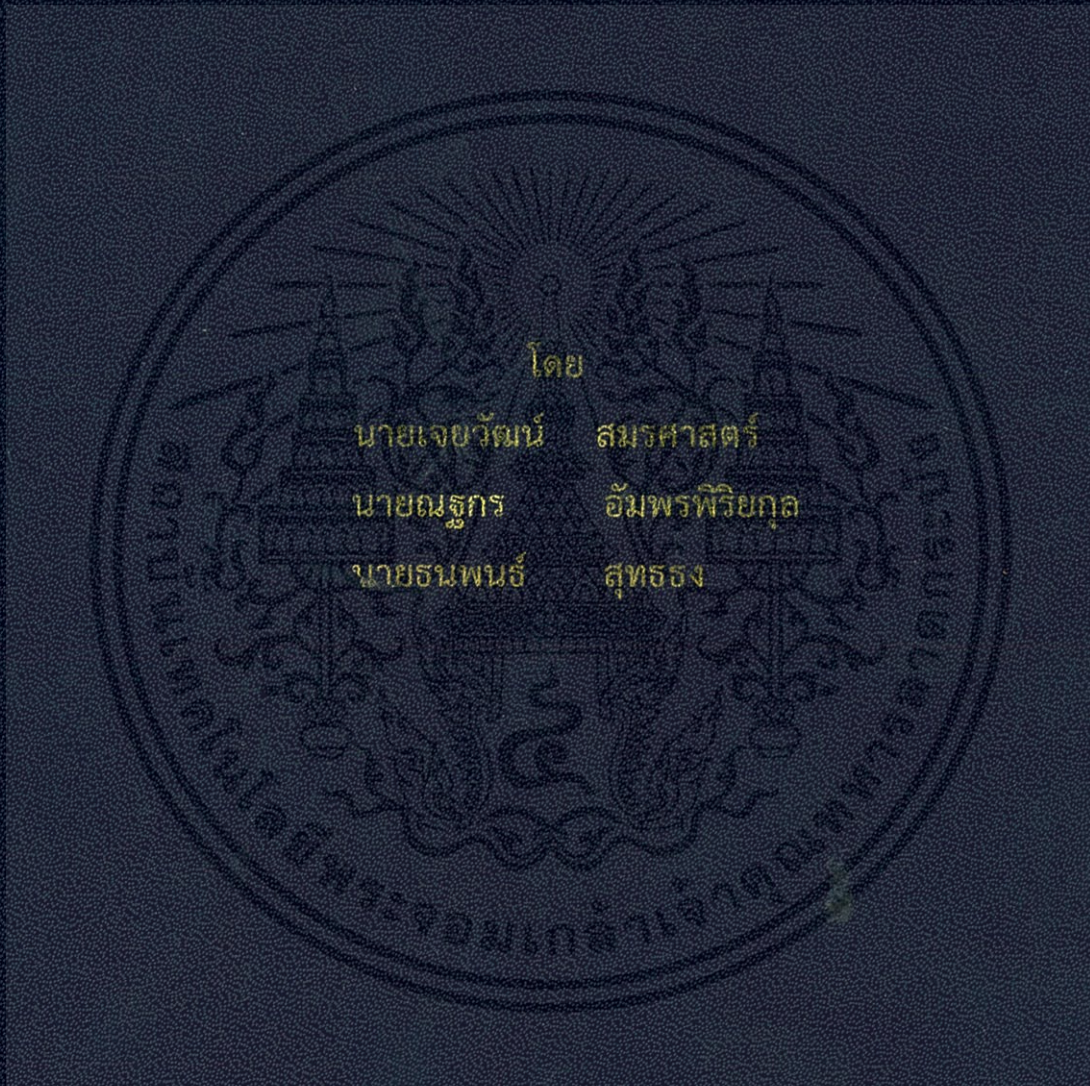


การวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก
Analysis of Reinforce Concrete beam by using Truss Model



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก

Analysis of Reinforce Concrete beam by using Truss Model



T129316



ร/พ.
จ ๗๒/ก
๒๕๕๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 129316
วัน,เดือน,ปี = 3 S.F. 2556

b. 12590692
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF REINFORCE CONCRETE BEAM BY USING TRUSS MODEL

BY

MR. JAYAWAT

SAMORNSART

MR. NATAKORN

AMPORNPIRIYAKUL

MR. THANAPON

SUTTATONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

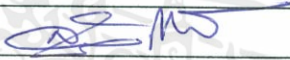

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก
Analysis of Reinforce Concrete beam by using Truss Model

นักศึกษา นายเจวัฒน์ สมรศาสตร์ รหัสประจำตัว 52010182
นายณัฐกร อัมพรพิริยกุล รหัสประจำตัว 52010298
นายชนพนธ์ สุทธอง รหัสประจำตัว 52010446
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
อ. ทรงกลด	แซ่อึ้ง	
ดร. อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ดร. อัญญาวิทย์	สุจริตพงศ์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 18 มีนาคม 2556 เวลาสอบ 15.30-16.00น.

สถานที่สอบ ณ.อาคาร CV ห้อง 201


(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก
Analysis of Reinforce Concrete beam by using Truss Model

นักศึกษา	นายเจย์วัฒน์ สมรศาสตร์ รหัสประจำตัว 52010182
	นายณัฐกร อัมพรพิริยกุล รหัสประจำตัว 52010287
	นายธนพนธ์ สุทธธง รหัสประจำตัว 52010446
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก ซึ่งเป็นคานที่ไม่ใช่รูปแบบที่มีอยู่ทั่วไป เนื่องจากปัจจุบันคอนกรีตหล่อสำเร็จกำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในวงการก่อสร้าง เพราะให้ความสะดวก รวดเร็วในการก่อสร้างที่หน้างานเป็นอย่างมาก และมีบริษัทฮาร์ิมทรัพย์ หันมาใช้วิธีก่อสร้างแบบใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นจำนวนมากเพิ่มขึ้นอีกด้วย แต่เนื่องจากว่าก็ยังมียังมีข้อเสียด้านน้ำหนักที่ยังคงมากอยู่ ทำให้การขนย้าย การติดตั้ง อีกทั้งเรื่องปัญหาน้ำหนักโครงสร้างที่มีผลต่อขนาดฐานรากยังคงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเป็นอย่างมาก คานคอกอนกรีตจึงอาจเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งลดปัญหาด้านน้ำหนักได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักยังไม่เคยได้มีการศึกษาการทำเป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จมาก่อน ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลดี ผลเสียด้านต่างๆ ซึ่งผลที่ได้คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักสามารถลดน้ำหนักได้ถึงร้อยละ 30 โดยที่สามารถรับแรงได้ไม่ต่างจากคานปกติทั่วไป

Title	ANALYSIS OF REINFORCE CONCRETE BEAM BY USING TRUSS MODEL		
Student	MR. JAYAWAT	SAMORNSART	STUDENT ID. 52010182
	MR. NATAKORN	AMPORNPIRIYAKUL	STUDENT ID. 52010287
	MR. THANAPON	SUTTATONG	STUDENT ID. 52010446
Advisor	MR. SONGKLOD	SAE-UENG	
Degree	BACHELOR OF ENGINEERING		
Department	CIVIL ENGINEERING		
Year	2012		

ABSTRACT

This project is intended to study the behavior of reinforced concrete beams by using the Truss theory which is an uncommon pattern of beams. Even though the precast concrete have been highly interested in the construction industry with its conveniences, high speed in construction on the construction sites, and have been popular by most real estate companies. However, there have been some disadvantages on its weight since it is still too heavy for removal and installation on the construction sites, moreover, this self-weight problem also affect the size of the foundations which must be strongly considered. The truss model concrete beams may be alternative structural parts that could significantly reduce the self-weight of beam. However, since there is no study on the Truss model of reinforced concrete beams before, we were interested to study on its benefits and disadvantages. The results shown that the reinforced concrete beams with truss model could reduce self-weight for approximate 30 percent and could have load capacity as the same amount of normal model beams.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาอันดี ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนทำการตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษจนแล้วเสร็จด้วยดี

ขอขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัดของข้าพเจ้า ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณที่สามารถกล่าวนามได้หมดที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอดจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี



ผู้จัดทำโครงการพิเศษ

นายเจยวัฒน์	สมรศาสตร์
นายณัฐกร	อัมพรพิริยกุล
นายธนพนธ์	สุทธธง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.5.2	มาตรฐานการออกแบบ	24
2.5.3	ขั้นตอนการออกแบบคอนกรีต	25
บทที่ 3	วิธีการทดสอบ	29
3.1	ศึกษาและหาข้อมูลเบื้องต้น	29
3.2	ขั้นตอนการออกแบบ	29
3.3	ขั้นตอนการทำชิ้นงานทดสอบ	30
3.4	การทดสอบการรับแรงขึ้นคานตัวอย่าง	33
3.5	การทดสอบการรับแรงขึ้นคานตัวอย่าง	36
บทที่ 4	ผลการทดลอง	38
4.1	คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	38
4.2	คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	44
4.3	คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	52
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1	สรุปผล	62
5.2	ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม		63
ภาคผนวก ก	รูปลักษณะการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	ผก1
ภาคผนวก ข	การใช้โปรแกรม CMD1 (Concrete Mixed Design)	ผข1

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสัญลักษณ์และเครื่องหมายที่ใช้แทนแรง	9
2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับของการดัด	11
2.3 มาตรฐานความหนาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็ก	12
2.4 แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของเหล็กข้ออ้อย	16
2.5 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของเหล็กตามชั้นคุณภาพ	18
2.6 ค่ายุบตัวของคอนกรีตสดที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	25
2.7 การเลือกใช้ขนาดโตสุดของหิน	26
2.8 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและหินขนาดต่างๆ สำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)	26
2.9 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและหินขนาดต่างๆ สำหรับคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกัก ฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)	27
2.10 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด สำหรับคอนกรีตที่ต้องผจญกับสภาวะแวดล้อมรุนแรง	27
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	28
2.12 ปริมาตรของหินต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	28
4.1 ผลการทดสอบชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	38
4.2 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	40
4.3 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	42
4.4 ผลการทดสอบชิ้นรับแรงอัดมากที่สุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	44
4.5 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	46
4.6 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	48
4.7 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวตั้งของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	50
4.8 ผลการทดสอบชิ้นรับแรงอัดมากที่สุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

4.9	ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคองกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	54
4.10	ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคองกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	56
4.11	ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวตั้งของคานคองกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก ตัวที่ 3	58
4.12	แสดงแรงกระทำกับระยะการแอ่นตัวที่ตรงกลางคานคองกรีตเหล็กเสริมโดย ใช้ทฤษฎีโครงถักและคานคองกรีตเสริมเหล็กปกติ	60
4.13	เปรียบเทียบด้านปริมาณเหล็กเสริมและน้ำหนักคานระหว่างคานคองกรีต เหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักและคานคองกรีตเสริมเหล็กปกติ	61
4.14	แสดงผลการทดสอบ Compaction Test ของคองกรีต	61



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงถักแต่ละรูปทรงเมื่อมีแรงกระทำ	3
2.2 แสดงส่วนประกอบของโครงถัก	4
2.3 แบบโฮว์ (Howe Truss)	4
2.4 แบบแพรท (Pratt Truss)	5
2.5 แบบแพรท (Pratt Truss)	5
2.6 แบบฟิงค์ (Fink Truss)	5
2.7 แบบโฮว์ (Howe Truss)	5
2.8 แบบแพรท (Pratt Truss)	6
2.9 แบบวอร์เรน (Warren Truss)	6
2.10 แบบวอร์เรนมีค้ำยันแนวตั้ง (Warren Truss with Vertical)	6
2.11 แบบเค (K – Truss)	6
2.12 แบบบอลติมอร์ (Baltimore)	6
2.13 แสดงแนวแรงของชิ้นส่วน	7
2.14 แสดงพฤติกรรมของโครงถักเมื่อรับแรง	8
2.15 แสดงพฤติกรรมของโครงถักกรณีที่ไม่มีชิ้นส่วน CE	8
2.16 การงอของเหล็ก	10
2.17 กำลังของคอนกรีตอายุเมื่อส่วนผสมมีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็นตัวแปร (PORTLAND CEMENT TYPE I)	13
2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต	14
2.19 แสดงถึงลักษณะของเหล็กข้ออ้อย	16
2.20 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดของเหล็ก	17
2.21 แสดงพฤติกรรมของคานเมื่อรับแรงกระทำ	18
2.22 กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดเมื่อคานยังไม่ร้าว	19
2.23 กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดเมื่อคานร้าว	20
2.24 การวิเคราะห์กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด	20
2.25 การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีต	21
2.26 การวิเคราะห์กำลังต้านทานโมเมนต์สูงสุด	23
2.27 แท่งตัวอย่างคอนกรีต	25
3.1 แสดงการเสริมเหล็กของคานคอนกรีต	29
3.2 แสดงการเสริมเหล็กของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

3.3	การประกอบแบบหล่อคอนกรีต	30
3.4	เตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการผสมคอนกรีต	31
3.5	การทดสอบหาค่ายุบตัว	31
3.6	ทำการตกแต่งผิวหน้าให้เรียบหลังเทคอนกรีต	32
3.7	ทำการบ่มหลังจากแกะแบบหล่อ	32
3.8	โครงรับแรงทดสอบ	33
3.9	Load Cell	33
3.10	Data logger	34
3.11	Hydraulic Jack	34
3.12	คานถ่ายแรง	35
3.13	ติด Strain Gauge ไว้ที่คานทดสอบ	35
3.14	ติดตั้งคานและปรับระดับคานก่อนทำการทดสอบคาน	36
3.15	ต่อสายไฟ Strain gauge พร้อมต่อเข้าเครื่อง Data logger	36
3.16	ตั้งคานถ่ายแรง Load Cell และวางเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic jack)	37
3.17	ติดตั้ง Dial gauge	37
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	39
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของชิ้นส่วนด้านบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	41
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	43
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	45
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	47
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	49
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของส่วนตัวตั้งของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	51
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	55
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	57
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของส่วนตัวตั้งของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	59
4.12	แสดงแรงกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวที่ตรงกลางคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักและคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ	60
4.13	เปรียบเทียบด้านปริมาณเหล็กเสริมและน้ำหนักคานระหว่างคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักและคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ	61
4.14	แสดงผลการทดสอบ Compaction Test ของคอนกรีต	61
ก-1	ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1	ผก2
ก-2	ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2	ผก2
ก-3	ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3	ผก3
ก-4	ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัวที่ 4	ผก3
ก-5	ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัวที่ 5	ผก3
ก-6	ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัวที่ 6	ผก4
ข-1	แสดงหน้าตัดที่เปิดโปรแกรมออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	ผข4
ข-2	แสดงหน้าตัดที่ขณะกรอกข้อมูล	ผข4
ข-3	แสดงรายละเอียดการคำนวณ	ผข5

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากปัจจุบัน ผลผลิตก้นคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นที่น่าสนใจและนิยมกันมากขึ้น ซึ่งให้ความสะดวกและรวดเร็วในการก่อสร้าง แต่ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง คือ เรื่องน้ำหนักของตัวโครงสร้าง ยังคงมีน้ำหนักที่มาก คณะทำงานจึงเล็งเห็นความสำคัญด้านนี้ จึงได้หาวิธีและรูปแบบที่จะช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้างนี้จากการสังเกต โครงถักนั้นมีน้ำหนักที่เบา และแข็งแรง และน่าจะใช้วัสดุที่เป็นคอนกรีตได้ เราจึงนำแนวทางเรื่องนี้มาประยุกต์ใช้ในการสร้างคานโครงถักคอนกรีตเสริมเหล็กและนำมาวิเคราะห์โครงสร้างเป็นคานโครงถักคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยนำมาเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระหว่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก

1.2 วัตถุประสงค์การทำปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก เพื่อนำมาออกแบบเป็นคาน

1.2.2 เพื่อนำคานคอนกรีตเสริมเหล็กวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีโครงถักและคานคอนกรีตเสริมเหล็กมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในตัว ระหว่างในเรื่องปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม น้ำหนัก ระหว่างคานปกติกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีโครงถัก

1.3 ขอบเขตของการศึกษาปริญญานิพนธ์

1.3.1 กำหนดให้คานที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น Simple Beam

1.3.2 กำหนดคานที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีความยาว 1.80 เมตร ขนาด 15×30

1.3.3 จัดทำตัวอย่างทดสอบ 6 ตัวอย่าง เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ตัวอย่าง เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก 3 ตัวอย่าง

1.3.4 คานรับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ 2 จุด กระทำที่จุดต่อ

1.3.5 คอนกรีตสำหรับหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก มีกำลังรับแรงอัดจากการทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 240 กก./ซม²

1.3.6 เหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นเหล็กเสริมข้ออ้อย SD30

1.3.7 การวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก จะวิเคราะห์เฉพาะแรงอัดและแรงดึงในชิ้นส่วน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 คาดว่าจะสามารถลดน้ำหนักของคานได้แต่ยังสามารถรับแรงได้เท่าเดิม

1.4.2 คาดว่าผลการศึกษาจะสามารถพัฒนาไปสู่นวัตกรรมดีขึ้นและถูกนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย

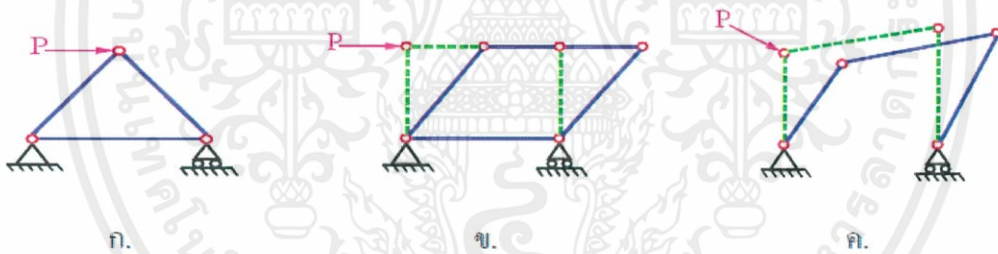


บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

2.1 โครงข้อหมุนหรือโครงถัก (truss)

2.1.1 ความหมายของโครงถัก

โครงถัก (Truss) คือ การนำเอาชิ้นส่วนมาประกอบขึ้นเป็นรูปโครงสร้างแบบต่างๆ โดยยึดปลายทั้งสองของชิ้นส่วนต่างๆ ให้ยึดติดกันและสามารถถ่ายแรงให้กันได้ด้วยการเชื่อม การใช้หมุดย้ำหรือการใช้นอต โครงสร้างที่นิยมทำเป็นโครงถัก เช่น โครงสร้างสะพาน โครงหลังคา ฯลฯ รูปทรงพื้นฐานของโครงถัก คือ รูปสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนอย่างน้อย 3 ชิ้นโดยยึดปลายของชิ้นส่วนด้วยหมุดย้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก) ซึ่งโครงถักลักษณะแบบนี้จะทำให้ได้รูปทรงสามเหลี่ยมที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ แม้ว่าจะมีแรงมากระทำต่อโครงถักนี้จัดได้ว่าเป็นโครงสร้างที่มี เสถียรภาพมาก ส่วนโครงสร้างตามรูปที่ 2.1(ข) และ 2.1(ค) เป็นโครงสร้างที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมเมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้โครงถักเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้จัดได้ว่าเป็นโครงสร้างที่ไม่มีเสถียรภาพ

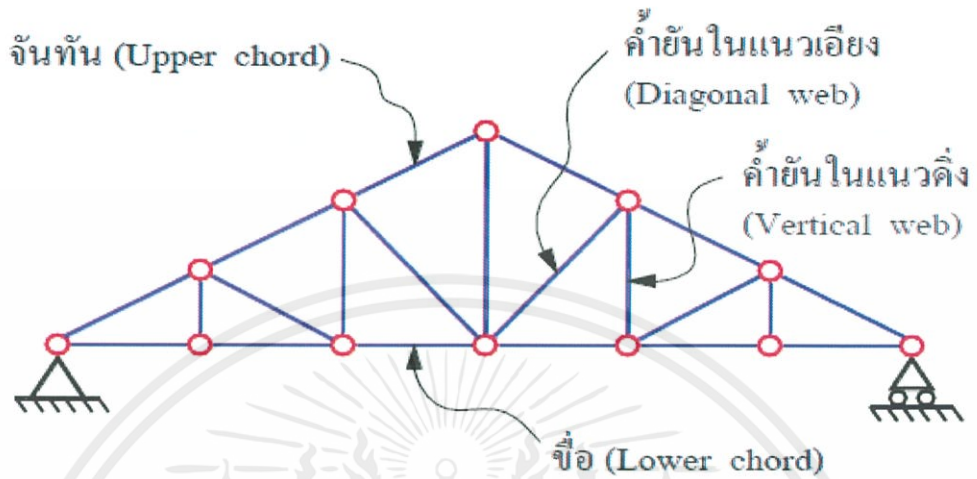


รูปที่ 2.1 แสดงโครงถักแต่ละรูปทรงเมื่อมีแรงกระทำ

2.1.2 ส่วนประกอบของโครงถัก

โครงสร้างที่เป็นโครงถัก (Truss) จะประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นมารวมกันเป็นโครงถักรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถกำหนดชื่อเรียกส่วนประกอบต่างๆ ได้ 4 ชนิด คือ

- 1) จันทัน (Upper Chord)
- 2) ช่อ (Lower Chord)
- 3) ค้ำยันในแนวตั้ง (Vertical Web)
- 4) ค้ำยันในแนวเอียง (Diagonal Web)



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของโครงถัก

2.1.3 ประเภทของโครงถัก (Truss)

ประเภทของโครงถักสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

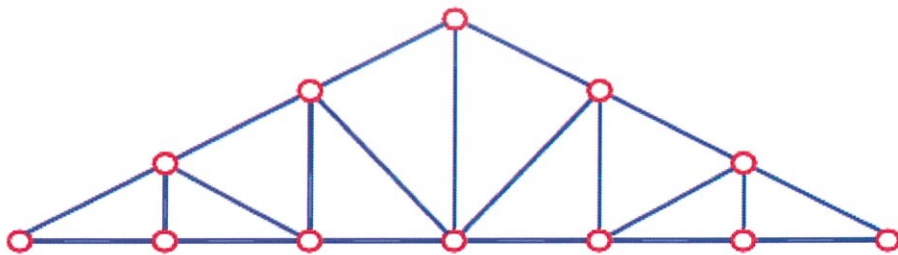
1) โครงถักอย่างง่ายหรือแบบดีเทอร์มิเนตติกส์ (Statically Determinate Truss) เป็นโครงถักที่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงต่างๆ ได้ด้วยสมการสมดุล

2) โครงถักอย่างยากหรือแบบอินดีเทอร์มิเนตติกส์ (Statically Indeterminate Truss) เป็นโครงถักที่ไม่สามารถหาค่าแรงต่างๆ ด้วยสมการสมดุลได้ ต้องใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงมาคำนวณหาสำหรับในหน่วยเรียนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะโครงถัก อย่างง่ายหรือแบบดีเทอร์มิเนตติกส์เท่านั้น

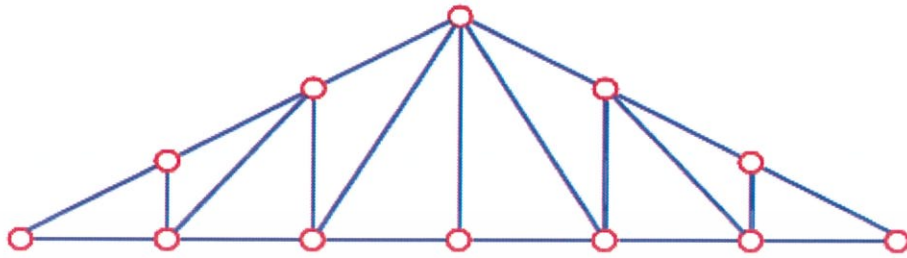
2.1.4 รูปแบบของโครงถัก

รูปแบบของโครงถักอาจแบ่งตามประเภทและลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

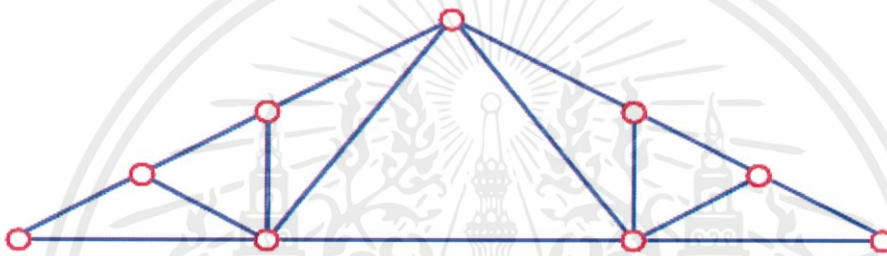
2.1.4.1 โครงถักแบบโครงหลังคามีรูปแบบที่นิยม ดังนี้



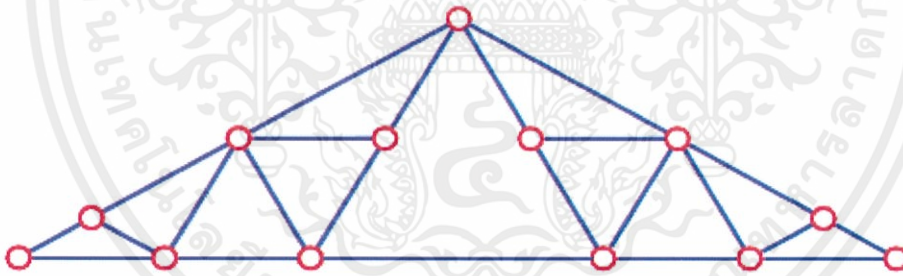
รูปที่ 2.3 แบบโฮว์ (Howe Truss)



รูปที่ 2.4 แบบแพรท (Pratt Truss)

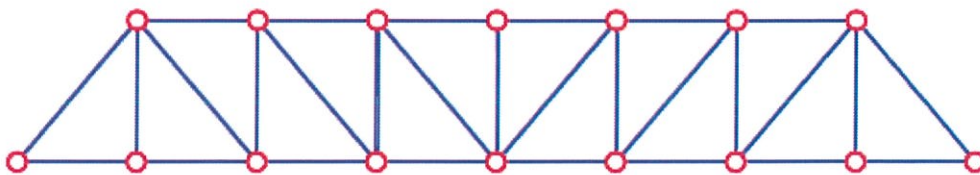


รูปที่ 2.5 แบบแพรท (Pratt Truss)

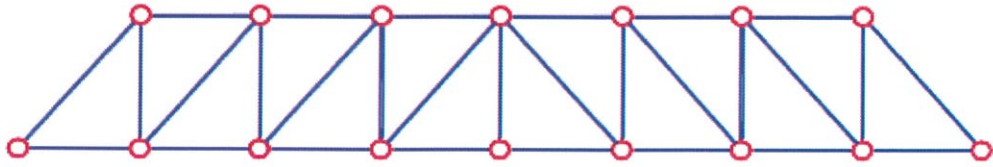


รูปที่ 2.6 แบบฟิงค์ (Fink Truss)

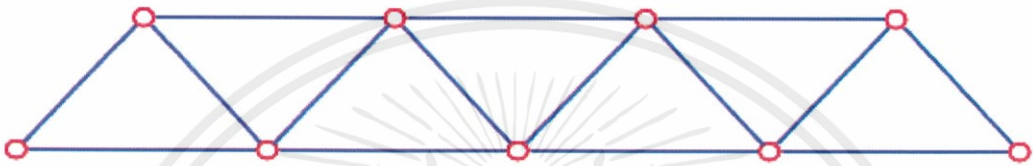
2.1.4.2 โครงถักแบบโครงสะพาน มีรูปแบบที่นิยม ดังนี้



รูปที่ 2.7 แบบโฮว์ (Howe Truss)



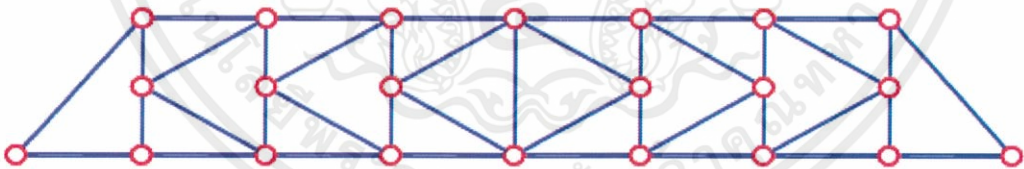
รูปที่ 2.8 แบบแพรท (Pratt Truss)



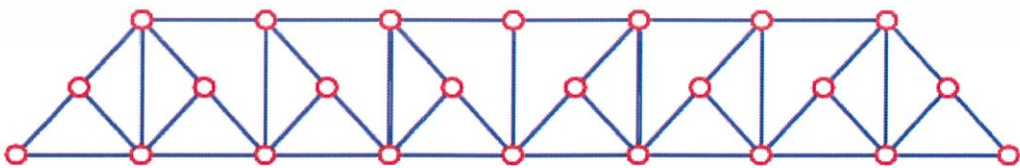
รูปที่ 2.9 แบบวอร์เรน (Warren Truss)



รูปที่ 2.10 แบบวอร์เรนมีค้ำยันแนวตั้ง (Warren Truss with Vertical)



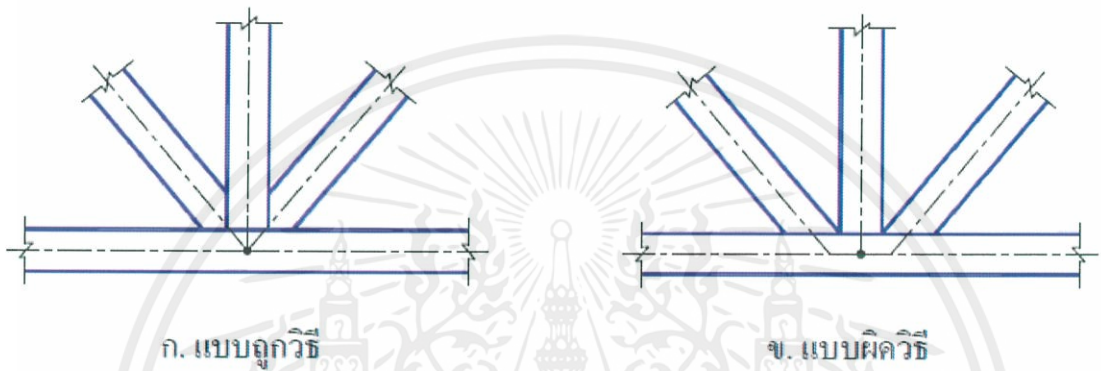
รูปที่ 2.11 แบบเค (K - Truss)



รูปที่ 2.12 แบบบอลติมอร์ (Boltimore)

2.1.5 สมมุติฐานในการวิเคราะห์โครงถักในการวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงถัก มีความจำเป็นที่จะต้องมีย่อตกลางหรือข้อสมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริง ให้มากที่สุดโดยมีข้อสมมุติฐานที่สำคัญ ดังนี้

- 1) ชั้นส่วนทุกชั้นในโครงถักจะต้องมีความยาวเป็นเส้นตรง
- 2) แนวเส้นทรวงอียดของแต่ละชั้นส่วนที่ต่อกันจะพบกันที่จุดศูนย์กลางของรอยต่อของชั้นส่วน

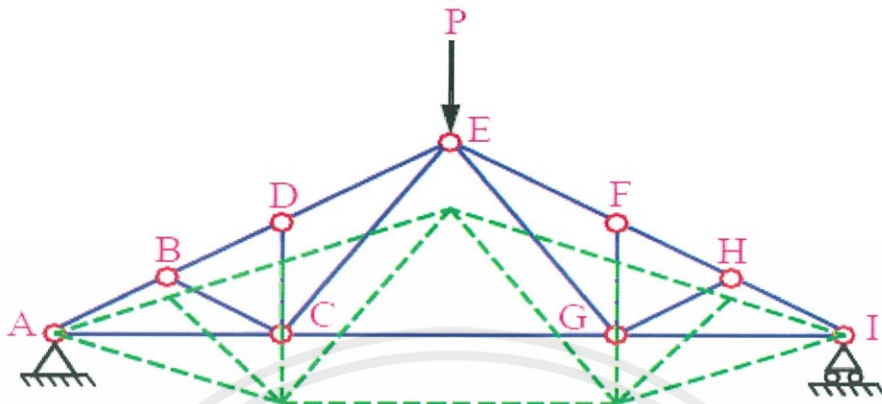


รูปที่ 2.13 แสดงแนวแรงของชั้นส่วน

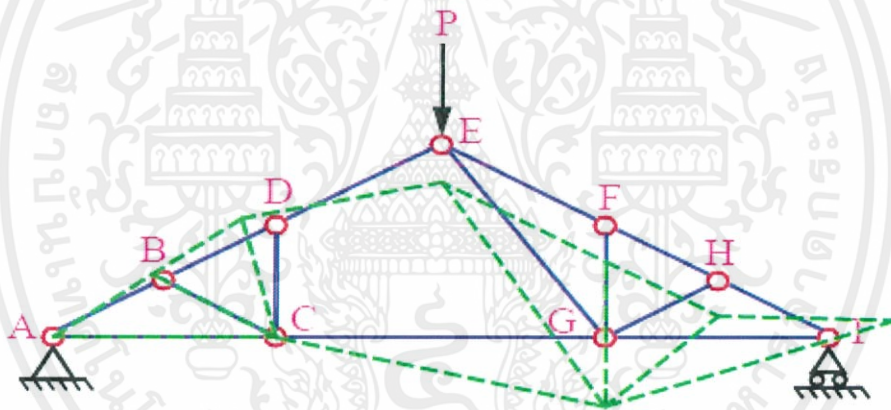
3) น้ำหนักของชั้นส่วนแต่ละชั้นมีค่าน้อยมากในการวิเคราะห์จะไม่นำมาเป็นองค์ประกอบในการพิจารณา

4) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงถักจะเป็นน้ำหนักแบบน้ำหนักกระทำเป็นจุด (Point Load) ที่ตำแหน่งของข้อต่อเท่านั้น

2.1.6 พฤติกรรมของโครงถักในการออกแบบและการวิเคราะห์หาแรงภายในโครงถักจำเป็นจะต้องออกแบบให้โครงถักมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือไม่เกิดการบิดเสียรูป ซึ่งรูปทรงทางเรขาคณิตที่ดีที่สุด คือพิจารณาให้เป็นรูปสามเหลี่ยมหลาย ๆ รูปต่อกัน ตามรูปที่ 2.14 เมื่อมีแรงมากระทำกับ โครงถักก็จะเกิดพฤติกรรมการแอ่นตัวตามรูป



รูปที่ 2.14 แสดงพฤติกรรมของโครงถักเมื่อรับแรง





รูปที่ 2.15 แสดงพฤติกรรมของโครงถักกรณีที่ไม่มีชิ้นส่วน CE

จากรูปที่ 2.15 กรณีโครงถักที่ไม่มีชิ้นส่วน CE จะทำให้โครงถักขาด เสถียรภาพ เพราะรูปทรงของโครงถักมีรูปสี่เหลี่ยม CDEG ทำให้โครงถักเมื่อรับแรงจะเกิดการเสียรูปค่อนข้างมากและพังเสียหายในที่สุด สรุป หลักการออกแบบโครงถักที่ดีและมีเสถียรภาพ จะต้องทำให้โครงถักเป็นรูปสามเหลี่ยม (Triangle) เพื่อให้เกิดการยึดรั้ง (Rigid)

2.1.7 แรงภายในชิ้นส่วนของโครงถักและเครื่องหมายแทนแรง

แรงภายในชิ้นส่วนของโครงถัก โดยทั่วไปเมื่อทำการวิเคราะห์ แรงภายในชิ้นส่วนมี 2 แรง คือ แรงดึง (Tension ; T) และแรงอัด (Compression ; C) และสามารถใช้เครื่องหมายแทนแรงได้ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์และเครื่องหมายที่ใช้แทนแรง

ชนิดแรง	สัญลักษณ์ตัวอักษร	เครื่องหมาย	สัญลักษณ์หัวลูกศร
แรงดึง (tension)	T	+ (เครื่องหมายบวก)	
แรงอัด (Compression)	C	- (เครื่องหมายลบ)	

2.1.8 การหาแรงภายในโครงถัก การวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงถัก สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

- 1) วิธีกราฟฟิก (Graphical Methods)
- 2) วิธีคำนวณจุดต่อ (Joint Methods)
- 3) วิธีคำนวณส่วนตัด (Section Methods)

2.1.8.1 วิธีคำนวณจุดต่อ (Joint Methods)

การคำนวณหาแรงภายในโดยวิธีคำนวณจุดต่อ มีหลักการคำนวณ คือ ให้พิจารณาจุดต่อที่มีตัวไม่ทราบค่าเพียงสองตัว และใช้สมการสมดุล $\Sigma F_x = 0$ และ $\Sigma F_y = 0$ แก้สมการหาค่าแรงที่ไม่ทราบค่าขั้นตอนการคำนวณหาแรงภายในโครงถักโดยวิธีจุดต่อ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของโครงถัก
- 2) เขียนผังอิสระของแรง (F.B.D.)
- 3) พิจารณาจุดต่อที่มีตัวไม่ทราบค่าไม่เกินสองตัว โดยสมมติให้แรงที่ยังไม่ทราบค่าเป็น แรงดึงไว้ก่อน
- 4) แยกแรงที่เอียงให้อยู่ในแนวแกน X และแกน Y
- 5) ใช้สมการสมดุล $\Sigma F_x = 0$ และ $\Sigma F_y = 0$ คำนวณหาตัวไม่ทราบค่า โดยกำหนดให้แรงที่มีทิศทางขึ้นและทิศทางไปทางขวามีค่าเป็นบวก และแรงที่มีทิศทางลงและทิศทางไปทางซ้ายมีค่าเป็นลบ ถ้าแรงที่คำนวณได้มีค่าติดลบแสดงว่าสมมติหัวลูกศรมิต ให้กลับหัวลูกศรของแรงนั้นแล้วจึงคำนวณหาค่าแรงต่อไป
- 6) เมื่อทราบค่าแรงภายในที่จุดต่อแรกแล้ว ให้พิจารณาจุดต่อที่สองที่อยู่ติดกันและมีตัวไม่ทราบค่าไม่เกินสองตัว เพื่อคำนวณหาแรงภายในชิ้นส่วนของโครงถักที่เหลือให้ครบ

2.1.8.2 วิธีคำนวณส่วนตัด (Section Methods)

การคำนวณหาแรงภายใน โครงถักโดยวิธีคำนวณส่วนตัด เป็นวิธีที่ค่อนข้างหาได้รวดเร็วเพราะไม่จำเป็นต้องเริ่มที่จุดแรกแล้วไล่จุดถัดไปเรื่อยๆ เหมือนวิธีคำนวณจุดต่อ โดยสามารถเลือกตัด Section ณ

ตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าได้เลย ซึ่งมีเงื่อนไขคือต้องตัดผ่านตัวไม่ทราบค่าไม่เกิน 3 ตัวเท่านั้นขั้นตอนการคำนวณหาค่าแรงภายในโครงถักโดยวิธีคำนวณส่วนตัด

- 1) คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของโครงถัก
- 2) พิจารณาตัด Section ตรงหน้าตัดที่มีตัวไม่ทราบค่าไม่เกิน 3 ตัว
- 3) สมมุติให้แรงที่ยังไม่ทราบค่าให้เป็นแรงตั้งไว้ก่อน
- 4) ใช้สมการสมดุล $\Sigma M = 0$ คำนวณหาตัวไม่ทราบค่าโดยเลือกจุดหมุนให้เหลือตัวไม่ทราบค่าเพียงตัวเดียว

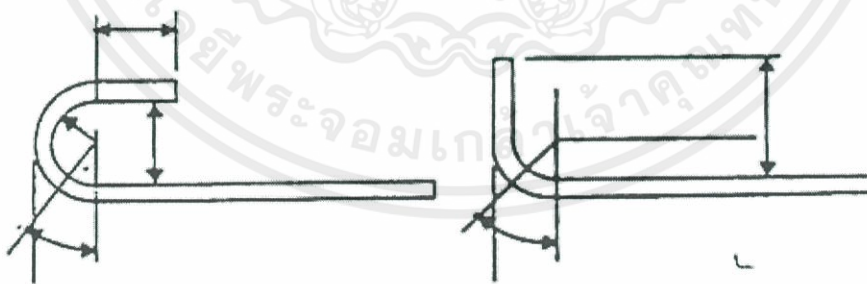
ข้อสังเกต การเลือกจุดหมุนเพื่อคำนวณหาตัวไม่ทราบค่า ควรเลือกจุดที่มีแรงทราบค่าแล้วและไม่ทราบค่าผ่านหลายๆ แรงโดยให้เหลือแรงที่ไม่ทราบค่าที่ต้องการคำนวณเพียงแรงเดียว เพื่อจะได้ลดภาระในการคำนวณลง

2.2 มาตรฐานของอ(มาตรฐานว.ส.ท.และACI)

2.2.1 ของอมาตรฐาน หมายถึง ส่วนปลายของเหล็กเสริมที่มีลักษณะตรงข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

- 1) ส่วนที่ตัดเป็นครึ่งวงกลม และมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
- 2) ส่วนที่ตัดเป็นมุมฉาก และมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 12 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
- 3) เฉพาะเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอกให้ตัด 90 องศา หรือ 135 องศา และมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม

2.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับการตัด เส้นผ่านศูนย์กลางของการตัดเหล็กให้วัดด้านในของเหล็กที่ตัดสำหรับขอมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ต้องไม่เล็กกว่าค่าที่ให้ไว้ในตาราง นอกจากเหล็กกล้าละมุน และเหล็กชนิดปานกลางขนาด 6 มม. ถึง 25 มม. เท่านั้นที่ให้ใช้เท่ากับ 5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้นได้



รูปที่ 2.16 การของอของเหล็ก

ตารางที่ 2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับการตัด

ขนาดของเหล็ก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุด
10 ถึง 16 มม.	5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น
20 ถึง 28 มม.	6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

2.2.3 ขอบที่นอกเหนือจากของมาตรฐาน

1) การตัดเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ต้องมีรัศมีที่วัดด้านในของเหล็กไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

2) การตัดงอเหล็กอื่นๆ ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความโค้งเมื่อวัดด้านในไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ในตาราง ถ้าการตัดงอนั้นกระทำ ณ จุดที่เหล็กมีหน่วยแรงสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการงอต้องโตพอที่จะไม่ให้เกิดการแตกของคอนกรีต

2.2.4 การดัดงอ การตัดเหล็กทุกเส้นต้องใช้วิธีดัดเย็น

หมายเหตุ ของมาตรฐาน ที่รับแรงดึง อาจถือได้ว่ารับแรงได้ 700 กก./ตร.ซม. หรือ อาจนำมาเป็นส่วนหนึ่งของเหล็กเสริมที่ยื่นต่อออกไปเพื่อให้ได้แรงยึดหน่วงที่ต้องการ ของเหล็กเสริมต้องไม่นำมาใช้เป็นส่วนช่วยเพิ่มความต้านทานแรงอัด

2.3 ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็ก

ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กหรือระยะหุ้มของคอนกรีต (Concrete Covering) ก็คือระยะของคอนกรีตที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมสัมผัสกับน้ำหรืออากาศโดยตรงเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมีหรือป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมทำปฏิกิริยากันเหล็กเสริมจนทำให้เกิดสนิมขุม และทำให้โครงสร้างสูญเสียความสามารถในการรับกำลังในที่สุด ทั้งนี้การวัดความหนาของระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กหรือระยะหุ้มของคอนกรีต ให้วัดจากผิวด้านนอกของคอนกรีตลึกเข้าไปจนถึงผิวด้านนอกของเหล็กปลอก (ในกรณีที่ไม่มีเหล็กปลอกก็ให้วัดถึงผิวของเหล็กเสริมเส้นนอกสุด) สำหรับคอนกรีตที่หล่อในที่ ควรมีระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กหรือระยะหุ้มของคอนกรีตต่ำสุดตามมาตรฐาน วสท. ดังนี้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานความหนาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็ก

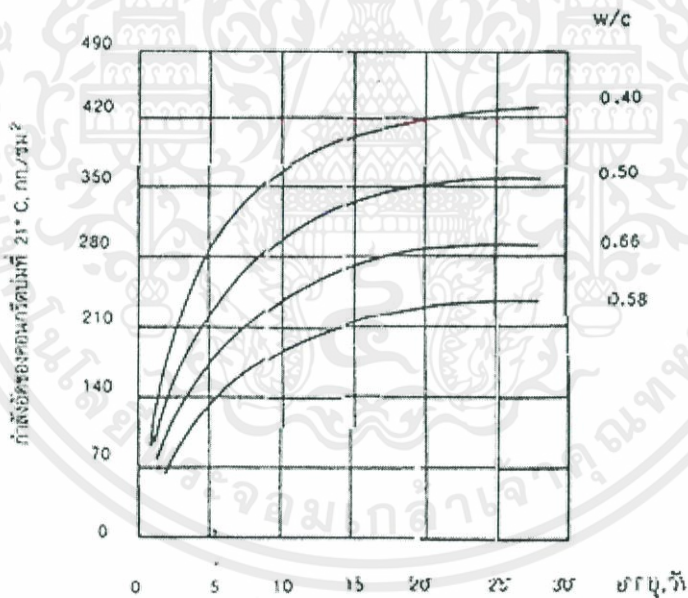
ชนิดของโครงสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด(ซม.)
1. ฐานรากและองค์อาคารส่วนสำคัญที่สัมผัสกับดินตลอดเวลา	7.5
2. คอนกรีตที่สัมผัสกับดินหรือถูกแดดถูกฝน	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	5
3. คอนกรีตที่ไม่สัมผัสกับดินหรือไม่ถูกแดดไม่ถูกฝน	
3.1 ในแผ่นพื้น ผนัง และตง	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 44 มม.	4
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มม. และเล็กกว่า	2
3.2 ในคาน	
- เหล็กเสริมหลักหรือเหล็กลูกตั้ง	3
3.3 ในเสา	
- เหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียว	3.5
3.4 ในคอนกรีตเปลือกบางและพื้นแผ่นพับ	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	2
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	1.5
4. ให้เพิ่มความหนาของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กได้ตามความเหมาะสม เมื่ออยู่ในสภาวะหรือบรรยากาศที่เหมาะสม	
5. หากมีการใช้ร่วมกับมาตรฐานอื่นใด เช่น โครงสร้างผนังบางหรือการป้องกันอัคคีภัย ให้ใช้ค่าที่มากกว่าเป็นมาตรฐาน	

2.4 คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete)

คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุแบบ “คอมโพสิต” ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของวัสดุระหว่างคอนกรีตและเหล็ก โดยใช้คุณสมบัติพิเศษของแต่ละวัสดุมาใช้ในการต้านทานแรงกระทำต่างๆที่เกิดจากการใช้งาน มาทำงานร่วมกันอย่างเหมาะสม ดังนั้นจำเป็นจะต้องเข้าใจพื้นฐานของคอนกรีตและเหล็ก ดังนี้

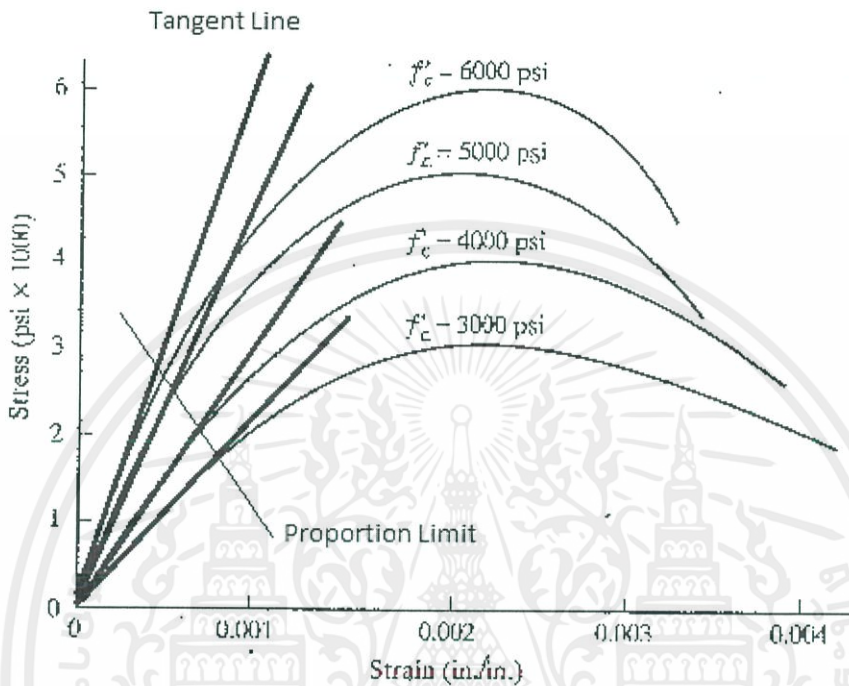
2.4.1 คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่นิยมนำมาก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ หิน ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ (อาจมีสารเคมีเพิ่มในกรณีที่ต้องการคุณสมบัติด้านอื่นเพิ่ม) ซึ่งซีเมนต์เพส จะช่วยในการยึดเหนี่ยว หิน ทราย ไว้เป็นชิ้นเดียวกัน ในช่วงแรกหลังจากผสมรวมกัน จะมีลักษณะไหลลื่นและสามารถทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามแบบได้ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นอีกด้านของคอนกรีต และในเวลาต่อมา น้ำ ที่ผสมอยู่ในคอนกรีตก็เริ่มทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เรียกว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชัน” ซึ่งคอนกรีตจะเริ่มก่อตัว แข็งตัว และพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามเวลา ดังกราฟที่ ซึ่งแสดงถึงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแต่ละชนิด ที่ผสมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ต่าง ๆ ส่วนในด้านกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตจะน้อยมาก ซึ่งโดยประมาณ 10% ของกำลังรับแรงอัดโดยประมาณ



รูปที่ 2.17 กำลังของคอนกรีตอายุเมื่อส่วนผสมมีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็นตัวแปร (PORTLAND CEMENT TYPE I)

2.4.1.1 คุณสมบัติของคอนกรีต (Concrete Properties)



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต

การพิจารณาถึงคุณสมบัติของคอนกรีตที่สำคัญๆ จะแยกพิจารณาคุณสมบัติของคอนกรีตใน 2 ลักษณะคือ คอนกรีตในสภาพที่ยังเหลว และ คอนกรีตในสภาพที่แข็งตัวแล้ว

1) คอนกรีตในสภาพที่ยังเหลว ความสามารถเทได้ (Workability) ความสามารถเทได้ หรือ ความคล่องตัวในการเท คือ ผลรวมของพลังงานที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคส่วนผสมในคอนกรีต และแรงเสียดทานระหว่างคอนกรีตกับแบบหล่อ และเหล็กเสริมคอนกรีต หากคอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี คอนกรีตจะไหลได้เต็มแบบและหุ้มเหล็กเสริมได้ดี ทั้งยังสามารถทำให้แน่นได้โดยปราศจากการแยกตัว

2) คอนกรีตในสภาพที่แข็งตัวแล้ว กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง คือ อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ (Water-Cement Ratio (w/c)) ถ้าใช้น้ำผสมคอนกรีตมาก กำลังของคอนกรีตจะน้อย การที่กำลังของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นั้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์ น้ำจึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อกำลังของคอนกรีต ดังนั้น ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อผสมคอนกรีตจะต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้ได้ตามที่ออกแบบส่วนผสม และเมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัวจะต้องคอยควบคุมให้คอนกรีตสูญเสียให้น้ำน้อยที่สุด โดยปกติ จะถือเอากำลังของคอนกรีตเมื่ออายุครบ 28 วัน

เป็นมาตรฐานในการบอกกำลังของคอนกรีต และกำลังของคอนกรีตจะหาจาก แห่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก หรือแห่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

2.4.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังคอนกรีต

1) คุณสมบัติของวัสดุผสม

- ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก เพราะปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์
- น้ำ น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำปูนจะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง
- มวลรวม มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน คอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ มักจะให้กำลังดีกว่ามวลรวม ขนาดเล็ก นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน

2) การทำคอนกรีต

- การชั่งตวงส่วนผสมหากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่ง ส่วนผสมโดยน้ำหนัก
- อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
- การผสมคอนกรีต จะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้
- การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่นจะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

3) การบ่มคอนกรีต

- ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที
- อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงในขณะที่บ่ม ทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูง
- เวลาที่ใช้ในการบ่ม หากสามารถบ่มคอนกรีตให้ขึ้นอยู่กับเวลาได้ยาวนานเท่าใด ก็จะได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

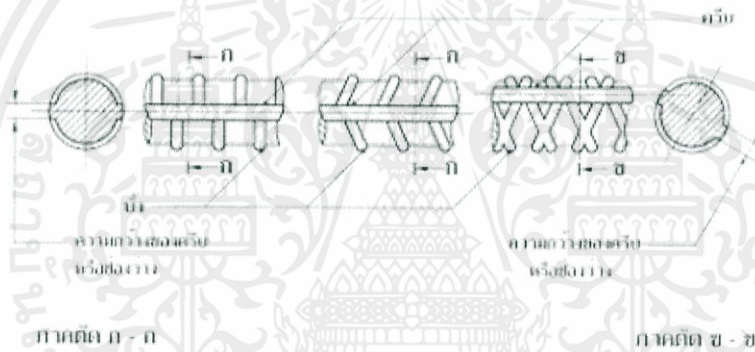
2.4.2 เหล็กเสริม

เหล็กเสริม(Reinforcing Bar) เป็นเหล็กเส้นที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ซึ่งมาช่วยในการเสริมกำลังรับแรงของคอนกรีตเสริมเหล็กให้ดียิ่งขึ้น เหล็กเสริมเป็นเหล็กกล้าผสมที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0 – 0.3 % ผลิตขึ้นโดยการหลอมเหลวเหล็กแล้วรีดออกมาด้วยลูกกลิ้งให้มี

ขนาดและรูปร่างตามต้องการ มีทั้งหน้าตัดกลมเรียบเรียกว่าเหล็กเส้นกลม(Round Bar)และแบบมีปล้องเรียกว่า เหล็กข้ออ้อย(Deform Bar) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เหล็กเส้นชนิดข้ออ้อยในงานโครงสร้างมาก และจะขอกล่าวถึงเฉพาะเหล็กข้ออ้อย

2.4.2.1 เหล็กข้ออ้อย

เป็นเหล็กเส้นที่มีหน้าตัดกลม แต่ที่ผิวตามแนวยาวมีลักษณะเป็นปล้องหรือครีบ เพื่อช่วยในการยึดเกาะกับคอนกรีต ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างเกิดประสิทธิภาพดีที่สุด มาตรฐาน มอก. 24 เหล็กข้ออ้อย มี 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD30 SD40 SD50 ซึ่งจะมีกำลังรับแรงที่จุดครากที่ 3000 ksc. 4000 ksc. 5000 ksc. ตามลำดับ ส่วนการเรียกชื่อ จะใช้สัญลักษณ์ DBxx xxนั้นแสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เช่น DB16 ซึ่งหมายถึง เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร เป็นต้น เหล็กข้ออ้อยเป็นเหล็กที่นิยมใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมาก เพราะมีกำลังสูงมาก และมีการยึดเกาะระหว่างเนื้อคอนกรีตกับผิวเหล็กที่ดีมากกว่าเหล็กผิวเรียบถึงประมาณสองเท่า

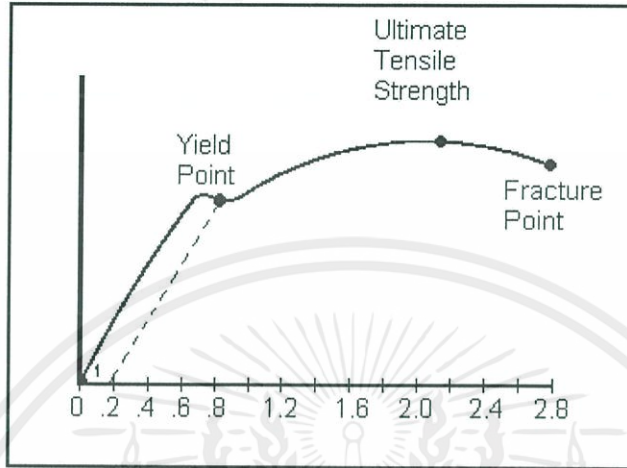


รูปที่ 2.19 แสดงถึงลักษณะของเหล็กข้ออ้อย

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของเหล็กข้ออ้อย

ชื่อ,ขนาด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (มม. ²)	มวลระบุ (กก.ต่อม.)
DB 10	10	78.5	0.616
DB 12	12	113.1	0.888
DB 16	16	201.1	1.578
DB 20	20	314.2	2.466
DB 22	22	380.1	2.984
DB 25	25	490.9	3.853
DB 28	28	615.8	4.834
DB 32	32	804.2	6.313
DB 36	36	1,079.9	7.99
DB 40	40	1,256.6	9.865

2.4.2.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริม



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดของเหล็ก

คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริมที่สำคัญคือ มีกำลังรับแรงแลและการยืดตัวได้สูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณสมบัติดังกล่าวซึ่งสามารถอธิบายได้จาก กราฟ ดังนี้ เมื่อนำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบหาแรงดึง โดยนำค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นคือ แรงดึงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเหล็ก เรียกว่า ความเค้น(Stress) กับ หน่วยการยืดตัวคืออัตราส่วนของความยาวที่ยืดเพิ่มขึ้นหารความยาวเดิม เรียกว่า ความเครียด (Strain) แล้วนำค่ามาพลอตกราฟระหว่าง ความเค้น-ความเครียด ดังกราฟ จะพิจารณาได้ว่า ช่วงแรก ตั้งแต่เริ่มดึง ระยะยืดจะเป็นอัตราส่วนที่คงที่จนถึงจุดคราก(Yield Point) เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงยืดหยุ่นของเหล็กเสริม เหล็กจะสามารถหดกลับมาตำแหน่งเดิมได้เมื่อนำแรงออก แต่ถ้าดึงแรงเกินจุดครากเหล็กจะยืดออกอย่างรวดเร็วในขณะที่แรงดึงยังคงที่เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงพลาสติกของเหล็กเหล็กจะไม่สามารถหดกลับมาที่ความยาวเดิมได้ เมื่อดึงแรงต่อไปอีก เหล็กจะเริ่มมีพฤติกรรมใหม่ขึ้น และเริ่มเกิด ความเค้นเพิ่มขึ้น เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงการแข็งตัวเพิ่ม และถึงต่อจนค่าของความเค้นเริ่มตก เรียกจุดนี้ว่า จุดประลัย (Ultimate Point) ซึ่งเป็นจุดที่มีกำลังสูงสุดของเหล็ก และจะขาด (Fracture Point) ในเวลาต่อมา

มาตรฐานการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2527 ให้ข้อกำหนดที่ต้องการด้านคุณสมบัติทางกลและส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กข้ออ้อย ตามชั้นคุณภาพต่าง ๆ ดังตาราง

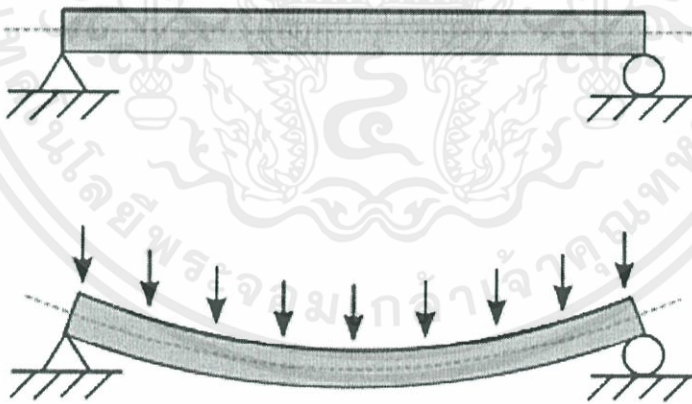
ตารางที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของเหล็กตามชั้นคุณภาพ

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี % (โดยน้ำหนัก)					กำลังจุดคราก กก./ชม. ² ไม่น้อยกว่า	กำลังดึง ประลัย กก./ชม. ² ไม่น้อยกว่า	ความยืด % ไม่น้อยกว่า
	คาร์บอน	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส	กำมะถัน	คาร์บอน+แมงกานีส			
SD30	0.28	-	0.06	0.06	0.45	3000	4900	17
SD40	-	1.80	0.06	0.06	0.55	4000	5700	15
SD50	-	1.80	0.06	0.06	0.60	5000	6300	13

2.4.3 คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านแรงอัดได้สูงอีกทั้งราคายังถูกแต่ต้านแรงดึงได้ต่ำมาก ส่วนเหล็กถึงจะมีราคาแพงแต่ก็มีคุณสมบัติต้านแรงดึงและแรงอัดได้สูงมาก ดังนั้นในการออกแบบจึงให้คอนกรีตทำหน้าที่รับแรงอัด และให้เหล็กเส้นทำหน้าที่รับแรงดึงและแรงอัด อีกทั้งวัสดุทั้งสองชนิดมีสัมประสิทธิ์การยึดหดใกล้เคียงกันจึงเป็นเหตุที่เหมาะสมที่จะนำวัสดุทั้งสองชนิดมาทำงานร่วมกัน

2.4.3.1 พฤติกรรมการวิบัติของคาน



รูปที่ 2.21 แสดงพฤติกรรมของคานเมื่อรับแรงกระทำ

คาน เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงตามแนวขวางกับแนวตัวคาน ในการวิเคราะห์ จะต้องแปลงแรงในขวางมาเป็นโมเมนต์และแปลงจากโมเมนต์มาเป็นแรงในแนวแกนของตัวคาน ที่หน้าตัดใดๆ โดยเป็นไปดังสมการนี้

$$f = \frac{My}{I}$$

f = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นตามแนวแกนใดๆ ที่ระยะวัดจากแกนสะเทินของหน้าตัด

M = โมเมนต์เนื่องจากแรงกระทำภายนอก

y = ระยะวัดจากแกนสะเทิน

I = ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดใดๆ ตามลำดับ

ซึ่งหน่วยแรงดังกล่าวจะเกิดเป็นหน่วยแรงอัดเมื่ออยู่เหนือแกนสะเทิน โดยคอนกรีตด้านบนจะทำหน้าที่รับแรงอัด(หรืออาจมีเหล็กช่วยรับในกรณีใส่เหล็กรับด้านแรงอัด) และเป็นแรงดึงเมื่ออยู่ใต้แกนสะเทิน โดยเหล็กและคอนกรีตจะทำหน้าที่รับแรงดึง ซึ่งหน่วยแรงจะมากที่สุดจะมากที่สุดที่ผิวของคาน และจะเป็นไปตามสมการนี้ได้ต้องมีขนาดของแรงไม่เกินพิกัดยืดหยุ่นของคาน แต่เมื่อขนาดของแรงมีขนาดมากขึ้นคานจะสูญเสียการยืดหยุ่น ซึ่งจะไม่เป็นไปตามสมการข้างต้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะไม่คงที่ และคานเริ่มเข้าสู่ลักษณะการวิบัติ ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

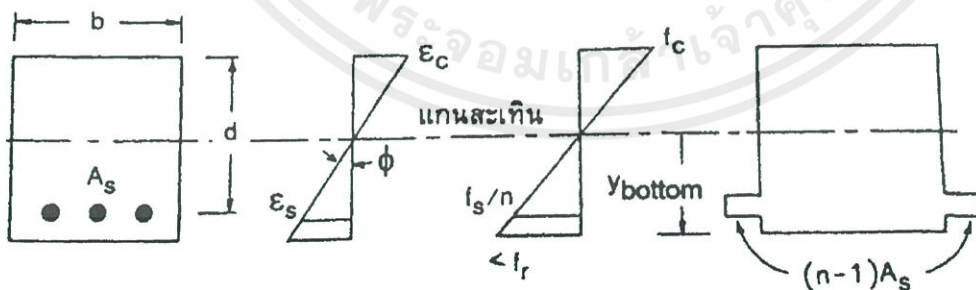
2.4.3.2 ลักษณะการวิบัติของคานนั้นจะมีอยู่ 3 แบบ คือ

1) การวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก(Tension Failure) เป็นการวิบัติแบบเหล็กเสริมรับแรงดึง ถูกดึงถึงจุดครากก่อนแล้วคอนกรีตจึงถูกอัดระเบิดตามทีหลัง

2) การวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก(Compression Failure) เป็นการวิบัติโดยการที่คอนกรีตถูกอัดระเบิดก่อนโดยที่เหล็กเสริมรับแรงดึงยังถูกดึงไม่ถึงจุดคราก

3) การวิบัติแบบสมดุล(Balance Failure) เป็นการวิบัติโดยคอนกรีตถูกอัดระเบิดแตก พร้อมกับเหล็กถูกดึงถึงจุดคราก

2.4.3.3 การวิเคราะห์โมเมนต์ตัดเมื่อคานยังไม่ร้าว

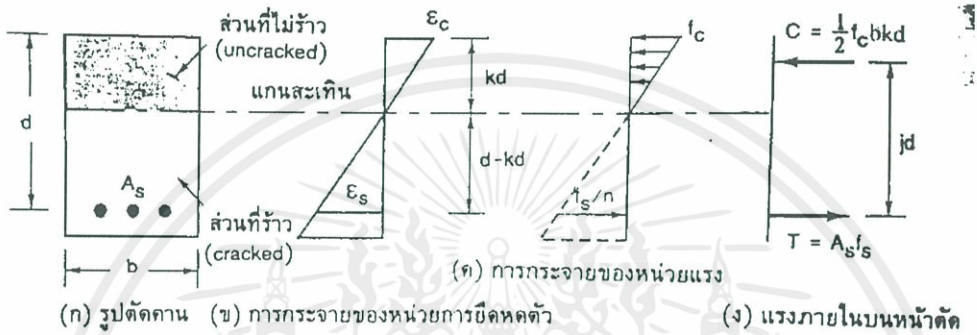


(ก) รูปตัดคาน (ข) การยืดหดตัว (ค) การกระจายของหน่วยแรง (ง) หน้าตัดแปลง

รูปที่ 2.22 กำลังต้านทานโมเมนต์ตัดเมื่อคานยังไม่ร้าว

คานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าใดๆ มีหน้าตัดเหล็กเท่ากับ A_s มีความลึกประสิทธิภาพ d ถ้ารับน้ำหนักบรรทุกที่ไม่มากจนทำให้หน่วยแรงตึงเกิน $f_r = 2.0\sqrt{f'_c}$ กก./ ซม.² ดังนั้น คานจะยังไม่ร้าว ซึ่งหน่วยแรงที่เกิดขึ้น หาได้จาก $f = \frac{My}{I_{ut}}$ เมื่อ I_{ut} คือ โมเมนต์อินเนอร์เซียร์ของหน้าตัดแปลง

2.4.3.4 การวิเคราะห์โมเมนต์คานเมื่อคานเริ่มร้าว



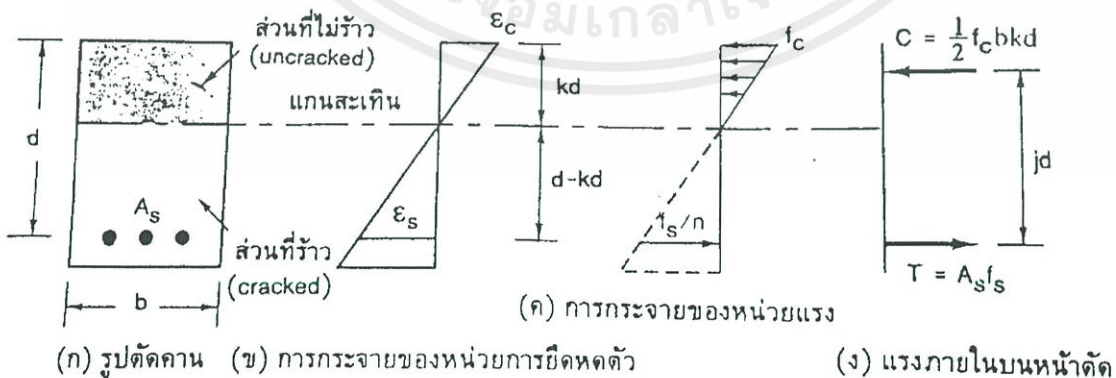
รูปที่ 2.23 กำลังต้านทานโมเมนต์คานเมื่อคานเริ่มร้าว

เมื่อคานรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก จนเกิดหน่วยแรงตึงที่ผิวท้องคาน เกินค่า $f_r = 2.0\sqrt{f'_c}$ กก./ ซม.² แล้ว ซึ่งหมายถึงว่าคอนกรีตใต้แกนสะเทินนั้นเกิดการร้าวแล้ว ในความเป็นจริงแล้วคอนกรีตยังมีแรงตึงอยู่บ้าง แต่ในการคำนวณ จะถือว่ามีเพียงแรงตึงจากเหล็กเส้นเท่านั้น ซึ่งหาค่าต่าง ๆ ได้จากสมการดังนี้

หน่วยแรงอัดในคอนกรีตหาได้จาก $f_c = \frac{M}{A_s(1-\frac{k}{3})d}$ (กก./ ซม.²)

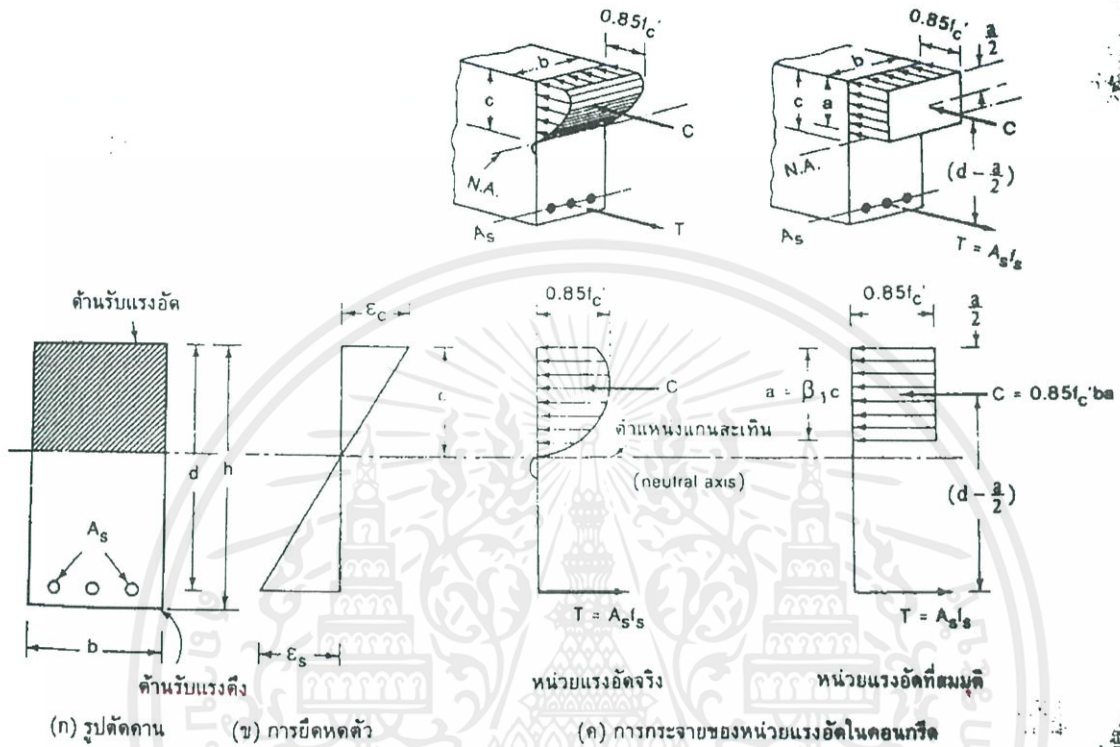
หน่วยแรงตึงในเหล็กเสริมหาได้จาก $f_s = \frac{2M}{k(1-\frac{k}{3})bd^2}$ (กก./ ซม.²)

โดยที่ $k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n$



รูปที่ 2.24 การวิเคราะห์กำลังต้านทานโมเมนต์คานสูงสุด

2.4.3.5 การวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบรับแรงอัดประลัย



รูปที่ 2.25 การแผ่กระจายของหน่วยแรงอัดในคอนกรีต

เมื่อคานรับแรงกระทำที่มากจนทำให้เกิดหน่วยแรงที่มากพฤติกรรมต่าง ๆ ของคานจะเริ่มซับซ้อน การวิเคราะห์จึงต้องตกลงกันตามข้อสมมติฐานดังนี้

- 1) ระบายรูปตัดยังคงเป็นระนาบ ทั้งก่อนและหลังแรงดัด นั้นหมายถึงการกระจายหน่วยแรงจะยังคงเป็นสัดส่วนคงที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน
- 2) การยืดเหี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตเป็นไปอย่างสมบูรณ์ หมายถึงหน่วยแรงของเหล็กเส้นจะเท่ากับหน่วยแรงคอนกรีตในตำแหน่งเดียวกัน
- 3) หน่วยแรงสูงสุดและหน่วยการยืด-หดสูงสุดไม่เป็นสัดส่วนกัน
- 4) ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงคอนกรีต
- 5) การแผ่กระจายหน่วยแรงของคอนกรีตจะเป็นรูปใดก็ได้ที่ให้ผลคาดหมายได้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดและหน่วยการหดตัวสูงสุดจะไม่เกิน 0.003 มม./มม.

จากสมมติฐานข้างต้น เมื่อคานรับแรงกระทำที่มากจนเกิดหน่วยแรงที่เกินจุดสิ้นสุดการเป็นสัดส่วนกัน (Proportion Limit) ของคอนกรีต (โดยมีค่าประมาณ $0.5f'_c$ ซึ่งวิเคราะห์จากกราฟความเค้น-เครียดของคอนกรีตข้างต้น) จะเกิดการกระจายหน่วยแรงบนหน้าตัดแบบไม่คงที่ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5(ค) โดยหน่วยการยืด-หดยังคงที่ตามข้อสมมติฐานที่ 1 และมีหน่วยแรงอัดสูงสุดขนาด $0.85f'_c$ ซึ่งจะเห็นได้ว่า

การวิเคราะห์หน่วยแรงนั้นทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นถ้าจะทำให้ง่ายจึงต้องจัดให้หน่วยแรงเป็นแบบ หน่วยแรงอัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่า (Equivalent Rectangular Stress Block) โดยมีขนาดของหน่วยแรงอัดสูงสุดเท่ากับ $0.85f'_c$ ซึ่งมีความลึกของแถบแรงเท่ากับ a และกว้างเท่ากับความกว้างคานเท่ากับ b และจะหา ระยะแกนสะเทิน c ของหน้าตัดคอนกรีต ซึ่งเท่ากับ $\frac{a}{\beta_1}$ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งค่า β_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับค่ากำลังอัดคอนกรีต ดังนี้

$$\beta_1 \begin{cases} 0.85 & f'_c \leq 280 \text{ ksc.} \\ 0.85 - 0.5 \left(\frac{f'_c - 280}{70} \right) & 280 \text{ ksc.} < f'_c \leq 560 \text{ ksc.} \\ 0.65 & f'_c > 560 \text{ ksc.} \end{cases}$$

- โดยที่ a = ความลึกของแรงเทียบเท่าวัดจากผิวบนของคาน
 b = ความกว้างของคาน
 c = ระยะแกนสะเทินของหน้าตัดวัดจากผิวบน
 d = ความลึกประสิทธิผลวัดจากผิวบนถึงจุดศูนย์กลางหน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง
 f'_c = หน่วยแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต

2.4.3.4 อัตราส่วนเหล็กเสริม(Steel ratio : ρ)

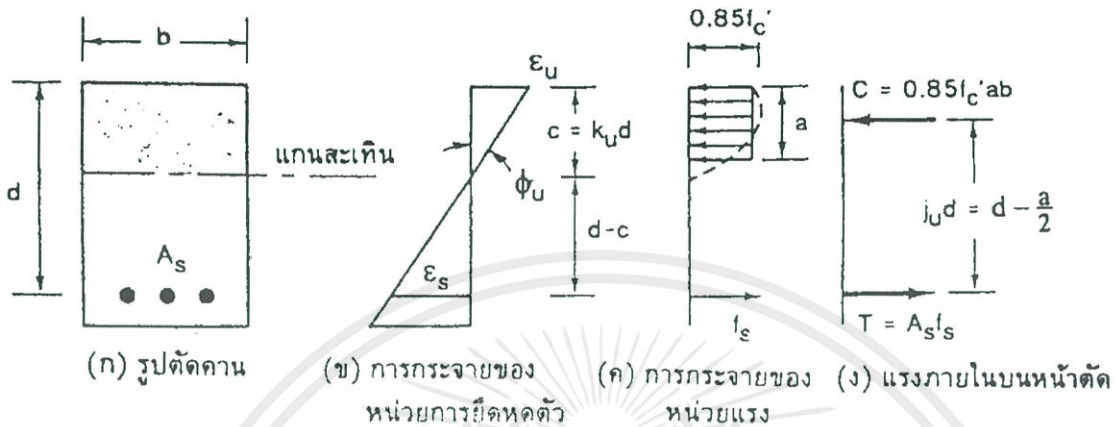
ถ้าพิจารณาการเสริมเหล็กจะพบว่า ถ้าได้เสริมเหล็กรับแรงดึงมากเกินไปเกินค่าที่กำหนดค่าหนึ่ง จะทำให้กำลังของเหล็กนั้นมากกว่ากำลังของคอนกรีต โดยจะเกิดรูปแบบการพังแบบคอนกรีตถูกอัดแตกก่อน ซึ่งจะเกิดการวิบัติอย่างฉับพลัน ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนเหล็กเสริม ρ ของหน้าตัดคานเทียบกับอัตราส่วนเหล็กเสริมที่สถานะที่คอนกรีตกับเหล็กเสริมถูกอัดแตกพร้อมกันเป็นตัวกำหนดปริมาณเหล็กเสริมในคานเรียกอัตราส่วนนี้ว่าว่า อัตราส่วนเหล็กเสริมที่สถานะสมดุล ρ_b (Balance steel ratio) และอย่างน้อยกว่าค่าต่ำสุด ρ_{min} ซึ่งทาง ว.ส.ท ได้ให้ข้อกำหนดไว้ คือ

$$\frac{14}{f_y} \leq \rho \leq 0.75\rho_b$$

โดยที่

- โดยที่ ρ = อัตราส่วนเหล็กเสริมรับแรงดึง มีค่าเท่ากับ $\frac{A_s}{bd}$
 ρ_b = อัตราส่วนเหล็กเสริมที่สถานะสมดุล มีค่าเท่ากับ $\beta_1 \frac{0.85f'_c}{f_y} \frac{6120}{6120+f_y}$
 ρ_{min} = อัตราส่วนเหล็กเสริมน้อยสุด มีค่าเท่ากับ $\frac{14}{f_y}$
 A_s = พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง
 f_y = หน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม

2.4.3.6 กำลังต้านทานโมเมนต์ตัดสูงสุด



รูปที่ 2.26 การวิเคราะห์กำลังต้านทานโมเมนต์สูงสุด

เมื่อวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นและสมมติฐานสามารถหากำลังต้านทานโมเมนต์ตัดสูงสุดของหน้าตัดได้ ดังนี้

แรงอัดภายในคอนกรีต (C) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T)

$$0.85f'_c ab = A_s f_s$$

จะได้

$$a = \frac{A_s f_s}{0.85f'_c b}$$

ดังนั้น โมเมนต์สูงสุดของคาน M_{max} จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} M_{max} &= C \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0.85f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} M_{max} &= T \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \end{aligned}$$

2.4.3.7 กำลังต้านแรงเฉือน

ตามมาตรฐาน ACI และ วสท. โดยคำนึงตามเกณฑ์ออกแบบ คือ

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

โดยระยะเหล็กเสริมหาได้จาก

$$s = \frac{\phi A_v f_y d}{V_u - \phi V_c} \quad \text{ชม.}$$

2.5 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Concrete Mix Design)

มีเป้าหมาย 3 ประการ คือ

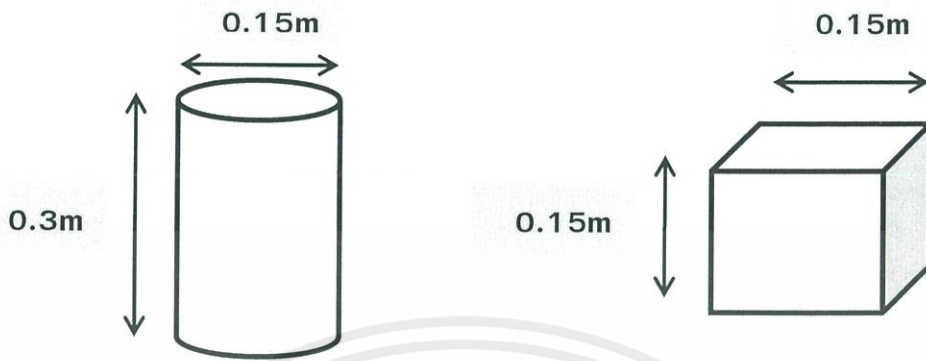
- 1) ขณะผสมคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ มีความชื้นเหมาะสมในการทำงาน เช่น เทลงแบบหล่อง่าย สะดวกต่อการอัดแน่น มีการกระจายวัสดุสม่ำเสมอ
- 2) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ต้องมีกำลัง และความคงทนต่อสภาพใช้งาน
- 3) มีราคาเหมาะสมกับคุณภาพ ส่วนผสมถูกต้องจะช่วยให้ได้คอนกรีตราคาถูกลง

2.5.1 คอนกรีตอาจแบ่งตามกำลังอัดได้ 3 ชนิด คือ

- 1) คอนกรีตหยาบ มีกำลังอัดต่ำกว่า 100 กก./ชม.2 คอนกรีตชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้าง เนื่องจากมีกำลังอัดต่ำ คงทนต่อการใช้งานต่ำ ผุกร่อนได้ง่าย จึงมักใช้เป็นคอนกรีตรองพื้น หรือ งานที่ไม่สำคัญ
- 2) คอนกรีตกำลังปกติ มีกำลังอัดตั้งแต่ 100 กก./ชม.2 - 500 กก./ชม.2 นิยมใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างที่รับน้ำหนักปานกลาง กำลังอัดที่ใช้ไม่ควรต่ำกว่า 150 กก./ชม.2 สำหรับงานคอนกรีตอัดแรง คอนกรีตควรมีกำลังอัดตั้งแต่ 350 กก./ชม.2-500 กก./ชม.2 โดยเลือกตามความเหมาะสมกับการทำงานและใช้งาน เช่น ขนาดของโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุก สภาพแวดล้อม และประสิทธิภาพของการผลิตคอนกรีต
- 3) คอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) มีกำลังอัดตั้งแต่ 500 กก./ชม.2 ขึ้นไป คอนกรีตชนิดนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่รับน้ำหนักมากๆ เช่น อาคารสูง เพราะจะช่วยลดทั้งปริมาณและน้ำหนักของคอนกรีต และช่วยลดค่าก่อสร้าง ปัจจุบัน มีการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงให้ใช้สำหรับก่อสร้างได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ

2.5.2 มาตรฐานการออกแบบ

การออกแบบตามของมาตรฐานอเมริกา หรือ ACI (American Concrete Institute) แห่งตัวอย่างเป็นทรงกระบอกโดยทั่วไปนิยมใช้มาตรฐานนี้ การออกแบบตามมาตรฐานอังกฤษ หรือ BS (British Standard) แห่งตัวอย่างเป็นทรงลูกบาศก์อาศัยข้อมูลจากกราฟและตาราง



รูปที่ 2.27 แท่งตัวอย่างคอนกรีต

2.5.3 ขั้นตอนการออกแบบแบบคอนกรีตมี 7 ขั้นตอน คือ

- 1) เลือกค่ายุบตัวของคอนกรีตสด ให้เหมาะกับประเภทงาน
- 2) เลือกขนาดโตสุดของหินสำหรับผสมคอนกรีต
 - ไม่โตเกิน 1/5 ของส่วนแคบที่สุดของแบบหล่อ
 - ไม่โตเกิน 1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น
 - ไม่โตเกิน 3/4 ของขนาดช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม
- 3) ปริมาณน้ำที่ต้องใช้สำหรับผสมคอนกรีตให้มีค่ายุบตัวตามต้องการ
- 4) เลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
 - ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Type II หรือ Type V) อาจเพิ่ม W/C ได้อีก

0.05

- 5) คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้
- 6) คำนวณน้ำหนักของหินที่ใช้สำหรับผลิตคอนกรีต
- 7) คำนวณปริมาณทราย

ตารางที่ 2.6 ค่ายุบตัวของคอนกรีตสดที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว(ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานคอนกรีตใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	8.0	2.0

หมายเหตุ : ค่ายุบตัวอาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการหล่อคอนกรีตด้วยการกระทุ้งแน่นด้วยมือ โดยไม่ใช้เครื่องสั่นคอนกรีต (Vibrator)

ตารางที่ 2.7 การเลือกใช้ขนาดโตสุดของหิน

ขนาดความหนา ของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของหิน (มม.)			
	คาน ผนัง เสา	ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก	พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก	พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักน้อย
5.0 - 15.0	12.5 - 20	20	20 - 25	20 - 40
15.0 - 30.0	20 - 40	40	40	40 - 75
30.0 - 75.0	40 - 75	75	40 - 75	75
มากกว่า 75.0	40 - 75	150	40 - 75	75 - 150

ตารางที่ 2.8 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและหินขนาดต่างๆ สำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำ ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
	10 มม.	12.5 มม.	20 มม.	25 มม.	40 มม.	50 มม.	75 มม.	150 มม.
3 - 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 - 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 - 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.3

ตารางที่ 2.9 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและหินขนาดต่างสำหรับคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกัก
ฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำ ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
	10 มม.	12.5 มม.	20 มม.	25 มม.	40 มม.	50 มม.	75 มม.	150 มม.
3 - 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 - 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 - 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 2.10 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด สำหรับคอนกรีตที่ต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมรุนแรง

ชนิดโครงสร้าง	โครงสร้างเปื่อยกตลอดเวลา หรือมีการแข็ง/ละลายสลับบ่อยๆ สำหรับคอนกรีตใช้สารกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น	โครงสร้างในน้ำทะเล หรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆ ที่มีเหล็กหุ้ม บางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.50	0.45

ตารางที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน ksc	w/c โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่ใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.8	0.71

ตารางที่ 2.12 ปริมาตรของหินต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรหินในสภาพแห้งอัดแน่น ต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่า Fineness Modulus ของทรายต่างๆ			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 " (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 " (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 " (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 " (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 " (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2 " (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 " (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6 " (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

บทที่ 3 วิธีการทดสอบ

จากการศึกษาข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องและได้คำนวณออกแบบ จำเป็นต้องทำการทดลองจริง เพื่อที่จะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี และยังสามารถสังเกตปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น นอกเหนือจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีได้อีกด้วย ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ดังนี้

3.1 ศึกษาและหาข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลที่ได้ศึกษา มี 3 เรื่องสำคัญ คือ

1. ทฤษฎีโครงสร้าง
2. การหาค่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. ข้อกำหนดในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ACI และ วสท.

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

1 กำหนดขนาดและรูปของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้าง กับคานเต็ม และกำหนดระยะ Point Load และกำหนดกำลังอัดคอนกรีต f'_c

2 กำหนดขนาดของคานเต็ม หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง A จากค่า ρ ซึ่งให้ ค่าเท่ากับ ρ_{min} ซึ่งจะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง

3 เลือกขนาดหน้าตัดเหล็กเสริม และนำพื้นที่ของเหล็กเสริม A_s ที่ไปหาจำนวนเหล็กเสริม n จากสมการ

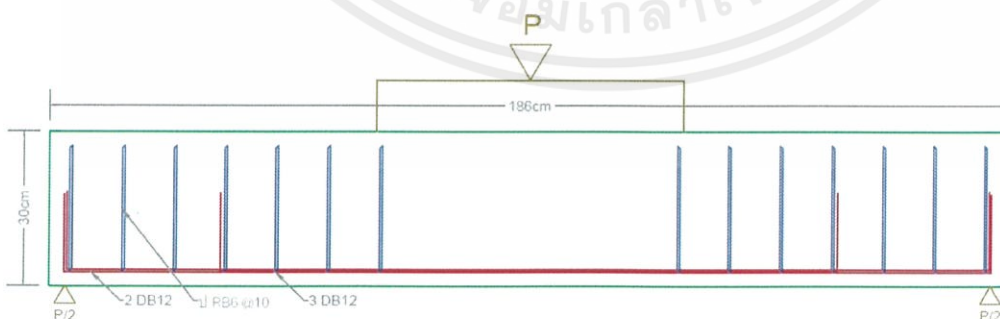
$$\frac{A}{A_s}$$

4 จัดวางระยะของเหล็กเสริม ระยะหุ้ม ต่าง ๆ ตามมาตรฐาน วสท. และหาระยะประสิทธิผล d

5 หาค่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด จากสมการ $M_{max} = f_y A_s n (d - \frac{a}{2})$

$$a = \frac{A_s n f_y}{0.85 f'_c b}$$

6 ออกแบบเหล็กรับแรงเฉือน

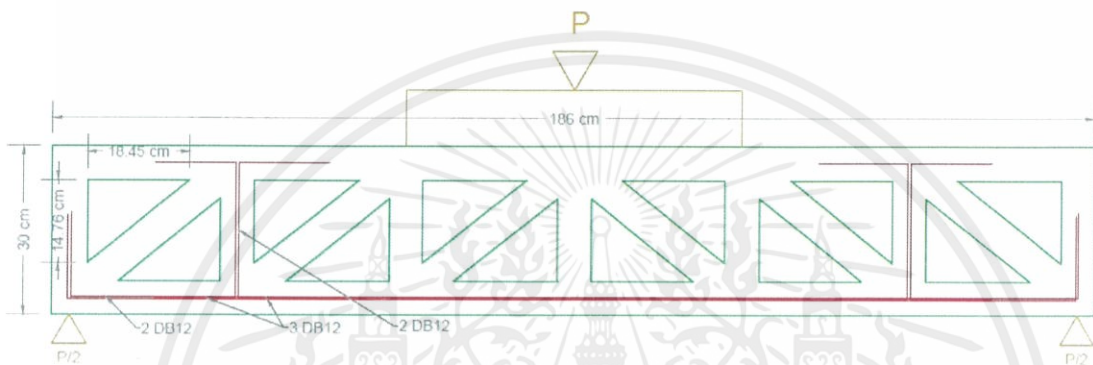


รูปที่ 3.1 แสดงการเสริมเหล็กของคานคอนกรีต

6 กำหนดระยะ Point Load และหาคำนวนหาแรง P ที่จะทำให้เกิดโมเมนต์ที่มากที่สุด M_{max}

7 นำแรง P วางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถัก และหาแรงภายในแต่ละชั้นส่วนของคานถัก P'

8 หาขนาดของชิ้นส่วนรับแรงอัดโดยประมาณ จากสมการ $\sqrt{\frac{P'f_c}{f'_c}}$ และหาจำนวนเหล็กเสริมภายในชิ้นส่วนรับแรงดึง จากสมการ $\frac{P'f_t}{A_s f_y}$



รูปที่ 3.2 แสดงการเสริมเหล็กของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถัก

3.3 ขั้นตอนการทำชิ้นงานทดสอบ

- 1 คำนวนรายการ Concrete Mix Design โดยใช้โปรแกรมคำนวณ
- 2 จัดซื้อเหล็กเส้น ปูนถุง หิน ทราย ตามที่รายการคำนวณ
- 3 เตรียมผูกเหล็กเสริมตามรายการคำนวณไว้ และทำลูกป้อนรองเหล็ก ขนาด 2.5 ซม.
- 4 เตรียมแบบเหล็กเหล็ก โมลทรงกระบอกขนาด 0.15x0.30 และตัดโฟมไว้ทำช่องของคานถัก



รูปที่ 3.3 การประกอบแบบหล่อคอนกรีต

5 เตรียมเครื่องมือผสมคอนกรีต คือ โม่ผสมคอนกรีต เกียงฉาบ เกียงตัก ไม้กระทุ้งปูน อุปกรณ์ชั่งสลิ้มป์ (Slump) เครื่องชั่ง ภาชนะใส่คอนกรีต ค้อนเคาะแบบ



รูปที่ 3.4 เตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการผสมคอนกรีต

- 6 หาค่า moisture ของหินและทราย
- 7 นำข้อมูล moisture มาใส่ในโปรแกรมและคำนวณหาปริมาณวัสดุ หิน ปูน ทราย และน้ำ
- 8 ทำการชั่งเตรียมวัสดุไว้ตามรายการคำนวณไว้ก่อนและผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่เตรียมไว้
- 9 ทำการชั่งสลิป (Slump Test) เพื่อหาค่าการยุบตัวที่เหมาะสม เมื่อได้แล้วก็ทำการเทคอนกรีตใส่ในแบบที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.5 การทดสอบหาค่ายุบตัว

10 ขณะที่เท ได้ผูกยึดเหล็ก ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และเคาะแบบตลอดเวลาเพื่อลดการเกิดช่อง
พรุนในตัวคอนกรีต และทำขึ้นตัวอย่างทรงกระบอก

11 ตกแต่งผิวหน้าเรียบร้อย



รูปที่ 3.6 ทำการตกแต่งผิวหน้าให้เรียบหลังเทคอนกรีต

12 เมื่อคอนกรีตแห้งแล้วจึงแกะแบบ ได้ทำการบ่มโดยใช้พลาสติกมาคลุมกันน้ำระเหย และได้มารดน้ำ
ทุกๆ สามวันเป็นเวลา 28 วัน



รูปที่ 3.7 ทำการบ่มหลังจากแกะแบบหล่อ

13 เมื่อครบกำหนด นำลูกป้อนไปกดทดสอบหาค่ากำลังเฉลี่ย ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ และเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบ

3.4 การทดสอบการรับแรงขึ้นคานตัวอย่าง

1 เตรียมโครงรับแรงกดทดสอบ เตรียมตั้งติด Support เตรียมคานส่งถ่าย Point Load



รูปที่ 3.8 โครงรับแรงทดสอบ

2 เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1) load Cell



รูปที่ 3.9 Load Cell

2) Data Logger



รูปที่ 3.10 Data logger

3) Hydraulic Jack



รูปที่ 3.11 Hydraulic Jack

4) คานถ่ายแรง



รูปที่ 3.12 คานถ่ายแรง

5) ติดสเตรนเกจ (Strain Gauge) ในตำแหน่งที่มีแรงอัดสูงสุด แรงดึงสูงสุด ของคานแต่ละชนิด



รูปที่ 3.13 ติด Strain Gauge ไว้ที่คานทดสอบ

3.5 การทดสอบการรับแรงขึ้นคานตัวอย่าง

- 1) ตั้งคานขึ้นแท่น Support และปรับระดับของคาน ปรับระยะได้กึ่งกลางของคาน



รูปที่ 3.14 ติดตั้งคานและปรับระดับคานก่อนทำการทดสอบคาน

- 2) ต่อสายไฟ Strain gauge พร้อมต่อเข้าเครื่อง Data logger และเตรียมพร้อมโปรแกรม



รูปที่ 3.15 ต่อสายไฟ Strain gauge พร้อมต่อเข้าเครื่อง Data logger

3) ตั้งคานถ่ายแรง Load Cell และวางเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic jack) ให้พร้อม



รูปที่ 3.16 ตั้งคานถ่ายแรง Load Cell และวางเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic jack)

4) ติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของคาน และตั้งกล้องวิดีโอ



รูปที่ 3.17 ติดตั้ง Dial gauge

- 5) การบันทึกผล จะบันทึกโดยยึดแรงที่กระทำเป็นเกณฑ์ โดยจะบันทึกค่า ต่าง ๆ ทุก ๆ 500 กิโลกรัม
- 6) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

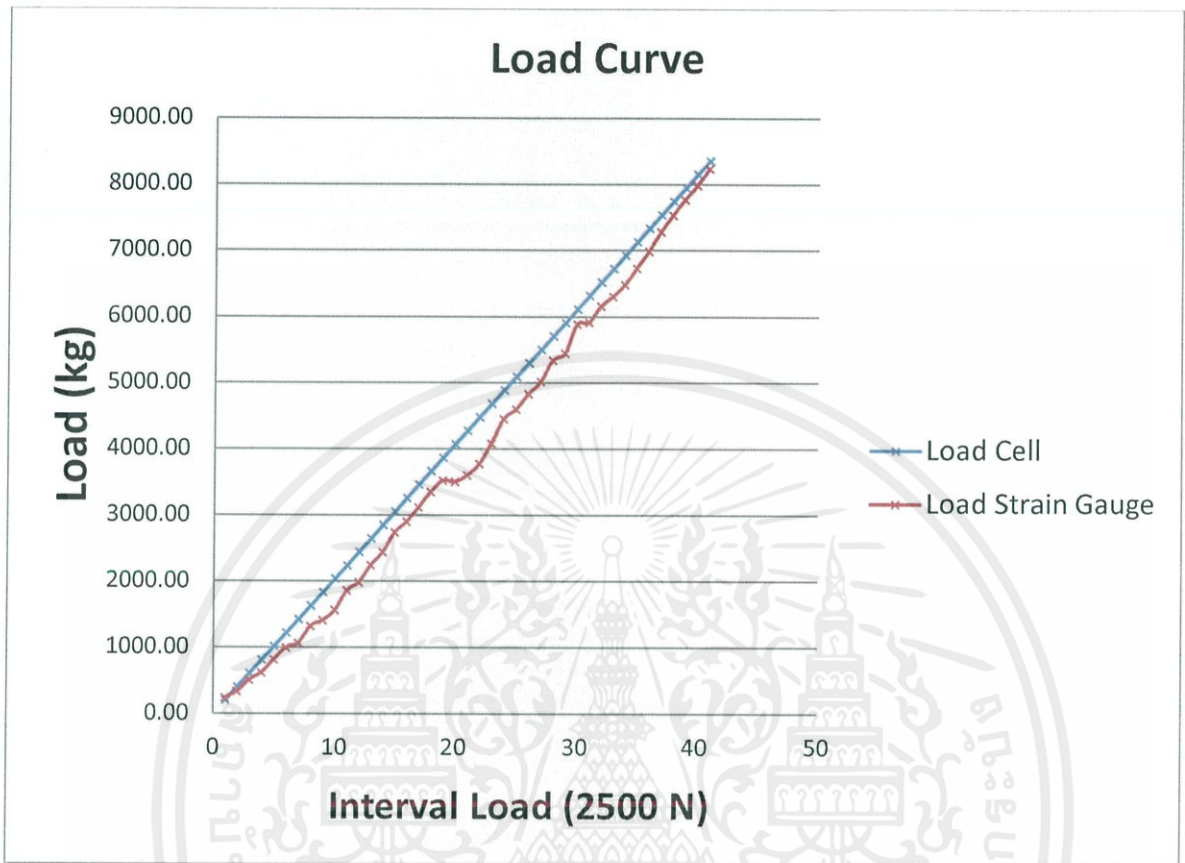
การการทดลอง ซึ่งการเก็บผลการทดลองที่สำคัญต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ และสังเกตผลที่เกิดขึ้นต่าง ๆ ดังนี้

4.1 คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1

รับน้ำหนักที่กระทำ โดยแรงกระทำเป็นจุด 2 สามารถรับน้ำหนักได้ 110 kN

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1

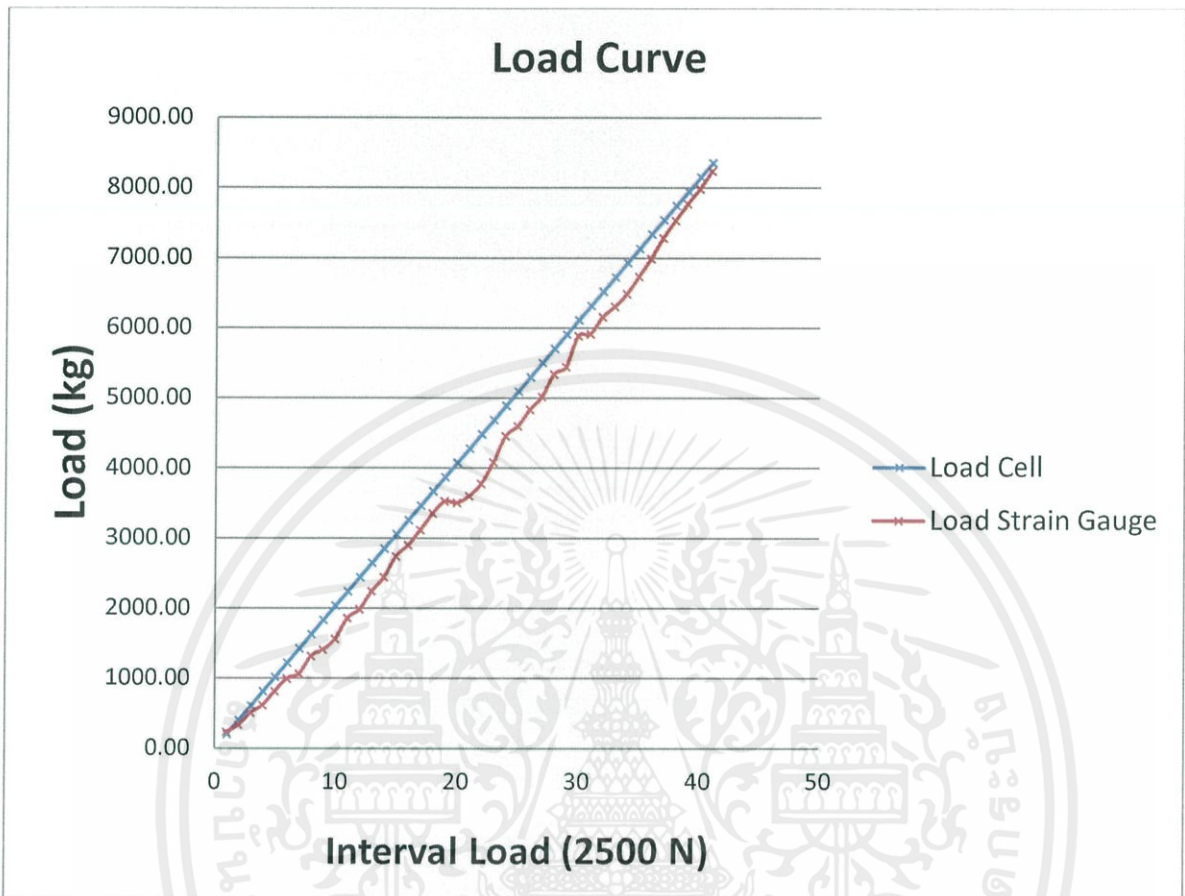
Diagonal Comp.		Strain Gauge	Stress Conc.(ksc)	Area Conc.(cm ²)	Load(kg)
Unit load (0.8)					
Load Interval (kN)	Load (kg)				
2500	203.87	-0.0000101	2.650	90.00	238.477
5000	407.74	-0.0000143	3.741	90.00	336.646
7500	611.61	-0.0000217	5.687	90.00	511.798
10000	815.48	-0.0000264	6.896	90.00	620.658
12500	1019.35	-0.0000348	9.090	90.00	818.106
15000	1223.22	-0.0000424	11.080	90.00	997.211
17500	1427.09	-0.0000453	11.855	90.00	1066.941
20000	1630.96	-0.0000561	14.677	90.00	1320.905
22500	1834.83	-0.0000599	15.665	90.00	1409.852
25000	2038.70	-0.0000664	17.364	90.00	1562.789
27500	2242.57	-0.0000790	20.653	90.00	1858.772
30000	2446.44	-0.0000843	22.039	90.00	1983.543
32500	2650.31	-0.0000953	24.925	90.00	2243.209
35000	2854.18	-0.0001037	27.128	90.00	2441.509
37500	3058.05	-0.0001164	30.439	90.00	2739.521
40000	3261.92	-0.0001232	32.211	90.00	2898.946
42500	3465.79	-0.0001323	34.612	90.00	3115.103
45000	3669.66	-0.0001423	37.215	90.00	3349.388
47500	3873.53	-0.0001497	39.156	90.00	3524.070
50000	4077.40	-0.0001488	38.920	90.00	3502.796
52500	4281.27	-0.0001530	40.008	90.00	3600.685



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัว ที่ 1

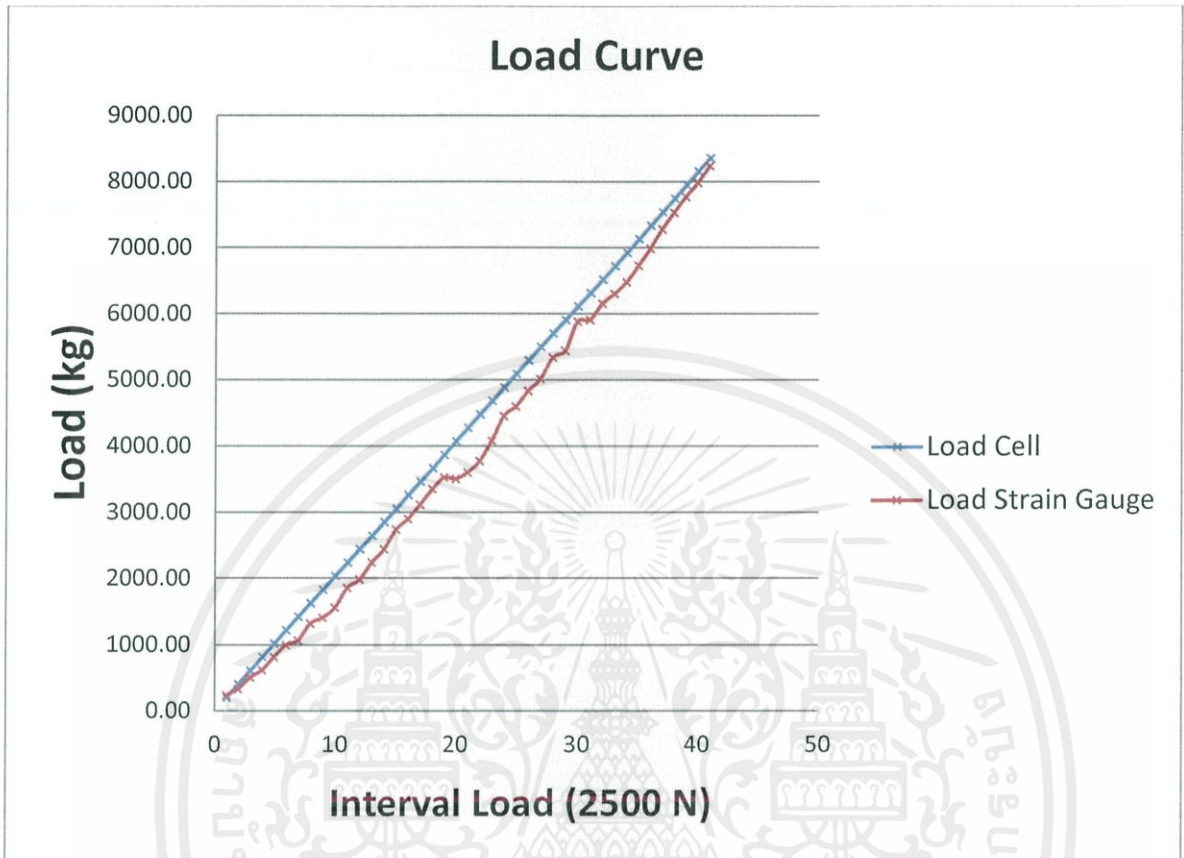
Top Comp.		Strain Gauge	Stress Conc.(ksc)	Area Conc.(cm ²)	Load(kg)
Unit load (1.25)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	-0.000015	3.89	90.00	349.87
5000	637.10	-0.000025	6.58	90.00	592.24
7500	955.65	-0.000042	10.93	90.00	984.12
10000	1274.20	-0.000054	14.11	90.00	1270.00
12500	1592.75	-0.000079	20.75	90.00	1867.09
15000	1911.30	-0.000095	24.94	90.00	2244.97
17500	2229.85	-0.000111	28.99	90.00	2609.32
20000	2548.40	-0.000131	34.25	90.00	3082.09
22500	2866.95	-0.000142	37.22	90.00	3350.09
25000	3185.50	-0.000155	40.50	90.00	3644.88
27500	3504.05	-0.000181	47.22	90.00	4249.47
30000	3822.60	-0.000191	49.83	90.00	4484.62
32500	4141.15	-0.000212	55.52	90.00	4996.66
35000	4459.70	-0.000231	60.40	90.00	5436.20
37500	4778.25	-0.000254	66.48	90.00	5982.81
40000	5096.80	-0.000269	70.26	90.00	6323.12
42500	5415.35	-0.000287	75.09	90.00	6758.52
45000	5733.90	-0.000311	81.41	90.00	7326.64
47500	6052.45	-0.000342	89.41	90.00	8047.21
50000	6371.00	-0.000342	89.50	90.00	8055.14
52500	6689.55	-0.000367	95.93	90.00	8634.14
55000	7008.10	-0.000390	101.99	90.00	9179.18
57500	7326.65	-0.000431	112.69	90.00	10142.34
60000	7645.20	-0.000479	125.27	90.00	11274.65
62500	7963.75	-0.000499	130.53	90.00	11747.78
65000	8282.30	-0.000525	137.42	90.00	12367.62
67500	8600.85	-0.000546	142.78	90.00	12850.56
70000	8919.40	-0.000582	152.31	90.00	13708.09
72500	9237.95	-0.000596	156.01	90.00	14040.47



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของชิ้นส่วนด้านบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 1

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัว ที่ 1

Bottom Tens.		Strain Gauge	Stress Steel(ksc)	Area Steel(cm ²)	Load(kg)
Unit load (1.25)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	0.000048	97.55	3.39	330.98
5000	637.10	0.000078	158.49	3.39	537.76
7500	955.65	0.000132	270.06	3.39	916.28
10000	1274.20	0.000172	350.10	3.39	1187.85
12500	1592.75	0.000250	510.97	3.39	1733.69
15000	1911.30	0.000291	593.39	3.39	2013.33
17500	2229.85	0.000351	715.13	3.39	2426.39
20000	2548.40	0.000417	851.29	3.39	2888.34
22500	2866.95	0.000486	992.44	3.39	3367.26
25000	3185.50	0.000550	1121.93	3.39	3806.62
27500	3504.05	0.000689	1405.08	3.39	4767.32
30000	3822.60	0.000727	1482.14	3.39	5028.77
32500	4141.15	0.000826	1685.29	3.39	5718.07
35000	4459.70	0.000901	1838.81	3.39	6238.93
37500	4778.25	0.001006	2051.38	3.39	6960.17
40000	5096.80	0.001068	2179.21	3.39	7393.89
42500	5415.35	0.001142	2330.30	3.39	7906.52
45000	5733.90	0.001227	2502.20	3.39	8489.77
47500	6052.45	0.001347	2747.09	3.39	9320.67
50000	6371.00	0.001349	2752.75	3.39	9339.84
52500	6689.55	0.001446	2949.31	3.39	10006.77
55000	7008.10	0.001533	3127.42	3.39	10611.07
57500	7326.65	0.001688	3443.62	3.39	11683.93
60000	7645.20	0.009504	19388.60	3.39	65783.99
62500	7963.75	0.009504	19388.60	3.39	65783.99
65000	8282.30	0.009504	19388.60	3.39	65783.99
67500	8600.85	0.009504	19388.60	3.39	65783.99
70000	8919.40	0.009504	19388.60	3.39	65783.99
72500	9237.95	0.009504	19388.60	3.39	65783.99



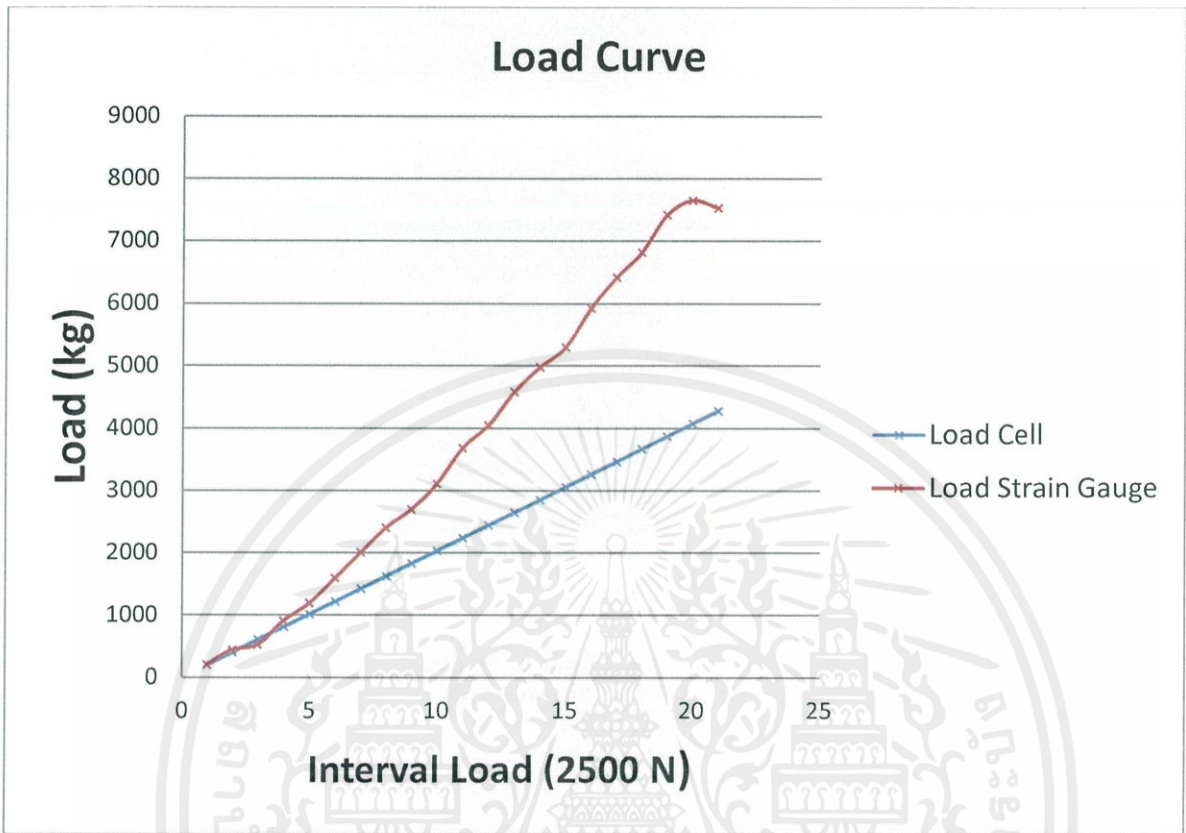
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1

4.2 คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2

รับน้ำหนักที่กระทำ โดยแรงกระทำเป็นจุด 2 สามารถรับน้ำหนักได้ 99 kN

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบรับแรงอัดมากที่สุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2

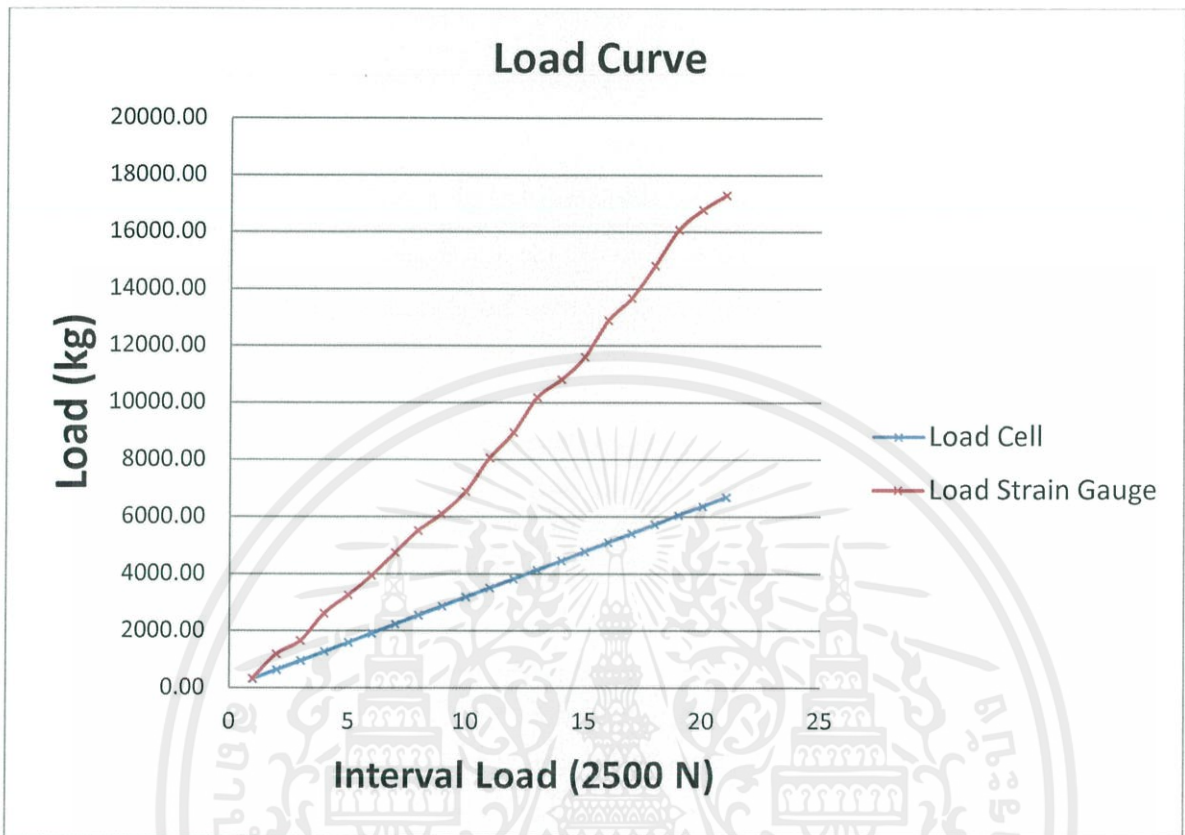
Diagonal Comp.		Strain Gauge	Stress(ksc)	Area (cm ²)	Load(kg)
Unit load (0.8)					
Load Interval (kN)	Load (kg)				
2500	203.87	-8.89E-06	2.3257	90.00	209.31
5000	407.74	-1.89E-05	4.9513	90.00	445.61
7500	611.61	-2.24E-05	5.8506	90.00	526.55
10000	815.48	-3.87E-05	10.1154	90.00	910.38
12500	1019.35	-5.07E-05	13.2548	90.00	1192.93
15000	1223.22	-6.78E-05	17.7338	90.00	1596.04
17500	1427.09	-8.53E-05	22.3102	90.00	2007.91
20000	1630.96	-1.02E-04	26.6689	90.00	2400.20
22500	1834.83	-1.15E-04	29.9741	90.00	2697.67
25000	2038.7	-1.32E-04	34.5155	90.00	3106.40
27500	2242.57	-1.56E-04	40.8928	90.00	3680.35
30000	2446.44	-1.72E-04	44.9380	90.00	4044.42
32500	2650.31	-1.95E-04	50.9307	90.00	4583.77
35000	2854.18	-2.12E-04	55.3317	90.00	4979.86
37500	3058.05	-2.25E-04	58.8965	90.00	5300.69
40000	3261.92	-2.52E-04	65.8209	90.00	5923.88
42500	3465.79	-2.73E-04	71.2988	90.00	6416.90
45000	3669.66	-2.90E-04	75.7736	90.00	6819.62
47500	3873.53	-3.15E-04	82.4793	90.00	7423.14
50000	4077.4	-3.25E-04	85.0484	90.00	7654.36
52500	4281.27	-3.20E-04	83.6840	90.00	7531.56



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 2

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 2

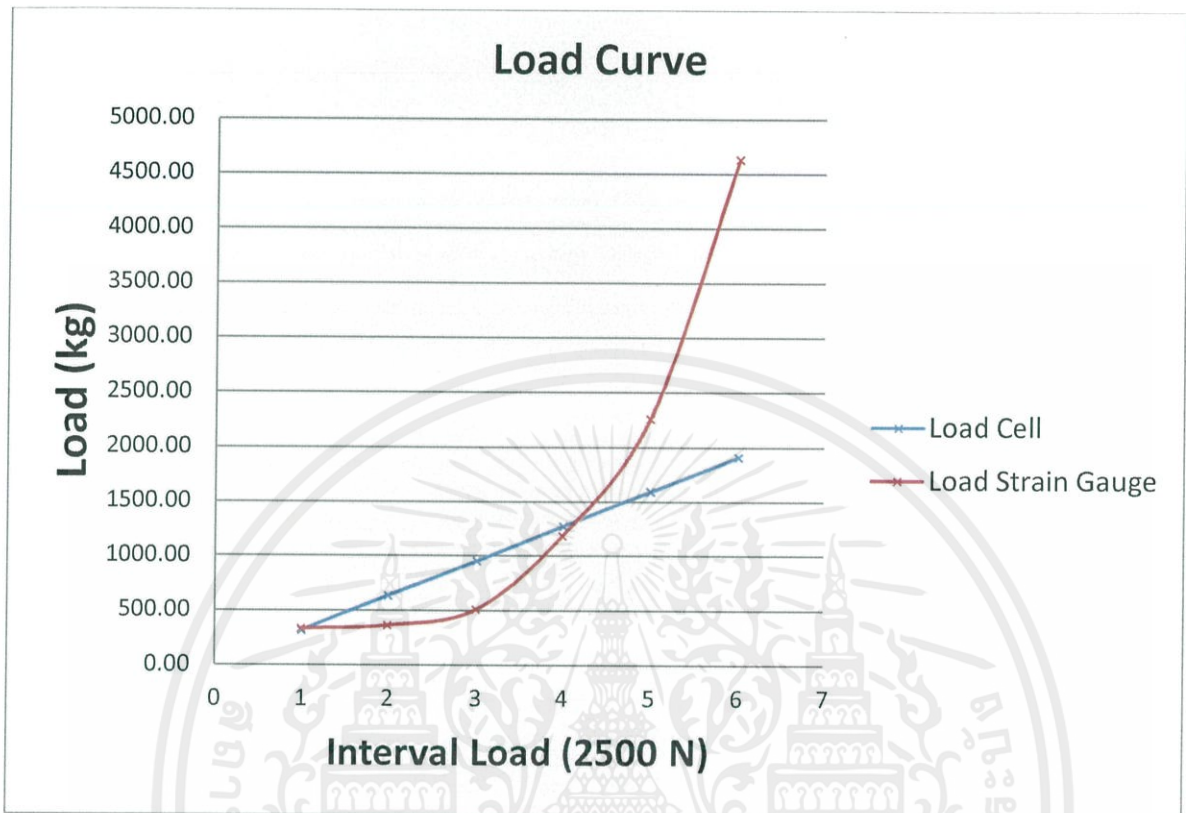
Top Comp.		Strain Gauge	Stress Conc.(ksc)	Area Conc.(cm ²)	Load(kg)
Unit load (1.25)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	-0.000014	3.7442	90.00	336.97
5000	637.1	-0.000050	13.2041	90.00	1188.37
7500	955.65	-0.000070	18.3825	90.00	1654.42
10000	1274.2	-0.000111	29.0185	90.00	2611.67
12500	1592.75	-0.000138	36.1260	90.00	3251.34
15000	1911.3	-0.000167	43.7207	90.00	3934.86
17500	2229.85	-0.000201	52.6678	90.00	4740.10
20000	2548.4	-0.000234	61.1964	90.00	5507.67
22500	2866.95	-0.000259	67.7337	90.00	6096.03
25000	3185.5	-0.000293	76.5028	90.00	6885.25
27500	3504.05	-0.000343	89.5810	90.00	8062.29
30000	3822.6	-0.000380	99.4963	90.00	8954.67
32500	4141.15	-0.000433	113.1855	90.00	10186.70
35000	4459.7	-0.000460	120.2016	90.00	10818.14
37500	4778.25	-0.000493	128.9830	90.00	11608.47
40000	5096.8	-0.000548	143.2827	90.00	12895.44
42500	5415.35	-0.000581	151.9356	90.00	13674.21
45000	5733.9	-0.000629	164.6053	90.00	14814.47
47500	6052.45	-0.000683	178.5903	90.00	16073.13
50000	6371	-0.000713	186.4232	90.00	16778.09
52500	6689.55	-0.000735	192.1347	90.00	17292.13



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2

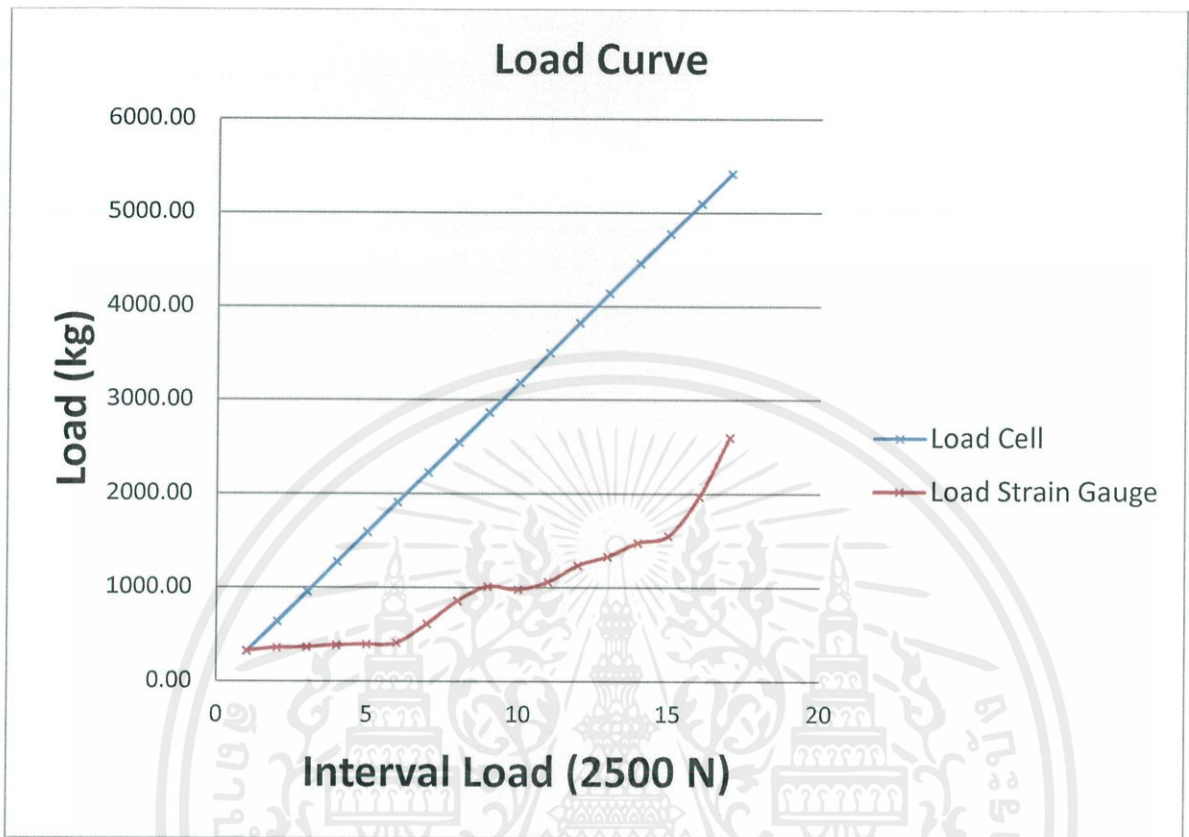
Bottom Tens.		Strain Gauge	Stress Steel(ksc)	Area Steel(cm ²)	Load(kg)
Unit load (1.25)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	4.811E-05	98.1488	3.39	333.01
5000	637.10	5.233E-05	106.7591	3.39	362.22
7500	955.65	7.356E-05	150.0682	3.39	509.17
10000	1274.20	1.713E-04	349.3607	3.39	1185.35
12500	1592.75	3.262E-04	665.5357	3.39	2258.11
15000	1911.30	6.693E-04	1365.2830	3.39	4632.30
17500	2229.85	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
20000	2548.40	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
22500	2866.95	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
25000	3185.50	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
27500	3504.05	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
30000	3822.60	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
32500	4141.15	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
35000	4459.70	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
37500	4778.25	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
40000	5096.80	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
42500	5415.35	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
45000	5733.90	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
47500	6052.45	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
50000	6371.00	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27
52500	6689.55	1.074E-02	21913.0612	3.39	74349.27



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 2

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวตั้งของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2

Vertical Tens.		Strain Gauge	Stress Steel(ksc)	Area Steel(cm ²)	Load(kg)
Unit load (0.5)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	0.000070	143.23	2.26	323.98
5000	637.10	0.000077	157.13	2.26	355.41
7500	955.65	0.000079	160.88	2.26	363.91
10000	1274.20	0.000083	169.56	2.26	383.54
12500	1592.75	0.000085	173.95	2.26	393.48
15000	1911.30	0.000088	179.82	2.26	406.74
17500	2229.85	0.000132	269.89	2.26	610.48
20000	2548.40	0.000186	379.04	2.26	857.36
22500	2866.95	0.000219	446.60	2.26	1010.19
25000	3185.50	0.000212	432.57	2.26	978.46
27500	3504.05	0.000229	467.46	2.26	1057.37
30000	3822.60	0.000267	545.49	2.26	1233.88
32500	4141.15	0.000288	587.16	2.26	1328.12
35000	4459.70	0.000320	652.33	2.26	1475.53
37500	4778.25	0.000336	685.49	2.26	1550.55
40000	5096.80	0.000427	870.57	2.26	1969.19
42500	5415.35	0.000563	1149.16	2.26	2599.35
45000	5733.90	0.004083	8328.42	2.26	18838.45
47500	6052.45	0.004083	8328.42	2.26	18838.45
50000	6371.00	0.004083	8328.42	2.26	18838.45
52500	6689.55	0.001473	3005.02	2.26	6797.21



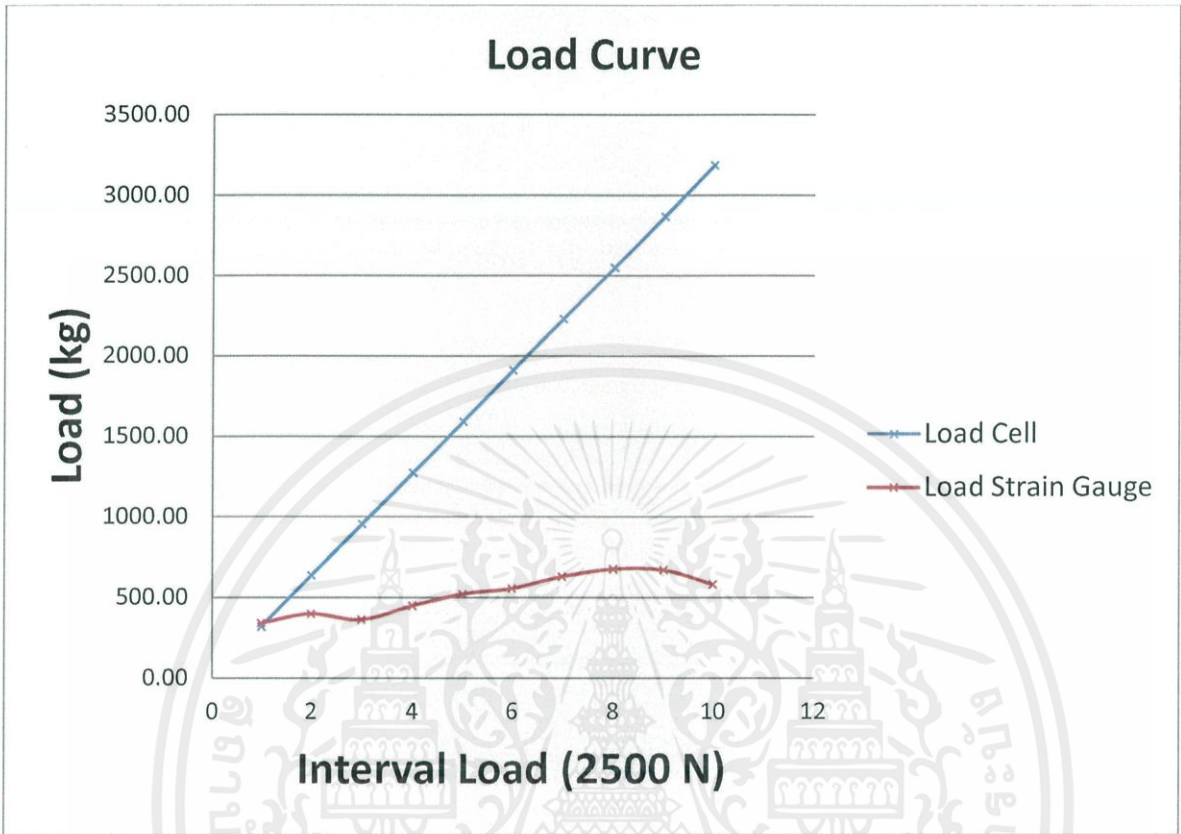
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของส่วนตัวตั้งของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 2

4.3 คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 3

รับน้ำหนักที่กระทำ โดยแรงกระทำเป็นจุด 2 สามารถรับน้ำหนักได้ 82 kN

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบขึ้นรับแรงอัดมากที่สุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่3

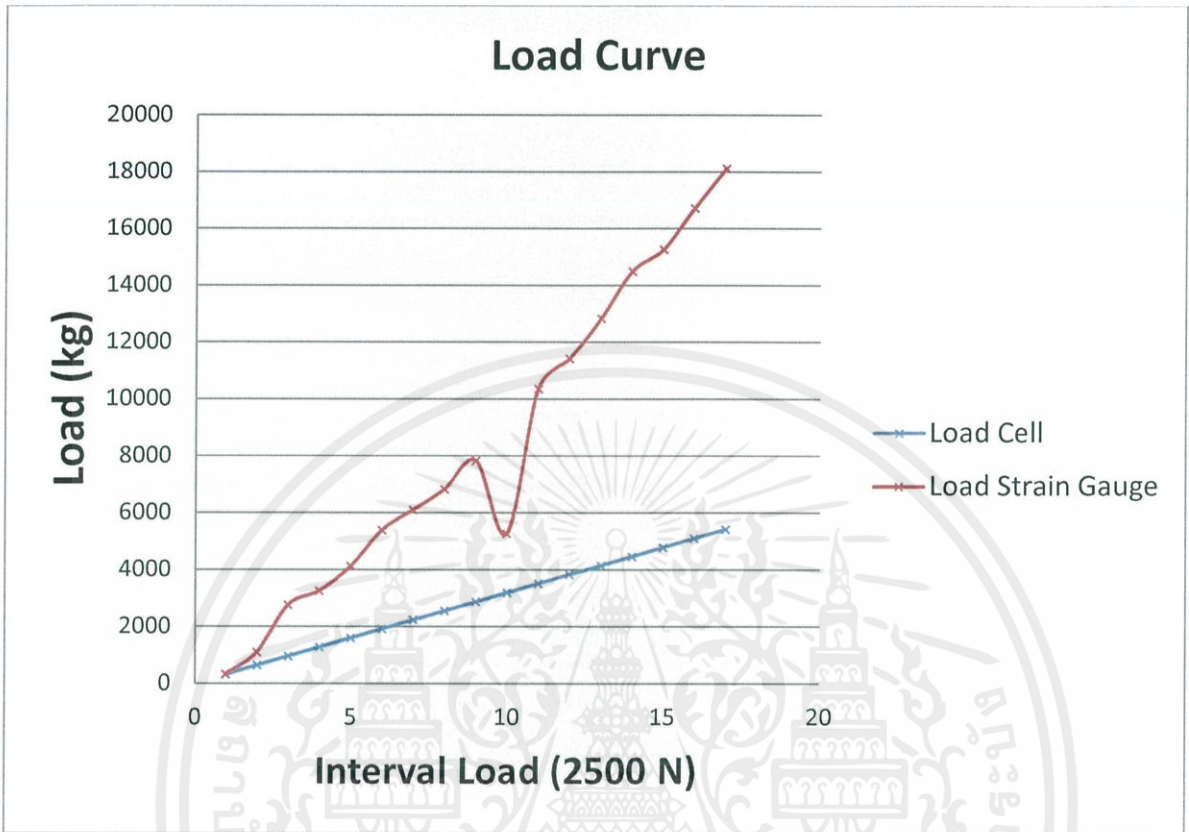
Vertical Comp.		Strain Gauge	Stress Steel(ksc)	Area Steel(cm ²)	Load(kg)
Unit load (0.5)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	0.000073	149.9324	2.26	339.14
5000	637.10	0.000086	175.7039	2.26	397.43
7500	955.65	0.000078	159.8885	2.26	361.66
10000	1274.20	0.000097	197.6433	2.26	447.06
12500	1592.75	0.000113	229.7128	2.26	519.60
15000	1911.30	0.000120	245.3116	2.26	554.88
17500	2229.85	0.000136	277.6683	2.26	628.07
20000	2548.40	0.000146	298.2455	2.26	674.62
22500	2866.95	0.000145	296.3916	2.26	670.42
25000	3185.50	0.000126	256.8849	2.26	581.06
27500	3504.05	0.000341	695.3429	2.26	1572.83
30000	3822.60	0.000381	777.5390	2.26	1758.75
32500	4141.15	0.000387	789.6994	2.26	1786.26
35000	4459.70	0.000397	809.7467	2.26	1831.60
37500	4778.25	0.000432	881.3064	2.26	1993.47
40000	5096.80	0.000432	881.4657	2.26	1993.83
42500	5415.35	0.000416	848.3046	2.26	1918.82



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของชิ้นส่วนรับแรงอัดสูงสุดของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 3

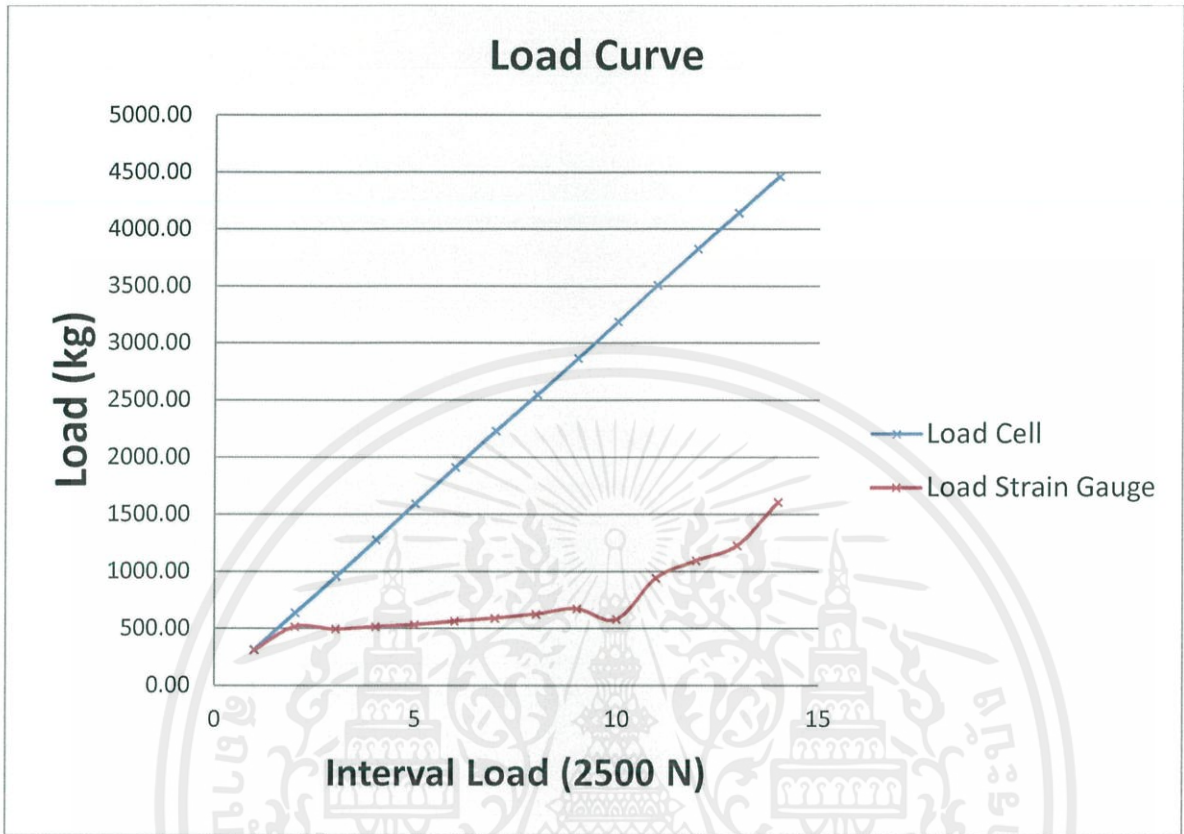
Top Comp.		Strain Gauge	Stress Conc.(ksc)	Area Conc.(cm ²)	Load(kg)
Unit load (1.25)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	-1.38E-05	3.6092	90.00	324.82
5000	637.1	-4.65E-05	12.1489	90.00	1093.40
7500	955.65	-1.17E-04	30.5690	90.00	2751.21
10000	1274.2	-1.38E-04	36.0994	90.00	3248.94
12500	1592.75	-1.75E-04	45.7459	90.00	4117.13
15000	1911.3	-2.29E-04	59.7912	90.00	5381.21
17500	2229.85	-2.59E-04	67.7743	90.00	6099.69
20000	2548.4	-2.90E-04	75.7914	90.00	6821.22
22500	2866.95	-3.32E-04	86.9442	90.00	7824.98
25000	3185.5	-2.23E-04	58.4163	90.00	5257.47
27500	3504.05	-4.40E-04	115.0754	90.00	10356.79
30000	3822.6	-4.85E-04	126.8657	90.00	11417.92
32500	4141.15	-5.45E-04	142.5867	90.00	12832.80
35000	4459.7	-6.16E-04	161.0401	90.00	14493.60
37500	4778.25	-6.48E-04	169.5811	90.00	15262.30
40000	5096.8	-7.10E-04	185.7237	90.00	16715.13
42500	5415.35	-7.70E-04	201.2713	90.00	18114.41



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของชิ้นส่วนตัวบนตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3

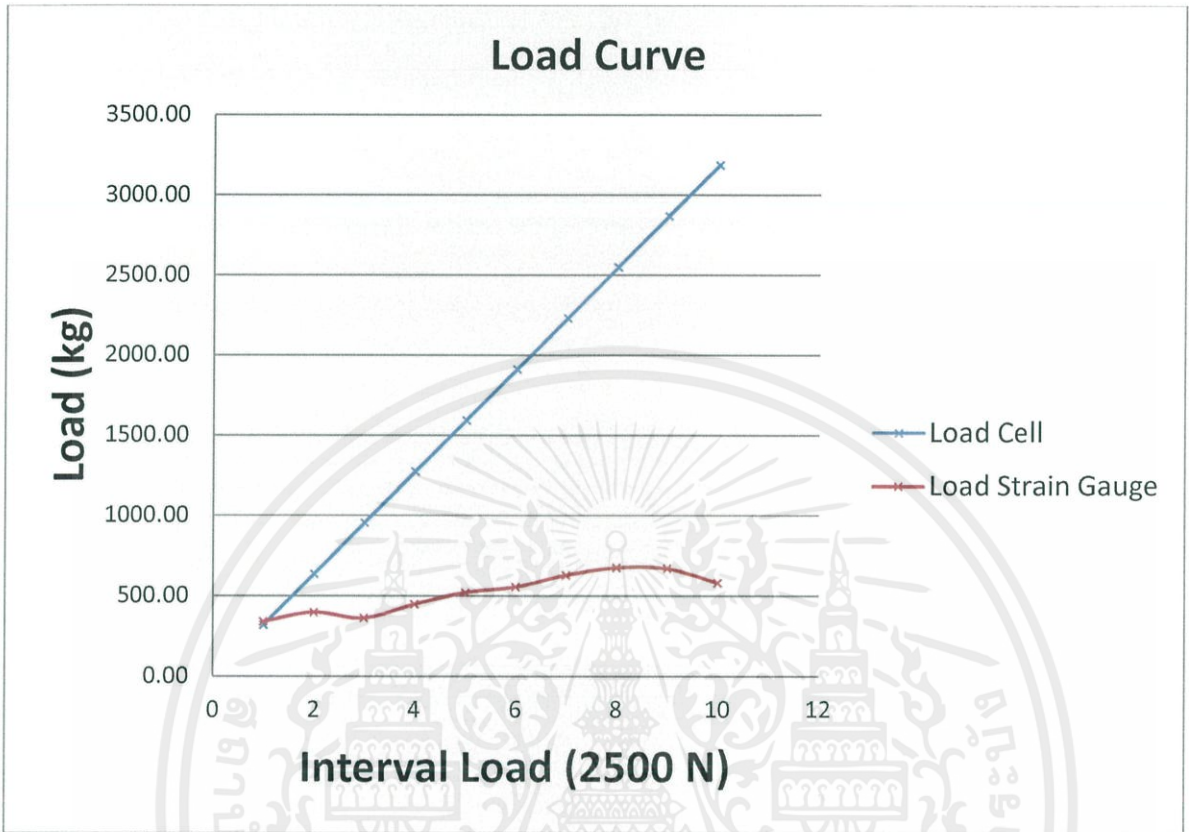
Bottom Tens.		Strain Gauge	Stress Steel(ksc)	Area Steel(cm ²)	Load(kg)
Unit load (1.25)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	0.000348	91.1229	3.39	309.17
5000	637.10	0.000578	151.2242	3.39	513.09
7500	955.65	0.000555	145.2090	3.39	492.68
10000	1274.20	0.000578	151.0555	3.39	512.52
12500	1592.75	0.000597	156.1217	3.39	529.71
15000	1911.30	0.000632	165.3066	3.39	560.87
17500	2229.85	0.000662	173.2166	3.39	587.71
20000	2548.40	0.000703	183.8639	3.39	623.84
22500	2866.95	0.000756	197.8259	3.39	671.21
25000	3185.50	0.000653	170.7537	3.39	579.35
27500	3504.05	0.001059	276.9527	3.39	939.68
30000	3822.60	0.001230	321.6401	3.39	1091.30
32500	4141.15	0.001381	361.3115	3.39	1225.90
35000	4459.70	0.001809	473.0999	3.39	1605.19
37500	4778.25	0.010804	2825.5953	3.39	9587.02
40000	5096.80	0.010804	2825.5953	3.39	9587.02
42500	5415.35	0.010804	2825.5953	3.39	9587.02



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ Interval Load ของส่วนตัวล่างตรงกลางของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบชิ้นส่วนตัวตั้งของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 3

Vertical Comp.		Strain Gauge	Stress Steel(ksc)	Area Steel(cm ²)	Load(kg)
Unit load (0.5)					
Load Interval (N)	Load (kg)				
2500	318.55	0.000073	149.9324	2.26	339.14
5000	637.10	0.000086	175.7039	2.26	397.43
7500	955.65	0.000078	159.8885	2.26	361.66
10000	1274.20	0.000097	197.6433	2.26	447.06
12500	1592.75	0.000113	229.7128	2.26	519.60
15000	1911.30	0.000120	245.3116	2.26	554.88
17500	2229.85	0.000136	277.6683	2.26	628.07
20000	2548.40	0.000146	298.2455	2.26	674.62
22500	2866.95	0.000145	296.3916	2.26	670.42
25000	3185.50	0.000126	256.8849	2.26	581.06
27500	3504.05	0.000341	695.3429	2.26	1572.83
30000	3822.60	0.000381	777.5390	2.26	1758.75
32500	4141.15	0.000387	789.6994	2.26	1786.26
35000	4459.70	0.000397	809.7467	2.26	1831.60
37500	4778.25	0.000432	881.3064	2.26	1993.47
40000	5096.80	0.000432	881.4657	2.26	1993.83
42500	5415.35	0.000416	848.3046	2.26	1918.82



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load ละ Interval Load ของส่วนตัวตั้งของคานาคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างถักตัวที่ 3

ตารางที่ 4.12 แสดงแรงกระทำกับระยะการแอ่นตัวที่ตรงกลางคานคอนกรีตเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก และคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ

Load (N)	Deflection (mm)					
	คานคอนกรีตเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก			คานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ		
	1	2	3	1	2	3
500	0.74	0.64	0.37	0.6	0.35	0.44
1000	0.92	0.89	0.61	0.81	0.47	0.50
1500	1.235	1.06	1.03	0.925	0.59	0.63
2000	1.46	1.33	1.23	1.11	0.78	0.79
2500	1.71	1.5	1.55	1.36	0.99	0.96
3000	2.03	1.84	1.93	1.59	1.19	1.11
3500	2.34	2.1	2.18	1.90	1.39	1.26
4000	2.6	2.4	2.45	2.10	1.56	1.45
4500	2.91	2.6	2.755	2.36	1.75	1.67
5000	3.13	2.93	3.01	2.595	1.94	1.91
5500	3.45	3.24	3.32	2.84	2.31	2.10
6000	3.71	3.65	3.695	3.095	2.44	2.32
6500	4.05	3.99	4	4.46	2.64	2.615
7000	4.36	4.2	4.36	4.72	2.84	2.83
7500	4.73	4.7	4.7	5.03	3.11	3.12
8000	5.01	4.9	5.15	5.28	3.315	3.38
8500	5.38	5.25	5.88	5.54	3.60	3.68
9000	5.72	5.7		5.86	3.77	4.09
9500	6.095	6.2		6.42	4.02	
10000	6.485	6.5		6.70	4.26	
10500	6.94			8.12	4.47	
11000					4.74	
11500					5.41	

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบด้านปริมาณเหล็กเสริมและน้ำหนักคานระหว่างคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้
ทฤษฎีโครงถักและคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ

	คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎี โครงถัก	คานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ
ปริมาณเหล็กเสริม (kg.)	6.46	6.92
น้ำหนักคาน (kg.)	148.65	205.22

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบ Compression Test ของคอนกรีต

Spec No.	Area (cm ²)	Height of Specimen (cm.)	Weight of Specimen (kg)	Ages (days)	Ultimate Load (kN)	Comp. Strength (ksc.)
1	181.45	30.05	12.632	28	562.87	316.19
2	176.71	30.10	12.659	28	489.41	282.31
3	178.60	29.85	12.668	28	486.32	277.56
4	175.30	29.85	12.462	28	610.43	354.06
5	174.60	32.00	12.365	28	552.16	322.37

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

คานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักมีน้ำหนักเบากว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ เนื่องจากได้นำส่วนของคอนกรีตออก ทำให้สามารถลดน้ำหนักจากคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ ลงได้ ถึงร้อยละ 30 โดยประมาณ

เนื่องจากระยะโมเมนต์คู่ควบของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักนั้นน้อยกว่าระยะโมเมนต์คู่ควบของคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ ดังนั้นเมื่อระยะแขนโมเมนต์น้อยฉะนั้นจึงต้องใช้แรงต้านทานภายในหน้าตัดที่มากขึ้น เพื่อที่จะต้านโมเมนต์ภายนอกให้ได้เท่ากัน ซึ่งก็หมายถึงว่าจะต้องเพิ่มเหล็กเสริมของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักมากกว่าเหล็กเสริมกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ

การถ่ายแรงในระยะแรงของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักค่อนข้างที่จะเป็นไปตามทฤษฎีคานโครงถัก แต่สังเกตว่าเมื่อเลยช่วงอิลาสติกของคอนกรีต ทฤษฎีโครงถักใช้ไม่ได้กับคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถัก

ระยะการแอ่นตัวจากการสังเกตผลการทดลองระยะการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเหล็กเสริมโดยใช้ทฤษฎีโครงถักเกิดขึ้นมากกว่าระยะการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเรื่องข้อต่อเนื่องจากการสังเกต การวิบัติที่เกิดขึ้นที่บริเวณข้อต่อของคานคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ และลองทดลองลักษณะโครงถักในรูปแบบอื่น

แบบหล่อคอนกรีตต้องแข็งแรงและมั่นคง เนื่องจากถ้าแบบไม่มั่นคงแล้วจะทำให้ลักษณะคานไม่เรียบตรงหรือช่องเจาะเลื่อนหนีไปจากตำแหน่งที่เหมาะสม เมื่อวาง Support หรือถ่ายแรงลงบนตัวคานทดสอบแล้วจะทำให้เกิดแรงที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามทฤษฎี

การจ่อเหล็กควรมีเครื่องมือที่เที่ยงตรง ถ้าไม่มีเครื่องมือที่เที่ยงตรงจะทำให้การวางแนวศูนย์กลางแรงผิดไป ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี

การทำให้ขนาดหรือความแม่นยำทางด้านการวัดต่างๆทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งผลที่ได้นั้นอาจคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีได้

การทำงาน เกิดตัวแปรอยู่หลายค่า ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเลือกกำหนดตัวแปรใดเป็นค่าคงที่ ตัวแปรใดที่ใช้วัดค่า

บรรณานุกรม

- ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร และดร. วรนิต ช่อวิเชียร. 2550. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ
เอมวิกา มากทอง. 2556. กำลังอัดอัดคอนกรีต.
https://attachment.fbsbx.com/messaging_attachment.php?aid=e8e525c1ae3aceefca68eef5af0eb4e2&mid=mid.1363450407824%3A64be198deebd25ff34&uid=100001009364179&accid=100001009364179&ext=1363502130&hash=AQCXkTPHYBKF7tZWSg6C7ddKs1Gk8G69ShXnLpFe4yvjpg
- ผศ. สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์. 2553. การวิเคราะห์โครงสร้าง STRUCTURE ANALYSIS. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ
มีน เซอร์วิช ชัพพลาย
- ผศ. สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์. 2553. ทฤษฎีโครงสร้าง THEORY OF STRUCTUERS. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ
มีน เซอร์วิช ชัพ
2556. A Comparison of Steel and Concrete in Building Construction. [Online]. Available.
<http://aradian2001.angelfire.com/paper.html>
2556. Beam Structure. [Online]. Available. [http://en.wikipedia.org/wiki/Beam_\(structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Beam_(structure))

ภาคผนวก ก.

ลักษณะการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

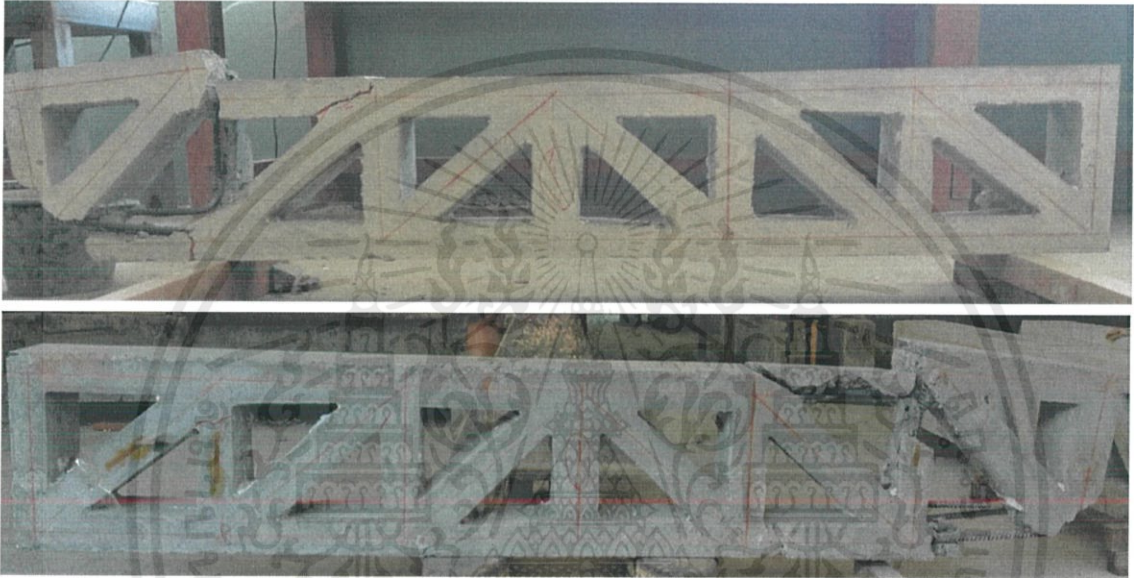


ผก1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

รูปลักษณะการวิบัติของคานคองกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ ก-1 ลักษณะการแตกหักของคานคองกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 1



รูปที่ ก-2 ลักษณะการแตกหักของคานคองกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 2

ผก2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีโครงถักตัวที่ 3



รูปที่ ก-4 ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัวที่ 4



รูปที่ ก-5 ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัวที่ 5



รูปที่ ก-6 ลักษณะการแตกหักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัวที่ 6



ภาคผนวก ข.

การใช้โปรแกรม CMD1 (Concrete Mixed Design)



ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรม CMD1 (Concrete Mixed Design)

ข้อกำหนดในการออกแบบ นี้สำหรับการออกแบบโครงสร้างทั่วไป(ค่ายุบตัวไม่เกิน 12.5ซม.)ไม่รวมเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่หรือโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในประเทศไทยนี้ ได้ถูกทดสอบและเก็บรวบรวมค่าเฉลี่ยดังนี้

1.1 ปูซีเมนต์มีความถ่วงจำเพาะ = 3.15 (Sq.gr.)

1.2 หินย่อยมีความถ่วงจำเพาะ = 2.70 (Sq.gr.),ค่าการดูดซึม=50%

1.3 ทรายแม่น้ำมีความถ่วงจำเพาะ = 2.65 (Sq.gr.) ,ค่าการดูดซึม=70%

2. ปริมาณน้ำและค่ายุบตัว : ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวตามมาตรฐานเมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำ ที่อยู่ในสภาพอิ่มแ่ง(SSD)เมื่อไม่ใส่น้ำยาผสมคอนกรีต(สำหรับเมื่อใส่น้ำยาผสมคอนกรีตแสดงค่าไว้ในวงเล็บ)มีค่าแสดงไว้ดังนี้

2.1 ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต = 180 (170)(สำหรับค่ายุบตัว 7.5 บวก,ลบ 2.5 และหินย่อยขนาด 1นิ้ว - #4)

2.2 ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต = 190 (180)(สำหรับค่ายุบตัว 10.0 บวก,ลบ 2.5 และหินย่อยขนาด 3/4นิ้ว - #4)

2.3 ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต = 190 (180)(สำหรับค่ายุบตัว 10.0 บวก,ลบ 2.5 และหินย่อยขนาด 1นิ้ว - #4)

2.4 ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต = 200 (190)(สำหรับค่ายุบตัว 10.0 บวก,ลบ 2.5 และหินย่อยขนาด 3/4นิ้ว - #4)

2.5 ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต = 200 (190)(สำหรับค่ายุบตัว 12.5 บวก,ลบ 2.5 และหินย่อยขนาด 1นิ้ว - #4)

2.6 ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต = 210 (220)(สำหรับค่ายุบตัว 12.5 บวก,ลบ 2.5 และหินย่อยขนาด 3/4นิ้ว - #4)

3. ปริมาณส่วนละเอียด : จากการประยุกต์การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานต่างๆทำให้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในประเทศไทยปริมาณส่วนละเอียดอันได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทราย จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ไม่แยกตัวและได้กำลังตามความต้องการมีค่าแสดงดังนี้

3.1 ขนาดหิน 1นิ้ว - #4 ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์+ทราย = 38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร

3.2 ขนาดหิน 3/4นิ้ว - #4 ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์+ทราย = 40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร

หมายเหตุ : ในการหาสัดส่วนผสมความละเอียดของส่วนผสมใช้ความละเอียดดังนี้

ซีเมนต์ น้ำ หิน และกรวด จะใช้ความละเอียดถึง 5 กก. หรือ ลิตร และน้ำยาผสมคอนกรีตใช้ความละเอียดถึง 50 ซีซี

4. ผลของน้ำยาต่อการออกแบบส่วนผสม : น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

4.1 ลดน้ำในส่วนผสม

4.2 ยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีต น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำนี้ เมื่อผสมเข้าไปในส่วนผสมจะส่งผลให้ลดปริมาณน้ำได้

5.ค่าการดูดซึมน้ำของหินย่อยและทรายแม่น้ำที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทย

5.1 หินการดูดซึมน้ำ=0.5%

5.2 ทราย=0.7%

สภาพหินทรายทั่วไปจะเป็นดังนี้

-ทราย อยู่ในสภาพเปียกทั่วไปมีความชื้นอยู่ระหว่าง 2-8%

-หิน อยู่ในสภาพแห้งในอากาศ

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

1. เปิดโปรแกรมขึ้นมา

โปรแกรม ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Concrete Mixed Design)

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่นำมาตรฐานการออกแบบของประเทศ อเมริกา และของประเทศอังกฤษ มาประยุกต์ใช้เข้ากับสภาพของวัสดุที่มีอยู่ในประเทศไทย(สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ผลิตในประเทศไทย)

ความต้องการ

กรุณากำหนดค่าก่อน

วิศวกร

แบบก่อสร้างกรรรมลขนาด 15'x30 ซม.

ลูกบาศก์ ทรงกระบอก

ใส่ปริมาณส่วนผสมคอนกรีต ไม่ใส่ปริมาณส่วนผสมคอนกรีต

กำลังอัดคอนกรีต(กก./ตร.ซม.)

ค่ามุมตัว(ซม.)

ขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้

กำหนดความชื้นทราย % (ใส่เฉพาะตัวเจ)

ปริมาณน้ำยาที่ยึดติดแนะนำ เช่น 250 ซีซี /100 กก ซีเมนต์ (ใส่เฉพาะ ซีซี)

ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ หิน-ทราย ใน 1 ลบ.ม.

ซีเมนต์ =

น้ำ =

ทราย =

หิน =

น้ำยาผสมคอนกรีต =

ผลการคำนวณที่ได้ปรับสภาพ หิน-ทราย แล้ว ใน 1 ลบ.ม.

ซีเมนต์ =

น้ำ =

ทราย =

หิน =

น้ำยาผสมคอนกรีต =

รูปที่ ข-1 แสดงหน้าต่างที่เปิดโปรแกรมออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

2. กรอกข้อมูลทั้งหมด

โปรแกรม ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Concrete Mixed Design)

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่นำมาตรฐานการออกแบบของประเทศ อเมริกา และของประเทศอังกฤษ มาประยุกต์ใช้เข้ากับสภาพของวัสดุที่มีอยู่ในประเทศไทย(สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ผลิตในประเทศไทย)

ความต้องการ

กรุณากำหนดค่าก่อน

วิศวกร

ทรายแฉะน้ำที่ มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย ซึ่งจะมีสภาพ เบี่ยง จากไปตักความชื้นที่รวมอยู่ระหว่าง 2-3%

ลูกบาศก์ ทรงกระบอก

ใส่ปริมาณส่วนผสมคอนกรีต ไม่ใส่ปริมาณส่วนผสมคอนกรีต

กำลังอัดคอนกรีต(กก./ตร.ซม.)

ค่ามุมตัว(ซม.)

ขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้

กำหนดความชื้นทราย % (ใส่เฉพาะตัวเจ)

ปริมาณน้ำยาที่ยึดติดแนะนำ เช่น 250 ซีซี /100 กก ซีเมนต์ (ใส่เฉพาะ ซีซี)

ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ หิน-ทราย ใน 1 ลบ.ม.

ซีเมนต์ = 365 กิโลกรัม

น้ำ =

ทราย =

หิน =

น้ำยาผสมคอนกรีต =

ผลการคำนวณที่ได้ปรับสภาพ หิน-ทราย แล้ว ใน 1 ลบ.ม.

ซีเมนต์ =

น้ำ =

ทราย =

หิน =

น้ำยาผสมคอนกรีต =

รูปที่ ข-2 แสดงหน้าต่างที่ขณะกรอกข้อมูล

3. กตคำนวณและแสดงรายละเอียด

รายละเอียดการคำนวณ

รายละเอียดการคำนวณที่มีไม่รับสภาพ สิน-ตรา

<p>ชื่อหลักทรัพย์</p> <p>ความต้องการ</p> <p>กำไรสุทธิที่ถือครอง = 240 กก./ตร.ชม. กำไรสุทธิที่ถือครอง (กำไรสุทธิที่ถือครอง + ส่วนเหลือรวมกำไร(60 กก./ตร.ชม.)) = 348 กก./ตร.ชม.</p> <p>ค่าบุฉั้ว = 10.0 (บวก.ลบ) 2.5 ขนาดเงิน = 3/4 นิ้ว - #4 ซม. ไม่ใส่ป้ายผสมทองกิต</p> <p>พิมพ์ <input type="checkbox"/> ปิดทงนำ <input type="checkbox"/></p>	<p>1. ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อ ไม่ใส่ป้ายผสมทองกิต = 200 ลิตร/บ.ม.ทองกิต</p> <p>2. W/C = 5476</p> <p>3. จากใบ 2 ได้ น้ำหนักซีเมนต์ = 365 กก.</p> <p>4. ปริมาณซีเมนต์ น้ำหนักซีเมนต์/ก.พ.ของซีเมนต์ = 116 ลิตร</p> <p>5. เพื่อชงที่คืนใช้ขนาด 3/4 นิ้ว - #4 ซม. จะได้ปริมาณซีเมนต์+ทราย 400 ลิตร ดังนั้นปริมาณทราย = 264 ลิตร</p> <p>6. น้ำหนักทราย(ปริมาณทราย/ก.พ.ทราย) = 753 กก.</p> <p>7. ปริมาณเงิน=(1000-ปริมาณซีเมนต์-ปริมาณทราย-ปริมาณน้ำ) = 400 ลิตร</p> <p>8. น้ำหนักเงิน(ปริมาณเงิน*บ.ม.เงิน) = 1080 กก.</p> <p>9. ปริมาณน้ำยาที่ใช้ น้ำหนักเงิน*ปริมาณที่ใช้ = 0 ลิตร</p>	<p>ส่วนผสมที่ได้ ที่มีไม่รับความละเอียด</p> <p>ซีเมนต์ = 365 กิโลกรัม</p> <p>น้ำ = 200 ลิตร</p> <p>ทราย = 753 กิโลกรัม</p> <p>เงิน = 1080 กิโลกรัม</p> <p>น้ำยาผสมทองกิต = 0 ลิตร</p>
	<p>รายละเอียดการคำนวณที่รับสภาพ สิน-ตรา</p> <p>1. เนื่องจากกำหนดขายมีความชื้น = 0.7%</p> <p>2. และทรายมีความดูดซึม = 0.7%</p> <p>3. ดังนั้นความชื้นรวม = (1+2) = 0%</p> <p>4. น้ำจืดทราย = 755 กิโลกรัม</p> <p>5. น้ำหนักไป = 0 กิโลกรัม</p> <p>6. ดังนั้นจะได้อัตราเงินเงิน = 755 กิโลกรัม</p> <p>7. ดังนั้นจะได้อัตราเงินเงิน = 200 ลิตร</p>	<p>ส่วนผสมที่รับสภาพ สิน-ตรา และความละเอียด</p> <p>ซีเมนต์ = 365 กิโลกรัม</p> <p>น้ำ = 200 ลิตร</p> <p>ทราย = 755 กิโลกรัม</p> <p>เงิน = 1080 กิโลกรัม</p> <p>น้ำยาผสมทองกิต = 0 ลิตร</p>

รูปที่ ข-3 แสดงรายละเอียดการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้