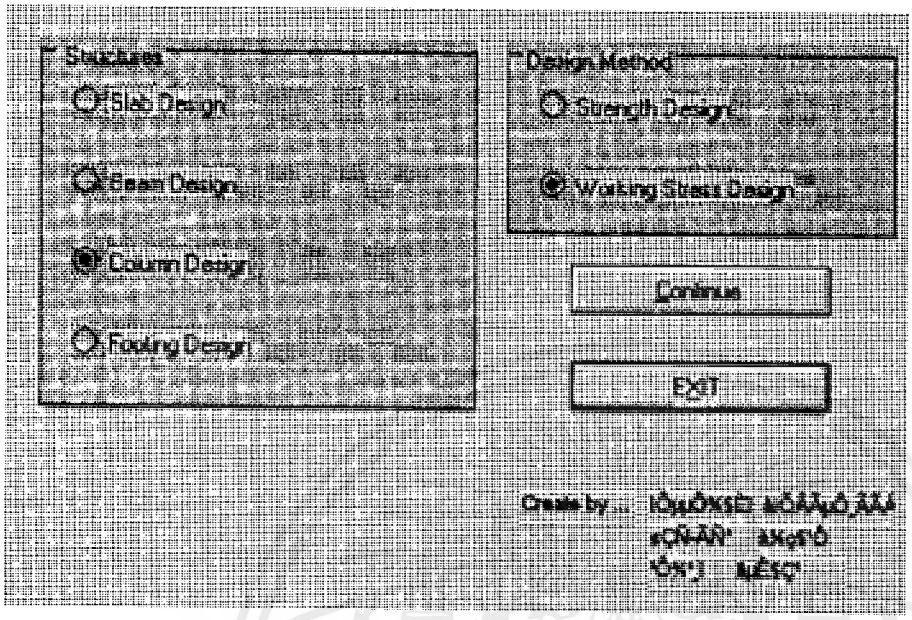


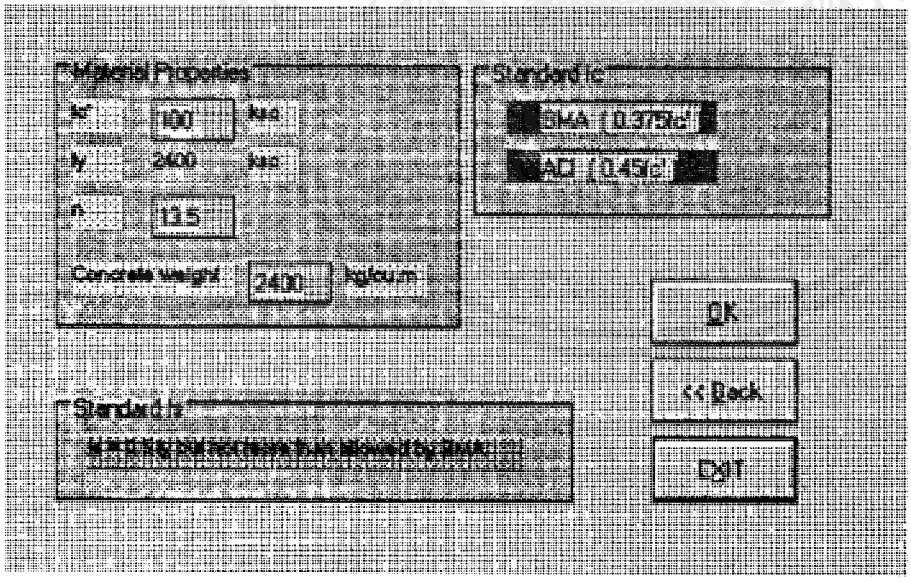


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

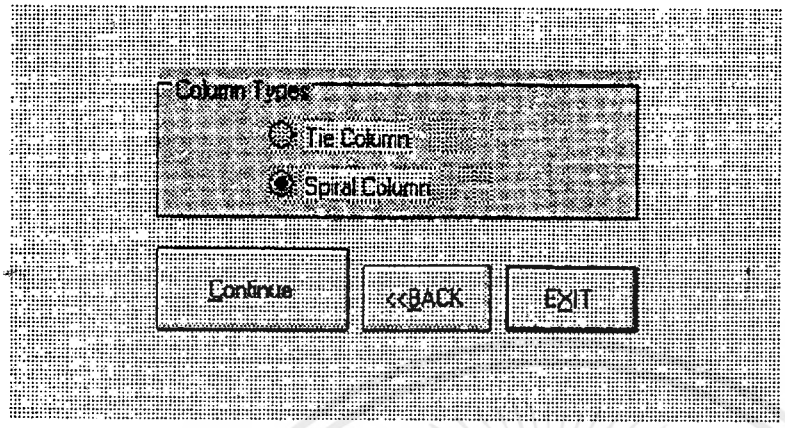
```
          Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
        Two Way Slab Design by Working Stress Method
================================================================
 Element Name : S1
  Three Edge Discontinuous
 Material Properties : f'c = 111 ksc
                       fc  = 49.95 ksc
                       fy  = 2400 ksc
                       fs  = 1200 ksc
                       n   = 13
                       Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
 Size : Short Span = 2.5 m
      : Long Span  = 3 m
 m =  0.8
 Live Load   = 150 Kg
 Thickness   = 8 cm
 Covering    =2 cm
 W =  342  kg
 k =  0.4224
 j = 0.8592
 R = 12.2483  Kg/cm^2
 d = 6  cm
 Mc = 440.94  Kg.m per 100cm width
 Short Direction :
    M- continuous    = 158.175  Kg.m
                     : As =  2.7642  cm^2
                     : use RB9  Maximum Spacing = 24 cm
    M- discontinuous = 79.088  Kg.m
                     : As =  1.3821  cm^2
                     : use RB9  Maximum Spacing = 24 cm
    M+               = 119.7  Kg.m
                     : As =  2.0918  cm^2
                     : use RB9  Maximum Spacing = 24 cm
 Long  Direction :
    M- continuous    = 0  Kg.m
                     : As =  0  cm^2
                     : use RB9  Maximum Spacing =  cm
    M- discontinuous = 61.988  Kg.m
                     : As =  1.2929  cm^2
                     : use RB9  Maximum Spacing = 24 cm
    M+               = 94.05  Kg.m
                     : As =  1.6436  cm^2
                     : use RB9  Maximum Spacing = 24 cm
 vc = 3.0553  Kg/cm^2
 v  = 0.3851  Kg/cm^2
================================================================
```

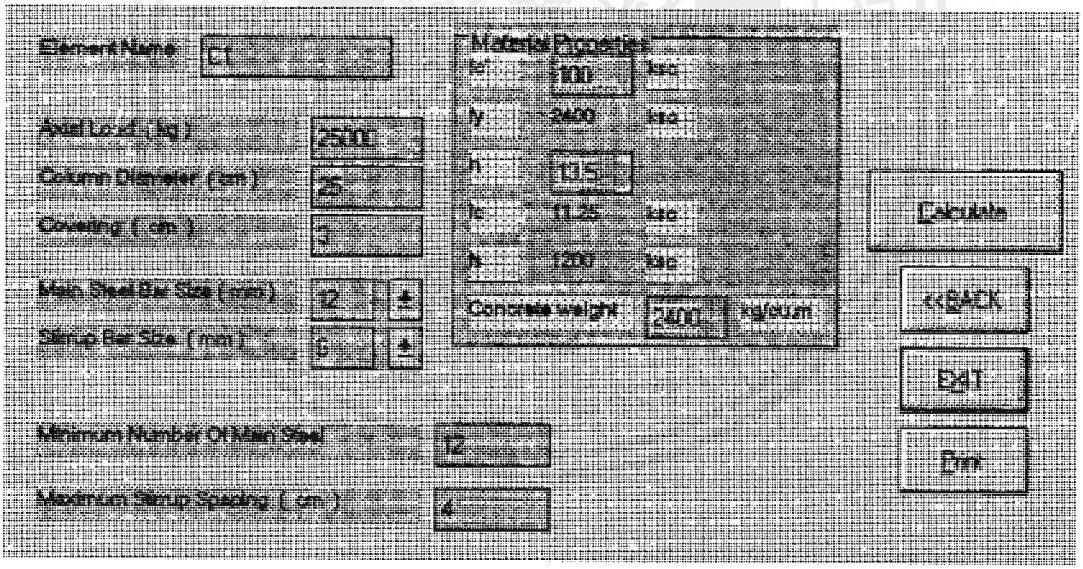
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

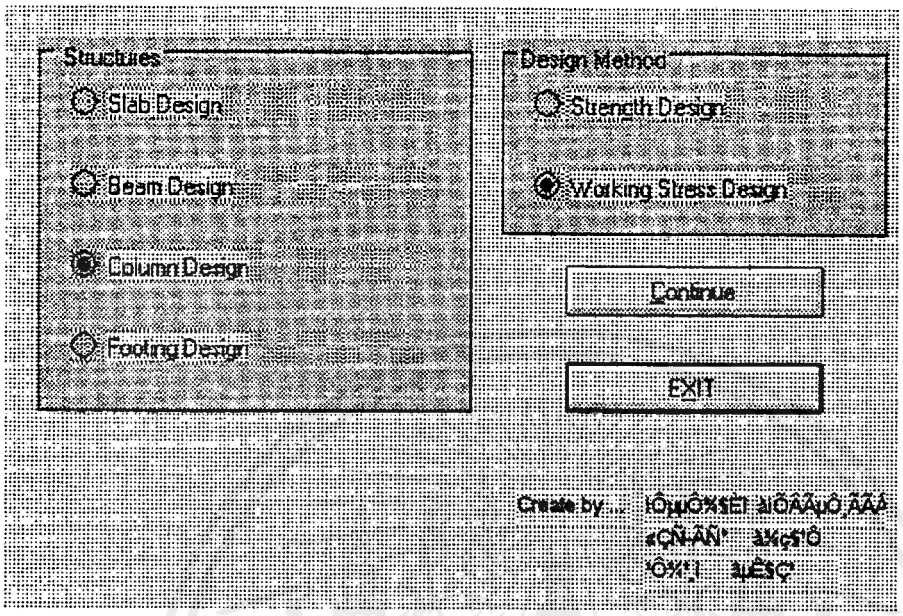


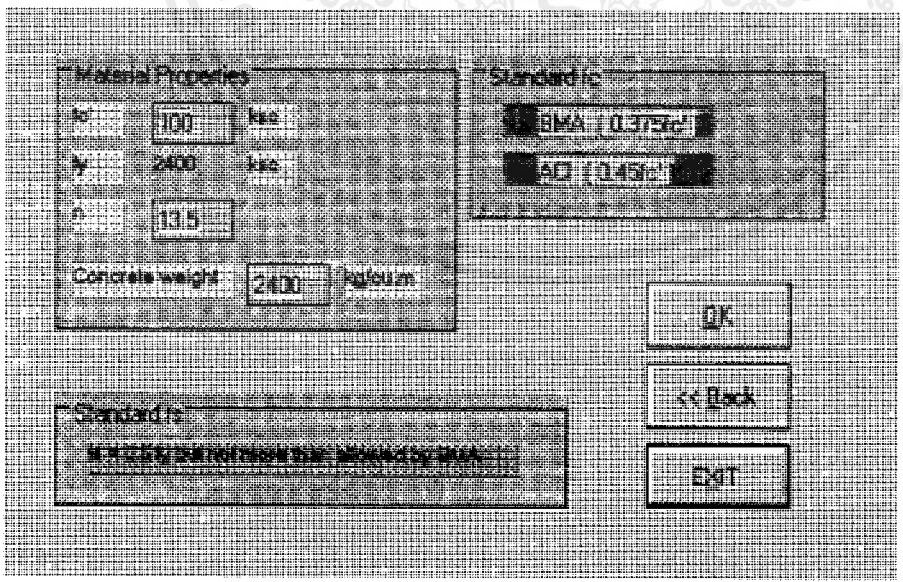


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

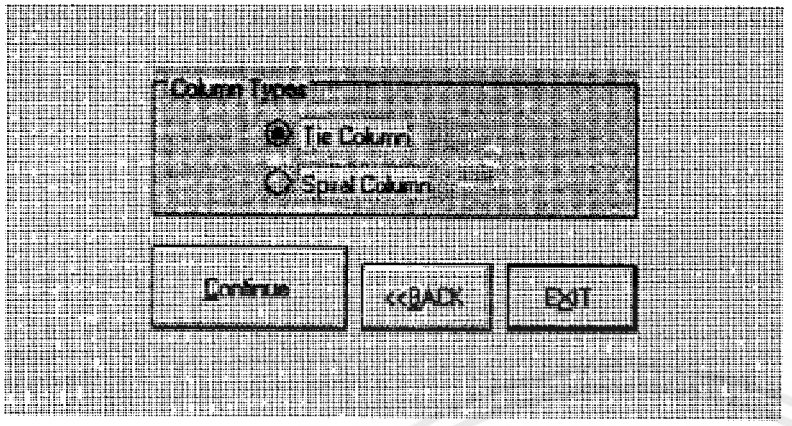
```
==========================================================================
          Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
        Spiral Column Design by Working Stress Method
==========================================================================
   Element Name : C1
   Material Properties : f'c = 100 ksc
                         fc  = 45 ksc
                         fy  = 2400 ksc
                         fs  = 1200 ksc
                         n   = 13.5
                         Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
   Column Diameter = 25 cm
   Axial Load   = 25000 Kg
   Covering    =3 cm

   Main Steel Bars : As =  13.265  cm^2
                   : use  12  RB12

   ps =  1.37119113573407E-02
   vs =  388.575  cm^3
   l  =  1375  cm
   Tie Bars  : use RB6
             : Maximum Spacing = 4 cm
==========================================================================
```

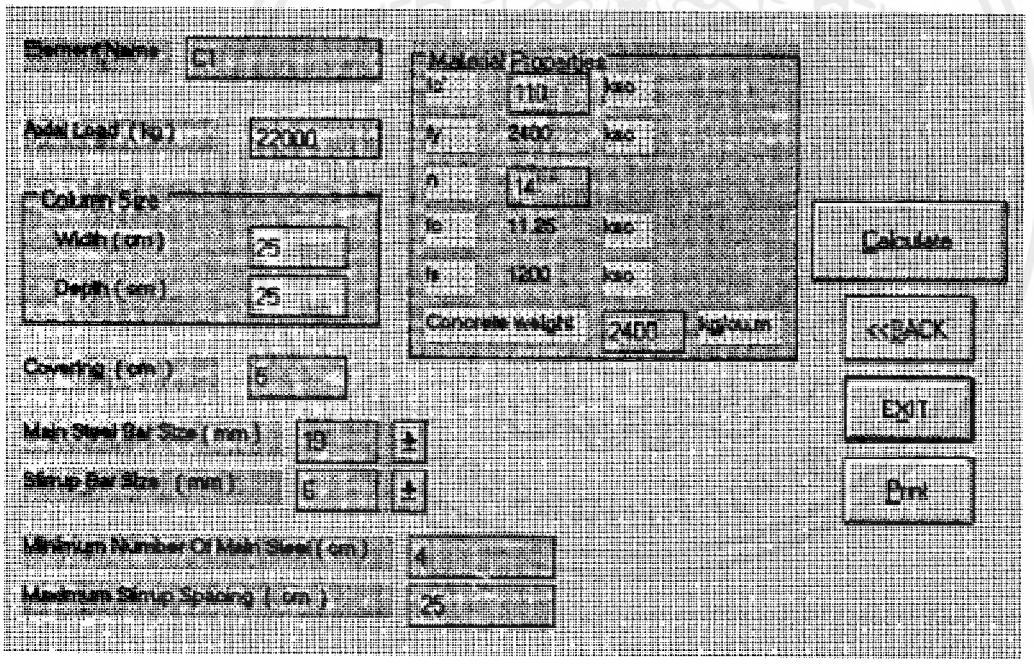
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

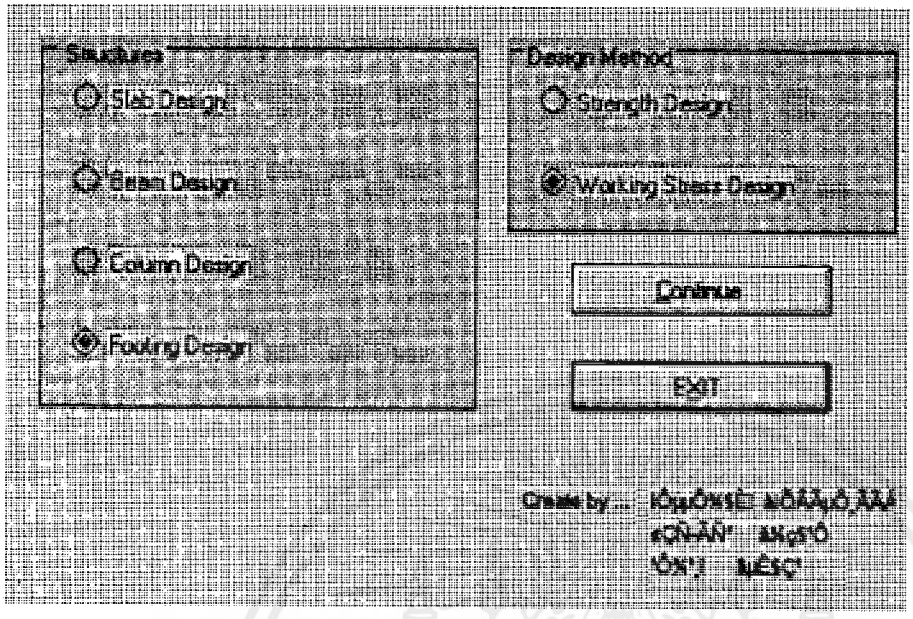


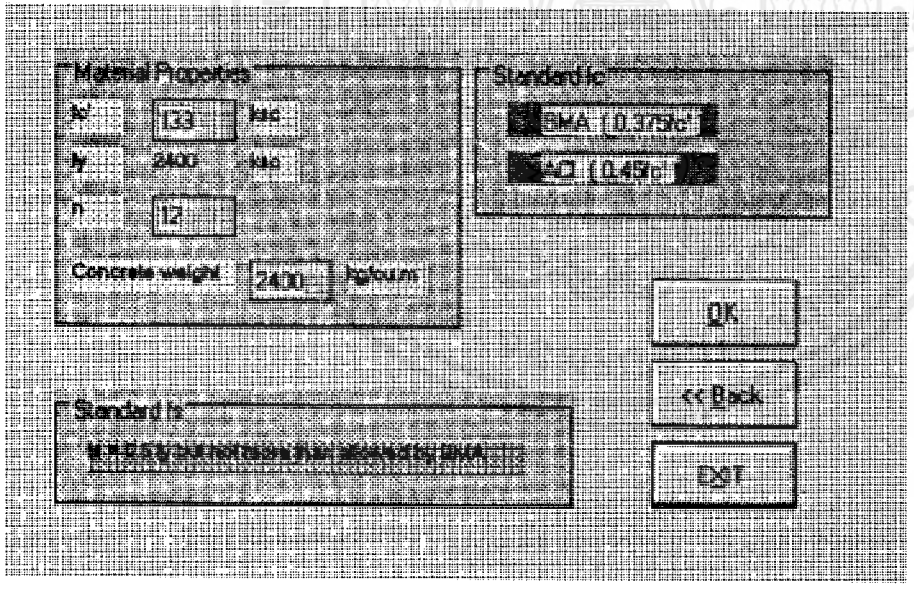


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

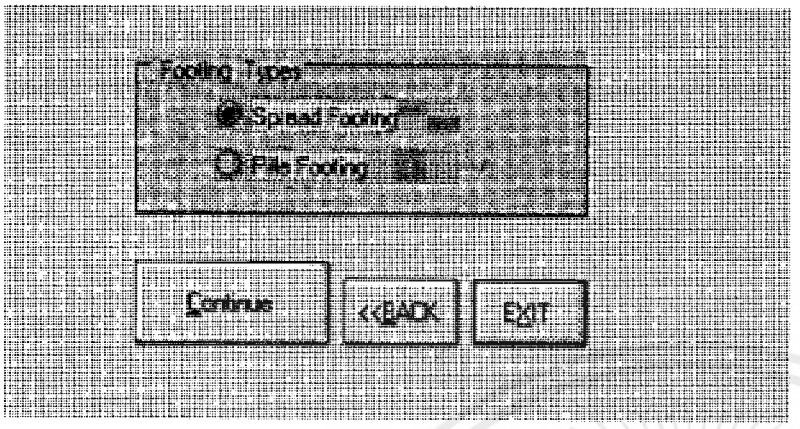
```
==========================================================================
          Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
     Short Rectangular Column Design by Working Stress Method
==========================================================================
     Element Name : C1
     Material Properties : f'c = 110 ksc
                           fc  = 49.5 ksc
                           fy  = 2400 ksc
                           fs  = 1200 ksc
                           n   = 110
                           Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
     Size : Width = 25 cm
          : Depth = 25 cm
     Axial Load   = 22000 Kg
     Covering    =5 cm

     Main Steel Bars : As =  0  cm^2
                     : use  4  RB19
     Tie Bars  : use RB6
               : Maximum Spacing =  25 cm
==========================================================================
```

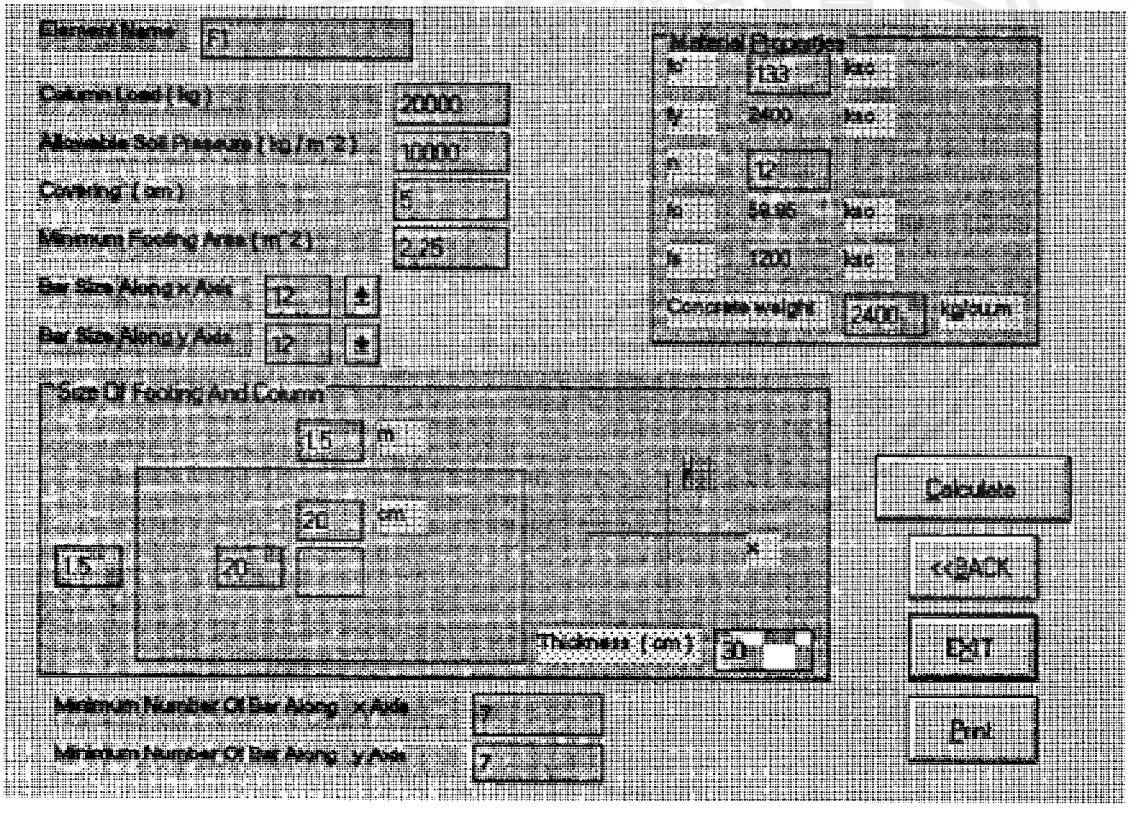
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

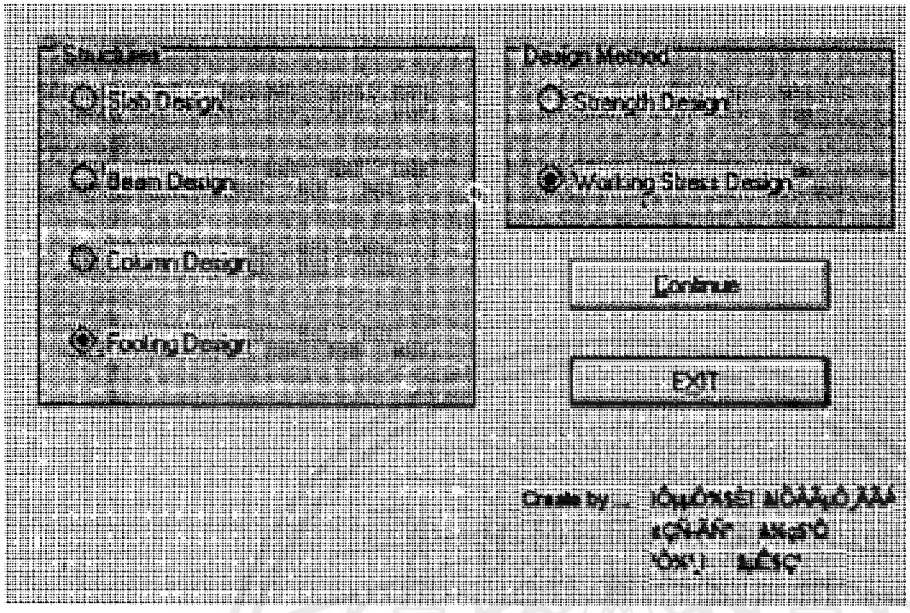


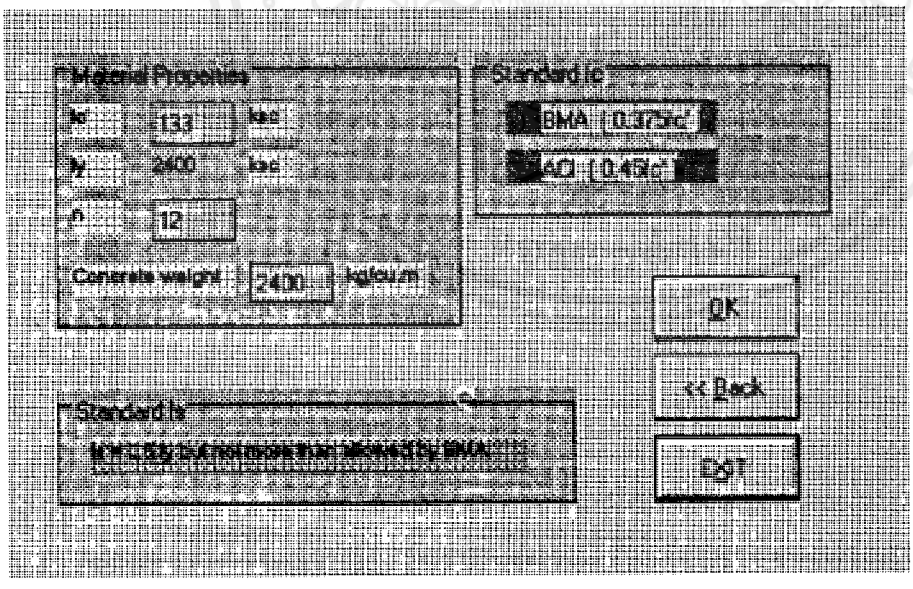


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

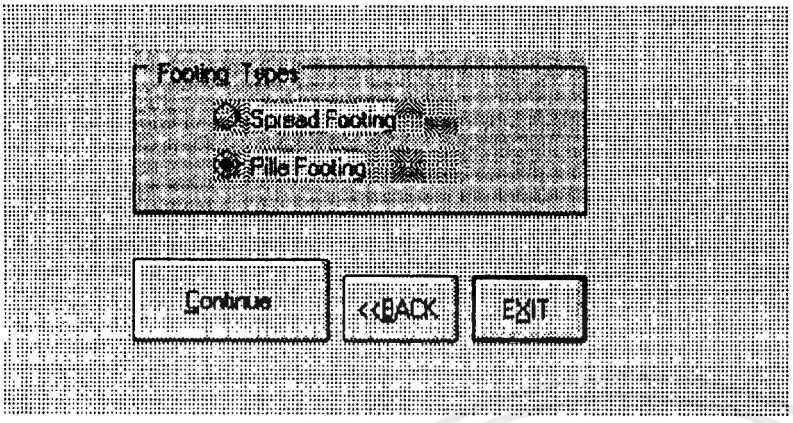
```
==========================================================================
          Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
        Spread Footing Design by Working Stress Method
==========================================================================
     Element Name : F1
     Material Properties : f'c = 133 ksc
                           fc  = 59.85 ksc
                           fy  = 2400 ksc
                           fs  = 1200 ksc
                           n   = 12
                           Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
     Column Load = 20000 kg
     Allowable Soil Pressure = 10000 kg/m^2
     Covering = 5 cm
     Minumum Footing Area = 2.25 m^2
     Column Size  : 20 * 20 cm^2
     Footing Size : 1.5 * 1.5 m^2
                  : 30 cm
     k = 0.3744
     j = 0.8752
     R = 9.806
     d = 0  cm
     Net Soil Pressure = 8888.89  kg/m^2
     Beam Action : vc =  3.3444  kg/cm^2
                 : v  =  1.4222  kg/cm^2
     Punching Shear : vc =  6.1123  kg/cm^2
                    : v  =  4.0444  kg/cm^2
     Mx = 1877.778  Kg.m
     My = 1877.778  Kg.m
     Reinforcement : Along x-Axis : As =  7.1518  cm^2
                                  : use  7  RB 12
                                  : ua =  26.376  Kg/cm^2
                                  : u  =  25.5205  Kg/cm^2
                     Along y-Axis : As =  7.1518  cm^2
                                  : use  7  RB 12
                                  : ua =  3.768  Kg/cm^2
                                  : u  =  25.5205  Kg/cm^2
==========================================================================
```

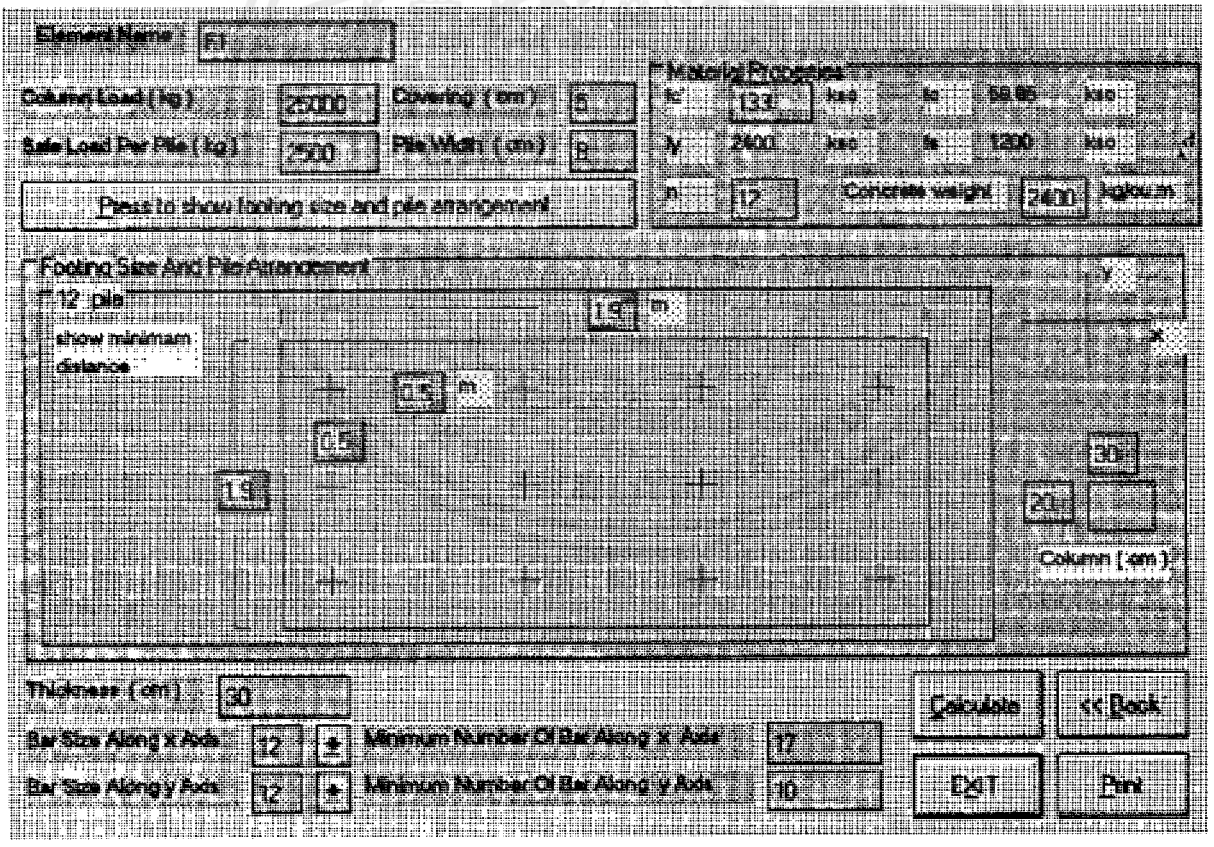
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





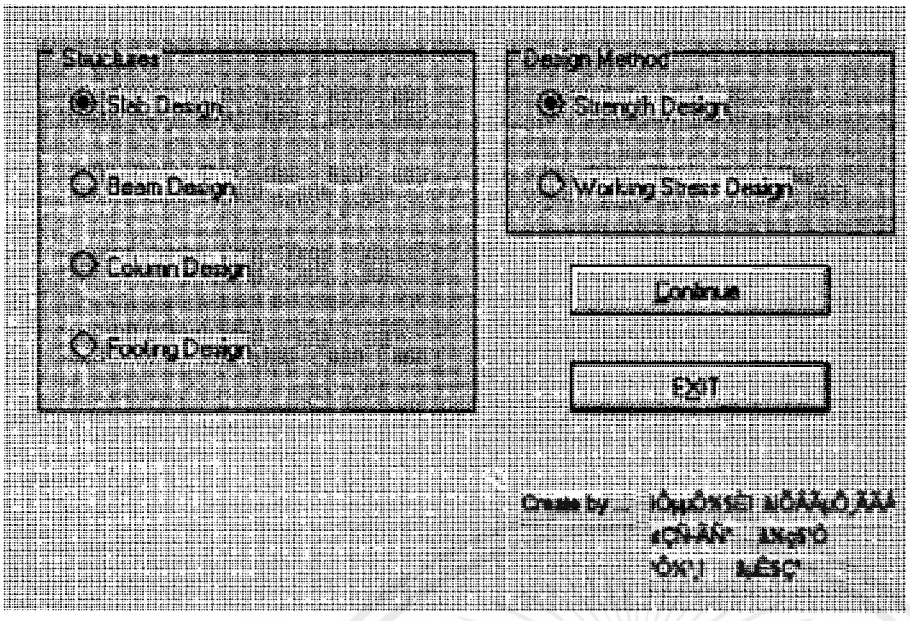
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

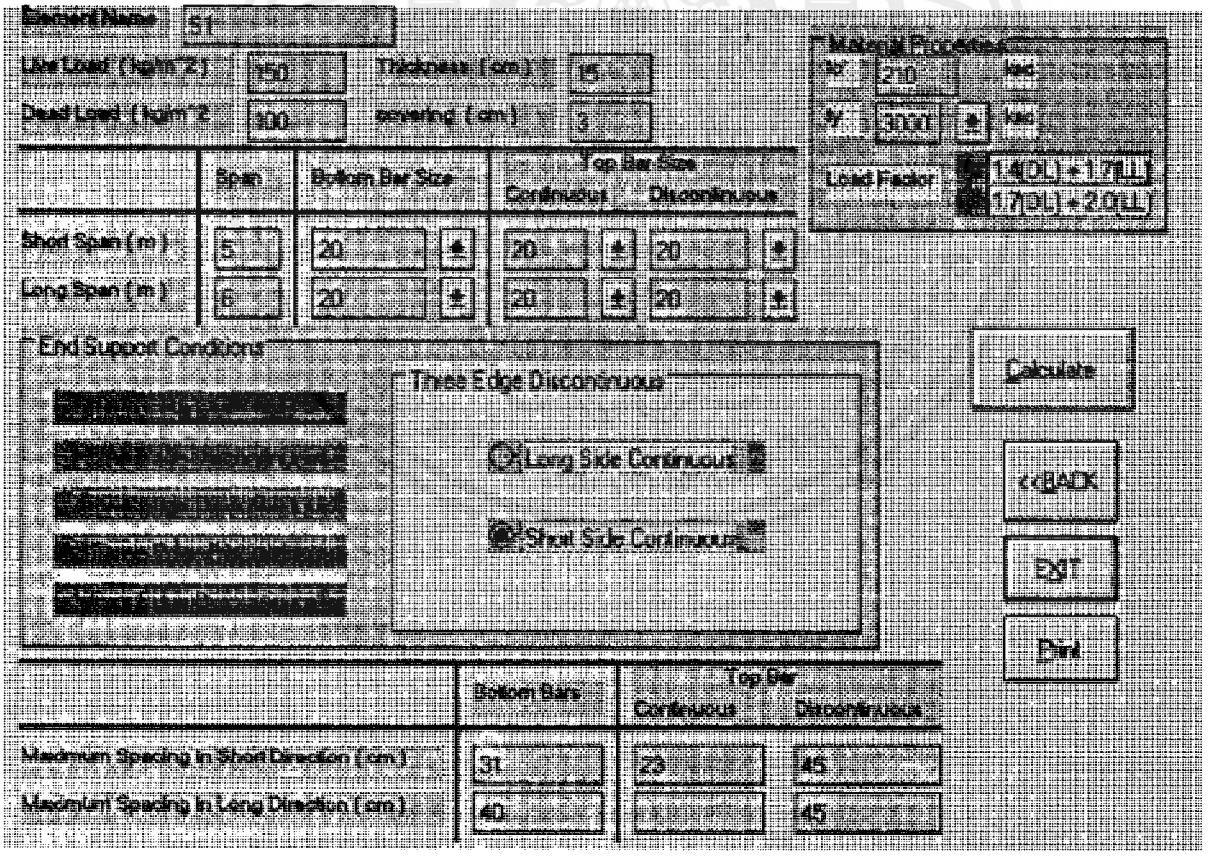
```
==========================================================================
          Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
        Pile Footing Design by Working Stress Method
==========================================================================
    Element Name : F1
    Material Properties : f'c = 133 ksc
                          fc  = 59.85 ksc
                          fy  = 2400 ksc
                          fs  = 1200 ksc
                          n   = 12
                          Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
    Column Load = 25000 kg
    Safe Load Per Pile = 2500 kg/pile
    Pile Width  = 8 cm
    Covering    = 5 cm
    Column Size  : 30 * 20 cm^2
    Thickness : 30 cm
    k = 0.3744
    j = 0.8752
    R = 9.806
    d = 25  cm
    Beam Action : vc =  3.3444  kg/cm^2
                : v  =  10000  kg/cm^2
    Punching Shear : vc =  6.1123  kg/cm^2
                   : v  =  6  kg/cm^2
    Mx = 4731.265  Kg.m
    My = 2703.58  Kg.m
    Reinforcement : Along x-Axis : As =  18.0198  cm^2
                                 : use  17  RB 12
                                 : ua =  3.768  Kg/cm^2
                                 : u  =  0  Kg/cm^2
                    Along y-Axis : As =  10.2971  cm^2
                                 : use  10  RB 12
                                 : ua =  3.768  Kg/cm^2
                                 : u  =  0  Kg/cm^2
==========================================================================
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
==========================================================================
          Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
        Pile Footing Design by Working Stress Method
==========================================================================
   Element Name : F1
   Material Properties : f'c = 133 ksc
                         fc  = 59.85 ksc
                         fy  = 2400 ksc
                         fs  = 1200 ksc
                         n   = 12
                         Concrete Weight = 2400 kg/cu.m
   Column Load = 25000 kg
   Safe Load Per Pile = 2500 kg/pile
   Pile Width  = 8 cm
   Covering    = 5 cm
   Column Size  : 30 * 20 cm^2
   Thickness : 30 cm
   k = 0.3744
   j = 0.8752
   R = 9.806
   d = 25  cm
   Beam Action : vc =  3.3444  kg/cm^2
               : v  =  10000  kg/cm^2
   Punching Shear : vc =  6.1123  kg/cm^2
                  : v  =  6  kg/cm^2
   Mx = 4829.86  Kg.m
   My = 2759.92  Kg.m
   Reinforcement : Along x-Axis : As =  18.3954  cm^2
                                : use  17  RB 12
                                : ua =  3.768  Kg/cm^2
                                : u  =  0  Kg/cm^2
                   Along y-Axis : As =  10.5116  cm^2
                                : use  10  RB 12
                                : ua =  3.768  Kg/cm^2
                                : u  =  0  Kg/cm^2
==========================================================================
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

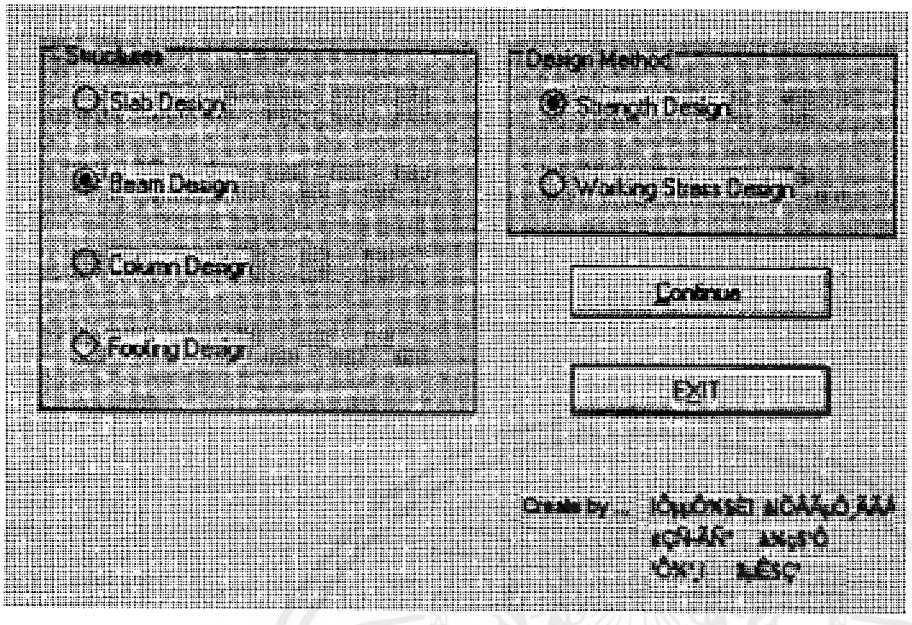


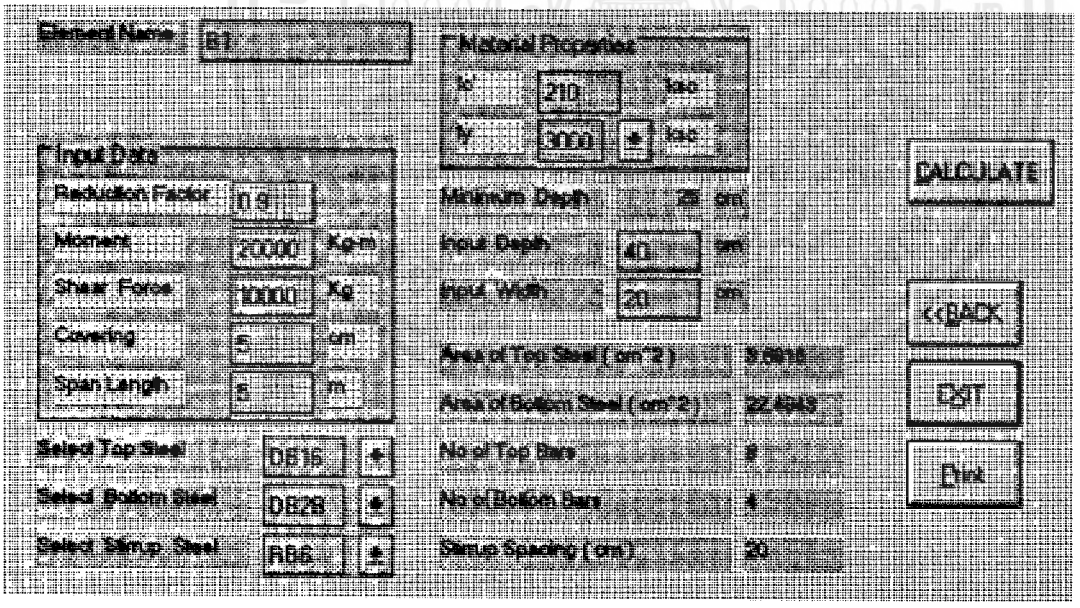


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
==========================================================================
            Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
          Two Way Slab Design by Ultimate Strength Method
==========================================================================
     Element Name : S1
      Three Edge Discontinuous
     Material Properties : f'c = 210 ksc
                           fy  = 3000 ksc
                           Load Factor = 1.4DL + 1.7LL
     Size : Short Span = 5 m
          : Long Span  = 6 m
     Live Load    = 150 Kg
     Dead Load    = 100 Kg
     Thickness    = 15 cm
     Covering     =3 cm
     W =  2259  kg
     k1 =  0.85
     pb = 0.0339
     pmax = 0.0254
     pmin = 0.0047
     Rn = 60.021  cm^2
     Mu = 7778.715  cm^2
     Short Direction :
         M- continuous     = 4179.15  Kg.m
                           : use RB20  Maximum Spacing = 23 cm
         M- discontinuous  = 2089.575  Kg.m
                           : use RB20  Maximum Spacing = 45 cm
         M+                = 3162.6  Kg.m
                           : use RB20  Maximum Spacing = 31 cm
     Long  Direction :
         M- continuous     = 0  Kg.m
                           : use RB20  Maximum Spacing =  cm
         M- discontinuous  = 1637.775  Kg.m
                           : use RB20  Maximum Spacing = 45 cm
         M+                = 2484.9  Kg.m
                           : use RB20  Maximum Spacing = 40 cm
     vc = 0  Kg/cm^2
     v  = 2.567  Kg/cm^2
==========================================================================
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

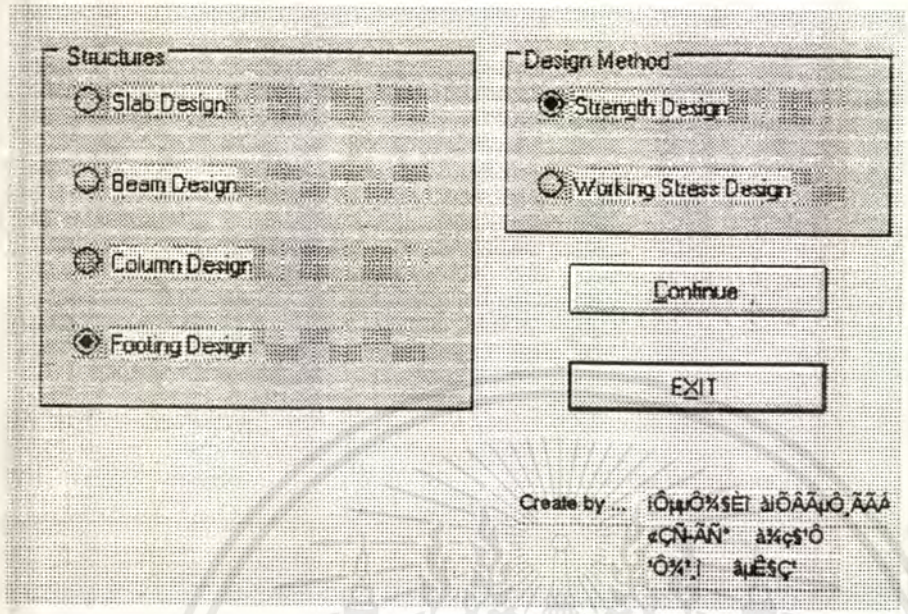


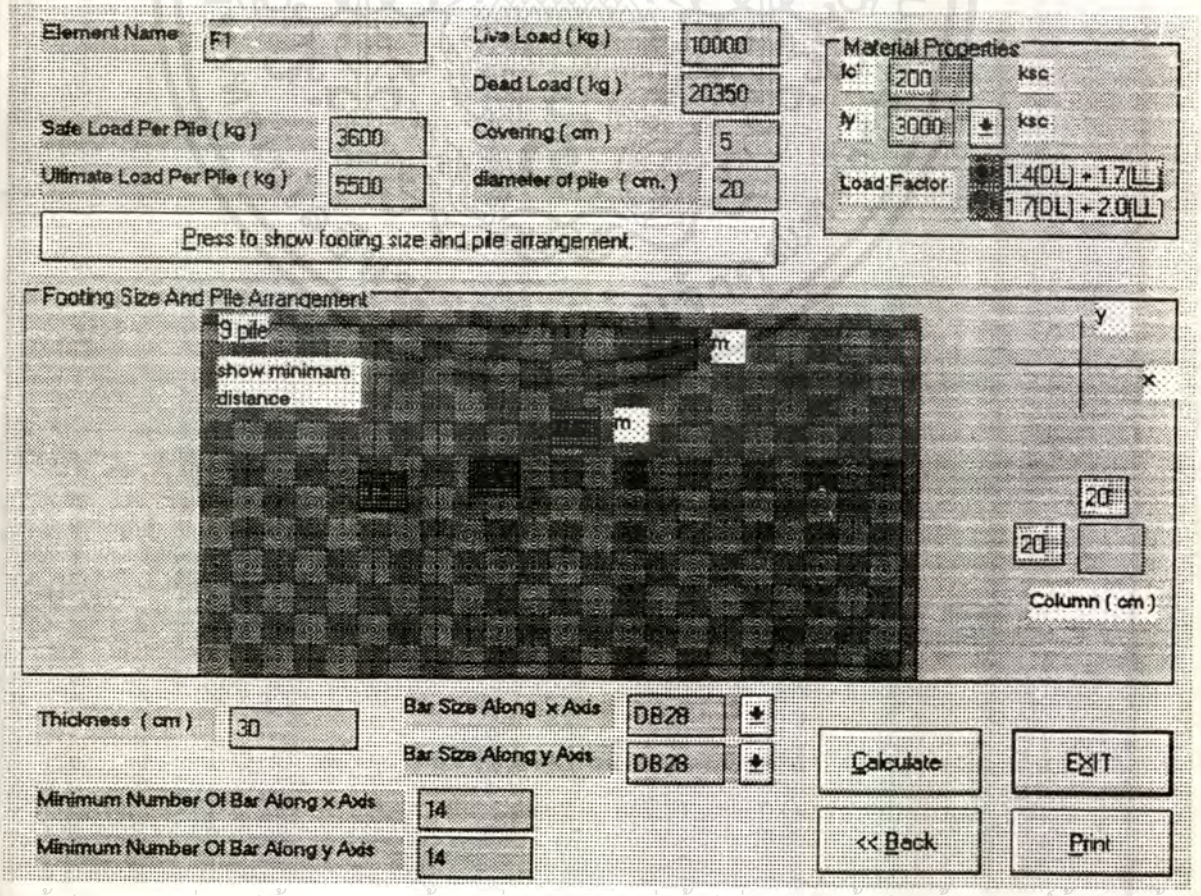


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

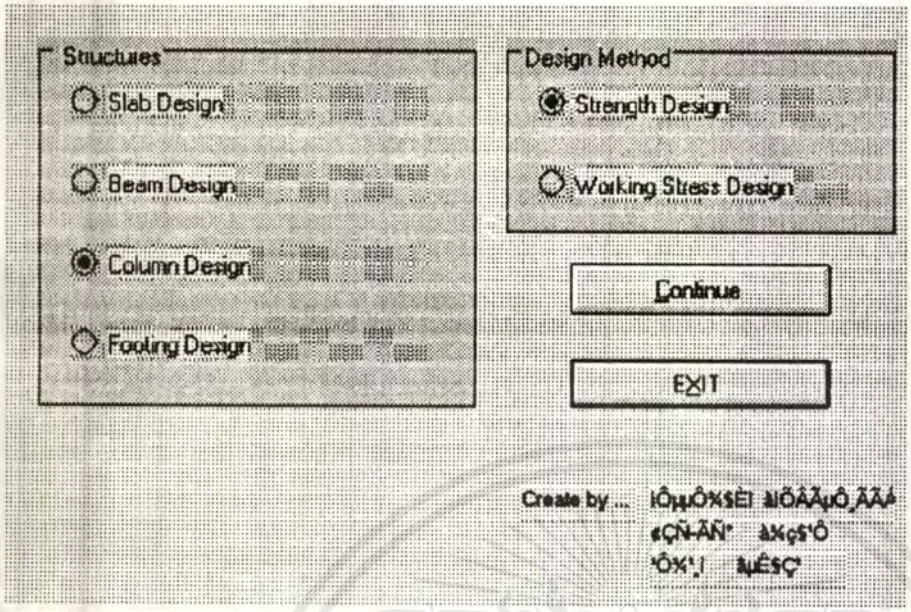
```
==========================================================================
            Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
             Beam Design by Ultimate Strength Method
==========================================================================
     Element Name : B1
     Material Properties : f'c = 210 ksc
                           fy  = 3000 ksc
     Size : Depth = 40 cm
          : Width = 20 cm
     Reduction Factor = 0.9
     Moment       = 20000 Kg.m
     Shear Force = 10000 Kg
     Span Length = 5 m
     Covering    =5 cm
     d =  0  cm
     k1 =  0.85
     pb = 0.0359
     pmax = 0.0269
     pmin = 0.0047
     Rn = 79.559  cm^2
     Mr = 16568.163  Kg.m
     Moment =     Moment =     Moment = 20000  Kg.m
     asr =  0  cm^2
     ast =  3.6316  cm^2
     Reinforcement : Top Steel      : As =  3.6316  cm^2
                                    : use  3  DB16
                     Bottom Steel   : As =  22.4943  cm^2
                                    : use  4  DB28
     vr = 4569.8557  Kg/cm^2
     vt  = 0  Kg/cm^2
     Stirrup Steel : Av =  0  cm^2
                   : use RB6; Maximum Spacing =  20  cm
     ua =  2.6936  Kg/cm^2
     u  = -0.1353  Kg/cm^2
==========================================================================
```

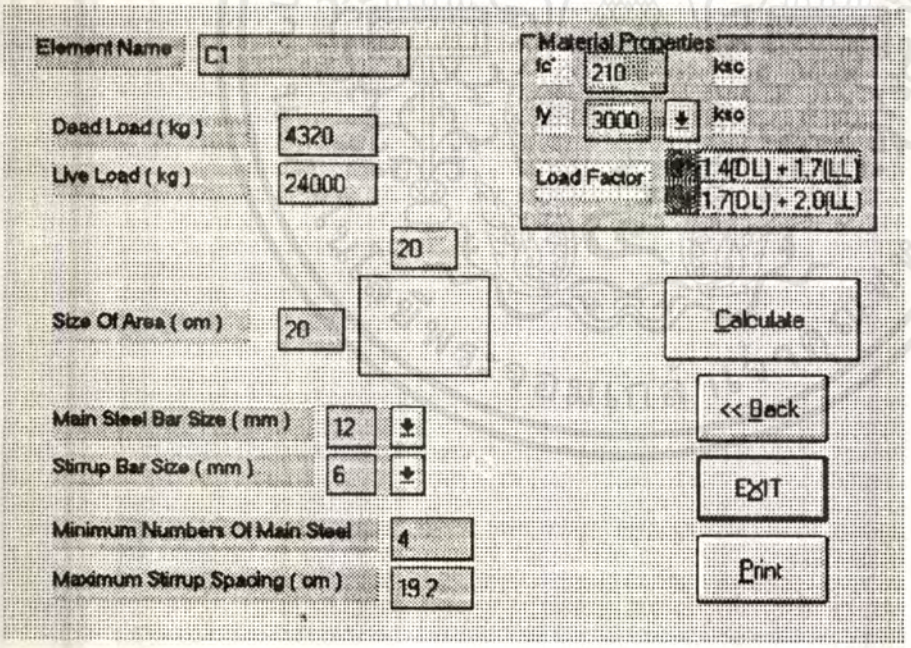
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reinforced Concrete Design by Visaul Basic
Short Retangular Column Design by Ultimate Strength Method

Element Name : 210
Material Properties : f'c = 20 ksc
fy = 12 ksc
Load Factor = 1.4DL + 1.7LL
Size : Width = 20 cm
: Depth = 20 cm
Dead Load = 4320 Kg
Live Load = 24000 Kg
Pu = 46848 kg
Main Steel Bars : As = 4.3442 cm^2
: use 4 RB12
Tie Bars : use RB6
: Maximum Spacing = 19.2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุป

เนื่องจากการออกแบบทั้งอาคารนั้นเป็นงานที่ซับซ้อนมากมีรายละเอียดสูง จึงเป็นการยากในการศึกษารายละเอียดการคำนวณและการออกแบบให้ได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังขาดประสบการณ์ในการออกแบบและการเขียนโปรแกรม ดังนั้น โครงงานโปรแกรมออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเขียนโดย Visual Basic Version 4 จึงมีขอบเขตการทำงานของโปรแกรมที่จำกัด

แต่จะเห็นได้ว่าเราสามารถพัฒนาโปรแกรมออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้ และถ้าหากต้องการออกแบบโครงสร้างที่มีความละเอียดในการคำนวณที่มากกว่านี้ก็สามารถนำโครงงานนี้ไปพัฒนาขั้นตอนในการคำนวณได้ แต่ก็คงต้องใช้เวลาและความสามารถในการศึกษาเรื่องการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic Version 4 อยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

a = ความลึกของบล็อคหน่วยแรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่า, มีค่า = k_1c

a = As fsu / 0.85 $fc'b$

Ac = เนื้อที่แกนคอนกรีตของเสาปลอกเกลียว วัดถึงขอบนอกสุดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียว

Ac = เนื้อที่หน้าตัดของแกนคอนกรีตภายในวงเหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กลูกตั้งใช้ในการคำนวณแรงบิด

Ag = เนื้อที่ของคอนกรีตภายในเสาที่ทำด้วยท่อเหล็ก

Ag = เนื้อที่ทั้งหมดของเสาเหล็กปลอกเกลียวหรือเสาเหล็กปลอกเดี่ยว

Ag = เนื้อที่ส่วนที่เป็นคอนกรีตในเสาคอนกรีตแกนเหล็ก

Ag = เนื้อที่ทั้งหมดของคอนกรีตที่ห่อหุ้มเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต

Ag = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

Ar = เนื้อที่ของแกนเหล็กหรือแกนเหล็กหล่อของเสา ค.ส.ล. แกนเหล็ก, หรือเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต, หรือเสาทำด้วยท่อเหล็ก

As = เนื้อที่ของเหล็กเสริมรับแรงดึง

As = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมแต่ละเส้น ใช้ในการคำนวณแรงบิด

As = เนื้อที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัด

Asf = เนื้อที่เหล็กเสริม ซึ่งทำให้เกิดกำลังอัดของปีกที่ยื่นในหน้าตัดรูป I และ T

Asr = เนื้อที่ของเหล็กกำที่ต้องการสำหรับเป็นตัวคาน

Ast = เนื้อที่ทั้งหมดของเหล็กเสริมตามยาว

Av = เนื้อที่ทั้งหมดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ทำหน้าที่รับแรงดึงภายในระยะ s ซึ่งวัดในทิศทางขนานกับเหล็กเสริมตามยาว

α = มุมเอียงระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือน และแกนตามยาวของอาคาร

α = การเปลี่ยนแปลงแนวเหล็กเสริมอัดแรงทั้งหมด วัดมุมเป็นเรเดียนจากหัวยึดถึงระยะ x

b = ความกว้างของผิวหน้าซึ่งรับแรงอัดของโครงอาคารรับแรงดัด

b' = ความกว้างของตัวคานในหน้าตัดรูป I และรูป T

b_o = เส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤตสำหรับพื้นและฐานราก

b_o = เส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c = ระยะจากขอบผิวซึ่งเกิดแรงอัดสูงสุดไปยังแกนสะเทินที่กำลังประลัย

C = แรงอัดในคอนกรีต

d = ระยะจากผิวนอกสุดซึ่งรับแรงอัดจนถึงศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึง

d' = ระยะจากผิวนอกสุดซึ่งรับแรงอัดจนถึงศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงอัด

D = น้ำหนักคงที่ใช้งาน

D, d_b = เส้นผ่าศูนย์กลางระบุของเหล็กเส้น

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเสากลม

Ds = เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลม วัดผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวในเสาปลอกเกลียว

Δ = ระยะโก่งสูงสุดของโครงอาคารซึ่งเกิดจากการทดลองน้ำหนัก โดยเทียบกับปลายสุดของช่วง หรือเป็นระยะโก่งสูงสุดที่ปลายของโครงอาคารยื่น โดยเทียบกับที่รองรับ

e, e' = ระยะเยื้องศูนย์ของแรงลัพธ์ที่กระทำบนเสา โดยวัดจากแกนศูนย์ถ่วง

e_b, e_b' = ระยะเยื้องศูนย์ ณ ภาวะสมดุลย์

e = ฐานของนาปีเลียนลอกกะลิทึม (Naperian logarithms)

ε_u = หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีต ณ จุดประลัย

ε_{su} = หน่วยการยืดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม ณ จุดประลัย

ε_s = หน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม

ε_c = หน่วยการหดตัวของคอนกรีต

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

E_s = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม = 2,040,000 กก./ซม.^{2}

f_a = แรงตามแกนหารด้วยเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด Ag

f_c = หน่วยแรงอัดในคอนกรีต

f_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต รูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน

f_{ci}' = กำลังอัดของคอนกรีต เมื่อเวลาเริ่มอัดแรงในคอนกรีต

f_{cp} = หน่วยแรงกดของคอนกรีตที่ปลายยึด ในระบบอัดแรงทีหลัง

f_r = หน่วยแรงที่ยอมให้ในแกนเหล็กของเสาคอนกรีตแกนเหล็ก

f_r' = หน่วยแรงที่ยอมให้บนเสาเหล็ก ซึ่งยังไม่ได้หุ้มด้วยคอนกรีต และบนเสาที่ทำด้วยท่อเหล็ก

f_s = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม

f_s = หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมตามแนวตั้งของเสา

f_s = หน่วยแรงทียอมให้ในเหล็กเสริมตามยาวของส่วนอาคารรับแรงบิด

f_{se} = หน่วยแรงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_{su} = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมที่จุดรับแรงประลัย

f_v = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

f'_s = กำลังดึงประลัยของเหล็กเสริม

f_y = กำลังคลากของเหล็กเสริม

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ สำหรับแรงดัดเพียงอย่างเดียว

h = ความยาวของเสาที่แท้จริงระหว่างที่รองรับ

h = ระยะจากขอบบนสุดของพื้นจนถึงขอบล่างสุดของหัวเสา

h' = ความยาวประสิทธิผลของเสา

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของคานหรือเสา

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดร่วมแปลงโดยไม่คิดเนื้อที่ของคอนกรีตส่วนที่รับแรงอัด

j = อัตราส่วนของระยะระหว่างศูนย์ถ่วงของแรงอัด และศูนย์ถ่วงของแรงดึงต่อความลึก d

k_1 = a/c

K = สติฟเนสแฟคเตอร์ EI / L

K = สัมประสิทธิ์เสียดทานเนื่องจากความคดต่อความยาวเป็นเมตรของเหล็กเสริมอัดแรง

K_c = รัศมีไจเรชั่นของคอนกรีตในเสาซึ่งทำด้วยท่อโลหะ

K_s = รัศมีไจเรชั่นของท่อโลหะในเสาซึ่งทำด้วยท่อโลหะ

L = ช่วงความยาวของพื้นหรือคาน

L' = ระยะช่วงว่างสำหรับการหาโมเมนต์บวกและแรงเฉือน และเท่ากับผลเฉลี่ยของระยะช่องว่างช่วงติดกัน สำหรับการหาโมเมนต์ลบ

L = น้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนด บวกด้วยแรงกระแทก

L_d, l_d = ความยาวยึดเหนี่ยว

m = $fy / 0.85\ f'_c$

M = โมเมนต์คัด

M_{cr} = โมเมนต์ดัดที่ทำให้เกิดรอยแตกในคอนกรีต

M' = โมเมนต์ดัดที่ดัดแปลงแล้ว

M_D = โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ ซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่คอนกรีตซึ่งหล่อกับที่จะมีกำลังได้ร้อยละ 75 ของกำลังอัดที่ 28 วัน ตามที่กำหนดไว้

M_L = โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักบรรทุกคงที่ซึ่งเพิ่มเข้าไป

M_t = โมเมนต์บิด

M_u = โมเมนต์ดัดประลัยใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M'_u = โมเมนต์คัดประลัย

μ = สัมประสิทธิ์ความฝืดเนื่องจากความโค้ง

n = อัตราส่วนของโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กต่อของคอนกรีต

N = น้ำหนักตั้งได้ฉากกับหน้าตัด ให้คิดเป็นบวกสำหรับแรงอัด ลบสำหรับแรงดึง และให้คิดถึงผลของแรงดึงอันเนื่องมาจากการหดตัว และการล้าด้วย

N = น้ำหนักเยื้องศูนย์ ซึ่งตั้งได้ฉากกับหน้าตัดของเสา

N_b = ค่าของ N ซึ่งถ้าต่ำกว่านั้นแรงดึงจะเป็นตัวกำหนดระยะเยื้องศูนย์ปลอดภัยและถ้าสูงกว่านั้นแรงอัดจะเป็นตัวกำหนด

p = อัตราส่วนของเนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิผลของคอนกรีตในคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในตัวคานซึ่งมีปีก

p' = อัตราส่วนของเนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงอัดต่อเนื้อที่ประสิทธิผลของคอนกรีต

p_b = อัตราส่วนเหล็กเสริมซึ่งทำให้เกิดภาวะสมดุลย์ ณ กำลังประลัย

p_g = อัตราส่วนของเนื้อที่เหล็กเสริมตามแนวดิ่งต่อเนื้อที่ทั้งหมด Ag

p_s = อัตราส่วนของปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวต่อปริมาตรทั้งหมดของแกน (วัดที่ขอบนอกสุดของเหล็กปลอกเกลียว) ของเสาเหล็กปลอกเกลียวหรือเสา ค.ส.ล. แกนเหล็ก

p = As / bd

p' = $A'_s / b'd$

p_f = $Asf / b'd$

p_w = $As / b'd$

P = น้ำหนักปลอกภัยตามแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยไม่คิดส่วนลดสำหรับความยาวหรือระยะเยื้องศูนย์ของเสา

P = น้ำหนักปลอดภัยตามแกนของเสาคอนกรีตแกนเหล็ก เสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต หรือเสาที่ทำด้วยท่อเหล็กโดยไม่คิดส่วนลดสำหรับความยาวหรือระยะเยื้องศูนย์ของเสา

P_u = น้ำหนักประลัยใช้งานของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

P'_u = น้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

Q = โมเมนต์สถิตของเนื้อที่แปลงภายนอกของผิวที่สัมผัสกันรอบแกนสะเทินของหน้าตัดร่วม

q = $A_s fy / db f'_c$ หรือ = $A_s f_{su} / bd f'_c$

r = รัศมีไจเรชั่นของเนื้อที่คอนกรีตทั้งหมดของหน้าตัดเสา

r′ = อัตราส่วนของ $\sum K$ ของเสาต่อ $\sum K$ ของอาคารส่วนที่เป็นพื้นในระนาบที่ปลายข้างหนึ่งของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R = ตัวคูณลดค่าสำหรับเสายาว

s = ระยะห่างของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กคอม้า ในทิศทางขนานกับเหล็กเสริมตามยาว

t = ความหนาของโครงอาคารรับแรงดัด

t = ความลึกทั้งหมดของหน้าตั ด

t = ความหนาของปีกในหน้าตัดรูป I และ T

t = ความลึกทั้งหมดของเสารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

t = ความหนาของพื้น ณ จุดกึ่งกลางของช่วง

t = ความหนาของผนัง

T = แรงดึงในเหล็กเสริม

T_o = แรงในเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายยึด

T_x = แรงในเหล็กเสริมอัดแรงที่ระยะ x

u = หน่วยแรงยึดเหนี่ยว

u_u = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัย

U = ปริมาณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยตามที่กำหนดของหน้าตัด

v = หน่วยแรงเฉือน

vc = หน่วยแรงเฉือนซึ่งคอนกรีตสามารถรับได้

vh = หน่วยแรงเฉือนทางแนวราบตามผิวหน้าที่สัมผัส

vt = หน่วยแรงบิด

vu = หน่วยแรงเฉือนประลัยระบุซึ่งใช้เป็นตัววัดแรงดึงทแยง

V = แรงเฉือนทั้ งหมด

V′ = ส่วนของแรงเฉือนซึ่งรับได้โดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

Vc = แรงเฉือนของคอนกรีตที่สามารถรับได้

Vci = แรงเฉือนที่รอยแตกทแยงเนื่องจากน้ำหนักทั้งหมด เมื่อรอยแตกดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน

V_{cw} = แรงเฉือนที่รอยแตกทแยงเนื่องจากน้ำหนักทั้งหมด เมื่อรอยแตกดังกล่าวเกิดขึ้น เนื่องจากแรงดึงหลักในตัวคานมากเกินควร

Vu = แรงเฉือนประลัยทั้งหมด

V'_u = แรงเฉือนประลัยซึ่งต้านโดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w = น้ำหนักต่อหน่วยความยาวของคาน หรือ ต่อหน่วยเนื้อที่ของพื้น

w = น้ำหนักของคอนกรีต ตัน / $ม_3$

W = แรงลม

z = ระยะห่างระหว่างเหล็กตามยาว

$\sum$ = ผลรวม

$\sum_o$ = ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมดที่ประสิทธิผลและมีขนาดเท่ากันตลอด ซึ่งผ่านข้ามหน้าตัดบนด้านที่รับแรงดึง ถ้าขนาดเหล็กไม่เท่ากันให้แทนค่าด้วย $4 A_s / D$ โดยที่ As หมายถึงเนื้องที่เหล็กทั้งหมด และ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นที่ใหญ่ที่สุด สำหรับเหล็กที่มัดรวมเป็นกำให้ใช้ผลรวมของเส้นรอบรูปส่วนที่มองเห็นทั้งหมด

ϕ = ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร, "คอนกรีตเสริมเหล็ก", พิมพ์ครั้งที่ 1, 2518
2. ร.ศ. ชาญชัย จารุจินดา, "การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
3. ค.ร.ศรีกริช หิรัญมาศ,"เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 2", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. อ.อำนวย พานิชกุลพงศ์ , "เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 1", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้