



พฤติกรรมในการรับน้ำหนัก  
ของโครงสร้างคอนกรีตเสาคานเมื่อใช้เหล็กเสริมมัดรวมเป็นกลุ่ม  
BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS AND COLUMNS  
WITH BUNDLED REINFORCEMENT



โดย  
นายสมบุญ ทรงพิพัฒน์  
นางสาวสุชาดา เสดิมกุล  
นายอนิรุท วิจิตร

- ๒๕๕๑  
วัน เดือน ปี.....  
เลขทะเบียน..... 038452  
เลขเรียกหนังสือ... T 3๓ ๒๑.5๓.๒๕๕๑ พ.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ พฤติกรรมในการรับน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเสาคานเมื่อใช้เหล็กเสริมมัดรวมเป็นกลุ่ม

BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS AND COLUMNS  
WITH BUNDLED REINFORCEMENT

ผู้จัดทำ นายสมบูรณ์ ทรงพิพัฒน์ 36014458

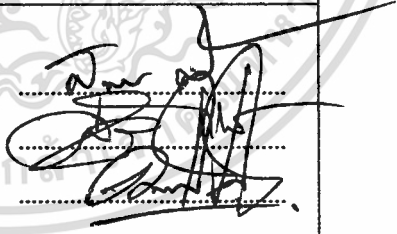
นางสาวสุชดา เผลิมกุล 36014495

นายอนิรุท วิจิตร 36014539

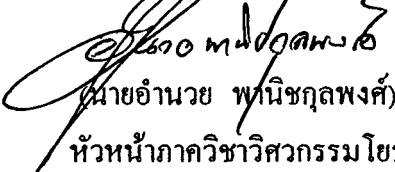
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.สุพจน์ ศรีนิล	
อ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
อ.คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา รับรองแล้ว

  
 (นายอำนวยการ พานิชกุลพงศ์)  
 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

**พฤติกรรมในการรับน้ำหนัก**  
**ของโครงสร้างคอนกรีตเสาคานเมื่อใช้เหล็กเสริมมัดรวมเป็นกลุ่ม**  
**BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS AND COLUMNS**  
**WITH BUNDLED REINFORCEMENT**

โดย นายสมบูรณ์ ทรงพิพัฒน์ 36014458  
 น.ส.สุชาดา เสดิมกุล 36014495  
 นายอนิรุท วิจิตร 36014539  
 อ.คมสัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษา

**บทคัดย่อ**

ในการก่อสร้างที่เป็นอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารสูง ส่วนของโครงสร้างต่างๆ จะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามสภาวะการใช้งาน และยังคงคำนึงถึงโครงสร้างในด้านสถาปัตยกรรมด้วย ดังนั้นในโครงสร้างเสาคานจะมีขนาดจำกัดในขณะที่ปริมาณเหล็กเสริมหนาแน่นซึ่งมีผลให้การเทและการจี้คอนกรีตตลอดจนการต่อทาบเหล็กเป็นไปได้ยาก วิธีแก้ปัญหานี้ได้แก่ การใช้เหล็กเสริมแบบมัดรวมเป็นกลุ่ม ในโครงการนี้จึงได้ดำเนินการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างการเสริมเหล็กแบบปกติและการเสริมเหล็กแบบมัดรวมเป็นกลุ่ม โดยศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดตามแนวแกนจากตัวอย่างเสาทดสอบ และศึกษาพฤติกรรมการรับแรงคดจากตัวอย่างคานทดสอบ

**Abstract**

In big or high building, concrete structures are designed for heavy load and with regard to the architectural structures. So beams and columns are confined cross section and consisted of heavy reinforcement. As a result, it is difficult to properly place and vibrate concrete in over-crowded reinforcement, include to splice the bars. for remedy is using the bundled bars. In this project is testing, bundled bars compare to spaced bars. And study compressive behavior by column samples and flexural behavior by beam samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การที่โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงได้นั้น นอกจากการทำงานของผู้จัดทำเองแล้ว ยังต้องอาศัยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากผู้ที่มีอุปการะคุณหลายท่าน ดังมีรายนามที่พอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. อาจารย์คมสัน มาลีสี อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดการทำโครงการนี้
2. เพื่อนๆร่วมกลุ่มอาจารย์ที่ปรึกษาเดียวกันที่ให้ความช่วยเหลือกันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการกวดขันทดสอบ
3. เพื่อนๆในภาคและลุ่มชะอ้อนที่ให้ความช่วยเหลือในการเทคอนกรีต และงานอื่นๆตลอดจนให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ รวมถึงเพื่อนๆต่างภาคที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำโครงการนี้
4. พ่อ แม่ พี่ น้อง และญาติมิตรของผู้จัดทำทุกท่านที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา
5. ห้องสมุดภาควิชาวิศวกรรมโยธา ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทำงาน และกิจกรรมอื่นๆที่มีผลให้โครงการนี้สำเร็จลงได้
6. บุคคลอื่นๆที่ให้ความช่วยเหลือในโครงการนี้ที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกท่าน

คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณบุคคลเหล่านี้ไว้ ณ.ที่นี้

นายสมบุรณ์ ทรงพิพัฒน์

นางสาวสุชาดา เสดิมกุล

นายอนิรุท วิจิตร

18 เมษายน 2540

## สารบัญ (1)

	หน้า
หน้าอำนวยการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีกำลังประลัย	3
2.2 เสาศัณเสริมปลอกเดี่ยว	8
2.3 คานคอนกรีตเสริมเหล็ก	12
2.4 แรงเฉือนประลัย	18
2.5 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัย	20
2.6 การแตกร้าว	28
2.7 พิกัดควบคุมระยะ โกง	33
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ	36
3.1 คาน	36
3.2 เส้า	37
3.3 ขั้นตอนการหล่อคานและเส้าตัวอย่าง	38
3.4 หลักการออกแบบคานตัวอย่าง	38
3.5 หลักการออกแบบเส้าตัวอย่าง	43
บทที่ 4 ขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการทดลอง	44
4.1 การทดสอบกำลังดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	44
4.2 การทดสอบแรงอัดในเส้าคอนกรีตเสริมเหล็ก	45
บทที่ 5 ผลการทดลอง	46
5.1 คาน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (2)

	หน้า
5.2 เสา	52
บทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	58
6.1 คาน	58
6.2 เสา	59
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง	60
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบวัสดุ	91
ภาคผนวก ค ข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ	96
ภาคผนวก ง รูปภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง	102
บรรณานุกรม	123



## สารบัญภาพ (1)

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต	4
รูปที่ 2.2 รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต	4
รูปที่ 2.3 แสดงรูปตัดของเสา	8
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการ โค้งหรือหดตัวของเสา	9
รูปที่ 2.5 ศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก	11
รูปที่ 2.6 พฤติกรรมของคาน คสล. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก	12
รูปที่ 2.7 แสดงหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียว	15
รูปที่ 2.8 แสดงอิทธิพลของรอยแตกร้าวที่มีผลต่อค่าแรงยึดเหนี่ยว	23
รูปที่ 2.9 แสดงกราฟความเค้นและหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตและเหล็ก	24
รูปที่ 2.10 แสดงพฤติกรรมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็ก	25
รูปที่ 2.11 แสดงค่าความเค้นดึงที่เกิดจากแรงกดดัน ในแนวรัศมี	26
รูปที่ 2.12 แสดงอิทธิพลของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่มีผลต่อการแตกร้าว	27
รูปที่ 2.13 แสดงการพังแบบเหล็กเสริมหลุดตัวออกจากคอนกรีต	28
รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบต่างๆ	29
รูปที่ 2.15 แสดงการแตกร้าวเนื่องจากแรงกระทำตามแนวแกน	31
รูปที่ 2.16 แสดงกราฟความเค้นในเหล็กและคอนกรีตเมื่อเกิดรอยแตกร้าว	32
กราฟที่ 1 แสดงน้ำหนักบรรทุกของคานเปรียบเทียบที่เหล็กล่าง 4 เส้น	49
กราฟที่ 2 แสดงน้ำหนักบรรทุกของคานเปรียบเทียบที่เหล็กล่าง 6 เส้น	50
กราฟที่ 3 แสดงน้ำหนักบรรทุกของเสาเปรียบเทียบที่เหล็กแกน 8 เส้น	55
กราฟที่ 4 แสดงน้ำหนักบรรทุกของเสาเปรียบเทียบที่เหล็กแกน 12 เส้น	56
รูปที่ ค.1 แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อ Bundle 2	99
รูปที่ ค.2 แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อ Bundle 3	100
รูปที่ ค.3 แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อ Bundle 4	101
รูปที่ ง.1 ภาพแสดงการเสริมเหล็กคานโดยเสริมเหล็กล่าง 4 เส้น	103
รูปที่ ง.2 ภาพแสดงการเสริมเหล็กคานโดยเสริมเหล็กล่าง 6 เส้น	104
รูปที่ ง.3 ภาพแสดงการเสริมเหล็กเสาโดยมีเหล็กยื่น 8 เส้น ( 8DB12 )	105
รูปที่ ง.4 ภาพแสดงการเสริมเหล็กเสาโดยมีเหล็กยื่น 12 เส้น ( 12DB12 )	106

เอกสารที่ 106

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (2)

	หน้า
รูป ง.5 แบบหล่อคานที่ประกอบเสร็จแล้ว	107
รูป ง.6 แบบหล่อเสาที่ประกอบเสร็จแล้ว	107
รูป ง.7 เหล็กเสริมคานที่มัดเสร็จแล้ว	108
รูป ง.8 ภาพแสดงการเรียงเหล็กปลอกคาน	108
รูป ง.9 เหล็กเสริมเสามัดเสร็จแล้ว	109
รูป ง.10 การติดตั้งเหล็กเสริมในไม้แบบ	109
รูป ง.11 ภาพแสดงการเช็ค Slump	110
รูป ง.12 ภาพแสดงการบ่มคาน	110
รูป ง.13 ภาพแสดงการบ่มเสา	111
รูป ง.14 ภาพลูกปูนตัวอย่างที่ทำการ cap หัวแล้ว	111
รูป ง.15 ภาพแสดงคานที่เตรียมทดสอบ	112
รูป ง.16 ภาพแสดงเสาที่ cap หัวด้วย Nonshrink เตรียมทดสอบ	112
รูป ง.17 ภาพ Universal Testing Machine	113
รูป ง.18 ส่วน Control ของเครื่อง UTM	113
รูป ง.19 ภาพแสดง Support ของคาน	114
รูป ง.20 ภาพแสดงการทดสอบแรงอัดของลูกปูน	114
รูป ง.21 ภาพแสดงการกดคานโดยใช้หัวกดแบบ Center-Point Loading	115
รูป ง.22 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 4 เส้นแบบปกติ	115
รูป ง.23 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 4 เส้นแบบมัด 2	116
รูป ง.24 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 6 เส้นแบบปกติ	116
รูป ง.25 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 6 เส้นแบบมัด 2	117
รูป ง.26 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 6 เส้นแบบมัด 3	117
รูป ง.27 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 8 เส้นแบบปกติ	118
รูป ง.28 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 8 เส้นแบบมัด 2	119
รูป ง.29 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 12 เส้นแบบปกติ	120
รูป ง.30 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 12 เส้นแบบมัด 2	121

รูป ง.31 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 12 เส้นแบบมัด 3 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 122

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัยกับทฤษฎีอีลาสติก	7
ตารางที่ 2.2 ความหนาต่ำสุดของพื้นและความลึกต่ำสุดของคาน	33
ตารางที่ 5.1 แสดงการเฉลี่ยค่าต่างๆของคานที่ได้จากการทดลอง	47
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าผลเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 5.1	48
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของคานเปรียบเทียบ จากการทดลองและจากการคำนวณ	51
ตารางที่ 5.4 แสดงการเฉลี่ยค่าต่างๆของเสาที่ได้จากการทดลอง	53
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าผลเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 5.4	54
ตารางที่ 5.6 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเปรียบเทียบ จากการทดลองและจากการคำนวณ	57
ตาราง A Tensile Test of Steel	92
ตาราง B Concrete Compressive Strength Test	93
ตาราง C1 Concrete Mix Design (Readymixed)	94
ตาราง C2 Concrete Mix Design (Readymixed)	95

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการก่อสร้างได้มีการพัฒนาและมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าการสร้างตึกและอาคารขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นกรุงเทพหรือ บริเวณปริมณฑล ซึ่งในอาคารที่มีขนาดใหญ่ ส่วนของโครงสร้างต่างๆ เช่น เสา หรือคานจะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามสภาพการใช้งาน และเนื่องจากเราต้องคำนึงถึงส่วนของโครงสร้างในทางสถาปัตยกรรมด้วย ดังนั้นเสาและคานอาจจะมีขนาดจำกัดซึ่งจะทำให้การเทและการจัดคอนกรีตในส่วนโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมอยู่นานแน่นเป็นไปได้ยาก อาจทำให้เกิดโพรงหรือช่องว่างในโครงสร้างขึ้นซึ่งมีผลทำให้กำลังในการรับน้ำหนักของโครงสร้างนั้นลดลง เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวนี้ เราจึงใช้การเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม เข้ามาช่วยในการก่อสร้างโดยเป็นการเพิ่มพื้นที่ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมให้มากขึ้น และสะดวกในการต่อทาบเหล็ก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมเปรียบเทียบของกำลังอัดใน โครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบปกติกับแบบมัดรวมกลุ่ม
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมเปรียบเทียบของแรงคัดใน โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบปกติกับแบบมัดรวมกลุ่ม

### 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดเฉลี่ย 240 กก/ซม<sup>2</sup>
2. ในส่วนของเสาใช้เสาขนาด 20\*20 ซม. ยาว 75 ซม.
  - 2.1 ใช้เหล็กแกน DB12 จำนวน 12 เส้น เสริมเหล็กแบบปกติ 3 ตัวอย่าง
  - 2.2 ใช้เหล็กแกน DB12 จำนวน 12 เส้น เสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม โดยมัดรวมกลุ่ม กลุ่มละ 2 เส้น 3 ตัวอย่าง
  - 2.3 ใช้เหล็กแกน DB12 จำนวน 12 เส้น เสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม โดยมัดรวมกลุ่ม กลุ่มละ 3 เส้น 3 ตัวอย่าง
  - 2.4 ใช้เหล็กแกน DB12 จำนวน 8 เส้น เสริมเหล็กแบบปกติ 3 ตัวอย่าง
  - 2.5 ใช้เหล็กแกน DB12 จำนวน 8 เส้น เสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม โดยมัด

เอกสารมัดรวมกลุ่ม กลุ่มละ 2 เส้น 3 ตัวอย่าง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในส่วนของคาน ไซ้คานขนาด 15\*30 ซม. ยาว 2.30 ม.

3.1 ไซ้เหล็กเสริมรับแรงดึง(เหล็กล่าง) DB12 จำนวน 6 เส้นซ้อนกันสองแถว เสริมเหล็กแบบปกติ 3 ตัวอย่าง

3.2 ไซ้เหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 จำนวน 6 เส้นเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม โดยมัดรวมกลุ่ม กลุ่มละ 2 เส้น 3 ตัวอย่าง

3.3 ไซ้เหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 จำนวน 6 เส้นเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม โดยมัดรวมกลุ่ม กลุ่มละ 3 เส้น 3 ตัวอย่าง

3.4 ไซ้เหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 จำนวน 4 เส้นแถวเดียว เสริมเหล็กแบบปกติ 3 ตัวอย่าง

3.5 ไซ้เหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 จำนวน 4 เส้นเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม โดยมัดรวมกลุ่ม กลุ่มละ 2 เส้น 3 ตัวอย่าง

ทำการศึกษาและทดลองเปรียบเทียบระหว่าง

-พฤติกรรมในการรับกำลังอัดของโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นเสาต้นแบบรับน้ำหนักตามแนวแกน (AXIAL LOAD) ที่มีการเสริมเหล็กแบบปกติกับแบบที่เสริมเหล็กมัดรวมกลุ่ม

-พฤติกรรมในการรับแรงค้ำของโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีการเสริมเหล็กแบบปกติกับแบบที่เสริมเหล็กมัดรวมกลุ่ม

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีกำลังประลัย

การออกแบบโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัยจะอาศัยกำลังประลัยของวัสดุที่ใช้ เพื่อหาขนาดโครงสร้างในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่ว่าจะเป็น เสา คาน พื้น ฐานราก ฯลฯ ทฤษฎีอีลาสติกจะใช้วิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาต่างๆ เนื่องจากน้ำหนักประลัยใช้งานซึ่งใช้ในการออกแบบ ข้อแตกต่างระหว่างทฤษฎีอีลาสติกกับทฤษฎีกำลังประลัยก็คือ

1. หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กและคอนกรีตจะมีค่าเกินกว่าขีดยืดหยุ่น
2. ค่าของหน่วยแรงในคอนกรีตจะไม่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับการยืดหดตัวที่เกิดขึ้น
3. น้ำหนักที่ใช้ออกแบบจะเป็นน้ำหนักประลัย ซึ่งได้จากการคูณน้ำหนักใช้งานด้วยตัวคูณปลอดภัย ในการออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย

##### 2.1.1 เหตุผลในการใช้ทฤษฎีกำลังประลัยออกแบบ

1. เนื่องจากคำนึงถึงความไม่เป็นสัดส่วนของการยืดหดตัวกับหน่วยแรง เมื่อน้ำหนักกระทำมีค่าสูงๆ ทำให้ค่าที่คาดหมายจากทฤษฎีกำลังประลัยมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงของวัสดุ
2. เนื่องจากทราบค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ได้แน่นอนกว่าน้ำหนักจร ทฤษฎีกำลังประลัยจึงแยกตัวคูณส่วนปลอดภัยไว้แต่ละอย่าง ไม่ใช่ตัวเดียวกันทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจรเหมือนในทฤษฎีอีลาสติก
3. การใช้ทฤษฎีอีลาสติกในการคำนวณออกแบบเสา เป็นการตัดแปลงจากทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งจะไม่ให้พฤติกรรมตามสภาพความเป็นจริงถ้าใช้ทฤษฎีอีลาสติก
4. การใช้ทฤษฎีกำลังประลัยหากำลังรับน้ำหนักของเสา จะให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าการใช้ทฤษฎีอีลาสติก
5. ต้องใช้ทฤษฎีกำลังประลัยในการหากำลังประลัยในคอนกรีตอัดแรง

##### 2.1.2 สมมติฐานของทฤษฎีกำลังประลัย

1. ระนาบของหน้าตัดยังคงเหมือนเดิมทั้งก่อนและหลังที่มีการตัด
2. หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวไม่เป็นสัดส่วน ณ กำลังประลัย
3. ไม่คำนวณออกแบบให้คอนกรีตรับแรงดึง

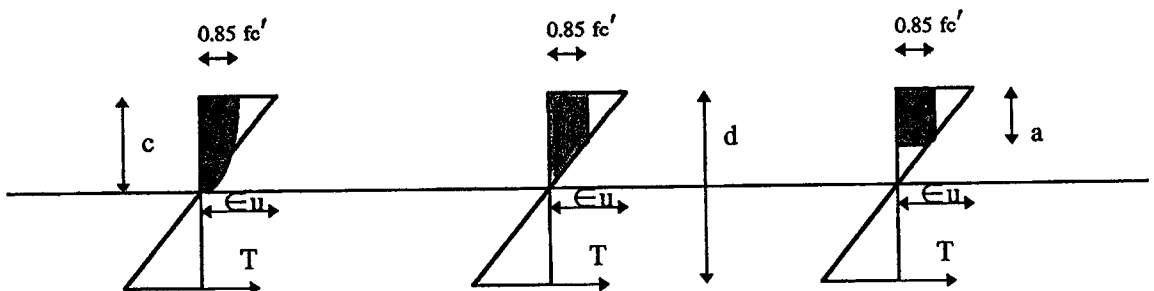
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หน่วยการยึดหดตัวที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทินและหน่วยการยึดตัวในเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับหน่วยการยึดตัวของคอนกรีต ณ ตำแหน่งเดียวกัน
5. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กก./ซม.<sup>2</sup>
6. หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตที่รับแรงอัด มีค่าเท่ากับ 0.003 ณ กำลังประลัย
7. หน่วยแรงอัดมากสุดของคอนกรีตเท่ากับ  $0.85 f'_c$
8. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมมีค่ามากที่สุดเท่ากับกำลังจุดคลาก  $f_y$  ถึงแม้ว่าหน่วยการยึดตัวจะให้ค่าสูงกว่าค่าที่ให้กำลังคลากก็ตาม

สมมติฐานของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต อาจจะสมมติให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปโค้งพาราโบลา หรือรูปอื่นใดก็ได้ที่ผลการคำนวณจากทฤษฎีกำลังประลัยถูกต้องใกล้เคียงกับผลการทดลอง



รูปที่ 2.1 รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต



รูปที่ 2.2 รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้จะสมมติการแผ่แรงอัดของคอนกรีตเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยให้ขนาดของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ  $0.85 f'_c$  รูปการแผ่หน่วยแรงอัดสมมูลจะล้อมรอบโดยขอบของหน้าตัด และเส้นตรงที่ลากขนานกับแกนสะเทิน มีระยะห่างจากการที่มีหน่วยการหัดตัวสูง มีระยะ  $a = k_1 c$  เมื่อ  $c$  เป็นระยะจากขอบที่มีหน่วยการหัดตัวสูงสุดถึงแกนสะเทิน โดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับแกนสะเทิน ค่าของ  $k_1$  มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด  $f'_c = 280$  กก./ซม.<sup>2</sup> และจะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 เมื่อกำลังอัดในคอนกรีตเพิ่มขึ้นทุกๆ 70 กก./ซม.<sup>2</sup> ค่าต่ำสุดของ  $k_1 = 0.65$  เมื่อคอนกรีตมีค่า  $f'_c$  สูงกว่า 280 กก./ซม.<sup>2</sup>

### 2.1.3 การจัดน้ำหนักบรรทุก

กำหนดให้

$U$  = น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

$D$  = น้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบคงที่

$L$  = น้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบจร รวมถึงแรงกระแทก (ถ้ามี)

$W$  = แรงลม

$E$  = แรงจากแผ่นดินไหว

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร กำหนดให้ใช้น้ำหนักประลัย ( $U$ ) ดังนี้

- อาคารที่ไม่คิดแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

$$U = 1.7D + 2.0L$$

- อาคารที่คิดรับแรงลม

$$U = 0.75(1.7D + 2.0L + 2.0W)$$

หรือ  $U = 0.9D + 1.3W$

โดยให้ใช้ค่า  $U$  ที่ให้ค่าสูงสุด แต่ต้องไม่น้อยกว่าในข้อ (1)

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ใช้น้ำหนักประลัย ( $U$ ) ดังนี้

- อาคารที่ไม่คิดแรงลม หรือแรงจากแผ่นดินไหว

$$U = 1.4D + 1.7L$$

- อาคารที่คิดแรงลม

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

หรือ  $U = 0.9D + 1.3W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนโดยให้ใช้ค่า  $U$  มากที่สุด แต่ต้องไม่น้อยกว่าในข้อ (1) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. อาคารที่ค้ำแรงแผ่นดินไหว

$$U = 1.05D + 1.28L + 1.40E$$

$$\text{หรือ } U = 0.9D + 1.43E$$

#### 2.1.4 ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย

ในงานก่อสร้างอาจมีคุณภาพของงานแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องทำการลดค่ากำลังประลัยที่คำนวณได้จริงในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย  $\phi$  คูณเข้ากับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริง ซึ่งจะได้กำลังประลัยที่ใช้งานเมื่อ

$$M_U' = \text{แรงอัดประลัยของส่วนอาคารที่คำนวณได้จริง}$$

$$M_U = \text{แรงอัดประลัยใช้งาน}$$

$$\text{ดังนั้น } M_U = \phi M_U'$$

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดตัวคูณลดค่ากำลังประลัย ตามความสำคัญของโครงสร้าง( $\phi$ ) ดังนี้

$$(\phi) = 0.90 \text{ สำหรับการค้ำ}$$

$$= 0.85 \text{ สำหรับแรงเฉือน แรงบิด และแรงยึดเหนี่ยว}$$

$$= 0.70 \text{ สำหรับแรงอัดหรือแรงอัดร่วมกับแรงค้ำที่เสริมเหล็ก}$$

ปลอกเดี่ยว

#### 2.1.5 หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของคอนกรีตและเหล็กเสริม

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดไว้ ดังนี้

$$\text{หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของคอนกรีต} = 0.85f_c'$$

$$\text{หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของเหล็กเสริม} = f_y \text{ แต่ไม่เกิน } 5,600 \text{ กก./ซม.}^2$$

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร กำหนดไว้ดังนี้

$$\text{หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของคอนกรีต} = 150 \text{ กก./ซม.}^2$$

หน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของเหล็กเสริม :

$$\text{ก. เหล็กเส้นธรรมดา เมื่อไม่มีผลการทดสอบแรงดึง ให้ใช้ไม่เกิน } 2000 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ข. เหล็กเสริมอื่น ให้ใช้เท่ากับ } 0.85f_y \text{ แต่ไม่เกิน } 4200 \text{ กก./ซม.}^2$$

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่างการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัยกับทฤษฎีขีดจำกัด

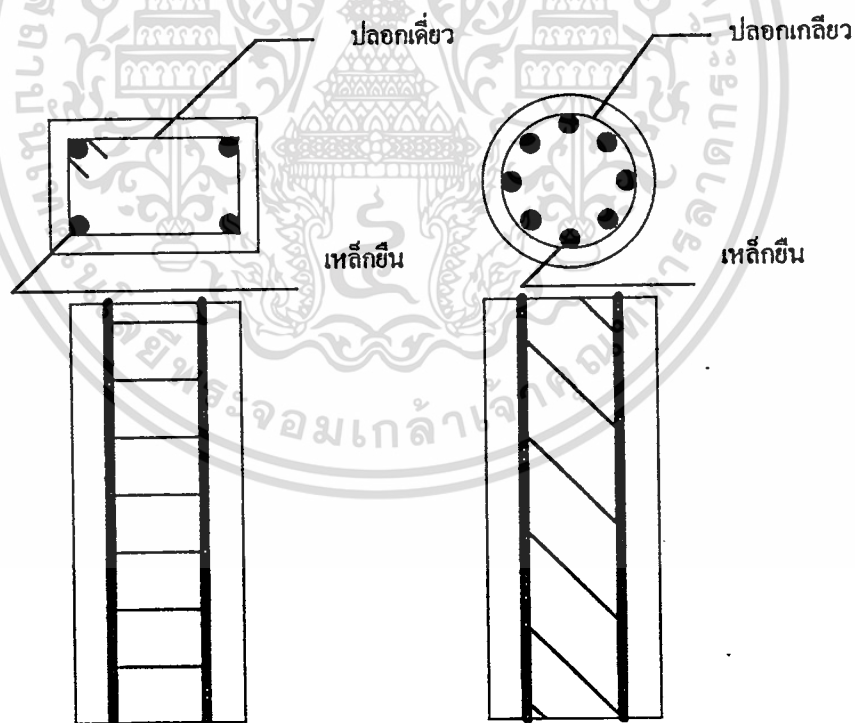
WORKING STRESS DESIGN (1963)		ULTIMATE STRENGTH DESIGN (1989)	
(ALTERNATE DESIGN METHOD)		(STRENGTH DESIGN METHOD)	
ACI ว.ส.ท.	กทท.	ACI ว.ส.ท.	กทท.
1. Material Properties			
- Steel	$0.5 f_y$	$f_y$	$0.85 f_y$
- Concrete	$0.45 f'_c$	$0.5 f_y < 1,700 \text{ ksc}$ $0.375 f'_c < 65 \text{ ksc}$ $(f'_c < 175 \text{ ksc})$	$< 150 \text{ ksc}$ $(f'_c < 175 \text{ ksc})$
2. Load factor	$DL = 1, LL = 1$ Design Load = $DL+LL$	$DL = 1.4, LL = 1.7$ $1.4DL+1.7LL$	$DL 1.7, LL = 1.0$ $1.7DL+2.0LL$
3. Strength Reduction Factor, $\phi$		$0.9$ - Bending $0.85$ - Shear + Torsion $0.70$ - Axial + Bearing	

### 2.1.6 สรุป

1. ทฤษฎีอีลาสติก กำหนดความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบต่ำกว่าแบบทฤษฎีกำลึงประลัย ประมาณ 50%
2. ทฤษฎีกำลึงประลัย กำหนดน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบสูงกว่าแบบทฤษฎีอีลาสติก โดยเฉพาะน้ำหนักจร ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ไม่แน่นอน จะเผื่อไว้ถึง 70%
3. ทฤษฎีกำลึงประลัยยังลดความแข็งแรงของหน้าตัดที่ใช้งานอีกด้วย

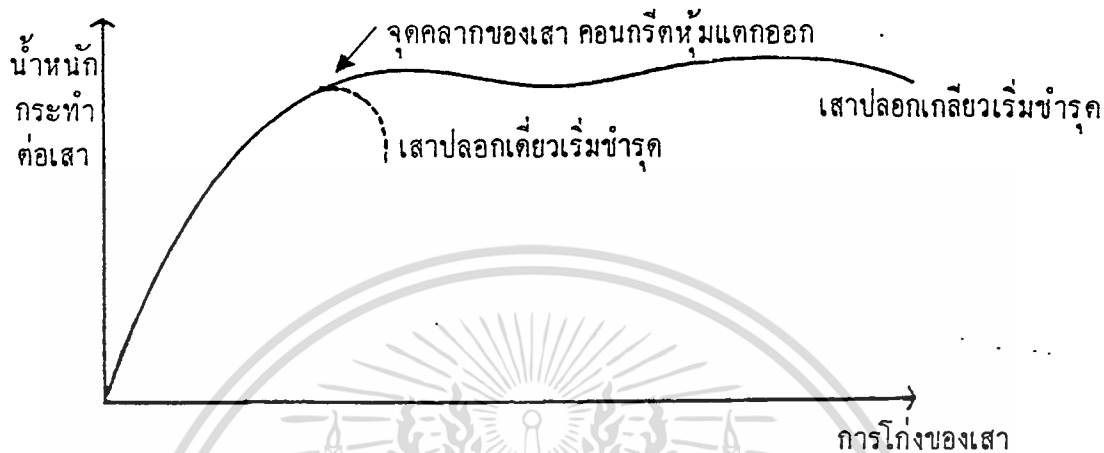
### 2.2 เสาสั้นเสริมเหล็กปลอกเดี่ยว

เสาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่รับแรงอัด หรือบางครั้งอาจรับแรงดัดร่วมกันที่ได้จากการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากคานหรือพื้นไร้คาน เสาจะมีเหล็กเสริมยื่นช่วยคอนกรีตในการรับน้ำหนัก โดยจะมีเหล็กเสริมทางข้างเป็นปลอกเดี่ยวพันรอบเหล็กยื่นเป็นระยะเรียกว่า เสาปลอกเดี่ยว แต่ในบางครั้งอาจพันต่อเนื่องกันเป็นเกลียว เรียกว่า เสาปลอกเกลียว



รูปที่ 2.3 แสดงรูปตัดของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักระทำกับการ โง่งหรือหดตัวของเสา

2.2.1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบเสา

1. ลักษณะของเสาสั้น หมายถึง อัตราส่วน  $h$  ไม่เกิน 15  
 เมื่อ  $h$  = ความสูงของเสา  
 $t$  = ความกว้างคานแคบของเสา  
 ฉะนั้นจะต้องลดกำลังการรับน้ำหนักของเสาลง
2. เนื้อที่หน้าตัดเหล็กยื่นของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่เกิน 0.08 ของเนื้อที่หน้าตัดเสา ( $A_g$ ) และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 12 มม. จะต้องมีเหล็กยื่นอย่างน้อย 4 เส้น สำหรับเสาเหลี่ยม และอย่างน้อย 6 เส้น สำหรับเสากลม
3. ช่องว่างระหว่างเหล็กยื่นของเสาต้องไม่น้อยกว่า  $1\frac{1}{2}$  เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก หรือ  $1\frac{1}{2}$  เท่าของวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด หรือ 4 ซม.
4. คอนกรีตหุ้มเหล็กที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกนคอนกรีต หนาไม่น้อยกว่า 3 ซม. หรือ  $1\frac{1}{2}$  เท่าขนาดวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด
5. เสาปลอกเดี่ยว ต้องใช้เหล็กปลอกไม่เล็กกว่า 6 มม. ระยะห่างไม่เกิน 16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยื่น หรือ 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอกและไม่ห่างกันมากกว่าคานแคบของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เหล็กปลอกเกลียวของเสาต้องพันต่อเนื่องสม่ำเสมอมีระยะห่างไม่เกิน 7 ซม. และไม่เกิน 3 ซม. หรือ  $1/2$  เท่าของวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เล็กกว่า 6 มม.

7. เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดมากกว่าความต้องการในการรับน้ำหนักมาก ๆ การหาปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุดนี้ยอมให้ใช้  $A_g$  เพียงครั้งเดียว

8. การต่อเหล็กยื่นในเสา อาจต่อโดยวิธีทาบหรือเมื่อขนาดเหล็กยื่นใดกว่า 25 มม. ก็ควรต่อโดยวิธีเชื่อม การต่อเหล็กยื่นให้ต่อที่พื้นชั้นล่างของชั้นนั้นๆ เมื่อต้องตัดเหล็กเยื้องกันที่รอยต่อ ความลาดเอียงต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6 เมื่อเทียบกับแกนของเสา เหล็กส่วนบนและล่างของส่วนที่ดุ้ง ต้องขนานกับแกนเสา และต้องมีเหล็กยึดในแนวราบอย่างเพียงพอ

### 2.2.2 การออกแบบเสาสั้นตามทฤษฎีกำลังประลัย

ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ใช้ค่ากำลังประลัยในการออกแบบ ซึ่งได้จากผลคูณของกำลังประลัยที่ได้จากทฤษฎี กับตัวคูณลดค่ากำลังประลัย  $\phi$  โดยที่  $\phi$  มีค่าเท่ากับ 0.70 สำหรับเสาปลอกเดี่ยว และเท่ากับ 0.85 สำหรับเสาปลอกเกลียว

ที่จุดประลัย คอนกรีตในเสาจะรับน้ำหนักได้เพียง 85% ของน้ำหนักที่ใช้ในการหา กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ความสามารถในการรับน้ำหนักตามแกนของเสาได้จากการรวมกำลังรับน้ำหนักที่เป็นส่วนของคอนกรีตและของเหล็กเสริม ดังนี้คือ

$$P_0 = 0.85f'_c A_c + f_y A_{st}$$

เมื่อ  $P_0$  = ความสามารถในการรับน้ำหนักตามแกนของเสา

$A_c$  = เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตทั้งหมด

$f_y$  = กำลังจุดคลาของเหล็กเสริม

$A_{st}$  = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด

การเสริมเหล็กในคอนกรีต สามารถพิจารณาได้โดยการหักเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กออกจากเนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีต จะได้

$$P_0 = 0.85f'_c (A_c - A_{st}) + f_y A_{st}$$

สำหรับเสาที่น้ำหนักกระทำตามแนวแกนไม่เอียงศูนย์ ตามมาตรฐาน วสท. กำหนดให้ลดค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก ดังนี้

สำหรับเสาปลอกเกลียว

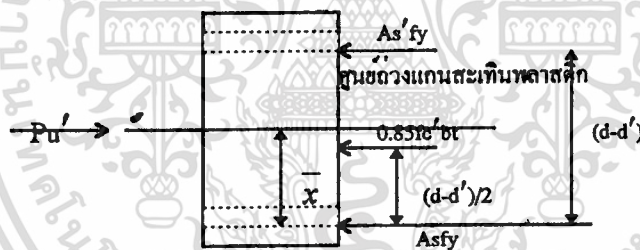
$$P_n (\text{max}) = 0.85 P_o = 0.85 [0.85 f'_c (A_c - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

สำหรับปลอกเดี่ยว

$$P_n (\text{max}) = 0.70 P_o = 0.70 [0.85 f'_c (A_c - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

เมื่อ  $P_n (\text{max}) =$  ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด

## 2.23 ศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก



รูปที่ 2.5 ศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก

หน้าตัดเสาจากรูปข้างบน มีจำนวนเหล็กเสริม  $A_s$  และ  $A'_s$  ถ้าเสารับน้ำหนักตามแนวแกนคือ น้ำหนักกระทำผ่านศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก หน่วยการยึดและหัดตัวของเหล็กเสริมและของคอนกรีตจะมีค่าเท่ากันหมด คือที่จุดประลัย หน่วยการหัดตัวของคอนกรีตจะเป็น 0.003 ดังนั้น ทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดจะถึงจุดคลาก ณ จุดประลัยนี้จากการสมดุลย์ของแรงบนหน้าตัดนี้

$$P'_U = 0.85 f'_c b t + A'_s f_y + A_s f_y$$

$$\text{และ } P'_U x = 0.85 f'_c b t [(d-d')/2] + A'_s f_y (d-d')$$

แทนค่า  $P'_U$  เพื่อหาแนวศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ 
$$x = \{0.85 f'_c b t [(d-d')/2] + A'_s f_y (d-d')\} / \{0.85 f'_c b t + A'_s f_y A_s f_y\}$$

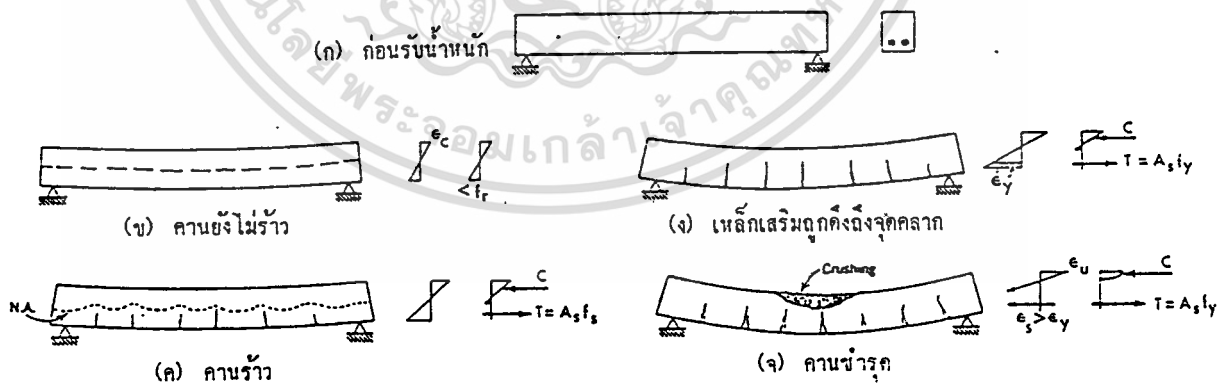
เมื่อ  $x$  = ระยะศูนย์กลางแกนสะเทินพลาสติกถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริม  $A_s$

ในกรณีที่หน้าตัดสมมาตร ( $A_s = A'_s$ ) แนวศูนย์กลางแกนสะเทินพลาสติก จะนับแนวศูนย์กลางของหน้าตัดพอดี

### 2.3 คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานเป็นส่วนโครงสร้างของอาคารที่อยู่ในแนวนอน รับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในแนวตั้ง เช่น น้ำหนักแผ่นจากพื้นอาคารหรือน้ำหนักที่ตกลงเป็นจุดจากคานชอย ซึ่งจะทำให้เกิดโมเมนต์คดและแรงเฉือน ในบางครั้งก็เกิดโมเมนต์บิดขึ้นด้วย ดังนั้นในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องเลือกใช้ขนาดรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้

#### 2.3.1 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมของคาน คสล. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาน คสล. ช่วงเดี่ยวน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามรูปที่ 2.6(ก) ในขณะที่คานยังไม่รับน้ำหนักบรรทุก จะสมมติว่าคานนี้ยังไม่ร้าว เมื่อคานรับน้ำหนักหรือแรงที่มีค่าน้อยๆ คานจะโก่งตัวตามรูปที่ 2.6(ข) ในลักษณะที่ท้องคานมีแรงดึงกระทำในขณะที่หลังคานมีแรงค้ำกระทำ ในสภาวะนี้การคำนวณหาหน่วยแรงต่างๆ ตลอดจนการโก่งตัวจะถือว่าเป็นคานคอนกรีตล้วนโดยไม่คำนึงถึงว่ามีการเสริมเหล็กอยู่ด้วย ตำแหน่งของแนวแกนสะเทินจะอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้าตัด การกระจายของหน่วยแรง และการยึดหดตัวจะเป็นเชิงเส้น มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน คาน คสล. จะยังไม่เกิดการร้าว เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น ตามรูป 2.6 (ค) คานจะเกิดการแตกร้าวขึ้น เนื่องจากแรงดึงในคอนกรีตเกินกว่า ค่าโมดูลัสแห่งการแตกร้าว (Modulus of Rupture,  $f_r = 1.99\sqrt{f_c}$  กก./ซม<sup>2</sup>) คอนกรีตจะเริ่มร้าวที่ผิวล่าง โดยที่รอยร้าวมีแนวตั้งฉากกับความยาวที่บริเวณกลางคาน และมีแนวเฉียงที่บริเวณปลายคาน ตำแหน่งของแนวแกนสะเทินจะขยับสูงขึ้น คอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือรอยร้าวแต่ต่ำกว่าแนวแกนสะเทินยังรับแรงดึงได้บ้างเล็กน้อย แต่จะสมมติให้เหล็กเสริมทำหน้าที่รับแรงดึงทั้งหมด ส่วนการกระจายของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตในช่วงอีลาสติกยังคงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับระยะห่างจากแกนสะเทิน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นเหล็กจะยึดตัวมากขึ้น รอยร้าวก็เพิ่มขึ้นและมากขึ้น และแกนสะเทินก็สูงขึ้น การกระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเริ่มไม่เป็นเส้นตรง หน่วยแรงดึงและการยึดตัวในเหล็กเสริมก็เพิ่มขึ้น หากคานดังกล่าวเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุทธ์ (under reinforced) เหล็กเสริมในคานจะถูกดึงจนถึงจุดคลากก่อน ดังรูป 2.6 (ง) เหล็กจะยึดมากเมื่อเลยจุดคลาก คานโก่งตัวมาก คอนกรีตร้าวมากขึ้นจนเห็นชัด ถ้าเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอีกจนถึงน้ำหนักประลัย คอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือแกนสะเทินจะถูกอัดแตก โดยที่การกระจายของหน่วยแรงเป็นรูปโค้งพาราโบลา มีหน่วยหดตัวสูงสุดประมาณ 0.003-0.004 ดังรูป 2.6 (จ) เรียกการชำรุดแบบนี้ว่าเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure) สำหรับคานที่เสริมเหล็กเกินสมดุทธ์ (Over Reinforced) หรือเหล็กเสริมมีกำลังจุดคลากสูงมาก คานจะชำรุดแบบแรงอัดเป็นหลัก โดยคอนกรีตจะถูกอัดถึงกำลังประลัยก่อนที่เหล็กเสริมจะคลาก ซึ่งจะเป็นการชำรุดแบบทันทีทันใดไม่มีการเตือนให้ทราบล่วงหน้า นับว่าอันตรายมาก

### 2.3.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบคาน

1. ความลึกประสิทธิผลของคาน (d) คือระยะระหว่างผิวบนของคอนกรีตที่รับแรงอัด กับจุดศูนย์กลางของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง

2. ขนาดรูปตัดของคานจะต้องจัดสัดส่วนความกว้าง ความลึกให้มากพอที่จะต้านทานการโก่งตัวไม่ให้เกิน  $L/360$  ถ้าไม่คำนึงถึงการโก่งของคาน ความลึกของคานไม่ควรน้อยกว่าค่าต่อไปนี้

L/20	สำหรับคานช่วงเดียว
L/23	สำหรับคานค่อเนื่องปลายเดียว
L/26	สำหรับคานค่อเนื่องสองปลาย
L/10	สำหรับคานอื่น

3. คานจะพิจารณาเป็นคานลึกเมื่อช่วงยาวน้อยกว่า 2.5 เท่าของความลึก สำหรับคานค่อเนื่อง และ 1.25 เท่าของความลึกสำหรับคานช่วงเดียว ถือว่าหน่วยการยึดหดตัวไม่เป็นปฏิภาคกับระยะจากแนวแกนสะเทิน ต้องคำนึงถึงการโก่งทางข้างของคานด้วย

4. ปริมาณเหล็กเสริมทางนอนต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 เท่าของหน้าตัด และปริมาณเหล็กเสริมทางตั้ง (เหล็กปลอก) ไม่น้อยกว่า 0.0095 เท่าของหน้าตัด

5. เหล็กเสริมรับแรงดึงจะต้องมีปริมาณในเกณฑ์ที่ค่าของเปอร์เซ็นต์เหล็ก  $P$  ไม่น้อยกว่า  $14/f_y$  นอกจากหน้าตัดทุกแห่งตลอดคานจะมีเหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบ ไม่น้อยกว่า 1.34 เท่าของที่คำนวณได้

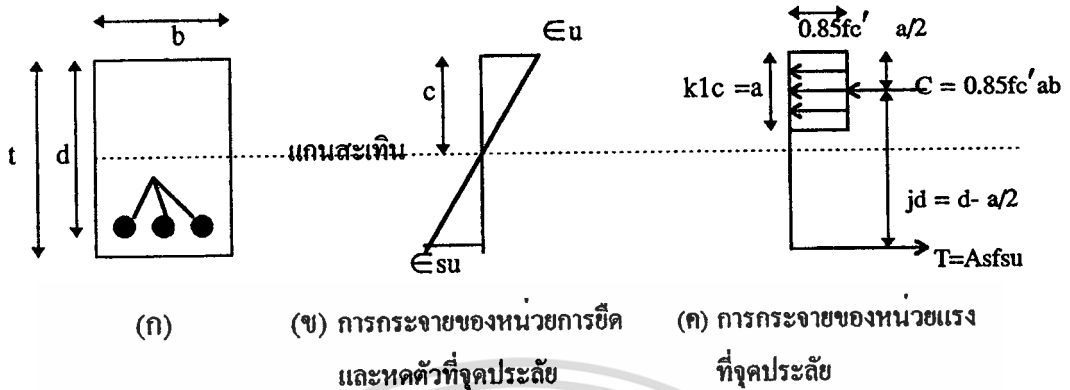
6. ขนาดและจำนวนเหล็กเสริมควรให้พอเหมาะกับความกว้างของคานเพื่อให้คอนกรีตได้สะดวก

7. ในกรณีที่มีเหล็กเสริมมากกว่า 1 ชั้น ให้จัดเหล็กที่มีขนาดใหญ่ไว้ล่าง และจัดเหล็กในแต่ละชั้นให้เหมือนกันทั้งสองข้าง

### 2.8.3 การออกแบบคานตามทฤษฎีกำลังประลัย

#### 1. ความต้านทานต่อแรงดัด

1.1 หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียว



รูปที่ 2.7 แสดงหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียว

พิจารณาโครงสร้างอาคารหรือพื้น ซึ่งมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $b$  และ  $t$  ตามรูป มีเหล็กเสริมรับแรงดึง  $A_s$  เพียงอย่างเดียว โดยมีความลึกประสิทธิภาพ  $d$  เมื่อคานรับน้ำหนักจนถึงน้ำหนักประลัย หน่วยการยึดหาค่าและหน่วยแรงจะแผ่กระจายดังรูป 2.7(ข) โดยที่  $\epsilon_u$  เป็นหน่วยการหดตัวสูงสุดที่ขอบบนของคอนกรีต ณ จุดประลัยมีค่าประมาณ  $0.003 \epsilon_{su}$  เป็นหน่วยการยึดตัวที่ตำแหน่งของเหล็กเสริม ณ จุดประลัย ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ  $0.85 f'_c$  และแผ่นสม่ำเสมอบนเนื้อที่รับแรงอัดสมบูรณ์  $ab$  ตามสมมติฐานในการคำนวณดังรูป 2.7 (ค) แรงอัดในคอนกรีต (c) จะเท่ากับ  $0.85 f'_c ab$  แรงดึงในคอนกรีต (c) จะเท่ากับ  $0.85 f'_c ab$  แรงดึงในเหล็กเสริม (T) เท่ากับ  $A_s f_{su}$  โดยที่  $f_{su}$  เป็นหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม มีค่าเท่ากับ  $\epsilon_{su} E_s$

จากการสมดุลของแรงบนหน้าตัด จะได้

$$\text{แรงอัดในคอนกรีต (c) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T)}$$

$$\text{หรือ } 0.85 f'_c ab = A_s f_{su} \text{ ----> (1)}$$

$$\text{ดังนั้นระยะ } a = \frac{A_s f_{su}}{0.85 f'_c b} \text{ ----> (2)}$$

$$0.85 f'_c b$$

ค่า  $M'_u$  จะหาได้โดยหาค่า  $f_{su}$  จากสมการ (10) แล้วแทนค่าลงในสมการ (4) หรือ (6) แต่เนื่องจากสมการทั้งสองนี้มีค่าเท่ากัน ดังนั้นระยะ  $c$  จะคำนวณได้ในเทอมของ  $f'_c$  และ  $E_s$  เมื่อแทนค่า  $c$  ที่ได้นี้ลงในสมการ (4) หรือ (6) แล้วก็จะได้ค่าโมเมนต์ค้ำประลัยสำหรับกรณีนี้

### ณ สภาวะสมดุลง

เป็นสภาวะที่มีปริมาณของเหล็กเสริมพอดีที่ทำให้คอนกรีตถึงกำลังอัดประลัยพร้อมกับเหล็กเสริมถึงจุดคดาก หน่วยการหาค่าสูงสุดของคอนกรีต  $\epsilon_u$  มีค่าเท่ากับ 0.003 และเหล็กเสริมถึงจุดคดาก  $f_y$  อัตราส่วน  $P_b$  จะหาได้จาก

$$P_b = 0.85k_1 \frac{0.003}{(f_y / E_s) + 0.003} * \frac{f_c'}{f_y}$$

ถ้าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม  $E_s$  มีค่าเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กก./ชม.<sup>2</sup> ดังนั้น

$$P_b = 0.85k_1 \frac{f_c'}{f_y} * \frac{6117}{6117 + f_y}$$

เมื่อ  $P_b =$  อัตราส่วนของเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีต

$$K_1 = 0.85 \text{ เมื่อ } f'_c < 280 \text{ กก./ชม.}^2 \text{ และจะลดลงในอัตรา } 0.05$$

สำหรับกำลังอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 70 กก./ชม.<sup>2</sup> ( $k_1$  ต่ำสุด = 0.65)

ตามมาตรฐาน วสท. กำหนดค่า  $p$  ให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.75 ของ  $P_b$  เพื่อให้คานชำรุดเนื่องจากแรงดึงอย่างเดียว

$$P_{\max} = 0.75P_b$$

$$\text{และ } P_{\min} = 14/f_y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การออกแบบหน้าตัด กำหนดหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม  $f_{su}$  จะเท่ากับ  $f_y$  ที่จุด  
ประลัย

$$\text{จาก } a = \frac{Asfy}{0.85fc'b} = \frac{pfy}{0.85fc'} * d$$

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์ค้ดประลัย } Mu' &= Asfy(d-a/2) \\ &= Asfyd (1-0.59pfy/fc') \\ &= pfybd^2 (1-0.59pfy/fc') \\ &= bd^2 fc' q(1-0.59q) \text{ ในเมื่อ } q = pfy/fc' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นโมเมนต์ค้ดประลัยที่ใช้ออกแบบ } Mu' &= \phi Mu' = \phi Asfy(d-a/2) \\ &\text{หรือ} \quad = \phi \{bd^2 fc' q(1-0.59q)\} \end{aligned}$$

$$\text{ถ้าให้ } R_u = fc' q (1-0.59q) \text{ จะได้ } M_u = \phi R_u bd^2$$

ในที่นี้ในการออกแบบการทดลองจะไม่คูณตัวคูณลดค่ากำลังประลัยที่ใช้ในการออกแบบ  
เพราะในการทดสอบจะกระทำถึงจุดประลัยจริง

## 2.4 แรงเฉือนประลัย

ในการหาหน่วยแรงเฉือนประลัย ให้คำนวณที่ระยะ  $d$  จากขอบของที่รองรับ และ  
ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{หน่วยแรงเฉือนประลัย } v_u = V_u/bd$$

เมื่อ  $v_u$  = แรงเฉือนประลัยที่ระยะ  $d$  จากขอบของที่รองรับ

$b, d$  = ความกว้างและความลึกประสิทธิภาพของคานตามลำดับ

### 2.4.1 คาน คสล. ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

ในคาน คสล. ที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะ  
ต้องออกแบบให้คอนกรีตมีค่าหน่วยแรงเฉือนที่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวเนื่องจากแรงดึงในแนว  
ทแยงสูงกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง ณ จุดวิกฤต (ระยะ  $d$  จากขอบของที่รองรับ)

ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยที่คอนกรีตสามารถรับได้

$$v_c = V_c / bd = (0.54\sqrt{fc'} + \frac{176PwVd}{M}) \leq 0.93\sqrt{fc'}$$

เมื่อ  $Pw$  = อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อหน้าตัดประสิทธิภาพของคอนกรีต  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$d$  = ความลึกประสิทธิภาพของคาน

$V$  = แรงเฉือนที่หน้าตัดที่พิจารณา

$M$  = โมเมนต์ที่หน้าตัดที่พิจารณา (ต้องไม่น้อยกว่า  $V_d$ )

มาตรฐาน วสท. กำหนดหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในคานคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กรับแรง

เฉือนเป็น

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

เมื่อ  $\phi = 0.85$  สำหรับแรงดึงทแยง

มาตรฐานกำหนดค่าแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต  $V_c = 0.53 \phi \sqrt{f_c'}$  เพื่อสะดวก

ในการคำนวณ

#### 2.4.2 การเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

หน้าตัดใดๆ ที่มี หน่วยแรงเฉือนประลัย  $V_u$  เกินกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยของคอนกรีต  $V_c$  จะต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือนเพื่อรับแรงเฉือนส่วนที่เกิน และจะต้องเสริมให้เลยจากจุดที่ต้องการทางทฤษฎีออกไปอีกเป็นระยะเท่ากับความลึกประสิทธิภาพ  $d$  ของส่วนโครงสร้าง จำนวนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน  $n$  หน้าตัดระหว่างขอบของที่รองรับและที่หน้าตัดห่างออกมาเป็นระยะ  $d$  ให้ใช้เท่ากับค่าที่ต้องการตรงหน้าตัด  $d$  นั้น

มาตรฐาน วสท. กำหนดเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงเฉือนไว้ดังนี้

เหล็กเสริมในแนวตั้ง 
$$A_v = \frac{(V_u - V_c)s}{\phi f_y d}$$

เหล็กเสริมในแนวเอียง 
$$A_v = \frac{(V_u - V_c)s}{\phi f_y d (\sin \alpha + \cos \alpha)}$$

เมื่อ  $V_u$  = แนวเฉือนประลัยทั้งหมด

$V_c$  = แรงเฉือนประลัยของคอนกรีตที่สามารถรับได้

$A_v$  = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

$f_y$  = กำลังจุดคานของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน  $c < 4200$  กก./ซม.<sup>2</sup>

$d$  = ความลึกประสิทธิภาพของส่วนโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\alpha$  = มุมเอียงระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกับแกนตามยาวของอาคาร  
 $s$  = ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

### 2.4.3 ระยะเรียงของเหล็กเสริม

มาตรฐาน วสท. กำหนดระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนไว้ดังนี้

- ระยะเรียงห่างกันได้ไม่เกิน  $d/2$  และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า  $1.59\phi\sqrt{fc'}$   
ระยะเรียงห่างกันได้ไม่เกิน  $d/4$
- ค่าแรงเฉือนที่ยอมให้ที่หน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องไม่เกินกว่า  
 $2.65\phi\sqrt{fc'}$
- เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะต้องไม่น้อยกว่า  $3.5 bs/f_y$   
หรือ  $S_{max} = A_{vfy}/3.5b$  เมื่อ  $b$  เป็นความกว้างของคาน

### 2.5 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัย

หน้าตัดวิกฤติที่ใช้พิจารณาหาหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมในคานเนื่องจากโมเมนต์ดัด จะอยู่ตรงหน้าตัดที่มีอัตราการเปลี่ยนโมเมนต์ดัดมากที่สุดและจำนวนเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมดน้อยที่สุด เช่น ขอบของที่รองรับ จุดดัดกลับ ในการออกแบบคานจะคำนึงถึงหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเหล็กเสริมที่รับแรงดึงเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของเหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าน้อยมาก

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่เกิดขึ้นในคานเนื่องจากโมเมนต์ดัด

$$U_u = V_u/\phi\sum o_j d$$

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่เกิดขึ้นจากระยะฝั่งเหล็กเสริมในคอนกรีต

$$\bar{U}_u = A_b f_{su}/\sum o_1 d = d_b f_{su}/4l_d$$

เมื่อ  $U_u =$  หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัย กก./ชม.<sup>2</sup>

$V_u =$  แรงเฉือนประลัยตรงหน้าตัดวิกฤติ, กก.

$\sum o_0 =$  ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมด, ชม.

$j d =$  ระยะระหว่างศูนย์กลางของแรงอัดกับศูนย์กลางของแรงดึง, ชม.

$d =$  ระยะความลึกประสิทธิภาพของคาน, ชม.

$d_b, A_b =$  ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ตามลำดับ

$f_{su}$  = หน่วยแรงในเหล็กเสริม ณ จุดประลัย, กก./ชม.<sup>2</sup>

$\phi$  = ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย

$d_d$  = ความยาวยึดรั้งหรือระยะฝังเหล็กเสริมในคอนกรีต, ชม.

### 2.5.1 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดหน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้  $U_u$  สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 35 มม. ดังนี้

เมื่อ  $f'_c$  เป็นกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก เมื่ออายุ 28 วัน

$d_b$  เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

เมื่อรับแรงดึง

เหล็กบน 
$$U_u = \frac{4.51\sqrt{f'_c}}{d_b} < 39.4 \text{ กก./ชม.}^2$$

เหล็กอื่นๆ นอกจากเหล็กบน 
$$U_u = \frac{6.39\sqrt{f'_c}}{d_b} < 56.2 \text{ กก./ชม.}^2$$

เมื่อรับแรงอัด

เหล็กบนและเหล็กอื่นๆ 
$$U_u = 3.44\sqrt{f'_c} < 56.2 \text{ กก./ชม.}^2$$

- หมายเหตุ - เหล็กบนในที่นี้หมายถึง เหล็กเสริมตามแนวราบที่มีคอนกรีตหล่ออยู่ใต้เหล็กเส้นนั้นเกินกว่า 30 ซม.ขึ้นไป
- สำหรับเหล็กกลมผิวเรียบ ให้ใช้ค่าเพียงครึ่งหนึ่งของค่าที่ใช้ไว้ข้างต้น แต่ต้องไม่เกินกว่า 17.6 กก./ชม.<sup>2</sup>

### 2.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริม

โดยพฤติกรรมทั่วไปของแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress) ระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมเมื่อคอนกรีตไม่สามารถรับกำลังได้ (fail) จะทำให้เหล็กเสริมเลื่อนตัวหลุดไป (Slip) และจะทำให้ค่าความเค้น (Stress) ในเหล็กลดลงเท่ากับศูนย์ซึ่งมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตเสียไป ถ้าไม่มีการเสริมเหล็ก คานจะพังทันทีเมื่อคอนกรีตไม่สามารถรับกำลังได้

#### 1. หน่วยแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress)

กำหนดหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเปรียบเสมือน ค่าหน่วยแรงเฉือนตามแนวนอน (Shear Stress) ที่มีอิทธิพลต่อเหล็กเสริมและคอนกรีต (โดยยังไม่คำนึงถึงค่า Radial Stress ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

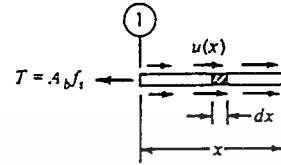
$$T = \int_0^x u(x) \Sigma_0 dx$$

$$Abfs = u(x) \pi d$$

$$\pi d^2 fs = \frac{u(x) \pi d}{4}$$

4

$$u = \frac{fsd}{4x}$$



$$x = \frac{fsd}{4u}$$

ค่า  $u$  เป็นค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวคิดที่ความยาว  $x$  ใดๆ และค่า  $x$  ที่ได้จากสมการ คือระยะฝั่งของเหล็กเสริมในคานที่สามารถรับแรงยึดเหนี่ยว  $u$  ที่เกิดขึ้นได้ โดย  $u$  จะสามารถคำนวณได้จาก

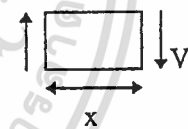
$$M = T jd$$

$$T = \pi d u(x)$$

$$\therefore M = \pi d u(x) jd$$

$$\text{และจาก } M = Vx$$

$$Vx = \pi d u(x) jd$$



$$u = \frac{V}{\pi d jd} = \frac{V}{\Sigma_0 jd}$$

## 2. การถ่ายแรงและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหน่วยแรงยึดเหนี่ยว

ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยว จะแปรผันไปตามความยาวของเหล็กเสริม ซึ่งในแต่ละช่วงจะมีค่าแรงดึงที่แตกต่างกัน เนื่องจากโมเมนต์ที่มากกระทำ แต่จากรูปที่มาแสดงสมมุติให้ตัดมาในช่วงที่โมเมนต์มีค่าคงที่และหน่วยแรงยึดเหนี่ยว จะไม่เปลี่ยนแปลงเพราะค่าโมเมนต์

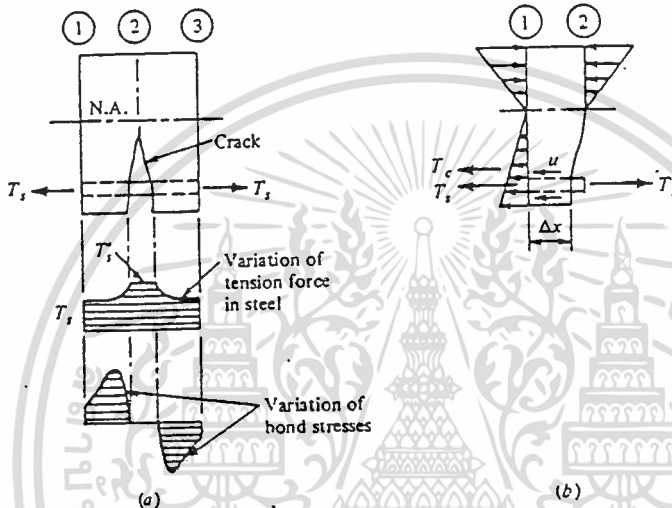
จากรูปที่ 2.8 ในตำแหน่งที่ 2 ในส่วนที่คอนกรีตเกิดรอยแตกกว้าง (Crack) จะมีแรงดึง  $T_s'$  เนื่องจากแรงดึงในตัวเหล็กและในบริเวณตำแหน่งที่ 1 ในส่วนที่คอนกรีตยังไม่ร้าว จะประกอบด้วยแรง  $T_s$  จากเหล็กเสริม และ  $T_c$  จากคอนกรีต โดยค่าเฉลี่ยของแรงยึดเหนี่ยว เกิดจากค่าที่แตกต่างกันของเหล็กเสริม

$$\text{ดังสมการ } u = (T_s' - T_s) \Delta x \epsilon_0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากรูป ค่าแรงดึงในเหล็กเสริมที่แตกต่างกันระหว่างตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 จะเท่ากับ ค่าแรงดึงในคอนกรีต

$$T_s' - T_s = T_c$$



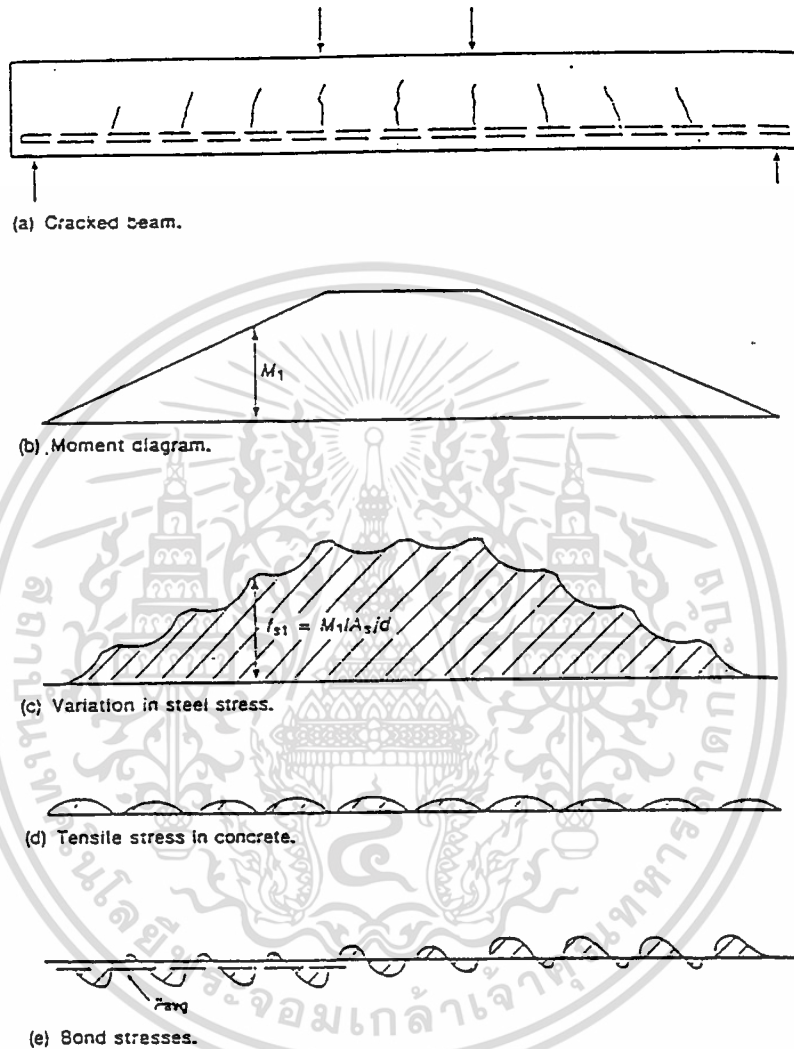
รูปที่ 2.8 แสดงอิทธิพลของรอยแตกร้าวที่มีผลต่อค่าแรงยึดเหนี่ยว

### 3. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคาน

ณ จุดที่คานแตกร้าว (Crack) สามารถหาค่าแรงดึงในเหล็กเสริมได้จากสมการ  $T = \frac{M}{jd}$  ถ้าคอนกรีตและเหล็กยังมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันอยู่ แรงดึงในเหล็กบางส่วนจะถูกต้านด้วยคอนกรีต ณ จุดระหว่างรอยแตกร้าว ดังนั้น ค่าแรงดึงในเหล็กเสริมและแรงดึงในคอนกรีตในตำแหน่งที่เสริมเหล็กจะแปรผันไปตามกราฟ รูป 2.9 c และ 2.9 d และการกระจายของค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวดังรูป 2.9 e พื้นที่ใต้กราฟของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะไม่เป็น 0 และค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในรูป 2.9 e นี้ จะเป็นไปตามสมการ

$$u_{avg} = \frac{V}{\sum ojd}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟความเค้นและหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตและเหล็ก

#### 4. คุณลักษณะกำลังของแรงยึดเหนี่ยว (Bond Strength)

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกำลังของแรงยึดเหนี่ยว ได้แก่

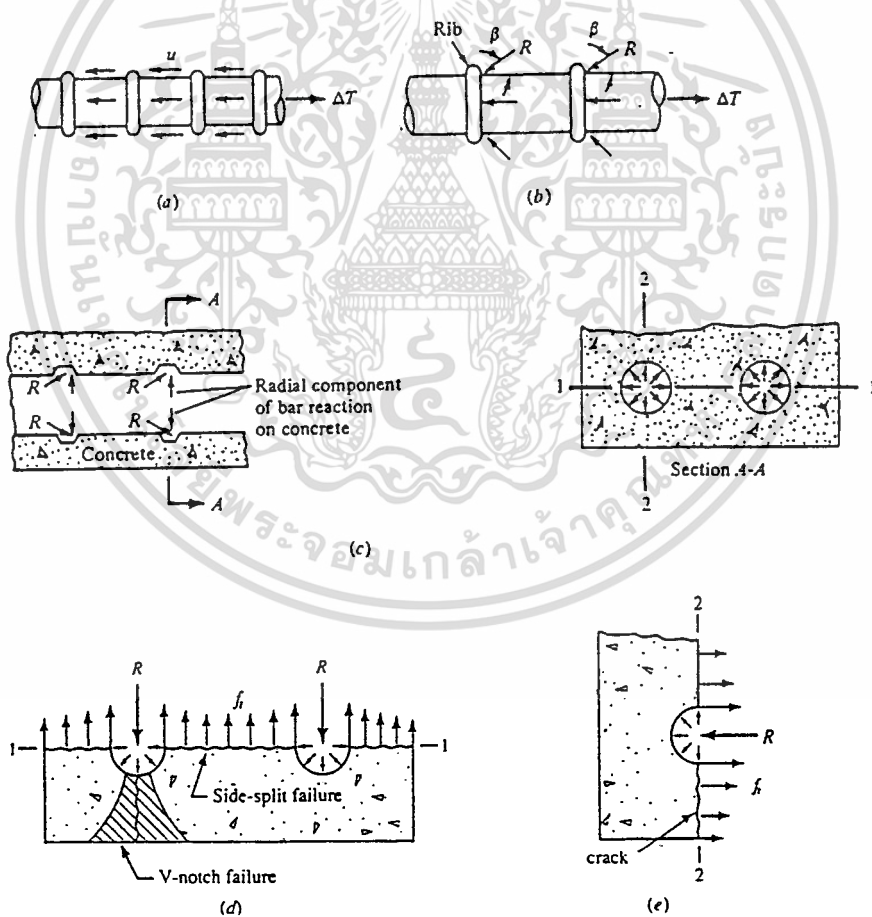
- แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี (Chemical Adhesion)
- แรงเสียดทาน (Friction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าแรงกดอัด (Bearing) ของเหล็กที่ค้ำกับคอนกรีต
- รอยหยักของเหล็กเสริม (Ribs or lugs)

เมื่อค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมถูกทำลายไป จะทำให้เกิดการเลื่อนตัวของเหล็กเสริม ค่ากำลังของแรงยึดเหนี่ยวจะเกิดจากแรงเสียดทานและค่าแรงกดอัดของเหล็กที่ค้ำกับคอนกรีตโดยค่าของแรงกดอัด จะมีความสำคัญมากกว่า เช่นในกรณีที่เหล็กเสริมมีสารประเภทน้ำมันเคลือบผิวอยู่ ค่าแรงยึดเหนี่ยวและแรงเสียดทานจะลดลงทันที ซึ่งจะมีค่าหน่วยแรงอัด (Bearing Stress) ระหว่างเหล็กกับคอนกรีตที่จะเป็นตัวต้านทาน (Bond Resistance) เป็นหลัก

จากการศึกษาพบว่า การร้าวภายในคอนกรีตที่ห่อหุ้มเหล็ก จะแสดงถึงค่าหน่วยแรงอัด และทิศทางของรอยร้าวจะเนื่องมาจากความชัน (Slope) ของ Rip face ของเหล็กเสริม ซึ่งมีค่า  $\beta$  อยู่ในช่วง 45-80 องศา ดังรูป 2.10 b

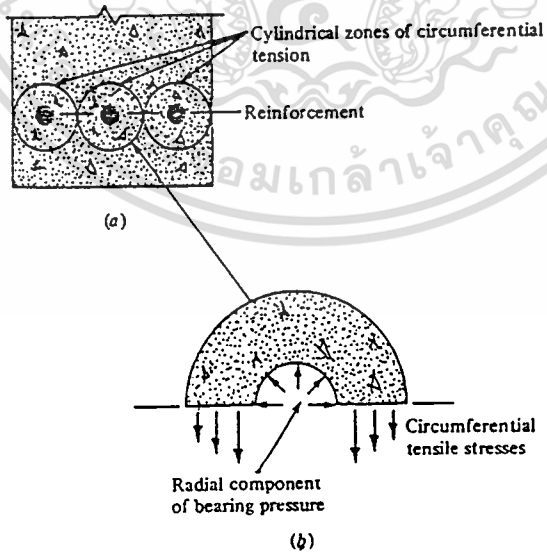


รูปที่ 2.10 แสดงพฤติกรรมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก

โดยทั่วไปในการหล่อแกนจะให้มีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กอย่างต่ำ 2 ซม. จากผิวนอก จากการศึกษพบว่า การพังเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว (Bond failure) จะเนื่องมาจาก ค่า Radial Component of Bearing stress ดังรูป 2.10c การพังลักษณะนี้เนื่องมาจากคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเกิดการร้าว

จากรูป 2.10d แสดงภาพตัด 1-1 ผ่านที่ตำแหน่งศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึง ค่าความเค้นตามแนวรัศมี (Radial Stress) จะมีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง การพังตามระนาบ 1-1 เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อพิจารณาความเค้นตามแนวรัศมี ที่กระทำต่อคอนกรีตเป็นแรง  $R$  มีทิศทางในการกระจายแรงดังรูป ซึ่งมีผลทำให้ค่าความเค้นดึงแนวตั้ง (Vertical tensile stress) ในคอนกรีต ( $f_t$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความเค้นตามแนวรัศมี มีค่าเกิน  $f_t$  ก็จะเกิดการพัง ตามระนาบ 1-1 หรืออีกเหตุผลหนึ่งที่จะทำให้เกิดการพังตามระนาบนี้คือ เหล็กเสริมอยู่ชิดกันเกินไป มีระยะหุ้มของคอนกรีตน้อยเกินไป ทำให้มีพื้นที่ของคอนกรีตที่จะต้านค่า  $R$  น้อยเกินไป (มีค่า  $f_t$  น้อย) สำหรับการพัง แบบ V-notch ตามรูป 2.10d เกิดเนื่องมาจากคอนกรีตที่หุ้มเหล็กตรงส่วนผิวล่างน้อยเกินไป โดยการพังจะเริ่มแตกร้าวจากผิวเหล็กเสริม ไหลลงมายังผิวคอนกรีตล่าง

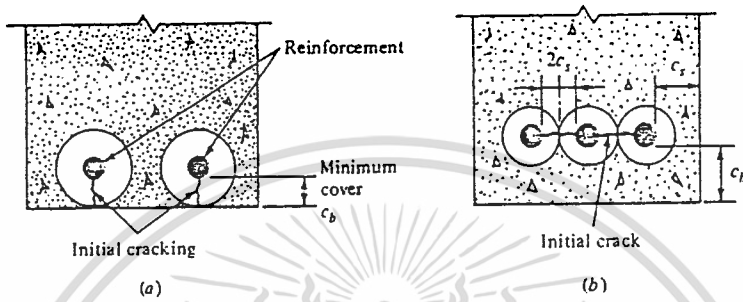
จากรูป 2.10e แสดงถึงการแตกร้าวตามแนวตั้ง (Vertical) โดยค่า Bearing ( $R$ ) ที่กระทำต่อคอนกรีตมีทิศทางดังรูป จากการสมดุลของแรงในชิ้นส่วนคอนกรีต ค่า  $f_t$  จะมีทิศทางต้านกับ  $R$  และเมื่อค่า  $f_t$  (ความเค้นดึงของคอนกรีต) มีค่าน้อยกว่า  $R$  ก็จะเกิดการแตกร้าวแนวตั้ง (Vertical Crack) ตามระนาบ 2-2



รูปที่ 2.11 แสดงค่าความเค้นดึงที่เกิดจากแรงกดอัดในแนวรัศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเปรียบเทียบค่าความเค้นในคอนกรีตที่ล้อมรอบเหล็กเสริมเหมือนเป็นผนังท่อน้ำที่มีแรงดันอยู่ภายใน (Radial Pressure) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดค่าความเค้นดึง (Tensile Stress) ในคอนกรีตขึ้นเพื่อเป็นแรงต้าน แสดงได้ดังรูป 2.11a และ 2.11b



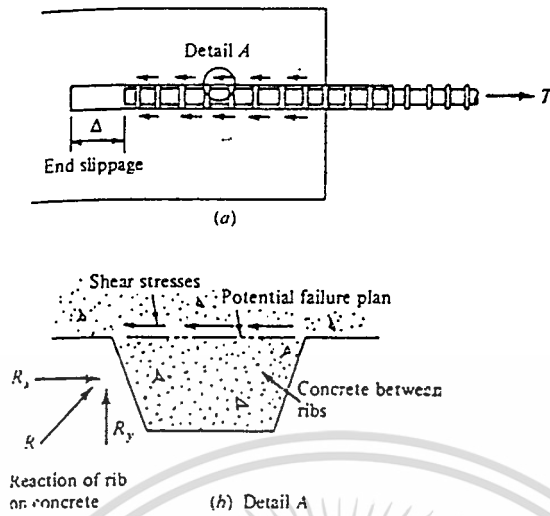
รูปที่ 2.12 แสดงอิทธิพลของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่มีผลต่อการแตกร้าว

จากรูป 2.12a แสดงการแตกร้าวเนื่องมาจากระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กผิวล่าง (bottom cover) มีค่าน้อยเกินไป

จากรูป 2.12b แสดงการแตกร้าวเนื่องมาจาก เหล็กเสริมอยู่ใกล้กันมากเกินไป

ถ้าในกรณีที่ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กผิวล่างและช่องว่างระหว่างเหล็ก (clear spacing) มีมากพอ การพังของแรงยึดเหนี่ยว (Bond failure) จะเกิดจากการรูดตัว (pull out) ของเหล็ก แทนที่จะเป็นการแตกร้าวของคอนกรีต โดยระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กด้านข้าง (edge cover) เท่ากับ 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก หรือมากกว่า และ กำหนดให้ค่าต่ำสุดของช่องว่างระหว่างเหล็ก เท่ากับ 2 เท่าของระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กด้านข้าง ตามรูป 2.12b

ในกรณีเกิดการพังแบบรูดตัวของเหล็ก ค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กด้านข้างจะต้องมากกว่า 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก และ ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กมีค่ามากกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก โดยเหล็กที่รูดตัวเกิดเนื่องมาจากคอนกรีตระหว่าง Rib ถูกแรงเฉือนกระทำหรือคอนกรีตที่อยู่หน้า Rib เกิดการถูกอัด (Crush) ก่อน แสดงได้ดังรูป 2.13(a) การพังแบบการรูดตัวของเหล็กจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่คอนกรีตมีกำลังต่ำ หรือมีรูปทรง



รูปที่ 2.13 แสดงการพังแบบเหล็กเสริมรูดตัวออกจากคอนกรีต

จากรูป 2.13(b) แสดงความเค้นเฉือน (Shear Stress) ในคอนกรีตระหว่าง Rib ซึ่งเกิดจากค่า  $R_x$

(โดย  $R_x$  เป็นเวกเตอร์ประกอบกับ  $R_y$  ทำให้เกิด Bearing Reaction)

การมีเหล็กเสริมตามแนวขวาง (Transverse steel) เช่น เหล็กปลอกจะช่วยเพิ่มกำลังของแรงยึดเหนี่ยว (Bond Strength) โดยจะทำให้แนวโน้มที่จะเกิดการเลื่อนตัวของเหล็กเสริมลดลง เพราะตำแหน่งของเหล็กปลอกจะขวางกับระนาบการพัง (Potential failure Plane)

## 2.6 การแตกร้าว (Cracking)

### 2.6.1 ชนิดของรอยแตกร้าว

ความเค้นดึงที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกทุก โมเมนต์ และ แรงเฉือน จะเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกร้าวที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ดังรูป 2.14 ชิ้นส่วนที่ได้รับแรงดึงกระทำโดยตรง (direct tension) เต็มพื้นที่หน้าตัด จะมีช่วงกว้างระหว่างรอยแตกร้าว (Crack Spacing) ประมาณ 0.75 - 2 เท่าของความหนาตัดสุดของชิ้นส่วน (คาน) และในกรณีที่คานมีความหนามาก รอยแตกร้าวจะเกิด 2 บริเวณผิวที่เสริมเหล็กทั้งบนและล่าง ดังรูป 2.14a และรอยแตกร้าวหลายๆรอยจะแตกมารวมกันเป็นแนวยาวผ่านหน้าตัดคาน และความกว้างของรอยแตกร้าว ตรงบริเวณ B จะกว้างกว่าที่ A

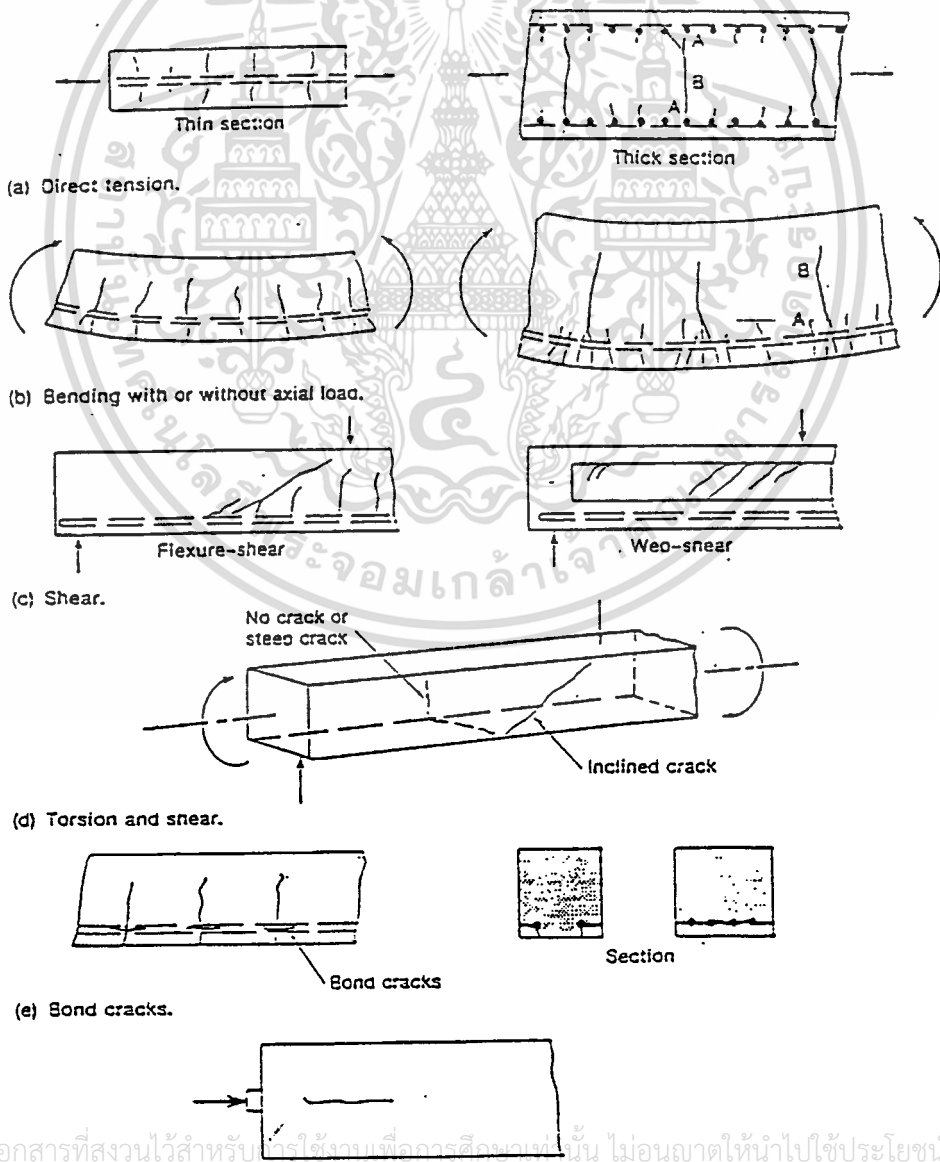
คานที่รับโมเมนต์จะเกิดการแตกร้าวเนื่องจากแรงคด (Flexural Crack) ดังรูป 2.14b รอยแตกร้าว ตามแนวคดที่เกิดจะขยายไปจนถึงแกนสะเทิน Zero-strain axis (Neutral Axis)

คาน และสำหรับคานที่มีความลึกมากกว่า 3 หรือ 4 ฟุต รอยแตกร้าจะเกิดขึ้นถึงในระดับของเหล็กเสริมล่าง และเมื่อหลายๆรอยร้าวมารวมกันจะขยายไปยังตำแหน่งรอยแตกร้า B (ดังรูป 2.14 b).

รอยแตกร้าของคานที่เนื่องมาจากแรงเฉือน มีลักษณะดังรูป 2.14 c รอยร้าจะขยายจากคานล่างขึ้นสู่ N.A.(Neutral Axis) และบางครั้งจะขยายไปถึงผิวรับแรงอัดคานบน

ลักษณะของการแตกร้าที่เนื่องมาจากหน่วยแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress) จะทำให้เกิดการแตกร้าขนานไปตามแนวของเหล็กเสริม ดังรูป 2.14e

การแตกร้าจะเกิดขึ้นที่จุดความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) เมื่อมีน้ำหนักมากระทำและนอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้า เช่น เกิดจากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของปลายที่รองรับ เนื่องมาจากการหดตัวของคอนกรีต หรือ เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ



(a) Direct tension.

(b) Bending with or without axial load.

(c) Shear.

(d) Torsion and shear.

(e) Bond cracks.

(f) Concentrated load.

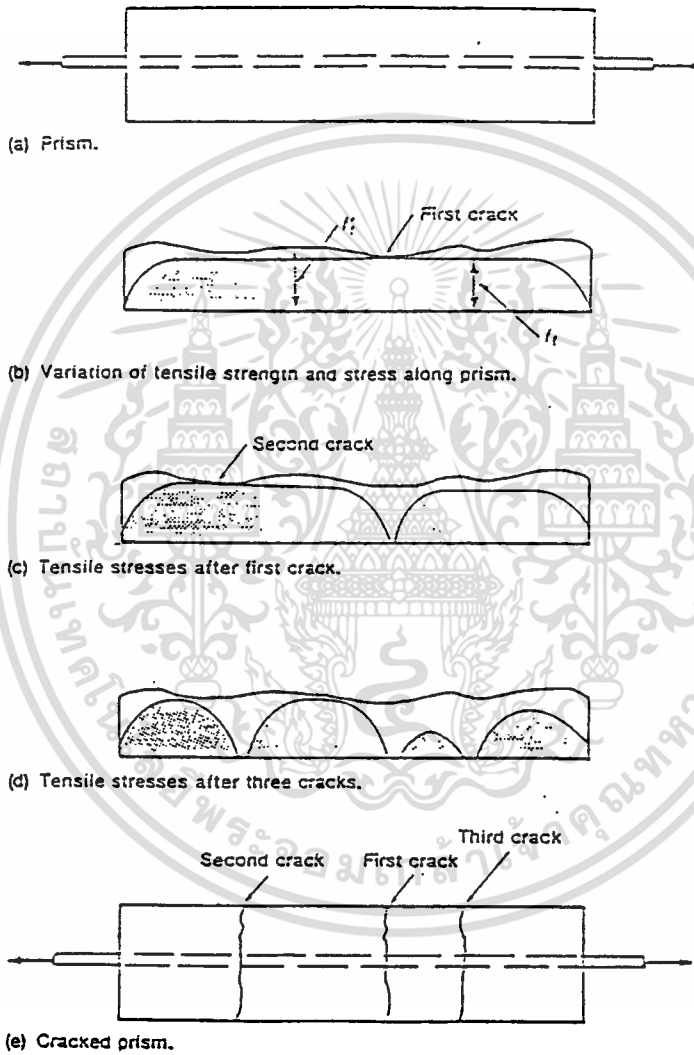
รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของการแตกร้าแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การแตกร้าวที่เนื่องมาจากแรงกระทำ

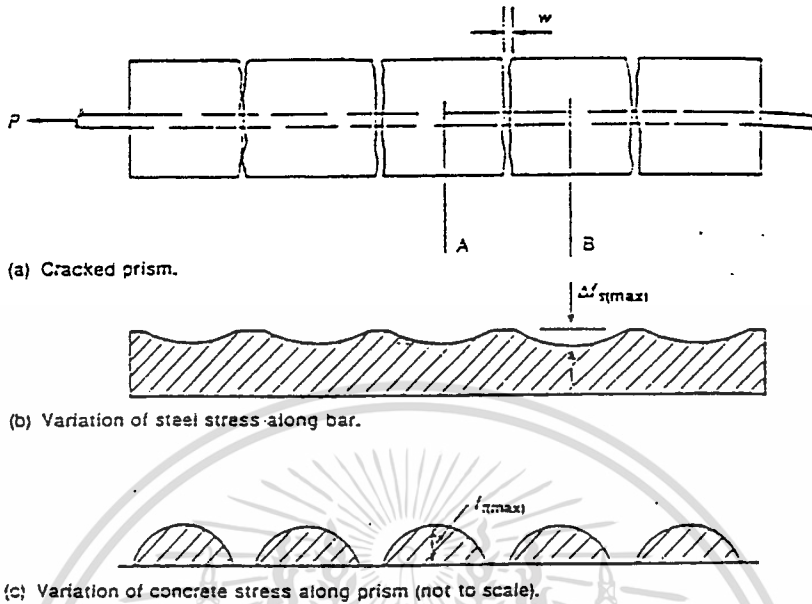
จากรูปที่ 2.15a แสดงน้ำหนักที่กระทำตามแกน การแตกร้าวจะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นดึง (Tensile Stress) ในคอนกรีตถึงค่ากำลังในการรับแรงดึง (Tensile Strength) ที่คอนกรีตสามารถรับได้ ณ ตำแหน่งใดๆของเหล็กเสริมแล้ว จะทำให้เกิดการแตกร้าวและตรงจุดที่แตกร้าว นี้ แรงทั้งหมดในแท่ง Prism จะถูกรับด้วยเหล็กเสริม ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Bond Stress) ในคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากจุดที่เกิดรอยแตกร้าว ซึ่งค่าแรงยึดเหนี่ยวเป็นศูนย์ ออกไปทั้งสองข้างจากรอยแตกร้าว และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ค่าความเค้นดึงของคอนกรีตจะเพิ่มจนถึงค่ากำลังในการรับแรงดึงที่คอนกรีตรับได้ ณ ตำแหน่งถัดไปก็จะทำให้เกิดรอยแตกร้าวขึ้นอีก ด้วยขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำอย่างต่อเนื่อง ขั้นตอนการเกิดรอยแตกร้าว ก็จะดำเนินไปเช่นนี้ จนกระทั่งระยะทางระหว่างรอยแตกร้าว 2 รอย (Crack Spacing) ไม่กว้างพอที่ค่าความเค้นดึงในคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นจนทำให้เกิดการแตกร้าวได้อีก เมื่อถึงจุดนี้จำนวนรอยแตกร้าว จะคงที่และน้ำหนักบรรทุกที่ยังคงเพิ่มขึ้นนั้น จะมีผลเพียงแค่นำให้รอยแตกร้าวที่มีอยู่แล้วกว้างขึ้น ระยะทางระหว่างรอยแตกร้าว (Crack spacing) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับ

- ความหนาของคาน
- ระยะคอนกรีตที่ห่อหุ้มเหล็ก
- ประสิทธิภาพของแรงยึดเหนี่ยวและอื่นๆ



รูปที่ 2.15 แสดงการแตกร้าวเนื่องมาจากแรงกระทำตามแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงกราฟความเค้นในเหล็กและคอนกรีตเมื่อเกิดรอยร้าว

จากรูปที่ 2.16b และรูปที่ 2.16c แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นในเหล็กเสริมและคอนกรีตตามแนวยาวตามด้วยรูปแบบการแตกร้าวที่คงที่ ที่จุดเกิดรอยแตกร้าว ค่าความเค้นในเหล็ก (Steel Stress) และ ค่าความเครียดของเหล็ก (Steel Strain) จะมีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากกราฟวิเคราะห์รอยแตกร้าวในแต่ละส่วน

และในช่วงระหว่างรอยแตกร้าว 2 จุด ค่าความเค้นของคอนกรีตจะมีค่ามากที่สุดและจะเป็นศูนย์ตรงจุดที่แตกร้าว ดังรูป 2.16c ค่า  $w$  (ความกว้างรอย Crack) เป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างในการขยายตัวของเหล็กกับคอนกรีต ในช่วงความยาว AB

$$w = \int_A^B (\epsilon_s - \epsilon_c) dx$$

โดย  $\epsilon_s$  = ค่า Strain ของเหล็ก ณ ช่วง AB

$\epsilon_c$  = ค่า Strain ของคอนกรีต ณ ช่วง AB

$x$  = ระยะวัดตามแนวแกน

ความกว้างรอยแตกร้าว และค่าการเปลี่ยนแปลงใน  $\epsilon_s$  และ  $\epsilon_c$  เป็นการยากที่จะหารูปแบบเป็นสมการในรูปทั่วไป ACI Code จึงได้กำหนดค่าที่กักควบคุมรอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักจนกระทั่งหน่วยแรงดึงที่ผิวคอนกรีตเกินกว่า ค่าโมดูลัสแห่งการแตกร้าว ( $f_r = 1.99\sqrt{f_c}$  กก./ซม<sup>2</sup>) รอยร้าวจะเริ่มปรากฏขึ้น ในสภาวะใช้งานยอมให้คอนกรีตมีรอยร้าวได้ แต่ต้องไม่กว้างมากจนสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า

## 2.7 พิกัดควบคุมระยะโก่ง

ส่วนของโครงสร้างที่รับแรงคด ต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่ระยะโก่งต้องไม่มากเกินไป หรือทำให้รูปลักษณะเปลี่ยนแปลงไปอันจะเป็นเหตุให้ไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ หากออกแบบให้ส่วนของโครงสร้างที่รับแรงคดมีความหนาหรือความลึกไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ใน ตาราง ก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณหาระยะโก่ง ค่าที่ให้ในตารางใช้กับคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและเหล็กเสริมมีกำลังจุดคลากเท่ากับ 4200 กก./ซม.<sup>2</sup> หากใช้เหล็กเสริมมีกำลังจุดคลากเป็นอย่างอื่น ให้คูณค่าในตารางดังกล่าวด้วย  $(0.4 + \frac{f_y}{7000})$

ตารางที่ 2.2 ความหนาดำสุดของพื้นและความลึกดำสุดของคาน

ส่วนของโครงสร้าง	ความหนาหรือความลึกดำสุด			
	ช่วงเดียว	ต่อเนื่องคานเดียว	ต่อเนื่องสองคาน	ปลายยื่น
พื้นทางเดียว	L/20	L/24	L/28	L/10
คานหรือพื้นระบบตงทางเดียว	L/16	L/18.5	L/21	L/8

ผู้ออกแบบอาจต้องการหาระยะโก่งของโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักแบบใดแบบหนึ่งก็ได้ กล่าวคือ ในบางครั้งอาจต้องการทราบถึงระยะโก่งมากที่สุด ที่เกิดขึ้นที่เมื่อรับน้ำหนักคงที่ และน้ำหนักจรใช้งานทั้งหมด หรืออาจเป็นระยะโก่งเนื่องจากน้ำหนักจรเพียงอย่างเดียว และในบางคราวอาจต้องการทราบถึงระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา โดยปกติน้ำหนักจรไม่ได้ใช้งานกระทำพร้อมกันทีเดียวบนโครงสร้าง ดังนั้นระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาอาจจะคำนวณได้จากการกระทำของน้ำหนักคงที่ร่วมกับเศษส่วนของน้ำหนักจรใช้งาน เศษส่วนของน้ำหนักจรใช้งานที่จะพิจารณานี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานของโครงสร้าง เป็นต้นว่า ต้องการคำนวณหาระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาของคานที่รับน้ำหนักของบ้านพักอาศัย ผู้ออกแบบอาจคิดว่าเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ของ

น้ำหนักจรถ่านที่ค้างอยู่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน แต่สำหรับโกดังเก็บของอาจต้องคิดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักจรถ้งหมด เป็นต้น

วิธีการคำนวณหาระยะโก่งที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อรับน้ำหนัก จะทำได้โดยวิธีอัสติค สำหรับน้ำหนักที่ออกแบบไว้ ซึ่งเขียนได้ในรูปทั่วไปคือ

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

ในที่นี้  $F (\text{น้ำหนัก, ช่วงความยาวคาน}) =$  ฟังก์ชันของน้ำหนักและช่วงความยาวคาน

$$E_c = \text{โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต} = 15100 \sqrt{f_c'} \text{ กก./ซม.}^2$$

$$I_e = \text{โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผลของหน้าตัด, ซม.}^4$$

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

$$M_{cr} / M_a = \text{อัตราส่วนระหว่างโมเมนต์แตกร้าวต่อโมเมนต์มากที่สุดที่กระทำ}$$

$$I_g = \text{โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด (ไม่คิดว่ามีเหล็กเสริม)}$$

$$I_{cr} = \text{โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดแปลงร้าว (คิดจาก } n = E_s / E_c)$$

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

ระยะโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา

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

ในที่นี้  $p' = A_s' / bd$  โดยให้พิจารณาที่กึ่งกลางสำหรับคานช่วงเดียวหรือคานต่อ

เนื่อง และพิจารณาที่ฐานรองสำหรับคานยื่น

$T =$  ตัวประกอบตามกาลเวลาที่มีน้ำหนักบรรทุกค้าง ให้ใช้ค่าดังนี้

บรรทุกค้างนาน 5 ปีหรือมากกว่า  $T = 2.0$

12 เดือน  $T = 1.4$

6 เดือน  $T = 1.2$

3 เดือน  $T = 1.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะโค้งทั้งหมด

$$\Delta = \Delta_i + \Delta_a$$

ระยะโค้งที่ยอมให้

1. ระยะโค้งทันทีเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน
  - ก. หลังคา ซึ่งไม่รับฝาดนังหรือส่วนที่มีไซ้โครงสร้าง 1/180
  - ข. พื้น ซึ่งไม่รับฝาดนังหรือส่วนที่มีไซ้โครงสร้าง 1/360
2. ระยะโค้งทั้งหมดที่ได้จากระยะโค้งทันทีเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจรใช้งานรวมกับระยะโค้งตามกาลเวลา
  - ก. หลังคาหรือพื้น ที่รับฝาดนังหรือส่วนที่มีไซ้โครงสร้าง และจะเกิดความเสียหายเมื่อ โกงมากเกินควร 1/480
  - ข. หลังคาหรือพื้น ที่รับฝาดนังหรือส่วนที่มีไซ้โครงสร้าง แต่ไม่นำเกิดความเสียหายเมื่อ โกงตัวมากเกินควร 1/240

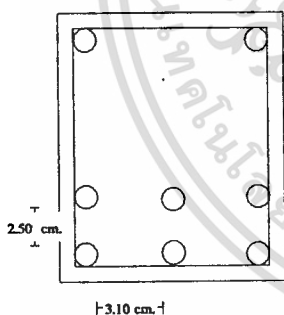
## บทที่ 8

### การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

ในการทดลองนี้ได้ใช้ทฤษฎีกำลังประลัยของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กไขว่อกแบบตัวอย่างทดสอบเสาและคาน

3.1 คาน ตัวอย่างคานที่ใช้ในการทดสอบเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีลักษณะดังนี้

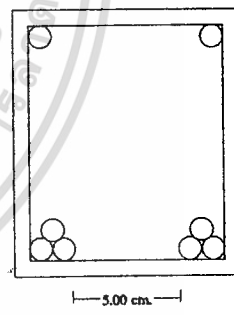
- หน้าตัด  $15 * 30$  cm.  
ยาว  $2.30$  cm. (จุดรองรับที่ระยะ  $2.00$  ม.)  
เหล็กเสริม บน 2 เส้น DB 12 mm.  
ล่าง 6 เส้น DB 12 mm.  
เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 0.12 m.  
ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก  $2.00$  cm.  
 $f_c'$  (กำลังอัดประลัยของคอนกรีต รูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน) = 240 ksc  
 $f_y$  (กำลังคลากของเหล็กเสริม) = 3000 ksc



หน้าตัด 1  
3 ตัวอย่าง



หน้าตัด 2  
(มัดกลุ่มละ 2 เส้น)  
3 ตัวอย่าง



หน้าตัด 3  
(มัดกลุ่มละ 3 เส้น)  
3 ตัวอย่าง

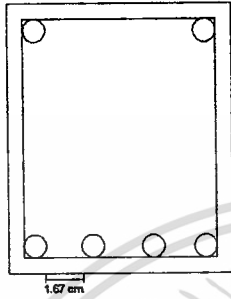
- หน้าตัด  $15 * 30$  cm.  
ยาว  $2.30$  cm. (จุดรองรับที่ระยะ  $2.00$  ม.)  
เหล็กเสริม บน 2 เส้น DB 12 mm.  
ล่าง 4 เส้น DB 12 mm.  
เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 0.12 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2.00 cm.

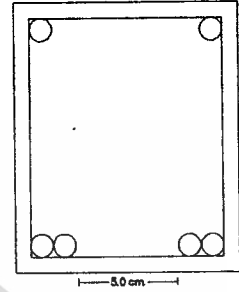
$$f'_c = 240 \text{ ksc}$$

$$f_y = 3000 \text{ ksc}$$



หน้าตัด 1

3 ตัวอย่าง



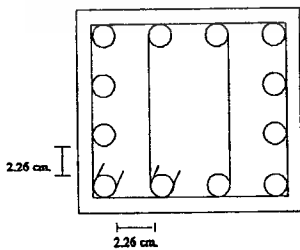
หน้าตัด 2

(มัดกลุ่มละ 2 เส้น)

3 ตัวอย่าง

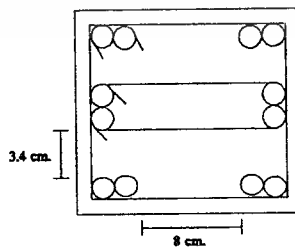
3.2 เสา ตัวอย่างเสาที่ใช้ในการทดสอบเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก มีลักษณะดังนี้

- 1 หน้าตัด 20 \* 20 cm.  
 สูง 75 cm.  
 เหล็กแกน 12 เส้น DB 12 mm.  
 เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 19 cm.  
 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 3 cm.  
 $f'_c = 240 \text{ ksc}$   
 $f_y = 3000 \text{ ksc}$



หน้าตัด 1

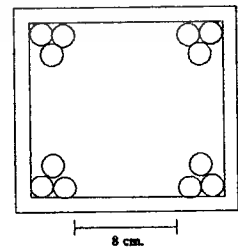
3 ตัวอย่าง



หน้าตัด 2

(มัดกลุ่มละ 2 เส้น)

3 ตัวอย่าง



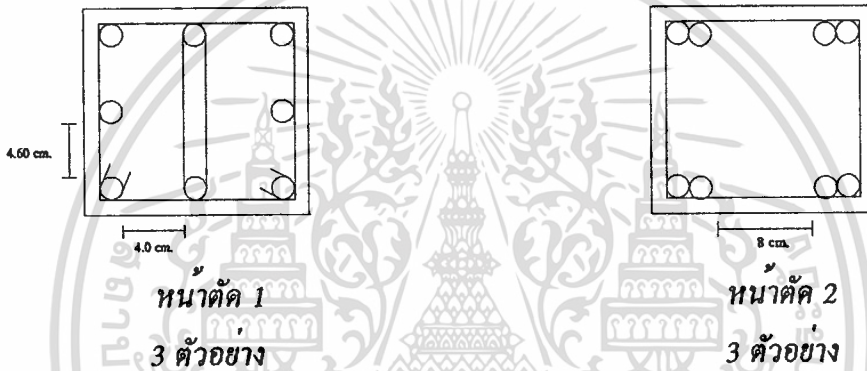
หน้าตัด 3

(มัดกลุ่มละ 3 เส้น)

3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	หน้าตัด	20 * 20 cm.
	สูง	75 cm.
	เหล็กแกน	8 เส้น DB 12 mm.
	เหล็กปลอก	RB 6 mm. @ 0.19 cm.
	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก	3 cm.
	$f_c'$	= 240 ksc
	$f_y$	= 3000 ksc



สำหรับตัวอย่างทดสอบเสาจะเสริมเหล็กปลอกเพิ่มบริเวณหัวและท้ายเสา เพื่อป้องกันการแตกร้าวที่เนื่องมาจากการกระจายของแรงที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Stress Conditions) และมีการฉาบหัวเสาด้วย Non-Shrink ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถรับกำลังอัดได้สูงถึง 700 ksc ที่อายุ 28 วัน ก่อนนำเสาดังกล่าวมาทดสอบ

### 3.3 ขั้นตอนการหล่อคานและเสาดังตัวอย่าง

เริ่มต้นจากการประกอบแบบหล่อซึ่งทำด้วยไม้อัดหนา 9 mm. มาประกอบเป็นแบบเสาและคานให้ได้ระยะและหน้าตัดตามกำหนดต่อจากนั้นก็นำเหล็กเสริมที่ได้เตรียมไว้แล้วมาวางในแบบหล่อและใช้ลูกป้อนหนุนเหล็กเสริมให้มีระยะหุ้มคอนกรีตตามค่าที่ต้องการ จากนั้นนำคอนกรีตซึ่งเป็นคอนกรีตผสมเสร็จมาเทลงในแบบหล่อ และทำการกระทุ้งให้คอนกรีตแน่นสม่ำเสมอ แล้วตบแต่งผิวหน้าให้เรียบทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชม. จึงทำการถอดแบบ จากนั้นก็ทำการบ่มโดยใช้กระสอบคลุมและฉีดน้ำให้มีความชื้นอยู่เสมอส่วนแท่งตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานที่ใช้ทดสอบความต้านทานของแรงอัดของคอนกรีตให้นำไปบ่มในบ่อน้ำจืดใต้อายุคอนกรีต 28 วัน

### 3.4 หลักการออกแบบคานตัวอย่าง

โดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัย ออกแบบให้เป็นหน้าตัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว และการขาคานของคานเมื่อถึงน้ำหนักประลัยเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure)

1. หนาตัด 15 \* 30 cm.  
 ยาว 2.30 m. (จุดรองรับที่ระยะ 2.00 m.)  
 เหล็กเสริม บน 2 เส้น DB 12 mm.  
 ล่าง 6 เส้น DB 12 mm.  
 เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 0.12 m.  
 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2.00 cm.

$$f'_c = 240 \text{ ksc}$$

$$f_y = 3000 \text{ ksc}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 k_1 f'_c * 6117}{f_y (6117 + f_y)}$$

$$= 0.0387$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

$$= 0.029$$

$$\rho_{max} = \frac{A_s}{bd}$$

$$A_s = 0.029 (15 * 24.95)$$

$$= 10.85 \text{ cm}^2$$

$$\therefore A_s \text{ max ที่จะใช้ได้} = 10.85 \text{ cm}^2$$

$$\text{เลือกใช้ } 6 \text{ } 12 \text{ mm. } (A_s = 6.78 \text{ cm}^2)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = 0.018$$

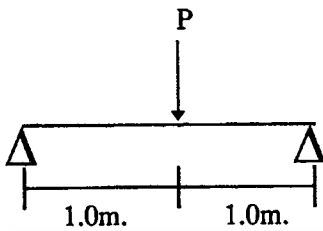
$$M_u = \frac{\rho f_y b d^2 (1 - 0.5 \rho f_y)}{0.85 f_c}$$

$$= 4374.9 \text{ kg.m}$$

$$\approx 4375 \text{ kg.m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังแรงเฉือน ค่า  $V$  ที่จุดรองรับ = 4.375 T



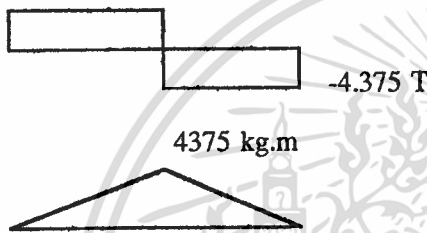
$$v_c = 0.53 \phi \sqrt{f_c'}$$

$$= 6.98 \text{ ksc}$$

$$V_c = 6.98 (15 \times 24.95)$$

$$= 2612.265 \text{ kg}$$

4.375T



$V_u > V_c$  ต้องมีการเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน

ตามมาตรฐานว.ส.ท. ได้กำหนดระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนไว้ว่า ระยะเรียงจะห่างกันได้ไม่เกิน  $d/2$  และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า  $1.59\phi\sqrt{f_c'}$  ระยะเรียงห่างได้ไม่เกิน  $d/4$

$$\text{ในที่นี้ } v_u = \frac{4375}{15 \times 24.95} = 11.69 \text{ ksc} < 1.59\phi\sqrt{f_c'} = 20.94 \text{ ksc}$$

เพราะฉะนั้น ระยะเรียงปลอกห่างไม่เกิน  $d/2 = 24.95 / 2 = 12.475 \approx 12 \text{ cm.}$

ใช้เหล็กปลอกระยะห่าง 12.00 cm. เสริมยาวตลอดคาน

$$\begin{aligned} \text{จาก } A_v &= \frac{(V_u - V_c) s}{\phi f_y d} \\ &= \frac{(4375 - 2612.65) 12}{0.85(2400)24.95} \\ &= 0.415 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

เลือกใช้เหล็กปลอก RB 6 mm.  $A_v = 2(0.283) = 0.566 \text{ cm}^2$

2. หน้าตัด 15 \* 30 cm. ยาว 2.30 m. (จุดรองรับที่ระยะ 2.00 m.)  
 เหล็กเสริม บน 2 เส้น DB 12 mm.  
 ล่าง 4 เส้น DB 12 mm.

เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 12 cm.

ระยะกอนกรีตหุ้มเหล็ก 2.00 cm.

$$f'_c = 240 \text{ ksc}$$

$$f_y = 3000 \text{ ksc}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 k_1 f'_c * 6117}{f_y (6117 + f_y)}$$

$$= 0.0387$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

$$= 0.029$$

$$\rho_{max} = \frac{A_s}{bd}$$

$$A_s = 0.029(15*26.8)$$

$$A_s \text{ max} = 11.658 \text{ cm}^2$$

$$\text{เลือกใช้ } 4 \text{ DB } 12 \text{ mm. } (A_s = 4.52 \text{ cm}^2) > \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

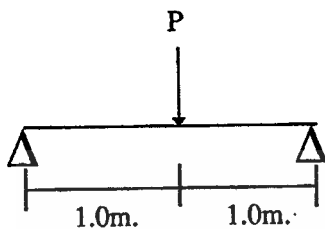
$$\rho = \frac{A_s}{bd} = 0.011$$

$$M_u = \frac{\rho f_y b d^2 (1 - 0.5 \rho f_y)}{0.85 f_c}$$

$$= 3267.73 \text{ kg.m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังแรงเฉือน ค่า  $V$  ที่จุดรองรับ = 3.267T

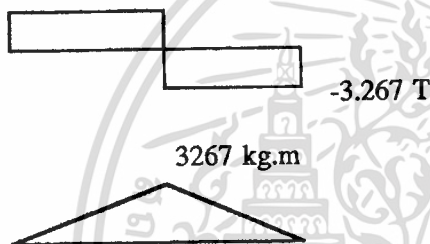


$$v_u = \frac{3267}{15 \cdot 26.8} = 8.13 \text{ ksc}$$

$$v_c = 0.53 \phi \sqrt{f_c'} = 6.98 \text{ ksc}$$

$$V_c = 6.98 (15 \cdot 24.95) = 2612.265 \text{ kg}$$

3.267T



$v_u > v_c$   
ต้องเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน

ตามมาตรฐานว.ส.ท. ระยะเรียงห่างกันได้ไม่เกิน  $d/2$  แต่ถ้าหน่วยแรงเฉือนมากกว่า  $1.59 \phi \sqrt{f_c'}$  ระยะเรียงห่างได้ไม่เกิน  $d/4$

$$\text{ในที่นี้ } v_u = 8.13 \text{ ksc} < 1.59 \phi \sqrt{f_c'} = 20.94 \text{ ksc}$$

$$\therefore \text{ระยะเรียงปลอกห่างกันได้ไม่เกิน } d/2 = 26.8 / 2 = 13.4 \text{ cm.}$$

ใช้ระยะเหล็กปลอกห่างกัน 12 cm. เสริมยาวตลอดคาน

$$\begin{aligned} \text{จาก } A_v &= \frac{(V_u - V_c) s}{\phi f_y d} \\ &= \frac{(3267 - 2805.96) 12}{0.85(2400)26.8} \\ &= 0.101 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กปลอก RB 6 mm. } A_v = 2(0.283) = 0.566 \text{ cm}^2$$

### 3.5 หลักการออกแบบเสาตัวอย่าง

ใช้ทฤษฎีกำลังประลัยออกแบบเป็นเสาสั้นรับน้ำหนักตามแกนได้จากการรวมกำลังรับน้ำหนักที่เป็นส่วนของคอนกรีตและของเหล็กเสริม

1. หน้าตัด 20 \* 20 cm.
- สูง 75 cm.
- เหล็กแกน 12 เส้น DB 12 mm.
- เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 0.19 cm.
- ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 3.00 cm.

$$\begin{aligned}
 P_o &= 0.85 f_c' (A_c - A_{st}) + f_y A_{st} \\
 &= 0.85 * 240(400 - 13.56) + 3000(13.56) \\
 &= 78833.76 + 40680 \\
 &= 119513.76 \\
 &\approx 119.5T
 \end{aligned}$$

2. หน้าตัด 20 \* 20 cm.
- สูง 75 cm.
- เหล็กแกน 8 เส้น DB 12 mm.
- เหล็กปลอก RB 6 mm. @ 0.19 cm.
- ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 3.00 cm.

$$\begin{aligned}
 P_o &= 0.85 f_c' (A_c - A_{st}) + f_y A_{st} \\
 &= 0.85 * 240(400 - 9.04) + 3000(9.04) \\
 &= 79755.84 + 27120 \\
 &= 106875.84 \\
 &\approx 106.88T
 \end{aligned}$$

## บทที่ 4

### ขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบกำลังค้ำของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

##### (The Flexural Strength of Reinforcement Concrete Beam)

###### วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบกำลังค้ำของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อหาค่าการโก่งตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

###### วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

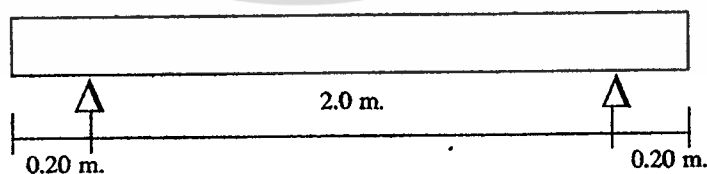
1. เครื่องทดสอบกำลังค้ำ (Universal Testing Machine)
2. แท่นรองรับคานใช้ WF 2 ตัว
3. รอยก

###### การเตรียมก่อนการทดสอบ

1. คานที่ใช้ทดสอบมีขนาด 0.15 x 0.30 เมตร ยาว 230 เมตร จำนวน 15 ตัว
2. การทดสอบจะเป็นแบบการถ่ายน้ำหนักลงที่จุดกลาง (Center-Point Loading)
3. อัตราที่ใช้กด 2 mm/min
4. ติดตั้งแท่นรองรับคานกับเครื่องทดสอบกำลังค้ำ
5. เปลี่ยนหัวกดเป็นหัวกดที่ใช้ทดสอบคานแบบ Center-Point Loading

###### ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำคานที่จะทดสอบวางบนแท่นรองรับคาน โดยวางให้สมดุลโดยปลายคานแต่ละข้างจะเลยแท่นรองรับคานค่านั้น 20 เซนติเมตร



2. กดน้ำหนักตรงกลางคานโดยใช้อัตราค้ำคือ 2 mm/min
3. บันทึกค่าการโก่งตัว (Deflection) และ Load ที่  $L/360$  Deflection Control , ที่ Yield Point และที่จุดประลัย (Ultimate) สังเกตรอยแตกร้าว
4. กัดจนคานตัวอย่างพังทลาย บันทึกค่าการโก่งตัว คำน้หนักสูงสุด และรูปแบบภาพรอยแตกของคานตัวอย่าง และวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบการพังทลายของคานตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบแรงอัดในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

### (Test for Compressive Strength of Reinforcement Concrete Column)

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบกำลังอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อหาค่าการหดตัว (Strain) ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

#### วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
2. Nonshrink (วัสดุที่มีค่า strength สูง) ใช้ฉาบหัวเสาให้เรียบ

#### การเตรียมการก่อนการทดสอบ

1. เสาที่ใช้ทดสอบมีขนาด 0.20 x 0.20 เมตร สูง 0.75 เมตรจำนวน 15 ตัว
2. ก่อนทดสอบนำ Nonshrink มาทำการ cap หัวเสาให้เรียบ โดยจะ cap ทั้ง 2 ด้านคือ ด้านบนและด้านล่างทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน
3. อัตราที่ใช้กดเสาเท่ากับ 0.5 mm/min

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำเสาที่จะทดสอบมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบกำลังอัด
2. กดน้ำหนัก โดยใช้อัตรากด 0.5 mm/min
3. กดเสจนถึงทลาย บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด ค่าการหดตัว และบันทึกรูปแบบรอยแตกของเสาดังกล่าว

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 ทาน

เมื่อทำการทดสอบโดยเครื่อง UTM จะได้ข้อมูลในการทดสอบ ในรูปของตาราง ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ก. จากนั้นจะนำผลที่ได้แบบละ 3 ตัวอย่างมาเฉลี่ยหาค่ากลางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลต่อไป ค่าต่างๆที่นำมาเฉลี่ยแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 และจะแสดงผลที่เฉลี่ยได้ดังตารางที่ 5.2

โดยสัญลักษณ์ของทานที่แสดงในตารางมีความหมายดังนี้

- 4SB : แทนทานมีเหล็กเสริมล่าง DB12 4 เส้น  
ระยะห่างระหว่างเหล็กแบบปกติ (Spacing)
- 4BB2 : แทนทานมีเหล็กเสริมล่าง DB12 4 เส้น  
มัดเหล็กกลุ่มละ 2 เส้น 2 กลุ่ม
- 6SB : แทนทานมีเหล็กเสริมล่าง DB12 6 เส้น  
ระยะห่างระหว่างเหล็กแบบปกติ (Spacing)
- 6BB2 : แทนทานมีเหล็กเสริมล่าง DB12 6 เส้น  
มัดเหล็กกลุ่มละ 2 เส้น 3 กลุ่ม
- 6BB3 : แทนทานมีเหล็กเสริมล่าง DB12 6 เส้น  
มัดเหล็กกลุ่มละ 3 เส้น 2 กลุ่ม

ตารางที่ 5.1 แสดงการเฉลี่ยค่าต่างๆของคานที่ได้จากการทดลอง

Beam No.	Average Load at deflection control (L/360) (kg)	Average Load at yield (kg)	Average Load at ultimate (kg)	Average Displacement at yield load (mm.)	Average Displacement at Ult. load (mm.)
4SB-1	6168.61	7413.808	8878.466	6.719	44.879
4SB-2	6207.754	6371.328	8771.327	5.272	47.12
4SB-3	6885.263	6911.242	8489.518	5.48	49.274
Average 4SB	6420.54	6898.79	8713.1	5.82	47.091
4BB2-1	5811.204	7709.184	9798.82	7.364	49.995
4BB2-2	7584.647	7642.88	9013.762	5.56	24.956
4BB2-3	6132.793	6577.911	9117.615	6.251	49.428
Average 4BB2	6509.55	7309.99	9310.06	6.39	41.46
6SB-1	5243.75	8633.48	10407.439	8.871	47.427
6SB-2	5531.956	8410.924	10090.285	8.486	49.843
6SB-3	3468.118	8857.143	9717.74	3.529	26.137
Average 6SB	5387.85	8522.2	10248.86	8.678	48.63
6BB2-1	4413.107	8698.668	10223.911	9.28	50.025
6BB2-2	5834.088	8367.229	9737.289	7.731	47.603
6BB2-3	7686.866	9117.18	10230.022	6.818	41.293
Average 6BB2	5978.02	8727.69	10063.74	7.943	46.307
6BB3-1	7183.079	8781.403	9756.07	6.806	27.371
6BB3-2	4316.452	8514.285	10103.922	9.288	49.933
6BB3-3	5478.127	9048.475	10384.523	8.64	37.647
Average 6BB3	5889.38	8781.38	10081.49	8.24	40.37

\*ไม่นำค่า 6SB-3 มาเฉลี่ยเนื่องจากคานเอียงและหน้าตัดไม่เรียบค่าที่ได้เป็นค่าผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

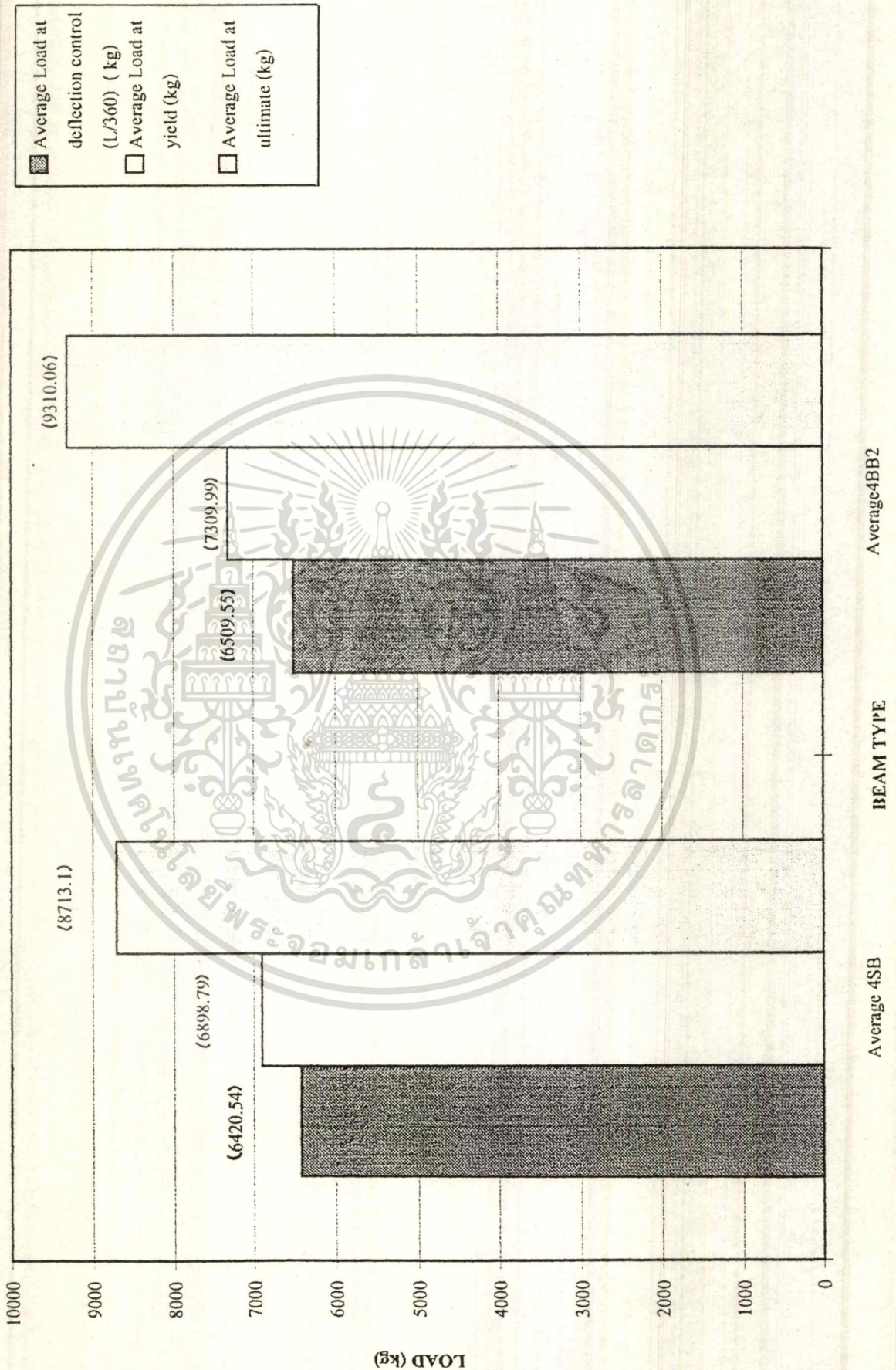
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าผลเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 5.1

Beam No.	Average Load at deflection control (L/360) (kg)	Average Load at yield (kg)	Average Load at ultimate (kg)	Average Displacement at yield load (mm.)	Average Displacement at Ult. load (mm.)
Average 4SB	6421	6899	8713	5.82	47.091
Average 4BB2	6510	7310	9310	6.39	41.46
Average 6SB	5388	8522	10249	8.68	48.63
Average 6BB2	5978	8728	10064	7.94	46.307
Average 6BB3	5839	8781	10081	8.24	40.37

\* ไม่เฉลี่ยค่า 6SB-3

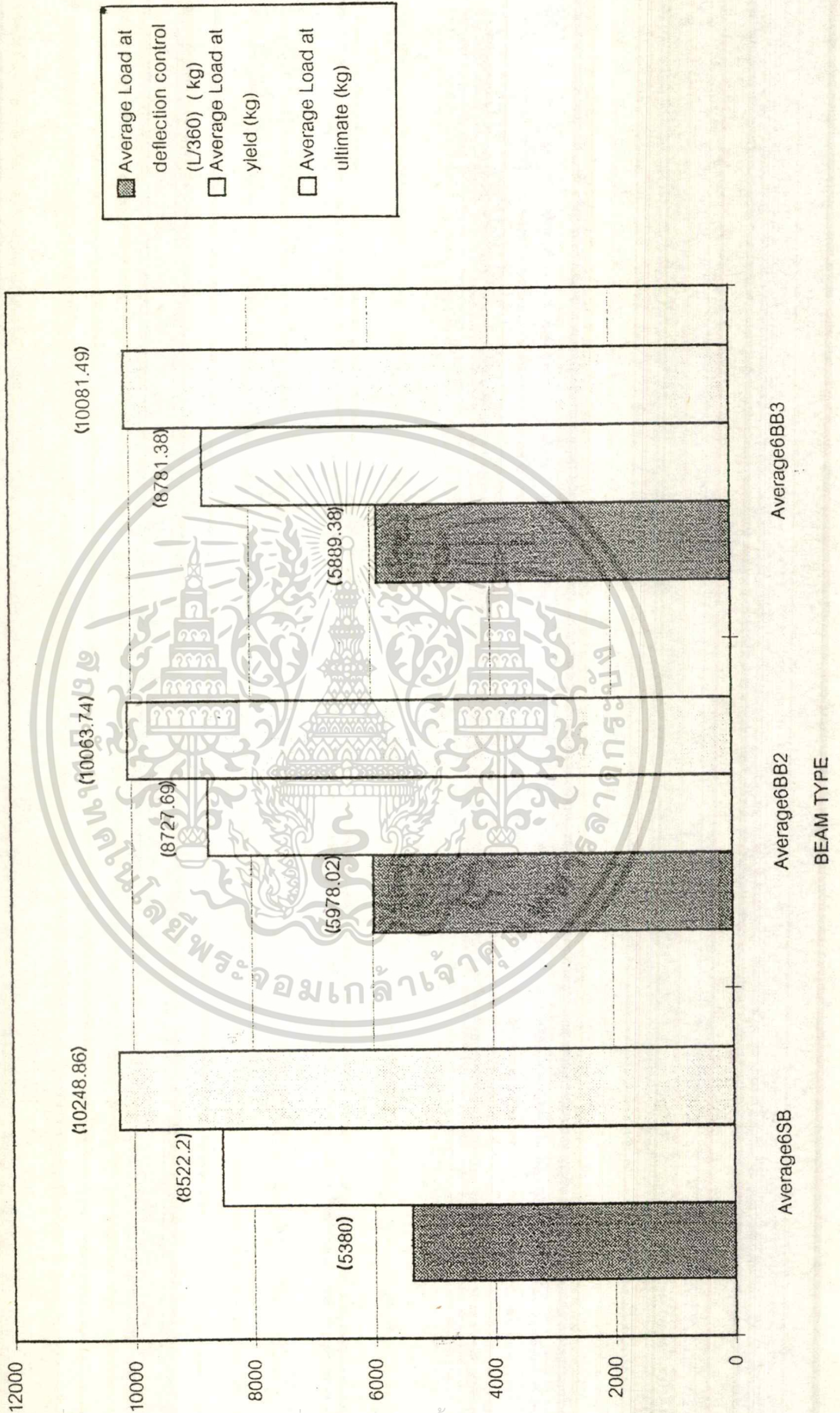
นำค่าเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 5.2 ไปเขียนแสดงในรูปของกราฟแท่ง ดังกราฟที่ 1 และ กราฟที่ 2 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักมากที่สุดที่คานรับได้ในแต่ละช่วงสังเกตระหว่างการเสริมเหล็กแบบปกติและการเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม จากนั้นนำค่าน้ำหนักบรรทุกมากที่สุดที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยทฤษฎีกำลังประลัย พร้อมทั้งแสดงค่าน้อยแรงยึดเหนี่ยวที่จุดน้ำหนักบรรทุกทุกสูงสุด และแสดงลักษณะการพังของคาน ดังตารางที่ 5.3

กราฟที่ 1 แสดงน้ำหนักบรรทุกของทางเปรียบเทียบที่เหล็กด่าง 4 เส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 2 แสดงน้ำหนักบรรทุกของคานเปรียบเทียบที่เหล็กกล้า 6 เส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของคานเปรียบเทียบจากการทดลองและจากการคำนวณ

Beam No.	Main Steel (fy) (KSC)	Cylinder Strength fc' (KSC)	Test Age in days	Ultimated load Ptest(kg)	Calculated load Pcalc (kg)	Ptest/Pcalc	Mode of failure	Calculated Bond stress at Ult. load (ksc)
4SB	2956.46	335	58	8713.1	6743.33	1.292	Flexural failure	22.89
4BB2	2956.46	335	58	9310.06	6743.33	1.38	Flexural failure	24.46
6SB	2956.46	307.83	58	10248.86	8987.28	1.14	Flexural failure	20.25
6BB2	2956.46	307.83	58	10063.74	9489.14	1.06	Flexural failure	18.37
6BB3	2956.46	307.83	58	10081.49	9521.26	1.06	Flexural failure	20.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 เสา

เมื่อทำการทดสอบเสาทดสอบโดยเครื่อง UTM จะได้ข้อมูลในการทดสอบ ในรูปของ ตารางข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ก. จากนั้นนำผลที่ได้แบบละ 3 ตัวอย่างมาเฉลี่ยหาค่ากลางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลต่อไป ค่าต่างๆที่นำมาเฉลี่ยแสดงได้ดังตารางที่ 5.4 และจะแสดงผลที่เฉลี่ยได้ดังตารางที่ 5.5

โดยสัญลักษณ์ของเสาที่แสดงในตารางมีความหมายดังนี้

- 8SC : แทนเสาที่มีเหล็กแกน DB12 8 เส้น  
ระยะเรียงเหล็กแบบปกติ (Spacing)
- 8BC2 : แทนเสาที่มีเหล็กแกน DB12 8 เส้น  
มัดเหล็กกลุ่มละ 2 เส้น 4 กลุ่ม
- 12SC : แทนเสาที่มีเหล็กแกน DB12 12 เส้น  
ระยะเรียงเหล็กแบบปกติ (Spacing)
- 12BC2 : แทนเสาที่มีเหล็กแกน DB12 12 เส้น  
มัดเหล็กกลุ่มละ 2 เส้น 6 กลุ่ม
- 12BC3 : แทนเสาที่มีเหล็กแกน DB12 12 เส้น  
มัดเหล็กกลุ่มละ 3 เส้น 4 กลุ่ม

ตารางที่ 5.4 แสดงการเฉลี่ยค่าต่างๆของเสาที่ได้จากการทดลอง

Column No.	Load at Ult ( Ton)	Displacement at Ult load (mm.)	remark
8SC-1	68.27	2.881	เฉลี่ย 2 ค่า ตัดค่า error 8SC-1
8SC-2	94.51	3.544	จากการ cap หัวไม่เรียบ
8SC-3	105.44	3.846	
Average 8SC	99.97	3.69	
8BC2-1	97.69	3.138	
8BC2-2	100.99	2.898	
8BC2-3	88.03	3.47	
Average 8BC2	95.57	3.16	
12SC-1	100.64	3.357	
12SC-2	106.42	3.593	
12SC-3	109.15	2.996	
Average12SC	105.40	3.31	
12BC2-1	99.74	3.284	
12BC2-2	93.97	3.868	
12BC2-3	114.95	3.007	
Average12BC2	102.88	3.38	
12BC3-1	101.27	3.491	
12BC3-2	101.97	3.148	
12BC3-3	106.58	2.727	
Average12BC3	103.27	3.12	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

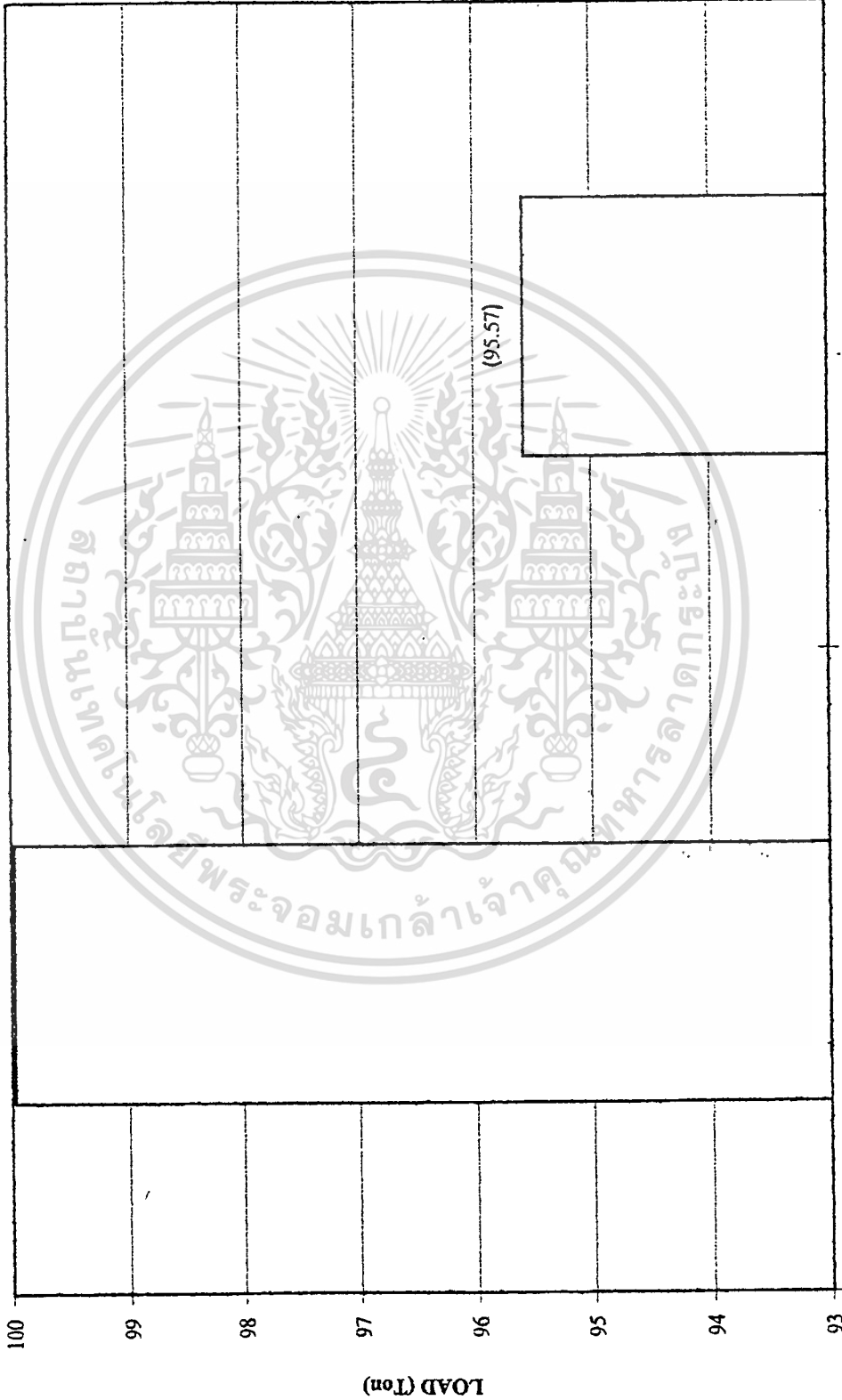
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าผลเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 5.4

Column No.	Average Load at Ult (Ton)	Average Displacement at Ult load (mm.)	remark
Average SSC	99.97	3.69	ไม่เฉลี่ยค่า error SSC-1
Average 8BC2	95.57	3.16	
Average 12SC	105.4	3.31	
Average 12BC2	102.88	3.38	
Average 12BC3	103.27	3.12	

นำค่าเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 5.5 ไปเขียนในรูปของกราฟแท่งแสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาได้รับได้เปรียบเทียบระหว่างการเสริมเหล็กแบบปกติและการเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม ดังกราฟที่ 3 และกราฟที่ 4 จากนั้นนำค่าน้ำหนักบรรทุกมากที่สุดที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยทฤษฎีกำลังประลัย พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งการพังของเสา ดังตารางที่ 5.6

กราฟที่ 3 แสดงน้ำหนักบรรทุกของเสาเปรียบเทียบที่เหล็กแทน 8 เส้น

(99.97)



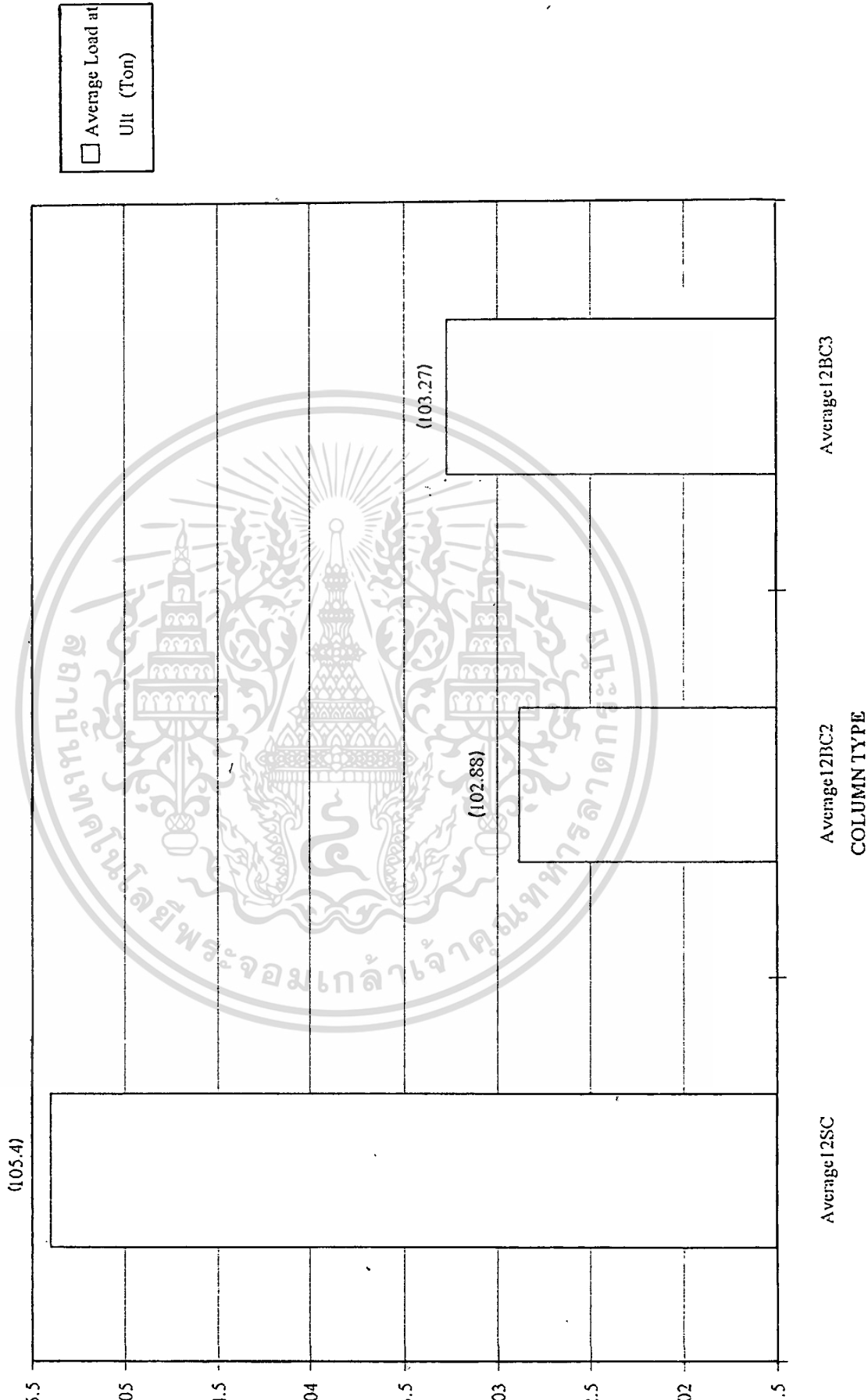
Average 8SC

Average 8BC2

COLUMN TYPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4 แสดงน้ำหนักบรรทุกของเสาเปรียบเทียบที่หลักแถว 12 เส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังผู้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเปรียบเทียบกับผลการทดลองและจากการคำนวณ

Column No.	Main Steel $f_y$ (ksc)	Cylinder Strength $f_c'$ (ksc)	Test Age in days	Ultimate load $P_{ult}$ (ksc)	Calculated load $P_{calc}$ (ksc) (ไม่คูณค่า factor)	$P_{ult}/P_{calc}$	Calculated load $P_{calc}(ksc)$ (คูณค่า factor 0.7)	$P_{ult}/P_{calc}(0.7)$	Location of Failure
8SC	2956.46	283.47	52	99.97	120.93	0.83	84.65	1.18	top
8BC2	2956.46	283.47	52	95.57	120.93	0.79	84.65	1.13	top
12SC	2956.46	283.47	52	105.4	133.2	0.79	93.24	1.13	top
12BC2	2956.46	283.47	52	102.88	133.2	0.77	93.24	1.1	top
12BC3	2956.46	283.47	52	103.274	133.2	0.77	93.24	1.11	top

## บทที่ 6

### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### วิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 6.1 กาน

จากผลการทดลอง สำหรับคานที่เสริมเหล็กกลาง DB12 4 เส้น เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังในการรับน้ำหนักในช่วง Deflection Control ( $L/360$ ) จนถึงช่วง ประลัย (Ultimate) พบว่ากำลังในการรับน้ำหนักของคานที่เสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่มมีแนวโน้มสูงกว่าคานที่เสริมเหล็กแบบปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเสริมเหล็กแบบปกติจะมีช่องว่างระหว่างเหล็กน้อยกว่า ประมาณ 1.67 ซม. ซึ่งเมื่อทำการเทคอนกรีตไปแล้ว ในบริเวณนี้จะเป็นส่วนที่หินไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ได้ ก่อให้เกิดโพรง มีผลให้การรับน้ำหนักบรรทุกของคานลดลงไป ตรงกันข้ามกับคานที่เสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่มซึ่งมีช่องว่างระหว่างเหล็กมากเพียงพอ (ประมาณ 5 ซม.) ที่จะทำให้ออกซิเจนกระจายตัวห่อหุ้มเหล็กได้ทั่วถึง ไม่ทำให้เกิดโพรง ดังนั้นกำลังในการรับน้ำหนักจึงสูงกว่า

สำหรับคานที่เสริมเหล็กกลาง DB12 6 เส้น เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมในการรับน้ำหนักในช่วง Deflection Control พบว่า คานที่เสริมเหล็กแบบปกติมีแนวโน้มในการรับกำลังต่ำกว่าแบบเสริมเหล็กมัดรวมกลุ่ม ทั้งแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น และแบบมัดกลุ่ม 3 เส้น ทั้งนี้เนื่องมาจากพฤติกรรมของคานในช่วงนี้เป็นแบบอีลาสติก ลักษณะของกราฟเป็นเส้นตรง มีความชันค่อนข้างคงที่ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกำลังการรับน้ำหนักของคาน คือ ค่าความลึกประสิทธิผล (Effective Depth) โดยในคานที่เสริมเหล็กแบบปกติจะมีค่าความลึกประสิทธิผลต่ำกว่าคานที่เสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม ทั้งแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น และแบบมัดกลุ่ม 3 เส้น จึงทำให้กำลังในการรับน้ำหนักต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเหล็กมัดกลุ่ม 2 เส้นและมัดกลุ่ม 3 เส้น ปรากฏว่าแบบมัดกลุ่ม 3 เส้นมีแนวโน้มในการรับกำลังได้ต่ำกว่าแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น ทั้งที่มีค่าความลึกประสิทธิผลมากกว่าเล็กน้อยก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากการเสริมเหล็กแบบมัดกลุ่ม 3 เส้นมีเส้นรอบรูปหรือพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเหล็กกับคอนกรีตน้อยกว่าแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเหล็กกับคอนกรีตได้มากกว่า มีผลทำให้กำลังในการรับน้ำหนักตกลงไป แต่เมื่อพิจารณาที่จุดรับกำลังถึงประลัย (Ultimate Load) พบว่าการเสริมเหล็กแบบปกติกลับมีแนวโน้มในการรับกำลังได้มากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่จุดประลัย การเสริมเหล็กแบบปกติจะทำให้การกระจายแรงระหว่างเหล็กกับคอนกรีตเป็นไปได้ดีกว่าแบบเสริมเหล็กมัดรวมกลุ่ม

## 6.2 เสา

จากผลการทดลอง สำหรับเสาที่เสริมเหล็กแกน DB12 8 เส้น เมื่อเปรียบเทียบกำลังในการรับน้ำหนักที่จุดประลัยระหว่างเสาที่เสริมเหล็กแบบปกติและเสริมเหล็กแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น พบว่าแนวโน้มในการรับน้ำหนักของเสาที่เสริมเหล็กแบบปกติจะสูงกว่าแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น และเมื่อพิจารณาเสาที่เสริมเหล็กแกน DB12 12 เส้น เปรียบเทียบกำลังในการรับน้ำหนักที่จุดประลัยระหว่างเสาที่เสริมเหล็กแบบปกติและเสริมเหล็กแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น และมัดกลุ่ม 3 เส้น แนวโน้มในการรับน้ำหนักของเสาที่เสริมเหล็กแบบปกติสูงกว่าเช่นกัน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเสริมเหล็กแบบมัดกลุ่ม 2 เส้น และมัดกลุ่ม 3 เส้น ก็จะพบว่ามีค่ากำลังในการรับน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน โดยเมื่อคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ จะมีค่าแตกต่างกันไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองของเสาที่มีเหล็กแกน 8 เส้นและ 12 เส้น มีแนวโน้มค่ากำลังในการรับน้ำหนักของการเสริมเหล็กแบบปกติสูงกว่าแบบมัดรวมกลุ่ม ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เส้นรอบรูปและการกระจายตัวของเหล็กจะมีผลต่อกำลังในการรับน้ำหนักของเสา โดยถ้าเป็นการเสริมเหล็กแบบปกติเส้นรอบรูปและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเหล็กกับคอนกรีตจะมากกว่าแบบมัดรวมกลุ่ม ทำให้การกระจายแรงระหว่างเหล็กกับคอนกรีตเป็นไปได้ดีกว่า มีผลให้กำลังในการรับน้ำหนักสูงกว่า

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการรับกำลังดัดของคานและการรับกำลังอัดของเสา เปรียบเทียบกันระหว่างการเสริมเหล็กแบบปกติและการเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีลักษณะการพังของโครงสร้างเป็นแบบเดียวกัน ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงๆ ในปัจจุบันก็ได้มีการนำเอาวิธีเหล็กมัดรวมกลุ่มไปใช้โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีปริมาณเหล็กเสริมหนาแน่น จะทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการปฏิบัติงานเป็นอย่างมาก แต่ทั้งนี้ในการใช้งานต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการรับกำลังของโครงสร้างด้วย เช่น ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ( $f_c'$ ) ค่าความเค้นที่จุดคลากของเหล็ก ( $f_y$ ) ขนาดของเหล็กที่จะนำมามัดกลุ่มกัน รวมถึงต้องควบคุมรายละเอียดต่างๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานวสท. ที่กำหนดเอาไว้เกี่ยวกับเรื่องการเสริมเหล็กแบบมัดรวมกลุ่ม

**ภาคผนวก ก**

**ตารางผลการทดลอง**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMUTL  
FACULTY OF ENGINEERING

**Bundle Bar Beam**

**Test type:** Instron Corporation  
**Operator name:** MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
**Sample Identification:** 4SB-1 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
**Interface Type:** 8500

**Sample Rate (pts/secs):** 10.0000 Humidity (%): 50  
**Crosshead Speed:** 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
**2nd Crosshead Speed:** 30.0000 mm/min  
**Full Scale Load Range:** 203043.234 kgf

**Sample comments:**

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflect Control (kgf)
I	8878.466	44.879	7413.808	6.719	6168.609
Mean	8878.466	44.879	7413.808	6.719	6168.609
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beain

Test type: Flox  
 Operator name: MANNIT  
 Sample Identification: 4SB-2  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 Humidity (%): 50  
 Temperature: 73 F  
 Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 4.0000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displemt at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displemt at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
I	8771.327	47.120	6371.328	5.272	6207.754
Mean	8771.327	47.120	6371.328	5.272	6207.754
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Benn

Test type: Instron Corporation  
 Operator name: MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
 Sample Identification: 4S13-3 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/eccs): 10.0000 Humidity (%): 50  
 Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflection Control (kgf)
1	8489.518	49.274	6911.242	5.480	6885.264
Mean	8489.518	49.274	6911.242	5.480	6885.264
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Instron Corporation  
Operator name: MAMIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
Sample Identification: 41B32-1 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/secs): 10.0000 Humidity ( % ): 50  
Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displment at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slp) (kgf)	Displment at Yield (z-slp) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	9798.820	49.995	7709.184	7.364	5811.204
Mean	9798.820	49.995	7709.184	7.364	5811.204
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Instron Corporation  
Operator name: MANTI Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
Sample Identification: 4B132-2 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
Interface Type: 8500

Sample Rate (pis/secs): 10.0000 Humidity ( % ): 50  
Crosshead Speed: 2.0000 mm/min Temperature: 73 F  
2nd Crosshead Speed: 40.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflcc Control (kgf)
1	9013.762	24.956	7642.89	5.56	7584.647
Mean	9013.762	24.956	7642.88	5.56	7584.647
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL,  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Instron Corporation  
Operator name: MANTJ Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
Sample Identification: 4BB2-3 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
Interfere Type: 8500

Sample Rate (pts/secs): 10.0000 Humidity (%): 50  
Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflection Control (kgf)
I	9117.615	49.428	6577.911	6.251	6132.793
Mean	9117.615	49.428	6577.911	6.251	6132.793
S.D.	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Fix  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: 6SB-1  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pis/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 4.0000  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000  
 Full Scale Load Range: 203943.234  
 Humidity ( % ): 50  
 Temperature: 73 F

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	10407.439	47.427	8633.480	8.871	5243.750
Mean	10407.439	47.427	8633.480	8.871	5243.750
S.D.	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Instron Corporation  
Operator name: MANTI Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
Sample Identification: 6SB-2 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/sec): 10.0000 Humidity (%): 50  
Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (2-slip) (kgf)	Displacement at Yield (2-slip) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	10090.285	49.843	8410.924	8.486	5531.956
Mean	10090.285	49.843	8410.924	8.486	5531.956
S.D.	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

**Bundle Bar Beam**

Test type: Instron Corporation  
 Operator name: Series IX Automated Materials Testing System  
 Sample Identification: 6SB-3  
 Interface Type: 8500  
 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 7,27.00

Sample Rate (pts/sec): 10.0000 Humidity (%): 50  
 Crosshead Speed: 2.0000 mm/min Temperature: 73 F  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflection Control (kgf)
1	9717.740	26.137	8857.143	3.529	3468.117
Mean	9717.740	26.137	8857.143	3.529	3468.117
S.D.	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar 13mm

Filex Instron Corporation  
 Operator name: MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
 Sample Identification: 6B12-1 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 Interface Type: 8500

Sample Rate (pis/secs): 10.0000 Humidity (%): 50  
 Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflect Control (kgf)
1	10223.911	50.025	8698.668	9.280	4413.107
Mean	10223.911	50.025	8698.668	9.280	4413.107
S.D.	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Instron Corporation  
 Operator name: MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
 Sample Identification: 6B32-2 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 Interfaco Type: 8500

Sample Rate (pts/secs): 10.0000 Humidity (%): 50  
 Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slp) (kgf)	Displacement at Yield (z-slp) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	9737.289	47.603	8367.229	7.731	5834.088
Mean	9737.289	47.603	8367.229	7.731	5834.088
S.D.	0	0	0	0	0

**KMITL**  
**FACULTY OF ENGINEERING**

**Bundle Bar Beam**

**Test type:** Flex  
**Operator name:** MANIT  
**Sample Identification:** 613B2-3  
**Interface Type:** 8500  
**Instron Corporation**  
**Series IX Automated Materials Testing System**  
**Test Date:** Saturday, April 05, 1997  
**7.27.00**

**Sample Rate (pis/secs):** 10.0000  
**Crosshead Speed:** 4.0000 mm/min  
**2nd Crosshead Speed:** 30.0000 mm/min  
**Full Scale Load Range:** 203943.234 kgf  
**Humidity ( % ):** 50  
**Temperature:** 73 F

**Sample comments:**

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slp) (kgf)	Displacement at Yield (z-slp) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	10230.022	41.293	9117.180	6.818	7686.866
Mean	10230.022	41.293	9117.180	6.818	7686.866
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

Bundle Bar Beam

Test type: Instron Corporation  
 Operator name: MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
 Sample Identification: 6BB3-1 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 Interface Type: 8500

Sample Rate (pls/scca): 10.0000 Humidity (%): 50  
 Crosshead Speed: 4.0000 mm/min Temperature: 73 F  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	9756.070	27.371	8781.403	6.806	7183.078
Mean	9756.070	27.371	8781.403	6.806	7183.078
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

**Bundle Bar Bonn**

**Test type:** Instron Corporation  
**Operator name:** Series IX Automated Materials Testing System  
**Sample Identification:** 61B33-2  
**Interface Type:** 8500  
**Test Date:** Saturday, April 05, 1997  
**7.27.00**

**Sample Rate (pts/secs):** 10.0000  
**Crosshead Speed:** 4.0000 mm/min  
**2nd Crosshead Speed:** 30.0000 mm/min  
**Full Scale Load Range:** 203943.234 kgf  
**Humidity ( % ):** 50  
**Temperature:** 73 F

**Sample comments:**

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (z-slip) (kgf)	Displacement at Yield (z-slip) (mm)	Load at Deflection Control (kgf)
1	10103.922	49.933	8514.285	9.289	4316.451
Mean	10103.922	49.933	8514.285	9.288	4316.451
S.D.	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## KMITL

## FACULTY OF ENGINEERING

## Bundle Bar Beam

Test type: Flex  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: 6B33-3  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Saturday, April 05, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 4.0000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 30.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf  
 Humidity (%): 50  
 Temperature: 73 F

## Sample comments:

	Load at Yield (Max Load) (kgf)	Displacement at Yield (Max Load) (mm)	Load at Yield (2-slip) (kgf)	Displacement at Yield (2-slip) (mm)	Load at Deflec Control (kgf)
1	10384.523	37.647	9048.475	8.640	5478.127
Mean	10384.523	37.647	9048.475	8.640	5478.127
S.D.	0	0	0	0	0

KMUTL  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANNI  
 Sample Identification: 85C-1  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Tuesday, April 01, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pis/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 36000.0000 kg/min  
 2nd Crosshead Speed: 50.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at		Displacement at		Stress at		Strain at		Modulus (kgf/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (Ton)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	Max.Load (mm)	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	
1	68.268	2.881	2.881	1.707	0.004	795.996			
Mean	68.268	2.881	2.881	1.707	0.004	795.996			
S.D.	0	0	0	0	0	0			

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Compression Instron Corporation 7.27.00  
 Operator name: MANNIT Series IX-Automated Materials Testing System  
 Sample Identification: 8SC-2 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/secs): 10.0000 Humidity (%): 65  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min Temperature: 25 C  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at		Displacement at		Stress at		Strain at		Modulus (AutYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (Ton)	Max.Load (mm)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )		
I	94.508	3.544	2.363	0.005	602.333				
Mean	94.508	3.544	2.363	0.005	602.333				
S.D.	0	0	0	0	0				

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Instron Corporation  
Operator name: MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
Sample Identification: 8SC-3 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
Interface Type: 8500

Sample Rate (pls/sec): 10.0000 Humidity (%): 65  
Crosshead Speed: 0.5000 mm/min Temperature: 25 C  
2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at		Displacement at		Stress at		Strain at		Modulus (AutYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (Ton)	105.439	Max.Load (mm)	3.846	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	2.636	Max.Load (mm/mm)	0.005	
Mean	105.439		3.846		2.636		0.005		592.849
S.D.	0		0		0		0		0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
Operator name: MANIT  
Sample Identification: 8BC2-1  
Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

TI:AM

PKOM

Sample comments:

Instron Corporation  
Series IX Automated Materials Testing System  
Test Date: Sunday, April 06, 1997

Humidity (%): 65  
Temperature: 25 C

	Load at Max.Load (Ton)	Displacement at Max.Load (mm)		Stress at Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )		Strain at Max.Load (mm/mm)		Modulus (Aut/Young) (kg/mm <sup>2</sup> )
1	97.685	3.138	2.442	0.004	752.012			
Mean	97.685	3.138	2.442	0.004	752.012			
S.D.	0	0	0	0	0			0

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANIJ  
 Sample Identification: 81XC2-2  
 Interface Type: 8500  
 Insiron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pis/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 2039,13,234 kgf  
 Humidity ( % ): 65  
 Temperature: 25 C

TIME  
FROM

Sample comments:

	Load		Displacement		Stress		Strain		Modulus (AutYoung) (kg/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (Ton)	0	Max.Load (mm)	0	Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )	0	Max.Load (mm/mm)	0	
1	100.988	0	2.898	0	2.525	0.004	0.004	759.934	
Mean	100.988	0	2.898	0	2.525	0.004	0.004	759.934	
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	0	

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: 813C2-3  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00  
 Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Humidity ( % ): 65  
 Temperature: 25 C  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

TIME: AM  
 FROM

Sample comments:

	Load at		Displacement at		Stress at		Strain at		Modulus (AutYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (Ton)	0	Max.Load (mm)	0	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	0	Max.Load (mm/mm)	0	
I	88.030	0	3.470	0	2.201	0.005	0.005	0	615.581
Mean	88.030	0	3.470	0	2.201	0.005	0.005	0	615.581
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	0	0

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: I2SC-1  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pis/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

TI:AM

FKOM

Sample comments:

	Load		Displacement		Stress		Strain		Modulus (Avg Young) (kg/mm <sup>2</sup> )
	at Max.Load (Ton)	at Max.Load (mm)	at Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )	at Max.Load (mm/mm)	at Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )	at Max.Load (mm/mm)			
I	100.637	3.357	2.516	0.004	661.547				
Mean	100.637	3.357	2.516	0.004	661.547				
S.D.	0	0	0	0	0				

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANNI  
 Sample Identification: I2SC-2  
 Interface Type: 8500  
 Sample Rate (pis/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00

TEAM  
 FROM

Sample comments:

	Load at (Ton)	Displacement (mm)		Stress (kgf/mm <sup>2</sup> )		Strain at (mm/mm)		Modulus (AufYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
		Max.Load	Max.Load	Max.Load	Max.Load			
1	106.418	3.593	2.660	2.660	0.005	0.005	621.646	
Mean	106.418	3.593	2.660	2.660	0.005	0.005	621.646	
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANII  
 Sample Identification: 12SC-3  
 Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at		Displcement at		Stress at		Strain at		Modulus (Avg Young) (kg/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (Ton)	109.145	Max.Load (mm)	2.996	Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )	2.729	Max.Load (mm/mm)	0.004	
1	109.145	109.145	0	2.996	2.729	2.729	0.004	0.004	765.949
Mean	0	0	0	0	0	0	0	0	765.949
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00

Humidity ( % ): 65  
 Temperature: 25 C

KMUTT.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: 12BK2-1  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

TEAM

FROM

Sample comments:

	Load at Max Load (Ton)	Displacement at Max Load (mm)		Stress at Max Load (kgf/mm <sup>2</sup> )		Strain at Max Load (mm/mm)		Modulus (Avg Young) (kgf/mm <sup>2</sup> )
		Max Load	Min	Max Load	Min	Max Load	Min	
1	99.744	3.284	3.284	2.494	2.494	0.004	0.004	712.391
Mean	99.744	3.284	3.284	2.494	2.494	0.004	0.004	712.391
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANTI  
 Sample Identification: 1210C2-2  
 Interface Type: 8500  
 Instiron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf

TI:AM  
FROM

Sample comments:

	Load at (Ton)	Displacement at (mm)		Stress at (kgf/mm <sup>2</sup> )		Strain at		Modulus (AutYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
		Max.Load	at	Max.Load	at	Max.Load	at	
1	93.972	3.868	3.868	2.349	2.349	0.005	0.005	597.650
Mean	93.972	3.868	3.868	2.349	2.349	0.005	0.005	597.650
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	0

KMITL.

FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: 12BC2-3  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 203943.234 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

TEAM

FROM

Sample comments:

	Load at		Displacement at		Stress at		Strain at		Modulus (Aut/Young) (kg/mm <sup>2</sup> )
	Max. Load (Ton)	Max. Load (mm)	Max. Load (kg/mm <sup>2</sup> )	Max. Load (mm/mm)	Max. Load (kg/mm <sup>2</sup> )	Max. Load (mm/mm)			
I	114.952	3.007	2.874	0.004	862.847				
Mean	114.952	3.007	2.874	0.004	862.847				
S.D.	0	0	0	0	0				

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANFI  
 Sample Identification: 121IC3-1  
 Interface Type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 Sample Rate (pts/secs): 10.0000  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 20.8913.234 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at	Displacement at	Stress at	Strain at	Modulus
	Max.Load (Ton)	Max.Load (mm)	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	Max.Load (mm/mm)	(AutYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
I	101.274	3.491	2.532	0.005	586.987
Mean	101.274	3.491	2.532	0.005	586.987
S.D.	0	0	0	0	0

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Instron Corporation  
Operator name: MANIT Series IX Automated Materials Testing System 7.27.00  
Sample Identification: 12BC3-2 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
Interface Type: 8500

Sample Rate (pts/sec): 10.0000 mm/min Humidity (%): 65  
Crosshead Speed: 0.5000 mm/min Temperature: 25 C  
2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
Full Scale Load Range: 20.3943,2.34 kgf

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at		Displacement at		Stress at		Strain at		Modulus (AutYoung) (kgf/mm <sup>2</sup> )
	Max.Load (T <sub>out</sub> )	101.973	Max.Load (mm)	3.148	Max.Load (kgf/mm <sup>2</sup> )	2.549	Max.Load (mm/mm)	0.004	
1	101.973	0	3.148	0	2.549	0	0.004	0	716.066
Mean	101.973	0	3.148	0	2.549	0	0.004	0	716.066
S.D.	0	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL.  
FACULTY OF ENGINEERING

bundle column test

Test type: Compression  
 Operator name: MANIT  
 Sample Identification: I2BC3-3  
 Interface type: 8500  
 Instron Corporation  
 Series IX Automated Materials Testing System  
 Test Date: Sunday, April 06, 1997  
 7.27.00

Sample Rate (pis/secs): 10.0000 mm/min  
 Crosshead Speed: 0.5000 mm/min  
 2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min  
 Full Scale Load Range: 20.19/13.2/4 kgf  
 Humidity (%): 65  
 Temperature: 25 C

TEAM  
FROM

Sample comments:

	Load at Max.Load (Ton)	Displacement at Max.Load (mm)	Stress at		Strain at		Modulus (Aut.Young) (kg/mm <sup>2</sup> )
			Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (mm/mm)	Max.Load (kg/mm <sup>2</sup> )	
I	106.575	2.727	2.664	0.004	0.004	860.346	
Mean	106.575	2.727	2.664	0.004	0.004	860.346	
S.D.	0	0	0	0	0	0	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น <sup>5</sup> อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ทЕНซิล TEST OF STEEL**

Specimen No.	Type of steel		Length (cm)	Weight (kg)	Diameter (mm)	Cross Sectional Area (cm <sup>2</sup> )	Load		Tensile Stress		Gauge length (cm)	Elongation		Remark
	R.B.	D.B.					Yield (kg)	Ultimate (kg)	Yield (ksc)	Ultimate(ksc)		(cm)	(%)	
1	-	12DB30	71	570	11.85	1.10	3300	4305	3000	3913.64	3.0	4.5	50	Average fy =2956 ksc
2	-	12DB30	72.2	581	11.93	1.12	3150	4320	2812.5	3857.14	3.0	4.4	46.66	
3	-	12DB30	70.3	565	11.75	1.08	3300	4350	3055.55	4027.78	3.0	4.55	51.66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลข้างต้นไปยังผู้ใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบี คอนกรีต COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Compressive Strength (KSC)	Remark
1		290.1	Ready Mix Strength 240
2		341.4	ksc (cylinder)
3		292.0	
Average	6SB, 6BB2, 6BB3	307.83	
1		376	Ready Mix Strength 240
2		289	ksc (cube)
3		362	
4		*141	หน้าตัดไม่เรียบ (ไม่พามาเกลี่ย)
5		252	
6		*170	หน้าตัดไม่เรียบ (ไม่พามาเกลี่ย)
7		396	
8		335	
Average	4SB, 4BB2	335	
1		263.8	Ready Mix Strength 240
2		270.6	ksc (cube)
3		281.7	
4		287.6	
5		294	
6		296.6	
Average	8SC, 8BC2, 12SC, 12BC2, 12BC3	283.47	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทวร1C1 CONCRETE MIX DESIGN (Readymixed)

### SPECIFICATION OF DESIGN

MIX ID	:	U240P	
CHARACTERISTIC STRENGTH	:	240	ksc at 28 day by cube .
DESIGN SLUMP	:	10	cm +/- 2.5
MAX SIZE OF COARSE AGGREGATE	:	20	mm
CEMENT : PORTLAND TYPE	:	1	
CEMENT CONTENT	:	320	kgs
S.G. OF CEMENT	:	3.1	
S.G. OF SSD SAND	:	2.6	
S.G. OF SSD STONE	:	2.7	
ADMIXTURE TYPE	:	D	DARATARD 17
ADMIXTURE DOSAGES	:	250	ml/100kg cement
W/C	:	0.58	
S/A	:	0.45	
A/C	:	5.73	
AIR CONTENT	:	2%	
WATER CONTENT	:	185	litres

### QUANTITY OF CONTENTS IN 1 cu.m OF CONCRETE

<u>VOLUME OF CONTENTS</u>		<u>WEIGHT OF CONTENTS</u>	
CEMENT	0.1032 cu.m.	CEMENT	320.00 kg
WATER	0.1850 cu.m.	WATER	185.00 kg
SAND	0.3109 cu.m.	SAND	808.44 kg
STONE	0.3800 cu.m.	STONE	1026.10 kg
ADMIXTURE	0.0008 cu.m.	ADMIXTURE	0.96 kg
AIR	0.0200 cu.m.		

### SUMMARY

MIX ID	CEMENT	SLUMP	SAND	STONE	DARATARD17	WATER
	kg	cm	kg	kg	litres	litres
U240P	320	10+/-2.5	810	1030	0.80	185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 วิศวกรรมโยธาฯ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง C2 CONCRETE MIX DESIGN (Readymixed)

### SPECIFICATION OF DESIGN

MIX ID	:	Y240P	
CHARACTERISTIC STRENGTH	:	240	ksc at 28 day by cylinder
DESIGN SLUMP	:	10	cm +/- 2.5
MAX SIZE OF COARSE AGGREGATE	:	20	mm
CEMENT : PORTLAND TYPE	:	1	
CEMENT CONTENT	:	340	kgs.
S.G. OF CEMENT	:	3.1	
S.G. OF SSD SAND	:	2.6	
S.G. OF SSD STONE	:	2.7	
ADMIXTURE TYPE	:	D	DARATARD 17
ADMIXTURE DOSAGES	:	250	ml/100kg cement
W/C	:	0.54	
S/A	:	0.45	
A/C	:	5.34	
AIR CONTENT	:	2%	
WATER CONTENT	:	185	litres

### QUANTITY OF CONTENTS IN 1 cu.m OF CONCRETE

<u>VOLUME OF CONTENTS</u>		<u>WEIGHT OF CONTENTS</u>	
CEMENT	0.1097 cu.m.	CEMENT	340.00 kg
WATER	0.1850 cu.m.	WATER	185.00 kg
SAND	0.3080 cu.m.	SAND	800.83 kg
STONE	0.3765 cu.m.	STONE	1016.44 kg
ADMIXTURE	0.0008 cu.m.	ADMIXTURE	1.02 kg
AIR	0.0200 cu.m.		

### SUMMARY

MIX II CEMENT	SLUMP	SAND	STONE	DARATARD17	WATER
kg	cm	kg	kg	litres	litres

Y240P เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อศึกษานั้น ไม่นอญญาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ค**  
**ข้อกำหนดและมาตรฐานการออกแบบ**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อกำหนดเกี่ยวกับเหล็กมัดรวมกลุ่ม

จากมาตรฐาน วสท. 3406 ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

ฉ) เหล็กเส้นมัดรวมกันเป็นกำ

1. เหล็กเส้นหลายเส้นที่ขนานกันและมัดรวมกันเป็นกำ เพื่อให้รับแรงเสมือนเป็นหน่วยเดียวกันนั้นต้องเป็นเหล็กข้ออ้อยทุกเส้น มีจำนวนไม่เกินมัดละ 4 เส้น
2. เหล็กเส้นมัดรวมกันเป็นกำต้องถูกล้อมรอบให้อยู่ภายในเหล็กดุกตั้งหรือเหล็กปลอกเดี่ยว
3. เหล็กเส้นขนานเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 36 มม. ไม่อนุญาตให้มัดรวมกันในคาน
4. ในเหล็กเส้นที่มัดรวมกันเป็นกำ เหล็กเส้นแต่ละเส้นที่สิ้นสุดในช่วงขององค์อาคารรับแรงคด ต้องสิ้นสุดในตำแหน่งที่เหลื่อมกัน โดยมีตำแหน่งสิ้นสุดห่างกันอย่างน้อย 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้น
5. หากใช้วิธีกำหนดระยะเรียงของเหล็กเส้นและระยะหุ้มคอนกรีตต่ำสุด โดยการถือเอาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นเป็นหลัก ให้ถือว่าเหล็กแต่ละกำเป็นเสมือนเหล็กเส้นเดี่ยวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่หามาจากเนื้อที่หน้าตัดเทียบเท่ากับเหล็กเส้นทั้งกำรวมกัน

จากมาตรฐาน วสท. 3407 คอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

ค) เหล็กเส้นมัดรวมกันเป็นกำ

ระยะหุ้มต่ำสุดของคอนกรีตต้องเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นเดี่ยว ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดเทียบเท่ากับเหล็กเส้นทั้งกำรวมกัน แต่ไม่จำเป็นต้องมากกว่า 5.0 ซม.

กรณีคอนกรีตที่หล่อติดกับดิน และผิวคอนกรีตสัมผัสกับดินตลอดเวลา ระยะหุ้มต่ำสุดต้องไม่น้อยกว่า 7.5 ซม.

จากมาตรฐาน วสท. 4504 การทำให้เกิดแรงโดยการฝังของเหล็กเส้นมัดรวมกันเป็นกำ

ก) ความยาวระยะฝังเพิ่มของเหล็กแต่ละเส้นที่มัดรวมกันเป็นกำที่รับแรงดึงหรือแรงอัด ต้องมีความยาวเท่ากับความยาวระยะฝังเพิ่มของเหล็กแต่ละเส้นนั้น และต้องเพิ่มอีกร้อยละ 20 สำหรับเหล็กเส้นสามเส้นมัดรวมกันเป็นกำ และเพิ่มอีกร้อยละ 3.3 สำหรับเหล็กเส้นสี่เส้นมัดรวมกันเป็นกำ

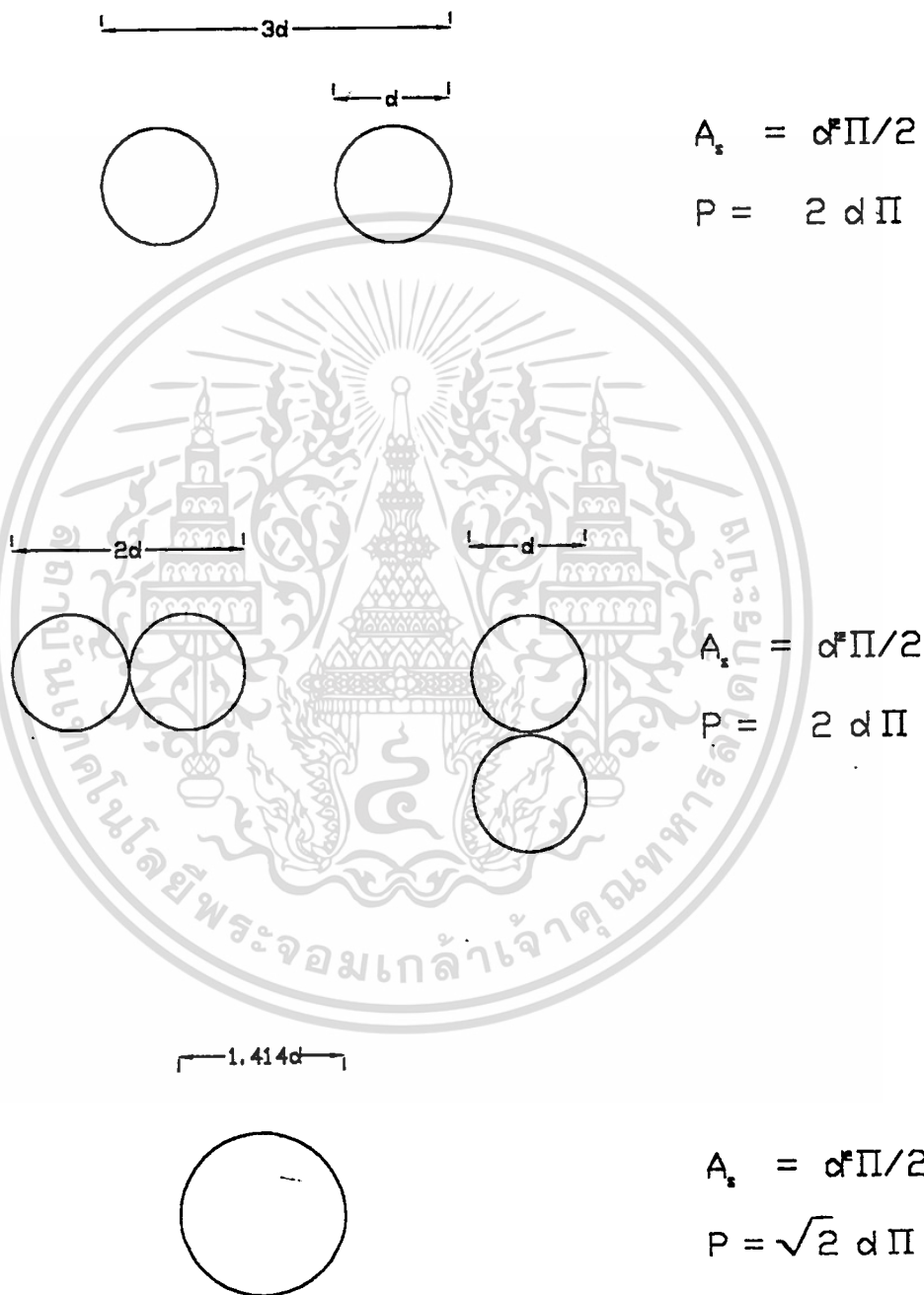
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) สำหรับการหาตัวคูณที่เหมาะสมในข้อ 4502 (ค) และ 4502 (ง)3 ให้ถือว่าเส้นที่  
มีครวมกันเป็นกำเสมือนหนึ่งเป็นเส้นเดี่ยวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่หามาจากเนื้อที่หน้า  
ตัดเทียบเท่าทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

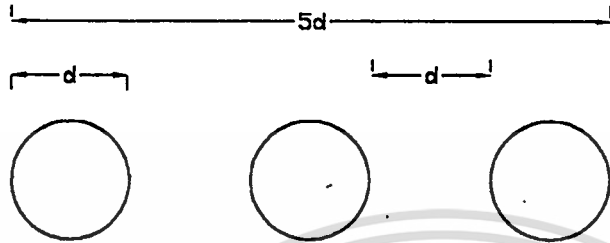
จากข้อเสนอแนะในการใช้ Bundle Bar (โดย Frank D. Steiner) ใน ACI JOURNAL ได้แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อทำการ Bundle ไว้ดังนี้



รูปที่ ค.1 แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อ Bundle 2

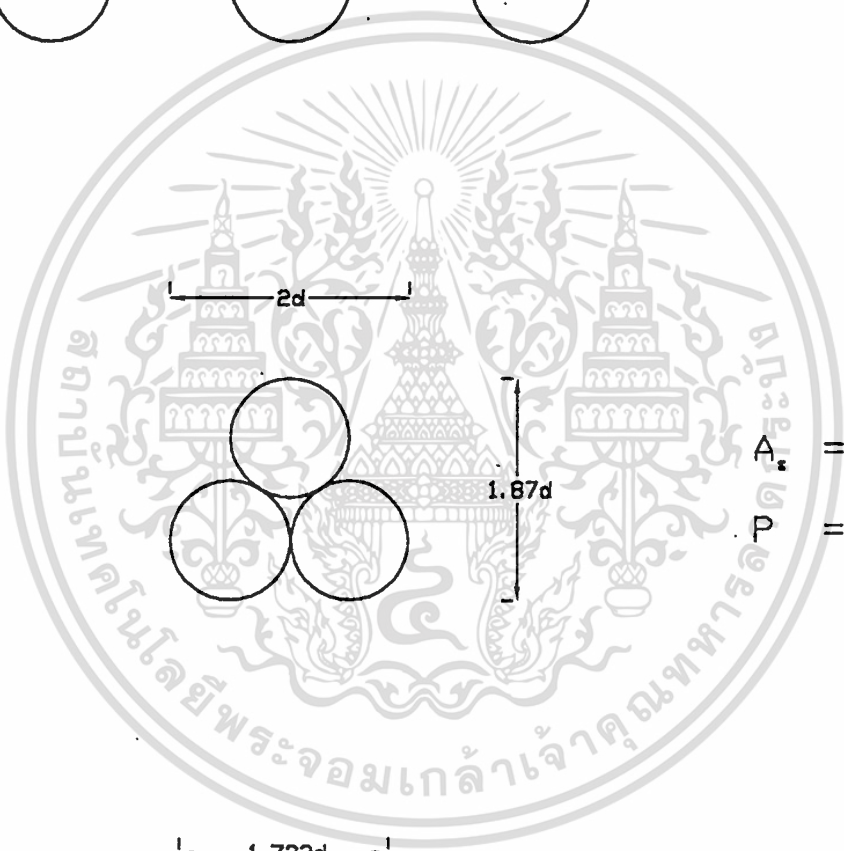
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ และผู้จัดทำเพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อเสนอแนะในการใช้ Bundle Bar (โดย Frank D. Steiner) ใน ACI JOURNAL ได้แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อทำการ Bundle ไว้ดังนี้



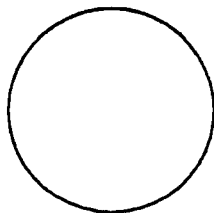
$$A_s = 3/4 d^2 \Pi$$

$$P = 3 d \Pi$$



$$A_s = 3/4 d^2 \Pi$$

$$P = 2.5 d \Pi$$



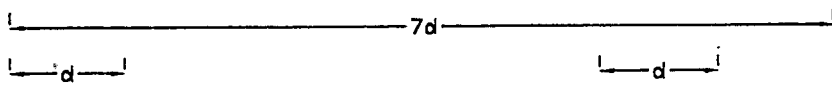
$$A_s = 3/4 d^2 \Pi$$

$$P = \sqrt{3} d \Pi$$

รูปที่ ค. 2 แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อ Bundle 3

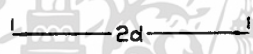
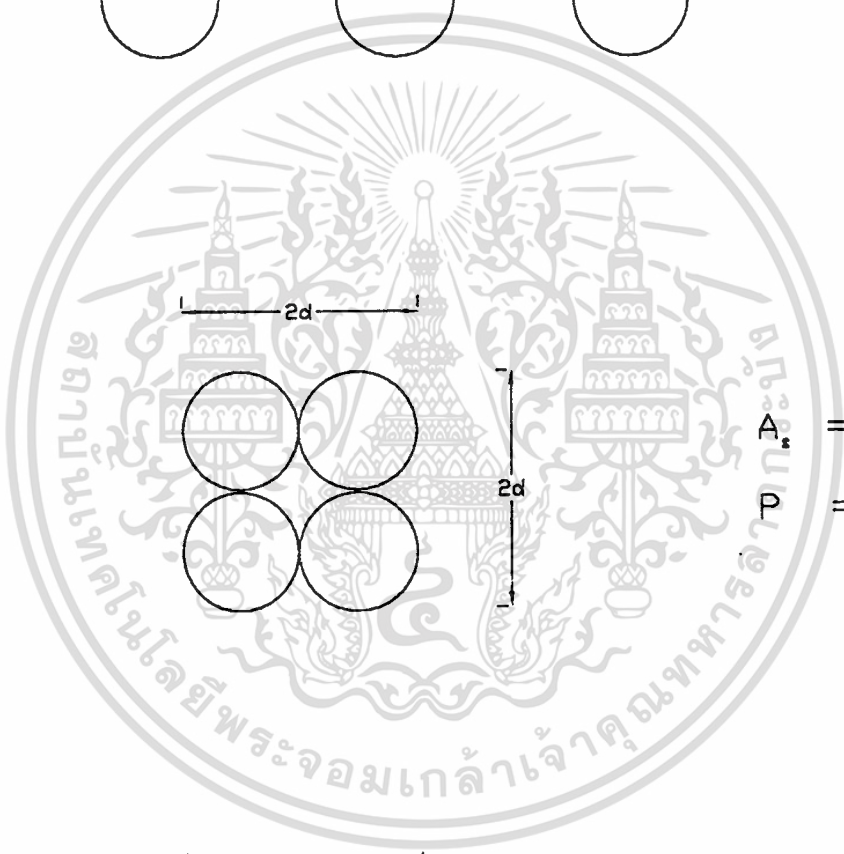
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อเสนอแนะในการใช้ Bundle Bar (โดย Frank D. Steiner) ใน ACI JOURNAL ได้แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อทำการ Bundle ไว้ดังนี้



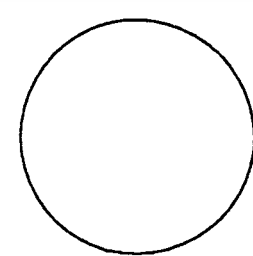
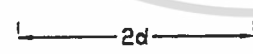
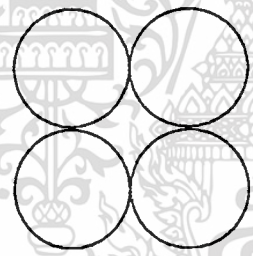
$$A_s = d^2 \Pi$$

$$P = 4 d \Pi$$



$$A_s = d^2 \Pi$$

$$P = 3 d \Pi$$



$$A_s = d^2 \Pi$$

$$P = 2 d \Pi$$

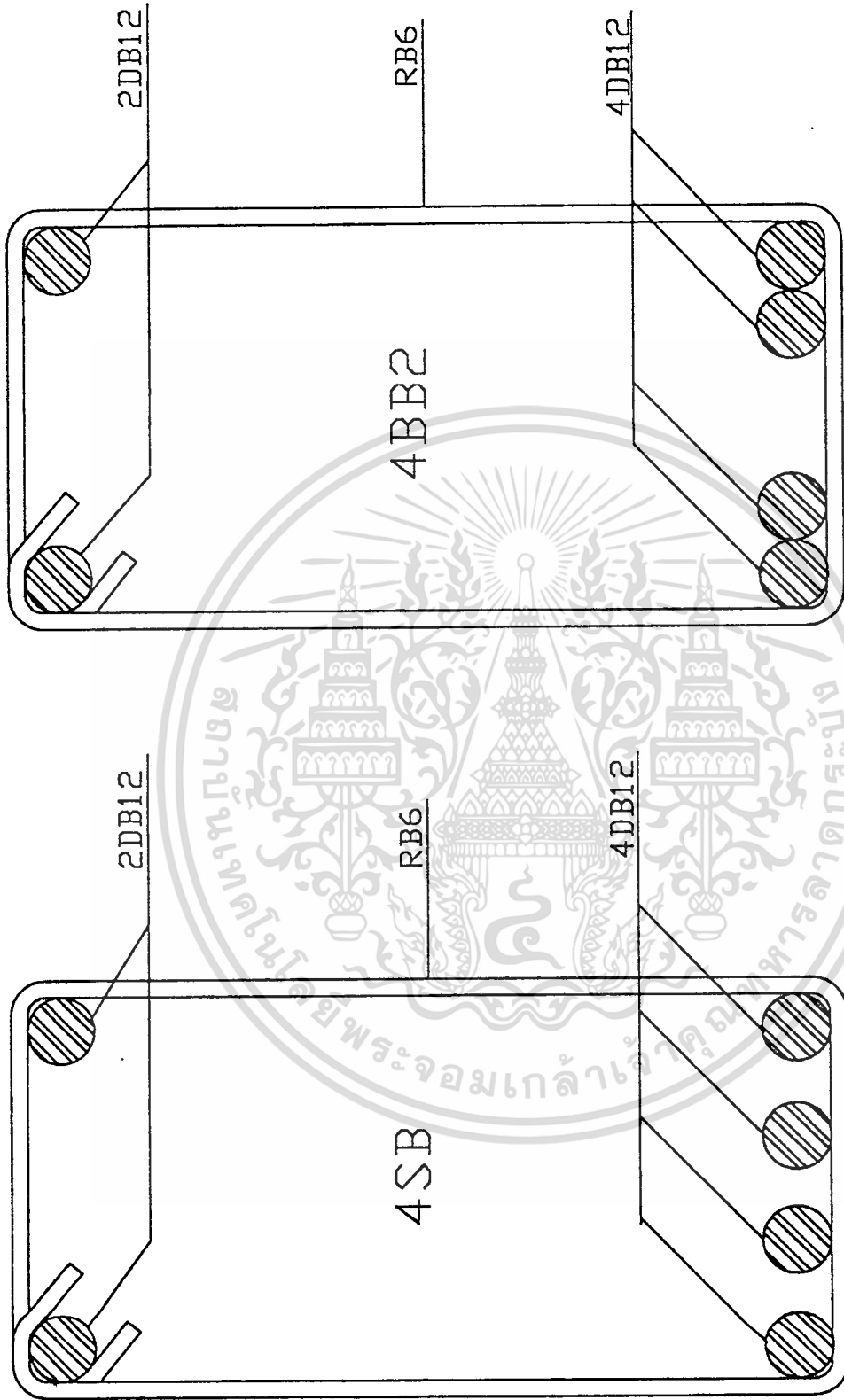
รูปที่ ค. 3 แสดงค่าเส้นรอบรูปของเหล็กเมื่อ Bundle 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง  
รูปภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

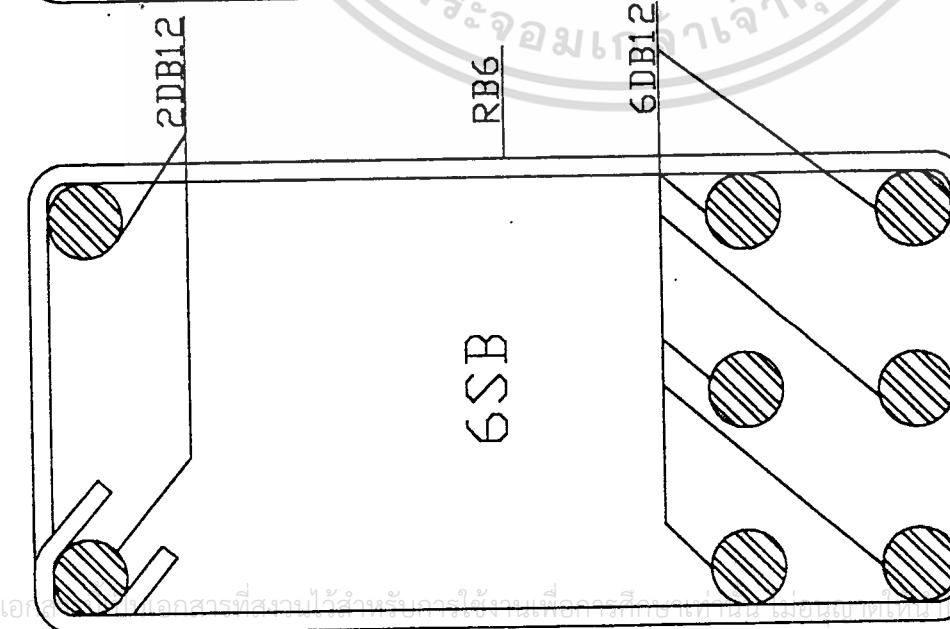
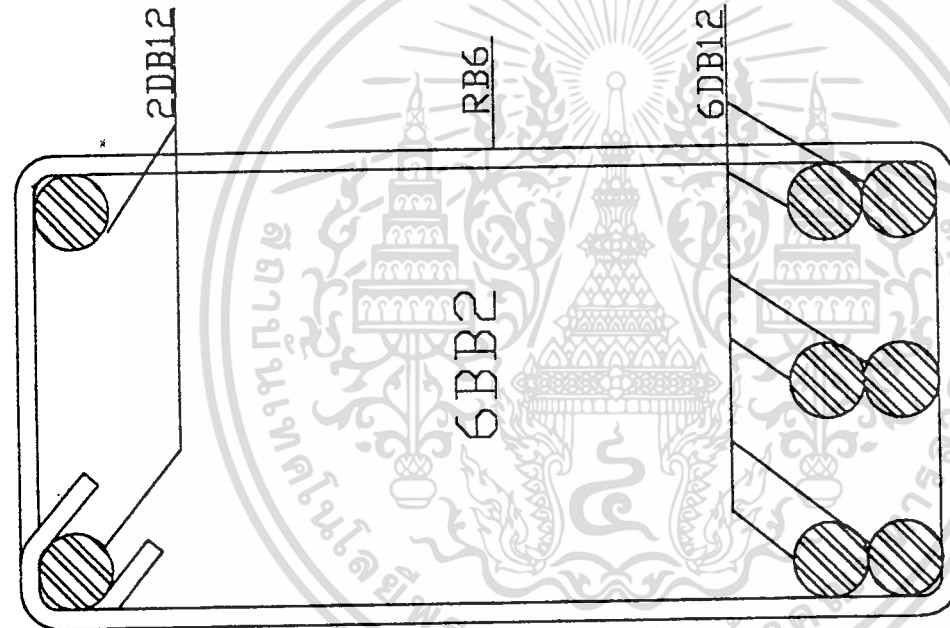
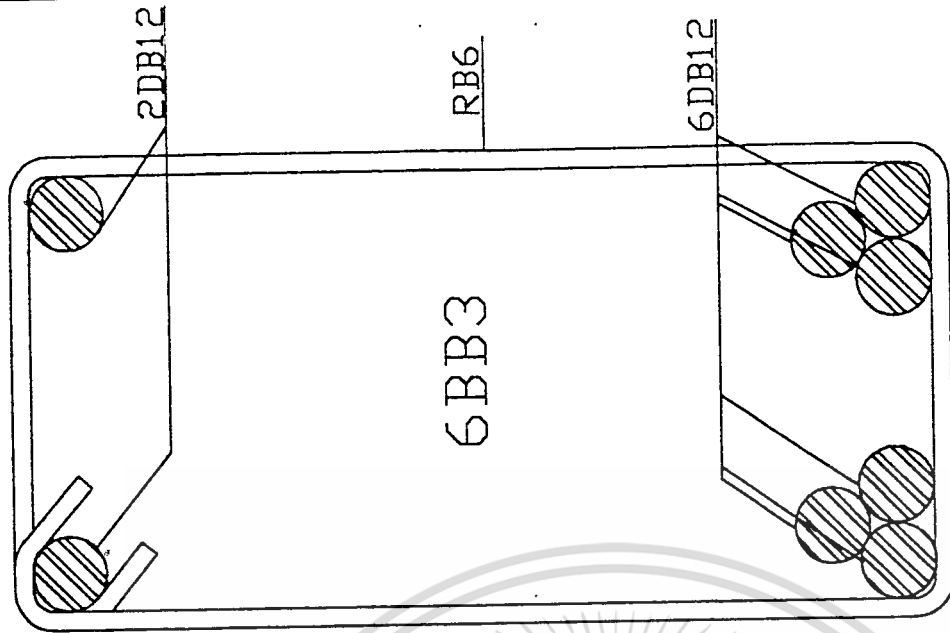


— 1.66 —

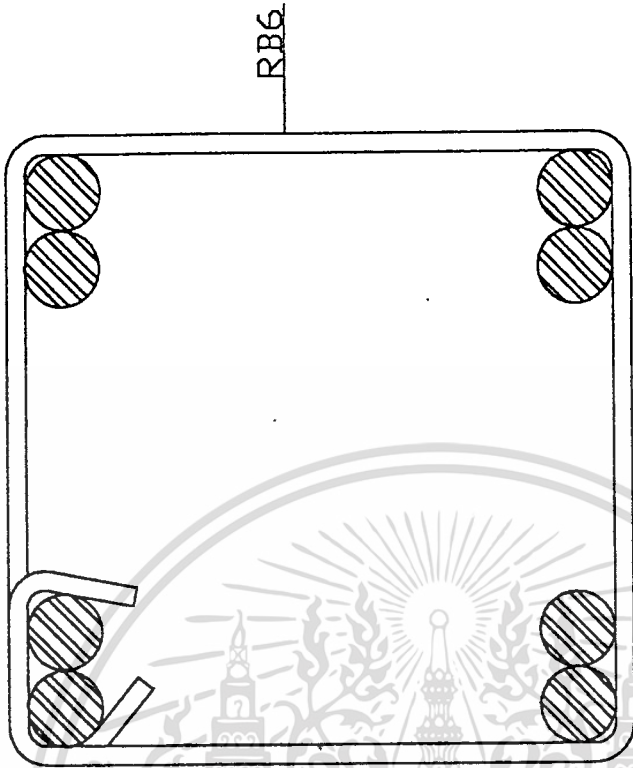
— 5.00 —

รูปที่ ง.1 ภาพแสดงการเสริมเหล็กคานโดยเสริมเหล็กด้านกลาง 4 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

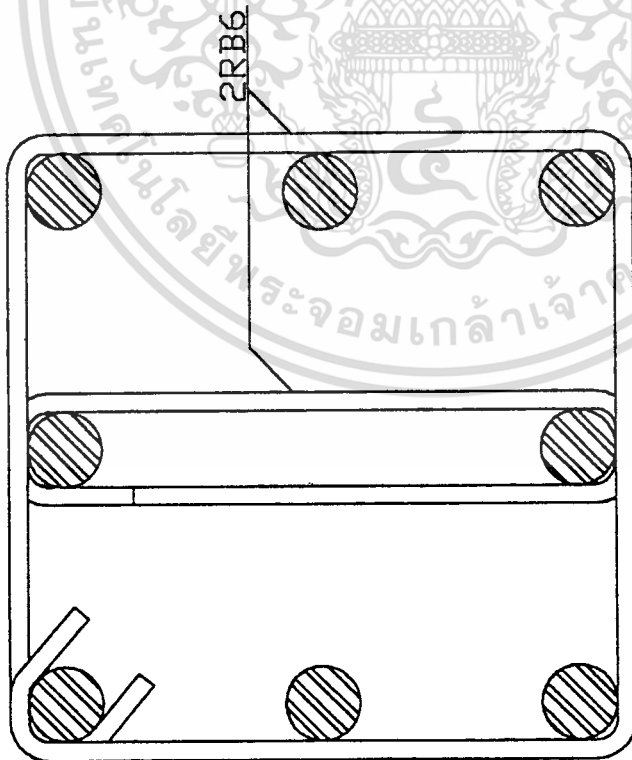


รูปที่ ง. 2 ภาพแสดงการเสริมเหล็กคานโดยเสริมเหล็กคานกลาง 6 เส้น



8.00

8BC2



4.00

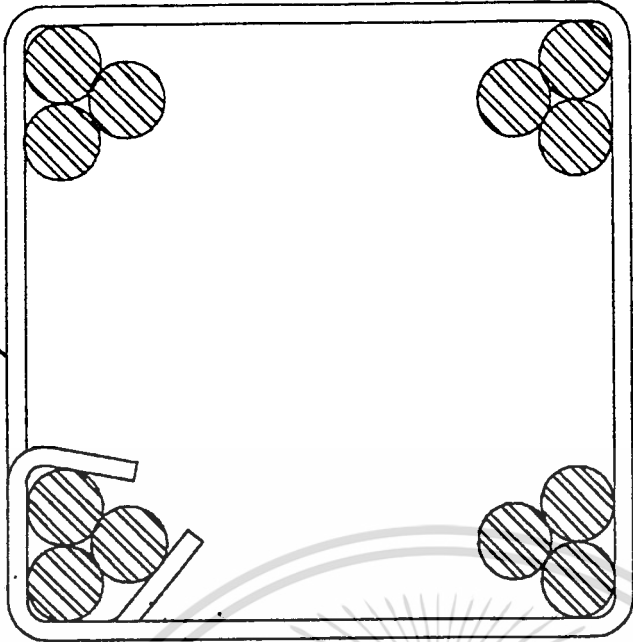
8SC

4.60

รูปที่ ง.3 ภาพแสดงการเสริมเหล็กเสาโดยมีเหล็กยื่น 8 เส้น (8DB12)

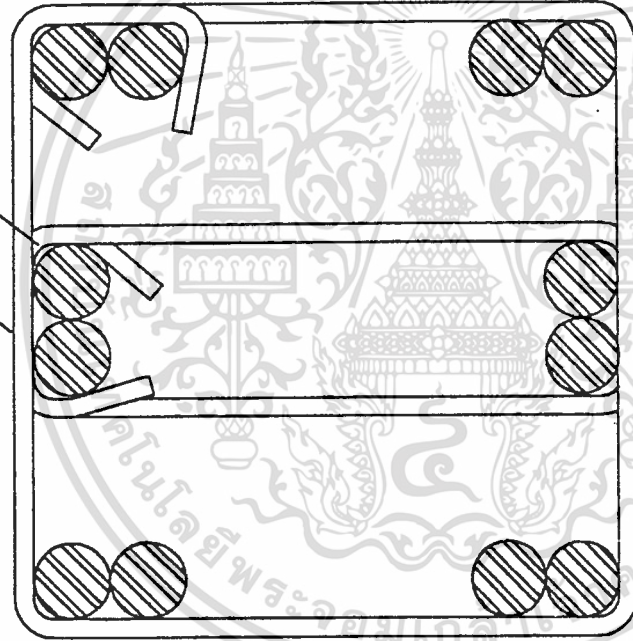
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RB6



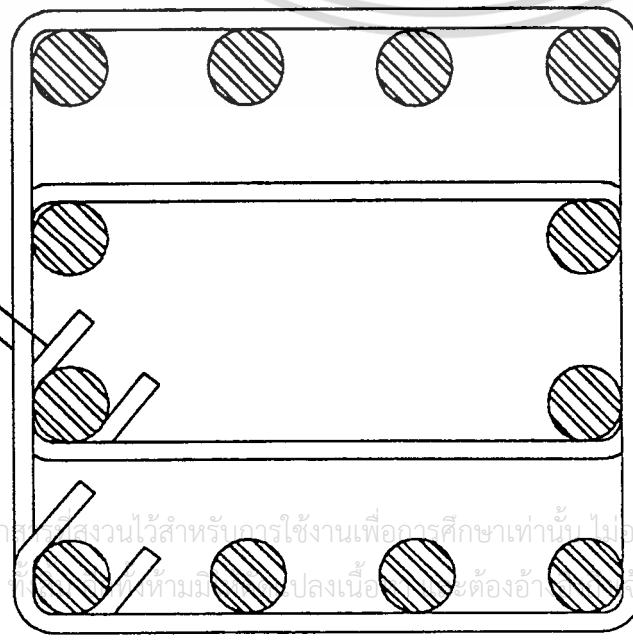
8.00

2RB6



3.40

2RB6



2.06

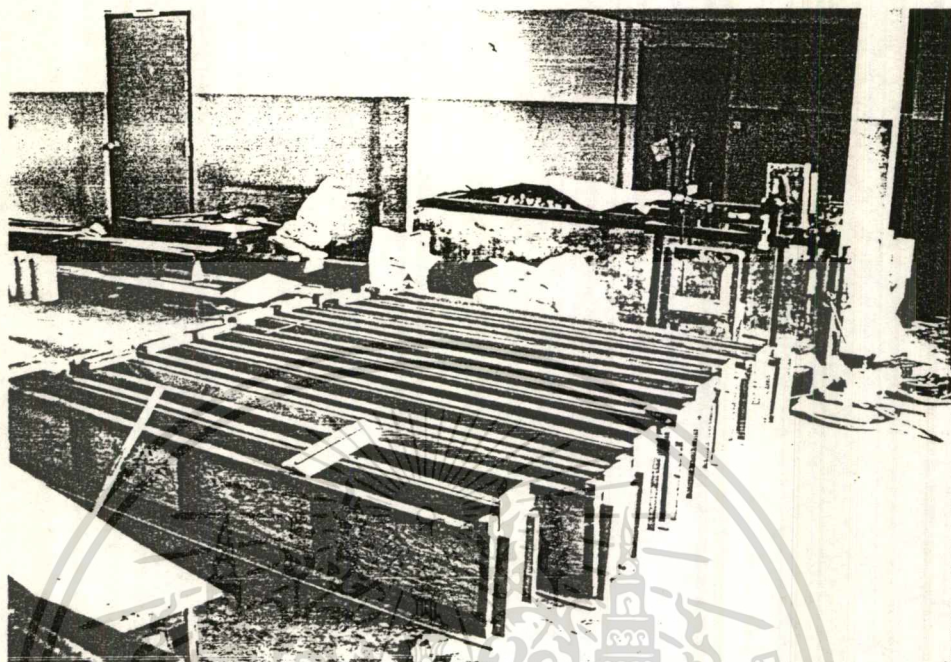
2.66

12BC3

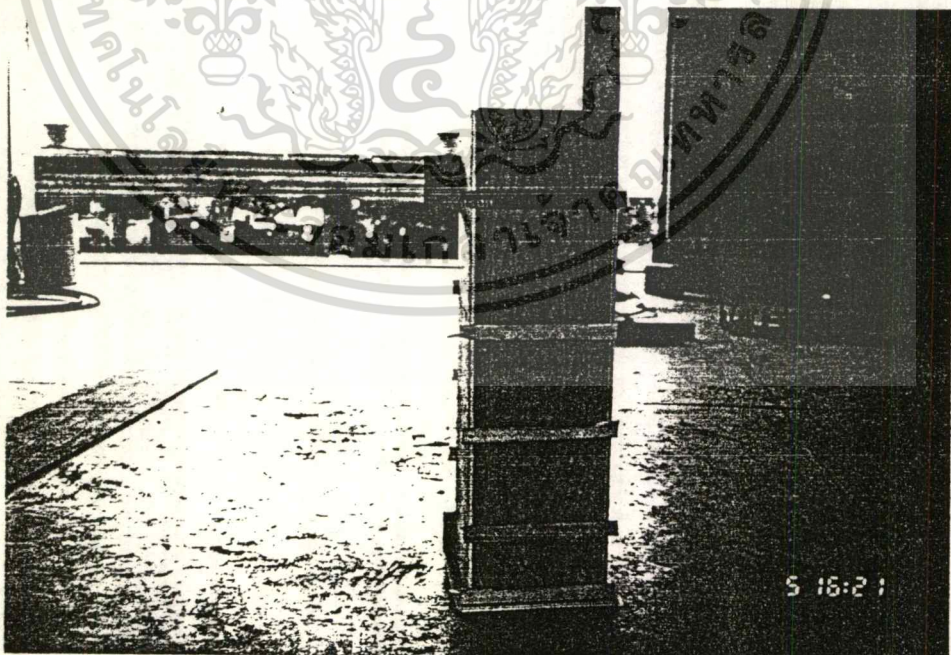
12BC2

12SC

รูปที่ ง.4 ภาพแสดงการเสริมเหล็กเสาโดยมีเหล็กชั้น 12 เส้น (12DB12)

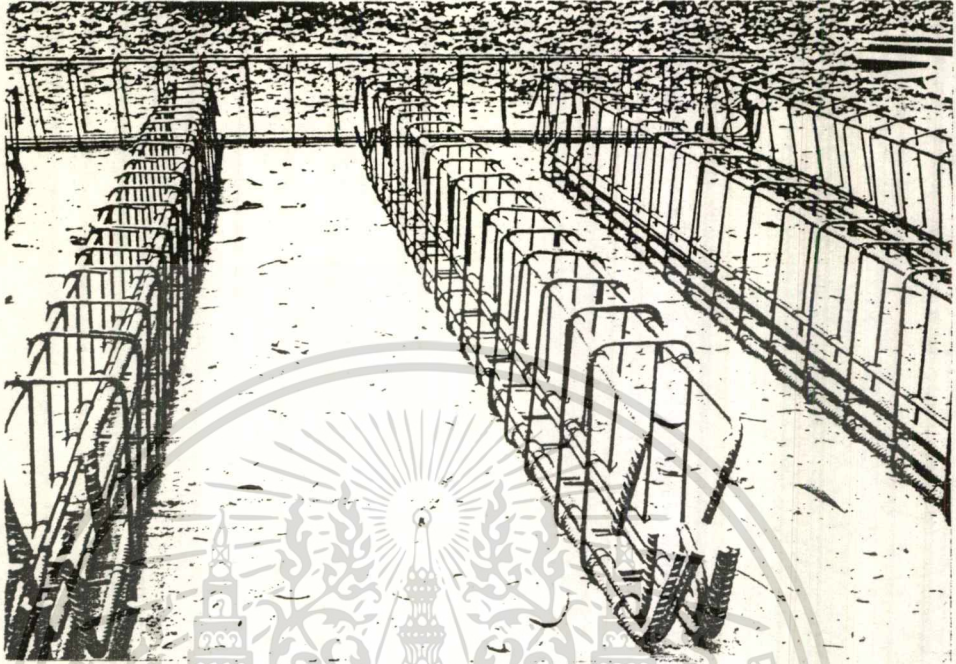


รูป ง.5 แบบหล่อคานที่ประกอบเสร็จแล้ว

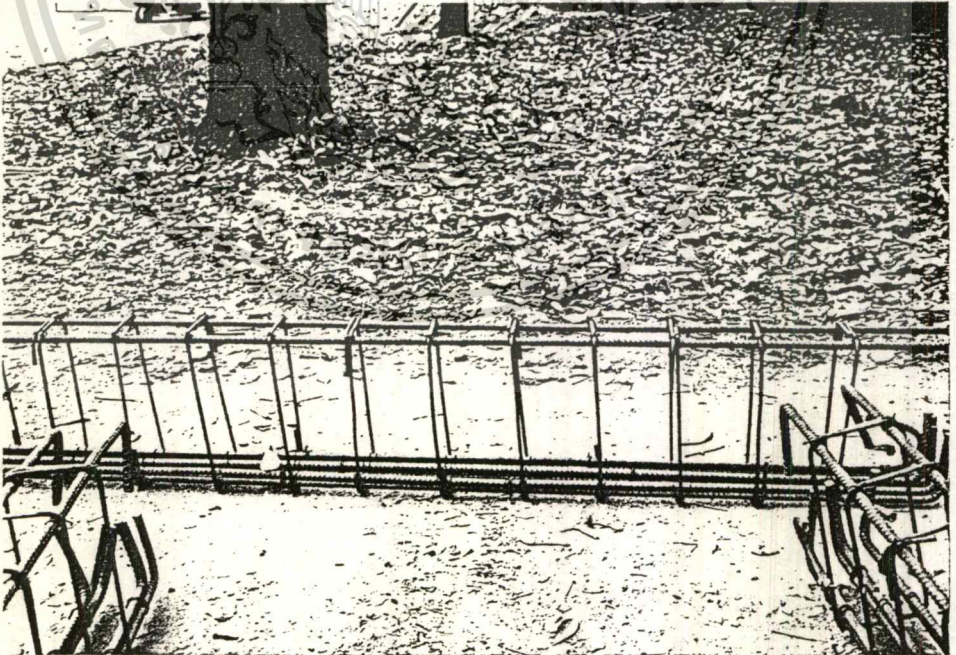


รูป ง.6 แบบหล่อเสาที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

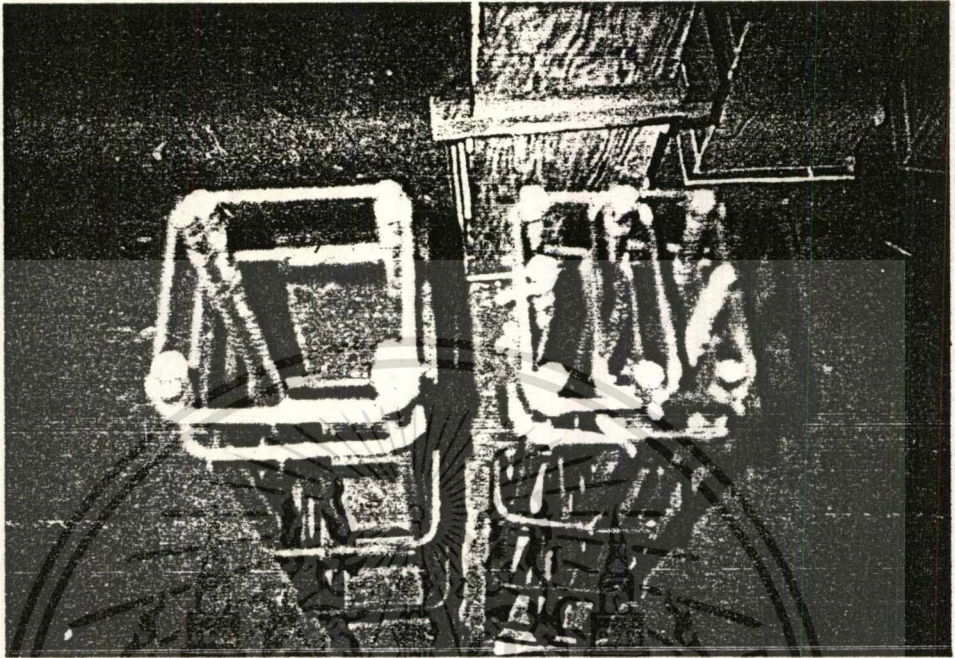


รูป ง.7 เหล็กเสริมคานที่มัดเสร็จแล้ว

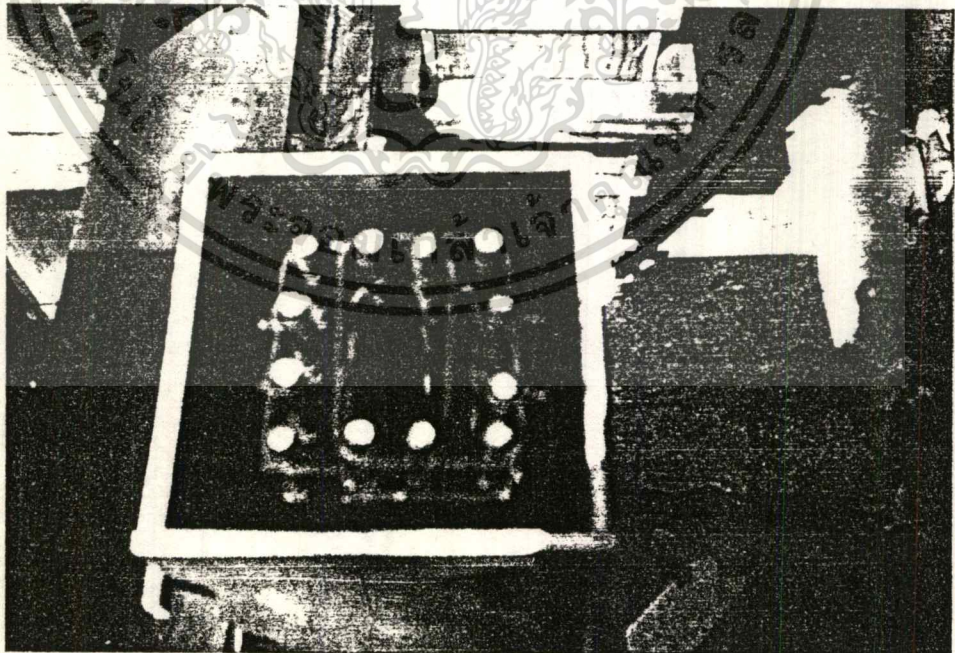


รูป ง.8 ภาพแสดงการเรียงเหล็กปลอกคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

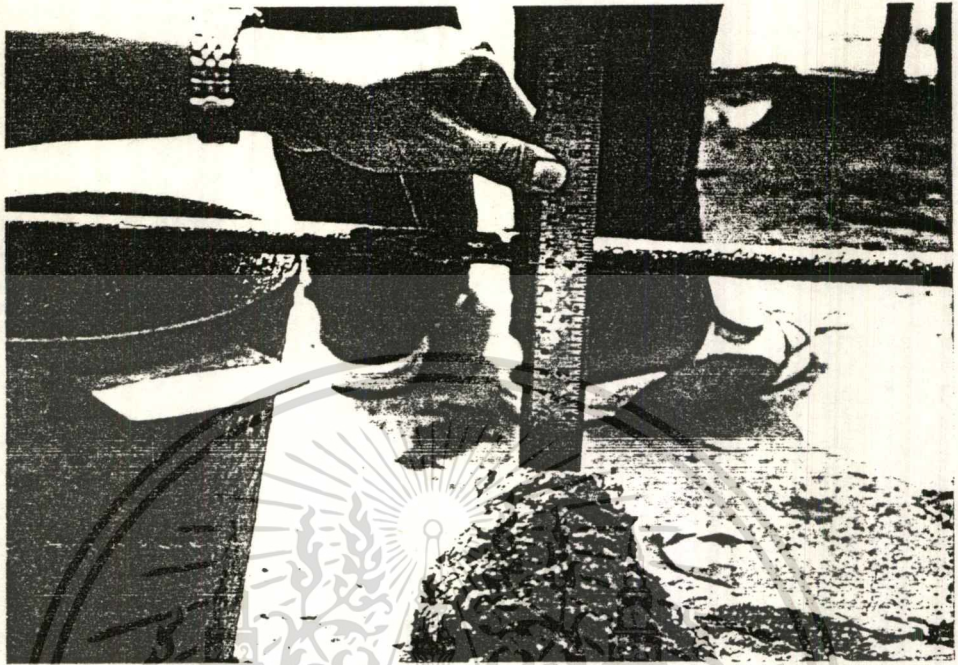


รูป ง.9 เหล็กเสริมเสาที่มัดเสร็จแล้ว

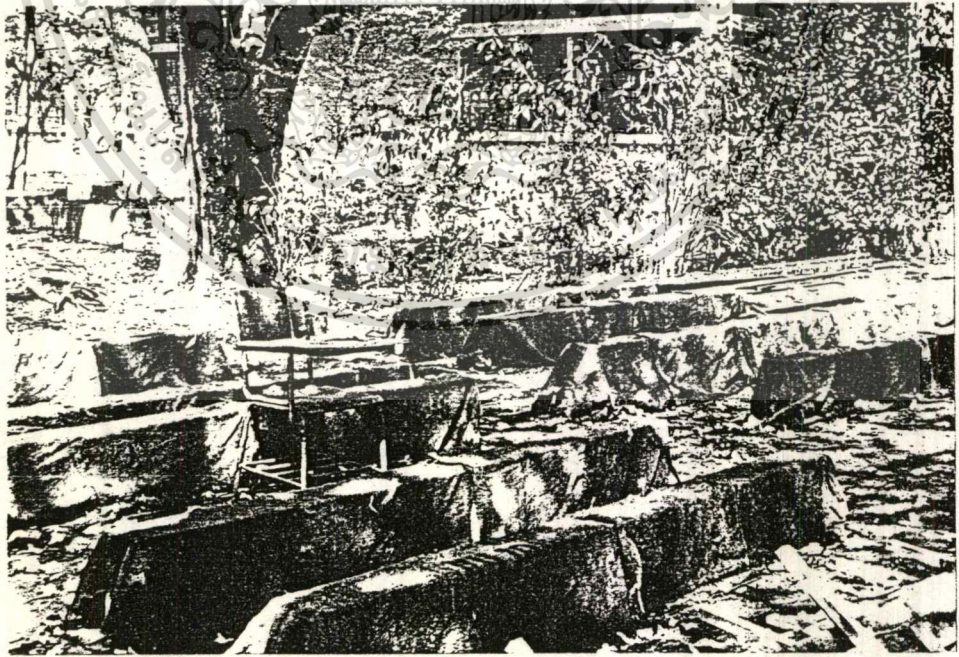


รูป ง.10 การติดตั้งเหล็กเสริมในไม้แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

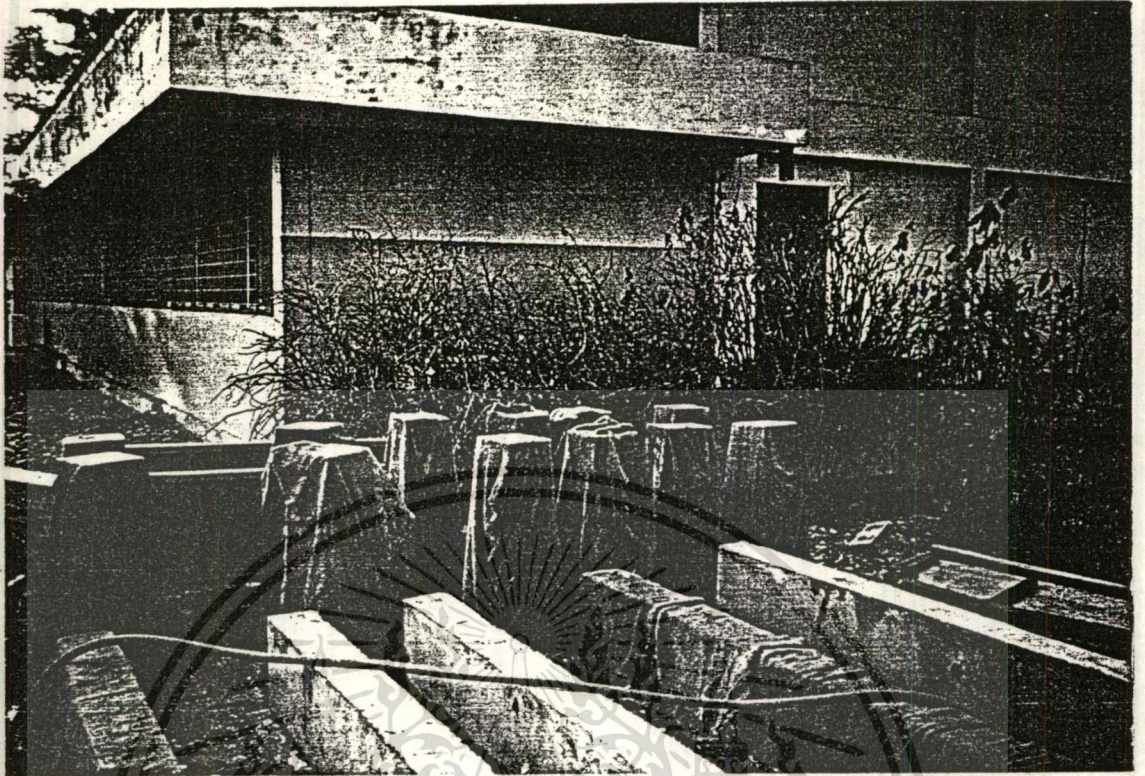


รูป ง.11 ภาพแสดงการเซ็ค Stump



รูป ง.12 ภาพแสดงการบ่มคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

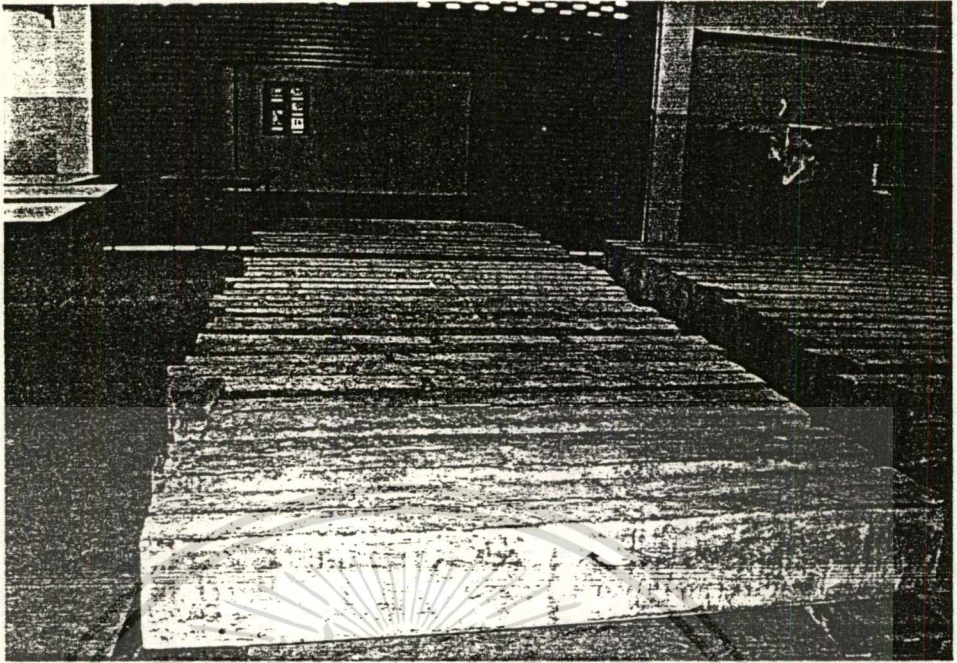


รูป ง.13 ภาพแสดงการบ่มเสาก

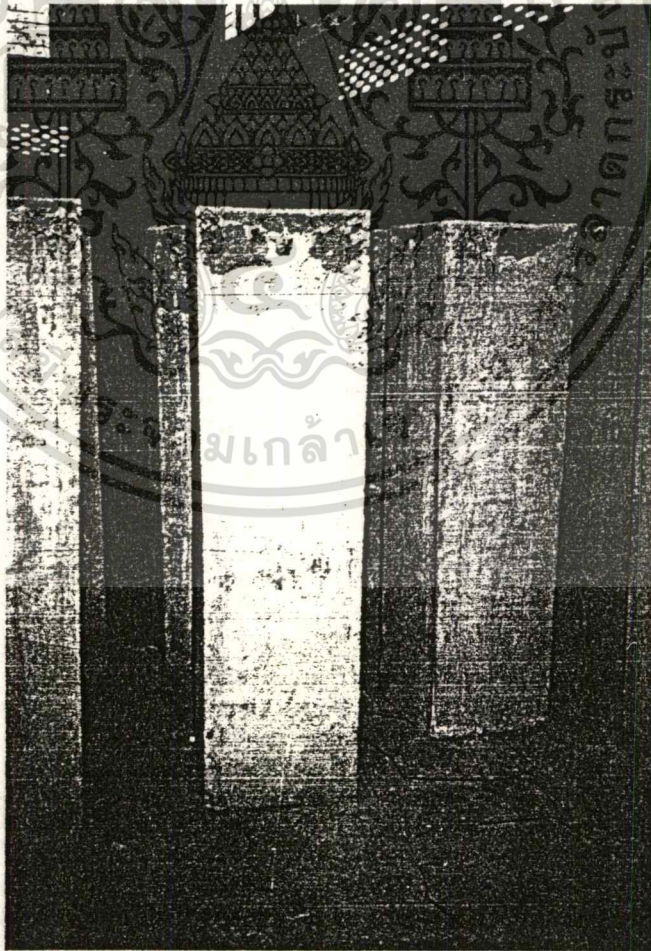


รูป ง.14 ภาพลูกปูนตัวอย่างที่ทำการ cap หัวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

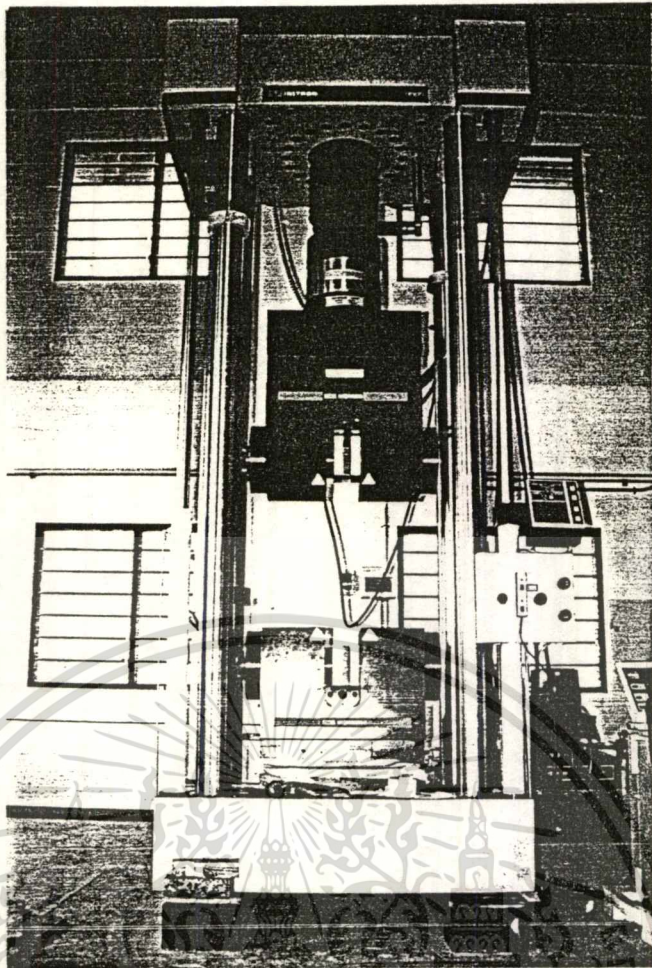


รูป ง.15 ภาพแสดงคานที่เตรียมทดสอบ

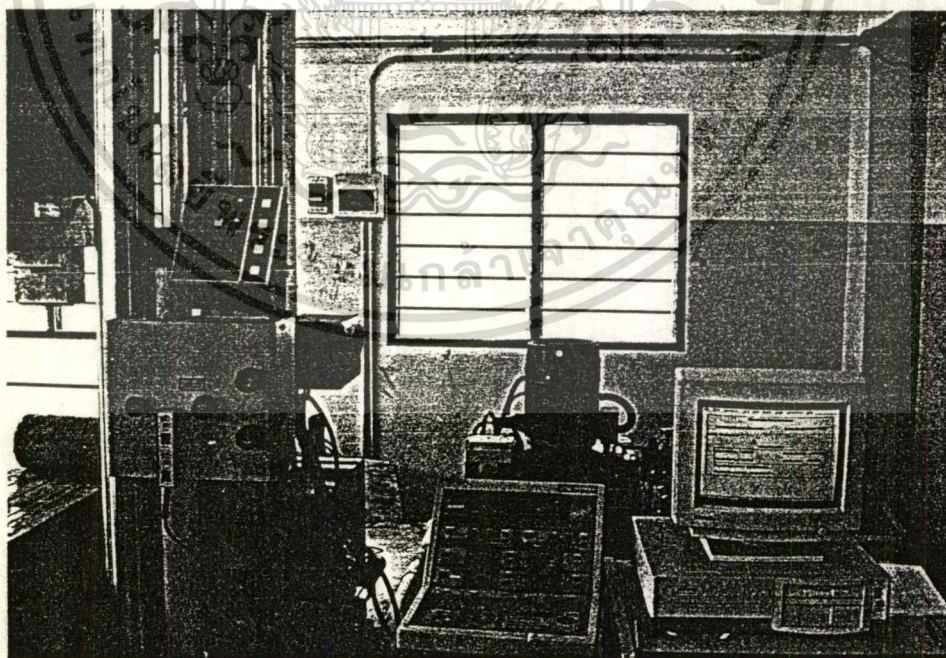


รูป ง.16 ภาพแสดงเสาที่ cap หัวด้วย Non-Shrink เตรียมทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้งานเพื่อการศึกษานานับไปเลยภาคให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

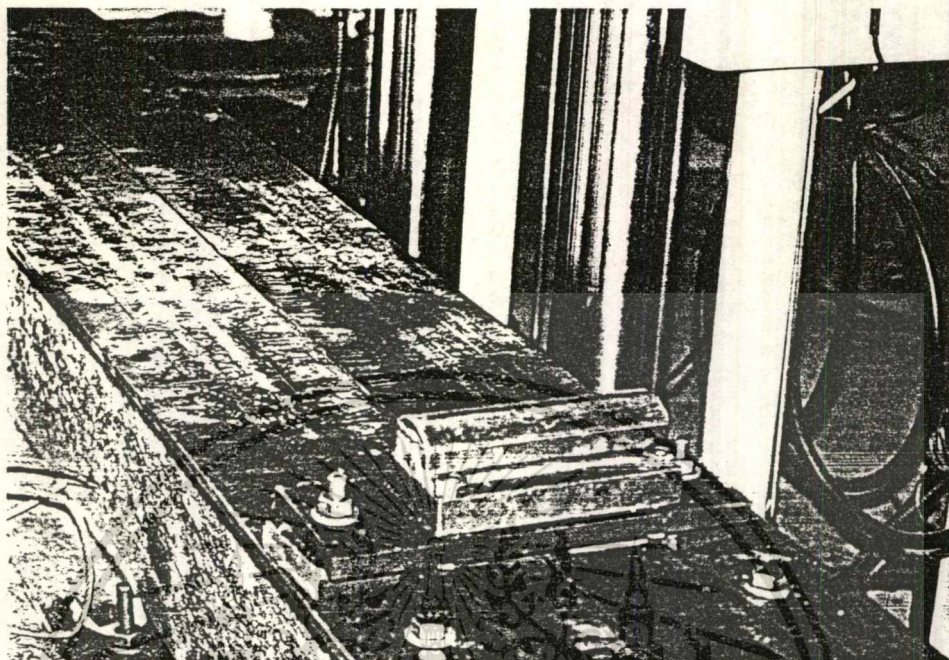


รูป ง.17 ภาพ Universal Testing Machine

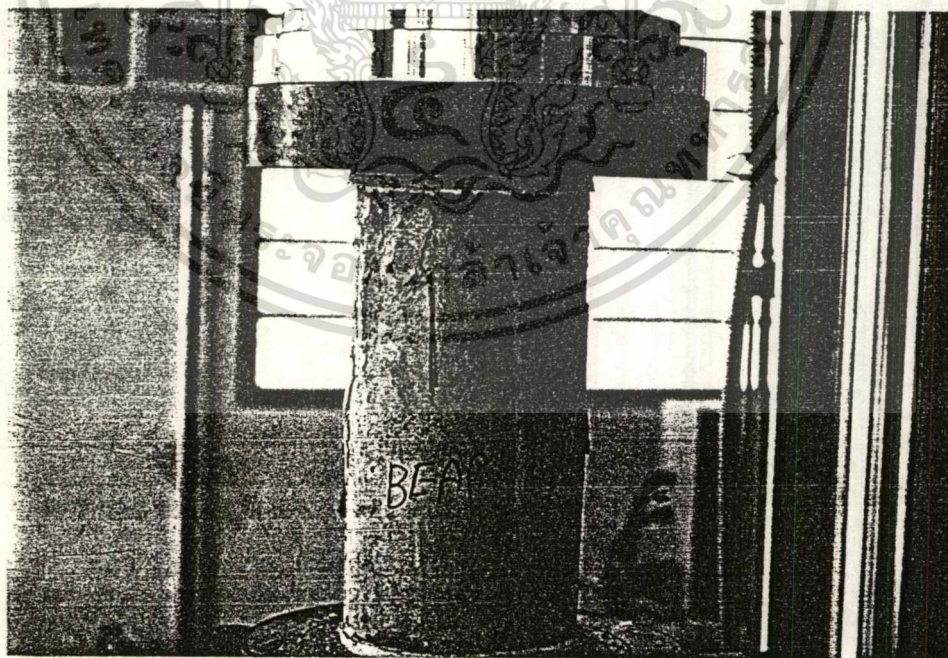


รูป ง.18 ส่วน Control ของเครื่อง UTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

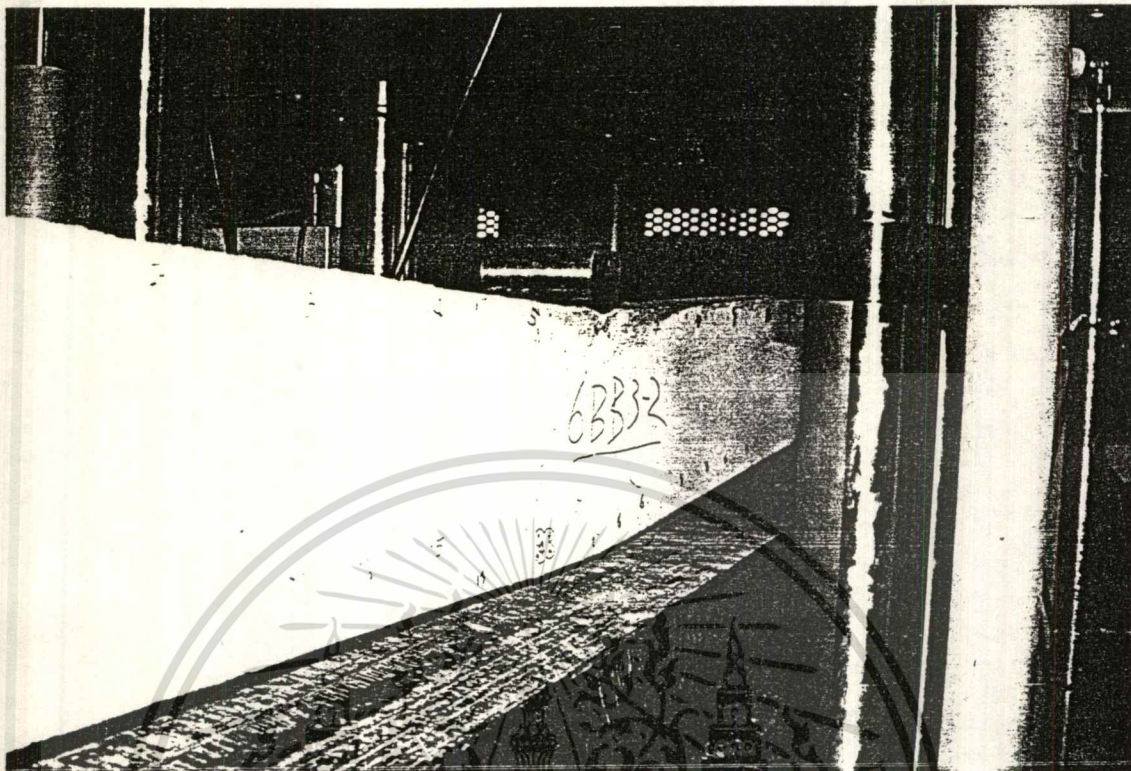


รูป ง.19 ภาพแสดง Support ของกาน



รูป ง.20 ภาพแสดงการทดสอบแรงอัดของลูกปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

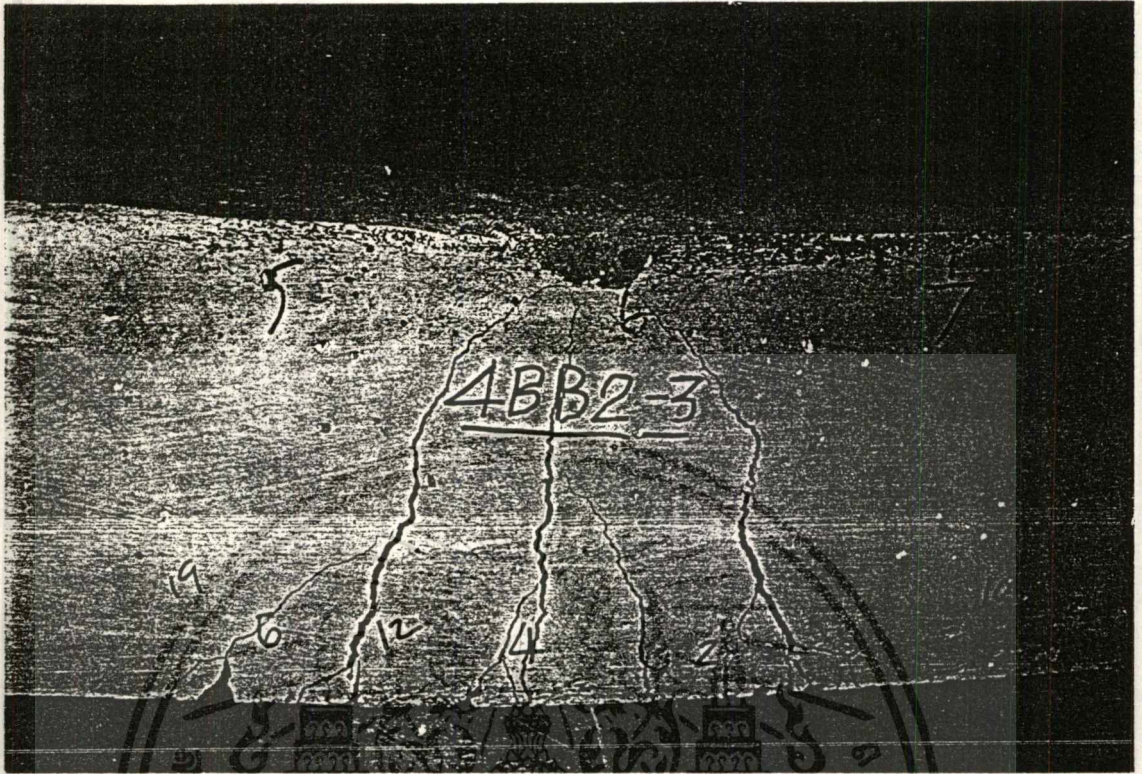


รูป ง.21. ภาพแสดงกคคานโดยใช้ห้วกคแบบ Center-Point Loading

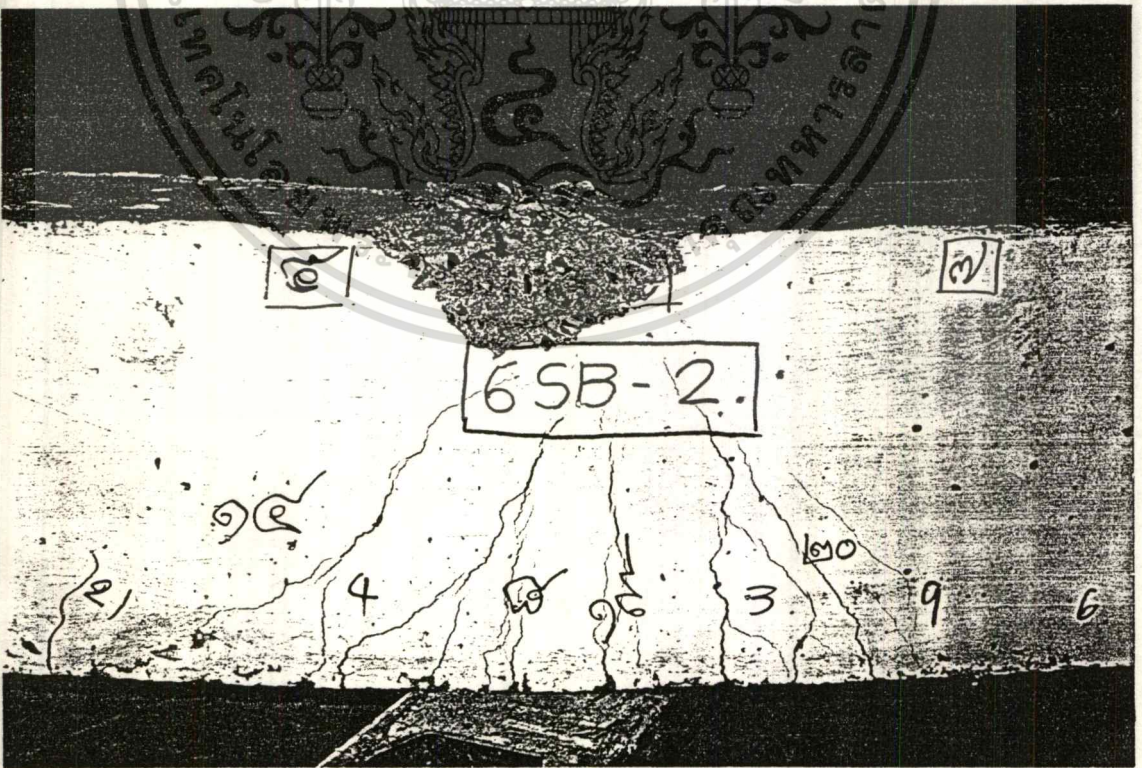


รูป ง.22. ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กกลาง 4 เส้นแบบปกติ

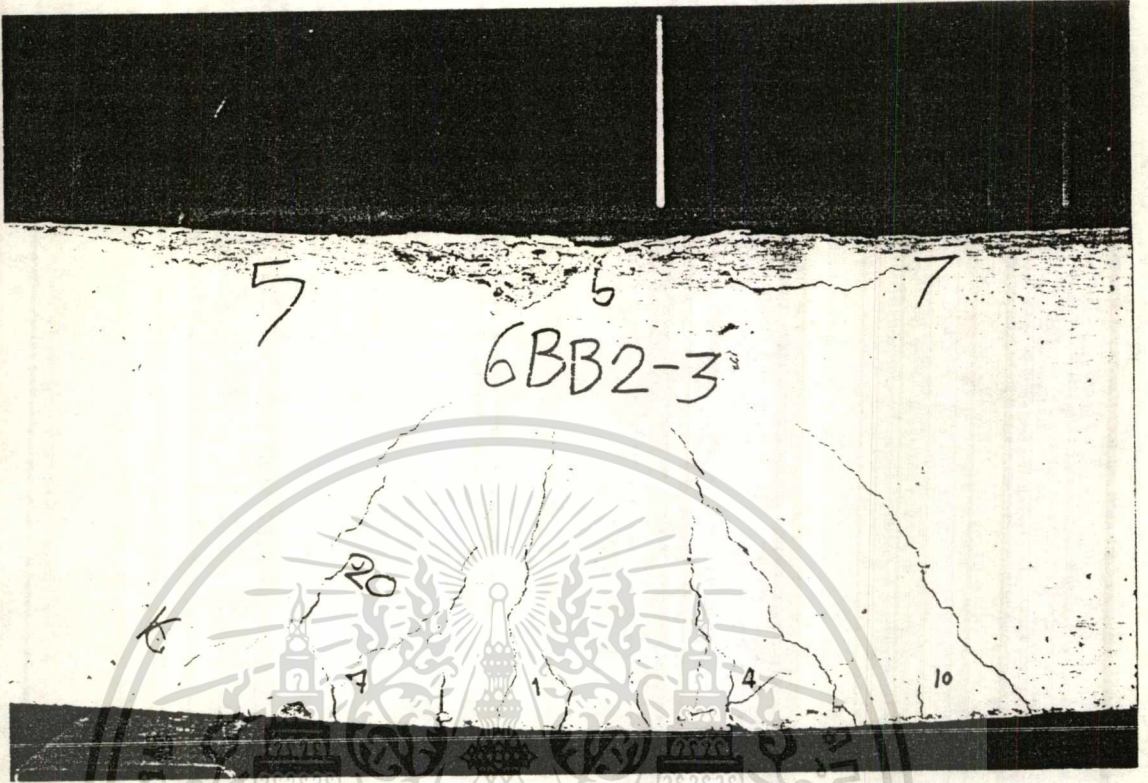
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



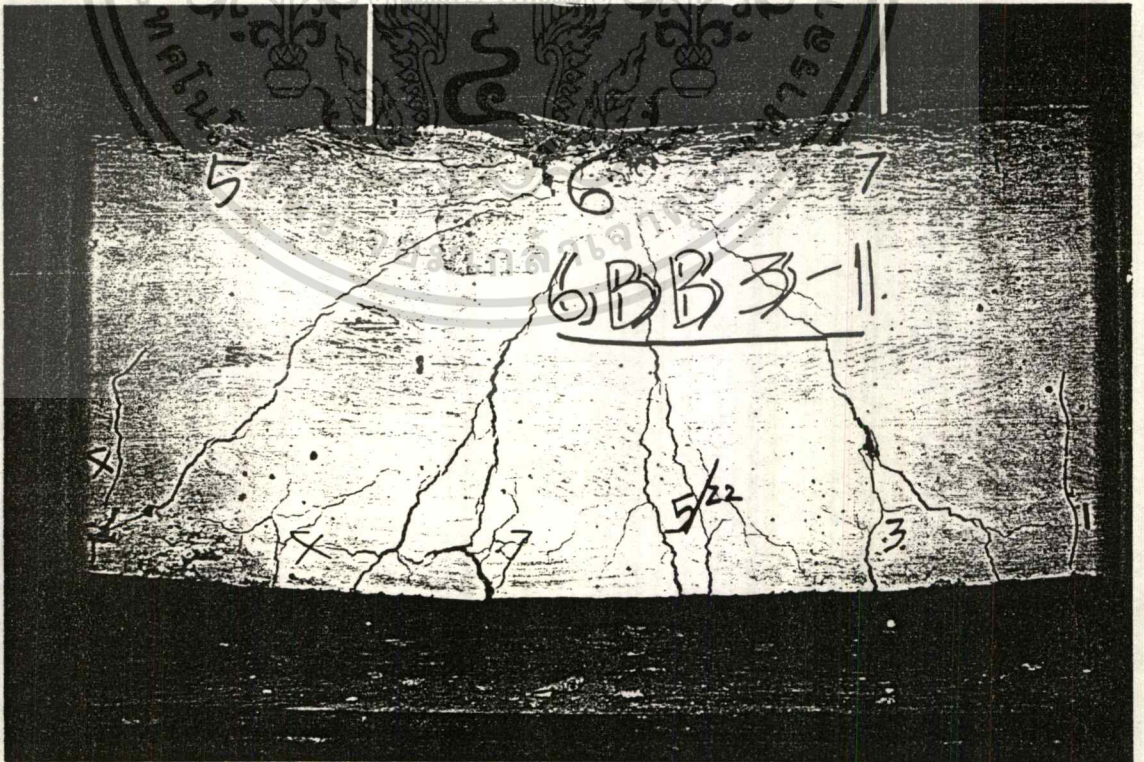
รูป ง.23 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กกลาง 4 เส้นแบบมัด 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูป ง.24 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กกลาง 6 เส้นแบบปกติ ซึ่งด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.25 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 6 เส้นแบบมัด 2



รูป 3.26 ลักษณะรอยแตกร้าวของคานเสริมเหล็กต่าง 6 เส้นแบบมัด 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สมควรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



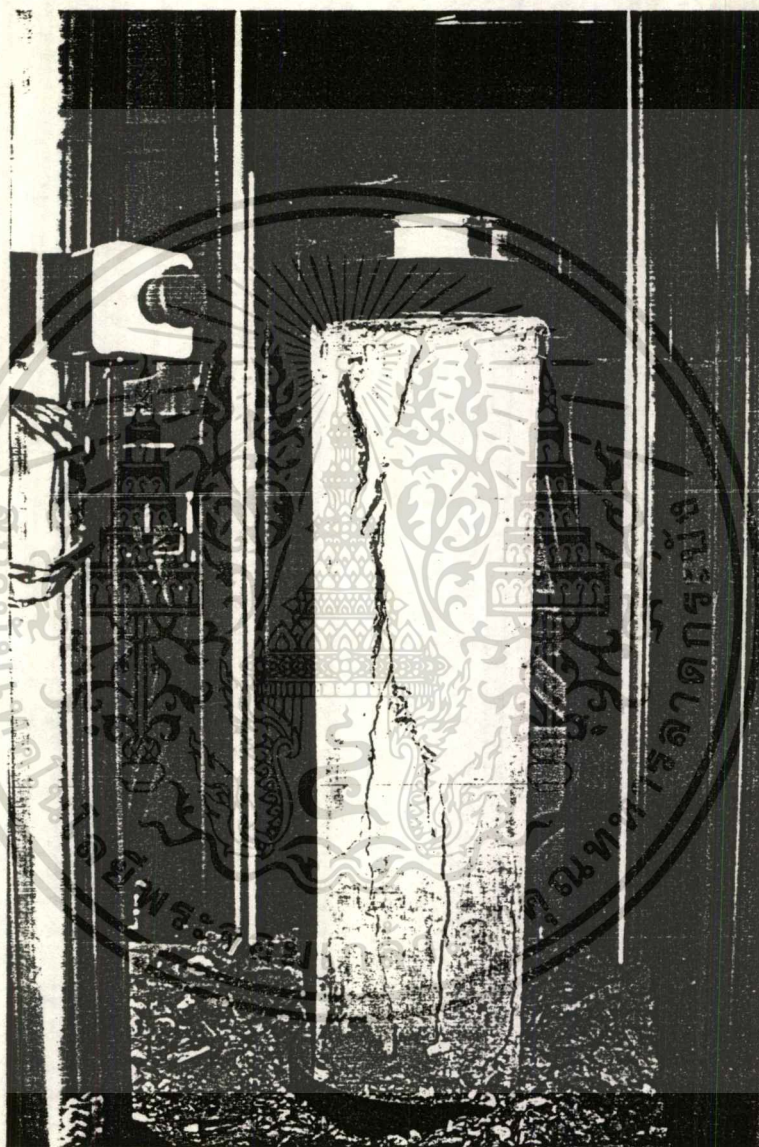
รูป ง.27 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 8 เส้นแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



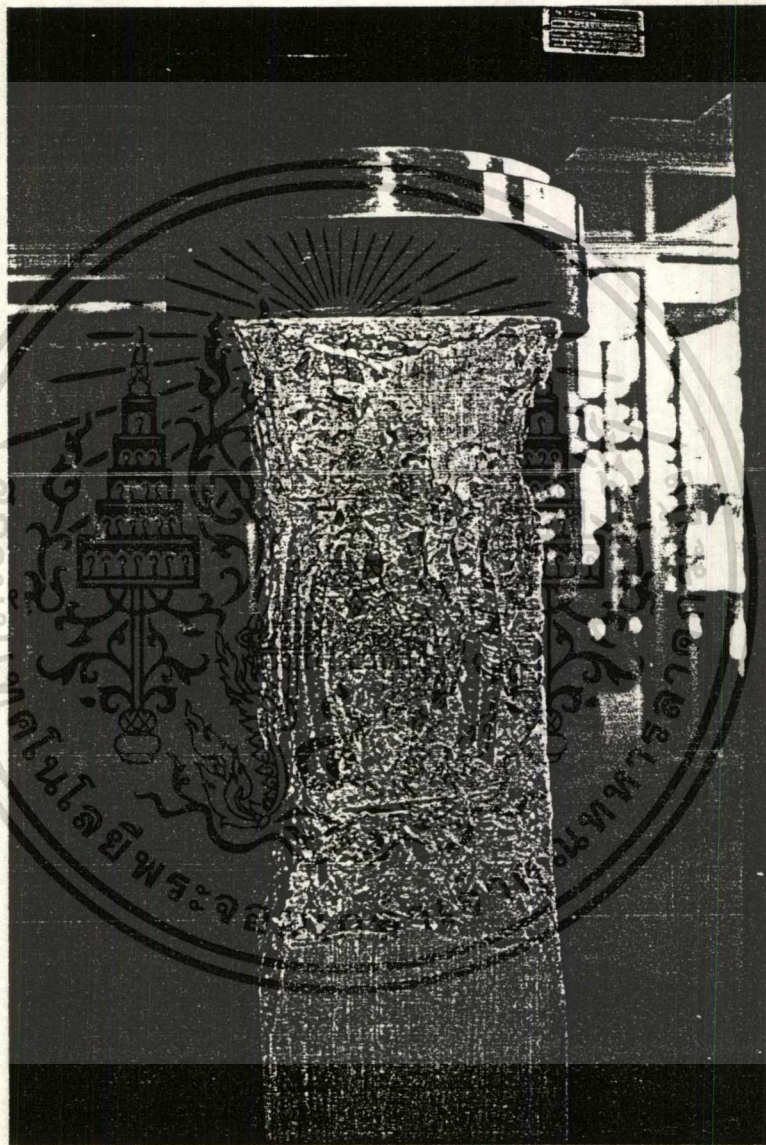
รูป ง.28 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 8 เส้นแบบมัด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



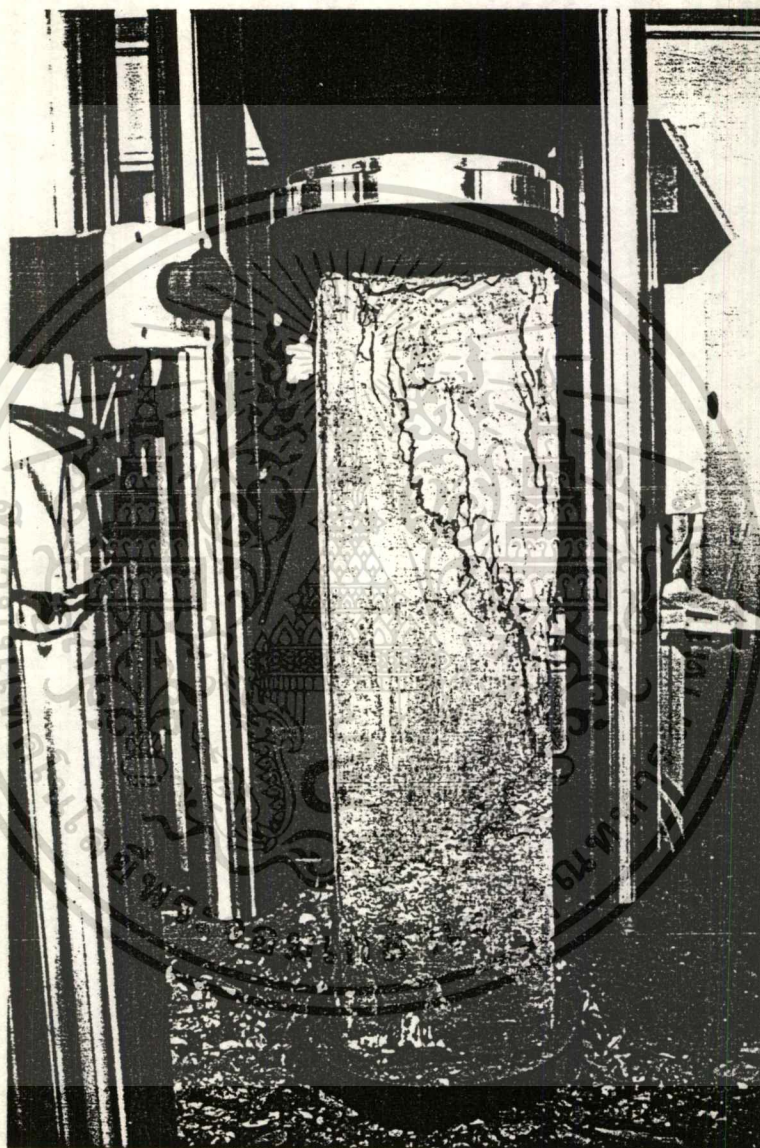
รูป ง.29 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 12 เส้นแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ง.30 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 12 เส้นแบบมัด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ง.31 ลักษณะการแตกร้าวของเสาเสริมเหล็ก 12 เส้นแบบมัด 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บรรณานุกรม

สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร, “คอนกรีตเสริมเหล็ก”, วินิต ช่อวิเชียร, 2537  
ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, “ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535

คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา, “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก”  
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2534

Dr.Edward G.Nawy,P.E., “ REINFORCED CONCRETE A Fundamental Approach ”  
Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey , 1996

FRANK D. STEINER, “ Suggested Applications for Bundled Bars ” ,ACI JOURNAL  
, April, 1967

N.W. Hanson and Hans Reiffenstuh, “ Concrete Beams And Columns With Bundled  
Reinforcement ” , Journal of the Structural Division , October, 1985