# การศึกษาพฤติกรรมของเหล็กต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็ก ในคอนกรีตเสริมเหล็ก

# STUDY BEHAVIR FOR JOINT OF STEEL BY USING WIRE IN REINFORCED CONCRETE


นายพงษ์พันธ์ ทองภู

MR.PONGPUN TONGPOO

นายพัลลภ คูบูรณ์

MR.PULLOP KUBOON


โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2535


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



032500

# STUDY BEHAVIOR FOR JOINT OF STEEL BY USING WIRE IN REINFORCE CONCRETE

MR.PONGPUN TONGPOO

MR.PULLOP KUBOON

A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN PATIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OR CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032500

โครงงานพิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมของเหล็กต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็ก ใน คอนกรีตเสริมเหล็ก

STUDY BEHAVIOR FOR JOINT OF STEEL BY USING WIRE IN REINFORCEDCONCRETE


นักศึกษา นายพงษ์พันธ์ ทองภู รหัสประจำตัว 321200

นายพัลลภ คุบูรณ์ รหัสประจำตัว 321210

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์


| คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| 1. ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ | ..... |
| 2. ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ | ..... |
| 3. อ. ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ | ..... |

ภาควิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 10 เดือน พ.ค. พ.ศ.2536


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมของเหล็กต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็ก

นักศึกษา นายพงษ์พันธ์ ทองภู

นายพัลลภ คูบูรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

พ.ศ. 2536

## บทคัดย่อ

งานก่อสร้างโดยทั่วไปในปัจจุบัน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนับว่าเป็นที่นิยมโดยแพร่หลาย เนื่องจากว่า มีความแข็งแรง มีอายุการใช้งานยาวนานและวัสดุหาได้ง่ายภายในประเทศและมีราคาถูก อีกทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กยังสามารถกำหนดส่วนผสมให้ใช้ได้เหมาะสมกับชนิดของงาน และในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการขนส่งและการก่อสร้าง ได้รุดหน้าไปมาก ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่ได้รวดเร็วขึ้นมาก

ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น คอนกรีตจะมีกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีมาก แต่มีความต้านทานแรงดึงน้อย ซึ่งในส่วนของแรงดึงจึงต้องมีการนำเหล็กซึ่งมีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูง มาช่วยในการรับแรง และเป็นที่ทราบกันดีว่า ในการนำเหล็กมาใช้จะมีข้อจำกัดในเรื่องความยาว เพราะไม่สามารถที่จะผลิตเหล็กให้ได้ความยาวตามต้องการทุกส่วน ดังนั้นการต่อเหล็กจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นมาก และในงานก่อสร้างโดยทั่วไป การต่อเหล็กโดยการต่อทาบนับว่าเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากสะดวก รวดเร็วและใช้เครื่องมือเครื่องจักรน้อย และในการต่อเหล็กโดยวิธีนี้ ได้มีข้อกำหนดการต่อทาบเหล็กไว้ตามสภาพงานว่า สมควรจะต่อเป็นระยะเท่าใดจึงจะเหมาะสมและมีความปลอดภัย

ในโครงสร้างแต่ละส่วน มีลักษณะการรับแรงที่แตกต่างกันออกไป โครงสร้างที่รับโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียวก็สามารถที่จะเกิดขึ้นได้เช่นกัน และหากโครงสร้างส่วนนี้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการเสริมเหล็กโดยการต่อทาบแล้ว การต่อทาบเหล็กจะมีผลกระทบอะไรบ้างกับโครงสร้างส่วนนี้ เป็นสิ่งที่ผู้ทำการวิจัยคิดว่า น่าจะเป็นสิ่งที่เราควรจะศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title STUDY BEHAVIOR FOR JOINT OF STEEL BY USING WIRE IN REINFORCED CONCRETE

Student MR.PONGPUN TONGPOO

MR.PULLOP KUBOON

Project Advisor MR.SUWAT THI-RASED

Level of Study Bachelor of Engineering in Construction Engineering

Department Civil Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 1993

## ABSTRACT

Nowadays, The reinforced concrete structure is wide used in construction. Becouse of high strengh, long life, easy to buy material in country beside and low price. The reinforced concrete can specified a mixture for each work. In present construction technology and transport is improved , it bring to comfortable and faster in reinforced concrete structuring.

In reinforced concrete, the concrete is exellent under compression,but it very poor in tension. By this reason we insert steel bar that is high tension material into the concrete. We know that in steel bar using it is limited by it's length. Then steel bar jointing is importance. In general works, joint by using wire is wide used. Becouse of comfort,fast and few machine. For each work there is specify how long it should be jointed for safty and suitable.

In general structure, it possible to have pure bending moment structure. If this structure joint by using wire is needed. What is the effect of joint range to this structure, it should be studies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ ใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำให้โครงงานพิเศษสำเร็จเรียบร้อยไปด้วยดี รวมทั้งคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้กรุณาชี้แนะและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ อันทำให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ตลอดจนรุ่นพี่ เพื่อน ๆ ผู้ให้คำแนะนำคอยช่วยเหลือทั้งกำลังกายและใจ จนกระทั่งโครงงานพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำ

นายพงษ์พันธ์ ท่องภู

นายพัลลภ ดุบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญกราฟ..... V

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญภาพ..... VIII

บทที่

1. บทนำ..... 1

วัตถุประสงค์..... 3

สมมติฐาน..... 3

ขอบเขตของงานวิจัย..... 5

ทฤษฎี..... 6

ทฤษฎีและรายการคำนวณสนับสนุนสมมติฐาน..... 17

ตัวอย่างการคำนวณ..... 21

2. วิธีการและขั้นตอนการทดลอง..... 23

2.1 ขั้นศึกษารูปแบบ..... 23

2.2 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์..... 26

2.3 ขั้นตอนการทำงาน..... 27

ผลการทดลอง..... 33

ตารางและกราฟ..... 33

3. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 55

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น..... 58

ข้อเสนอแนะ..... 58

รูปประกอบ..... 59

บรรณานุกรม..... 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟรูปที่ 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับหน่วยการยืดตัว
ของเหล็กเส้นกลม 6 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2..... 37

กราฟรูปที่ 2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับหน่วยการยืดตัว
ของเหล็กเส้นกลม 9 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4..... 38

กราฟรูปที่ 3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับหน่วยการยืดตัว
ของเหล็กเส้นกลม 12 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6..... 39

กราฟรูปที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับหน่วยการยืดตัว
ของเหล็กเส้นกลม 16 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 7 และตารางที่ 8..... 40

กราฟรูปที่ 5. แสดงความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานที่เสริมด้วย
เหล็กข้ออ้อย 12 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 9..... 45

กราฟรูปที่ 6. แสดงความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานที่เสริมด้วย
เหล็กข้ออ้อย 12 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 10..... 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

กราฟรูปที่ 7. เปรียบเทียบแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึงขนาด 12 mm. เมื่อทาบเหล็กเป็นระยะต่าง ๆ และใช้แรงกดจนโครงสร้างพัง รวมทั้งเปรียบเทียบกับแรงดึงที่น่าจะเกิดขึ้นตามทฤษฎี ข้อมูลได้จากตารางที่ 13 ..... 51

กราฟรูปที่ 8. เปรียบเทียบแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึงขนาด 16 mm. เมื่อทาบเหล็กเป็นระยะต่าง ๆ และใช้แรงกดจนโครงสร้างพัง รวมทั้งเปรียบเทียบกับแรงดึงที่น่าจะเกิดขึ้นตามทฤษฎี ข้อมูลได้จากตารางที่ 14..... 52

กราฟรูปที่ 9. เปรียบเทียบความยาวยึดรั้งที่ต้องการที่ได้จากการทดลอง และตามทฤษฎี รวมทั้งเปรียบเทียบกับระยะทาบจริง ๆ ของเหล็กยืนรับแรงดึง ขนาด 12 mm. ข้อมูลได้จากตารางที่ 15..... 53

กราฟรูปที่ 10. เปรียบเทียบความยาวยึดรั้งที่ต้องการที่ได้จากการทดลอง และตามทฤษฎี รวมทั้งเปรียบเทียบกับระยะทาบจริง ๆ ของเหล็กยืนรับแรงดึง ขนาด 16 mm. ข้อมูลได้จากตารางที่ 16..... 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดง deflection ของเหล็กเส้นกลม 6 mm. SR 24 เมื่อแรงดึงเปลี่ยนไป..... 33
ตารางที่ 2 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและจุดประลัยของเหล็กเส้นกลม 6 mm..... 33
ตารางที่ 3 แสดง deflection จากการทดสอบการรับแรงดึง ของเหล็กเส้นกลม 9 mm. SR 24เมื่อใช้ในการทำ rod..... 34
ตารางที่ 4 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและประลัยของเหล็กเส้นกลม 9 mm..... 34
ตารางที่ 5 แสดงค่า deflection จากการทดสอบเหล็กข้ออ้อย 12 mm. SD 30.. 35
ตารางที่ 6 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและจุดประลัยของเหล็กข้ออ้อย 12 mm..... 35
ตารางที่ 7 แสดง deflection จากการทดสอบเหล็กข้ออ้อย 12 mm. SD 30.... 36
ตารางที่ 8 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและจุดประลัยของเหล็กข้ออ้อย 16 mm..... 36
ตารางที่ 9 แสดงค่าการยืดตัวของ rod เมื่อทดสอบกับชิ้นงานที่เสริมด้วย เหล็กข้ออ้อย 12 mm..... 41
ตารางที่ 10 แสดงค่าการยืดตัวของ rod เมื่อทดสอบกับชิ้นงานที่เสริมด้วยเ เหล็กข้ออ้อย 16 mm..... 42
ตารางที่ 11 แสดงค่ากำลังประลัยของคอนกรีตที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบ ก่อนเทในแบบที่มีระยะทาบของเหล็ก 12 mm.ต่างๆ กัน..... 43
ตารางที่ 12 แสดงค่ากำลังประลัยของคอนกรีตที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบ ก่อนเทในแบบที่มีระยะทาบของเหล็ก 16 mm.ต่างๆ กัน ..... 44
ตารางที่ 13 แสดงแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กบนหน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว..... 47
ตารางที่ 14 แสดงแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กบนหน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว..... 48
ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระยะทาบกับความยาวยึดรั้งที่ต้องการ ของเหล็กข้ออ้อย 12 mm..... 49
ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระยะทาบกับความยาวยึดรั้งที่ต้องการ ของเหล็กข้ออ้อย 16 mm..... 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 UNIVERSAL TESTING MACHINE..... 60
รูปที่ 2 UNIVERSAL TESTING MACHINE..... 60
รูปที่ 3 แสดงตาชั่ง สำหรับลูกปูน..... 61
รูปที่ 4 แสดงตาชั่งสำหรับชั่งส่วนผสมคอนกรีต..... 61
รูปที่ 5 แสดงเครื่องเขย่าม..... 62
รูปที่ 6 แสดงเครื่องตัด..... 62
รูปที่ 7 แสดงโม่ผสมคอนกรีต..... 63
รูปที่ 8 แบบลูกปูนสำหรับทดสอบแรงอัด..... 63
รูปที่ 9 แสดงการดัดเหล็กปลอก..... 64
รูปที่ 10 แสดงเหล็กปลอก..... 64
รูปที่ 11 แสดงการดัดเหล็กแกน..... 65
รูปที่ 12 แสดงเหล็กแกน..... 65
รูปที่ 13 แสดงการผูกเหล็ก..... 66
รูปที่ 14 แสดงเหล็กเสริม..... 66
รูปที่ 15 แสดงการเตรียมแบบเพื่อเทคอนกรีต..... 67
รูปที่ 16 แสดงแบบเมื่อเทคอนกรีตเสร็จแล้ว..... 67
รูปที่ 17 แสดงการบ่มตัวอย่างด้วยกระสอบป่าน..... 68
รูปที่ 18 การรดน้ำบ่มตัวอย่าง..... 68
รูปที่ 19 แสดงการหล่อหมวกตัวอย่าง..... 69
รูปที่ 20แสดงการทดสอบลูกปูน..... 69
รูปที่ 21 แสดง rod ϕ 9 mm..... 70
รูปที่ 22 แสดง rod พร้อมกับติดตั้ง gage วัดระยะยืด..... 70
รูปที่ 23 แสดง Turn Buckle..... 71
รูปที่ 24 แสดงหัวครอบโครงสร้าง..... 71
รูปที่ 25 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ..... 72
รูปที่ 26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ..... 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 27 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ..... 73
รูปที่ 28 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ..... 73
รูปที่ 29 แสดงการหมุน Turnbuckle..... 74
รูปที่ 30 แสดงการหมุน Turnbuckle..... 74
รูปที่ 31 แสดงรอยแตกบนโครงสร้าง..... 75
รูปที่ 32 แสดงรอยแตกบนโครงสร้าง..... 75
รูปที่ 33 แสดงรอยแตกด้านในของโครงสร้าง..... 76
รูปที่ 34 แสดงรอยแตกด้านในของโครงสร้าง..... 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

ในปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตของงานก่อสร้างนับว่าสูงมาก วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างก็ต้องใช้ในปริมาณสูงไปด้วย และในปัจจุบันเกือบ 90% ของงานก่อสร้าง นิยมสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า คอนกรีตโดยทั่วไปมีความสามารถในการรับแรงดึงและโมเมนต์ดัดน้อยมาก ในการคำนวณจะไม่นำมาคิด และแน่นอนว่าการเสริมเหล็กในคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เหล็กเป็นตัวรับแรงดึง โมเมนต์ดัด และยังช่วยให้คอนกรีตรับแรงเฉือนได้ดีด้วย อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยไม่ให้เกิดการแตกร้าวในเนื้อคอนกรีตอีกด้วย

ในโครงสร้างแต่ละส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีโอกาสที่จะได้รับแรงทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน รวมทั้งโมเมนต์ดัด ดังนั้นในโครงสร้างแต่ละส่วนจึงต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เริ่มตั้งแต่เสาเข็ม ฐานราก ตอม่อ เสา คานพื้น ตลอดจนถึงบันได ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าในกรณีที่โครงสร้างส่วนนั้นยาวมาก ๆ เหล็กที่เสริมเข้าไปที่ขายตามท้องตลาด ไม่สามารถที่จะผลิตให้เป็นเส้นยาวตามที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการต่อเหล็กเพื่อให้ได้ความยาวตามที่ต้องการ สำหรับวิธีการต่อเหล็กที่นิยมใช้กันในงานก่อสร้าง ก็มีด้วยกัน 2 วิธี คือ การต่อชนและการต่อทาบ การต่อชนนั้นจะใช้วิธีการเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส ซึ่งการเชื่อมด้วยวิธีดังกล่าวจะให้ความแข็งแรงสูงมาก จึงมักไม่ค่อยเกิดปัญหา ส่วนการต่อโดยวิธีการทาบ ก็แบ่งย่อยเป็น การต่อทาบแบบเชื่อมและการต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็กเพราะสะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องใช้เครื่องมือมาก

การต่อทาบเหล็กในงานก่อสร้างทั่วไป นิยมยึดถือตามหลักสากล และตามข้อบังคับของท้องถิ่น ซึ่งทำให้เกิดความมั่นใจว่าจะปลอดภัย จึงไม่มีการทดสอบผลที่เกิดขึ้น อีกทั้งในการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการต่อทาบเหล็กโดยใช้ลวดผูกเหล็ก มีวิธีการยุ่งยากและลงทุนสูงจึงไม่นิยมนำมาทดสอบ ซึ่งในหลักความเป็นจริงน่าจะมีการทดสอบ แต่อย่างไรก็ดีในการกำหนดตามหลักสากลหรือข้อบังคับท้องถิ่น มักจะมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากให้ค่าคูณความปลอดภัยสูงไว้แล้วนั่นเอง

สำหรับโครงงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่จะศึกษาเหล็กต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็ก ว่าพฤติกรรมที่เกิดจากการต่อโดยวิธีนี้ เกิดอะไรขึ้นมาบ้าง มีผลกระทบอะไรขึ้นบ้าง และเกิดอะไรหากระยะทาบไม่เพียงพอหรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรุงเทพมหานคร ซึ่งการทดสอบนี้ได้จำลองโครงสร้างส่วนที่รับแรงดึงและเกิดโมเมนต์ดัดขึ้น ซึ่งส่วนของโครงสร้างที่รับแรงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะดังกล่าวในโครงสร้างทั่วไป เช่น เสาในอาคารสูง ที่แรงลมมีผลกระทบมาก หรือในเสาที่มีคานยื่น หรือในกรณีฐานรากที่มีเสาเข็มเป็นตัวรองรับ แต่หากเสาเข็มเกิดการลอยตัวเนื่องจากแรงฉุดที่ผิว เป็นต้น ส่วนในกรณีของคานและพื้นที่เกิดแรงดึง และโมเมนต์ดัด มักพบเห็นได้ง่ายและมีการทดสอบได้ไม่ยาก ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้ตัดสินใจที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมของเสาและฐานรากที่เกิดการรับแรงดึง และมีเหล็กเสริมเป็นเหล็กต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็กเป็นเหล็กยึน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างที่รับโมเมนต์ดัดและแรงในแนวแกน ว่ามีลักษณะการแตกร้าวและเกิดแรงดึงในเหล็กเสริมแตกต่างกันอย่างไร

2. เพื่อเปรียบเทียบแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กเสริมรับแรงดึง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะทาบและขนาดหน้าตัดเหล็กเสริมต่างๆ กัน โดยใช้แรงกดจนโครงสร้างพัง

3. เพื่อหาระยะทาบที่เหมาะสมของเหล็กเสริมรับแรงดึงภายในโครงสร้าง เมื่อโครงสร้างได้รับแรงในลักษณะดังกล่าว

4. เพื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้กดโครงสร้างจริง กับแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎี

สมมติฐาน

1. ในลักษณะโครงสร้างรับแรงดึงที่มีรูปแบบตามที่ออกแบบมา เมื่อให้โครงสร้างรับแรงในลักษณะดังกล่าว จะเกิดทั้งแรงดึงและแรงอัดในหน้าตัดใดๆในโครงสร้าง การเสริมเหล็กเส้นนอกเพื่อให้รับแรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งถ้าต้องการให้หน้าตัด failure จะต้องใช้แรงกดที่ปลายคานยื่นเพื่อให้เกิดแรงดึงกับเหล็กรับแรงดึงจนเหล็กมีการยืดตัวหรือ Slip

2. เมื่อมีการเสริมต่อทาบภายในโครงสร้างที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอดังกล่าว การที่จะเปรียบเทียบความต้านทานในการรับแรงของระยะทาบต่างๆกันได้ จะต้องหาแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึงที่หน้าตัดต่างๆ ที่เกิดการ failure

3. ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบในสมมติฐานข้อที่ 2 น่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน

4. ในโครงสร้างที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ หากมีการเสริมเหล็กเท่ากัน น่าจะเกิดการ Fialure ที่หน้าตัดที่เล็กที่สุด และในกรณีการต่อทาบเหล็ก กำลังที่ใช้ในการทำให้การทาบเหล็กระยะต่างๆกัน Fiel นั้น การทาบระยะสั้นกว่าน่าจะใช้กำลังน้อยกว่า

5. ความยาวยึดรั้ง Ld ที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีต สามารถทนแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ โดยเหล็กไม่เกิดการ Slip นั้น ไม่ควรเกินระยะ 30D เมื่อ D เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก เนื่องจากในโครงสร้างลักษณะดังกล่าว มีลักษณะคล้ายเสา ซึ่งตามข้อกำหนด ได้กำหนดให้ทาบเหล็กในลักษณะนี้ไม่ต่ำกว่า 30D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากสมมติฐานในข้อที่ 2 และ 3 แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเส้นรับแรงดึงน่าจะมีค่าเท่ากัน ไม่ว่าจะทาบเหล็กด้วยระยะเท่าใด ถึงแม้ว่าแรงที่ใช้กดในการทำให้โครงสร้างเกิดการ failure น่าจะมีค่ามากขึ้นตามระยะทาบที่มากขึ้นก็ตาม ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ

$$C_1 = \frac{P}{A} + \frac{Mc_1}{I}$$

$$T = C_1 + c_1$$

ที่แรงกด P น่าจะมีค่ามากขึ้นตามระยะทาบที่มากขึ้น แต่เมื่อนำค่า P มาหาค่า $C_1$ จากสมการที่ 1 เราทราบว่าเมื่อระยะทาบมากขึ้น พื้นที่หน้าตัด A ที่เราพิจารณาหาค่าแรงดึงก็จะมีค่ามากขึ้น เมื่อ A มากขึ้น ดังนั้นค่า I ก็จะมีค่ามากขึ้นรวมทั้ง $c_1$ จะมีค่ามากขึ้นเล็กน้อย เมื่อหาค่า $C_1$ ออกมาน่าจะมีค่าน้อยลงเล็กน้อยเมื่อระยะทาบมากขึ้น

จากสมการที่ 2 ค่า $C_1$ มีค่าน้อยลงเล็กน้อยเมื่อระยะทาบมากขึ้น แต่ค่า $c_1$ มีค่ามากขึ้นเล็กน้อย เมื่อระยะทาบมากขึ้น ดังนั้นจะได้ค่า T เท่ากันไม่ว่าระยะทาบจะเปลี่ยนไปเท่าไรก็ตาม

7. เมื่อนำค่า T จากสมมติฐานในข้อ 6 มาหาค่าความยาวยึดรั้ง Ld ตามสมการ

$$Ld = \frac{T}{U\pi D} \quad \text{โดยที่} \quad U = 1.11\sqrt{fc'}$$

จะเห็นว่า เมื่อค่า T คงที่ U คงที่ เนื่องจากเราใช้กำลังประลัยคอนกรีตเท่ากัน และค่า D ก็เท่ากัน เนื่องจากเป็นเหล็กขนาดเดียวกัน ดังนั้นค่าความยาวยึดรั้ง Ld ที่ได้น่าจะมีค่าเท่ากันไม่ว่าเหล็กจะมีระยะทาบเท่าใดก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมของเหล็กต่อทาบ ที่มีผลต่อคอนกรีตและความแข็งแรง ดังนั้นค่าส่วนอื่น ๆ จะคงที่ ส่วนที่จะเปลี่ยนแปลงได้แก่ ระยะทาบของเหล็ก และขนาดของเหล็ก โดยกำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

1. ชิ้นงานทุกชิ้นมีขนาดเดียวกันทั้งหมด

2. กำลังของคอนกรีตที่ใช้ต้องมีกำลังเดียวกัน โดยได้จากการใช้ส่วนผสมเท่ากัน Water Cement ratio เท่ากัน ระยะเวลาของการบ่มเท่ากัน กล่าวคือใช้ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน ใช้อัตราส่วนผสมคอนกรีต คือ

ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน = 1:2:4 และ Water Cement ratio = 0.6

3. ระยะทาบที่ใช้ในการทดสอบใช้ 6 ระยะ คือ 15D 20D 25D 30D 35D 40D เมื่อ D เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก

4. ขนาดเหล็กที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ขนาด คือ เหล็กข้ออ้อย 12 mm และเหล็กข้ออ้อย 16 mm

5. เหล็กที่ใช้ทดสอบมีมาตรฐานการผลิตและกำลังเดียวกัน คือใช้เหล็กข้ออ้อย SD 30 หมายถึง เหล็กมีกำลังที่จุดคลากไม่ต่ำกว่า 3000 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

6. ใช้ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก โดยวัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวเหล็ก เป็นระยะ 2.5 เซนติเมตรเท่ากัน

7. ใช้ระยะเวลาและวิธีการบ่มแบบเดียวกัน

8. ใช้วิธีทดสอบวิธีเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี

กำลังต้านทานของคอนกรีต

กำลังต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของของวัสดุคอนกรีต และวิธีการทำคอนกรีต เช่น การผสม การเท และการบ่มคอนกรีต ตลอดจนอายุของคอนกรีต กำลังต้านทานของคอนกรีตที่สำคัญคือ กำลังต้านทานแรงอัดซึ่งใช้เป็นหลักในการออกแบบอาคาร ส่วนกำลังต้านทานอย่างอื่นอาจเทียบจากกำลังต้านทานแรงอัดนี้

โดยปกติกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ถือเอาจากผลการทดลองแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน หลังจากหล่อแล้วเป็นเกณฑ์ แต่ในบางครั้งก็อาจจะใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเมื่อมีอายุ 3 หรือ7วันก็ได้โดยเฉพาะพวกคอนกรีตชนิดแข็งตัวเร็ว

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต($f'_c$) ทำได้โดยการกดแท่งทดสอบมาตรฐานด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก แท่งทดสอบมาตรฐานนี้อาจเป็นแท่งทรงกระบอกขนาด $\phi$ 15 ซม. สูง 30 ซม.หรือเป็นรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปลูกบาศก์จะสูงกว่าของแท่งทรงกระบอกประมาณ 13% จำนวนแท่งทดสอบที่จะนำมาทดสอบนี้ควรใช้อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอายุของคอนกรีต ค่ากำลังของคอนกรีตเมื่ออายุ 7 วัน จะน้อยกว่าเมื่ออายุ 28 วัน ประมาณ 25%

ระดับความแข็งแรงของคอนกรีตจะถือเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อผลเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของการทดลอง3ครั้งติดต่อกัน มีค่าเกินกว่าค่า $f'_c$ ที่ต้องการ และกำลังอัดของแต่ละครั้งอาจจะต่ำกว่า $f'_c$ ที่ต้องการได้ไม่เกิน 30 กก. ต่อตาราง ซม.

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีต จะได้ตามรูปที่1.1จะเห็นว่าเส้นสัมพันธ์ดังกล่าวเกือบเป็นเส้นตรงในช่วงอิลาสติกเมื่อหน่วยแรงอัดน้อยๆไม่เกิน $f'_c/2$ เมื่อเลยจุดนี้ไปแล้วเส้นสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง จนกระทั่งถึงหน่วยแรงอัดสูงสุด ซึ่งเป็นหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต $f'_c$ เส้นสัมพันธ์จะเริ่มโค้งลง เมื่อคอนกรีตเริ่มจะถูกอัดแตก หน่วยการอัดตัวสูงสุดประมาณ 0.003-0.004

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต หาได้จากเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการหดตัว ค่าโมดูลัสนี้แสดงถึงความแข็งแรงของวัตถุต่อการโก่งในคาน ขึ้นอยู่กับกำลังอัดของคอนกรีต และน้ำหนักของคอนกรีต มีวิธีการหาต่างๆ กันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. Initial modulus พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัส0 ซึ่งเกิดจากการลากเส้นให้สัมผัสกับเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว ณ จุดเริ่มต้น

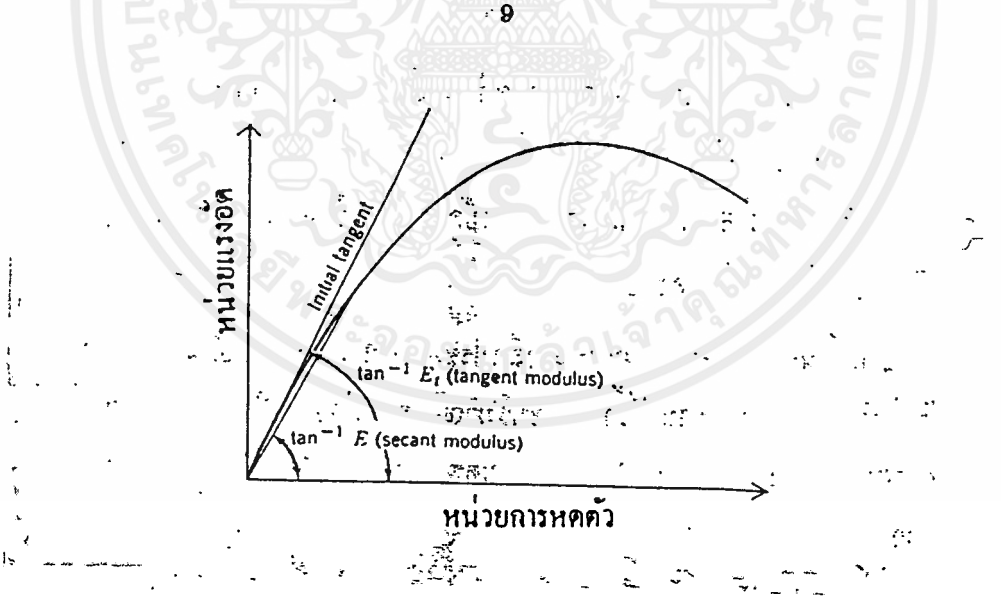
ข. Secant modulus พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้น ที่ลากจากจุดเริ่มต้นกับจุดใดๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวที่ต้องการหา

ค. Tangent modulus พิจารณาความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใดๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตไว้ดังนี้

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

ในเมื่อ w เป็นหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (2.323 ตัน/ลบ.เมตร)




รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีต

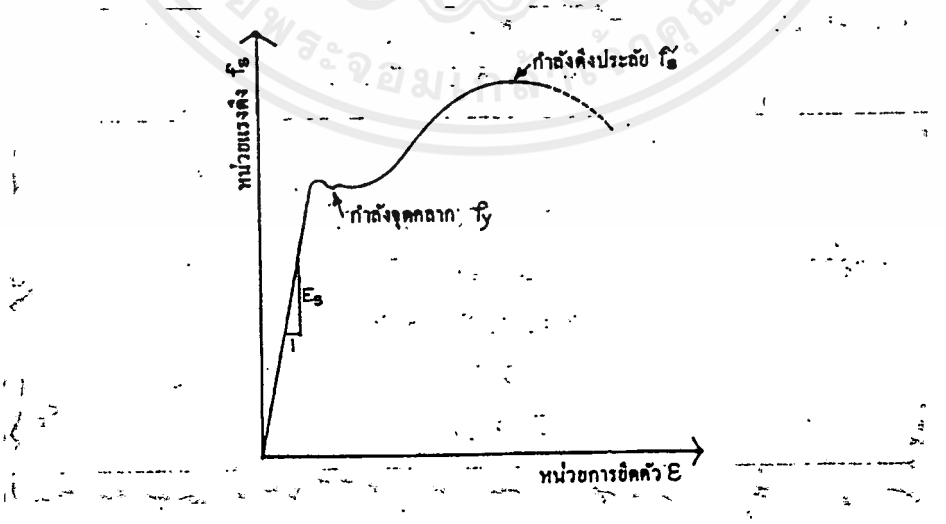
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild steel)ผลิตแบบรีดร้อน เป็นเหล็กเส้นมีทั้งชนิดผิวกลมเรียบ และชนิดที่ผิวเป็นปล้องหรือครีบเกลียวเรียกว่าเหล็กข้ออ้อย ซึ่งใช้ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตที่หุ้มอยู่ให้ดียิ่งขึ้นกว่าการใช้เหล็กกลมถึงสองเท่า ขนาดของเส้นเหล็กกลมผิวเรียบมีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ถึง 25 มม. ส่วนขนาดของเหล็กข้ออ้อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 มม. ถึง 36 มม. ในขณะเทคอนกรีตเหล็กเสริมต้องไม่เป็นสนิมขุมหรือมีไคลน้ำมันหรือสารอื่นเกาะผิว-อันจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวเสียไป

กำลังต้านทานของเหล็กเสริม

กำลังต้านทานของเหล็กเสริมที่สำคัญ ซึ่งใช้ในการพิจารณาออกแบบ คือ ความต้านทานแรงดึงและแรงอัด ในทางปฏิบัติอาจถือว่าเหล็กเสริมมีกำลังต้านทานแรงดึงเท่ากับการต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานของเหล็กเสริมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุที่ใช้ผสม ซึ่งได้แก่ ธาตุเหล็ก คาร์บอน ซิลิกอน มังกานีส และกำมะถัน.




รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์หน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเสริมได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างยาวท่อนละ 90 ซม. มาทดสอบรับแรงดึงตามวิธีมาตรฐาน ผลการทดลองจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรวดึงกับหน่วยการยืดตัวดังรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าภายในช่วงอิลาสติก หน่วยแรงดึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืด จนกระทั่งถึงจุดคลาก ($f_y$) เหล็กจะถูกดึงยืดออกมาในขณะที่แรงดันคงที่ ความยืดตัวของเหล็กในช่วงนี้ประมาณ 10 เท่าของการยืดตัวตรงจุดคลาก จากนี้เหล็กจะรับแรงดึงได้อีกจนกระทั่งถึงกำลังประลัยของเหล็กเสริม จากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการยืดตัวในช่วงอิลาสติก ก็จะหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมได้

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมไว้ดังนี้

$$E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ กก./ซม.}^2$$

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมที่ใช้ในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.1 กำลังจุดคลากและกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริม

| ชนิดของเหล็กเสริม | ชั้นคุณภาพ | กำลังจุดคลาก กก./ซม.$^2$ | กำลังดึงประลัย กก./ซม.$^2$ |
|---|---|---|---|
| เหล็กกลมเรียบ | SR 24 (ϕ6,9,12,15,19,25มม.) | 2400 | 3900 |
| เหล็กข้ออ้อย | SD 30 (ϕ10,12,16,20,25,28มม.) | 3000 | 4900 |
| | SD 40 (ϕ10,12,16,20,25,28,36มม.) | 4000 | 5700 |
| | SD 50 (ϕ 32 มม.) | 5000 | 6300 |

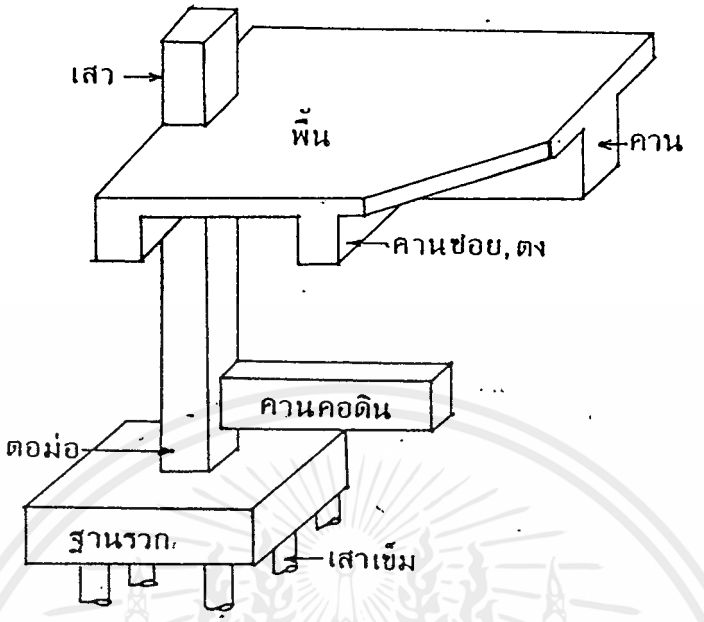
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตเสริมเหล็ก ได้จากการนำคอนกรีต และเหล็กเสริมมาหล่อรวมกัน ในลักษณะที่ทำให้ส่วนของอาคารนั้นๆ เช่น คาน คสล. มีพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกร่วมกัน โดยอาศัยแนวคิดว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดี แต่ต้านทานแรงดึงได้ต่ำมาก ส่วนเหล็กเสริมเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงและแรงอัดเท่ากัน หากใช้แต่เพียงเหล็กเสริมอย่างเดียวก็ไม่เป็นการประหยัด เนื่องจากเหล็กเสริมมีราคาแพง หรือหากใช้คอนกรีตเพียงอย่างเดียว รูปตัดของส่วนโครงสร้างก็ใหญ่โตมาก อีกทั้งคอนกรีตมีน้ำหนักมาก ก็ไม่เป็นการประหยัดอีกเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบในด้านราคาของวัสดุก่อสร้างพบว่า ราคาของคอนกรีตถูกกว่าเหล็กเสริมมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้โครงสร้างที่ประหยัดและมีความต้านทานต่อน้ำหนักบรรทุกได้ดี คงทนถาวร จึงใช้เหล็กเสริมเฉพาะส่วนที่จำเป็นเท่านั้น คือใช้เฉพาะส่วนที่คอนกรีตไม่สามารถต้านทานได้ กล่าวคือส่วนใดของอาคารที่ต้องรับแรงอัดก็ต้องใช้คอนกรีตทำหน้าที่ต้านทาน และส่วนใดที่ต้องรับแรงดึงก็ใช้เหล็กเสริมทำหน้าที่ต้านทาน

โครงสร้างอาคาร คสล. ที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันนี้กว่าร้อยละ 80 เป็นชนิดที่หล่อกับที่ ที่เห็นกันอยู่ทั่วไป เช่น ทำรากฐาน พื้น คาน และเสาของอาคาร เป็นต้น อีกแบบหนึ่งคือคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งอาจมีทั้งคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบธรรมดา และคอนกรีตหล่อสำเร็จแบบอัดแรง แบบนี้หล่อสำเร็จจากที่อื่นแล้วนำมาประกอบในโครงงาน เช่นระบบพื้นสำเร็จรูป พื้นสะพาน เสาเข็มคอนกรีต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 1.3 แสดงส่วนประกอบของโครงอาคารคอนกรีตเหล็กทั่วไป ซึ่งจะเห็นว่าประกอบด้วยส่วนของอาคารดังต่อไปนี้

1. แผ่นพื้น คสส. ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกจรแล้วถ่ายน้ำหนักให้กับคานชอย ที่รองรับ แผ่นพื้น คสส. อาจเป็นแบบเสริมเหล็กทางเดียวหรือเสริมเหล็กสองทางที่มีคานรองรับ หรือเป็นแผ่นพื้นแบบไม่มีคานรองรับ ซึ่งเรียกว่าแผ่นพื้นไร้คาน แผ่นพื้นแบบนี้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกให้กับเสาโดยตรง

2. คานชอย ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากพื้น แล้วถ่ายน้ำหนักให้กับคานใหญ่อีกทีหนึ่ง อาจมีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือรูปตัวที

3. คานใหญ่ (Girder) ใช้รับน้ำหนักที่ถ่ายมาจากคานชอยอีกที่หนึ่ง โดยมีลักษณะที่กระทำเป็นจุด อาจมีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือรูปตัวทีเช่นเดียวกับคานชอย คานใหญ่นี้จะถ่ายน้ำหนักไปยังเสา คสส.

4. เสาและตอม่อ คสส. ทำหน้าที่รับน้ำหนักที่ถ่ายจากคานใหญ่ และคานคอดิน แล้วถ่ายน้ำหนักต่อไปยังฐานราก คสส. อาจมีรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปตัดกลม เป็นเสาปลอกเดี่ยวหรือปลอกเดียว

5. ฐานราก คสส. ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักไปยังชั้นดินที่รองรับในลักษณะฐานแผ่หรือฐานรากแบบมีเสาเข็ม

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อตามเหล็กเสริม

โดยปกติจะไม่ยอมให้มีการต่อเหล็กเสริม นอกจากที่ได้แสดงไว้ในแบบหรือได้ระบุไว้ การต่อเหล็กเสริมนี้อาจต่อโดยวิธีทาบ วิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆก็ได้ ที่ให้มีการถ่ายแรงได้เต็มที่ ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กเสริม ณ จุดที่เกิดหน่วยแรงสูงสุดเท่าที่จะทำได้และไม่ควรจะใช้วิธีต่อทาบกับเหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 มม.

การต่อเหล็กเสริมรับแรงดึง ความยาวของเหล็กข้ออ้อยที่นำมาต่อทาบกันจะต้องไม่น้อยกว่า 26,35 และ 43 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคลาก 3000,4000 และ 5000 กก./ซม.$^2$ ตามลำดับ หรือไม่น้อยกว่า 30 ซม. สำหรับเหล็กกลมผิวเรียบใช้ระยะทาบเป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

การต่อเหล็กเสริมรับแรงอัด สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 กก./ซม.$^2$ หรือสูงกว่านี้ ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยจะต้องไม่น้อยกว่า 17,23 และ 29 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคลากเท่ากับ 3000 หรือน้อยกว่า และค่า 4000 กับ 5000 กก./ซม$^2$ ตามลำดับ และต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กก./ซม.$^2$ ระยะทาบจะต้องเพิ่มอีก 1 ใน 3 ของค่าข้างต้น สำหรับเหล็กกลมผิวเรียบใช้ระยะทาบอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

แรงยึดเหนี่ยวและการยึด

แรงยึดเหนี่ยวประลัย

ในโครงสร้างรับแรงดัด ซึ่งมีเหล็กเสริมรับแรงดึงขนานกับแรวดึงขนานกับผิวที่รับแรงอัด หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต ที่หน้าตัดใดๆ จะหาได้จากสูตร

$$u_u = \frac{V_u}{\Sigma O j d} \quad \text{หรือ} \quad V_u = u_u \Sigma O j d$$

ในที่นี้ $V_u$ = ค่าแรงเฉือนประลัย

$\Sigma O$ = ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

jd = ระยะระหว่างศูนย์ถ่วงของแรงอัดกับศูนย์ถ่วงแรงดึง(ประมาณ 0.875d ถึง 0.900d)

ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ค่าแรงเฉือนใช้งานเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวมีค่าเท่ากับ

$$V_u = \phi U_u \Sigma O jd$$

หรือหน่วยแรงยึดเหนี่ยวอันเนื่องจากแรงเฉือนประลัย $V_u$ ในคานอันเกิดจากแรงตัด

$$U_u = \frac{V_u}{\phi \Sigma O jd}$$

หน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงยึดเหนี่ยวในคาน เนื่องจากแรงดันจะอยู่ตรงที่หน้าตัดที่มีอัตราการเปลี่ยนโมเมนต์ดัดมากที่สุด และจำนวนเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมดน้อยที่สุดหน้าตัดนั้นๆ ได้แก่ ตรงขอบของที่รองรับ หรือ จุดซึ่งเหล็กรับแรงดึงสิ้นสุดในช่วงนั้นๆ และหรือที่จุดดัดกลับเหล็กคอม้า ที่วางห่างกันไม่เกิน d/3 จากระดับของเหล็กเสริมเหล็กตามแนวยาวจะนับรวมเข้าไว้ในการคำนวณหา $\Sigma O$ ด้วย หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะเกิดทั้งที่ผิวของเหล็กเสริมรับแรงอัดและเหล็กเสริมรับแรงดึง แต่โดยปกติส่นที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเหล็กรับแรงอัดมีค่าน้อยมาก ซึ่งไม่จำเป็นที่จะมาคำนวณออกแบบ

แรงยึดเหนี่ยาประลัยที่ยอมให้

ตารางต่อไปนี้ แสดงค่าแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้ $U_u$ ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. โดยที่ $f'_c$ เป็นกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก และ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมสำหรับเหล็กกลมผิวเรียบ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ยอมให้ จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของค่าที่ให้ไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 305 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.24-2516 แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินกว่า 11 กก./ซม.$^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ชนิดของเหล็ก | หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ทำให้ กก./ซม.$^2$ |
|---|---|
| เหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 305 หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 24-2516 : | |
| เหล็กบน*..... | $\frac{4.15\sqrt{f'_c}}{D} <= 39.4$ |
| เหล็กอื่นๆ นอกเหนือจากเหล็กบน..... | $\frac{6.39\sqrt{f'_c}}{D} <= 50.2$ |
| เหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 408 หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 24-2516 : | |
| เหล็กบน*..... | $1.11\sqrt{f'_c}$ |
| เหล็กอื่นๆนอกเหนือจากเหล็กบน..... | $1.59\sqrt{f'_c}$ |
| เหล็กข้ออ้อยรับแรงอัดทั้งหมด..... | $3.44\sqrt{f'_c} <= 56.2$ |

* เหล็กบน ถ้าเกี่ยวกับแรงยึดเหนี่ยว หมายถึง เหล็กเส้นตามแนวราบที่มีคอนกรีตหล่ออยู่ใต้เหล็กเส้นนั้นเกินกว่า 30 ซม. ขึ้นไป

มาตรฐาน ว.ส.ท.ยังกำหนดด้วยว่า หน่วยแรงยึดเหนี่ยวอันเกิดจากแรงดัดไม่จำเป็นต้องนำมาคิด ถ้าแรงยึดเหนี่ยวในเหล็กรับแรงอัดหรือในเหล็กรับแรงดึง ซึ่งเกิดแรงยึดเหนี่ยวของที่ยึดมีค่าน้อยกว่า 0.8 ของค่าที่ยอมให้ตามตารางดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวยึดรั้ง

การยึดเหนี่ยวอาจจะคิดอยู่ในเทอมของความยาวของเหล็กที่ฝังในคอนกรีต ซึ่งจะทำให้เกิดหน่ายแรงดึง หรือแรงอัดในเหล็กเสริมนั้นตามต้องการ ความยาวนี้จะหาได้จากสมการ

$$L_d = \frac{A_s f_s}{U_u \Sigma O}$$

ในที่นี้ $A_s$ = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

$f_s$ = หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม

$U_u$ = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประลัย

$\Sigma O$ = เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม

ในกรณีซึ่งมีที่จำกัด ไม่สามารถจะใช้ความยาวยึดรั้งได้เต็มที่ตามต้องการ อาจใช้วิธีทำของอที่ปลายเหล็กแทนได้

พิกัด

พิกัดควบคุมรอยแตกร้าว

จากการทดลองเกี่ยวกับรอยแตกร้าวของเนื้อคอนกรีตที่ขอบรับแรงดึงของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่า

1. ถ้าใช้เหล็กข้ออ้อย ความกว้างของรอยแตกร้าวของเนื้อคอนกรีตจะลดลง
2. ความกว้างของรอยแตกร้าวจะเป็นสัดส่วนกับหน่วยแรงในเหล็กเสริม
3. ความกว้างของรอยแตกร้าว เนื่องจากแรงดันจะลดลงถ้าวางเหล็กเสริมรับแรงดึงเรียงแผ่อย่างสม่ำเสมอในบริเวณที่เนื้อคอนกรีตรับแรงดึงสูงสุด
4. ความกว้างของรอยแตกร้าวที่ผิวของคอนกรีต จะเป็นสัดส่วนกับระยะหุ้มของคอนกรีตที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อ 3 และ 4 จะเห็นว่าการใช้เหล็กเสริมเส้นเล็กๆ จำนวนมาก วางเรียงแผ่สม่ำเสมอในบริเวณคอนกรีตรับแรงดึง จะได้ผลในการลดความกว้างของรอยแตกร้าวของเนื้อคอนกรีตได้ดีกว่าการใช้เหล็กเสริมเส้นใหญ่จำนวยน้อย โดยมีพื้นที่หน้าตัดรวมเท่ากัน

ความกว้างของรอยแตกร้าวมากที่สุดอาจจะคำนวณได้โดยอาศัยสูตรชื่อ Kaar และ Mattovk ได้ให้ไว้ดังนี้

$$W_{max} = 2.6183 \sqrt[4]{A} \quad f_s \times 10^{-6} \text{ ซม.}$$

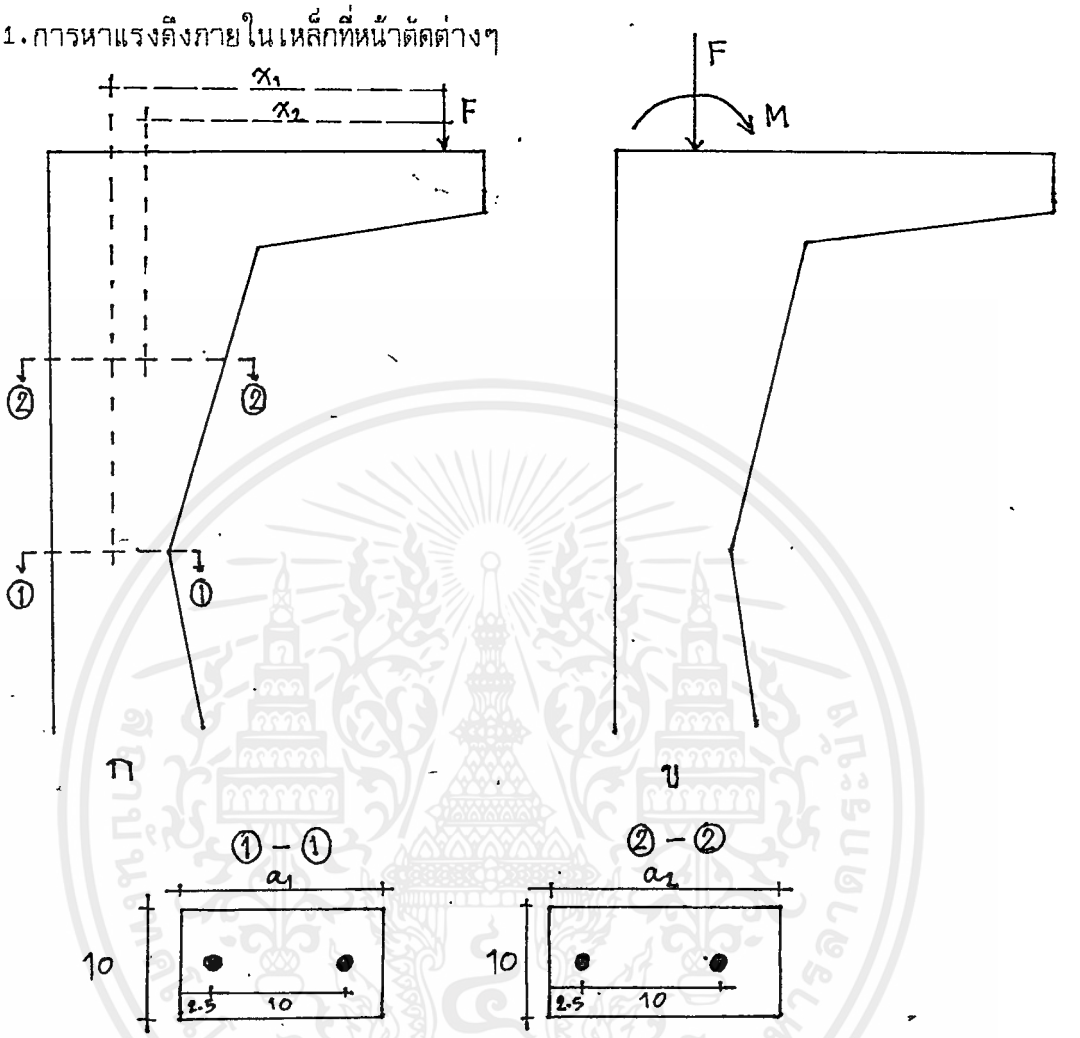
ในที่นี้ $f_s$ เป็นหน่วยแรงในเหล็กเส้นอันเนื่องจากน้ำหนักที่ต้องการหาความกว้างของรอยแตกร้าว และ A เป็นเนื้อที่ของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมหนึ่งเส้นซึ่งจะหาได้จากหารเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีตด้วยจำนวนเหล็กเสริม เนื้อที่ประสิทธิผลของคอนกรีตที่กล่าวนี้คือ เนื้อที่ของคอนกรีตรอบเหล็กเสริม และมีจุดศูนย์ถ่วงอันเดียวกันกับจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมทั้งหมด

ในการควบคุมระยะแตกร้าว มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ใช้เหล็กเสริมต่างๆ เป็นเหล็กข้ออ้อยเท่านั้น สำหรับเหล็กเส้นกลมจะใช้เป็นเหล็กเสริมกันร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิหรือเป็นเหล็กปลอกเกลียวหรือปลอกเดี่ยวสำหรับเสาได้ และเหล็กเสริมรับแรงดึง จะต้องวางเรียงแผ่อย่างสม่ำเสมอในบริเวณที่เนื้อคอนกรีตรับแรงดึงสูงสุดและในปีกของคานรูปตัว T นอกจากนี้ยังบ่งด้วยว่า กำลังจุดคลาก $f_y$ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึงจะต้องไม่เกิน 4200 กก./ซม.$^2$ เว้นแต่ในกรณีที่ทำการทดลองส่วนอาคารขนาดเท่าของจริงแล้ว ปรากฏว่าความกว้างของรอยแตกร้าวเฉลี่ย ของเนื้อคอนกรีตที่ขอบรับแรงสูงสุดเมื่อรับน้ำหนักสูงสุดเมื่อรับน้ำหนักบริการ มีค่าไม่เกิน 0.04 ซม. สำหรับคานภายใน และ 0.025 ซม. สำหรับคานภายนอก ข้อกำหนดในตอนหลังนี้เป็นพิกัดควบคุมระยะแตกร้าวในคาน

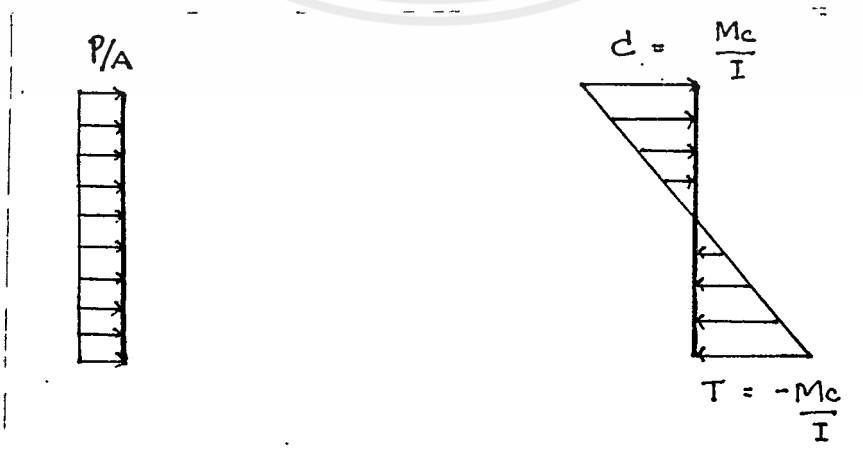
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและรายการคำนวณสนับสนุนสมมติฐาน

1. การหาแรงดึงภายในเหล็กที่หน้าตัดต่างๆ




จากแรงกระทำ F ดังรูป ก. เราใช้ทฤษฎีการย้ายแรงและการเกิดโมเมนต์ ได้แรงตามแนวแกน F และเกิดโมเมนต์ M ตามรูป ข. พิจารณาการเกิดความเค้นที่หน้าตัดที่พิจารณา




แรงอัดเนื่องจากแรงตามแนวแกน แรงอัดและแรงดึงเนื่องจากโมเมนต์ดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาระยะทาบที่สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้

จาก

$$U \times \pi D \times Ld = T$$

$$Ld = \frac{T}{U\pi D}$$

เมื่อ U เป็นแรงยึดเหนียวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต

D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก

Ld เป็นความยาวยึดรั้ง

T เป็นแรงดึงที่เกิดในเหล็ก

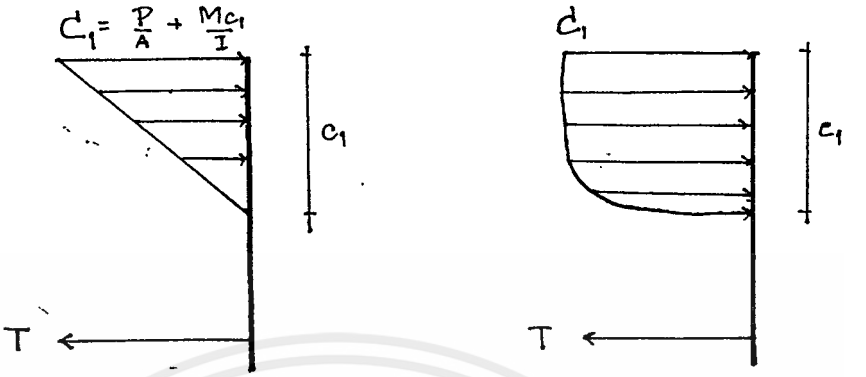
ค่า U ที่ใช้เป็นค่าแรงยึดเหนี่ยวประลัยที่ได้จากตารางที่ 11.1 หน้า 294 จากหนังสืออ้างอิงเล่มที่ 2

โดยค่าที่เลือกใช้

$$U \text{ ต้องไม่เกิน } 11.1\sqrt{fc'}$$

โดยที่ fc' เป็นค่ากำลังประลัยของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




คิดดด้วยวิธี Elastic คิดด้วยวิธี Ultimate

จากรูป เมื่อเราเสริมเหล็กรับแรงดั้งและเหล็กรับแรงอัดเข้าไป ในหน้าตัดส่วนรับแรงอัดจะมีทั้งเหล็กและคอนกรีตช่วยรับแรงอัด แต่เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมมีแรงอัดน้อยมาก และกำลังรับรับแรงอัดของเหล็กจะรับได้มากที่สุดเมื่อคอนกรีตมีหน่วยการหดตัวมากที่สุด ซึ่งก็คือ 0.003 ซึ่งเหล็กกับคอนกรีตจะต้องมีการหดตัวเท่ากัน และเมื่อนำค่านำค่าการหดตัวไปหากำลังของเหล็ก จะได้ค่าน้อยเทียบเท่ากับคอนกรีต ดังนั้นจึงให้สมมติว่า เนื้อที่หน้าตัดรับแรงอัดมีคอนกรีตรับเพียงอย่างเดียว ส่วนหน้าตัดรับแรงดึงก็จะให้เหล็กรับอย่างเดียว

จาก $Cn = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I}$

ค่า I ที่ใช้จะได้จากหน้าตัดรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว เพราะเราสมมติให้หน้าตัดรับแรงดึงมีเหล็กรับอย่างเดียว ดังนั้นเราจะคำนวณค่า C ออกมาได้ แล้วเราก็จะทราบแรงดึงที่เกิดขึ้น จากสมการสมดุลย์ของแรง

$$T = C = C_1 * c_1$$

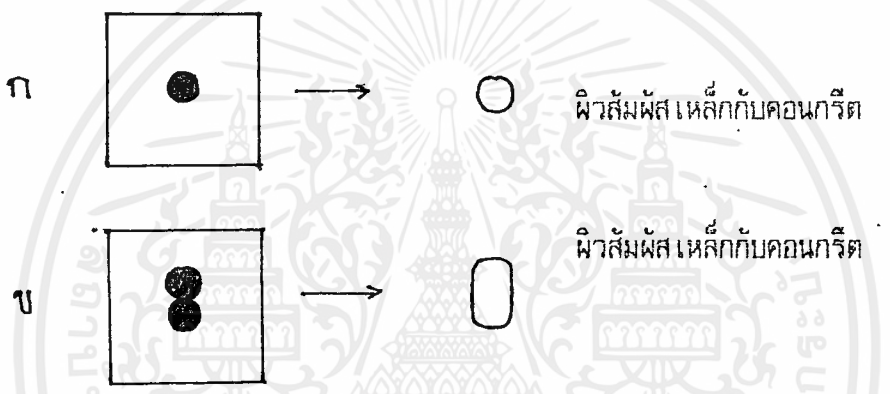
เมื่อได้ T นำไปคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดรับแรงดึงจะได้แรงที่เหล็กเสริมจะได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่สามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ว่า ในการ Failure ของโครงสร้างที่มีการต่อทาบเหล็ก แทนที่จะเกิดการ Failure ที่ตรงกลางโครงสร้างซึ่งเป็นส่วนที่มีหน้าตัดเล็กสุด แต่กลับเกิดที่บริเวณสิ้นสุดการต่อทาบ ซึ่งมีหน้าตัดขนาดพ้นอยู่กว่าได้แก่

$$T = U\Sigma OLd$$

พิจารณาหน้าตัดเหล็กฏ 2 หน้าตัด




จากรูป ก. ที่สิ้นสุดระยะทาบเหล็กจะเหลือเส้นเดียว

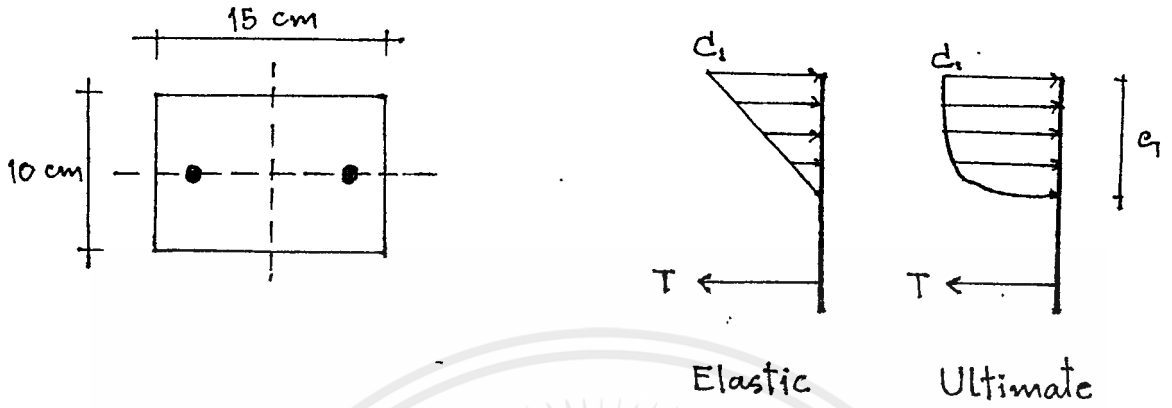
จากรูป ข. ที่กึ่งกลางโครงสร้างที่มีการทาบเหล็ก เราจะพบหน้าตัดเหล็กมีสองเส้น แต่ในการคิดผิวสัมผัสระหว่างเหล็กกับคอนกรีต เราไม่สามารถคิดเป็นสองเท่าของเหล็กเส้นเดียวได้ เนื่องจากระยะที่เหล็กชนกันอยู่คอนกรีตจะเข้าไปไม่ถึง จะมีเฉพาะน้ำปูนเท่านั้น ดังนั้นการหาผิวสัมผัสของเหล็กต่อทาบ เราอนุโลมให้ใช้ผิวสัมผัสดังรูป ข.

จากสัมการที่กล่าวมา หาก Ld เพียงพอ ค่า U มีค่าเท่ากัน ดังนั้นกำลังแรงดึง T จึงขึ้นอยู่กับ $\Sigma O$ จะเห็นว่าเมื่อเหล็กต่อทาบจะมี $\Sigma O$ มากกว่า เมื่อสิ้นสุดระยะทาบการ Fialure จึงเกิดขึ้นบริเวณสิ้นสุดระยะการต่อทาบก่อนที่จะ Fialure ตรงกึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการหาแรงดึงในการเสริมเหล็กที่ไม่ได้ต่อทาบ

ตำแหน่งที่เกิดการ failure คือตรงหน้าที่เล็กที่สุดดังรูป




จากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด $= \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I}$

โดยที่ $P = 830$ kg.

$A = 10 * 15 = 150$ $cm^2$

$M = 830 * 57.5 = 47725$ kg.cm

$c = 15/2 = 7.5$ cm

$I = \frac{bh^3}{12} = 2812.5$ $cm^4$

หน่วยแรงมากที่สุดที่เกิดขึ้น $= \frac{830}{150} + \frac{47725 * 7.5}{2812.5}$

$= 5.53 + 127.27$

$f_c = 132.8$ ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด

$$= C_1 * c_1$$

$$C = 132.8 * 7.5$$

$$= 996 \text{ ksc.}$$

แรง T ที่เกิดขึ้น $= C * As$

$$= 996 * 1.13$$

$$= 1125.5 \text{ kg.}$$

หาระยะทาบเหล็กที่เหมาะสมที่ทำให้เหลล็กสามารถทนแรงดึงได้โดยไม่เกิดการ Slip คือ ระยะ Ld

จาก $Ld = \frac{T}{U\pi D}$

โดยที่ $U = 1.11\sqrt{fc'}$

$$= 1.11\sqrt{261.67}$$

$$= 17.8 \text{ ksc.}$$

$$Ld = \frac{1125.5}{17.8*\pi D}$$

$$= 16.77 \text{ cm Ans}$$

จะเห็นว่า ถ้าต้องการต่อทาบเหล็กเพื่อให้ได้รับแรงดึงตามที่ต้องการ โดยที่เหล็กจะไม่ Slip เพราะแรงนี้ จะต้องเสริมเหล็กมากกว่า 16.77 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2

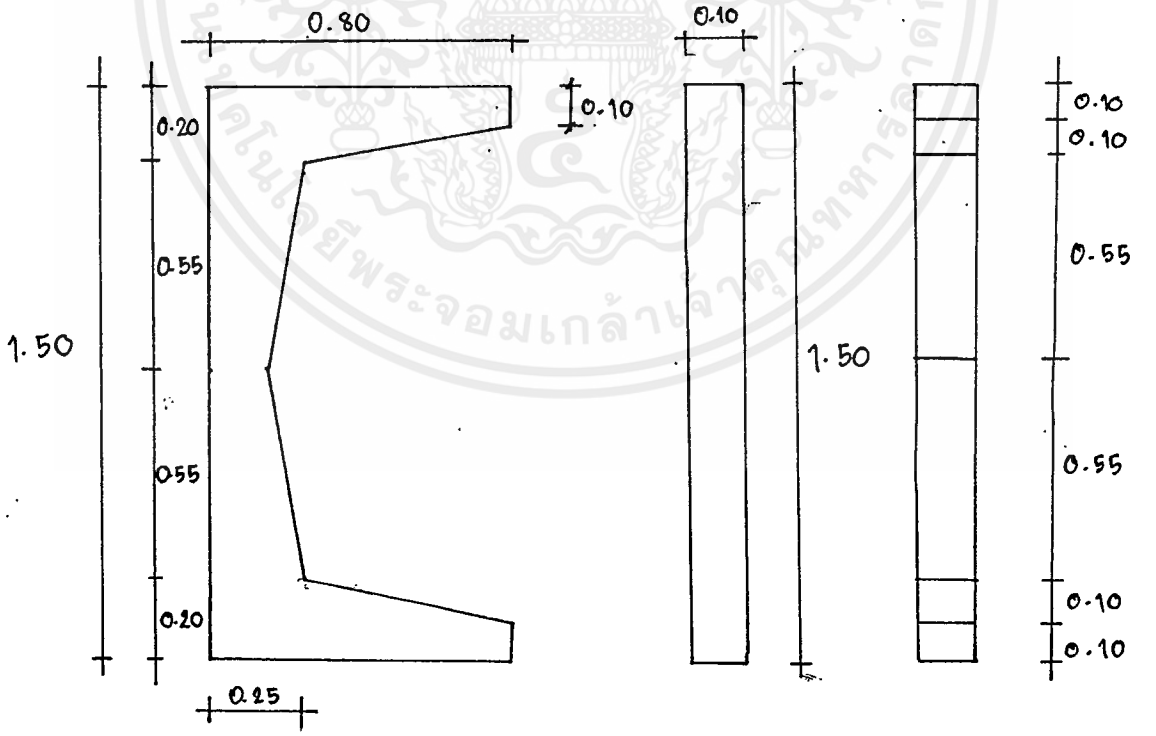
## วิธีการและขั้นตอนการทดลอง

ขั้นที่ 1 ขั้นศึกษารูปแบบ

1. ศึกษารูปแบบของชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้นักศึกษาได้ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา และได้ตกลงที่จะออกแบบชิ้นงานเป็นโครงสร้างรับแรงดึงซึ่งเกิดขึ้นจากสภาพงานจริง ๆ ซึ่งในโครงสร้างทั่วไป โครงสร้างเกือบทุกส่วนมีโอกาสได้รับแรงดึง ดังที่ได้กล่าวให้ทราบแล้ว ดังนั้นนักศึกษาได้ตัดสินใจเลือกใช้การออกแบบเป็นเสารับแรงดึง เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับแรงดึง โดยเหล็กที่เสริมในเสาจะมีทั้งเหล็กเส้นเดียวที่ไม่ได้ต่อกับเหล็กสองเส้นนำมาต่อกันโดยใช้ลวดผูกเหล็กโดยมีระยะทาบที่ต่าง ๆ กันเพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดกับเหล็กและคอนกรีต เมื่อได้รับแรงตามที่ออกแบบมา

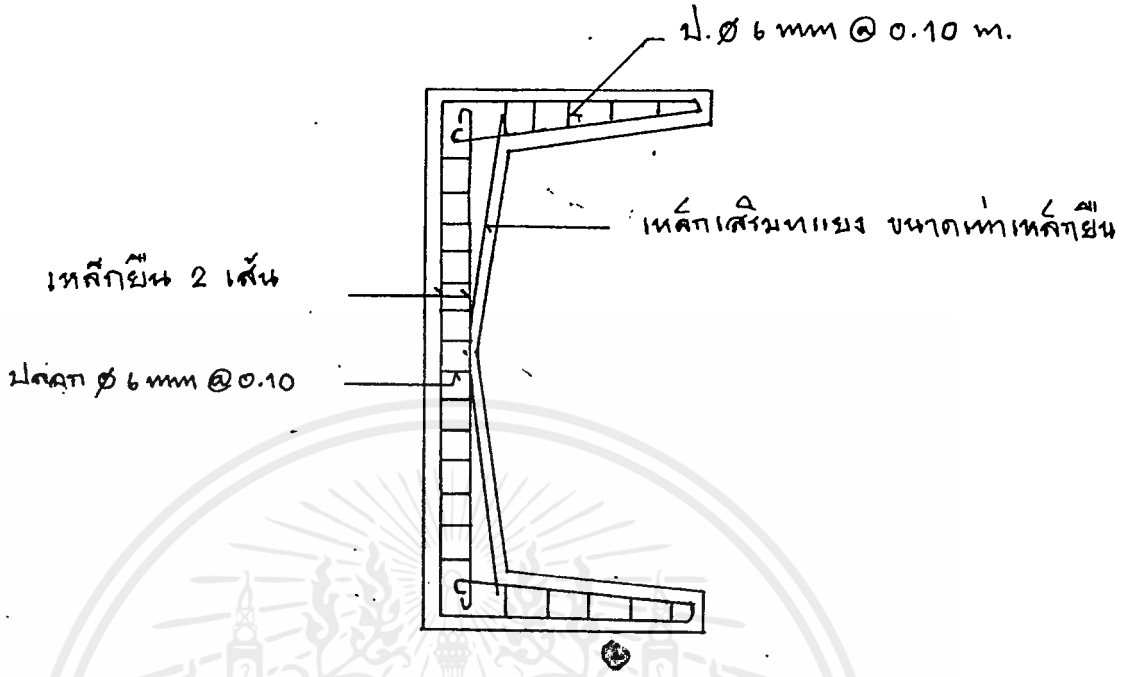
จากการศึกษาหาตามหลักการของ Structural Design โดยอาศัยหลักการของ Shear Diagram และMoment Diagram รวมทั้งหลักการและทฤษฎีตามหลักการของการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จนได้รูปแบบออกมาดังรูป




รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสริมเหล็ก

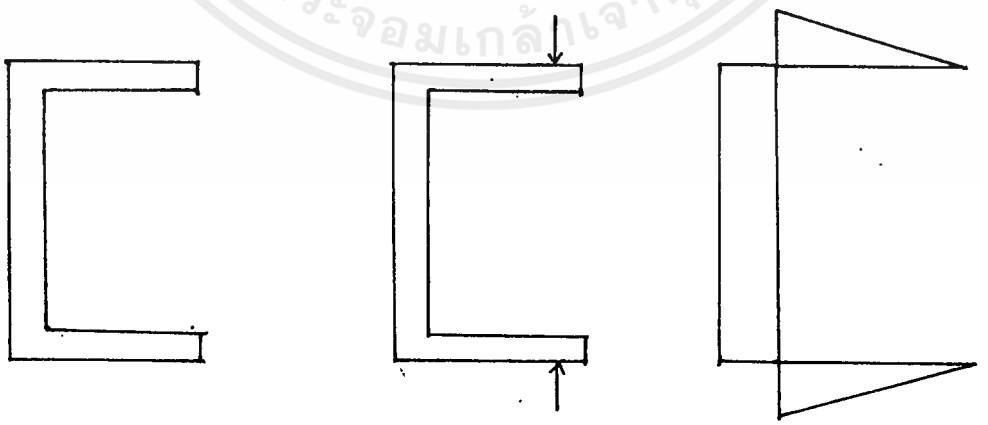



รูปที่ 2.2 แสดงการเสริมเหล็ก

เหตุผลและหลักในการเลือกรูปแบบและการเสริมเหล็ก

1. ในการเลือกรูปแบบดังกล่าว เพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ กล่าวคือ เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อเสริมเหล็กต่อทาบเป็นระยะต่าง ๆ ที่ช่วงกลางของเสา

2. ในลักษณะของเสามีคานยื่นทั้งสองด้านโดยทั่วไป จะมีลักษณะดังรูป ก. เมื่อปลายคานทั้งสองด้านรับแรงกระทำดังรูป ข. และเสาจะได้รับโมเมนต์ดังรูป ค.



รูปที่ 2.3 แสดงแนวแรง และผังโมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเกิดโมเมนต์ลักษณะดังรูป บริเวณที่จะเกิดการ fail ได้มากที่สุดคือบริเวณที่รับโมเมนต์มากที่สุด ดังนั้นในส่วนของคานยื่นทั้งสองด้านจึงได้ออกแบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อป้องกันการหักและการพังก่อนที่เสาจะได้รับการถ่ายโมเมนต์

ในส่วนของเสาถ้าออกแบบตามรูป ก. เสาทุกส่วนรับโมเมนต์ดัดเท่ากันทั้งต้น ดังนั้นเสาทุกส่วนมีโอกาสที่จะหักได้เท่า ๆ กัน แต่เนื่องจากต้องการที่จะศึกษาพฤติกรรมการเสริมเหล็กที่ช่วงกลางของเสา จึงออกแบบให้ช่วงกลางเสามีขนาดเล็กที่สุด

3. การกำหนดความสูงของเสาเป็น 1.50 เมตร โดยอาศัยหลักการและการให้คำปรึกษาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่ว่า ระยะของการเสริมเหล็กในเสาไม่ควรเกิน 1/3 ของความสูงของเสา

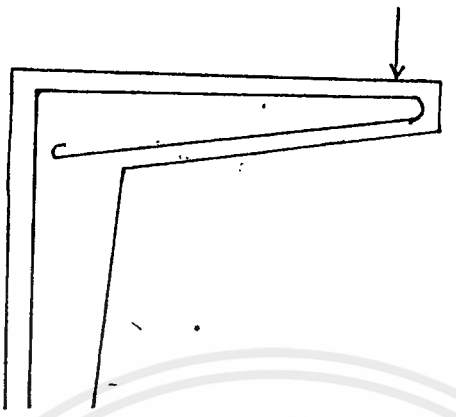
4. การกำหนดความยาวของคานยื่นเป็น 0.80 เมตร เพื่อต้องการให้เกิดโมเมนต์ดัดกระทำกับเสาให้ได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า เมื่อคานยื่นยาวออกไปมากเท่าใดในลักษณะมีแรงกระทำดังกล่าว ก็ยิ่งจะเกิดโมเมนต์ดัดกับเสามากขึ้นเท่านั้น แต่ความยาวของคานยื่นก็ต้องมีจำกัด เพื่อให้เสาสามารถรับได้

5. การเสริมเหล็กในคอนกรีต

5.1 การวางเหล็กยืนเป็นเหล็กข้ออ้อย 2 เส้น ซึ่งไม่ถูกต้องตามลักษณะของเสาที่ได้กำหนดไว้ดังที่กล่าวมาแล้ว สืบเนื่องมาจากวัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ ความยากง่ายของการทดสอบ ความยากง่ายของการปฏิบัติ และต้นทุนในการทำโครงงานพิเศษกล่าวคือ หากวางเหล็กยืน 4 เส้น เสาจะต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นมีความแข็งแรงมากขึ้น การทดสอบจะต้องใช้เครื่องมือที่มีความแข็งแรง ทนทานและขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงเพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ แต่ในขณะเดียวกันหากจำลองเสาให้มีขนาดเล็กลงใช้เหล็กยืนเพียง 2 เส้น โดยเหล็กยืนทั้งสองถูกแรงกระทำเหมือนกับเหล็กยืน 4 เส้น และสามารถศึกษาพฤติรรมได้ตามวัตถุประสงค์แล้วก็จะสามารถทำให้ทุ่นทั้งเวลา แรงงานและค่าใช้จ่ายลงได้

5.2 การใช้เหล็กยืนของเสาที่รับแรงดึง เป็นเส้นเดียวกันกับเหล็กบนของคานยื่น ดังรูปขยาย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหล็กยืนในเสา ได้รับแรงดึงเต็มที่ตามวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงภาพขยายการเสริมเหล็ก

5.3 การวางเหล็กเสริมพิเศษวางทแยงบริเวณหูช้างรับคานยื่นมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการแตกร้างของคอนกรีตบริเวณหูช้างก่อนการแตกร้าวบริเวณกึ่งกลางเสา

5.4 การใส่เหล็กปลอกเดียวในเสา มีวัตถุประสงค์เพื่อยึดระหว่างเหล็กยืนทั้งสองเส้น และเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานจริงเพื่อให้ได้ผลการทดลองตรงกับสภาพจริง ๆ ส่วนการใส่เหล็กปลอกในคานเพื่อใช้รับแรงเฉือนที่เกิดจากแรงกระทำกับคาน

5.5 ระยะทาบของเหล็กเสริม จะอยู่ระหว่างช่วงกึ่งกลางเสามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมและผลกระทบของเหล็กต่อทาบที่มีต่อคอนกรีตเมื่อต่อทาบเป็นระยะต่าง ๆ และเพื่อเป็นการบังคับให้การแตกร้าวของคอนกรีตมีผลเนื่องมาจากเหล็กเสริมที่มีการต่อทาบเป็นระยะต่าง ๆ จึงออกแบบให้ตรงกึ่งกลางเสามีขนาดเล็กที่สุด

6. การกำหนดความหนาของเสาไว้เป็น 10 cm เพื่อให้ได้ Covering ตามต้องการและเป็นการประหยัดการคอนกรีต ส่วนความกว้างของเสาที่กึ่งกลางเสากำหนดเป็น 15 cm เพื่อให้ได้ Covering ที่เหมาะสมและระยะการวางเหล็กที่เหมาะสม อีกทั้งหากกำหนดเสากว้างมากเกินไป เมื่อเสารับโมเมนต์ดัดเสาอาจจะเกิดการบิดได้

<u>ขั้นที่ 2</u> จัดหาวัสดุและอุปกรณ์

1. คำนวณหาปริมาณวัสดุที่ใช้ในโครงงานพิเศษ ว่าวัสดุแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณเท่าใด รวมทั้งประมาณราคาว่าจะต้องใช้จ่ายไปเท่าใด และกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

2. สั่งซื้อวัสดุที่จะต้องใช้ และเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่นำเอาวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ มาประกอบกันเพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมาตามต้องการ โดยมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

1. เตรียมแบบหล่อคอนกรีตในโครงงานนี้ ชิ้นงานทุกชิ้นจะมีรูปแบบภายนอกเหมือนกันทุกประการและต้องหล่อคอนกรีตในปริมาณที่มาก ดังนั้นจึงเลือกใช้แบบเหล็ก เนื่องจากสามารถใช้ได้หลายครั้งและถอดประกอบง่ายกว่าแบบไม้ซึ่งการทำแบบหล่อนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล งเปิดให้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำแบบ อีกทั้งยังให้ยืมเครื่องเชื่อมพร้อมอุปกรณ์ ลักษณะของแบบหล่อเหล็กที่ทำขึ้นสามารถดูได้จากรายการภาพประกอบท้ายโครงงานพิเศษ

2. เตรียมเหล็กที่ใช้ในการเสริมคอนกรีต ในขั้นนี้จะต้องดัดและตัดเหล็กให้ได้รูปแบบตามต้องการ ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ละเอียด และต้องกอาศัยความรอบคอบ เนื่องจากการตัดเหล็กและดัดเหล็กให้ได้รูปตามต้องการจะต้องจัดให้แน่นอน เพื่อให้ได้ระยะทาบที่เป็นจริงและเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ในขั้นตอนนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการทำค่อนข้างมาก เนื่องจากเกิดความลำบากในการตัดเหล็ก เพราะต้องตัดด้วยมือและเหล็กมีขนาดค่อนข้างใหญ่

3. การเข้าแบบเพื่อเทคอนกรีต ขั้นตอนนี้ต้องกินเวลามาก และจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะการเข้าแบบจะต้องคำนึงถึงระยะ Covering ที่คอนกรีตจะหุ้มเหล็ก อีกทั้งในการใส่ปลอกจะเกิดความยุ่งยาก เนื่องจากปลอกแต่ละตัวมีขนาดไม่เท่ากัน อีกทั้งหากการตัดเหล็กผิดพลาดได้ระยะหุ้มไม่ดีจะต้องตัดใหม่ ซึ่งสิ้นเปลืองเวลามากไปอีก และที่สำคัญที่สุดในขั้นตอนนี้ก็คือ การวางทาบเหล็กยืนจะต้องให้ได้ตามที่ออกแบบโดยไม่มีความผิดพลาด ซึ่งจะเห็นว่าในการเข้าแบบแต่ละวิธีการ ล้วนต้องอาศัยความชำนาญและความอดทนในการทำงาน เพื่อให้ได้รูปแบบที่สมบูรณ์มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการป้องกัน แต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง เป็นต้นว่าในบางจุด Covering ไม่ได้ระยะตามที่ต้องการ หรือบางจุดการผูกเหล็กด้วยลวดอาจจะเกิดการหลวม ซึ่งก็ต้องยอมให้เกิดขึ้นบ้าง เพราะไม่สามารถที่จะทำให้สมบูรณ์ ได้ถึง 100 % แต่ก็ต้องพยายาม ให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด และในขั้นตอนนี้ยังรวมไปถึงการแขวนเหล็กในแบบ เพื่อให้เหล็กลอยอยู่ตรงกึ่งกลางและไม่เกิดการโยก ในขณะเทคอนกรีต เมื่อเข้าแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องจดบันทึกไว้ เพื่อให้ทราบว่า แบบที่ทำเสร็จใช้ระยะทาบเท่าใด เป็นเหล็กชนิดไหน เพื่อให้แก่การจดจำ จากนั้นก็ยกแบบ พร้อมเหล็กที่เสริมอยู่ภายใน ไปวางยังที่หล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเตรียมสถานที่หล่อคอนกรีตและการทาแบบ เนื่องจากแบบหล่อแต่ละตัวมีขนาดใหญ่ และต้องหล่อในปริมาณมากตัว สถานที่วางแบบหล่อทั่วไป ในโรงปฏิบัติงานมีจำกัด อีกทั้ง ไม้รองแบบหล่อคอนกรีตมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมสถานที่และหาวัสดุรองแบบหล่อ ซึ่งในการทดลองนี้ การงางบนพื้นสำเร็จรูปที่มีการทดสอบแล้ว โดยมีการใช้ผ้าพลาสติกรองแบบ เพื่อไม่ให้คอนกรีตใหม่ติดกับคอนกรีตเดิมและในขั้นตอนนี้ จะต้องใช้น้ำมันทาแบบเพื่อไม่ให้คอนกรีตติดแบบ และการรื้อถอนจะง่ายขึ้น โดยการน้ำมันทาแบบ จะต้องระมัดระวังไม่ให้น้ำมันถูกกับเหล็กเสริม เพื่อป้องกันเหล็กกับคอนกรีตเกาะกัน และเพื่อป้องกันการลอยตัวของแบบ จะต้องมีการหาน้ำหนักมากดทับแบบเอาไว้ ซึ่งในช่วงการออกแบบแบบเหล็ก ได้จัดทำที่วางน้ำหนักเอาไว้แล้ว

5. การผสมคอนกรีตและการเทลงในแบบ ขั้นตอนนี้ได้แก่การนำวัสดุผสมคอนกรีตมาผสมรวมกันตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดและออกแบบไว้ คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1:2:4 โดยใช้ Water Cement ratio เท่ากับ 0.6 การผสมจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า โม่ผสมคอนกรีต และในการผสมแต่ละโม่ จะใช้ปูนซีเมนต์ 50 กิโลกรัม (1 ถุง) ทราย 100 กิโลกรัม หิน 200 กิโลกรัมและน้ำ 30 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างดี ในขั้นตอนนี้อาจจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้เล็กน้อยในเรื่องส่วนผสม เนื่องจากในการผสมแต่ละครั้ง วัสดุผสมและสภาพอากาศไม่เหมือนกัน เช่น ในบางครั้งหินและทราย อาจจะมีความชื้นมาก หรือแห้งเกินไป เมื่อผสมคลุกเคล้ากันดีแล้ว ก็เทคอนกรีตออกจากโม่ แล้วนำไปเทลงในแบบที่เตรียมไว้ ในการเทลงในแบบจะต้องค่อย ๆ เท โดยเททีละน้อย และต้องมีคนคอยกระทุ้งตลอดเวลา เพื่อให้คอนกรีตเข้าเต็มแบบ โดยไม่มีช่องว่างหรือช่องอากาศแต่ในการกระทุ้งต้องระวังไม่ให้ถูกเหล็กเสริม เมื่อเทจนเต็มแล้ว จะต้องปาดผิวหน้าให้เรียบและสม่ำเสมอ

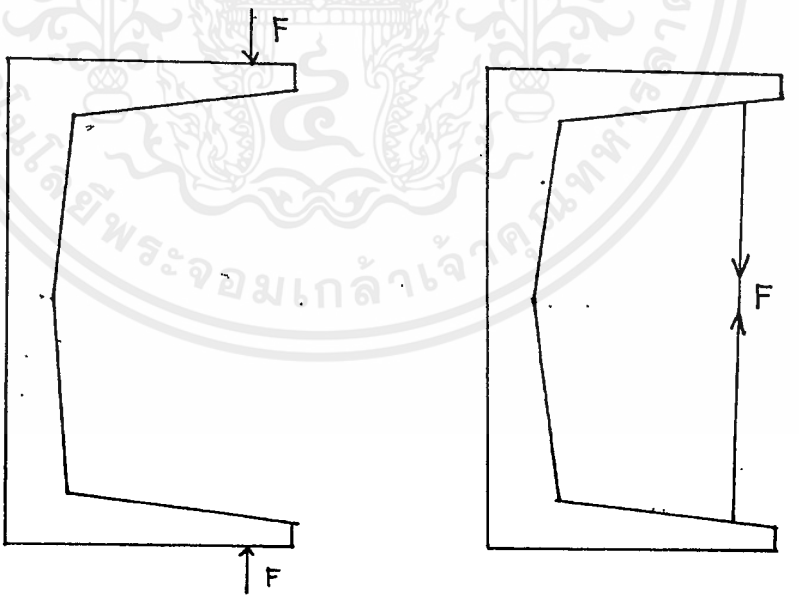
6. การเก็บลูกปูนและการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต ในการผสมทุกครั้งเมื่อเทคอนกรีตออกจากโม่ จะต้องมีการทดสอบหาค่าการยุบตัว (Slump) เพื่อดูความข้นเหลว และจะต้องมีการเก็บลูกปูนไว้เพื่อทดสอบหากำลังของคอนกรีตอย่างน้อยโม่ละ 1 ลูก การเก็บลูกปูนจะต้องนำลูกปูนไปบ่มในน้ำ หลังจากเวลา 1 วันที่อยู่ในแบบ การบ่มลูกปูนจะบ่มไปเรื่อย ๆ จนถึงเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การถอดแบบและการบ่มชิ้นงาน หลังจากที่เทคอนกรีตไปหน้าวันละต้องถอดแบบและนำชิ้นงานไปบ่ม การถอดแบบค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากเป็นแบบเหล็กและยึดกันด้วยการเชื่อม ดังนั้นในการถอดแบบจะต้องใช้เหล็กสกัด ออกโดยไม่ให้แบบเสียหาย เพราะจะต้องเชื่อมเข้าใหม่ เพื่อให้เป็นแบบหล่ออีก เมื่อแกะแบบหล่อออกแล้ว จะต้องนำชิ้นงานไปบ่มในน้ำให้ได้อายุตามต้องการ แต่เนื่องจากเป็นชิ้นงานขนาดใหญ่น้ำหนักมากและมีปริมาณมาก ไม่สามารถนำไปแช่ในน้ำได้ จึงใช้วิธีการใช้ถุงกระสอบที่ชุบน้ำคลุมไว้แล้วรดน้ำทุกวัน จนได้อายุตามที่ต้องการ

8. การทดสอบ ในขั้นตอนนี้นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เพราะว่าจะนำไปสู่การสรุปและวิเคราะห์ผลของการทดลองว่า สิ่งที่เกิดขึ้นและสิ่งที่ได้จากการทดสอบ จะเป็นไปตามสมมติฐานและตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาหรือไม่ ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้

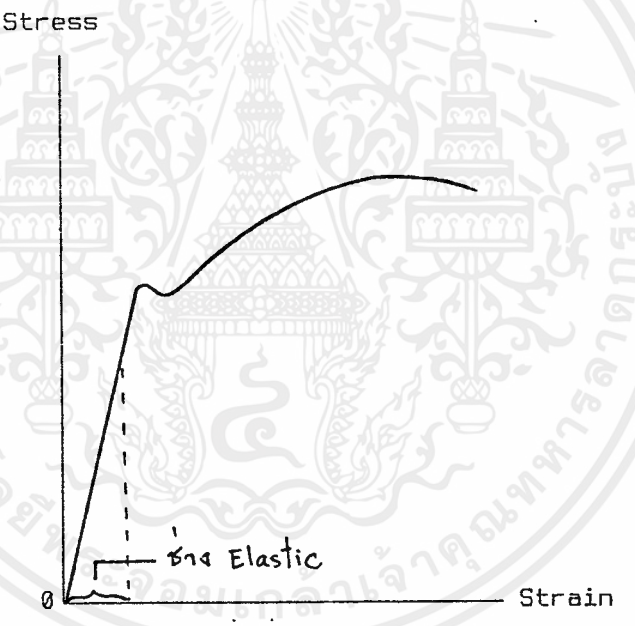
8.1 ขั้นศึกษารูปแบบเครื่องมือทดสอบ เนื่องจากเครื่องมือทดสอบภายในโรงปฏิบัติการไม่สามารถที่จะทดสอบชิ้นงานที่หล่อขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบการทดสอบขึ้นมาเอง โดยการทดสอบนั้นจะต้องเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ลักษณะของการทดสอบชิ้นงาน ดังรูปต่อไปนี้




รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องมือทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ[illegible]ญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ก. เนื่องจากเราไม่มีเครื่องมือกดที่มีขนาดใหญ่พอ จึงไม่นำมาพิจารณา ส่วนรูป ข. วิธีการทดสอบ อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้รอกดึง การใช้ Turn Buckle รวมไปถึงการดึงด้วยวิธีต่าง ๆ แต่ปัญหาอยู่ที่ว่าเครื่องมือดังกล่าว ไม่มีมาตรวัดกำลังที่ดึงหรือถ้ามีก็เป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงมาก ซึ่งไม่สามารถจัดหาซื้อมาทดสอบได้ และจากการปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษา ตกลงจะเลือกใช้ Turn Buckle ซึ่งลักษณะของ Turn Buckle นี้สามารถดูได้จากรายการภาพประกอบตอนท้ายเล่ม การออกแบบนี้จะใช้ Turn Buckle เชื่อมต่อเข้ากับ rod ซึ่งเป็นเหล็กเส้นกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มม. ซึ่งใช้หลักการยืดหดของเหล็ก rod เป็นตัวหาค่ากำลังที่ดึง ซึ่งจะต้องทำการทดสอบเหล็ก rod นี้ ด้วยเครื่อง Testing Machine เสียก่อน เพื่อให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง STRESS กับ STRAIN ของ rod ออกมา สมมติเป็นดังรูป



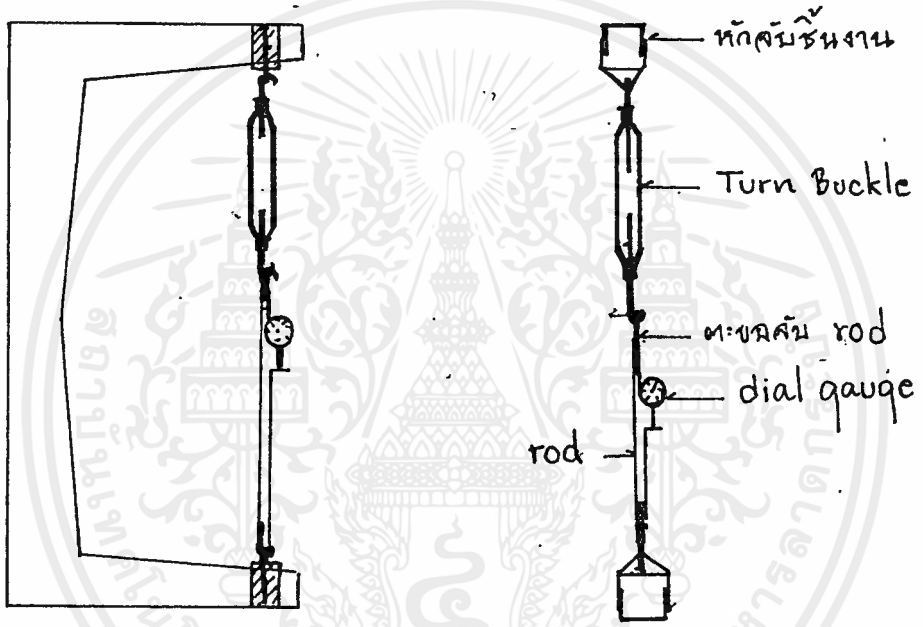

รูปที่ 2.6 แสดงความสำพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

ในการเลือกใช้ rod เป็นเหล็ก 9 มม. สืบเนื่องมาจากรายการคำนวณที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งโดยทั่วไป การเลือกใช้ rod จะต้องใช้ให้กำลังอยู่ในช่วง Elastic เพราะกราฟจะเป็นเส้นตรงหากกำลังที่ใช้เกินช่วง Elastic ไป เราจะไม่สามารถทราบผลที่แน่นอนเพราะกราฟไม่ได้เป็นเส้นตรง และจากการคำนวณ กำลังที่จะทำให้ชิ้นงานของเราสามารถแสดงพฤติกรรมออกมาได้ อยู่ในช่วง Elastic ของเหล็กเส้นกลม 9 มม. เราจึงเลือกใช้ขนาดดังกล่าว ส่วนหัวจับปลายชิ้นงานทั้งสองด้าน รวมทั้งเครื่องมือทดสอบ แสดงไว้ที่รายการรูปภาพประกอบตอนท้ายเล่ม

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การทดสอบเครื่องมือทดสอบ เมื่อเราได้เครื่องมือทดสอบมาแล้ว ก็นำมาทดสอบการใช้งานโดยใช้เครื่อง Testing Machine ซึ่งจากผลการทดสอบ เราได้ค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนตัวห้วจับปลายคานทั้งสองด้านก็นำมาทดสอบแล้ว ปรากฏว่าใช้ได้ จึงตัดสินใจเลือกใช้การทดสอบโดยวิธีนี้

8.3 การทดสอบชิ้นงาน นับเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของขบวนการทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว กล่าวคือ ขั้นตอนนี้ได้รวมเอาทุกขั้นตอนมารวมกันซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูป




รูปที่ 2.7 แสดงการทดสอบชิ้นงาน

จากรูปจะเห็นว่า เครื่องมือทดสอบประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้น ซึ่งชิ้นส่วนทุกชิ้นจะต้องได้รับการทดสอบจนมั่นใจว่ารับกำลังได้โดยไม่เกิดการยืดหรือเสียรูปก่อน rod แต่ยังมี dial gauge ซึ่งจะต้องยึดให้แน่นเนื่องจากเป็นตัวที่จะสามารถนำไปวัดกำลังของการดึงได้

วิธีการทดลองเริ่มจากการประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นเข้ากับชิ้นงาน เมื่อประกอบเสร็จก็ต้องพยายามให้เกิดแรงดึงที่ rod ให้ได้ตามแนวแกนมากที่สุด แล้วเริ่มหมุน Turn Buckle การหมุน Turn Buckle จะต้องพยายามหมุนให้ต่อเนื่องมากที่สุด แล้วจะต้องมีคนคอยสังเกต dial gauge ตลอดเวลา ซึ่งจากเหตุที่ช่วงยืดของ rod อยู่ในช่วง Elastic ดังนั้นในช่วงนี้ถ้าหากส่งแรงไม่ต่อเนื่อง เข็มที่หน้าปัดของ dial gauge หมุนไปได้มากที่สุดเท่าใด ก่อนที่จะดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับ แล้วบันทึกผล เพื่อนำผลที่ได้ไปเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-Strain ของ rod เพื่อหาค่ากำลังแรงดึงที่ทำให้ rod ยืดออกไปได้ระยะที่บันทึก แล้วนำผลของการทดสอบชิ้นงานแต่ละชิ้นที่มีการทาบแตกต่างกัน มาเปรียบเทียบกันเพื่อสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้

อนึ่งในการทดสอบย่อมจะเกิดปัญหาขึ้น และจะต้องมีความผิดพลาดขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น ในการหมุน Turn Buckle จะต้องเกิดความฝืดและเกิดแรงบิดที่ rod ดังนั้นจะต้องมีการป้องกัน ซึ่งทำได้โดยการใส่จารบีลงไปที่เกลียวหมุนเพื่อให้เกิดความลื่น และเพื่อป้องกันการบิดตัวของ rod จะต้องมีคนจับปลายตะขอให้แน่น แต่ถึงแม้จะมีการป้องกันก็ย่อมต้องมีความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง

ในขั้นตอนนี้จะรวมไปถึง การศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าวของคอนกรีตด้วย ซึ่งผลการทดลองจะได้กล่าวไว้ในอีกตอนหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. จากการทดสอบเหล็กที่ใช้ในการเสริมคอนกรีต และใช้ทำ rod ได้ผลการทดลองออกมาตามตารางและกราฟดังนี้

ตารางที่ 1 แสดง deflection ของเหล็กเส้นกลม 6 mm. SR 24 เมื่อแรงดึงเปลี่ยนไป

| แรงดึง(kg) | Elongation ($10^{-3}$inch) | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | |
| 150 | 46 | 42 | 47 | 45 |
| 300 | 105 | 103 | 107 | 105 |
| 450 | 170 | 157 | 180 | 169 |
| 600 | 230 | 203 | 241 | 224.67 |
| 750 | 287 | 272 | 295 | 284.67 |
| 900 | 367 | 355 | 376 | 366 |
| 1050 | 840 | 865 | 855 | 853.33 |
| 1200 | 1430 | 1480 | 1472 | 1460.67 |
| 1350 | - | 2770 | 2810 | 2790 |

ตารางที่ 2 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและจุดประลัยของเหล็กเส้นกลม 6 mm.

| กำลัง | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| จุดคลาก | 945 | 960 | 974 | 959.67 |
| จุดประลัย | 1283 | 1395 | 1435 | 1371 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดง deflection จากการทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเส้นกลม 9 mm. SR 24 เพื่อใช้ในการทำ rod

| แรงดึง(kg) | Elongation ($10^{-3}$ inch) | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | |
| 300 | 45 | 31 | 40 | 38.67 |
| 600 | 93 | 65 | 82 | 80 |
| 900 | 123 | 94 | 115 | 110.67 |
| 1200 | 150 | 115 | 141 | 135.33 |
| 1500 | 174 | 139 | 175 | 162.67 |
| 1800 | 195 | 158 | 194 | 182.33 |
| 2100 | 220 | 179 | 215 | 204.67 |
| 2400 | 350 | 309 | 348 | 335.67 |
| 2700 | 438 | 413 | 443 | 431.33 |
| 3000 | 548 | 547 | 563 | 552.67 |
| 3300 | 735 | 850 | 842 | 809 |

ตารางที่ 4 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและประลัยของเหล็กเส้นกลม 9 mm.

| กำลัง(kg) | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| จุดคลาก | 2385 | 2265 | 2306 | 2314.67 |
| จุดประลัย | 3555 | 3420 | 3510 | 3495 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่า deflection จากการทดสอบเหล็กข้ออ้อย 12 mm. SD 30

| แรงดึง(kg) | Elongation ($10^{-3}$inch) | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | |
| 600 | 148 | 118 | 120 | 128.67 |
| 1200 | 230 | 203 | 207 | 213.33 |
| 1800 | 294 | 266 | 271 | 277 |
| 2400 | 343 | 310 | 308 | 320.33 |
| 3000 | 407 | 350 | 365 | 374 |
| 3600 | 700 | 680 | 688 | 689.33 |
| 4200 | 1040 | 920 | 987 | 982.33 |
| 4800 | - | 1550 | 1780 | 1665 |

ตารางที่ 6 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและจุดประลัยของเหล็กข้ออ้อย 12 mm.

| กำลัง | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| จุดคลาก | 3060 | 3330 | 3150 | 3180 |
| จุดประลัย | 4620 | 4965 | 4910 | 4831.67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

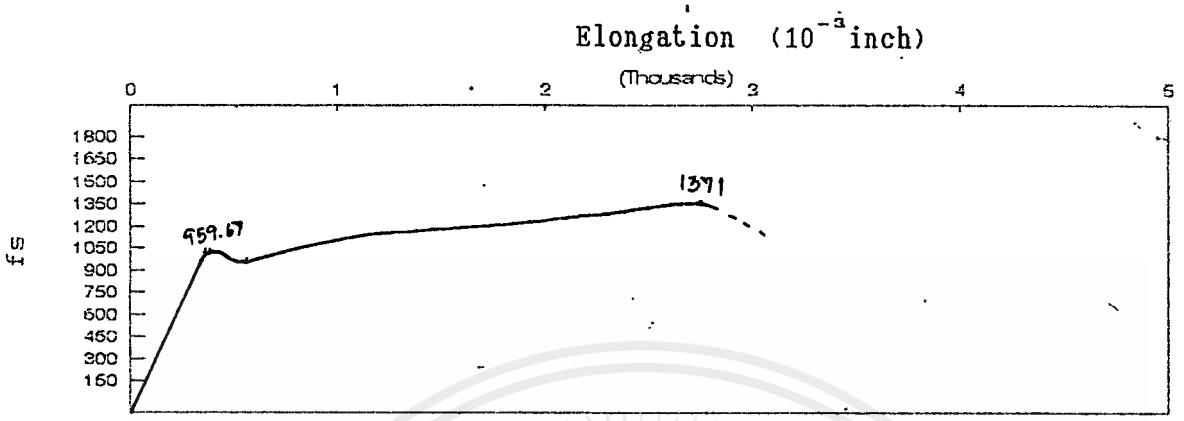
ตารางที่ 7 แสดง deflection จากการทดสอบเหล็กข้ออ้อย 16 mm. SD 30

| แรงดึง(kg) | Elongation ($10^{-3}$inch) | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | |
| 1500 | 230 | 180 | 165 | 191.67 |
| 3000 | 330 | 276 | 258 | 288 |
| 4500 | 410 | 350 | 347 | 369 |
| 6000 | 750 | 755 | 715 | 740 |
| 7500 | 1260 | 1188 | 1210 | 1219.33 |

ตารางที่ 8 แสดงค่ากำลังที่จุดคลากและจุดประลัยของเหล็กข้ออ้อย 16 mm.

| กำลัง | เส้นที่ 1 | เส้นที่ 2 | เส้นที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| จุดคลาก | 5415 | 5400 | 5385 | 5400 |
| จุดประลัย | 8565 | 8625 | 8330 | 8506.67 |

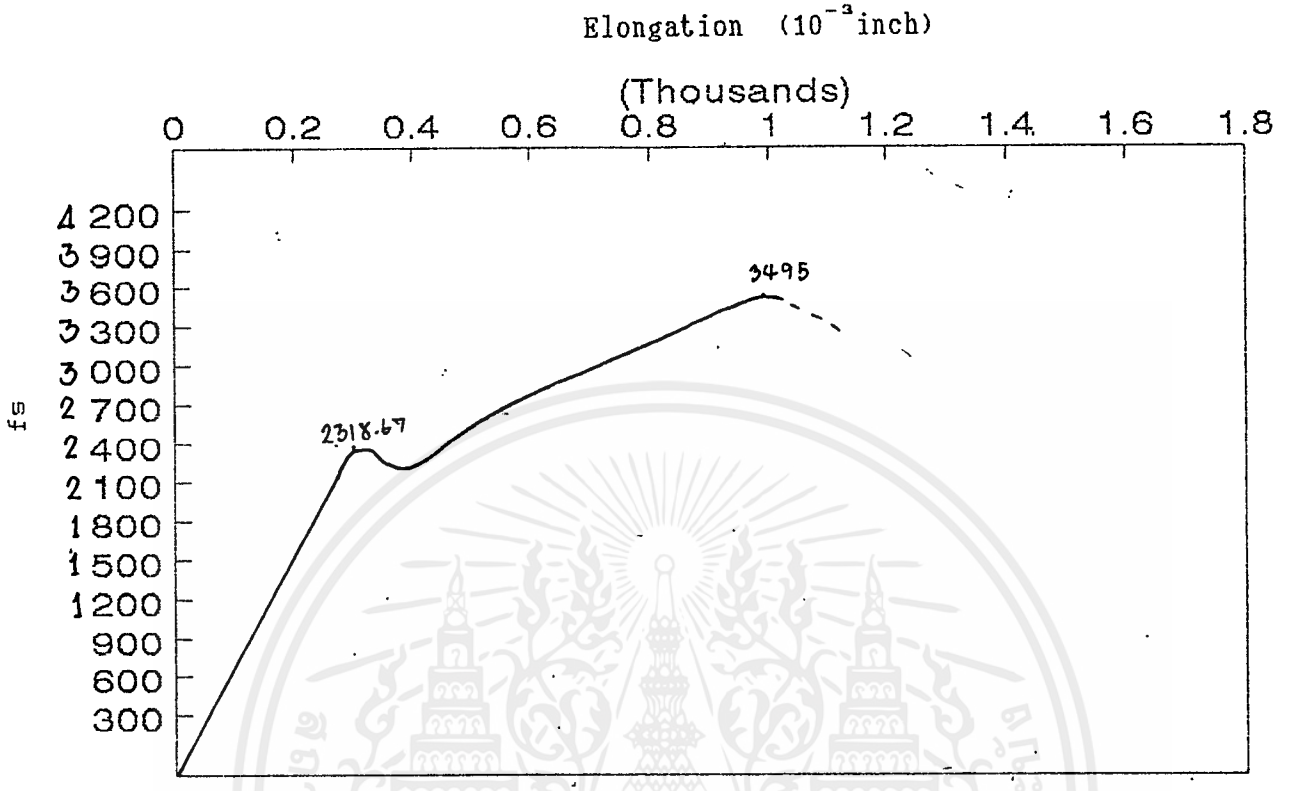
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




กราฟรูปที่ 1

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็กเส้นกลม 6 มม.
ข้อมูลได้จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

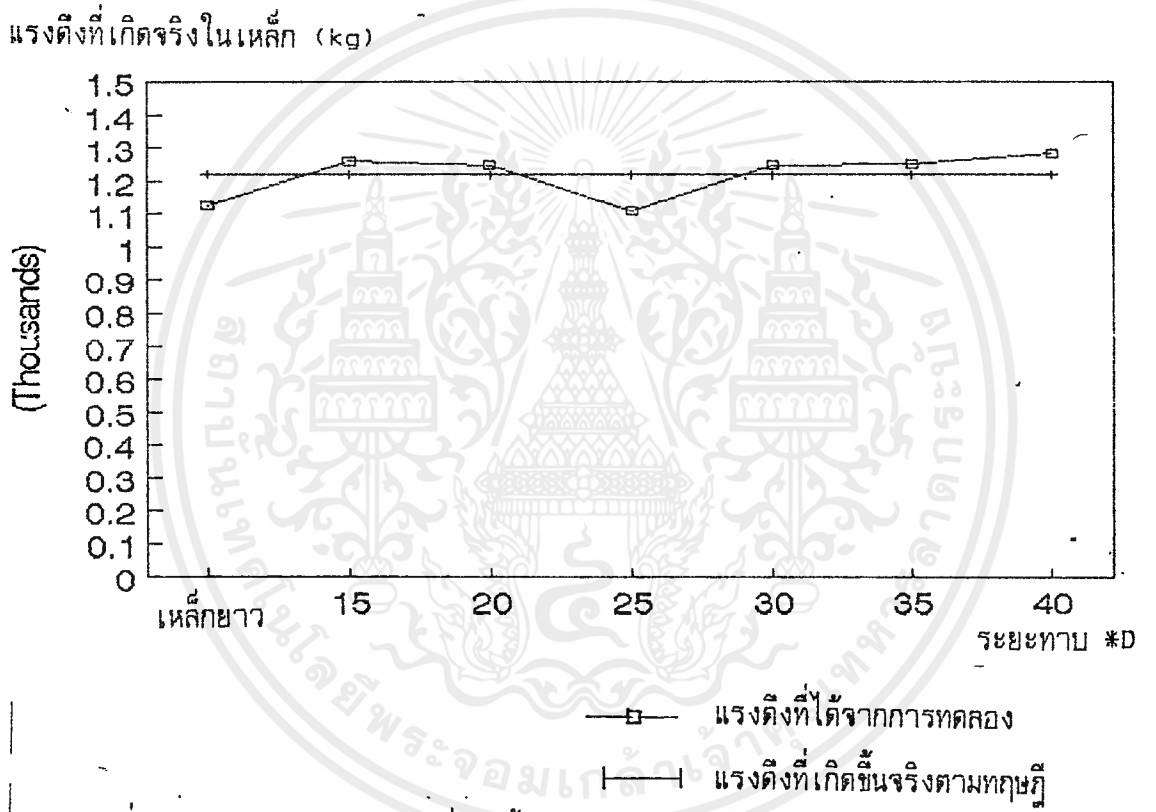



กราฟรูปที่ 2

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็กเส้นกลม 9 มม.

ข้อมูลได้จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4

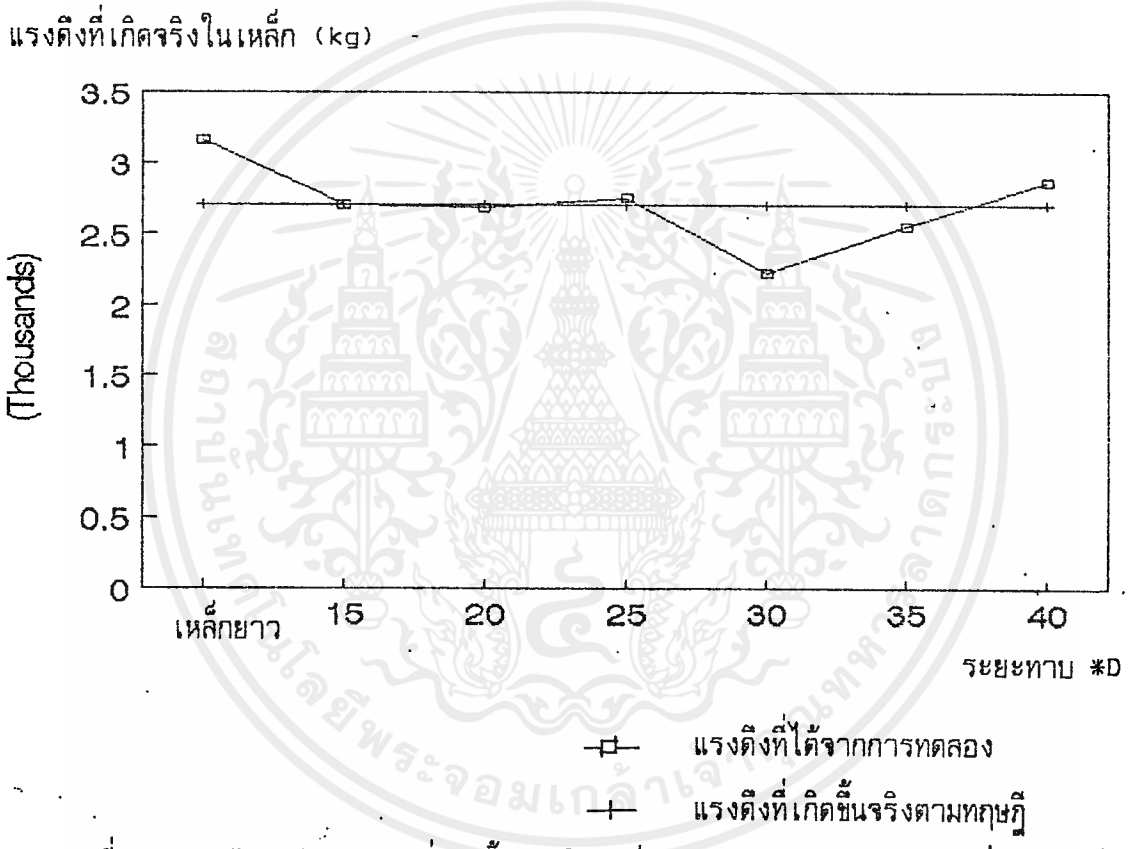
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




กราฟรูปที่ 7. เปรียบเทียบแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึงขนาด 12 mm. เมื่อทาบเหล็กเป็นระยะต่าง ๆ และใช้แรงกดจนโครงสร้างพัง รวมทั้งเปรียบเทียบกับแรงดึงที่น่าจะเกิดขึ้นตามทฤษฎี

ข้อมูลได้จากตารางที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




กราฟรูปที่ 8. เปรียบเทียบแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึงขนาด 16 mm. เมื่อทาบเหล็กเป็นระยะต่าง ๆ และใช้แรงกดจนโครงสร้างพัง รวมทั้งเปรียบเทียบกับแรงดึงที่น่าจะเกิดขึ้นตามทฤษฎี

ข้อมูลได้จากตารางที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. จากการทดสอบชิ้นงาน โดยอาศัยการยืดตัวของ rod ซึ่งใช้เหล็ก 9 mm. เราได้ผลการทดลองออกมาเป็นตารางและกราฟ ดังนี้

ตารางที่ 9 แสดงค่าการยืดตัวของ rod เมื่อทดสอบกับชิ้นงานที่เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อย 12 mm.

| เหล็กข้ออ้อย 12 mm. เสริมเป็นระยะทาง | ระยะยืดของ rod ($10^{-3}$ inch) | | | | อ่านค่ากำลังการยืดตัวของ rod จากกราฟรูปที่ 2 (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| | ตัวอย่าง1 | ตัวอย่าง2 | ตัวอย่าง3 | ค่าเฉลี่ย | |
| ไม่เสริมเหล็ก | 15 | 13 | 21 | 16.33 | 125 |
| ไม่มีการต่อทาบ | 105 | 97 | 80 | 94 | 830 |
| ต่อทาบ 15 D | 104 | 110 | 117 | 110.33 | 1040 |
| ต่อทาบ 20 D | 111 | 118 | 130 | 119.67 | 1065 |
| ต่อทาบ 25 D | 96 | 115 | 101 | 104 | 980 |
| ต่อทาบ 30 D | 126 | 135 | 110 | 123.67 | 1140 |
| ต่อทาบ 35 D | 117 | 130 | 135 | 127.33 | 1180 |
| ต่อทาบ 40 D | 125 | 150 | 134 | 136.33 | 1250 |

* ค่า D หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กข้ออ้อย 12 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงค่าการยืดตัวของ rod เมื่อทดสอบกับชิ้นงานที่เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อย 16 mm.

| เหล็กข้ออ้อย 16 mm. เสริมเป็นระยะทาง | ระยะยืดของ rod ( $10^{3}$ inch) | | | | กำลังที่อ่านได้จากกราฟรูปที่ 2 (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| | ตัวอย่าง1 | ตัวอย่าง2 | ตัวอย่าง3 | ค่าเฉลี่ย | |
| ไม่เสริมเหล็ก | 15 | 13 | 21 | 16.33 | 125 |
| ไม่มีการต่อทาบ | 138 | 125 | 145 | 136 | 1310 |
| ต่อทาบ 15 D | 150 | 122 | 134 | 135.33 | 1301 |
| ต่อทาบ 20 D | 143 | 154 | 126 | 141 | 1350 |
| ต่อทาบ 25 D | 155 | 137 | 146 | 146 | 1380 |
| ต่อทาบ 30 D | 134 | 121 | 139 | 131.33 | 1200 |
| ต่อทาบ 35 D | 165 | 149 | 159 | 157.67 | 1440 |
| ต่อทาบ 40 D | 186 | 193 | 181 | 180.67 | 1700 |

* ค่า D หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กข้ออ้อย 16 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงค่ากำลังประลัยของคอนกรีตที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบ ก่อนเทในแบบที่มีระยะทาบของเหล็ก 12 mm.ต่างๆ กัน

| ระยะทาบ ϕ12mm. | กำลังอัดประลัย (ksc) | | | เฉลี่ย (ksc) |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | |
| ไม่เสริมเหล็ก | 243 | 257 | 257 | 252.30 |
| เหล็กยาว | 300 | 245 | 240 | 261.16 |
| 15D | 263 | 237 | 266 | 255.33 |
| 20D | 256 | 254 | 234 | 248.00 |
| 25D | 276 | 247 | 232 | 251.66 |
| 30D | 256 | 245 | 232 | 244.30 |
| 35D | 271 | 256 | 266 | 264.33 |
| 40D | 300 | 237 | 240 | 259.00 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

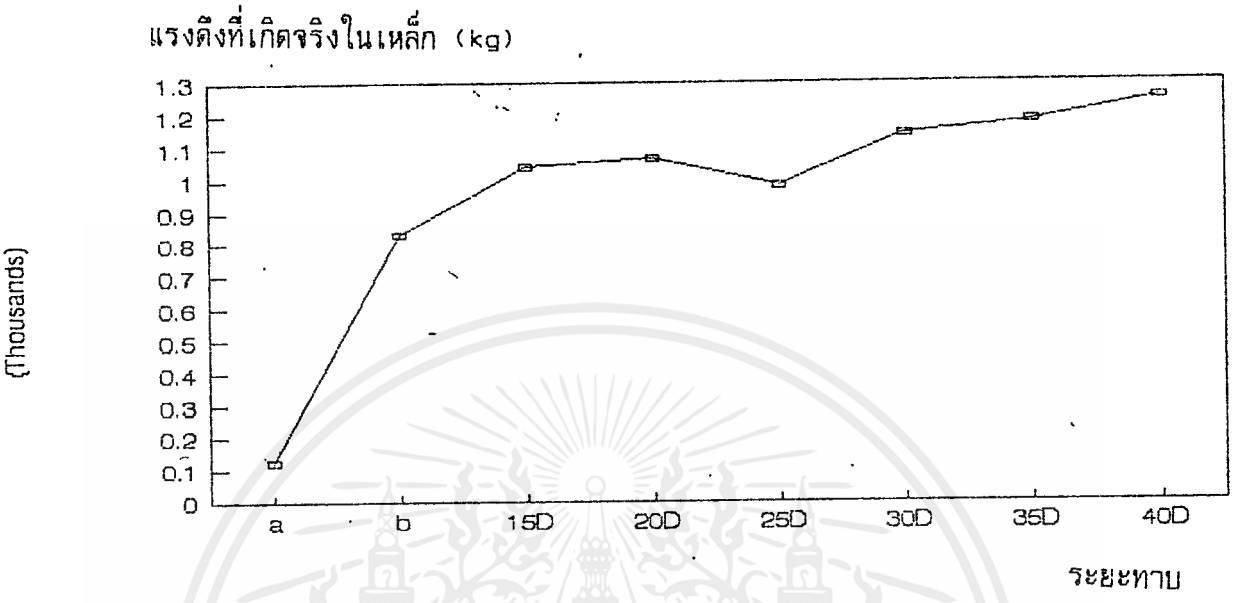
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงค่ากำลังประลัยของคอนกรีตที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบ ก่อนเทในแบบที่มี ระยะทาบของเหล็ก 16 mm.ต่างๆ กัน

| ระยะทาบ ϕ16mm. | กำลังอัดประลัย (ksc) | | | เฉลี่ย (ksc) |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | |
| ไม่เสริมเหล็ก | 243 | 257 | 257 | 252.30 |
| เหล็กยาว | 243 | 243 | 254 | 246.16 |
| 15D | 237 | 249 | 249 | 245.00 |
| 20D | 250 | 267 | 233 | 250.00 |
| 25D | 255 | 266 | 233 | 251.30 |
| 30D | 255 | 253 | 253 | 253.33 |
| 35D | 265 | 266 | 266 | 265.66 |
| 40D | 253 | 233 | 249 | 245.00 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




a: ไม่เสริมเหล็ก

b: ไม่มีการต่อทาบ

กราฟรูปที่ 5

แสดงความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานที่เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อย 12 มม.

ข้อมูลได้จากตารางที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กบนหน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว

| ระยะทาบ ϕ12mm. | พ.ท.หน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว ($cm^2$) | แรงกด (kg) | หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด(kg/$cm^2$) | แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็ก(kg) |
|---|---|---|---|---|
| ไม่เสริมเหล็กยาว | 150.00 | 125.55 | 19.90 | |
| 15D | 150.00 | 830.00 | 132.70 | 1125.60 |
| 20D | 166.20 | 1040.00 | 134.43 | 1259.38 |
| 25D | 171.60 | 1065.00 | 128.62 | 1248.09 |
| 30D | 177.00 | 980.00 | 110.80 | 1109.00 |
| 35D | 112.40 | 1140.00 | 121.13 | 1249.39 |
| 40D | 187.80 | 1180.00 | 117.90 | 1252.07 |
| | 193.20 | 1250.00 | 117.65 | 1285.35 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดงแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กบนหน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว

| ระยะทาบ ϕ16mm. | พ.ท.หน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว ($cm^2$) | แรงกด (kg) | หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด($kg/cm^2$) | แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็ก(kg) |
|---|---|---|---|---|
| ไม่เสริมเหล็กยาว | 150.00 | 125.00 | 19.99 | |
| 15D | 150.00 | 1310.00 | 209.56 | 3159.11 |
| 20D | 171.64 | 1301.00 | 157.14 | 2710.00 |
| 25D | 178.85 | 1350.00 | 149.50 | 2686.40 |
| 30D | 186.00 | 1380.00 | 147.32 | 2754.78 |
| 35D | 191.40 | 1200.00 | 115.40 | 2219.79 |
| 40D | 198.61 | 1440.00 | 127.88 | 2552.30 |
| | 207.63 | 1700.00 | 137.44 | 2867.52 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในเหล็กบนหน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว

| ระยะทาบ ϕ12mm. | พ.ท.หน้าตัดที่เกิดการแตกร้าว ($cm^2$) | แรงกด (kg) | หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด($kg/cm^2$) | แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็ก(kg) |
|---|---|---|---|---|
| ไม่เสริมเหล็กยาว | 150.00 | 125.55 | 19.90 | |
| 15D | 150.00 | 830.00 | 132.70 | 1125.60 |
| 20D | 166.20 | 1040.00 | 134.43 | 1259.38 |
| 25D | 171.60 | 1065.00 | 128.62 | 1248.09 |
| 30D | 177.00 | 980.00 | 110.80 | 1109.00 |
| 35D | 112.40 | 1140.00 | 121.13 | 1249.39 |
| 40D | 187.80 | 1180.00 | 117.90 | 1252.07 |
| | 193.20 | 1250.00 | 117.65 | 1285.35 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระยะทาบกับความยาวยึดรั้งที่ต้องการ ของเหล็กข้ออ้อย 12 mm.

| ระยะทาบ (cm) | ความยาวทาบ (cm) | แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็ก (kg) | ความยาวยึดรั้งที่ต้องการ (cm) |
|---|---|---|---|
| ไม่ได้ต่อทาบ | – | 1125.60 | 16.7 |
| 15D | 18 | 1259.38 | 19.00 |
| 20D | 24 | 1248.09 | 19.11 |
| 25D | 30 | 1109.00 | 18.86 |
| 30D | 36 | 1249.39 | 19.27 |
| 35D | 42 | 1252.07 | 18.57 |
| 40D | 48 | 1285.35 | 19.26 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

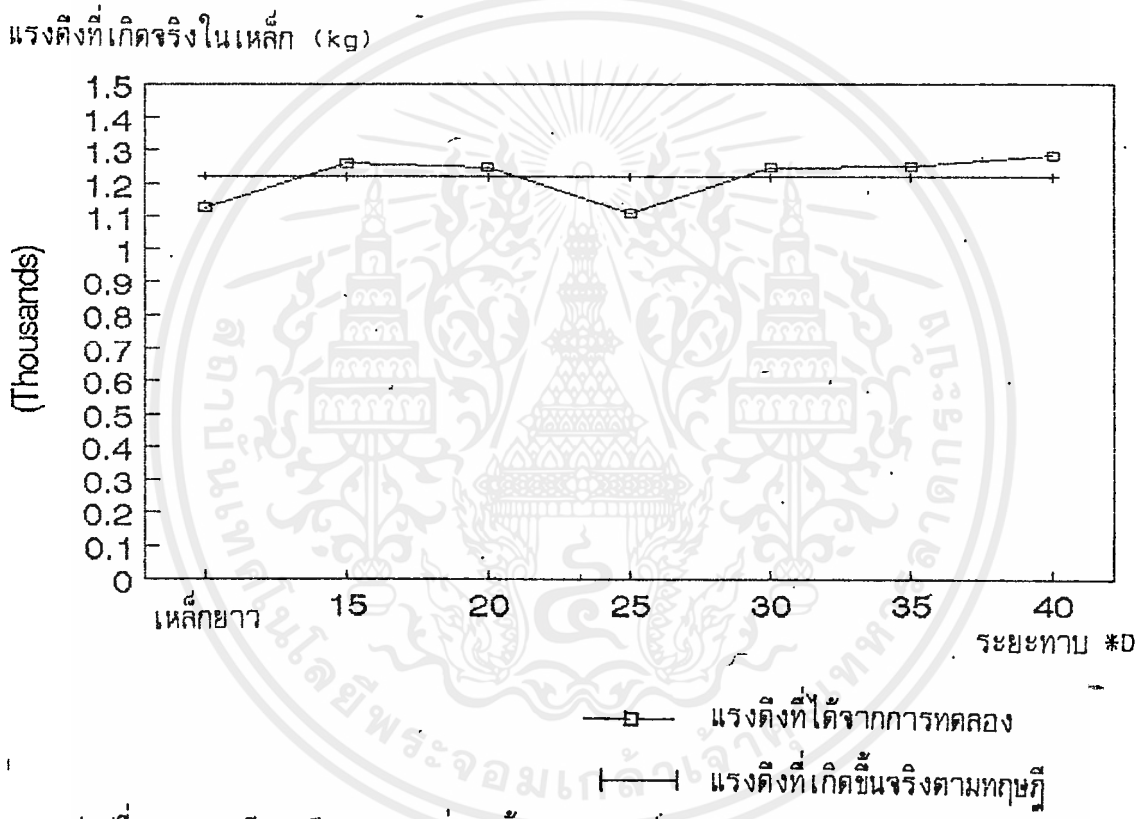
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระยะทาบกับความยาวยึดรั้งที่ต้องการของเหล็กข้ออ้อย 16 mm.

| ระยะทาบ (cm) | ความยาวทาบ (cm) | แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็ก (kg) | ความยาวยึดรั้งที่ต้องการ (cm) |
|---|---|---|---|
| ไม่ได้ต่อทาบ | – | 3159.00 | 36.38 |
| 15D | 24 | 2710.00 | 31.31 |
| 20D | 32 | 2656.40 | 30.38 |
| 25D | 40 | 2754.78 | 31.43 |
| 30D | 48 | 2219.79 | 25.22 |
| 35D | 56 | 2252.30 | 28.32 |
| 40D | 64 | 2867.52 | 33.13 |

D: เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

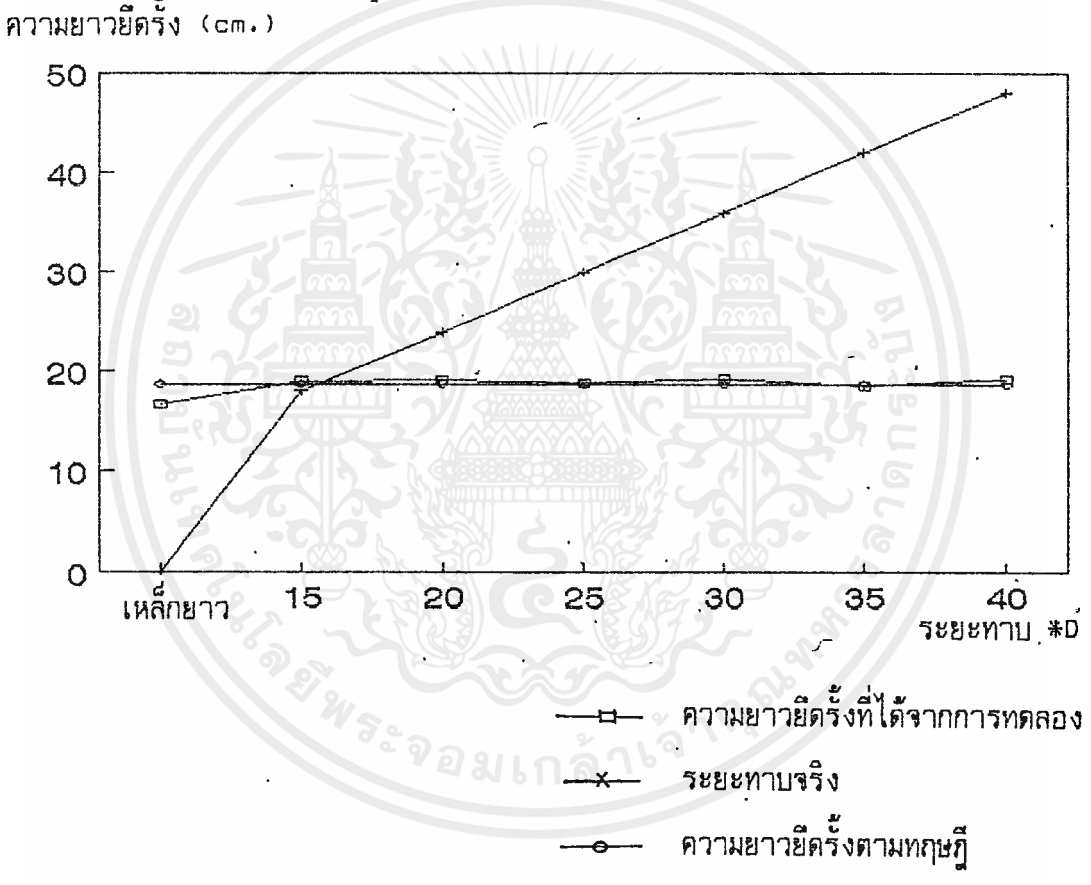
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




กราฟรูปที่ 7. เปรียบเทียบแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึงขนาด 12 mm. เมื่อทาบเหล็กเป็นระยะต่าง ๆ และใช้แรงกดจนโครงสร้างพัง รวมทั้งเปรียบเทียบกับแรงดึงที่น่าจะเกิดขึ้นตามทฤษฎี

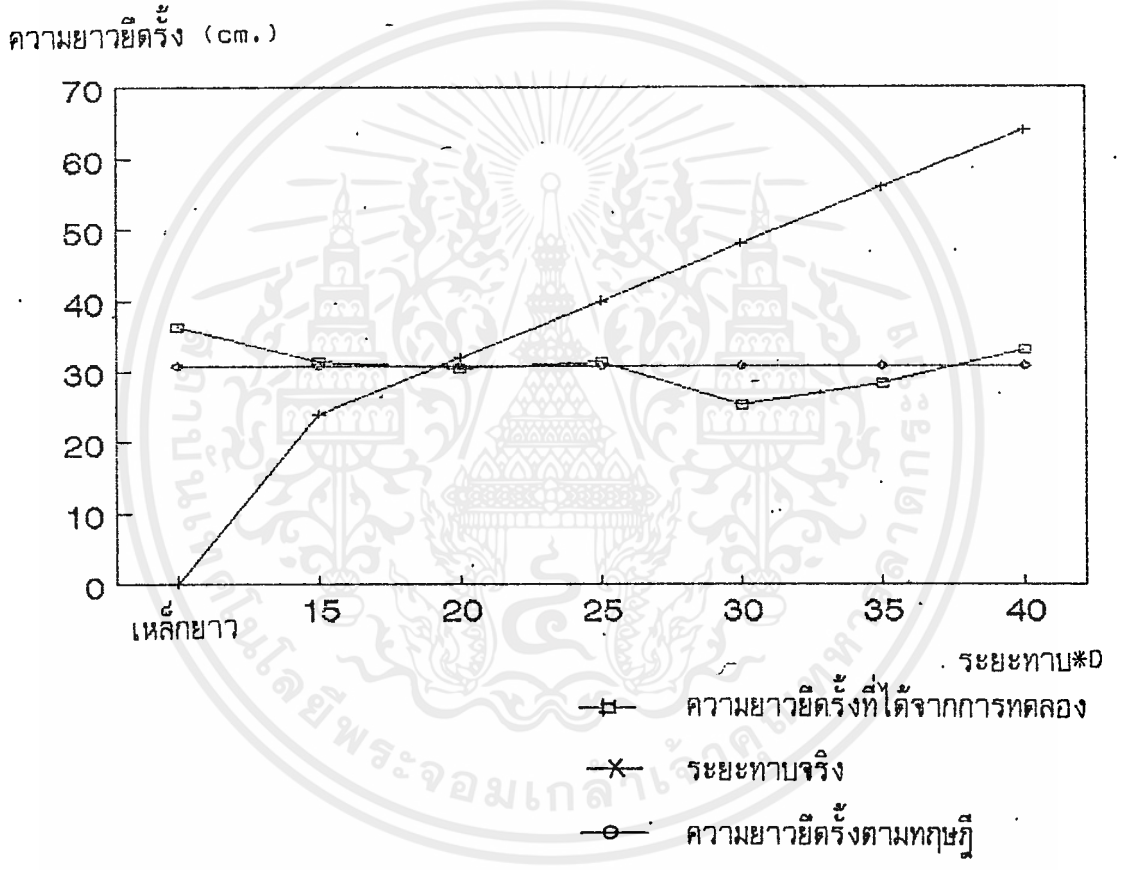
ข้อมูลได้จากตารางที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




กราฟรูปที่ 9: เปรียบเทียบความยาวยึดรั้งที่ต้องการที่ได้จากการทดลอง และตามทฤษฎี รวมทั้งเปรียบเทียบกับระยะทาบจริง ๆ ของเหล็กยืนรับแรงดึงขนาด 12 mm. ข้อมูลได้จากตารางที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




กราฟรูปที่ 10. เปรียบเทียบความยาวยืดรั้งที่ต้องการที่ได้จากการทดลอง และตามทฤษฎี รวมทั้งเปรียบเทียบกับระยะทาบจริง ๆ ของเหล็กยืนรับแรงดึงขนาด 16 mm. ข้อมูลได้จากตารางที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองในโครงสร้างลักษณะดังกล่าว ซึ่งเป็นโครงสร้างที่รับแรงในแนวแกนน้อยมาก แต่รับโมเมนต์ดัดมากจนถือได้ว่า รับโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว แรงกดที่ใช้ในการทำให้โครงสร้างเกิดการ Fialure ในการเสริมเหล็กต่อทาบระยะต่างๆกัน ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ว่า ระยะทาบขนาดเท่าใด จะสามารถทนแรงกดได้เท่าๆกับเหล็กไม่ต่อทาบ เนื่องจากการต่อทาบเหล็กแต่ละระยะ จะเกิดการ Fialure คนละที่ และหน้าตัดที่เกิดการ Fialure แต่ละหน้าตัดก็มีขนาดไม่เท่ากันด้วย

2. จากแรงกดที่เราวัดได้จากตารางที่ 9 และ 10 เรานำมาหาโมเมนต์ดัดที่ทำต่อหน้าตัดแต่ละหน้าตัด จนทำให้เกิดหน่วยแรงอัดและแรงดึงขึ้น เราจะสามารถหาแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงได้ ดังตารางที่ 13 และ 14 ซึ่งเมื่อเราเปรียบเทียบค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในเหล็กรับแรงดึง จะเห็นว่า มีค่าใกล้เคียงกันมาก ถึงแม้ว่าหน้าตัดของโครงสร้างจะเปลี่ยนไป

3. จากแรงดึงที่ได้จากตารางที่ 13 และ 14 เรานำมาหาค่าความยาวยึดรั้ง Ld ที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต เพียงพอที่จะต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ ผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 15 และ 16 ซึ่งเราพอจะเปรียบเทียบกับระยะทาบที่เราทาบไว้ได้ดังนี้

ความยาวยึดรั้งที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต เพียงพอที่จะต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ โดยเหล็กไม่ Slip จะอยู่ในช่วงระยะทาบ 15D -20D

ระยะทาบตั้งแต่ 20D ขึ้นไป จะมากกว่าความยาวยึดรั้งที่ต้องการ

4. จากข้อ 3. เราสรุปได้ว่า การ Fialure ในช่วงการทาบ 15D จะเกิดขึ้นเนื่องจากการ Slip ของเหล็ก เพราะแรงยึดเหนี่ยวไม่เพียงพอ ส่วนการ Fialure ที่ระยะทาบตั้งแต่ 20D ขึ้นไปเกิดขึ้นเนื่องจาก การยืดตัวของเหล็กรับแรงดึงเมื่อรับแรงดึงที่เกิดขึ้น

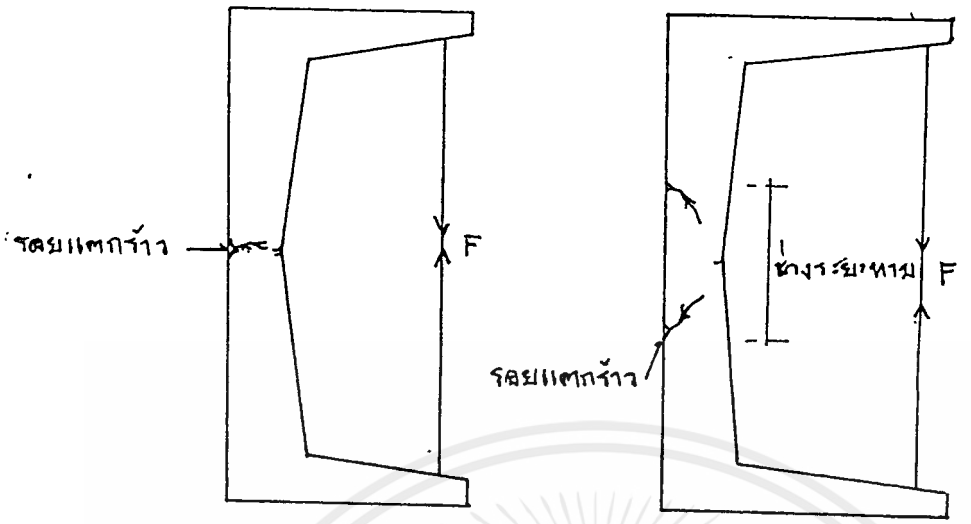
5. ในการ Fialure ของโครงสร้างเมื่อมีการทาบเหล็กเป็นระยะต่างๆ จะเห็นว่าจะไม่เกิดการ Fialure ตรงกึ่งกลางที่มีหน้าตัดเล็กที่สุด แต่จะเกิดการ Fialure บริเวณสิ้นสุดของระยะทาบ ซึ่งก็เนื่องมาจาก ในการทาบเหล็ก บริเวณกึ่งกลางโครงสร้าง จะมีหน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเป็นสองเท่าของบริเวณที่สิ้นสุดระยะทาบ ดังนั้นจึงเกิดการ Fialure บริเวณสิ้นสุดของระยะทาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.จากกราฟรูปที่ 7 และ 8 เราจะสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่ามีแรงกดที่ทำให้โครงสร้างพังจะมีค่าแตกต่างกัน และมีค่ามากขึ้นตามระยะทาบที่มากขึ้น แต่แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดึงที่น่าจะเกิดขึ้นตามทฤษฎีและหลักความเป็นจริง ซึ่งมีค่าเท่ากันหมด จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เราจึงสรุปได้ว่า แรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งในเหล็กที่มีการต่อทาบและไม่ต่อทาบเป็นระยะต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน แต่จากผลการทดลองได้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเกิดจากความผิดพลาดจากการทดลอง จากข้อสรุปนี้จะเห็นได้ว่า ถูกต้องตามสมมติฐานในข้อ6

7. จากกราฟรูปที่ 9 และ 10 เราจะเห็นว่า ช่วงความยาวยึดรั้งที่ต้องการ ที่จะสามารถทนทานต่อแรงดึงที่เกิดขึ้นโดยไม่เกิดการ slip นั้นจะอยู่ในช่วงระยะทาบ 15D - 20D ซึ่งเป็นช่วงที่กราฟตัดกัน และเมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นเส้นตรงขนานกับระยะทาบ และเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นกราฟความยาวยึดรั้งตามทฤษฎี จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก เราจึงสรุปได้ว่า ความยาวยึดรั้งที่ต้องการในการทาบเหล็กเป็นระยะต่าง ๆ รวมทั้งการไม่มีการทาบเหล็ก จะมีค่าเท่ากันและอยู่ในระยะทาบ 15D - 20D ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานในข้อที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เสริมเหล็กที่ไม่ได้ต่อ เสริมโดยเหล็กทาบ

รูปที่ 3.1

ลักษณะของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวิจัย

จากขั้นตอนทั้งหมดของงานวิจัย ไม่สามารถที่จะได้ค่าทุกอย่างออกมาอย่างแน่นอนและแม่นยำ ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดจากสิ่งต่อไปนี้คือ

1. วัสดุผสมคอนกรีตอาจจะสกปรก และมีสิ่งเจือปน
2. การออกแบบชิ้นงานยังมีข้อบกพร่อง
3. เหล็กเสริมคอนกรีตอาจจะไม่ได้ตามมาตรฐาน
4. เครื่องมือวัดไม่ละเอียดพอ
5. การอ่านค่าอาจจะผิดพลาด
6. ระยะเวลาการทำงานวิจัยไม่เพียงพอ

ฯลฯ

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาค้นคว้า

จากการทำโครงงานวิจัยนี้ ผู้ทำโครงงานได้สังเกตเห็นความผิดพลาดที่ควรแก้ไข สำหรับผู้ที่สนใจศึกษางานวิจัยนี้เพิ่มเติม ทางผู้ทำโครงงานมีข้อเสนอแนะที่น่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจดังนี้คือ

1. โครงงานนี้เนื่องจากมีระยะเวลาการทำงานจำกัดมาก ดังนั้นการศึกษา ทางด้านทฤษฎีจึงไม่ได้ศึกษาเต็มที่ ดังนั้น ผู้ที่สนใจควรศึกษาทฤษฎีนี้ให้มากกว่านี้ และค้นคว้าให้มากกว่านี้

2. รูปแบบที่ผู้ทำโครงงานได้ออกแบบ อาจจะยังมีข้อผิดพลาดบ้าง หวังให้ผู้ที่สนใจช่วยปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

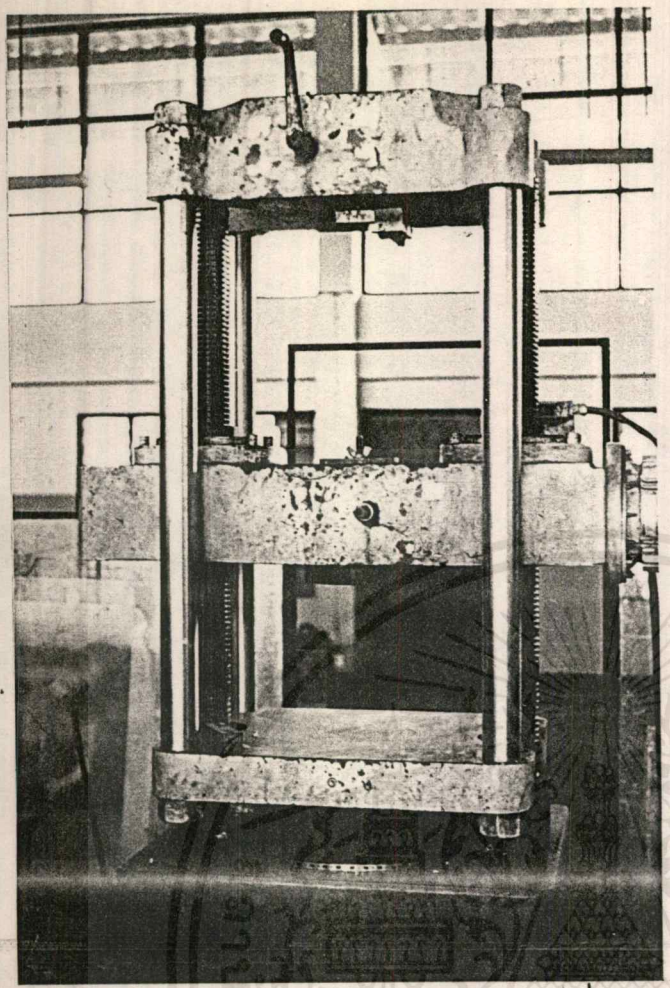
3. เครื่องมือทดสอบที่ออกแบบมาค่อนข้างจะหยาบ การอ่านค่าอาจเกิดความผิดพลาด ซึ่งหากได้มีการออกแบบเครื่องมือทดสอบได้ดีกว่านี้ และละเอียดกว่านี้ คงจะทำให้ได้ค่าที่แน่นอนขึ้น ความผิดพลาดคงจะลดลง

4. สำหรับจุดประสงค์ของโครงงานวิจัย อาจจะยังไม่รัดกุมเพียงพอ รวมทั้งการสรุปผลอาจจะยังไม่สมบูรณ์ หากผู้สนใจต้องการที่จะศึกษาโครงงานนี้ ควรลองหาจุดบกพร่องของวัตถุประสงค์ ทฤษฎี และการสรุปวิเคราะห์ แล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

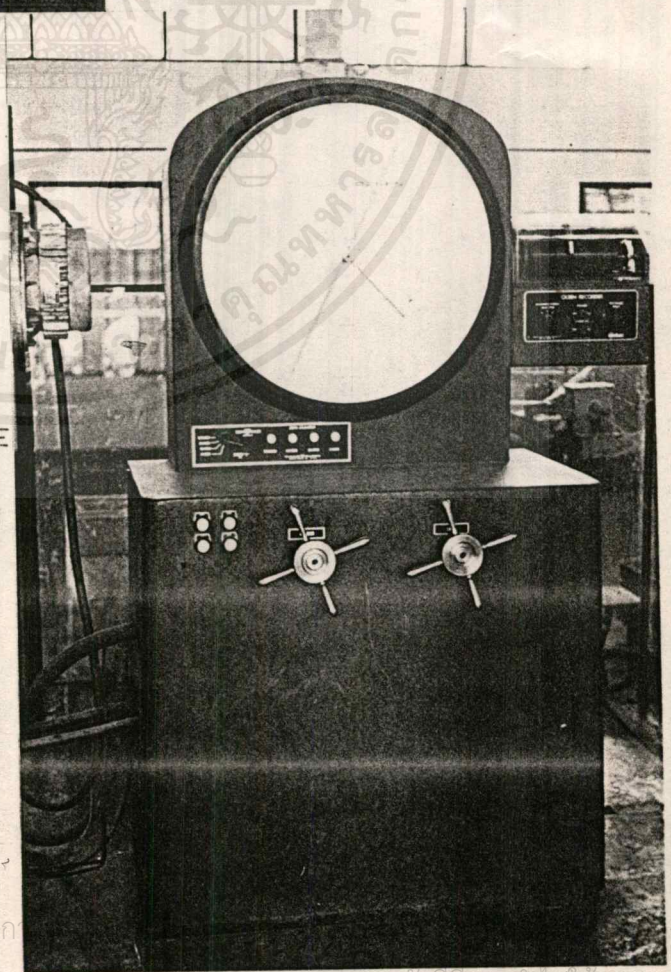
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# แสดงรูปประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 UNIVERSAL TESTING MACHINE

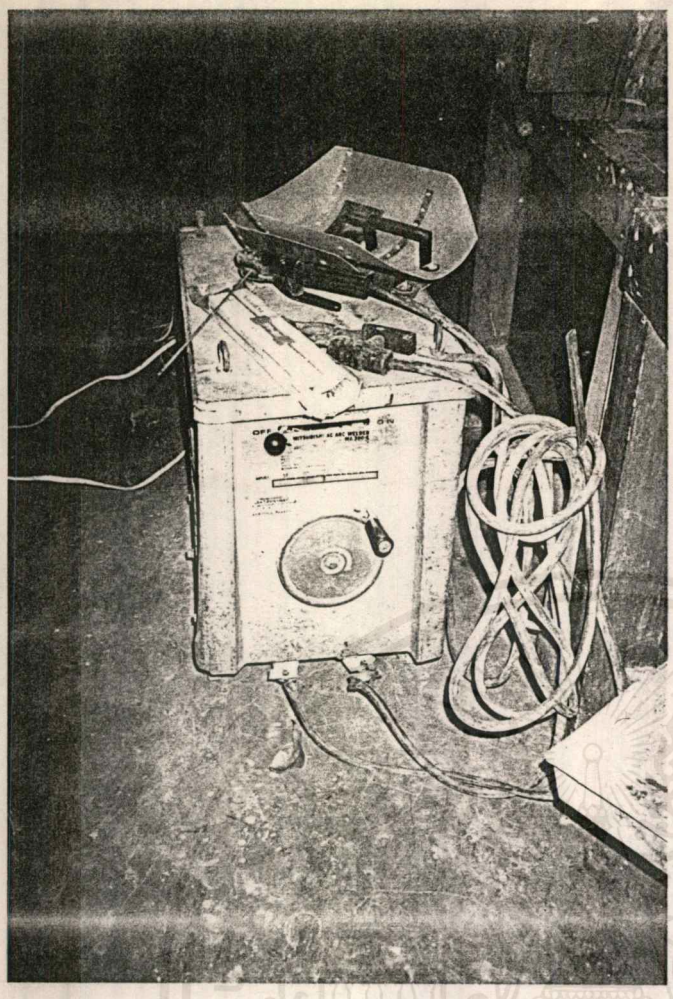


รูปที่ 2 UNIVERSAL TESTING MACHINE

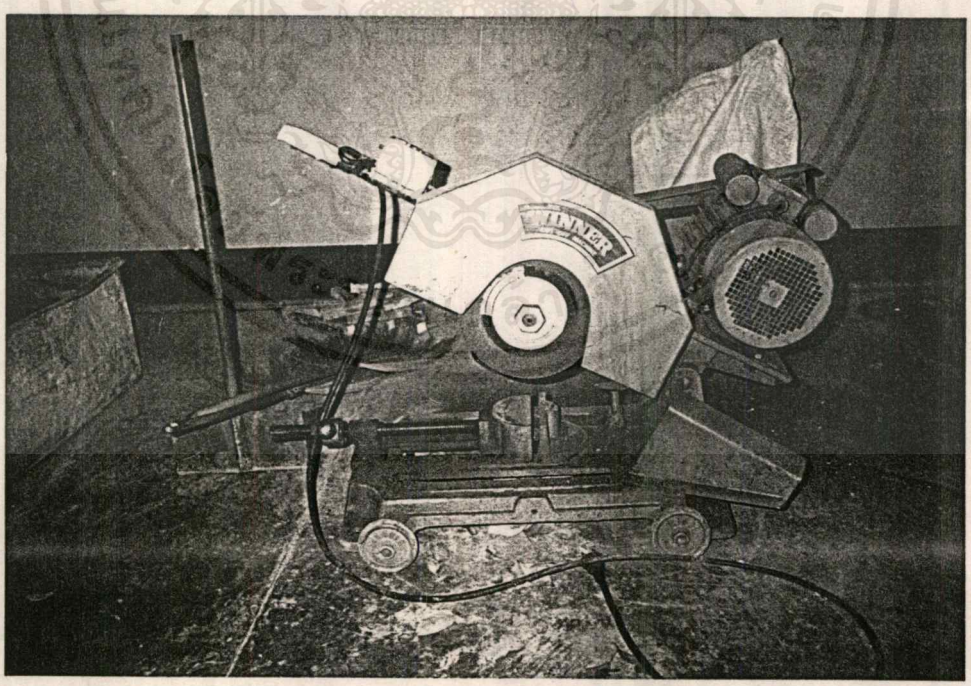
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 แสดงตาชั่ง
สำหรับชั่งส่วนผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

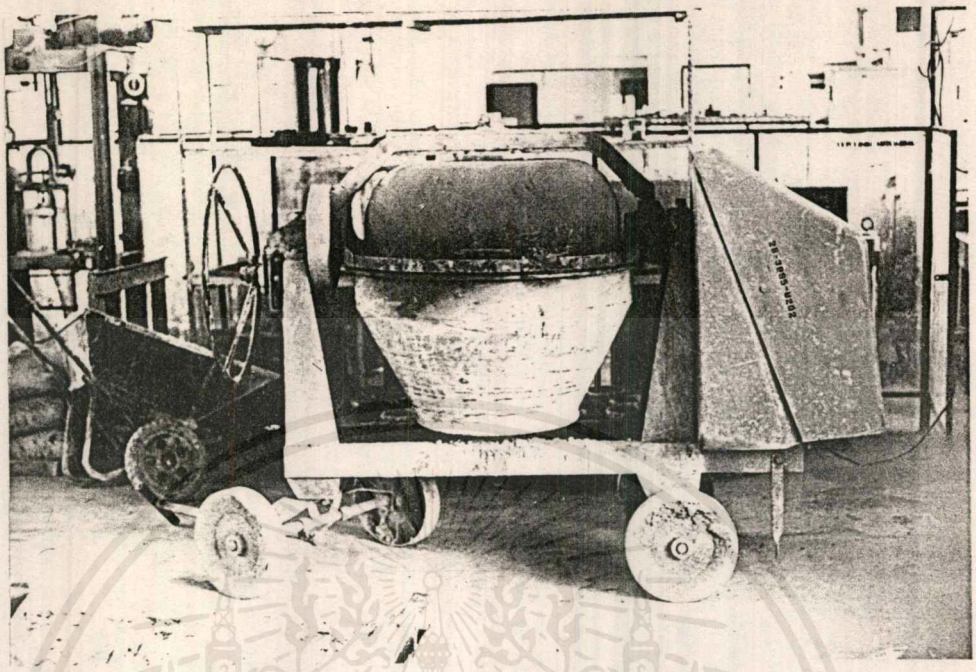


รูปที่ 5 แสดงเครื่องเชื่อม



รูปที่ 6 แสดงเครื่องตัด

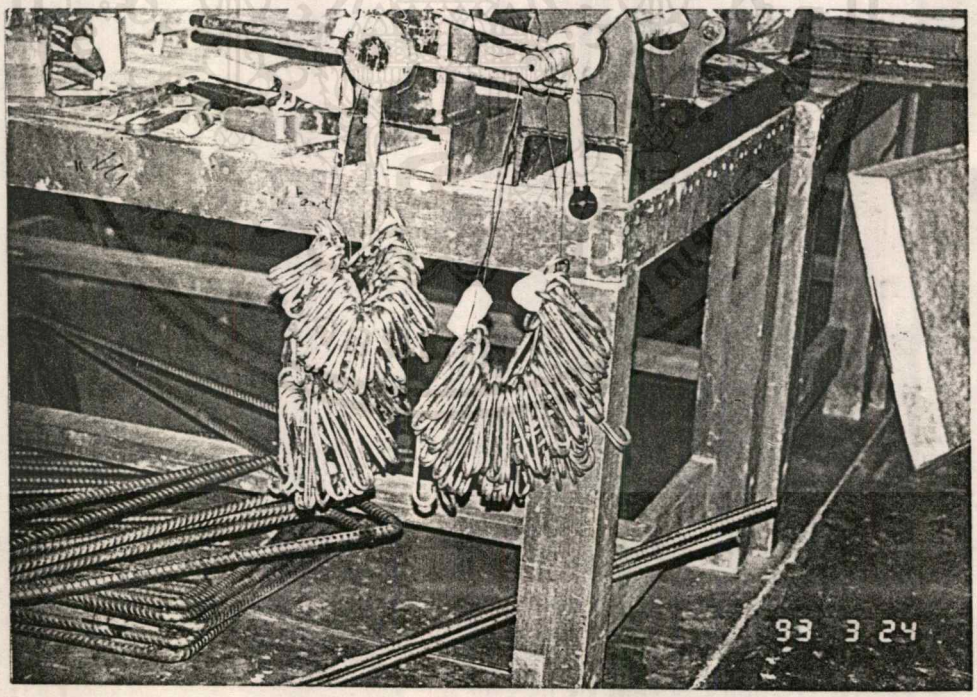
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗ เครื่องโม่คอนกรีต

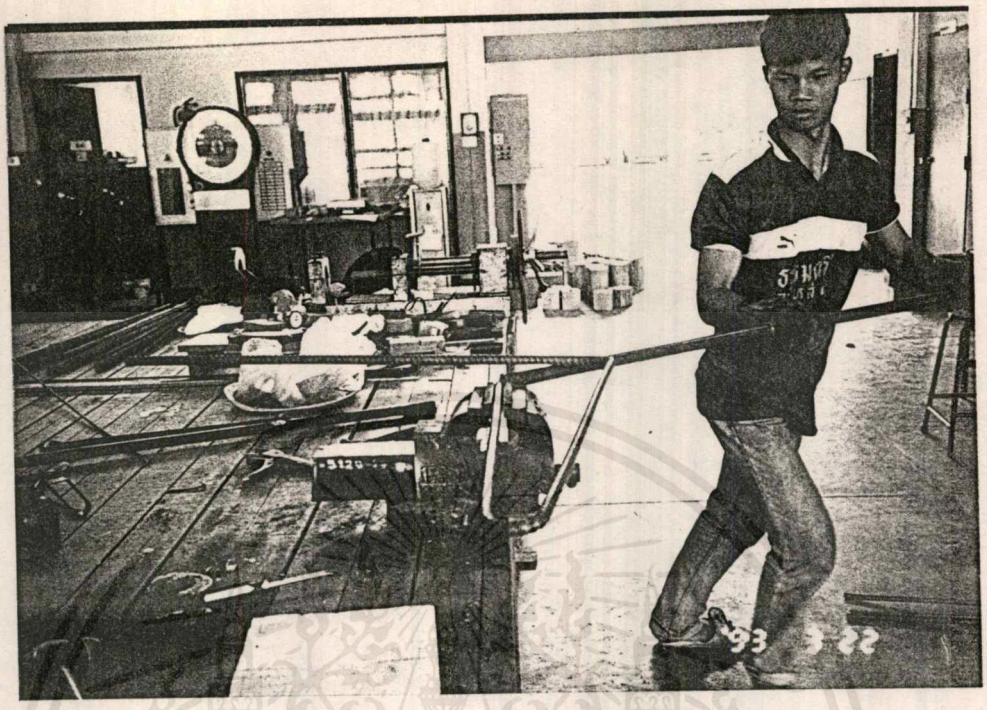
รูปที่ ๘ แบบลูกปูนสำหรับทดสอบแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

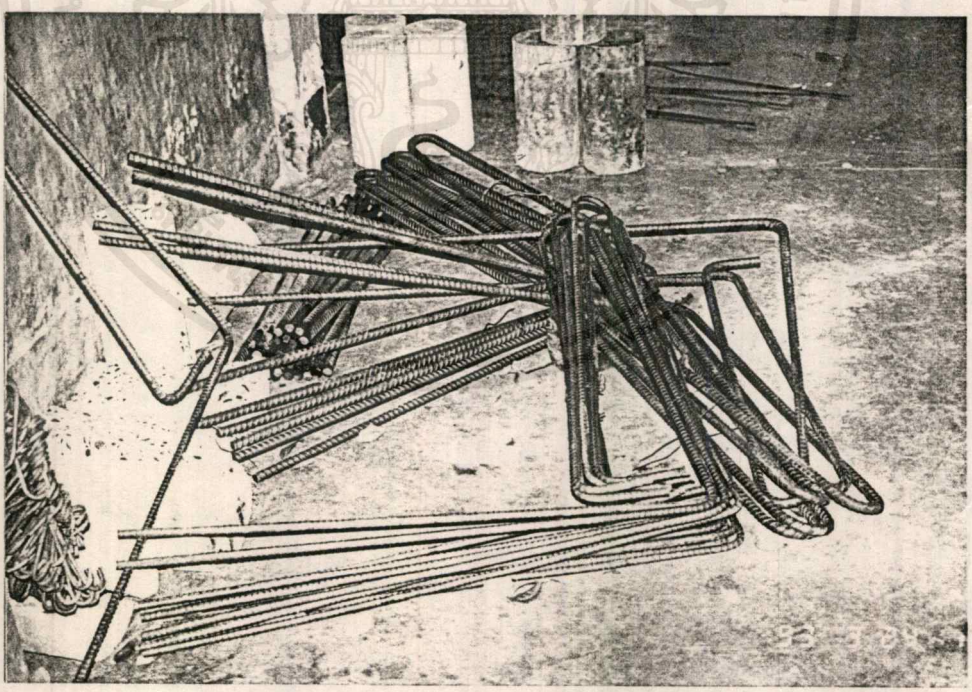



รูปที่ 10 แสดงเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

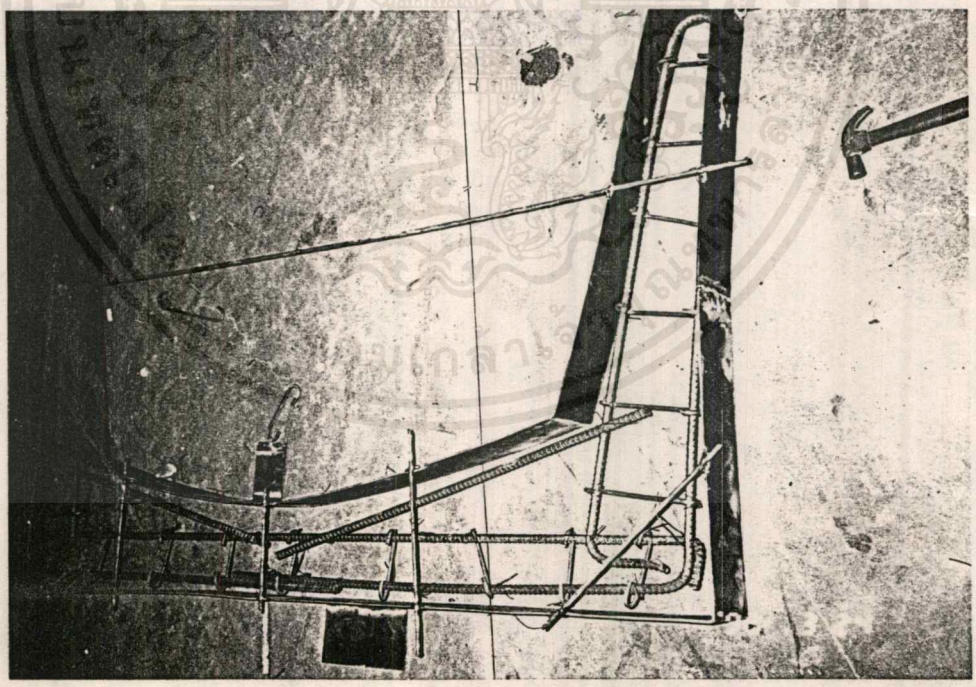


รูปที่ 12 แสดงการดัดเหล็กแกน



รูปที่ 12 แสดงเหล็กแกน

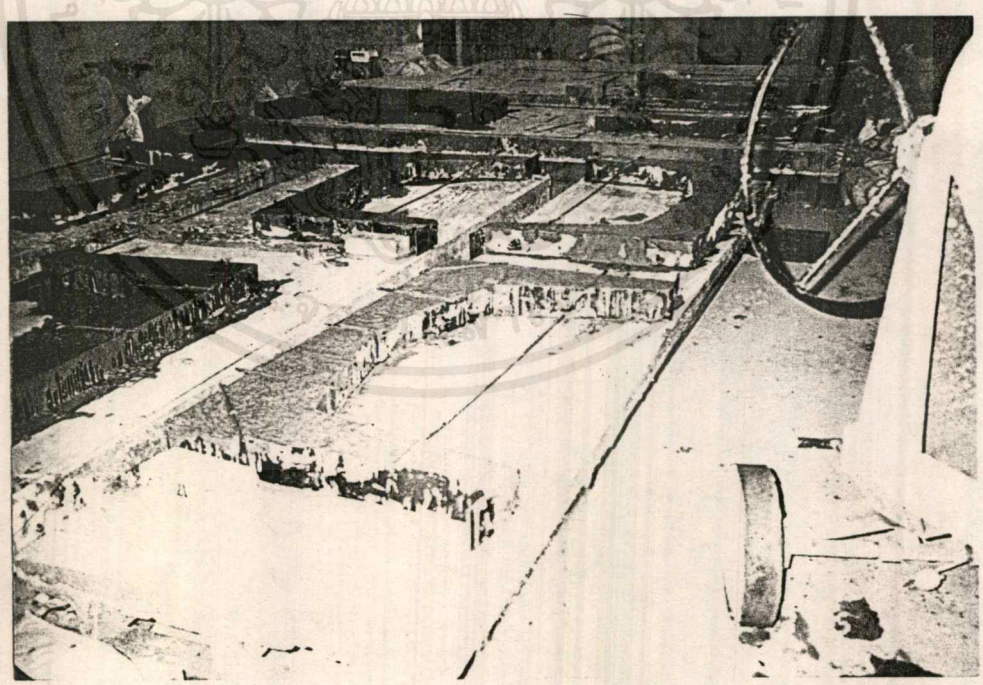
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 15 แสดงการเตรียมแบบเพื่อเทคอนกรีต

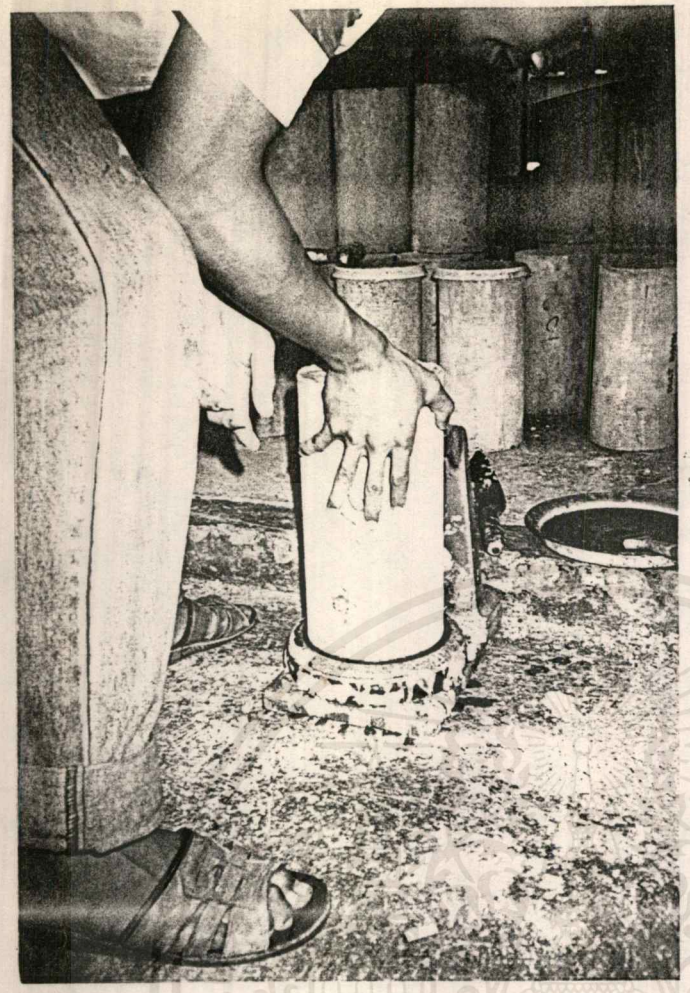


รูปที่ 16 แสดงแบบเมื่อเทคอนกรีตเสร็จแล้ว

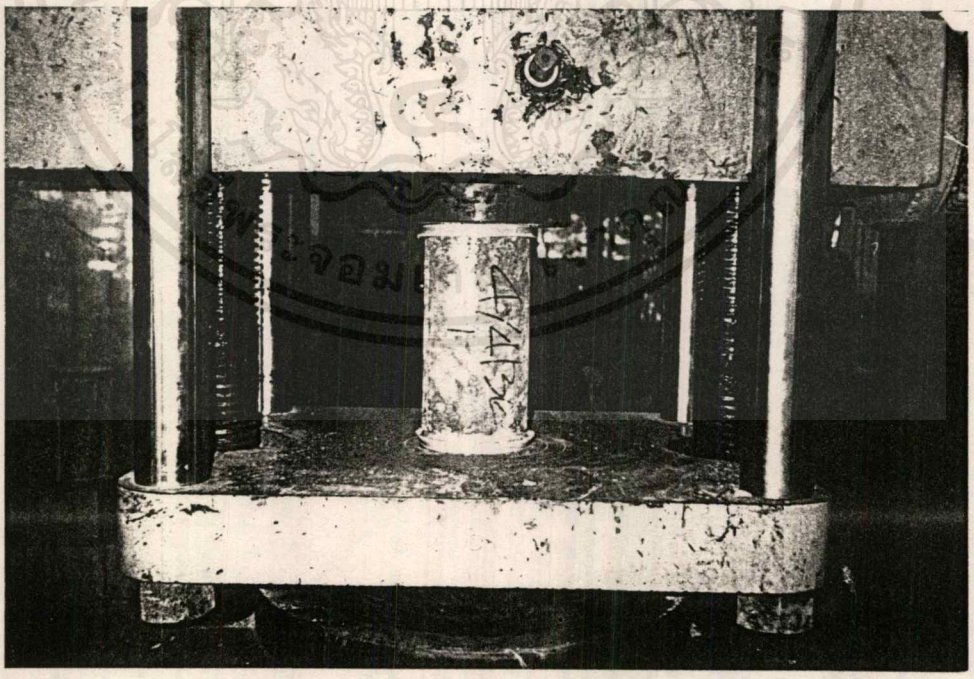
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 18 การรดน้ำบ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

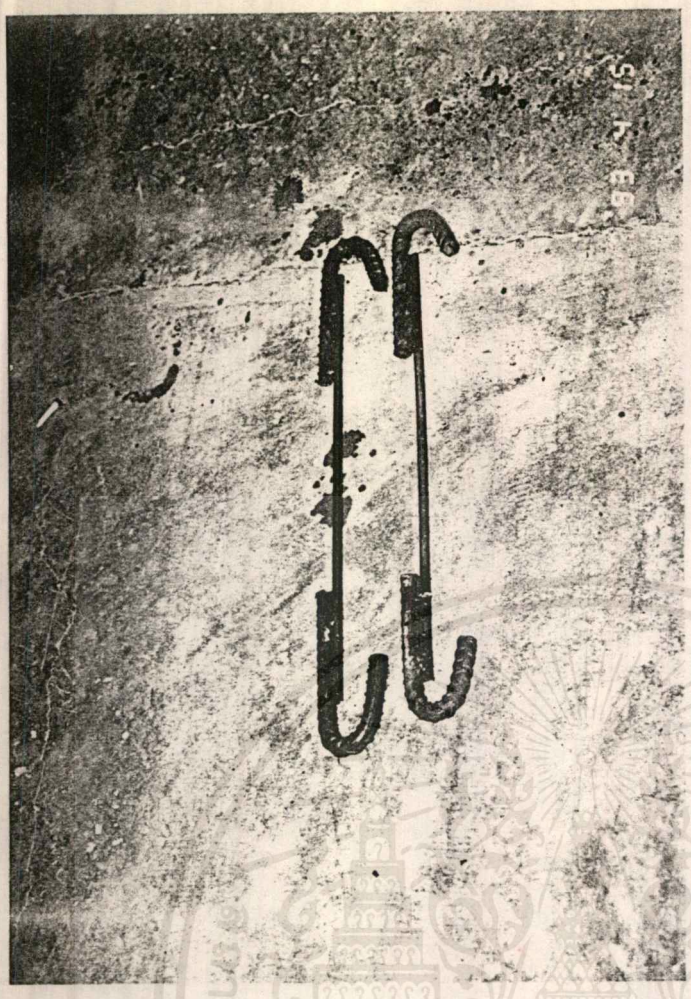


รูปที่ 19 แสดงการหล่อหมวกตัวอย่าง

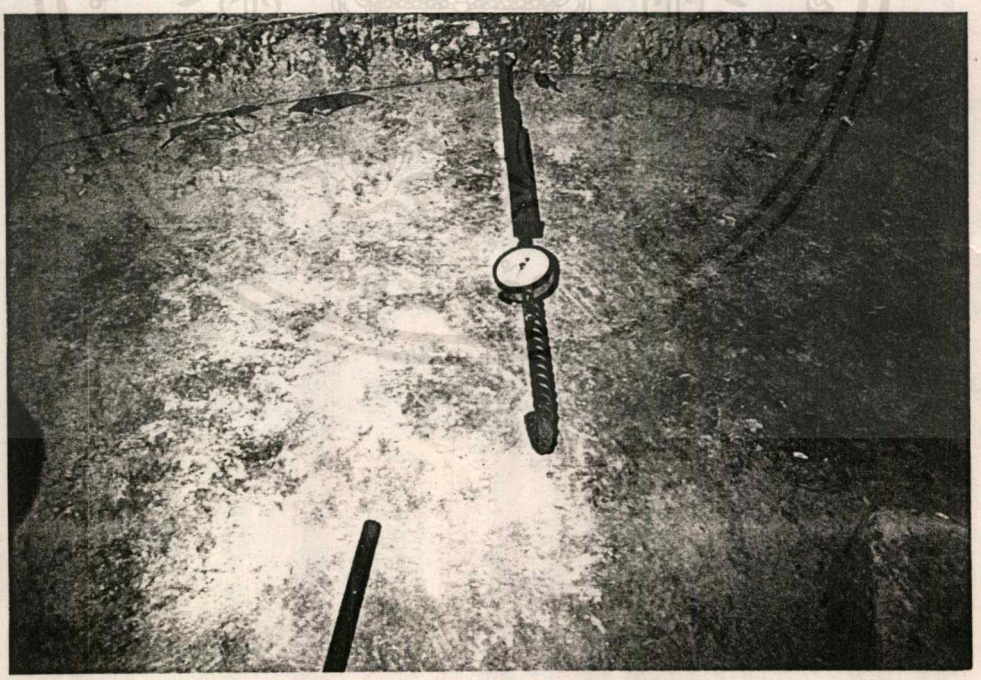


รูปที่ 20 แสดงการทดสอบลูกปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

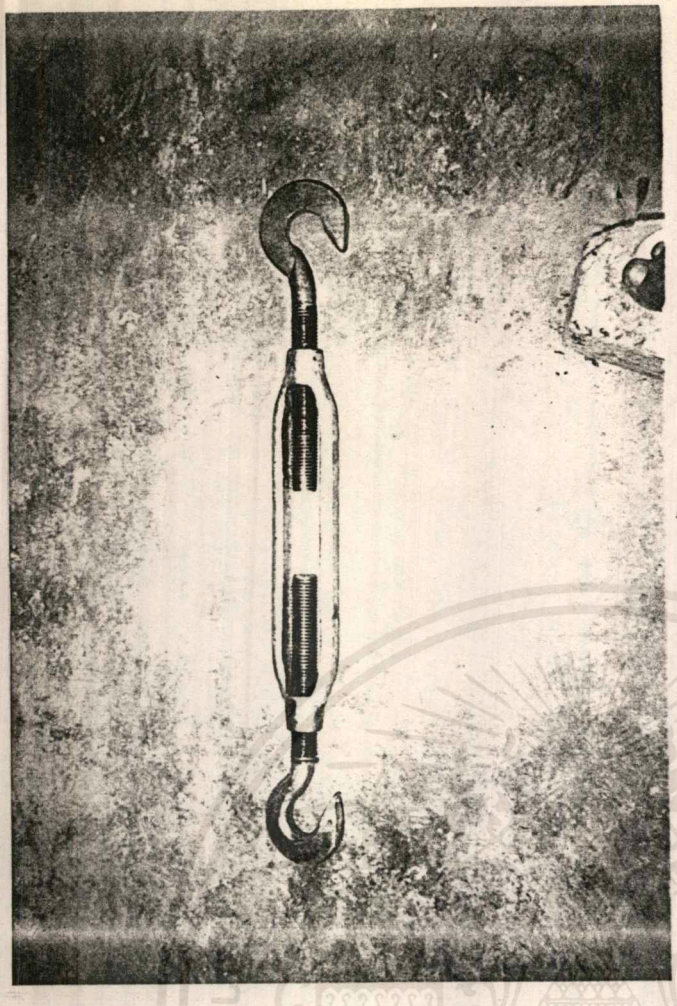


รูปที่ 21 แสดง rod ϕ 9 mm.

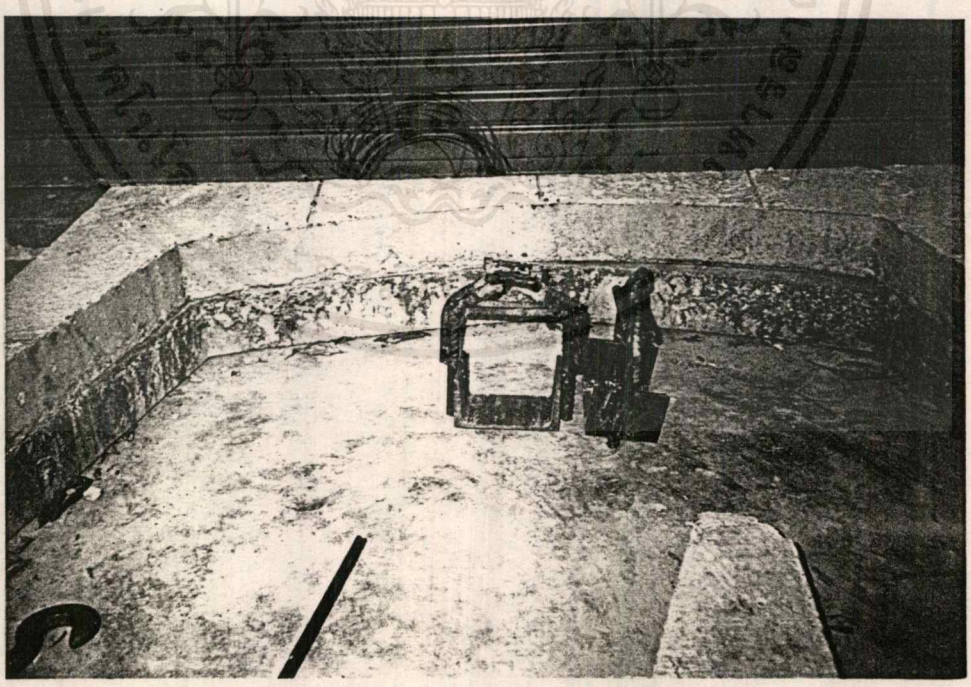


รูปที่ 22 แสดง rod พร้อมกับติดตั้ง gage วัดระยะยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

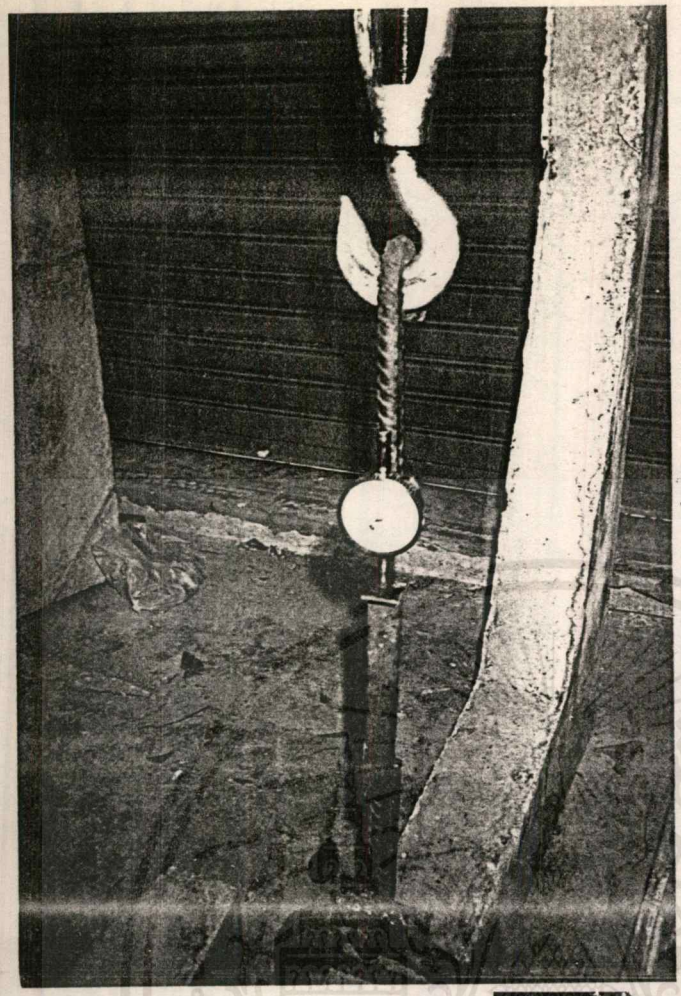


รูปที่ 23 แสดง Turn Buckle

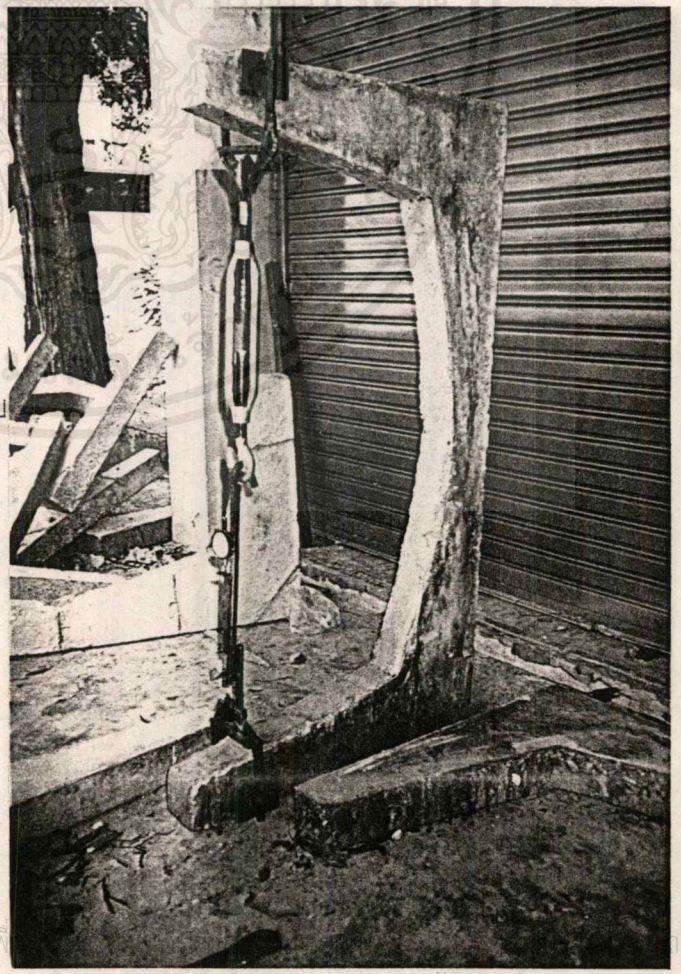


รูปที่ 24 แสดงหัวครอบโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

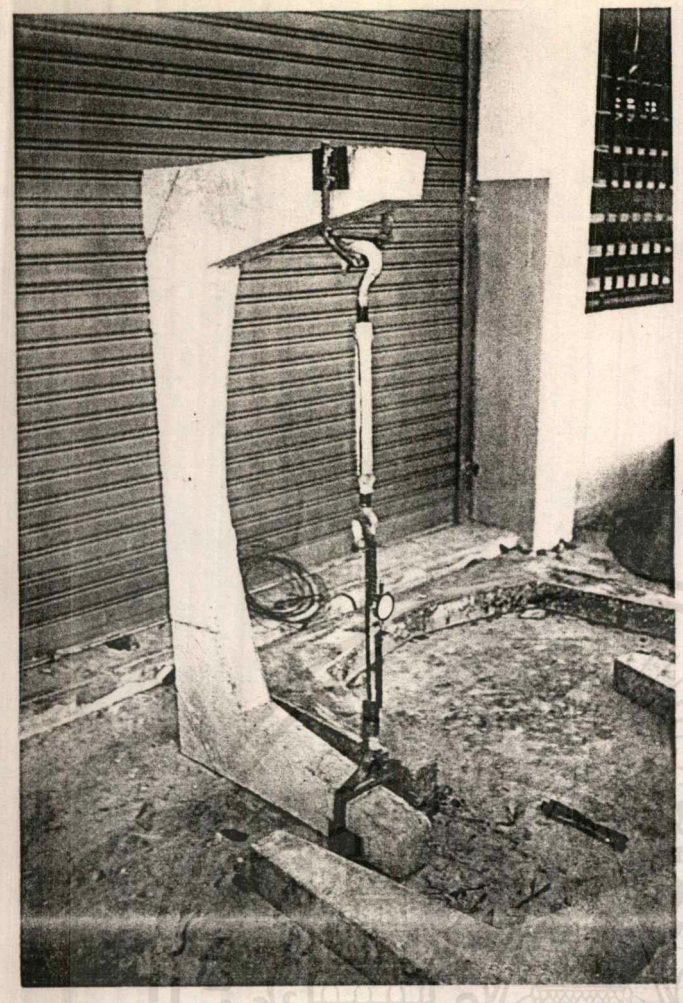


รูปที่ 25 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

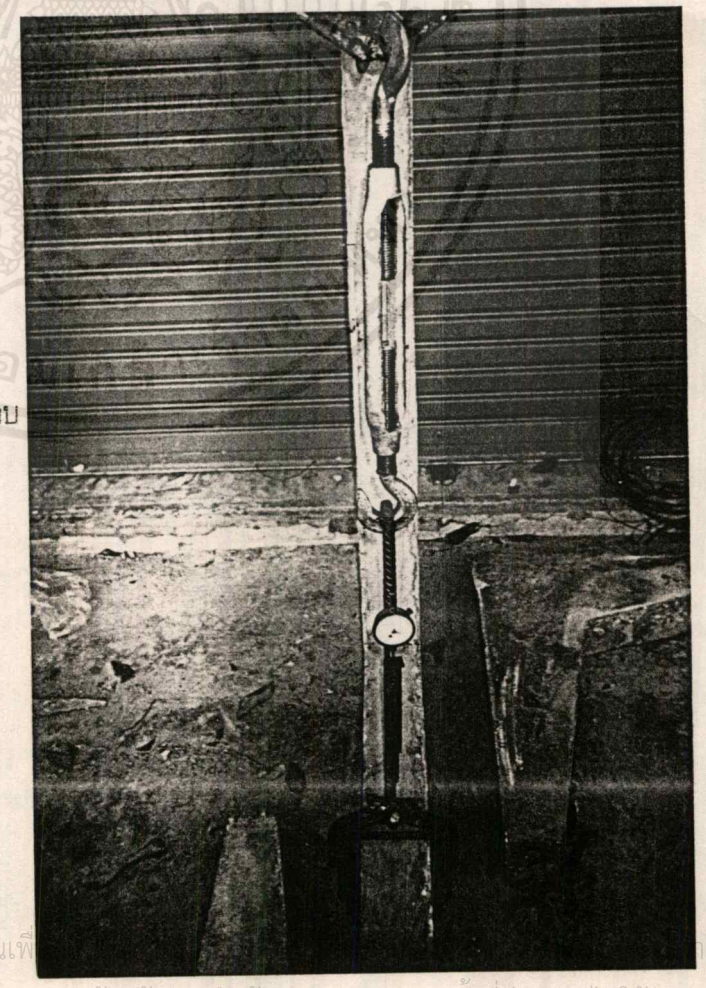


รูปที่ 26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

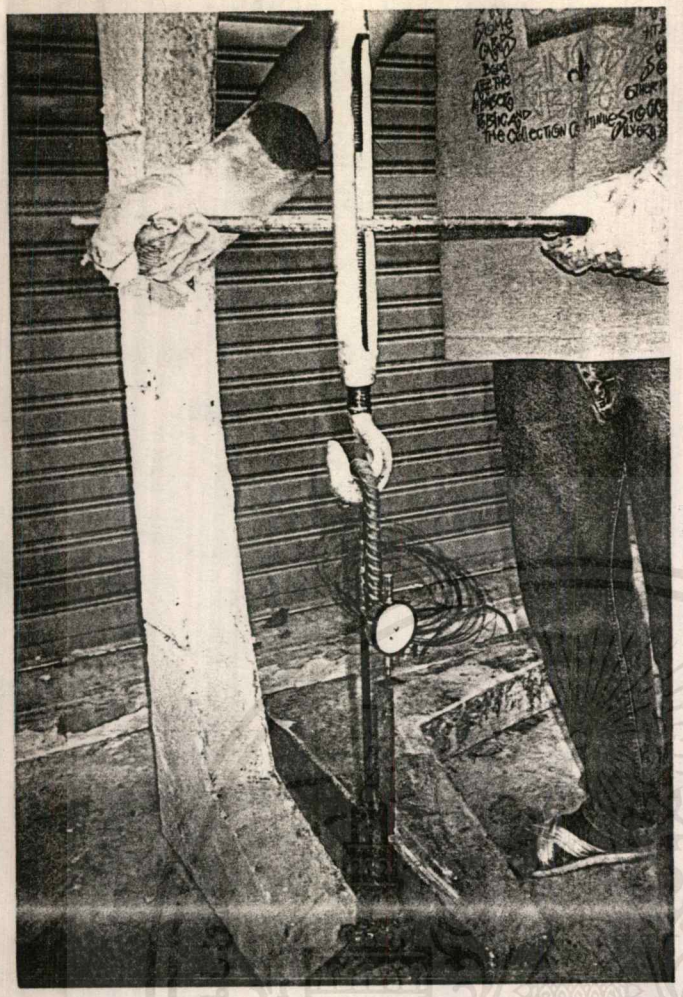


รูปที่ 27 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

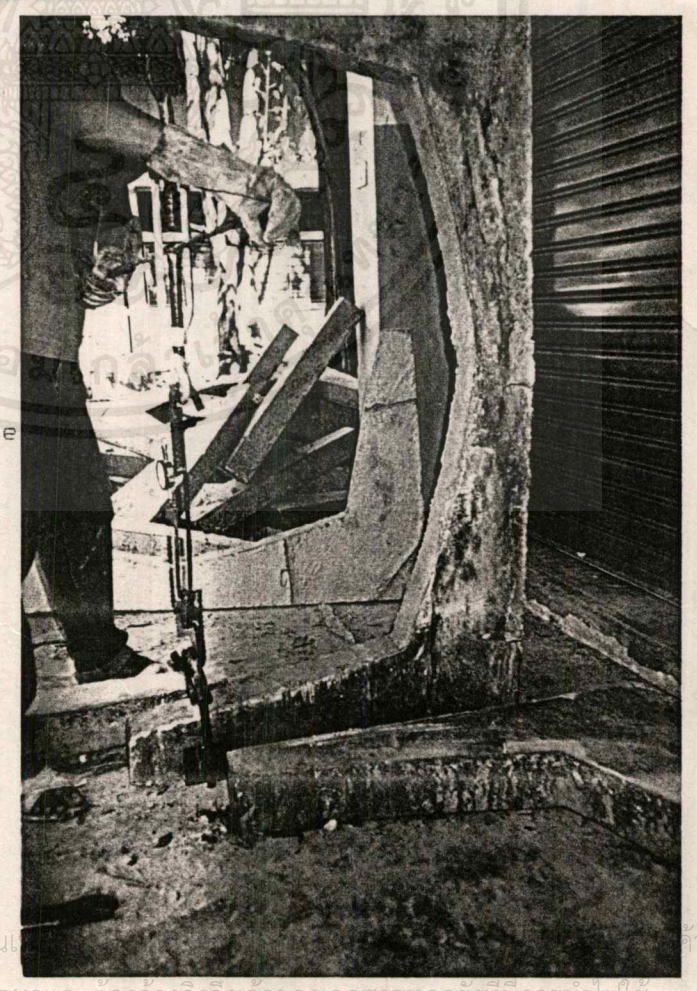


รูปที่ 28 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

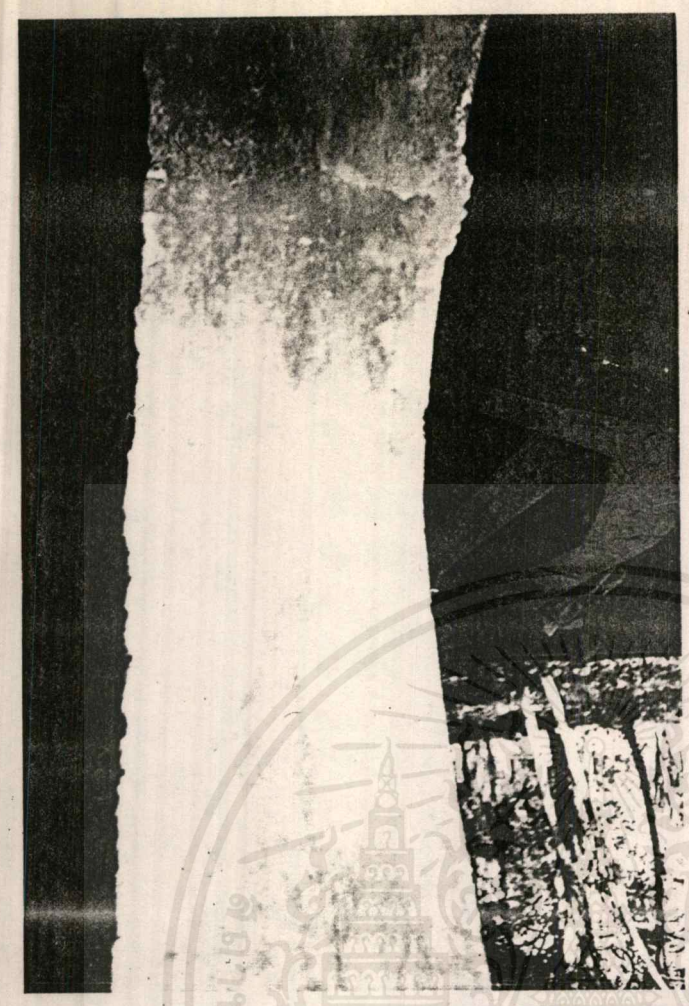


รูปที่ 29 แสดงการหมุน Turnbuckle

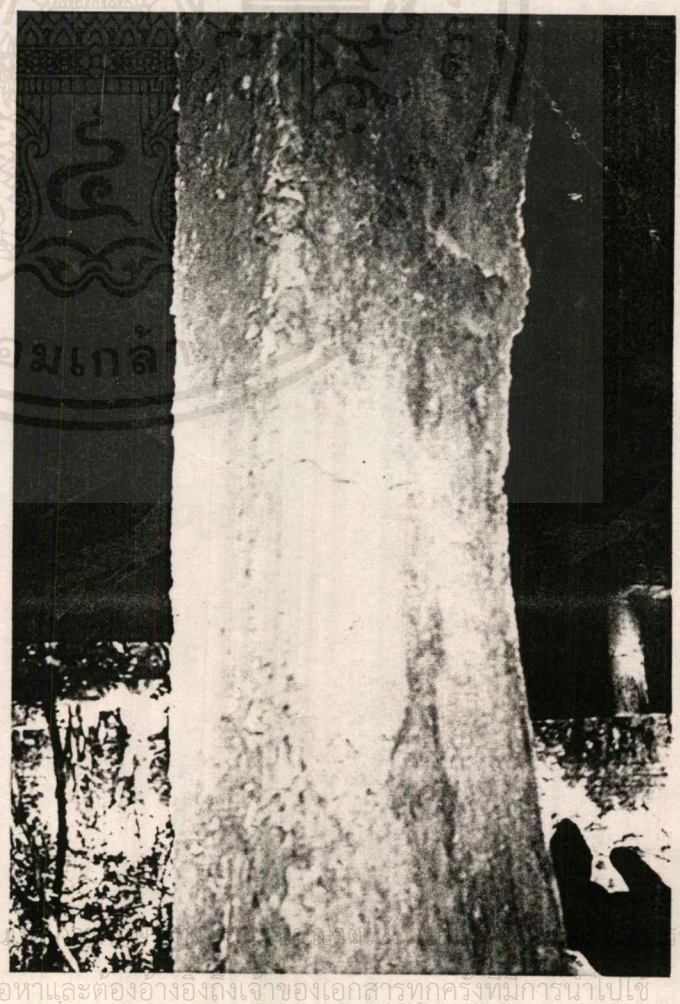


รูปที่ 30 แสดงการหมุน Turnbuckle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

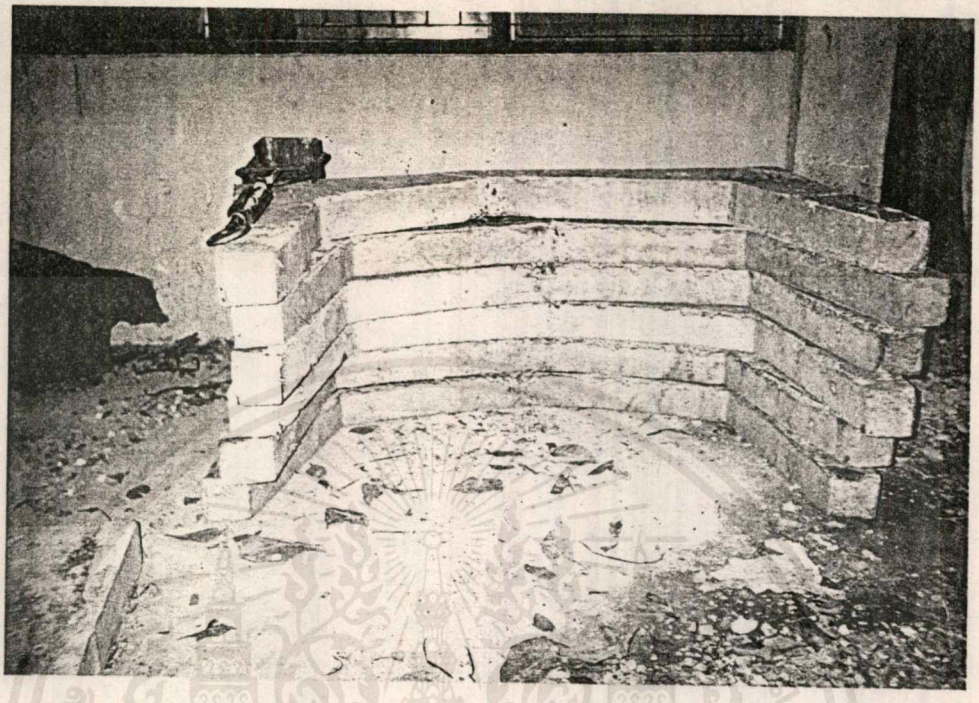


รูปที่ 31 แสดงรอยแตกบนโครงสร้าง



รูปที่ 32 แสดงรอยแตกบนโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34 แสดงรอยแตกด้านในของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

1.R.PARK AND T.PAVLAY REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

2.คอนกรีตเสริมเหล็กฉบับแก้ไขเพิ่มเติม สนั่น เจริญเผ่า วินิต ช่อวิเชียร

3.STRUCTURE STEEL DESIGN ; JOSEPH E.BOWIS

4.มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

5.รายละเอียดเหล็กเสริมงานคอนกรีต ชมรมวิศวฯจุฬา 07

6.P.M. FERGUSON AND S.I.HUSION"STRENGTH EFFECT OF CUTTING OFF TENSION BARS IN CONCRETE BEAMS"RESEARCH REPORT 80-IFUNIVERSITY OF TEXAS AUSTIN 1967

7.B. Bresler and P.H. Gilbert, "Tie Requirements for Reinforce Concrete Columns," Journal ACI, Vol. 58,No 5., November 1961, pp 555-570.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้