การศึกษาความเค้นผสมโดยการดึงทิศทางเดียวและสองทิศทาง

STUDY MIX STRESS BY ONE DIRECTION & TWO PARALLEL DIRECTIONS

กานดิศ ลับกิ่ม
เอกชัย ทรงเดชาไกรวุฒิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความเค้นผสมโดยการดึงทิศทางเดียวและสองทิศทาง

STUDY MIX STRESS BY ONE DIRECTION & TWO PARALLEL DIRECTIONS

T144496

กานดิศ ลับกิ่ม

เอกชัย ทรงเดชาไกรวุฒิ

วน
ก432ก
2558
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....144496
วัน,เดือน,ปี.....24 พ.ย. 2559
b.....12820241
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY MIX STRESS BY ONE DIRECTION & TWO PARALLEL DIRECTIONS

KANDIS LUBKIM

EKKACHAI SONGDECHAKRAIWUT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเค้นผสมโดยการดึงทิศทางเดียวและสองทิศทาง

นักศึกษา นายกานดิศ ลับกิ่ม รหัสนักศึกษา 55010079

นายเอกชัย ทรงเดชาไกรวุฒิ รหัสนักศึกษา 55011483

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	
รศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 30 มีนาคม 2559 เวลา 13.00 – 17.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา CV ชั้น 1 ห้อง ประชุมภาควิศวกรรมโยธา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรอง

(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

30 มี.ค. พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเค้นผสมโดยการดึงทิศทางเดียวและ 2 ทิศทาง

นายกานดิศ ลับกิ่ม รหัสนักศึกษา 55010079

นายเอกชัย ทรงเดชาไกรวุฒิ รหัสนักศึกษา 55011483

รศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

วิศวกรรมโยธา

2558

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการวิบัติและความเค้นผสมของเหล็กเสริมคอนกรีตโดยการดึงแบบpull out test คอนกรีตที่หุ้มเหล็กในวิธีการดึงหนึ่งทิศทางจะเกิดแรงอัด คอนกรีตในวิธีการดึงสองทิศทางจะเกิดแรงดึงซึ่งจะคล้ายคลึงกับความเป็นจริง ซึ่งในโครงงานนี้จะศึกษาความแตกต่างในแต่ละวิธี โดยใช้ระยะฝัง 17 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร ระยะคอนกรีตหุ้มประมาณ 3 เซนติเมตร 5 เซนติเมตร และใช้เหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง16 และ 25 มิลลิเมตร เรื่องของพฤติกรรมการวิบัติการดึงแบบทิศทางเดียวจะมีการวิบัติทันทีและจะมีรอยแตกร้าวเป็นรูปกรวยซึ่งมีระยะประมาณ 4 เซนติเมตร การดึงสองทิศทางอาจจะมีการรอยร้าวที่ผิวก่อนการวิบัติทั้งนี้ขึ้นกันระยะหุ้มคอนกรีตและระยะฝัง ถ้าระยะฝังมีมากจะช่วยให้เกิดรอยร้าวก่อน ถ้าระยะหุ้มคอนกรีตมีมากจะทำให้ไม่ให้เกิดรอยร้าว ความเค้นผสมพบว่าการดึงทิศทางเดียวมีความเค้นที่ผิวน้อยกว่าการดึงสองทิศทางอยู่มากในช่วงที่มีระยะหุ้มของคอนกรีต 3 ถึง 5 เซนติเมตรในการก่อสร้างทั่วๆไปใช้ระยะหุ้มคอนกรีตนี้ แต่ในสภาพที่มีระยะฝังมากขึ้น ค่าความเค้นผิวเหล็กของการดึงสองทิศทางจะมีค่าลดลงประมาณครึ่งหนึ่งถ้าระยะเพิ่มขึ้นหนึ่งเท่าตัว ซึ่งมาตรฐานการออกแบบอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study mix stress by one direction & two parallel direction

MR. Kandis Lubkim STUDENT ID 55010079

MR. Ekkachai Songdechakraiwut STUDENT ID 55011483

Bachelor of Engineering

Civil Engineering

2015

Assoc.Professoe. Suwat Dhirasedh

ABSTRACT

This project is to study failure behavior and stresses of deformed bars by pull out test. Pull one direction method is same put out test which covering concrete steel bar has compression force. Pull two parallel direction method has tension force. Actually it has to tension. This project study difference in each method. Development bond is 17 and 10 cm. Concrete cover bar between 5 and 3 cm. Diameter steel is 25 and 16 mm. One direction has suddenly failed. Two direction may be has crack on surface depend on covering concrete and development bond. Surface will Crack if development bond increase. If covering concrete will increase, surface hasn't crack. Stress of one direction is less than Stress of two directions which covering concrete is about 3-5cm. The covering concrete generally was used. Stress of two directions decreased if development bond increases. Stress of one direction happen still is safety.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำต้องขอบคุณ รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ที่ค่อยให้คำปรึกษาและแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆในเรื่องของเนื้อหา ทฤษฎี ตลอดจนการวางแผนและการใช้เครื่องมือที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้การทำปริญญานิพนธ์นี้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการต่างๆที่ค่อยชวยเหลือและให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือต่างๆตั้งแต่ผสมคอนกรีตจนถึงการทดสอบเสร็จสิ้น

เพื่อนๆที่ค่อยช่วยเหลือในเรื่องการผสมคอนกรีตตลอดจนการแกะแบบออกจากคอนกรีต

หากไม่ได้รับการช่วยเหลือเหล่านี้ คงมีจะความยากลำบากในการทำปริญญานิพนธ์นี้

กานดิศ ลับกิ่ม

เอกชัย ทรงเดชาไกรวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 วิธีการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา 2

1.6 การวางแผนการทำงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 4

2.2 คอนกรีตสด 5

2.3 คอนกรีต 9

2.4 แรงยึดเหนี่ยว 19

2.5 วรรณกรรมปริทัศน์ 30

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 31

3.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบสำหรับผสมคอนกรีต 31

3.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete mixed design) 31

3.3 ลักษณะชิ้นตัวอย่าง 32

3.4 การเตรียมแบบ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การเตรียมเหล็ก 37
3.6 การเทคอนกรีต 39
3.7 การถอดแบบ 40
3.8 การบ่มคอนกรีต 41
3.9 แต่งพื้นที่ผิวรับแรง 42
3.10 อุปกรณ์เสริมช่วยในการทดลอง 43
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราห์ 44
4.1 คุณสมบัติส่วนผสมของคอนกรีต 47
4.2 การออกแบบส่วนผสม 48
4.3 ผลการทดสอบกำลังคอนกรีต 48
4.4 คุณสมบัติของเหล็ก 50
4.5 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กขาด 55
4.6 ผลการทดสอบแรงดึงหนึ่งทิศทาง 57
4.7 ผลการทดสอบแรงดึงสองทิศทาง 61
4.8 ลักษณะของผลการทดสอบ 69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 74
5.1 พฤติกรรมการวิบัติของวิธีดึงหนึ่งทิศทาง 74
5.2 พฤติกรรมการวิบัติของวิธีดึงสองทิศทาง 74
5.3 พฤติกรรมของคอนกรีตส่วนบนและส่วนล่าง 74
5.4 เปรียบเทียบของการดึงทั้งสองแบบ 75
5.5 ผลของการที่มีคอนกรีตห่อหุ้ม 75
5.6 ข้อเสนอแนะ 75
บรรณานุกรม 76
ภาคผนวก 78
ภาคผนวก ก 78
ภาคผนวก ข 85
ภาคผนวก ค 105
ภาคผนวก ง 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาคผนวก จ 133
ภาคผนวก ฉ.....136
ภาคผนวก ช 142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 การวางแผนการทำงาน 3
2.1 อัตราวัสดุส่วนผสมโดยตวงปริมาตร 14
2.2 อัตราส่วนของน้ำกับปูนซีเมนต์ 14
2.3 ข้อมูลสำหรับการพิจารณาการยุบตัวที่เหมาะสมของคอนกรีต 15
2.4 การกำหนดระยะเวลาโดยประมาณการบ่มคอนกรีตของปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ 17
2.5 การกำหนดระยะเวลาโดยประมาณการถอดแบบหล่อคอนกรีต 18
3.1 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงสองทิศทาง 32
3.2 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงสองทิศทาง (ต่อ) 33
3.3 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงทิศทางเดียว 34
3.4 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงทิศทางเดียว (ต่อ) 35
4.1 ข้อมูลการทดลองหาปริมาณความชื้นของมวลรวมละเอียด 44
4.2 ข้อมูลการทดลองหาขนาดของมวลรวมละเอียด 45
4.3 ข้อมูลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด 45
4.4 ข้อมูลการทดลองหาปริมาณความชื้นของมวลรวมหยาบ 46
4.5 ข้อมูลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ 46
4.6 ข้อมูลการใช้ปริมาณของวัสดุ 48
4.7 ข้อมูลการทดลองของลูกปูนรอบที่ 1 48
4.8 ข้อมูลการทดลองของลูกปูนรอบที่ 2 48
4.9 ข้อมูลการทดลองของลูกปูนรอบที่ 3 49
4.10 ข้อมูลเหล็ก 12 มม.และ 16 มม. ที่มีสภาพเป็นสนิม 50
4.11 ข้อมูลเหล็ก 16 มม. BSI SD 40 51
4.12 ข้อมูลเหล็ก 16 มม. BSI SD 40 (ต่อ) 52
4.13 ข้อมูลเหล็ก 25 มม. ทลกส SD 40 53
4.14 ข้อมูลเหล็ก 25 มม. ทลกส SD 40 (ต่อ) 54
4.15 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 12 มม. สภาพเป็นสนิม 55
4.16 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 16 มม. สภาพเป็นสนิม 55
4.17 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 16 มม 56
4.18 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 25 มม 56
4.19 ข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 16 มม 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.20 ข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 25 มม.	58
4.21 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 16 มม. ระยะฝัง 17 ซม.	59
4.22 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 16 มม. ระยะฝัง 10 ซม.	59
4.23 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 25 มม. ระยะฝัง 17 ซม.	60
4.24 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 25 มม. ระยะฝัง 10 ซม.	60
4.25 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 2 ยืดไปแล้ว 0.54 มม.	61
4.26 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 3 เกิดแรงไปแล้ว 1800 กก.	61
4.27 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 4 เกิดแรงไปแล้ว 1750 กก.	61
4.28 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 5 เกิดแรงไปแล้ว 1500 กก.	62
4.29 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 7 เกิดแรงไปแล้ว 3500 กก.	62
4.30 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 8 เกิดแรงไปแล้ว 3800 กก.	62
4.31 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 8 เกิดแรงไปแล้ว 3800 กก.	62
4.32 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 1 เกิดแรงไปแล้ว 2400 กก.	63
4.33 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 2 เกิดแรงไปแล้ว 2200 กก.	63
4.34 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 3 เกิดแรงไปแล้ว 2200 กก.	63
4.35 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 4 เกิดแรงไปแล้ว 2500 กก.	63
4.36 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 5 เกิดแรงไปแล้ว 2800 กก.	63
4.37 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 6	64
4.38 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 7	64
4.39 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 10	64
4.40 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 1 เกิดแรงไปแล้ว 2333 กก.	64
4.41 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 2 เกิดแรงไปแล้ว 1100 กก.	64
4.42 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 3 เกิดแรงไปแล้ว 1400 กก.	64
4.43 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 12 มม. สภาพสนิม	65
4.44 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 16 มม. สภาพสนิม	66
4.45 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 16 มม.	67
4.46 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 25 มม.	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป หน้า

2.1 รูปแบบยุบตัวของคอนกรีตสด 7
2.2-2.5 หน่วยแรงยืดเหนี่ยวที่เกิดจากการดัด 19
2.6 แรงและหน่วยแรงที่กระทำกับส่วนของคาน 20
2.7 แรงและหน่วยแรงที่กระทำกับส่วนของคาน 21
2.8 การเปลี่ยนแปลงของแรงในเหล็กเส้นและหน่วยแรงยืดเหนี่ยว 22
2.9 ผลของรอยแตกร้าวจากการดัดที่มีต่อหน่วยแรงยืดเหนี่ยว 23
2.10 แหล่งที่มาของกำลังยืดเหนี่ยว 24
2.11 หน่วยแรงดึงที่เกิดจากองค์ประกอบในแนวรัศมีของแรงดันแบกทาน 25
2.12 รูปแบบการวิบัติของการแตกร้าวจากแรงยืดเหนี่ยว 25
2.13 ผลของระยะหุ้มและระยะห่างของเหล็กเส้นที่มีต่อการแตกร้าว 26
2.14 การแตกร้าวของคอนกรีตตามแนวเหล็กเสริม 27
2.15 องค์ประกอบแรงยึดเหนี่ยวภายใน 29
3.1แสดงการยึดจับ 36
3.2 วิธีการผ่าครึ่งของท่อพีวีซี 36
3.3 ทานำมันเคลือบท่อพีวีซี 36
3.4-3.5 การวางแบบตอนหล่อคอนกรีต 37
3.6-3.7 การตัดเหล็กเส้นโดยเครื่องตัดไฟเบอร์ 37
3.8-3.9 การชั่งน้ำหนักเหล็กที่ได้เตรียมไว้ 38
3.10-3.11 เก็บข้อมูลต่างๆของเหล็กเพื่อนนำไปใช้ในการ 38
3.12-3.13 ทาสีกันสนิม 38
3.14 ติดดินน้ำมันเพื่อจำกัดระยะพิจารณารูป 39
3.15 ทำการชั่งน้ำหนักเก็บข้อมูล 39
3.16 พันด้วยเทปใส 39
3.17 การกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตไหลเต็มแบบ 39
3.18 จัดเหล็กให้อยู่ตรงกลางของชิ้นตัวอย่าง 40
3.19 ทำการแกะเทปกาวที่รัดรอบท่อพีวีซีและนำชิ้นตัวอย่างออกจากแบบ 40
3.20 บ่มคอนกรีต 28 วัน 41
3.21 บ่มคอนกรีต 28 วัน 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป **หน้า**

3.22 นำชิ้นตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม และผึ่งให้แห้ง..... 41
3.23 นำชิ้นตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม และผึ่งให้แห้ง.....42
3.24-3.25 แต่งผิวคอนกรีต.....42
3.26 ตัวอย่างโครงเหล็ก.....43
3.27 แผ่นเหล็กมารองเพิ่มเพื่อให้มีพื้นที่ผิวหน้าตัดรับแรงที่ดี..... 43
3.28ตัวอย่างการดึง.....43
4.1 กราฟดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ตัวอย่างที่ 1.....69
4.2 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ตัวอย่างที่ 1..... 69
4.3 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นสนิมผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1..... 70
4.4 กราฟดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1..... 70
4.5 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 14..... 71
4.6 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 20..... 71
4.7 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 31..... 72
4.8 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 31..... 72
4.9 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 27.....73
4.10 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 27..... 73
ก.1 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1.....79
ก.2 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2.....79
ก.3 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3.....80
ก4. ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1..... 80
ก5. ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2..... 81
ก6. ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3.....81
ก7. ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1.....82
ก8. ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2.....82
ก9. ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1.....83
ก.10 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2.....83
ก.11 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3..... 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป **หน้า**

ข.1 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 1..... 86
ข.2 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 2..... 86
ข.3 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 3..... 87
ข.4 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 4..... 87
ข.5 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 5..... 88
ข.6 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 7..... 88
ข.7 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 8..... 89
ข.8 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรตัวอย่าง 9..... 89
ข.9 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 1..... 90
ข.10 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 2..... 90
ข.11 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 3..... 91
ข.12 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 4..... 91
ข.13 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 5..... 92
ข.14 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 6..... 92
ข.15 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 2..... 93
ข.16 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 3..... 93
ข.17 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 4..... 94
ข.18 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 5..... 94
ข.19 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 6..... 95
ข.20 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 7..... 95
ข.21 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 8..... 96
ข.22 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 9..... 96
ข.23 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 10..... 97
ข.24 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 11..... 97
ข.25 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรตัวอย่าง 12..... 98
ข.26 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 1..... 98
ข.27 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 2..... 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

ข.28 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 3..... 99
ข.29 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 4..... 100
ข.30 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 5..... 100
ข.31 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 6..... 101
ข.32 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 7..... 101
ข.33 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 8..... 102
ข.34 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 9..... 102
ข.35 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 10..... 103
ข.36 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 11..... 103
ข.37 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรตัวอย่าง 12..... 104
ค.1 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่13..... 106
ค2. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่14..... 106
ค3. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่15..... 107
ค4. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่17..... 107
ค5. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่18..... 108
ค6. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่19..... 108
ค7. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่20..... 109
ค8. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่21..... 109
ค9. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่22..... 110
ค10. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่23..... 110
ค11. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่24..... 111
ค12. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่25..... 111
ค13. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่26..... 112
ค14. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่27..... 112
ค15. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่28..... 113
ค16. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่29..... 113
ค17. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่30..... 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

ค18. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่31..... 114
ค19. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่32..... 115
ค20. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่33..... 115
ค21. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่34..... 116
ค22. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่35..... 116
ค23. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่36..... 117
ค24. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่14..... 117
ค25. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่15.....118
ค26. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่16..... 118
ค27. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่17..... 119
ค28. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่18..... 119
ค29. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่19.....120
ค30. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่20..... 120
ค31. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่21..... 121
ค32. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่22.....121
ค33. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่23..... 122
ค34. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่24.....122
ค35. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่25..... 123
ค36. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่26.....123
ค37. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่27.....124
ค38. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่28..... 124
ค39. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่29..... 125
ค40. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่30..... 125
ค41. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่31.....126
ค42. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่32..... 126
ค43. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่33.....127
ค44. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่34.....127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

ค45. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่35..... 128

ค46. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่36..... 128

ง.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 1..... 130

ง.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 2..... 130

ง.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 3..... 131

ง.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงคอนกรีต รอบที่ 1..... 131

ง.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 3..... 132

จ.1 ผลการดึงเหล็กเปล่าเป็นสนิม เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3..... 134

จ.2 ผลการดึงเหล็กเปล่าเป็นสนิม เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3..... 134

จ.3 ผลการดึงเหล็กเปล่า เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3..... 135

จ.4 ผลการดึงเหล็กเปล่า เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3..... 135

ฉ.1 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กสนิมขนาด 12 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 1 ถึง 10.....137

ฉ.2 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กสนิมขนาด 16 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 1 ถึง 10.....137

ฉ.3 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 16 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 1 ถึง 3..... 138

ฉ.4 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 16 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 3 ถึง 6..... 138

ฉ.5 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 16 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 7 ถึง 9..... 139

ฉ.6 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 16 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 10 ถึง 12.....139

ฉ.7 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 25 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 1 ถึง 3..... 140

ฉ.8 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 25 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 4 ถึง 6..... 140

ฉ.9 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 25 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 7 ถึง 9..... 141

ฉ.10 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 25 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 10 ถึง 12..... 141

ช 1.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 13 ถึง 15..... 143

ช 2.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 16 ถึง 18..... 143

ช 3.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 19 ถึง 21..... 144

ช 4.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 22 ถึง 24..... 144

ช 5.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 25 ถึง 27..... 145

ช 6.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 28 ถึง 30..... 145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

ช 7.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 31 ถึง 33..... 146
ช 8.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 34 ถึง 36..... 146
ช 8.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 34 ถึง 36..... 147
ช 9.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 13 ถึง 15..... 147
ช 10.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 16 ถึง 18..... 148
ช 11.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 19 ถึง 21..... 148
ช 12.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 22 ถึง 24..... 149
ช 13.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 25 ถึง 27..... 149
ช 14.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 28 ถึง 30..... 150
ช 15.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 31 ถึง 33..... 150
ช 16.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 34 ถึง 36..... 151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาปัญหา

การก่อสร้างในปัจจุบันมีมาตรฐานและข้อกำหนดในการออกแบบ ในเรื่องของพันธะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต มาตรฐานกำหนดระยะฝังขั้นต่ำเพื่อป้องกันการรูดหลุดและการปริแตกของคอนกรีต มาตราฐานมาจากการทดสอบแบบการดึงเหล็กทิศทางเดียว

ลักษณะของการทดสอบดึงเหล็กทิศทางเดียวมีลักษณะการดึงเหล็กออกจากคอนกรีตโดยมีแผ่นเหล็กมากดทับที่ผิวคอนกรีต ลักษณะดังกล่าวคอนกรีตที่ถูกกดทับจะเกิดแรงอัดในเนื้อคอนกรีตขึ้น โดยลักษณะความเป็นจริงเนื้อในคอนกรีตควรจะเป็นแรงดึง กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าประมาณ 10 %ของกำลังรับแรงอัด ดังนั้นจึงอาจคาดการณ์ได้ว่ากำลังของดึงเหล็กทิศทางเดียวอาจจะมีค่าที่น้อยว่ากับค่าที่สอดคล้องกับความเป็นจริง นอกจากค่ากำลังยังมีพฤติกรรมการวิบัติที่ต้องสังเกตความแตกต่าง คอนกรีตรับแรงดึงน่าจะเกิดรอยร้าวได้เร็วกว่าคอนกรีตรับแรงอัด ผลที่จะเกิดขึ้นคือรอยร้าวทำให้อายุการใช้งานน้อยลง ดังนั้นโครงงานนี้จึงพิจารณาค่ากำลังที่เกิดขึ้นกับกำลังที่ทำให้เกิดรอยร้าวว่ามีนัยสำคัญอย่างไรและศึกษาระยะหุ้มของคอนกรีต,ขนาดเหล็กและระยะฝังว่ามีผลต่อกำลังมีแนวโน้มเป็นอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาพฤติกรรมการวิบัติเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวทั้งทิศทางเดียวกับสองทิศทาง

1.2.2 ศึกษาอิทธิพล เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็ก,ระยะฝังและระยะหุ้มของคอนกรีตมีผลต่อพฤติกรรมการวิบัติอย่างไร

1.2.3 เปรียบเทียบกำลังที่เกิดขึ้นกับข้อกำหนดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 พฤติกรรมการวิบัติสังเกตจากการเกิดรอยร้าวที่ผิว

1.3.2 เหล็ก DB 16 มม. เป็นของBSI เหล็ก DB 25 มม. เป็นของ กลทส

1.3.3 อัตราการดึง 1 มม./นาที

1.3.4 ศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นจากการอ่านค่าจากกราฟ

1.4 วิธีการศึกษา

1.4.1 ศึกษาข้อมูลแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมคอนกรีต งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตัวแปรต่าง มาตรฐาน

1.4.2 การใช้เครื่องมือ

1.4.3 จัดเตรียมวัสดุ-อุปกรณ์และเก็บค่าเบื้องต้น

1.4.4 หล่อคอนกรีต-บ่มคอนกรีต

1.4.5 เก็บค่าเบื้องต้นแล้วนำมาทดสอบ

1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูล

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.5.1 พฤติกรรมการวิบัติของการทดสอบทิศเดียวและสองทิศทาง

1.5.2 พฤติกรรมการวิบัติของการดึงสองทิศทางควรจะนำมาพิจารณาในการออกแบบ

1.5.3 ลักษณะการร้าวที่ผิวและการวิบัติที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นการวิบัติแบบใด

1.5.4 ความเค้นที่เกิดขึ้นจริงนำมาวิเคราะห์มีการวิบัติแบบใดและนำมาเปรียบเทียบกับ มาตราฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 การวางแผนการทำงาน

ตารางที่ 1.1 การวางแผนการทำงาน

	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม	→	→	→	→			
2.หาค่าตัวแปรของวัสดุ				→	→		
3.จัดเตรียมวัสดุ+ทดสอบ+ส่องกล้อง				→	→	→	
4.วิเคราะห์ข้อมูล				→	→	→	→
5.เปรียบเทียบ						→	→
6.สรุปผล						→	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่หนึ่ง

เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่ จะนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น ทำผิวถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น ปูน ซีเมนต์ประเภทนี้มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อสารที่เป็น ด่าง จึงไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องสัมผัสกับด่าง จากดินหรือน้ำ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี

ประเภทที่สอง

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เมื่อผสมกับน้ำจะคายความร้อนออกมาน้อยกว่าประเภทธรรมดา และมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะ สำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิเช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพง กันดินในบริเวณที่ถูกน้ำเค็มเป็นครั้งคราว

ประเภทที่สาม

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ มีความ ละเอียดมากกว่า เป็นผลทำให้แข็งตัว และรับแรงได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วน ที่ต้องแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ

ประเภทที่สี่

เหมาะกับงานที่ต้องการควบคุมทั้งปริมาณ และอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ ซึ่งถ้ามีความร้อน อย่างร้ายแรงต่อตัวเขื่อน เนื่องจากจะทำให้เกิด การแตกหรือร้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่ห้า

มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่ต้องสัมผัสกับด่าง เช่น ในบริเวณที่ดินมีความ เป็นด่างสูง หรือน้ำทะเล ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะช้ากว่าประเภท อื่นๆ

2.2 คอนกรีตสด

คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ต้องการได้แก่ ความสม่ำเสมอของส่วนผสมความง่ายในการลำเลียงและขนส่ง การทำงานได้สะดวกโดยที่สามารถเทลงแบบและเขย่า สามารถอัดแน่นได้ง่ายโดยไม่เกิดการแยกตัวเพื่อที่จะทำให้เข้าใจถึงคุณสมบัติของคอนกรีตสดจึงจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีของการเสียรูปของคอนกรีตสดและวิธีการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดด้านต่างๆ

2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวการเสียรูปของคอนกรีต

คอนกรีตสดประกอบด้วยของแข็ง ซึ่งได้แก่ มวลรวมและปูนซีเมนต์ที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวซึ่งก็คือน้ำ คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตสด คือ ความสามารถทำงานได้ (Workability)ซึ่งก็ หมายถึง คุณสมบัติหรือพฤติกรรมการเสียรูปของคอนกรีตสดภายใต้แรงกระทำ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสดจึงควรศึกษาถึงหลักและทฤษฎีของการเสียรูปภายใต้แรงกระทำ โดยธรรมดาแล้วของเหลวมีพฤติกรรมตามกฎการไหลความหนืดของนิวตัน

2.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด

คุณสมบัติของคอนกรีตสดขึ้นอยู่กับส่วนผสมได้แก่ ปริมาณน้ำ คุณสมบัติของมวลรวม ชนิดของปูนซีเมนต์ วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีต และสารผสมเพิ่ม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลา และอิทธิพลสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

2.2.3 ปริมาณน้ำในส่วนผสม

น้ำมีอิทธิพลต่อความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตโดยตรง การเพิ่มน้ำทำให้คอนกรีตสดมีสภาพเหลว ทำให้เทและอัดแน่นได้ง่าย แต่ทำให้กำลังลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตสดที่เหลวเกินไปยังเกิดการแยกตัวได้ง่าย เพราะทรายและหินจมลงสู่ด้านล่าง

2.2.4 คุณสมบัติของมวลรวม

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต อนุภาคของมวลรวมที่กลมจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้ง่ายดีกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างเหลี่ยมเป็นมุม เพราะมวลรวมกลมมีการขัดระหว่างวัสดุน้อย นอกจากนี้มวลรวมกลมยังมีพื้นผิวต่ำทำให้ต้องการปริมาณซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพสต์มาเคลือบและหล่อลื่นน้อย ขนาดและอนุภาคก็มีผลต่อการทำงานได้ของคอนกรีต มวลรวมที่มีขนาดเล็กก็จะมีพื้นที่ผิวมากทำให้ต้องการน้ำและซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

2.2.5 ชนิดของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วและสามารถเทได้ของคอนกรีตจะลดลง ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมาก เช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 จะต้องการน้ำมากกว่าชนิดอื่นที่มีอัตราส่วนผสมเหมือนกันเพราะมีพื้นที่ผิวมากและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา

2.2.6 เวลาและอุณหภูมิ

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะความร้อนทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่อากาศมีความสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้การสูญเสียของน้ำเกิดได้อย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดได้รวดเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง ทำให้ความสามารถในการเทได้ลดลงตามเวลาหลังจากผสมคอนกรีต

2.2.7 สารผสมเพิ่ม

การเพิ่มความสามรถเทได้ของคอนกรีตสามารถทำได้โดยใช้สารหน่วงการก่อตัว นอกจากนี้สารกักกระจายฟองอากาศและสารลดน้ำก็ช่วยทำให้ความสามรถเทได้ของคอนกรีตดีขึ้น การใช้ถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตจะช่วยให้ความสามารถเทได้ดีขึ้นและลดการแยกตัวของคอนกรีต

2.2.8 ความสามารถเทได้

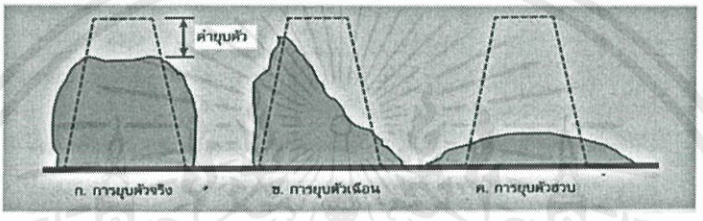
ปริมาณพลังงานที่เข้าไปในเนื้อคอนกรีตเพื่อให้เกิดการอัดแน่น พลังงานที่ใส่เข้าไปจะเอาชนะความเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคต่างๆในส่วนผสม แต่การวัดความสารถทำงานได้ของคอนกรีตโดยทั่วไปจะรวมเอาพลังงานอื่นด้วย พลังงานสำหรับจะเอาชนะความเสียดทานระหว่างคอนกรัตและแบบผสมหล่อ โดยทั่วไปความสมารถเทได้หมายถึง ความง่ายของการเทคอนกรีตโดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว ความสามารเทได้ของคอนกรีตสำหรับงานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของคอนกรีตที่เท

2.2.9 การทดสอบหาค่ายุบตัว

การทดสอบหาค่ายุบตัว (slump test) เป็นวิธีที่ใช้กันมานานและเป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะทำได้ง่ายและใช้เวลาสั้นๆเหมาะสำหรับการทดสอบคอนกรีตภาคสนาม เครื่องมือประกอบด้วย กรวยตัดและเหล็กกระทุ้ง กรวยตัดตอนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 ม.ม. ตอนล่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 203 ม.ม. มีหูจับ และมีแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบทั้งสองข้าง ส่วนเหล็กกระทุ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ม.ม. ยาว 600 ม.ม. ปลายกลมมนวิธีทดสอบมีอยู่ใน ASTM C143 (2) โดยบรรจุคอนกรีตลงในแบบ 3ชั้นๆ ละประมาณเท่ากันโดยปริมาตร แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง กระจายให้ทั่งถึงตลอดหน้าตัด เมื่อครบ 3 ชั้น จึงใช้เหล็กกระทุ้งปาดหน้าคอนกรีต ให้ระดับกับขอบกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการยุบตัวของคอนกรีตพบมีอยู่ 2 แบบคือ การยุบตัวจริง(true slume) การยุบตัวเฉือน(shear slump) และการยุบตัวฮวบ(collapse slump) ดังในรูปการยุบตัวจริงเกิดจากการยุบตัวของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของตัวเอง คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุละเอียดและหยาบที่ดีส่วนมากแล้วมีการยุบตัวจริง การยุบตัวเฉือนเกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตส่วนบนในลักษณะเฉือนลงไปอยู่ด้านข้าง หากการทดสอบในครั้งแรกได้เป็นผลการยุบตัวเฉือนควรทำการทดสอบคอนกรีตนั้นอีกครั้ง เพราะการยุบตัวเฉือนอาจเกิดจากการยุบตัวขึ้นไม่ตรง แต่ถ้าการทดสอบอีกครั้งยังได้เป็นผลเป็นการยุบตัวเฉือนเช่นเดิม การยุบตัวฮวบเกิดเมื่อคอนกรีตมีน้ำหนักผสมมากจนทำให้เหลวและยุบตัวลงไหลกองติดที่พื้น คอนกรีตที่มีการยุบตัวฮวบควรใช้ด้วยความระมัดระวังเพราะมีแนวโน้มจะเกิดการแยกตัวได้ง่ายถ้ามีการจี้เขย่าคอนกรีตที่มากเกินไป



รูปที่ 2.1 รูปแบบยุบตัวของคอนกรีตสด

2.2.10 การแยกตัว

การที่ส่วนผสมของคอนกรีตที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จากการแยกตัวของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ออกจากมอร์ต้าร์ การแยกตัวของคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ แบบแรกคือ การที่มวลรวมขนาดใหญ่ เช่น พวกหินซึ่งมีน้ำหนักมากมีแนวโน้มที่จะแยกออกจากส่วนผสมเนื่องจากสามารถกลิ้งไปได้ไกลกว่าส่วนผสมอื่นในขณะที่เทคอนกรีตลงบนที่ที่มีความลาดชัน การแยกตัวกรณีนี้มักเกิดได้ง่ายในคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งและมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ค่อนข้างน้อย การแยกตัวแบบที่สองเกิดจากการแยกตัวของซีเมนต์เพสต์ออกจากมวลรวม

การลดการแยกตัวสามารถทำได้โดยเลือกขนาดคละของมวลรวมที่ดี ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีการเกาะตัวกันสูงและมีการควบคุมการขนส่ง มีการเทเข้าแบบและการอัดแน่นหรือจี้เขย่าที่ถูกต้อง ไม่ควรเทคอนกรีตจากระดับที่สูงลงในแบบหล่อโดยตรงเพราะจะทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างหินแกจากน้ำปูนได้ง่าย ถ้าจะเป็นต้องควรมีรางหรือท่อส่งไปยังแบบหล่อการเทคอนกรีตที่มีสิ่งกีดขวางเช่น คอนกรีตที่เหล็กเสริมหนาแน่นแจทำให้เกิดการแยกตัวได้เพราะหินอาจติดอยู่กับเหล็กเสริมทำให้เกิดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการกระจายคอนกรีต ไม่ควรใช้เวลานานเกิดไปเพราะทำให้มวลรวมที่มีน้ำหนักมากจมลงสู่กันแบบขณะที่ด้านบนโดยเฉพาะที่ผิวหน้าจะเป็นชั้นของน้ำปูน

การวัดค่าการแยกตัวของคอนกรีตเป็นสิ่งที่กระทำได้ยากแต่สามารถสังเกตได้ง่ายด้วยตา อย่างไรก็ตามหากคอนกรีตมีปัญหาของการแยกตัวเนื่องจากการจี้เขย่า วิธีทดสอบที่สามารถทำได้ง่าย คือ การนำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานใส่แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกหรือรูปลูกบาศก์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจี้เขย่าเป็นเวลา 10 นาที นำคอนกรีตออกจากแบบและแบะคอนกรีตออกเป็นสองซีกเพื่อดูการกระจายของหินว่ามีการแยกตัวมากน้อยเพียงใด

2.2.11 การเยิ้มน้ำ

การเยิ้มน้ำ (bleeding) ของคอนกรีตจัดเป็นการแยกตัวชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นการแยกตัวของน้ำออกจากคอนกรีต น้ำเป็นส่วนผสมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุดในคอนกรีต และน้ำบางส่วนสามารถลอยขึ้นสู่ผิวบนหน้าของคอนกรีตสืบเนื่องจากส่วนผสมอื่นที่เป็นของแข็งไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้หมด การเยิ้มน้ำของคอนกรีตทำให้ส่วนบนของคอนกรีตมีกำลังต่ำกว่าส่วนล่างโดยเฉพาะที่บริเวณผิวที่มีน้ำมาก ในบางครั้งน้ำจะพาเอาปูนซีเมนต์ที่มีขนาดเล็กติดมาด้วย และถ้าการเยิ้มน้ำเกิดในปริมาณมากเมื่อคอนกรีตแห้งจะทำให้เกิดผิวที่มีรูพรุนและไม่แข็งแรงทำให้หลุดออกเป็นฝุ่นได้ง่ายเรียกชั้นของผิวชนิดนี้ว่า ฝ้าน้ำปูน (laitance) ซึ่งต้องทำการล้างหรือขัดออกด้วยแปรงลวดก่อนการเทคอนกรีตขั้นต่อไป เพื่อหลักเลี่ยงปัญหาจากฝ้าน้ำปูนจึงควรทำการตกแต่งผิวหน้าคอนกรีตเพื่อขจัดน้ำที่เยิ้มบนผิวหน้าคอนกรีตออกไป ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดชั้นคอนกรีตที่ไม่แข็งแรง แต่ถ้าการระเหยเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าการเยิ้มน้ำจนทำให้เกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากการหกตัวเมื่ออยู่ในสภาพพลาสติก (plastic shrinkage crack) ดังนั้นการเทคอนกรีตทับอีกชั้นหนึ่งโดยที่ไม่ได้ขจัดน้ำที่เยิ้มออกไปอาจเป็นการขังน้ำที่เยิ้มภายใต้คอนกรีตชั้นบน ทำให้ส่วนบนของคอนกรีตชั้นล่างมีรูพรุน ไม่ทนทานและลดความแข็งแรง

นอกจากนี้ถ้ามีสิ่งกีดขวางการลอยขึ้นของน้ำมายังผิวด้านบน เช่น มวลรวมที่มีขนาดใหญ่หรือเหล็กเสริมจะทำให้มีน้ำถูกขังอยู่ภายใต้สิ่งกีดขวางเหล่านี้ทำให้เกิดช่องว่าง หรือทำให้น้ำปูนบริเวณนั้นไม่แข็งแรงและเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยว (bond) ระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแรงยึดเหนียวระหว่างคอนกรีตและเหล็กที่อยู่ด้านล่างซึ่งไม่มีปัญหาของการเยิ้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และ น้ำ (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด)โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางด้านเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่า การไฮเดรชัน (hydration) โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากที่ผสมและหลังจากแข็งตัวแล้ว ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ที่ 28 วัน

2.3.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

คุณสมบัตรของคอนกรีตคือ การรับแรงอัด ในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ ประมาณ 10% ของแรงอัด แต่ถ้าต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ ต้องเพิ่มเหล็กเส้นเข้าไปในคอนกรีต เพื่อเหล็กจะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต

2.3.1.1 กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

กำลังต้านทานด้านต่างๆของคอนกรีต ล้วนเป็นสัดส่วนเทียบได้กับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทั้งสิ้น

ปัจจัยของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ขึ้นกับอัตราส่วนผสม ปริมาณน้ำ อายุของแท่งทดสอบ การบ่ม ตลอดจนรูปร่างและขนาดของแท่งตัวอย่างที่นำมาทดสอบซึ่งพบว่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีดจะน้อยลงเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มากขึ้น กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์มาตรฐานมีค่าสูงกว่าของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานอยู่ประมาณ 13% และกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน จะน้อยกว่าเมื่ออายุ 28 วันอยู่ประมาณ 25%

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการหดตัวของแท่งคอนกรีตมาตรฐานที่มีกำลังต้านทานแรงอัดต่างๆกันเมื่อรับแรงกดอัดตามแนวแกนอย่างเดียว (uniaxial stress) จนกระทั่งแท่งคอนกรีตตัวอย่างถูกอัดแตก จะเห็นว่าจากจุดเริ่มต้นที่ที่รับน้ำหนักจนถึงระดับของหน่วยแรงอัดประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็น ของกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด $f_c{}'$ ซึ่งเป็นช่วงที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน(working range)ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยซึ่งดูเหมือนเป็นเส้นตรง ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวัสดุที่ไม่ยืดหยุ่น(non-elastic material)นั่นเอง อย่างไรก็ดี ในทางปฏิบัติ เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักอยู่ในช่วงระยะเวลาสั้น(shot-time loading)มักจะสมมติว่าคอนกรีตมีหน่วยการหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงอัดที่กระทำ

เมื่อหน่วยแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเป็นเส้นโค้งคล้ายโค้งพาราโบลา ซึ่งพบว่าที่หน่วยแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตจะมีหน่วยการหดตัวประมาณ 0.002 มม./มม. และแท่งคอนกรีตยังสามารถต้านทานแรงอัดต่อไปได้ในขณะที่หน่วยการหดตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่หน่วยแรงอัดจะลดลงไปเรื่อยๆจนกระทั่งวิบัติที่หน่วยการหดตัวสูงสุดประมาณ 0.003 ถึง 0.004 มม./มม.ทั้งนี้ขึ้นกับกำลังต้านทานของคอนกรีต(มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดให้ใช้หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตเท่ากับ 0.003 มม./มม.)สังเกตว่า คอนกรีตที่มีกำลังต้านทานแรงอัดสูงหน่วยแรงอัดจะลดลงอย่างรวดเร้วเมื่อเลยจากหน่วยแรงอัดสูงสุดแล้ว แต่คอนกรีตที่มีกำลังต้านทานแรงอัดต่ำกว่าหน่วยแรงอัดจะลดลงอย่างช้าๆและมีค่าหน่วยการหดตัวสูงสุดมากกว่า นั่นแสดงว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่าจะมีความเหนียว (ductility) มากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่า

การหากำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตอีกวิธีหนึ่ง ทำโดยการหากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต(flexural test)โดยใช้ตัวอย่างคานคอนกรีตล้วนมาตรฐาน ขนาดหน้าตัด 15 x 15 ซม. ยาว 75 ซม. เมื่อขนาดดตสุดของหินไม่เกิน 40 มม. และให้น้ำหนักกระทำที่จุดแบ่งสามบนช่วงคานยาว 60 ซม. ค่าที่ได้เรียกว่าโมดูลัสของการแตกร้าว(Modulus of Rupture : f_r)เป็นค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดตรงจุดที่คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าว ซึ่งคำนวณจากสูตรแรงดัด $f_r = \frac{6M}{bh^2}$ ในเมื่อ M เป็นโมเมนต์ดัดที่กระทำ b และ h เป็นความกว้างและความลึกของคานตัวอย่าง ตามลำดับ

2.3.1.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

เป็นตัวบ่งหรือแสดงถึงความต้านทานต่อการเสียรูปของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักหรือแรงกดอัดกระทำ พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าแปรเปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตตลอดจนขนาดและระยะเวลาที่รับน้ำหนักบรรทุก เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกในช่วงใช้งานและกระทำในช่วงระยะเวลาสั้นๆอาจสมมติว่าคอนกรีตเป็นวัสดุยืดหยุ่นโดยมีหน่วยการหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงอัดที่กระทำแต่เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกค้างเป็นเวลานานหรือเมื่อต้องรับน้ำหนักหรือแรงกระทำซ้ำซากเป็นวัฏจักร ต้องพิจารณารวมหน่วยการหดตัวแบบพลาสติก หรือที่มักเรียกกันว่าหน่วยการล้าของคอนกรีตด้วยเพราะโมดูลัสยืดหยุ่นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตจะลดน้อยลงตามลำดับ ทำให้คอนกรีตเกิดการเสียรูปมากขึ้น และจะมีการเสียรูปถาวรเมื่อลดน้ำหนักหรือแรงกระทำ

2.3.1.2.1 Initial tangent modulus

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาจากวิธีนี้เป็นค่าที่สมมติว่าคอนกรีตเสมือนหนึ่งเป็นวัสดุยืดหยุ่น เช่นเดียวกับเหล็ก โดยคิกว่าไม่มีการเสียรูปอย่างถาวรเมื่อลดน้ำหนักหรือแรงกระทำ นั่นคือไม่มีการหดตัวแบบพลาสติกหรือการล้าของคอนกรีต

2.3.1.2.2 Secant Modulus

คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้นกับจุดใดๆที่ต้องการหาบนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว วิธีการนี้เป็นการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แท้จริงของคอนกรีตในช่วงใช้งาน เพราะเป็นค่าที่ได้รวมถึงการหดตัวแบบพลาสดิกหรือการล้าของคอนกรีต

2.3.1.2.3 Tangent Modulus

คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใดๆ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาได้โดยวิธีการนี้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แท้จริงของคอนกรีตทุกระดับของหน่วยแรงอัด

$$E_c = W^{1.5} 4270 \sqrt{f_c'} \quad \text{กก/.ซม.}^2$$

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

2.3.1.3 อัตราส่วนปัวซองส์ของคอนกรีต

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างหน่วยการยืดหดตัวทางด้านข้างต่อหน่วยการหดตัวตามแนวแกนที่รับน้ำหนัก

2.3.1.4 กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต

คอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงดึงต่ำมากเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นของกำลังต้านทานแรงอัดเท่านั้นจะนำกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตมาใช้เพื่อคำนวณเกี่ยวกับรอยร้าวในคอนกรีตซึ่งจะพิจารณาใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปหาความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตจากการทดสอบอ้อมโดยที่คำนวณหาค่ากำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตจากการอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานซึ่งวางให้แกนตามยาวอยู่ในแนวนอนจนกระทั่งคอนกรีตแตกหรือแยกออกจากกันในแนวดิ่งค่าที่ได้เรียกว่า กำลังดึงแยกผ่าซีกของคอนกรีต

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi hD}$$

กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตอีกวิธีหนึ่ง ทำโดยการหากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตล้วนมาตรฐาน ขนาด15x15x75 ซม. เมื่อขนาดโตสุดของหินไม่เกิน 40 มม. และให้น้ำหนักกระทำที่จุดแบ่งสามบนช่วงคานยาว 60 ซม. ค่าที่ได้เรียกว่าโมดูลัสของการแตกร้าว f_r เป็นค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดตรงจุดที่คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าว จาก

$$f_r = \frac{6M}{bh^2}$$

2.3.2. วัสดุส่วนผสมของคอนกรีต

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมีดังนี้

2.3.2.1 ปูนซีเมนต์

ทำหน้าที่ประสานมวลในคอนกรีต มีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ของคอนกรีต

2.3.2.2 วัสดุผสมย่อยอย่างละเอียด

การก่อสร้างในประเทศไทย วัสดุย่อยอย่างละเอียดจะใช้ทรายเป็นตัวแทรกประสาน ที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ (ปูนซีเมนต์ผสมน้ำ) ทรายที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติที่ สะอาด แข็งแรง ทนทาน ไม่มีสารเคมีหรือวัตถุอินทรีย์เจือปน เพราะอาจทำให้แรงยึดเหนี่ยวของปูนซีเมนต์เสียกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 วัสดุมวลรวมอย่างหยาบ

ใช้หินย่อยขนาดที่เหมาะกับการผสมคอนกรีตคือต้องไม่ใหญ่เกินไปเพราะทำให้ไม่สามารถเทเข้าไปในระหว่างแบบหล่อกับเหล็กเสริมของคานหรือเสาได้ในกรณีที่ทำคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับหินย่อยที่ใช้ผสมควรมีขนาดที่คละกัน เพื่อลดช่องว่างระหว่างหินให้น้อยลง

2.3.2.4 น้ำ

ที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องเป็นน้ำที่สะอาดซึ่งในการก่อสร้างส่วนมากมักระบุว่าต้องเป็นน้ำสะอาดที่ใช้ดื่ม เช่น น้ำประปา เพราะน้ำที่มีสารปนเปื้อนหรือไม่สะอาด อาจจะทำให้วัสดุผสมในคอนกรีตผุกร่อน คอนกรีตแข็งตัวช้า หรือกำลังลดลง

ถ้าหากงานก่อสร้างนั้นอยู่ใกล้ทะเลและจำเป็นต้องใช้น้ำทะเลมาผสมสามารถใช้น้ำยาผสมกันซัลเฟตผสมเพิ่ม อุณหภูมิที่ดีที่สุดของน้ำที่นำมาผสมคอนกรีตคือองศาเซลเซียส 20

2.3.2.5 น้ำยาผสมคอนกรีต

มีหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เช่น ต้องการให้คอนกรีตกันน้ำได้ ให้คอนกรีตแข็งตัวช้า เป็นต้น

2.3.3 วิธีการผสมคอนกรีต

2.3.3.1 การผสมด้วยมือ

ผสมด้วยเครื่องมือธรรมดาด้วยแรงงานคน ใช้พลั่วหรือจอบผสมปูน สำหรับงานที่ใช้คอนกรีตไม่มาก

2.3.3.2 การผสมด้วยเครื่องมือผสมคอนกรีตขนาดเล็ก

โดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน

2.3.3.3 การผสมด้วยเครื่องผสมขนาดใหญ่

จากโรงงานและบรรทุกโดยรถที่มีโม่ผสมปูนไปด้วยเพื่อไม่ให้คอนกรีตแข็งตัวมาส่งที่สถานที่ก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 อัตตราส่วนผสมของวัสดุและการนำไปใช้

การผสมวัสดุให้เข้ากันจนเป็นเนื้อคอนกรีตนั้น วัสดุผสมต่างๆจะต้องมีสัดส่วนที่ ได้มาตรฐานเพื่อคุณภาพของเนื้อคอนกรีตอัตราส่วนผสมของวัสดุในคอนกรีตสามารถกำหนดสัดส่วนได้ 2 แบบ ดังนี้

2.3.4.1 กำหนดอัตราส่วนผสมวัสดุโดยคิดตามน้ำหนักวัสดุ

2.3.4.2 กำหนดอัตราส่วนผสมวัสดุโดยตวงปริมาตร

ตาราง 2.1 อัตราวัสดุส่วนผสมโดยตวงปริมาตร

อัตราส่วนผสม			ลักษณะงาน
ปูนซีเมนต์	ทราย	หินย่อย	
1	1 $^1/_2$	3	หล่อเสาและส่วนของโครงสร้างที่ต้องการให้แน่นกันน้ำ
1	2	4	โครงสร้างทั่วไป เช่น เสา พื้น คาน บันได ครีบกันแดด
1	2 $^1/_2$	4	งานพื้นถนน ฐานรากอาคาร เขื่อน ทางเดินเท้า
1	3	5	งานหล่อคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น ฐานรากใหญ่ ผนังคอนกรีต

ตาราง 2.2 อัตราส่วนของน้ำกับปูนซีเมนต์

คอนกรีต			ลักษณะหิน	ปริมาตรที่ใช้
ปูนซีเมนต์	ทราย	หินย่อย		
1	3	6	แห้ง	32 ลิตร ปูนซีเมนต์ :1 ถุง (50 กก(.
1	3	6	ชื้น	28 ลิตร ปูนซีเมนต์ :1 ถุง (50 กก(.
1	2	4	แห้ง	26 ลิตร ปูนซีเมนต์ :1 ถุง (50 กก(.
1	2	4	ชื้น	23 ลิตร ปูนซีเมนต์ :1 ถุง (50 กก(.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6. การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

เมื่อผสมคอนกรีตแล้วจะต้องทดสอบดูความยุบตัวของคอนกรีต (Slump test) ก่อนนำไปใช้งาน

2.3.6.1 วางกรวยลงบนถาดโลหะแล้วใช้เท้าเหยียบปีกกรวยทั้งสองข้าง

2.3.6.2 เทคอนกรีตที่จะทำการทดสอบลงในกรวย โดยจะแบ่งเท 3 ครั้ง ครั้งละ 30 เซนติเมตร กระทุ้งด้วยแท่งเหล็กโดยในการเท 1 ครั้ง กระทุ้ง 10 ครั้ง ครั้งสุดท้ายปาดผิวหน้าให้เรียบ ทำความสะอาดปากกรวยและแผ่นเหล็กรอง แล้วยกกรวยขึ้นทันที

2.3.6.3 คอนกรีตส่วนบนจะยุบตัวลงวัดการยุบตัวโดยใช่แท่งเหล็กวางพาดบนปากกรวยในทางนอนแล้วยื่นปลายไปทางกองคอนกรีต ใช้ไม้บรรทัดปักลงในกองคอนกรีตให้ตั้งฉากกับแท่งเหล็กแล้ววัดระยะการยุบตัวของคอนกรีต พิจารณาตามข้อมูลว่าคอนกรีตเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ถ้าผลที่ได้สูงกว่าที่กำหนดก็ไม่ควรใช้

ตาราง 2.3 ข้อมูลสำหรับการพิจารณาการยุบตัวที่เหมาะสมของคอนกรีต

คอนกรีต	การยุบตัว
ฐานราก	ไม่เกิน เซนติเมตร 4
คาน พื้น	ไม่เกิน เซนติเมตร 15
เสา ผนัง คบางๆ ครีบกันแดด.ล.ส.	ไม่เกิน เซนติเมตร 10

2.3.7. ขั้นตอนการเทคอนกรีต

2.3.7.1.เทคอนกรีตให้เคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งให้ใกล้จุดที่ต้องการมากที่สุดในแบบหล่อและหลีกเลี่ยงการทำให้คอนกรีตเคลื่อนที่ในแนวราบเพื่อปองกันการแยกตัวของคอนกรีต

2.3.7.2.ระยะตกอิสระของคอนกรีตไม่ควรเกิน 1.5 เมตร เพื่อเทคอนกรีตได้ถูกตำแหน่งและลดการแยกตัวของคอนกรีต

2.3.7.3.ควรเทคอนกรีตเป็นชั้นๆอย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรเทเป็นกองสูง ความหนาของการเทแต่ละชั้นไม่ควรหนาเกินชั้นละ 45 เซนติเมตร และเทชั้นต่อไปในขณะที่ชั้นล่างยังไม่แข็งตัว เพื่อให้คอนกรีตทุกชั้นเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7.4.การทำให้คอนกรีตแทรกตัวเข้าไปในแบบหล่อได้ทั่วถึงและแน่น ต้องใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตข้อควรระวังในการใช้งานเครื่องจะต้องไม่เขย่าไปถูกเหล็กที่เสริมในคอนกรีตและอัตรากรเขย่าต้องพอดีไม่สั่นมากเกินไปจนทำให้น้ำปูนลอยที่ผิวหน้าคอนกรีต

2.3.7.5.การเทคอนกรีตต่อจากรอยต่อที่หยุดงานไว้ควรทำรอยต่อท่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น ตำแหน่งที่หยุดเทคอนกรีตในคาน ต้องอยู่ในตำแหน่งที่มีแรงเฉือนต่ำสุดคือบริเวณกึ่งกลางของคานและต้องหยุดเป็นเป็นแนวตั้งฉากกับแนวคานในและก่อนเทคอนกรีตต่อเนื่องจะต้องทำผิวหน้าคอนกรีตเดิมให้หยาบ สะอาด และควรทาด้วยน้ำยาเชื่อมประสาน (Bonding Agent) หรือน้ำปูนข้นเพื่อให้คอนกรีตที่เทไว้ก่อนและคอนกรีตใหม่ต่อกันสนิทและแน่นหนา

2.3.8. การบ่มคอนกรีต

การรักษาระดับปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของคอนกรีตหลังการเท โดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มต้นของคอนกรีตให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เพื่อลดการแตกร้าวของคอนกรีต และทำให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนสูง การบ่มคอนกรีตทำได้หลายวิธีดังนี้

2.3.8.1 การฉีดหรือพรมน้ำ

นำไปใช้ในงานโครงสร้างทั้งที่อยู่ในแนวราบและแนวดิ่ง เช่น แผ่นพื้น ผนังและกำแพง

2.3.8.2 การขังน้ำ

นำไปใช้ในโครงสร้างที่อยู่ในแนวราบ เช่น พื้อนอาคาร พื้นถนน ผนังและกำแพง

2.3.8.3 การใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม

นำไปใช้ในงานโครงสร้างทั้งที่อยู่ในแนวราบและแนวดิ่ง เช่น พื้นอาคาร พื้นถนน ผนังและกำแพง

2.3.8.4 การใช้กระดาษกันน้ำซึมคลุม

นำไปใช้ในงานบ่มคอนกรีตพื้นราบ

2.3.8.5 การใช้ผ้าพลาสติกคลุมการระเหยของน้ำ

เป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C171 นำไปใช้ในงานโครงสร้าง เช่น รางน้ำ พื้นหลังคา พื้นถนน และขอบทาง

2.3.8.6 การใช้น้ำยาบ่มคอนกรีต

ตามข้อกำหนด ASTM C 309 นำไปใช้ในงานโครงสร้างพิเศษต่างๆ ที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น พื้นสนามบิน หลังคาที่มีพื้นที่มาก เป็นต้น

2.3.8.7 การบ่มโดยใช้แบบหล่อ

โดยฉีดน้ำให้ชุ่ม นำไปใช้ในงานโครงสร้าง เช่น ฐานราก เสา คาน ผนัง กำแพง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ ชนิดละปริมาณของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต สัดส่วนผสมคอนกรีต กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ต้องการ ขนาดและรูปร่างโครงสร้าง อุณหภูมิที่ใช้บ่ม และความชื้นในขณะบ่ม

ตาราง 2.4 การกำหนดระยะเวลาโดยประมาณการบ่มคอนกรีตของปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ

ลักษณะงาน	ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในคอนกรีต		
	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3
เสา คาน กำแพง	7 วัน	7 วัน	4 วัน
พื้น ถนนในบริเวณบ้าน	8 วัน	8 วัน	4 วัน
ถนนชั้น 1 ลานวิ่งเครื่องบิน	-	14 วัน	7 วัน
เสาเข็ม	21 วัน	14 วัน	7 วัน
แผ่นพื้นบางๆ	14 วัน	14 วัน	7 วัน

2.3.8. การถอดแบบหล่อ

ระยะเวลาในการถอดแบบหล่อคอนกรีต หลังจากเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อ เสร็จแล้ว ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้และส่วนของโครงสร้างที่หล่อด้วยคอนกรีต อาจประมาณระยะเวลาตามตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
144496

ตาราง 2.5 การกำหนดระยะเวลาโดยประมาณการถอดแบบหล่อคอนกรีต

ชนิดของอาคาร คอนกรีต ที่ควรถอดแบบให้รับน้ำหนักตัวเองได้	ปูนซีเมนต์ผสม			ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว			ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		
	มีปูนซีเมนต์ใน 1 ลบ.ม.คอนกรีต			มีปูนซีเมนต์ใน 1 ลบ.ม. คอนกรีต			มีปูนซีเมนต์ใน 1 ลบ.ม. คอนกรีต		
	300-350 กก.	375-425 กก.	450-500 กก.	250-325 กก.	350-400 กก.	425-500 กก.	300-350 กก.	360-400 กก.	425-500 กก.
คอนกรีตเสริมเหล็ก (หล่อในที่ก่อสร้าง)เช่น คาน ตง ค้ำยัน กำแพงกันดิน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน
	21	21	15	15	10	7	8	5	3
คอนกรีตเสริมเหล็กชนิดบางบนพื้นคอนกรีตโครงสร้างที่รับน้ำหนักบิด เช่น บันได	21	21	21	18	14	10	12	7	5
คอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมส่วนที่สำคัญหรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับกำลังอย่างแรง เช่น เสาเข็ม	28	28	28	21	21	15	14	10	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แรงยึดเหนี่ยว

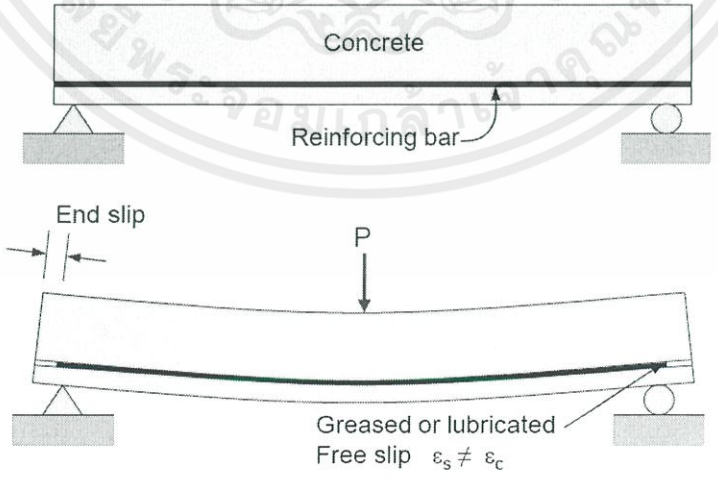
2.4.1. รูปแบบแรงยึดเหนี่ยว

กลไกสำคัญของคอนกรีตเสริมเหล็กคือการที่คอนกรีตและเหล็กเสริมทำงานร่วมกันในการต้านทานน้ำหนักบรรทุกภายนอกโดยเหล็กเสริมจะมีการยึดหดตัวเท่ากับคอนกรีตที่ห่อหุ้มอยู่ นั่นคือมีแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างเหล็กและคอนกรีตอย่างเพียงพอที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทแรงระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต การถ่ายเทแรงอาจจะเกิดการยึดติดที่ผิวของเหล็กหรือความขรุขระของเหล็กเสริมแบบข้ออ้อย แรงยึดเหนี่ยวยังถูกอธิบายได้ในรูปของระยะฝัง (Development length) ซึ่งเป็นความยาวของเหล็กเสริมที่ฝังปล่อยปลายในคอนกรีต แรงยึดเหนี่ยวในเหล็กเสริมจะเริ่มพัฒนาจากศูนย์ที่ปลายปล่อยจนมีค่าเพิ่มขึ้นเต็มที่ตามต้องการ

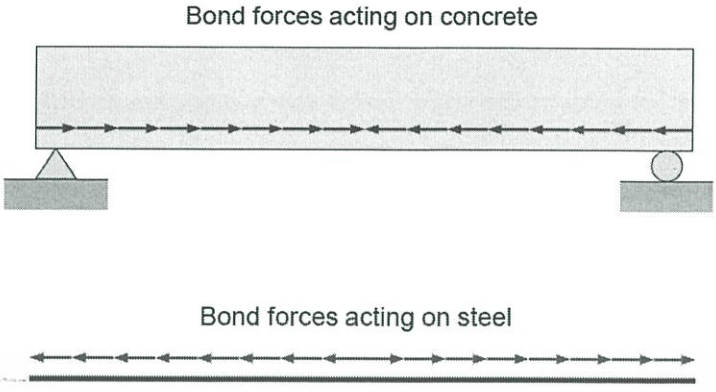
รูปแบบของการวิบัติอาจเกิดจากเหล็กเสริมถูกดึงออกมาจากเนื้อคอนกรีต (Pullout failure) แต่ที่พบได้บ่อยกว่าคือ แบบที่คอนกรีตโดยรอบแยกออกจากกัน (Splitting) อันเนื่องมาจากการยึดหดที่มากเกินไปของเหล็กเสริม เนื่องจากการแยกตัวของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความสามารถของคอนกรีตในการต้านทานแรงดึงซึ่งขึ้นกับระยะหุ้มระหว่างผิวคอนกรีตถึงเหล็กเสริม (Covering) และระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมรวมถึงปัจจัยการบีบรัดของเหล็กปลายปล่อย

2.4.1.1 แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการดัด

ถ้าคานคอนกรีตเสริมเหล็กถูกหล่อขึ้นโดยใช้เหล็กกลมผิวเรียบที่ทาน้ำมันหรือสารหล่อลื่นเอาไว้ที่จะเทคอนกรีต คานตัวนี้จะมีความแข็งแรงมากกว่าคานคอนกรีตล้วนเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก เหล็กเสริมจะพยายามคงความยาวเดิมเอาไว้เมื่อคานเริ่มแอ่น จึงเกิดการลื่นไถลกับคอนกรีตโดยรอบที่กำลังยืดตัวเนื่องจากการดัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2-2.5 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการดัด

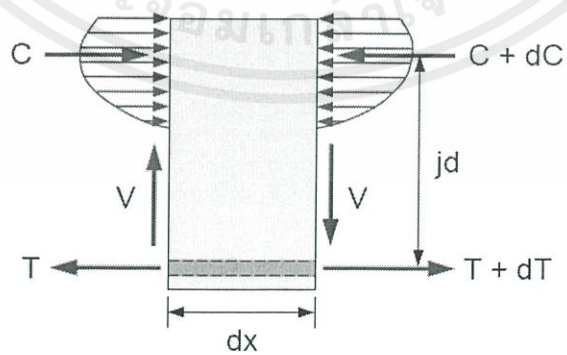
ดังนั้นสมมุติฐานในการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ว่าการยืดหดในเหล็กเสริมและคอนกรีตที่ห่อหุ้มจะเท่ากันจึงไม่เป็นจริง ดังนั้นเพื่อให้คอนกรีตเสริมเหล็กมีพฤติกรรมตามที่ต้องการจึงจำเป็นจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม

2.4.1.1.1 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากการวิเคราะห์หน้าตัดแตกร้าว

พิจารณาส่วนของคานสั้นๆหลังจากคานเกิดการแตกร้าวที่ยาว dx โมเมนต์ที่ปลายด้านหนึ่งจะแปรเปลี่ยนไปเล็กน้อยเท่ากับ dM ซึ่งถ้าสมมุติว่าคอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้หลักการแตกร้าว การเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ดัด dM จะทำให้แรงภายในเหล็กเส้นเปลี่ยนไป

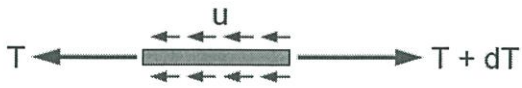
$$dT = \frac{dM}{jd}$$

เมื่อ jd คือระยะระหว่างแรงดึงและแรงอัด เนื่องจากเหล็กเส้นต้องอยู่ในสมดุล การเปลี่ยนแปลงแรงในเหล็กเส้นจะถูกต้านทานโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กดังรูป



รูป 2.6 แรงและหน่วยแรงที่กระทำกับส่วนของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.7 แรงและหน่วยแรงที่กระทำกับส่วนของคาน

ถ้า u คือขนาดหน่วยแรงยึดเหนี่ยวโดยเฉลี่ยเฉพาะที่ต่อหน่วยพื้นที่ผิวเหล็กเส้น จากสมดุลของแรงในแนวราบจะได้ว่า

$$u\sum dx = dT$$

เมื่อคือผลรวมของเส้นรอบรูปเหล็กเส้นทั้งหมดดังนั้น$\sum$

$$u = \frac{dT}{\sum dx}$$

นั่นคือหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงในเหล็กเส้น ซึ่งถ้าแทนค่าสมการ

$$u = \frac{dM}{\sum jddx}$$

ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ต่อระยะทาง dM/dx ก็คือแรงเฉือน V นั่นเอง

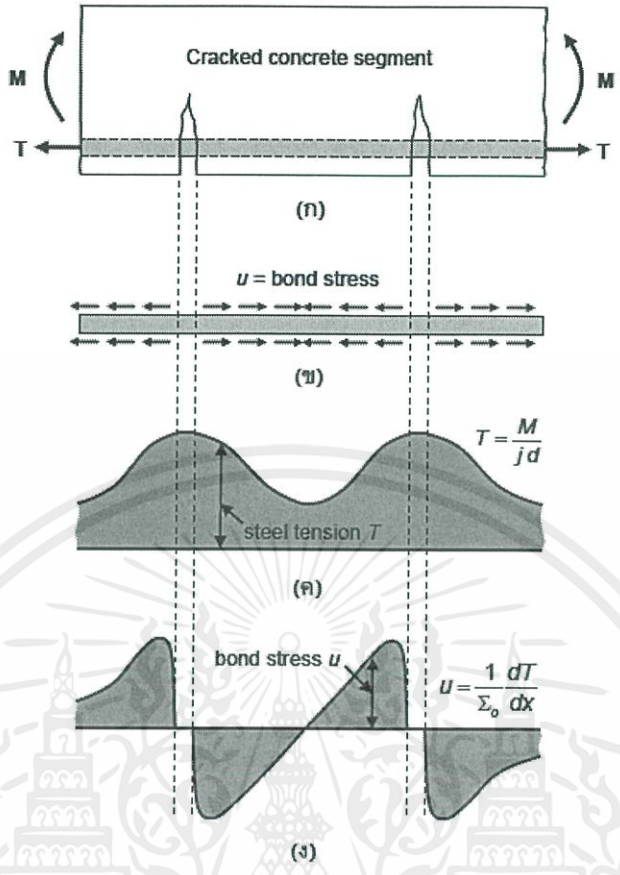
$$u = \frac{V}{\sum jd}$$

สมการเป็นสมการของหน้าตัดอิลาสติกแตกร้าว ที่บอกให้เราทราบว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจากการดัดเป็นสัดส่วนกับแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น

2.4.1.1.2 การกระจายที่แท้จริงของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจากการดัด

การกระจายที่แท้จริงของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวบนเหล็กเสริมข้ออ้อยจะมีความซับซ้อนกว่าในสมการรูปที่ จะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของคานได้ดีกว่า(8.3)มากและสมการ(8.5) แสดงสัดส่วนของคานที่อยู่ภายใต้การดัดเพียงอย่างเดียว คอนกรีตไม่สามารถรับหน่วยแรงดึงได้ก็ต่อเมื่อเริ่มเกิดรอยร้าวขึ้นจริง ที่รอยร้าวแรงดึงในเหล็กจะมีค่ามากสุดและมีค่าเป็นไปตามที่คำนวณได้จาก $T = M/jd$ ระหว่างรอยร้าวคอนกรีตสามารถต้านทานแรงดึงได้บางส่วนโดยผ่านหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของคอนกรีตและเหล็กดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

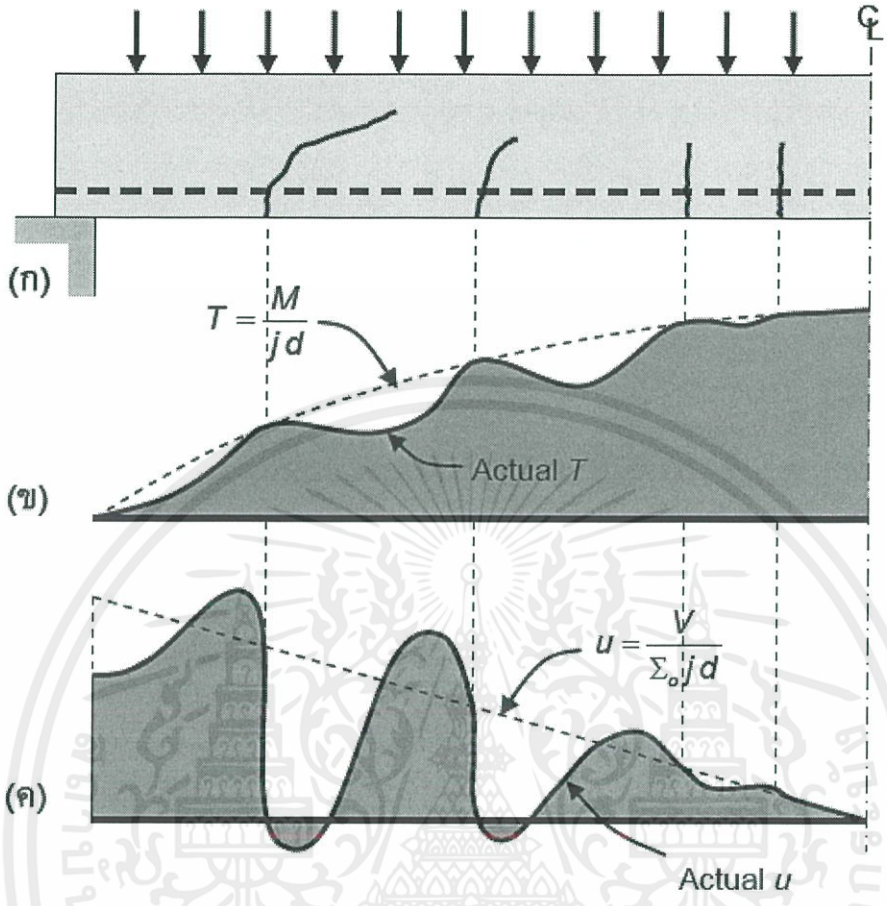


รูป 2.8 การเปลี่ยนแปลงของแรงในเหล็กเส้นและหน่วยแรงยึดเหนี่ยว

ซึ่งจะทำให้แรงดึงในเหล็กเส้นลดลงดังแสดงในรูป ค จากสมการ 8.3 ที่บอกว่า ปลงในเหล็กเส้น ดังนั้นหน่วยแรงยึดหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแแหนี่ยวจึง เป็นไปตามรูป ง

คานโดยทั่วไปไม่เพียงแต่รับโมเมนต์เพียงอย่างเดียวนั้น แต่ยังมีน้ำหนักบรรทุกซึ่ง ทำให้เกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ในคาน รูปที่ 8.4 ก แสดงตัวอย่างคานที่รับน้ำหนักแผ่ซึ่งมักจะเกิด รอยร้าว แรงในเหล็ก T ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์หน้าตัดแตกร้าวแบบง่ายดังได้กล่าวมาแล้ว จะ แปรผันตามแผนภูมิโมเมนต์ดังแสดงเป็นเส้นประในรูป อย่างไรก็ตามค่าที่แท้จริงของ T จะน้อยกว่าที่ คำนวณทุกๆที่ยกเว้นรอยร้าว การแปรเปลี่ยนที่แท้จริงของแรง T จะแสดงด้วยเส้นทึบในรูป ข ในรูป ค หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจากการคำนวณถูกแสดงโดยเส้นประและค่าจริงถูกแสดงโดยเส้นทึบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.9 ผลของรอยแตกร้าวจากการดัดที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยว

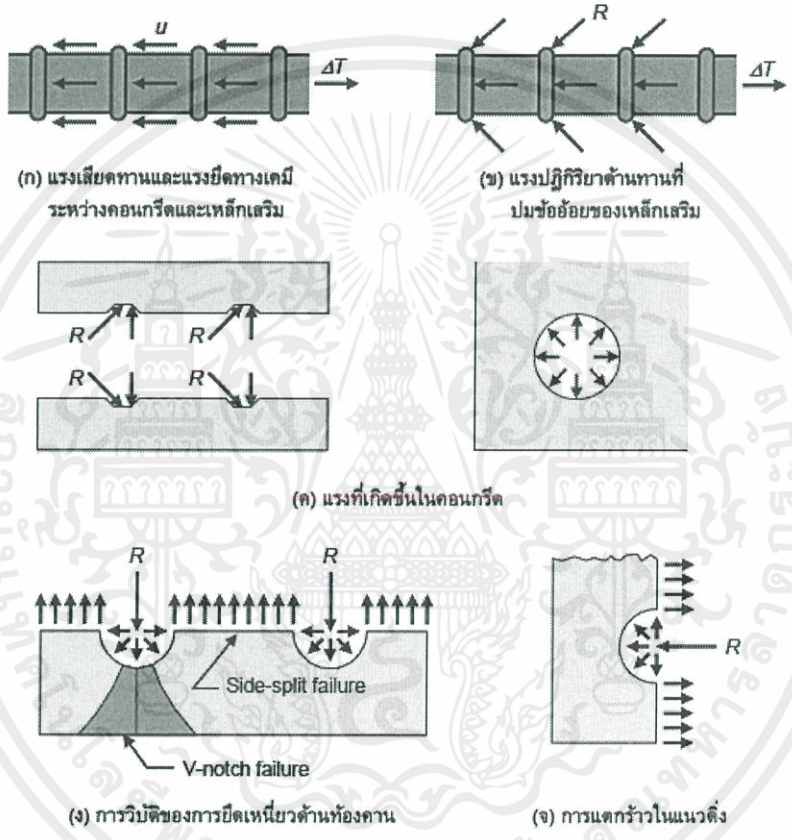
2.4.1.1.3 กลไกของกำลังยึดเหนี่ยว

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังยึดเหนี่ยวได้แก่ การยึดตัวทางเคมี แรงเสียดทาน และกำลังแบกทานของเหล็กข้ออ้อยที่มีต่อคอนกรีต สัดส่วนของความต้านทานจะแปรเปลี่ยนไปตามระดับของหน่วยแรงในเหล็กเสริมเมื่อองค์อาคารรับหน่วยแรงเล็กน้อยความต้านทานส่วนใหญ่จะมาจากการยึดตัวทางเคมีดังในรูป การยึดตัวทางเคมีมีค่าจำกัดประมาณ 14 ถึง 21 กก./ซม.^{2} และหมดไปเมื่อเริ่มเกิดการเลื่อนไถลระหว่างเหล็กและคอนกรีต

หลังจากที่การยึดตัวทางเคมีหลุดออกจะมีการเคลื่อนตัวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตกำลังยึดเหนี่ยวจะได้จากข้ออ้อยดังรูป ข แรงต้านทาน R ที่เกิดขึ้นทำมุม β ระหว่าง 45 องศา ถึง 80 องศา กับเหล็กเสริม องค์ประกอบของแรงจึงมีทั้งในแนวขนานและตั้งฉากกับเหล็กเสริม ทำให้มีความต้านทานได้มากกว่าเหล็กเสริมผิวเรียบซึ่งมีแต่แรงในแนวขนานเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

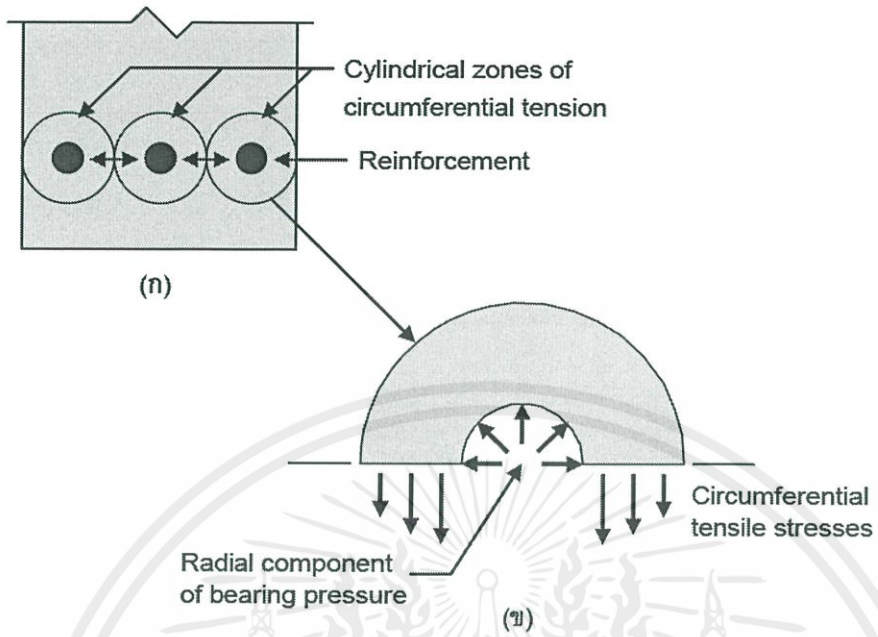
องค์ประกอบของแรงในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นในคอนกรีตดังรูป ค จะพยายามดันให้คอนกรีตโดยรอบเหล็กเสริมแตกกระเทาะออกถ้าระยะหุ้มคอนกรีตไม่เพียงพอ รูป ง ยังบัตแสดงอีกรูปแบบหนึ่งของการวิของการยึดเหนี่ยว (การกะเทาะของคอนกรีตหุ้ม) โดยแรงลัพธ์R ผลักลิ่มคอนกรีตสามเหลี่ยมข้างใต้เหล็กออกมาซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อระยะหุ้มด้านล่างมีน้อย บ่อยครั้งที่การวิบัติแบบ V-notch เกิดขึ้นตามการเกิดรอยร้าวในแนวดิ่งจากใต้เหล็กถึงผิวนอกคอนกรีตซึ่งแสดงว่ามีหน่วยแรงดึงในแนวราบเกิดขึ้นดังแสดงใน รูป จ



รูป 2.10 แหล่งที่มาของกำลังยึดเหนี่ยว

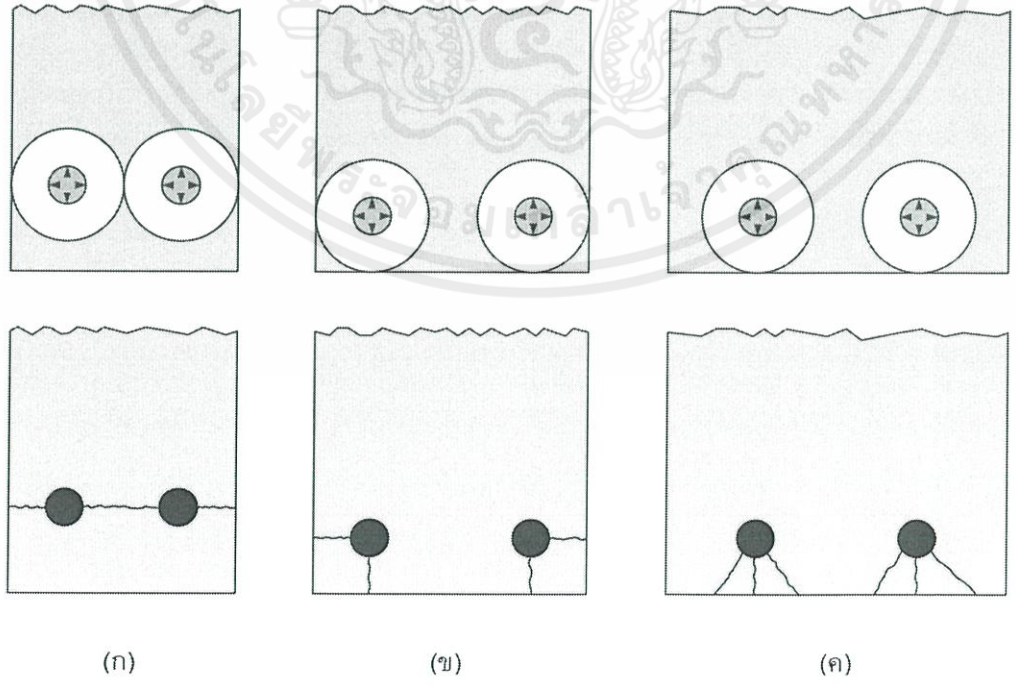
หน่วยแรงในคอนกรีตที่ห่อหุ้มเหล็กเส้นอาจถูกสมมติให้คล้ายกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในท่อผนังหนาโดยแรงดันภายในท่อ รูปแสดงสถานะของหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นบนเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ทรงกระบอก หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นนี้จะลดลงตามระยะจากเหล็กเสริมเท่ากันทุกทิศทางดังนั้น หากในทิศใดมีระยะไม่เพียงพอคือระยะขอบน้อยไป หรือ ไปประสานกับหน่วยแรงจากเหล็กเส้นข้างเคียงในกรณีที่ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมน้อยเกินไปก็จะเกิดการแตกร้าวขึ้นในแนวขนานเหล็กเสริมจนแพร่ออกไปถึงผิวคอนกรีตด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.11 หน่วยแรงดึงที่เกิดจากองค์ประกอบในแนวรัศมีของแรงดันแบกทาน

รูป 2.11 แสดงลักษณะการแตกร้าวแบบต่างๆ โดยรอยร้าวจะเกิดขึ้นตามระยะทางสั้นที่สุดระหว่างเหล็กเสริมและผิวคอนกรีตหรือเหล็กเสริมเส้นข้างเคียง ในรูปวงกลมแรงดึงจะสัมผัสขอบคอนกรีตหรือสัมผัสกันเองทำให้เกิดรูปแบบรอยร้าวที่แตกต่างกันไป

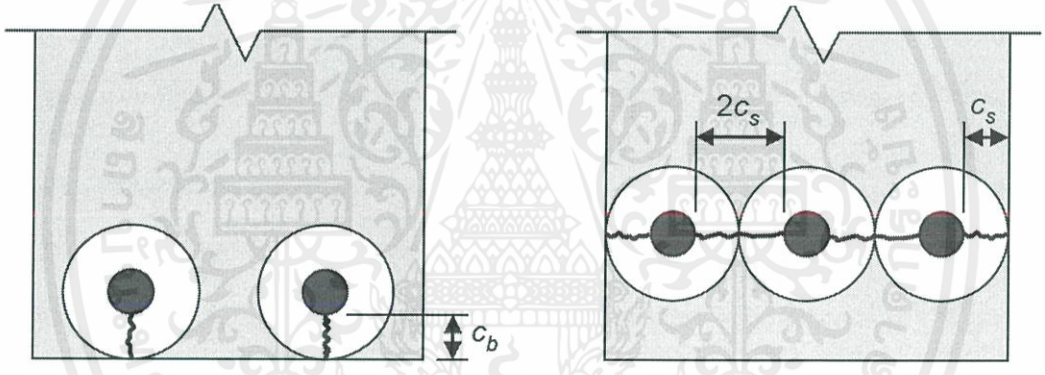


รูป 2.12 รูปแบบการวิบัติของการแตกร้าวจากแรงยึดเหนี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป ก รอยร้าวเกิดขึ้นเมื่อระยะหุ้มด้านข้างและระยะระหว่างเส้นน้อยกว่าระยะหุ้มด้านล่าง ส่วนรูป ข นั้นระยะหุ้มด้านข้างและด้านล่างเท่ากันแต่ไม่เพียงพอ และในรูป ค ระยะหุ้มด้านล่างมีน้อยเกินไป

ระนาบวิกฤตซึ่งน่าจะเกิดการแตกร้าวที่สุดจะตัดผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นในทิศที่ผนังทรงกระบอกสมมติบางที่สุดซึ่งจะมีหน่วยแรงดึงดูดสูงสุด การควบคุมความหนาของผนังทรงกระบอกจะขึ้นกับ ค่าที่น้อยที่สุดของ1 ความลึกระยะหุ้ม c_b รูป ก หรือ 2 ครึ่งหนึ่งของระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเส้นที่ติดกัน c_s หรือ 3 ระยะหุ้มด้านข้าง c_s รูป ข ถ้าเหล็กเส้นถูกวางอยู่ใกล้ผิวล่างก้จะเกิดการแตกร้าวในแนวดิ่งดังในรูป ก ถ้าระยะหุ้มด้านล่างมีมากเพียงพอ(มากกว่าหรือเท่ากับ2.5เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง) แต่เหล็กเส้นถูกวางใกล้กันเนไป รูป ข ก็จะเกิดการแตกร้าวในแนวราบพาดผ่านแถวของเหล็กเส้น

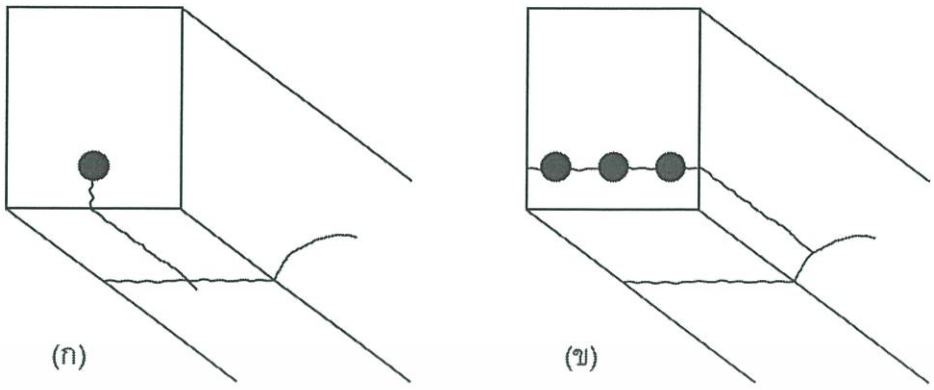


(ก) Minimum bar covering, c_b (ข) Minimum bar spacing, $2c_s$

รูป 2.13 ผลของระยะหุ้มและระยะห่างของเหล็กเส้นที่มีต่อการแตกร้าว

การแตกร้าวในแนวนอนจะเกิดขึ้นในลำดับต่อมา โดยเริ่มจากการแตกร้าวเป็นจุดๆ ณ. ตำแหน่งที่หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉพาะที่มีค่ามากสุด จากนั้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นก็เริ่มขยายตัวมาต่อกันเป็นรอยร้าวยาวต่อเนื่องจนถึงปลายคานดัง รูป ซึ่งเมื่อเกิดรอยร้าวแบบต่อเนื่องขึ้นการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเส้นจะถูกทำลายลง เหล็กเสริมก็จะเริ่มลื่นไถลและคอนกรีตหุ้มจะหลุดออกแลเกิดการพังทลายในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.14 การแตกร้าวของคอนกรีตตามแนวเหล็กเสริม

2.4.1.2 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากฝังยึดเหล็กเสริม

เป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายแรงระหว่าง เหล็กเสริมกับคอนกรีตซึ่งได้จากการฝังยึดหรือยึดรั้งเหล็กเสริมจากตำแหน่งที่แรงดึงในเหล็กเสริมมีค่าสูงสุดจนถึงตำแหน่งที่แรงดึงในเหล็กเสริมมีค่าเหลือเป็นศูนย์

สมการในรูประยะฝังเหล็กเสริม

$$l = \frac{d_b f_y}{4u_n}$$

ต้องฝังเหล็กเสริมรับแรงดึงไว้ในคอนกรีตให้มีระยะอย่างน้อยเท่ากับระยะ จะไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากการยึดเหนี่ยวระยะที่ต้องฝังเหล็กเสริมเพื่อให้เกิดการถ่ายแรงจากเหล็กเสริมให้กับคอนกรีตซึ่งทำให้แรงในเหล็กเสริมลดลงจากค่าสูงสุดเหลือเป็นศูนย์ เรียกว่า ความยาวยึดรั้ง anchorage lengthดการถ่ายแรงจากคอนกรีตและในทางกลับกัน ระยะที่ต้องฝังเหล็กเสริมเพื่อให้เกิให้กับเหล็กเสริมซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดกำลังรับแรงจากค่าเท่ากับศูนย์จนถึงค่าสูงสุด เรียกว่าระยะฝังยึดเหล็กเสริมdevelopment length

$$l_d = \frac{A_b f_y}{U_n} = \frac{\pi d_b f_y}{4U_n}$$

ซึ่งจะเห็นว่าระยะที่ต้องฝังเหล็กเสริมขึ้นกับค่ากำลังสองของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม ฉะนั้น เมื่อคำนวณออกแบบและต้องการเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง หากเลือกใช้เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าย่อมต้องการระยะฝังยึดเหล็กเสริมน้อยกว่าการใช้เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า

2.4.1.2.1 พิกัดความยาวยึดรั้งหรือระยะฝังยึดเหล็กเสริม

หากจัดระยะฝังเหล็กเสริมไว้ในคอนกรีตอย่างเพียงพอ โมเมนต์ดัดจะมีความสำคัญรองลงไป โดยพิจารณาจากความยาวยึดรั้งหรือระยะที่ต้องฝังยึดเหล็กเสริม

ระยะฝังเหล็กเสริมตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ACIหรือ วการได้จาก .ท.ส. เผื่อความยาวยึดรั้งหรือระยะที่ต้องฝังเหล็กเสริมในคอนกรีตจากค่าที่วิเคราะห์ได้อีกประมาณร้อยละ 15

จากผลการทดลอง ซึ่งพบว่ากำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดของเหล็กข้ออ้อยเส้นเดียว $= 23.15\sqrt{f_c'}$ กก.ม.ซ/.และพบอีกว่ากำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดของเหล็กข้ออ้อยหลายๆเส้นที่วางเรียงในชั้นหนึ่งๆ จะมีค่าลดลงเหลือเพียงร้อยละ นั่นคือ 80 $U_n = 18.52\sqrt{f_c'}$ กก.ม.ซ/.

กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต f_c' ต้องไม่เกิน /.กก 700ซ. ม.^{2}

2.4.1.2.2 มาตรฐาน ACI

หรือ ว ในอดีต .ท.ส.กำหนดหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยสูงสุดที่ยอมให้u_n (สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่เป็นไปตามมาตรฐานASTM A 305 และมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 36 มิลลิเมตร ดังต่อไปนี้ เมื่อให้ f_c' เป็นกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ วัน 28 กก/.ซ. ม.^{2}และ d_bเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม ซม.

เหล็กเสริมรับแรงดึง

เหล็กบน $$u_n = \frac{4.51\sqrt{f_c'}}{d_b} \leq 39.4 \text{ กก./ซ. ม.}^2$$

เหล็กอื่นๆนอกจากเหล็กบน $$u_n = \frac{6.39\sqrt{f_c'}}{d_b} \leq 56.2 \text{ กก./ซ. ม.}^2$$

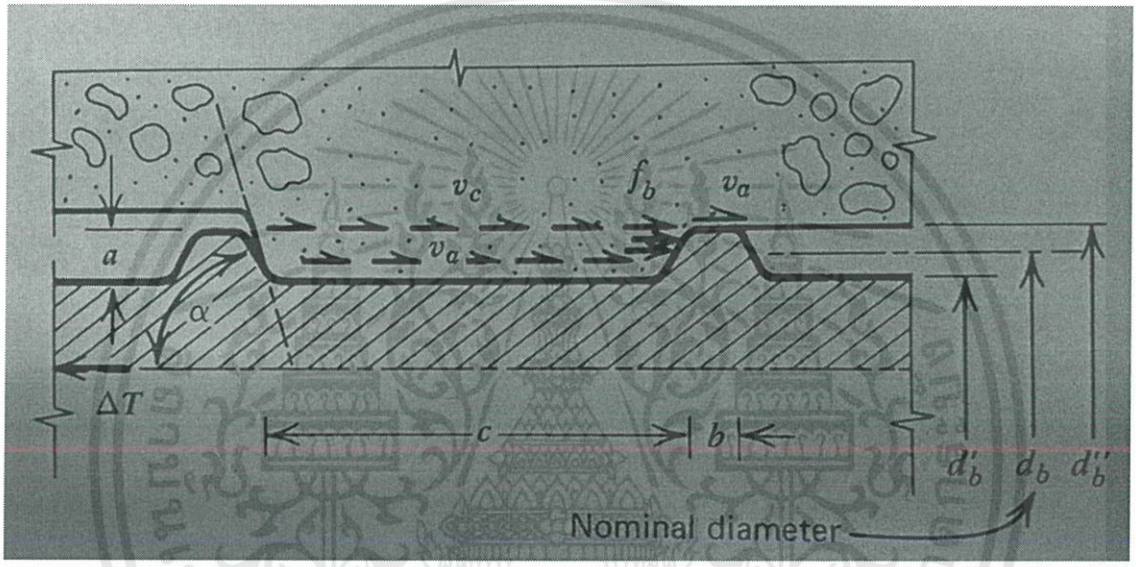
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเสริมรับแรงอัด

เหล็กบนและเหล็กอื่นๆ $u_n = 3.44\sqrt{f_c'} \leq 56.2$ กก./ซ.ม.^{2}

ในที่นี้เหล็กบน หมายถึง เหล็กเสริมตามแนวนอนที่มีคอนกรีตหล่ออยู่ใต้เหล็กเส้นนั้นเกินกว่า 30 ซม.

2.4.2 องค์ประกอบแรงยึดเหนี่ยว



รูป 2.15 องค์ประกอบแรงยึดเหนี่ยวภายใน

2.4.2.1 Shear stress v_a เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต

2.4.2.2 Bearing stress f_bเป็นแรงต้านหน้ารอยนูน

2.4.2.3 Shearing stress v_cเป็นแรงในคอนกรีตระหว่างรอยนูนของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.เหล็กร่วมรับแรงจากคอนกรีตรอบๆ

Bond stress คือ shear stress ที่ระหว่างผิวเหล็กกับคอนกรีต โดยถ่ายแรงระหว่างเหล็กกับคอนกรีตรอบๆพันธะนี้จะเพิ่มขึ้นจนมีประสิทธิภาพช่วยให้วัสดุสองชนิดเป็นวัสดุประกอบ

ข้อกำหนดมาจาก empirical มีเบื้อหลังการออกแบบจำนวนมากที่ไม่ได้โต้แย้ง นักออกแบบต้องระวังมุมมองของ bond & anchorage มันสามารถเป็นพฤติวิกฤต ปัญหาบางอย่างได้แยกและถูกเขียนโดย ACI committee 408

การเพิ่มขนาดพันธะความเค้นในเหล็กและคอนกรีตเกิดได้จากสองสถานการณ์ คือ จาก anchorage bar และ จากการเปลี่ยนแปลงแรงของเหล็กตามความยาวและมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ในชิ้นส่วน

2.5 วรรณกรรมปริทัศน์

Bond strength of concrete with the reinforcement bars polluted with oil,Ismaeel H.Musa Albarwary,Duhok Polytechnic University,Iraq

จากงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับแรงต้านทานแบบยึดเหนี่ยงระหว่างเหล็กกับคอนกรีตมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมาตรฐานและผิวเหล็กมีการเคลือบผิว เคลือบผิวบางส่วนและไม่เคลือบผิว และผลการทดสอบมีแนวโน้มเหล็กขาดที่เหนือคอนกรีตอาจจะมีการบ่มซึ่งเหล็กที่ฝังไม่มีการเคลือบผิวและที่การสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ จึงอาจคาดเดาได้ว่าอาจจะมีผลของสนิมมาเกี่ยวข้อง

Direct tension pullout bond test: Experimental reults SP. Tastani and S.J.Pantazopoulou,M.Asce

จากงานวิจัยนี้ศึกษาถึงคุณลักษณะของเหล็กที่จะส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวได้มีเตือนระวังคือรอยแตกร้าวที่มีลักษณะกรวยซึ่งที่หัวผิวคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบสำหรับผสมคอนกรีต

3.1.1 คุณสมบัติของทราย

3.1.1.1 ขนาดคละของมวลรวม

3.1.1.2 ความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึม

3.1.1.3 หาปริมาณความชื้น

3.1.2 คุณสมบัติของหิน

3.1.2.1 ขนาดคละของมวลรวม

3.1.2.2 ความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึม

3.1.2.3 หน่วยน้ำหนักของมวลรวม

3.1.2.4 หาปริมาณความชื้น

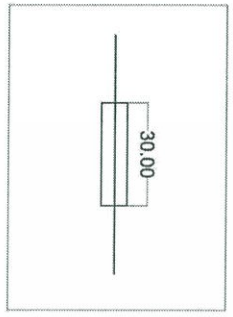
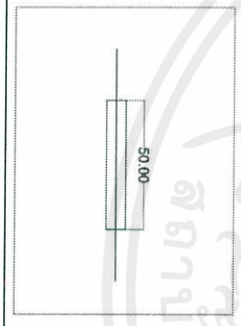
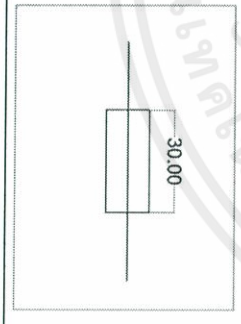
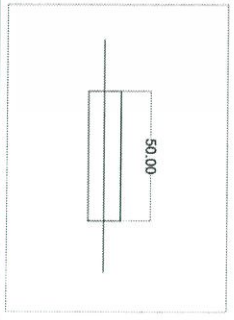
3.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete mixed design)

เราเลือกใช้กำลังของคอนกรีตอยู่ที่ 300 กก./ซม^2 ใช้วิธีการคำนวณโดยน้ำหนักของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

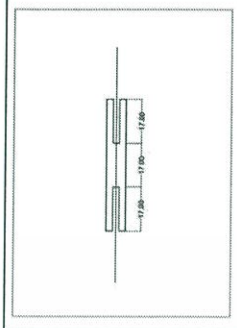
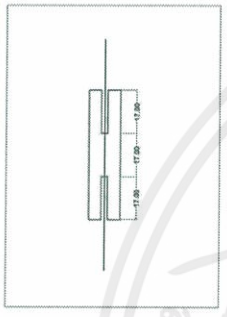
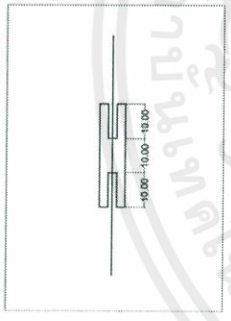
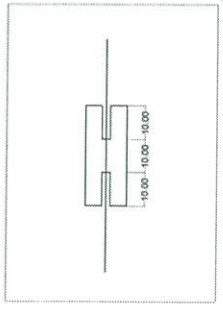
3.3 ลักษณะชิ้นตัวอย่าง

ตาราง 3.1 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงสองทิศทาง

รูปแบบ	ตัวอย่างที่	covering (ซม.)	ระยะฝัง(ซม.)	ขนาดเหล็ก (มม.)
	1-5	3	30	12
	6-10	3	50	12
	1-5	3	30	16
	6-10	3	50	16

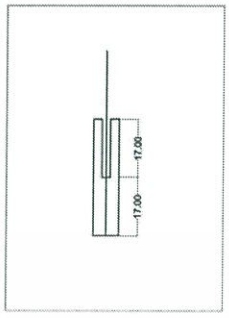
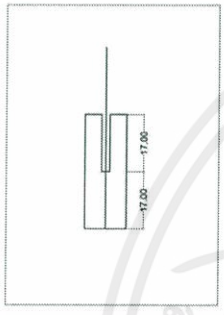
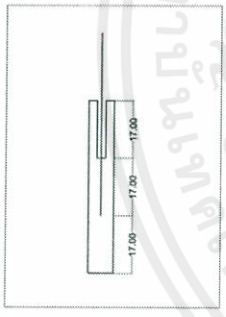
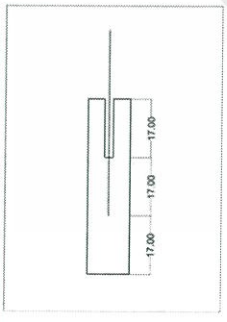
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงสองทิศทาง (ต่อ)

รูปแบบ	ตัวอย่างที่	covering (ซม.)	ระยะฝัง(ซม.)	ขนาดเหล็ก (มม.)
	1-3	3	17	16,25
	4-6	5	17	16,25
	7-9	3	10	16,25
	10-12	5	10	16,25

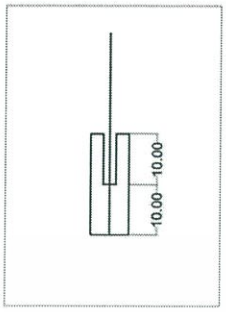
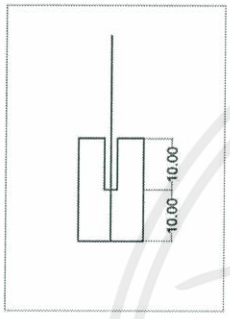
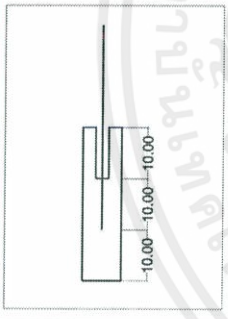
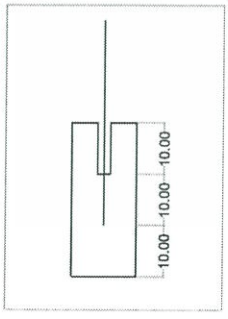
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงทิศทางเดียว

รูปแบบ	ตัวอย่างที่	covering (ซม.)	ระยะฝัง(ซม.)	ขนาดเหล็ก (มม.)
	13-15	3,4	17	16,25
	16-18	5	17	16,25
	19-21	3,4	10	16,25
	22-24	5	10	16,25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.4 ชิ้นงานตัวอย่างของการดึงทิศทางเดียว (ต่อ)

รูปแบบ	ตัวอย่างที่	covering (ซม.)	ระยะฝัง(ซม.)	ขนาดเหล็ก (มม.)
	25-27	3,4	10	16,25
	28-30	5	10	16,25
	31-33	3,4	10	16,25
	34-36	5	10	16,25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

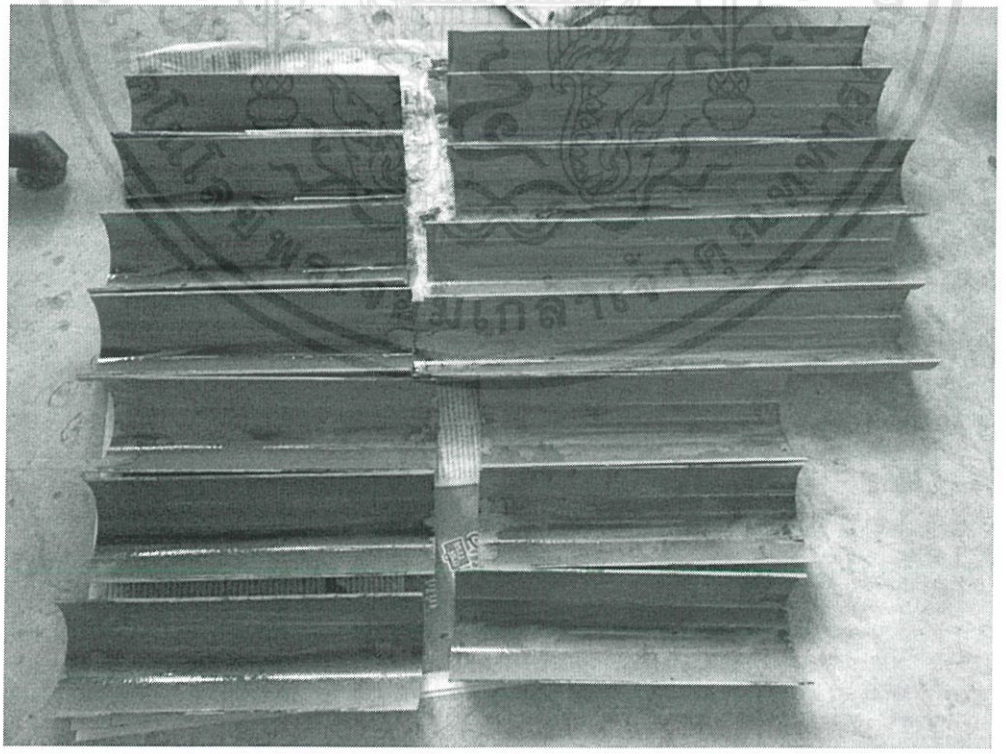
3.4 การเตรียมแบบ

3.4.1 ใช้ท่อพีวีซีที่มีชั้นคุณภาพระดับ 5 ตัดผ่าครึ่งด้วยเครื่องตัดลูกหมูขนาดใบตัด 4 นิ้วมีตัวยึดจับ

รูป 3.1แสดงการยึดจับ

รูป 3.2 วิธีการผ่าครึ่งของท่อพีวีซี

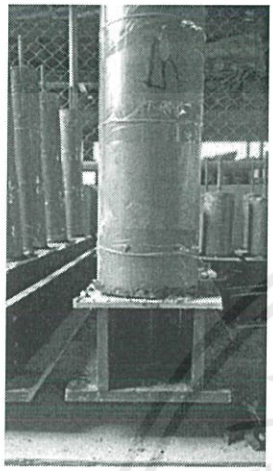
3.4.2 นำแบบพีวีซีผ่าครึ่งมาทาน้ำมันเพื่อป้องกันคอนกรีตติดแบบพีวีซี

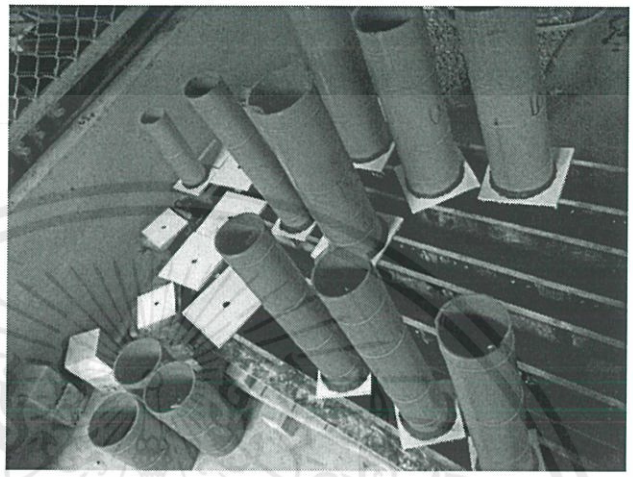


รูป 3.3 ทานำมันเคลือบท่อพีวีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ประกอบแบบโดยนำมาติดกับเทปใส ตามรอยผ่าและตามแนวขวาง 3 แนว คือบน กลาง ล่าง ในรูปแบบดึงทิศทางเดียวด้านล่างรองด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ด ส่วนในชิ้นตัวอย่างดึงสองทิศทาง แผ่นสมาร์ทบอร์ดที่รองรับจะถูกเจาะรูที่กึ่งกลางเพื่อให้เหล็กลอดผ่านโดยให้เหล็กทะลุผ่าน 20 เซนติเมตร





รูป 3.4-3.5 การวางแบบตอนหล่อคอนกรีต

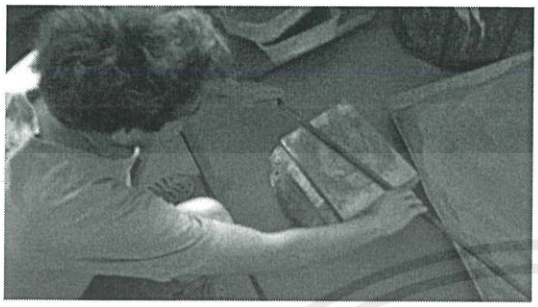
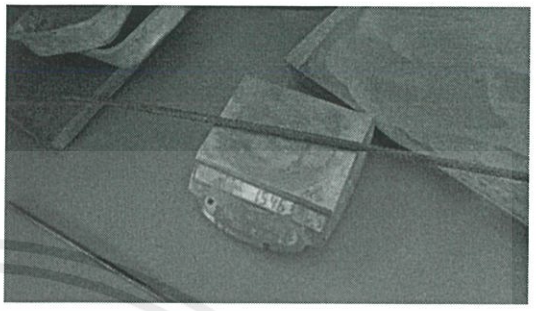
3.5 การเตรียมเหล็ก

3.5.1 ทำการวัดระยะความยาวที่ต้องการแล้วนำมาตัดด้วยเครื่องตัดไฟเบอร์

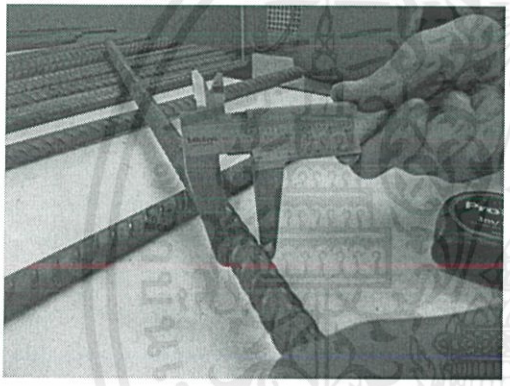
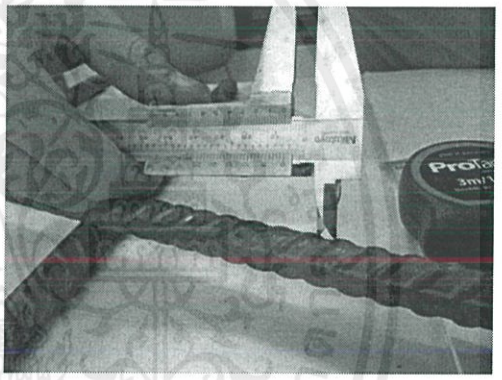
รูป 3.6-3.7 การตัดเหล็กเส้นโดยเครื่องตัดไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ทำการวัดระยะเก็บค่าข้อมูลพื้นฐาน เช่น น้ำหนัก ความยาว ความกว้าง, ความหนา, ความสูงรอยนูนและเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็นต้น

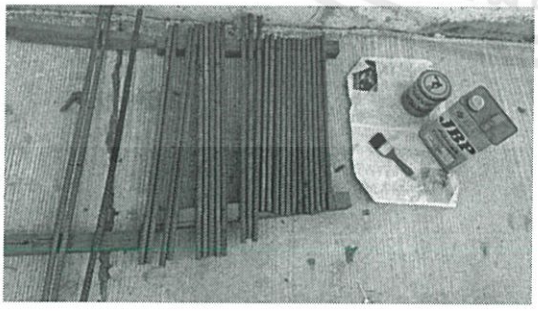
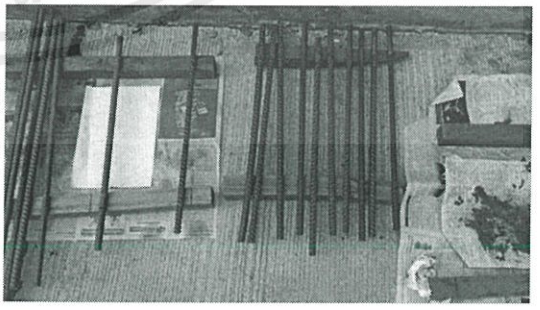



รูป 3.8-3.9 การชั่งน้ำหนักเหล็กที่ได้เตรียมไว้

รูป 3.10-3.11 เก็บข้อมูลต่างๆของเหล็กเพื่อนนำไปใช้ในการคำนวณ (ความกว้าง, ความหนา, ความสูง rib และเส้นผ่าศูนย์กลาง)

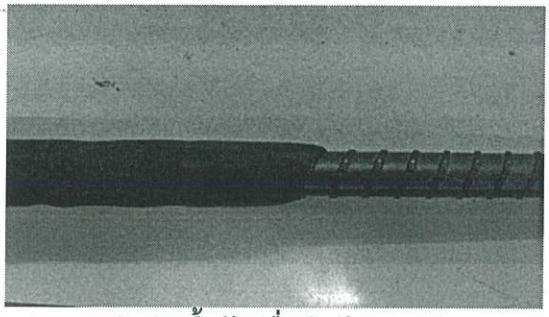
3.5.3 นำมาทาสีกันสนิมเพื่อลดตัวแปรในการวิเคราะห์

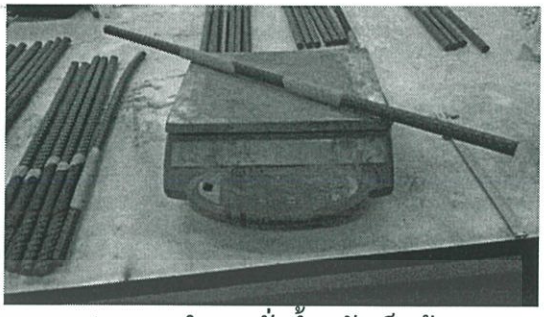
รูป 3.12-3.13 ทาสีกันสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

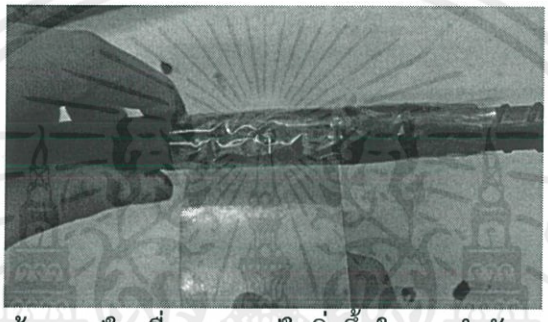
3.5.3 นำมาติดดินน้ำมันเพื่อให้เกิดช่องว่างหลังจากหล่อคอนกรีต



รูป 3.14 ติดดินน้ำมันเพื่อจำกัดระยะพิจารณารูป



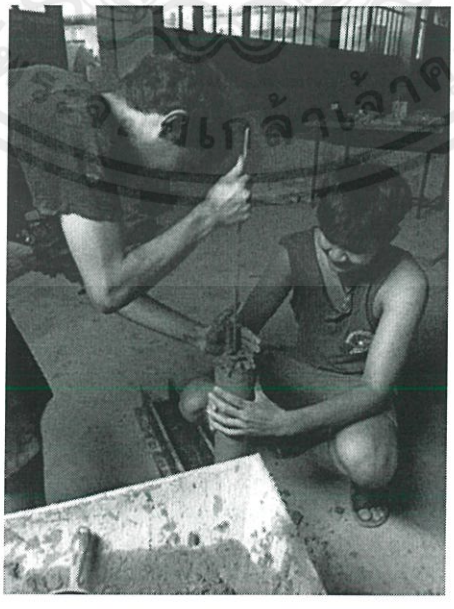
รูป 3.15 ทำการชั่งน้ำหนักเก็บข้อมูล



รูป 3.16 พันด้วยเทปใสเพื่อความแน่ใจยิ่งขึ้นในการจำกัดระยะพิจารณา

3.6 การเทคอนกรีต

แบ่งเทคอนกรีตลงในแบบที่เราต้องการเป็นชั้นๆ ในแต่ละชั้นจะมีใช้เหล็กในการกระทุ้งคอนกรีตหรือเคาะด้านข้างแบบเพื่อไม่ให้เกิดเป็นโพรงของตัวเนื้อคอนกรีต



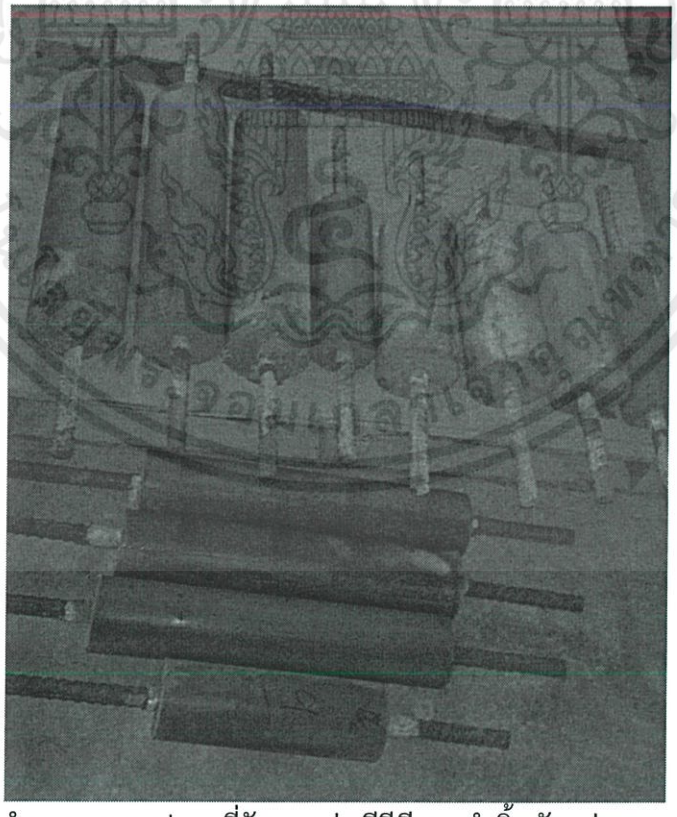
รูป 3.17 การกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตไหลเต็มแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.18 จัดเหล็กให้อยู่ตรงกลางของชิ้นตัวอย่าง

3.7 การถอดแบบ

ทำการกรีดสก๊อตเทปแล้วงัดพีวีซีที่รอยผ่า ช่วยทำให้ถอดแบบได้ง่ายขึ้น

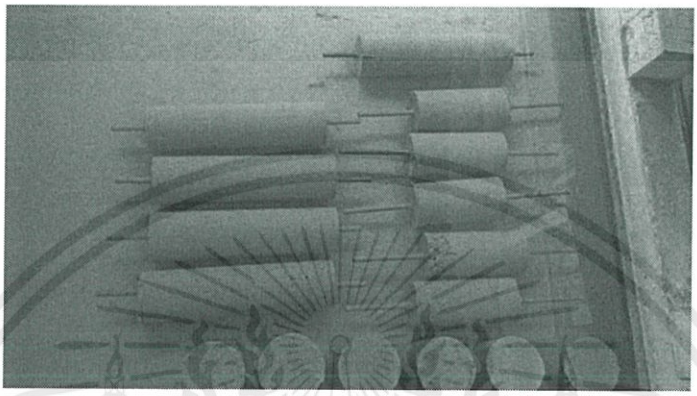


รูป 3.19 ทำการแกะเทปกาวที่รัดรอบท่อพีวีซีและนำชิ้นตัวอย่างออกจากแบบ

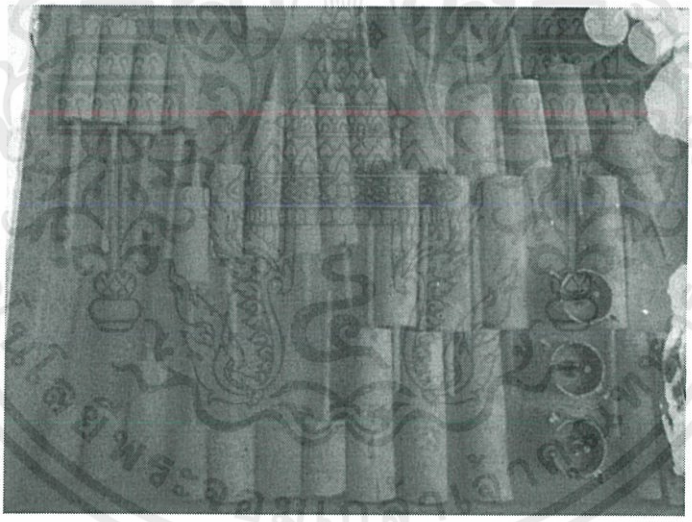
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การบ่มคอนกรีต

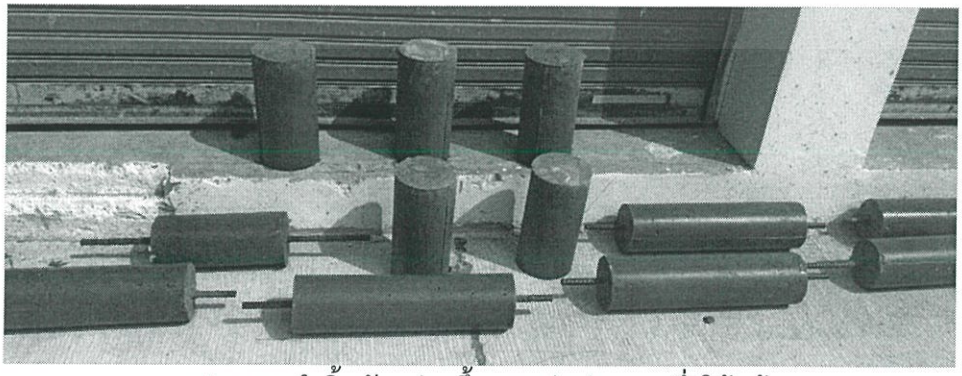
เราทำการบ่มคอนกรีต 28 วัน ซึ่งกำลังของคอนกรีตจะอยู่ที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ วางชิ้นตัวอย่าง ไม่ซ้อนทับกัน และเมื่อบ่มครบ 28 วัน แล้วจึงนำมาผึ่งให้แห้ง ไม่ซ้อนทับกันเป็นเวลา 1 วันเพื่อให้แน่ใจว่าคอนกรีตแห้ง



รูป 3.20 บ่มคอนกรีต 28 วัน

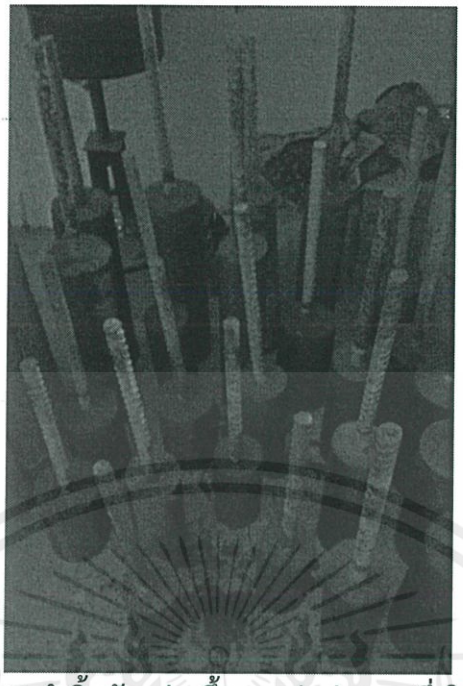


รูป 3.21 บ่มคอนกรีต 28 วัน



รูป 3.22 นำชิ้นตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม และผึ่งให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.23 นำชิ้นตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่ม และผึ่งให้แห้ง

3.9 แต่งพื้นที่ผิวรับแรง

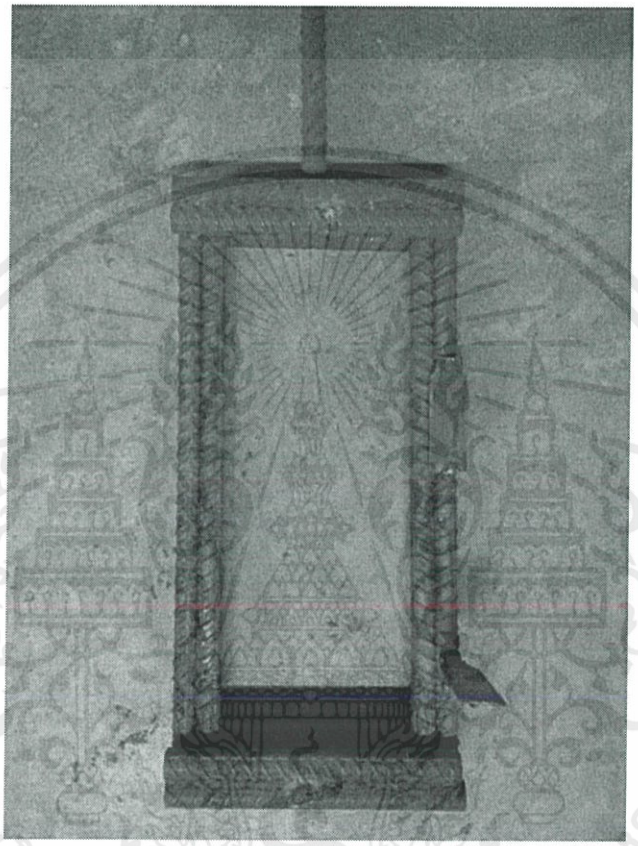
ตบแต่งผิวคอนกรีตซึ่งรับแรงอัดให้มีผิวเรียบด้วยเครื่องลูกหมูเพื่อให้หน้าตัดรับแรงได้ดี

รูป 3.24-3.25 แต่งผิวคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

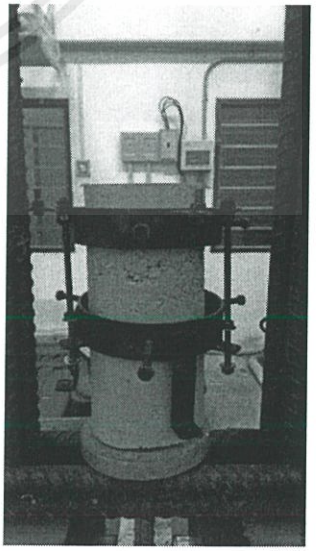
3.10 อุปกรณ์เสริมช่วยในการทดลอง

ทำการเชื่อมเหล็กเป็นโครงเพื่อช่วยในการทดสอบดึงหนึ่งทิศทาง โดยใช้เหล็กตั้งเป็นเหล็กขนาด 25 มม. เหล็กขวางขนาด 28 มม. และตัวดึงขนาด 32 มม. ใช้แผ่นเหล็กรองเพื่อให้รับน้ำหนักได้ดีขึ้น



รูป 3.26 ตัวอย่างโครงเหล็ก

รูป 3.27 แผ่นเหล็กมารองเพิ่มเพื่อให้มีพื้นที่ผิวหน้าตัดรับแรงที่ดี



รูป 3.28ตัวอย่างการดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราห์

4.1 คุณสมบัติส่วนผสมของคอนกรีต

4.1.1 คุณสมบัติของทราย

4.1.1.1 ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในมวลรวมละเอียด

ตาราง 4.1 ข้อมูลการทดลองหาปริมาณความชื้นของมวลรวมละเอียด

	ครั้งที่1	ครั้งที่2
	น้ำหนัก (กก.)	น้ำหนัก (กก.)
ทราย+ถาด	2.67	2.41
ถาด	0.55	0.56
ทราย+ถาด หลังอบ	2.62	2.37
ความชื้น	2.37	2.38

พบว่าทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตมีปริมาณความชื้นอยู่ 2.38% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

ตาราง 4.2 ข้อมูลการทดลองหาขนาดของมวลรวมละเอียด

ตะแกรงเบอร์	น.น.ตะแกรง (กก.)	น.น.ตะแกรง+ ทราย (กก.)	น.น.ทรายค้าง (กก.)	% ทรายค้าง	%ค้างสะสม
4 (2.75มม.)	0.474	0.478	0.004	0.27	0.27
8 (2.36มม.)	0.477	0.534	0.057	3.8	4.07
16 (1.18มม.)	0.662	0.884	0.222	14.8	18.87
30 (0.6มม.)	0.461	0.989	0.528	35.2	54.07
50 (0.3มม.)	0.575	1.13	0.555	37	91.07
100 (0.15มม.)	0.517	0.646	0.129	8.6	99.67
	0.309	0.314	0.005	0.33	100
				ผลรวม	268

จากการหาขนาดคละของมวลรวมละเอียดพบว่ามี Fineness modulus 268/100 = 2.68

4.1.1.3 ความถ่วงจำเพาะของทราย

ตาราง 4.3 ข้อมูลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด

	น้ำหนัก (กก.)	ความถ่วงจำเพาะของ	ค่าความถ่วงจำเพาะ
ขวดชมพู่	0.193	แห้ง	2.58
ขวด+น้ำ	0.69	ผิวแห้ง	2.62
ทราย+ขวด+น้ำ	0.997	ถ่วง	2.61
ทรายแห้ง	0.498	%การดูดซึมความชื้น	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 คุณสมบัติหิน

4.1.2.1 ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในมวลรวมหยาบ

ตาราง 4.4 ข้อมูลการทดลองหาปริมาณความชื้นของมวลรวมหยาบ

	ครั้งที่1	ครั้งที่2
	น้ำหนัก (กก.)	น้ำหนัก (กก.)
หิน+ถาด	5.49	6.40
ถาด	0.23	0.84
หิน+ถาด หลังอบ	5.49	6.40
ชื้น	0.02	0.02

4.1.2.2 ความถ่วงจำเพาะของหิน

ตาราง 4.5 ข้อมูลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

	น้ำหนัก (กก.)
หินกลิ้งผ้า	2.23
น้ำออก	0.68
หินแห้ง	2.22

ความถ่วงจำเพาะ = 2.22/(2.23-1.42) = 2.74

% การดูดซึม = (2.23-2.22)*100/2.22 = 0.45 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 หน่วยน้ำหนักหิน

ถัง	2.889	กก.
ถัง+หิน	8.323	กก.
ถัง+น้ำ	5.85	กก.
ปริมาตร	0.00293	$ม^3$
น.น.อัดแห้ง	1855	กก./$ม^3$

พบว่าหินที่ใช้ในการผสมคอนกรีตมีหน่วยน้ำหนัก 1850 กก./$ม^3$

4.2 การออกแบบส่วนผสม

การคิดส่วนผสมของคอนกรีตใช้วิธีโดยน้ำหนัก

4.2.1 ค่าการยุบตัวกำหนดไว้			8-10	ซม.
4.2.2 มวลรวมคละที่นำมาใช้มีขนาดโตสุด			20	มม.
4.2.3 ปริมาณน้ำที่ใช้งาน			200	กก./$ม^3$
4.2.4 สำหรับคอนกรีตกำลัง	300 กก./$ซม.^2$	น้ำ/ปูน	0.55	
4.2.5 น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้งาน			363.6	กก.
4.2.6 ปริมาณหิน 0.6 ใช้น้ำหนักหิน			1111	กก.
4.2.7 นำหนักของทราย			726	กก.

4.2.8 ปรับน้ำหนักมวลรวมคละ

น้ำในหิน 0.02 % ความชื้นอิ่มตัวผิวแห้ง 0.3 % ขาดน้ำอยู่ 0.28%

น้ำในทราย 2.37 % ความชื้นอิ่มตัวผิวแห้ง 0.4 % ขาดน้ำอยู่ 1.93%

หิน(ชื้น) = 1111(1.0002) = 1111 กก.

ทราย(ชื้น)=725(1.0237) = 742 กก.

น้ำที่จะใส่เพิ่ม = 200+1111(0.0028)-726(0.0193) = 189.1 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 สรุปปริมาณการใช้งาน

ตาราง 4.6 ข้อมูลการใช้ปริมาณของวัสดุ

วัสดุ	1 ลบม.	0.16 ลบม.	0.18 ลบม.
หิน (กก.)	1111	178	200
ทราย (กก.)	742	119	134
ปูน (กก.)	363.6	58	65
น้ำ (กก.)	190	30	34

4.3 ผลการทดสอบกำลังคอนกรีต

รอบที่ 1 ใช้กับเหล็กที่เป็นสนิม

ตาราง 4.7 ข้อมูลการทดลองของลูกปูนรอบที่ 1

ชิ้นที่	ความยาว (ซม.)	ผ่าศูนย์กลาง (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรง (กก./ซม.^{2})	เฉลี่ย (กก./ซม.^{2})	หมายเหตุ
1	30.2	150.10	12.85	350.60	344.29	กำลังแรงอัด
2	30.1	150.30	12.80	309.20		
3	29.9	150.00	12.85	354.84		
4	30.1	150.10	12.96	362.51		
5	30.1	150.02	13.17	151.47	129.44	กำลังแรงดึง
6	29.9	150.22	12.82	107.41		

รอบที่ 2 ใช้กับเหล็ก 16 มม.

ตาราง 4.8 ข้อมูลการทดลองของลูกปูนรอบที่ 2

ชิ้นที่	ความยาว (ซม.)	ผ่าศูนย์กลาง (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรง (กก./ซม.^{2})	เฉลี่ย (กก./ซม.^{2})	หมายเหตุ
1	30.20	150.60	12.86	348.72	268.55	กำลังแรงอัด
2	30.10	149.52	12.71	87.75		
3	30.30	150.00	12.74	369.17		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 3 ใช้กับเหล็ก 25 มม.

ตาราง 4.9 ข้อมูลการทดลองของลูกปูนรอบที่ 3

ชิ้นที่	ความยาว (ซม.)	ผ่าศูนย์กลาง (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	แรง (กก./ซม.$^{2)}$	เฉลี่ย (กก./ซม.^{2})	หมายเหตุ
1	30.0	149.62	12.66	273.14	206.42	กำลังแรงอัด
2	30.1	150.08	12.60	192.38		
3	30.1	150.60	12.61	268.12		
4	30.2	149.94	12.79	92.02		
5	30.2	149.42	12.76	117.32	125.10	กำลังแรงดึง
6	30.3	151.06	12.75	132.88		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 คุณสมบัติของเหล็ก

ตาราง 4.10 ข้อมูลเหล็ก 12 มม.และ 16 มม. ที่มีสภาพเป็นสนิม

ตัวอย่างที่	ความยาว	น้ำหนัก	เส้นผ่าศูนย์กลาง	เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (มม.)			เส้นผาศูนย์กลางใน (มม.)			ระยะห่างบาก (มม.)			ความสูงบาก (มม.)		
	ซม.	กก.	มม.	บน	กลาง	ล่าง	บน	กลาง	ล่าง	บน	กลาง	ล่าง	บน	กลาง	ล่าง
1	71.0	0.632	12	13.96	16.12	14.32	11.34	11.20	11.28	6.42	6.70	6.90	0.80	0.86	0.90
2	70.6	0.632	12	13.80	14.02	13.80	11.38	11.20	11.18	6.72	6.70	6.80	1.02	1.18	0.90
3	71.4	0.632	12	13.82	14.30	13.12	11.24	11.22	11.20	7.00	6.72	6.66	1.02	0.94	1.00
4	70.5	0.625	12	13.00	13.90	13.94	11.30	11.40	11.42	6.90	6.52	6.42	1.18	0.98	0.98
5	70.9	0.611	12	13.00	12.60	12.60	10.80	11.10	11.30	6.60	6.70	6.58	0.88	0.98	0.92
6	70.7	0.606	12	12.72	12.80	12.78	11.30	11.10	11.12	6.64	6.31	7.08	0.94	0.84	0.90
7	70.1	0.622	12	13.80	13.90	14.30	11.50	11.30	11.22	6.80	6.70	6.44	0.82	0.84	0.90
8	70.6	0.629	12	14.00	14.50	14.70	11.50	11.40	11.30	6.68	6.72	6.76	1.18	1.08	0.98
9	69.7	0.612	12	13.20	13.44	13.74	11.40	11.28	11.58	6.44	6.36	7.28	1.08	0.90	1.02
10	70.8	0.627	12	13.90	13.60	13.94	11.34	11.42	11.40	6.66	6.80	6.76	0.90	1.00	1.00
1	70.3	1.055	16	16.68	16.82	16.88	15.68	15.22	15.44	8.62	8.66	9.00	0.90	0.94	0.96
2	69.7	1.060	16	17.00	17.06	17.08	15.52	15.46	15.32	8.40	9.36	8.40	0.66	0.62	0.68
3	70.6	1.070	16	17.06	17.14	17.06	15.28	15.34	15.12	9.32	8.76	9.26	0.78	0.74	0.86
4	69.9	1.040	16	16.90	16.28	16.08	15.30	14.52	15.12	9.16	8.52	8.90	0.88	0.96	1.08
5	68.6	1.062	16	17.66	17.60	17.68	15.76	15.08	17.09	8.54	8.66	7.72	0.92	0.90	0.82
6	69.0	1.052	16	16.88	16.92	16.80	15.68	15.06	15.22	8.30	7.62	8.16	0.52	0.62	0.82
7	70.2	1.018	16	17.46	17.62	17.62	15.62	15.66	15.34	8.52	8.82	8.72	0.72	0.70	0.80
8	70.8	1.123	16	16.90	16.76	16.78	15.78	15.88	15.84	8.74	9.06	8.82	1.02	1.04	1.08
9	68.4	1.051	16	18.04	18.06	18.08	15.74	15.68	15.12	8.96	8.18	9.16	0.92	1.02	0.80
10	70.5	1.069	16	16.68	17.02	17.10	15.58	15.62	15.48	8.88	9.32	8.26	0.88	0.74	0.80

ตาราง 4.11 ข้อมูลเหล็ก 16 มม. BSI SD 40

ตัวอย่างที่	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ϕนอก (มม.)	ϕใน (มม.)	ระยะห่างrib (มม.)	ความสูงบาก (มม.)	ความหนาบาก (มม.)	จ.น.ช่อง	a/c
1	102.0	1.595	17.26	14.40	6.38	1.00	2.36	16	0.16
2	90.5	1.453	17.50	15.40	6.26	1.10	2.26	16	0.18
3	90.0	1.429	18.00	14.90	7.30	1.30	2.10	16	0.18
4	89.6	1.414	17.60	15.00	6.46	1.20	2.16	16	0.19
5	89.9	1.431	17.70	15.20	7.90	1.50	2.30	16	0.19
6	89.8	1.432	17.90	15.20	6.35	1.10	2.05	16	0.17
7	70.1	1.101	17.50	15.40	7.00	1.50	2.20	9	0.21
8	69.7	1.094	17.40	15.00	7.35	1.60	2.05	9	0.22
9	70.3	1.101	17.40	15.00	7.62	1.30	1.92	9	0.17
10	69.7	1.086	17.60	15.00	7.20	1.18	2.20	9	0.16
11	70.4	1.097	17.60	15.02	7.62	1.42	2.22	9	0.19
12	70.0	1.099	17.48	15.00	7.00	1.50	2.00	9	0.21
13	74.6	1.182	17.80	15.00	7.30	1.40	2.20	17	0.19
14	74.8	1.187	17.50	15.02	8.02	1.42	2.64	17	0.18
15	75.0	1.182	17.58	15.10	7.08	1.30	2.16	17	0.18
16	75.0	1.193	17.80	14.98	6.80	1.52	2.10	17	0.22
17	74.9	1.176	17.80	14.98	6.66	1.18	2.26	17	0.18
18	74.8	1.205	18.00	15.50	7.44	1.00	2.20	17	0.13
19	74.9	1.171	17.94	14.60	7.96	1.30	2.06	17	0.16
20	75.0	1.171	17.90	15.10	8.16	1.18	2.16	17	0.14
21	74.7	1.168	17.40	15.00	7.20	1.50	2.20	17	0.21
22	74.8	1.169	17.80	15.38	8.36	1.40	2.64	17	0.17
23	75.1	1.173	17.94	15.30	7.38	1.90	2.00	17	0.26
24	74.7	1.174	17.80	15.60	7.94	1.02	2.24	17	0.13

ตาราง 4.12 ข้อมูลเหล็ก 16 มม. BSI SD 40 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความยาว	น้ำหนัก	ϕนอก	ϕใน	ระยะห่างบาก	ความสูงบาก	ความหนาบาก	จ.น.ช่อง	a/c
	(ซม.)	(กก.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)		
25	60.0	0.941	17.96	15.20	8.30	1.40	2.30	9	0.17
26	59.8	0.935	18.00	15.00	8.18	1.60	2.20	9	0.20
27	59.9	0.941	17.84	15.00	7.52	1.60	2.40	9	0.21
28	59.6	0.934	17.38	15.04	7.20	1.40	2.40	9	0.19
29	60.0	0.937	17.84	14.98	7.28	1.20	2.10	9	0.16
30	60.1	0.936	17.90	15.00	7.54	1.22	2.10	9	0.16
31	59.7	0.925	17.26	15.00	7.08	1.50	2.16	9	0.21
32	59.6	0.928	17.58	15.10	6.82	1.08	2.10	9	0.16
33	59.4	0.923	17.90	14.90	8.50	1.20	2.50	9	0.14
34	60.0	0.940	18.00	15.02	7.22	1.30	2.00	9	0.18
35	59.4	0.925	17.80	15.00	7.20	1.02	2.50	9	0.14
36	60.1	0.934	17.70	14.98	7.36	1.24	2.46	9	0.17

พบว่าเหล็กที่ใช้งานมีa/cอยู่ระหว่าง0.1-0.2 ไม่สามารถสรุปได้ว่าจะมีการพังแบบใด ระหว่าง Failure surface และ Crushed concrete

ตาราง 4.13 ข้อมูลเหล็ก 25 มม. ทลกส SD 40

ตัวอย่างที่	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ϕนอก (มม.)	ϕใน (มม.)	ระยะห่างrib (มม.)	ความสูงบาก (มม.)	ความหนาบาก (มม.)	จ.น.ช่อง	a/c
1	90.1	3.358	26.22	23.60	11.02	1.62	3.94	10	0.15
2	90.2	3.345	25.42	23.60	11.38	1.50	3.34	10	0.13
3	90.5	3.379	25.30	23.10	10.70	1.80	2.70	10	0.17
4	90.4	3.360	25.60	23.40	11.00	1.58	2.56	10	0.14
5	90.4	3.351	25.00	23.12	10.52	1.80	3.16	10	0.17
6	90.4	3.360	25.80	23.28	11.20	1.78	2.30	10	0.16
7	70.2	2.611	25.36	22.82	10.80	1.78	3.00	6	0.16
8	70.2	2.618	25.30	23.08	11.00	1.58	3.20	6	0.14
9	70.3	2.629	25.82	23.48	10.30	1.38	3.14	6	0.13
10	69.7	2.602	25.50	23.00	11.50	1.58	2.68	6	0.14
11	70.4	2.618	25.90	23.16	11.24	1.50	3.14	6	0.13
12	70.0	2.628	25.40	23.30	10.58	1.44	3.20	6	0.14
13	74.6	2.818	25.68	23.00	11.12	1.78	3.52	10	0.16
14	74.8	2.818	25.82	23.30	12.00	1.38	3.20	10	0.12
15	75.0	2.808	25.70	23.40	11.28	1.52	2.94	10	0.13
16	75.0	2.814	26.30	24.00	11.38	1.42	2.70	10	0.12
17	74.9	2.832	26.30	23.40	12.00	1.60	2.56	10	0.13
18	74.8	2.799	25.68	23.50	11.00	1.46	2.66	10	0.13
19	74.9	2.798	25.74	23.40	11.08	1.74	2.80	10	0.16
20	75.0	2.830	25.92	23.82	11.40	1.72	3.50	10	0.15
21	74.7	2.805	25.84	23.30	11.50	1.60	2.60	10	0.14
22	74.8	2.816	25.80	23.00	11.60	1.76	2.30	10	0.15
23	75.1	2.787	25.74	24.22	11.02	2.04	2.80	10	0.19
24	74.7	2.824	25.70	23.34	11.80	1.90	2.60	10	0.16

ตาราง 4.14 ข้อมูลเหล็ก 25 มม. ทลกส SD 40 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความยาว	น้ำหนัก	ϕนอก	ϕใน	ระยะห่างบาก	ความสูงบาก	ความหนาบาก	จ.น.ช่อง	a/c
	(ซม.)	(กก.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)		
25	60.0	2.253	25.40	23.30	11.00	1.88	2.84	5	0.17
26	59.8	2.205	25.60	23.00	11.42	2.20	2.60	5	0.19
27	59.9	2.035	254.96	23.00	11.52	1.38	2.28	5	0.12
28	59.6	2.233	25.48	23.24	10.50	1.42	2.70	5	0.14
29	60.0	2.250	25.68	23.74	11.02	1.74	3.30	5	0.16
30	60.1	2.246	25.58	23.10	11.58	2.60	1.64	5	0.22
31	59.7	2.233	25.82	23.20	11.02	2.18	2.90	5	0.20
32	59.6	2.243	25.60	24.54	11.58	1.68	2.90	5	0.15
33	59.4	2.245	25.48	23.82	11.50	1.64	3.00	5	0.14
34	60.0	2.241	25.60	23.30	11.00	1.76	3.00	5	0.16
35	59.4	2.265	26.00	22.98	11.20	1.72	2.86	5	0.15
36	60.1	2.244	25.50	23.10	12.00	1.60	2.86	5	0.13

พบว่าเหล็กที่ใช้งานมีa/cอยู่ระหว่าง0.1-0.2 ไม่สามารถสรุปได้ว่าจะมีการพังแบบใด ระหว่าง Failure surface และ Crushed concrete

4.5 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กขาด

4.5.1 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กขนาด 12 มม. สภาพการเป็นสนิม

ตาราง 4.15 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 12 มม. สภาพเป็นสนิม

ตัวอย่าง	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงขาด (กก.)	ระยะขาด (มม.)	ความเค้นคราก (กก./ซม.^{2})
1	5800.00	3.10	7227.00	62.80	5221.24
2	6000.00	4.80	7401.00	55.25	ความเค้นขาด (กก./ซม.^{2})
3	5900.00	4.50	7408.00	59.80	
เฉลี่ย	5900.00	4.13	7345.33	59.28	6500.29

สรุปคือเหล็ก 12 มม. ที่นำมาทดสอบ มีกำลังรับแรงดึง 6500 กก./ซม.^{2}

4.5.2 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กขนาด 16 มม. สภาพการเป็นสนิม

ตาราง 4.16 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 16 มม. สภาพเป็นสนิม

ตัวอย่าง	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงขาด (กก.)	ระยะขาด (มม.)	ความเค้นคราก (กก./ซม.^{2})
1	12462.00	6.00	15090.00	55.90	6156.72
2	12663.00	5.00	15400.00	58.00	ความเค้นคราก (กก./ซม.^{2})
3	12000.00	4.50	14060.00	50.00	
เฉลี่ย	12375.00	5.17	14850.00	54.63	7388.06

สรุปคือเหล็ก 16 มม. ที่นำมาทดสอบ มีกำลังรับแรงดึง 7388 กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กขนาด 16 มม.

ตาราง 4.17 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 16 มม.

ตัวอย่าง	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงขาด (กก.)	ระยะขาด (มม.)	ความเค้นคราก (กก./ซม.^{2})
1	-	-	-	-	5225.80
2	10455.22	2.00	12763.50	28.50	ความเค้นคราก
3	10552.50	3.30	12663.00	27.00	(กก./ซม.^{2})
เฉลี่ย	10503.86	2.65	12713.25	27.75	6325.00

สรุปคือเหล็ก 16 มม. ที่นำมาทดสอบ มีกำลังรับแรงดึง 6325 กก./ซม.^{2}

4.5.4 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กขนาด 25 มม.

ตาราง 4.18 ข้อมูลเหล็กดึงขาดขนาด 25 มม.

ตัวอย่าง	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงขาด (กก.)	ระยะขาด (มม.)	ความเค้นคราก (กก./ซม.^{2})
1	25000.00	3.00	30000.00	43.00	5045.16
2	24900.00	2.50	30000.00	46.00	ความเค้นคราก
3	24400.00	3.50	28700.00	41.50	(กก./ซม.^{2})
เฉลี่ย	24766.67	3.00	29566.67	43.50	6022.95

สรุปคือเหล็ก 25 มม. ที่นำมาทดสอบ มีกำลังรับแรงดึง 6023 กก./ซม.^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดสอบแรงดึงหนึ่งทิศทาง

ตาราง 4.19 ข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 16 มม.

เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม3ซม. ฝัง17ซม.				เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม3ซม. ฝัง17ซม. มีคอนกรีต			
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ	ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ
13	7444	3.15	bond	19	5828	3.35	bond2+shear
14	4907	3.4	shear	20	8379	3.05	bond2
15	4782	2.65	comp	21	8780	3.7	bond2
เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม5.5ซม. ฝัง17ซม.				เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม5.5ซม. ฝัง17ซม. มีคอนกรีต			
16				22	12750	14.9	bond4 ฝังผิด
17	12525	19.8	bond2	23	8238	2.6	bond2+shear
18	12483	21.8	bond3	24	11437	11.3	bond4
เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม3ซม. ฝัง10ซม.				เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม3ซม. ฝัง10ซม. มีคอนกรีต			
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ	ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ
25	5924	1.72	bond2	31	3226	1.95	shear
26	4090	1.2	bond2	32	6192	2.2	bond2
27	3553	1.7	bond+com	33	5656	2.55	bond2+shear
เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม5.5ซม. ฝัง10ซม.				เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม5.5ซม. ฝัง10ซม. มีคอนกรีต			
28	9036	2.16	bond2	34	5154	1.65	no crack
29	9011	2.7	bond2	35	6697	2.2	bond2+heel
30	8994	2.9	bond2	36	8689	2.5	bond2

หมายเหตุ bond 2หมายถึง ชิ้นตัวอย่างวิบัติในรูปแบบของแรงยึดเหนี่ยวซึ่งมีรอยแตก 2 รอย

Bond+com หมายถึง ชิ้นตัวอย่างวิบัติในรูปแบบของแรงยึดเหนี่ยวและแรงอัดพร้อมๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.20 ข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 25 มม.

เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม3.8ซม. ฝัง17ซม.				เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม3.8ซม. ฝัง17ซม. มีคอนกรีต			
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ	ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ
13	8939		com+shear	19	12656	3.82	bond2
14	10312	5.07	com+shear	20	9850	2.93	bond2
15	11801	3.04	bond3	21	11012	3.01	bond2
เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม5ซม. ฝัง17ซม.				เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม3.8ซม. ฝัง10ซม. มีคอนกรีต			
16	14404	3.82	bond2+heel	22	15151	3.78	bond2+1
17	13311	3.34	bond2+heel	23	12442	3.34	bond2+shear
18	17693	4.62	bond3	24	11634	3.09	bond2+1+heel
เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม3.8ซม. ฝัง10ซม.				เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม3.8ซม. ฝัง10ซม. มีคอนกรีต			
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ	ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ วิบัติแบบ
25	6850	3.58	bond2	31	3407	1.19	bond2+shear
26	6675	3.7	bond2	32	5975	1.94	bond2+com
27	8625	4.49	com	33	7872	2.12	bond2
เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม5ซม. ฝัง10ซม.				เหล็ก25มม. ระยะหุ้ม5ซม. ฝัง10ซม. มีคอนกรีต			
28	8701	2.95	bond3	34	8611	2.55	bond1+1
29	10364	3.79	bond3	35	10606	3.38	bond2
30	9250	3.3	bond3	36	8269	1.9	bond3

เมื่อพิจารณาชิ้นตัวอย่างทั้งแบบมีคอนกรีตต่อจากเหล็กและแบบไม่มีคอนกรีตต่อจากเหล็ก พบว่ามีค่าไม่ต่างกันมากหนักจึงจัดหมวดหมู่ใหม่ได้เป็นดังต่อไปนี้

หมายเหตุ bond1+1 หมายถึง ชิ้นตัวอย่างวิบัติในรูปแบบของแรงยึดเหนี่ยวซึ่งมีรอยแตก 1 รอยและมีแนวโน้มจะเกิดขึ้นอีก 1 รอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.21 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 16 มม. ระยะฝัง 17 ซม.

เหล็ก 16 มม. ระยะหุ้ม 3 ซม. ฝัง 17 ซม.				แรงสูงสุด	ระยะสูงสุด	ความเค้น
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ	กก.	มม.	กก./ซม.^{2}
13	7444	3.15	bond	8201.00	3.30	95.97
20	8379	3.05	bond2			
21	8780	3.7	bond2			
เหล็ก16มม. ระยะหุ้ม5.5ซม. ฝัง17ซม.				12148.33	17.63	142.17
24	11437	11.3	bond4			
17	12525	19.8	bond2			
18	12483	21.8	bond3	คราก		

จากตาราง 4.21 สรุปได้ว่าเหล็ก 16 มม. ระยะฝัง 17 ซม. มีคอนกรีตหุ้ม 3 ซม. มีค่าความเค้นแบบยืดเหนี่ยวมีค่า 95.97 กก./ซม.^{2} ถ้ามีคอนกรีตหุ้ม 5.5 ซม. จะมีค่าความเค้นแบบยืดเหนี่ยวมีค่า 142.17 กก./ซม.^{2} แสดงมีระยะหุ้มคอนกรีตเพิ่ม ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นต่อ 1 หน่วยพื้นที่

ตาราง 4.22 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 16 มม. ระยะฝัง 10 ซม.

เหล็ก 16 มม. ระยะหุ้ม 3 ซม. ฝัง 10 ซม.				แรงสูงสุด	ระยะสูงสุด	ความเค้น
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ	กก.	มม.	กก./ซม.^{2}
32	6192	3.9	bond2	5465.50	2.49	108.73
33	5656	2.85	bond2+shear			
25	5924	1.87	bond2			
26	4090	1.35	bond2			
เหล็ก 16 มม. ระยะหุ้ม 5.5 ซม. ฝัง 10 ซม.				8932.50	2.57	177.71
36	8689	2.4	bond2			
28	9036	2.26	bond2			
29	9011	2.6	bond2			
30	8994	3	bond2			

จากตาราง 4.22 สรุปได้ว่าเหล็ก 16 มม. ระยะฝัง 10 ซม. มีคอนกรีตหุ้ม 3 ซม. มีค่าความเค้นแบบยืดเหนี่ยวมีค่า 108.73 กก./ซม.^{2} ถ้ามีคอนกรีตหุ้ม 5.5 ซม. จะมีค่าความเค้นแบบยืดเหนี่ยวมีค่า 177.71 กก./ซม.^{2} แสดงมีระยะหุ้มคอนกรีตเพิ่ม ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นต่อ 1 หน่วยพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.23 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 25 มม. ระยะฝัง 17 ซม.

เหล็ก 25 มม. ระยะหุ้ม 3.8 ซม. ฝัง17 ซม.				แรงสูงสุด	ระยะสูงสุด	ความเค้น
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ	กก.	มม.	กก./ซม.^{2}
19	12656	3.52	bond2	11126.20	3.32	83.33
20	9850	2.68	bond2			
21	11012	3.21	bond2			
14	10312	4.67	com+shear			
15	11801	2.54	bond3			
เหล็ก 25 มม. ระยะหุ้ม 5 ซม. ฝัง 17 ซม.				15385.00	3.91	115.23
22	15151	3.78	bond2+1			
17	13311	3.34	bond2+heel			
18	17693	4.62	bond3			

จากตาราง 4.23 สรุปได้ว่าเหล็ก 25 มม. ระยะฝัง 17 ซม. มีคอนกรีตหุ้ม 3.8 ซม. มีค่าความเค้นแบบยึดเหนี่ยวมีค่า 83.33 กก./ซม.^{2} ถ้ามีคอนกรีตหุ้ม 5 ซม. จะมีค่าความเค้นแบบยึดเหนี่ยวมีค่า 115.23 กก./ซม.^{2} แสดงมีระยะหุ้มคอนกรีตเพิ่ม ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นต่อ 1 หน่วยพื้นที่

ตาราง 4.24 สรุปข้อมูลเหล็กดึงหนึ่งทิศทางขนาด 25 มม. ระยะฝัง 10 ซม.

เหล็ก 25 มม. ระยะหุ้ม 3.8 ซม. ฝัง 10 ซม.				แรงสูงสุด	ระยะสูงสุด	ความเค้น
ตัวอย่าง	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	หมายเหตุ	กก.	มม.	กก./ซม.^{2}
25	6850	3.58	bond2	7132.33	3.13	90.81
26	6675	3.7	bond2			
33	7872	2.12	bond2			
เหล็ก 25 มม. ระยะหุ้ม 5 ซม. ฝัง 10 ซม.				9300.17	2.98	118.41
28	8701	2.95	bond3			
29	10364	3.79	bond3			
30	9250	3.3	bond3			
34	8611	2.55	bond1+1			
35	10606	3.38	bond2			
36	8269	1.9	bond3			

จากตาราง 4.24 สรุปได้ว่าเหล็ก 25 มม. ระยะฝัง 10 ซม. มีคอนกรีตหุ้ม 3.8 ซม. มีค่าความเค้นแบบยึดเหนี่ยวมีค่า 90.81 กก./ซม.^{2} ถ้ามีคอนกรีตหุ้ม 5 ซม. จะมีค่าความเค้นแบบยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวมีค่า 118.41 กก./ซม.^{2} แสดงมีระยะหุ้มคอนกรีตเพิ่ม ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นต่อ1หน่วยพื้นที่

4.7 ผลการทดสอบแรงดึงสองทิศทาง

4.7.1 ผลการทดสอบแบบดึง2ทิศทาง เหล็กสนิม 12 มม. ระยะฝั่ง 30 ซม. ระยะหุ้ม 3 ซม

ตาราง 4.25 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 2 ยืดไปแล้ว 0.54 มม.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด (มม.)	ตำแหน่ง (ซม.)	แรง (กก.)
1	0.6		4000
2	0.6		4000
3	1.9		5700

ตาราง 4.26 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 3 เกิดแรงไปแล้ว 1800 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด (มม.)	ตำแหน่ง (ซม.)	แรง (กก.)
1	1.32	12	4700
2	1.37	22	4800

ตาราง 4.27 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 4 เกิดแรงไปแล้ว 1750 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด (มม.)	ตำแหน่ง (ซม.)	แรง (กก.)
1	0.62	19	2000
2	1.13	14	3900

หมายเหตุ ระยะตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวนับระยะจากผิวคอนกรีตส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.28 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 5 เกิดแรงไปแล้ว 1500 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด (มม.)	ตำแหน่ง (ซม.)	แรง (กก.)
1	1.35	15	4750
2	1.4	22	4800
3	7.62	28	5780

4.7.2 ผลการทดสอบแบบดึง2ทิศทาง เหล็กสนิม 12 มม. ระยะฝั่ง 50 ซม. ระยะหุ้ม 3 ซม

ตาราง 4.29 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 7 เกิดแรงไปแล้ว 3500 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.76	21	2500
2	1.25	23	3800
3	1.54	8	4700

ตาราง 4.30 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 8 เกิดแรงไปแล้ว 3800 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.48	28	-500
2	0.79	11	2200
3	0.92	34.5	2600
4	2.19	17	5700

ตาราง 4.31 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 8 เกิดแรงไปแล้ว 3800 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.8		2300
2	0.94		2600
3	1.87		5300
4	2.03		5500

หมายเหตุ ระยะตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวนับระยะจากผิวคอนกรีตส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ผลการทดสอบแบบดึง2ทิศทาง เหล็กสนิม 16 มม. ระยะฝั่ง 30 ซม. ระยะหุ้ม 5 ซม

ตาราง 4.32 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 1 เกิดแรงไปแล้ว 2400 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	1.45	4	9500
2	8.02	25.5	11500
3	12.26	10	12000

ตาราง 4.33 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 2 เกิดแรงไปแล้ว 2200 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.78	5	6000
2	7.98	26	11000

ตาราง 4.34 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 3 เกิดแรงไปแล้ว 2200 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.68	8.5	3500

ตาราง 4.35 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 4 เกิดแรงไปแล้ว 2500 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	1.44	7	9000
2	10.27	27	11500
3	14.75	11.5	12200

ตาราง 4.36 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 5 เกิดแรงไปแล้ว 2800 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	8.05	26	12000
2	12.25	20	12500

หมายเหตุ ระยะตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวนับระยะจากผิวคอนกรีตส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 ผลการทดสอบแบบดึง2ทิศทาง เหล็กสนิม 16 มม. ระยะฝั่ง 50 ซม. ระยะหุ้ม 5 ซม

ตาราง 4.37 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 6

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	14.7	18.5	4900
2	17.5	45	6800

ตาราง 4.38 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 7

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	10.45	17	3800
2	11.05	33.5	4000
3	27.1	38	11400

ตาราง 4.39 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 10

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	13.2	24	3900
2	21.3	34	8000
3	38.4	6	11800

4.7.4 ผลการทดสอบแบบดึง2ทิศทาง เหล็ก 16 มม. ระยะฝั่ง 17 ซม. ระยะหุ้ม 3 ซม

ตาราง 4.40 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 1 เกิดแรงไปแล้ว 2333 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	1.1	28	3800
2	16.02	21	10800

ตาราง 4.41 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 2 เกิดแรงไปแล้ว 1100 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.9	25	4100

ตาราง 4.42 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง ตัวอย่างที่ 3 เกิดแรงไปแล้ว 1400 กก.

รอยร้าวตามขวาง	ระยะยืด(มม.)	ตำแหน่ง(ซม.)	แรง(กก.)
1	0.9	24	4100

หมายเหตุ ระยะตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวนับระยะจากผิวคอนกรีตส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.5 สรุปผลของตัวอย่างแรงดึง 2 ทิศทาง

ตาราง 4.43 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 12 มม. สภาพสนิม

ตัวอย่าง	ระยะยืดรอยที่ 1 (มม.)	แรงร้าวที่ 1 (กก.)	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	เฉลี่ย					
					ยืดรอยที่1 (มม.)	แรงร้าวที่ 1 (กก.)	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	เค้นคราก (กก/ซม.^{2})	เค้นร้าว (กก/ซม.^{2})
2	1.14	4000	5871	3.74	1.1075	5125	6853.5	3.12	121.1968	90.63017
3	1.32	6500	7377	2.41						
4	0.62	3750	7259	2.38						
5	1.35	6250	6907	3.95						
7	0.76	6000	9312	3.2	0.78	5800	9063.5	3.185	96.16701	61.54009
9	0.8	5600	8815	3.17						

จากตาราง 4.43 พบว่าเหล็ก 12 มม. สภาพสนิม มีคอนกรีตหุ้ม 3 ซม. มีระยะฝั่ง 30 ซม. มีความเค้นแบบแรงยึดเหนี่ยวต้านทานการดึง ณ จุดรอยร้าวที่ 1 (จุดคราก) มีค่ามากกว่าเหล็กที่มีระยะฝั่ง 50 ซม. เป็นเพราะความเค้นต้านทานนี้ใช้ความเค้นเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยพื้นที่เป็นตัวเปรียบเทียบ

ตาราง 4.44 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 16 มม. สภาพสนิม

ตัวอย่าง	ระยะยืดรอย ที่ 1 (มม.)	แรงร้าวที่ 1 (กก.)	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	เฉลี่ย					
					ยืดรอยที่1 (มม.)	แรงร้าวที่ 1 (กก.)	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	เค้นคราก (กก/ซม.^{2})	เค้นร้าว (กก/ซม.^{2})
1	1.45	11900	12639	6.25	1.223333	10533.33	12925.33	3.616667	171.4292	139.704
2	0.78	8200	12640	2.2						
4	1.44	11500	13497	2.4						
6	14.7	4900	11500	32	12.78333	4200	11500	32.66667	91.51497	33.42286
7	10.45	3800	11800	32						
10	13.2	3900	11200	34						

จากตาราง 4.44 พบว่าเหล็ก 16 มม. สภาพสนิม มีคอนกรีตหุ้ม 5 ซม. มีระยะฝั่ง 30 ซม. มีความเค้นแบบแรงยึดเหนี่ยวต้านทานการดึง ณ จุดรอยร้าวที่ 1 (จุดคราก)มีค่ามากกว่าเหล็กที่มีระยะฝั่ง 50 ซม. เป็นเพราะความเค้นต้านทานนี้ใช้ความเค้นเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยพื้นที่เป็นตัวเปรียบเทียบ

ตาราง 4.45 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 16 มม.

ตัวอย่าง	ระยะยืดรอย ที่ 1 (มม.)	แรงร้าวที่ 1 (กก.)	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	เฉลี่ย						เค้นคราก	เค้นสูงสุด
							ยืดรอยที่1 (มม.)	แรงร้าวที่ 1 (กก.)	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	เค้นคราก (กก/ซม.^{2})	ยืดรอยที่1 (มม.)	ของเหล็ก (กก/ซม.^{2})	ของเหล็ก (กก/ซม.^{2})
1	1.1	6133	12362	6.2	14059		0.966667	5611	11669.67	4.98	273.13	131.33	5805.80	กก/ซม.^{2}
2	0.9	5200	10841	5.6	12055									
3	0.9	5500	11806	3.15	12584						แรงสูงสุด	ระยะสูงสุด		
4			11993	5.5	14407	59.5			11474.00	4.47	14043.67	63.33	5708.46	6986.90
5			11164	3.9	13513	62.5								
6			11265	4	14211	68								
7			11237	4	13762	45			10968.67	3.60	13661.67	46.73	5457.05	6796.85
8			10984	3.4	13580	45								
9			10685	3.4	13643	50.2								
10			11117	3.2	13856	47			11265.33	3.03	13946.67	48.50	5604.64	6938.64
11			11183	2.4	14024	49								
12			11496	3.5	13960	49.5								

จากตาราง 4.45 พบว่าเหล็ก 16 มม. มีคอนกรีตหุ้ม 5 ซม. มีระยะฝั่ง 50 ซม. มีความเค้นแบบแรงยึดเหนี่ยวต้านทานการดึง ณ จุดรอยร้าวที่ 1 (จุดคราก) มีค่า 273.13 กก/ซม.^{2} ส่วนชิ้นงานตัวอย่างอื่นๆ ไม่มีพบการแตกร้าวที่ผิวของคอนกรีตระหว่างการทดสอบ ทั้งนี้เป็นเพราะระยะคอนกรีตหุ้ม และระยะฝั่ง

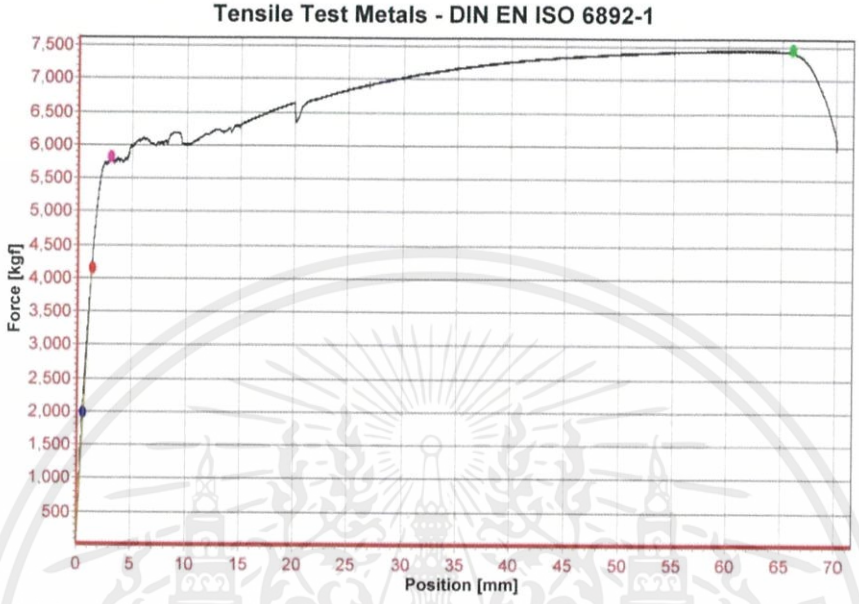
ตาราง 4.46 ข้อมูลเหล็กดึงสองทิศทาง เหล็ก 25 มม.

ตัวอย่าง	แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	เฉลี่ย				เค้นคราก	เค้นสูงสุด
					แรงคราก (กก.)	ระยะคราก (มม.)	แรงสูงสุด (กก.)	ระยะสูงสุด (มม.)	ของเหล็ก	ของเหล็ก
1	23601	5.55	29732		24062.67	6	29497.67	-	4901.745	6008.895
2	24482	5.65	27554							
3	24105	6.8	31207							
4	24289	6.9	30938	68	24766.67	6.633333	31151.33	70	5045.155	6345.759
5	24909	7.5	31431	71						
6	25102	5.5	31085	71						
7	24796	3.6	32326	57	24784.33	4.633333	31987.33	57	5048.754	6516.059
8	24389	5.1	31211	59						
9	25168	5.2	32425	55						
10	24922	4.8	32353	54.8	25201.67	5.1	32345.33	58.76667	5133.768	6588.986
11	25500	5.1	32553	58						
12	25183	5.4	32130	63.5						

จากตาราง 4.46 พบว่าเหล็ก 25 มม. ในชิ้นงานตัวอย่างไม่มีพบการแตกร้าวที่ผิวของคอนกรีตระหว่างการทดสอบ นั่นแสดงว่าความเค้นแบบแรงยึดเหนี่ยวต้านทานการดึง ณ จุดรอยร้าวที่ 1 (จุดคราก) มีค่ามากกว่าการแตกร้าวแบบการดึงขาด ทั้งนี้เป็นเพราะระยะคอนกรีตหุ้ม และระยะฝั่ง

4.8 ลักษณะของผลการทดสอบ

4.8.1 กราฟดึงสองทิศทาง



รูป 4.1 กราฟดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ตัวอย่างที่ 1

จากรูป 4.1 การดึงเหล็กสองทิศทาง รูปร่างกราฟของการดึงพบว่ากราฟมีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟดึงเหล็กเปล่า อาจมีการยักของเส้นกราฟในช่วงการคราก เป็นเพราะคอนกรีตเริ่มมีการปริกแตก

รูป 4.2 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ตัวอย่างที่ 1

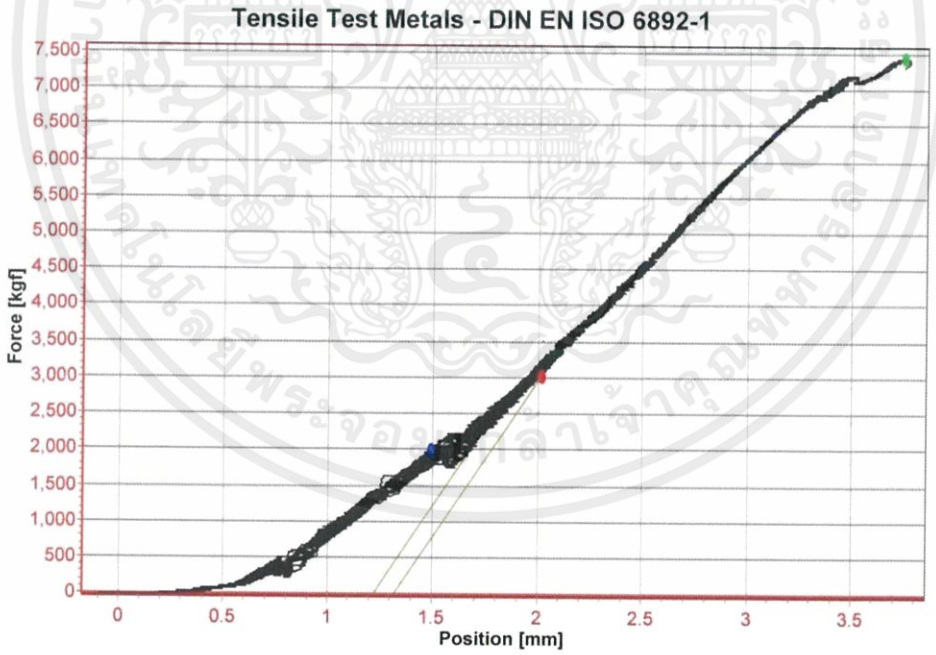
จากรูป 4.2 การดึงเหล็กสองทิศทาง ระหว่างการทดสอบจะเกิดรอยร้าวตามขวางขึ้น ในตำแหน่งไหนก็ได้ของชิ้นงาน รอยร้าวค่อยๆแตกรอบและเห็นชัดขึ้น เมื่อชิ้นงานถูกดึงเกินจุดคราก อาจจะเกิดรอยร้าวตามยาวขึ้นระหว่างรอยร้าวตามขวาง ในบรรดารอยร้าวตามขวางจะมีประมาณ 2-3 รอยที่มีรอยลึกกว่ารอยอื่นๆ เมื่อเหล็กขาด ตัวคอนกรีตจะมีเกิดรอยร้าวจนกระทั่งหลุดเนื่องจากการกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.3 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นสนิมผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1

จากรูป 4.3 ในตัวอย่างแสดงถึงการวิบัติที่ผิวคอนกรีตบริเวณเหล็ก การวิบัติแบบรูปกรวย ซึ่งจะส่งผลกระทบระยะห่างระหว่างการแตกร้าวตามขวางทำให้มีระยะห่างที่ผิดจากความเป็นจริง

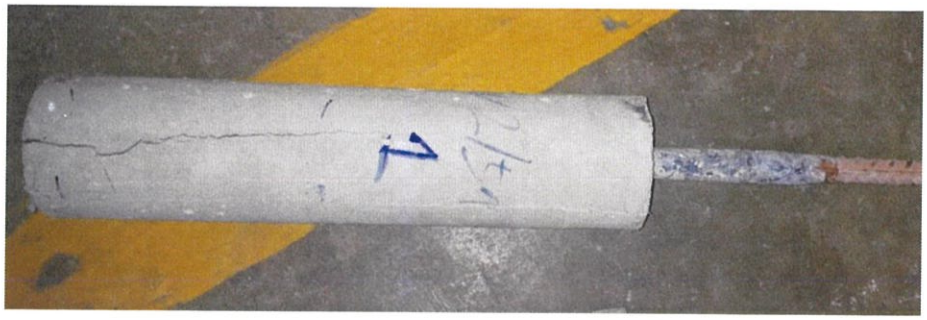
4.8.2 กราฟดึงหนึ่งทิศทาง



รูป 4.4 กราฟดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 14

จากรูป 4.4 การดึงเหล็กทิศทางเดี่ยวผลเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว ลักษณะเส้นกราฟแนวโน้มมีความชันที่คงที่ เมื่อชิ้นส่วนตัวอย่างวิบัติเส้นกราฟก็จะตกลงทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



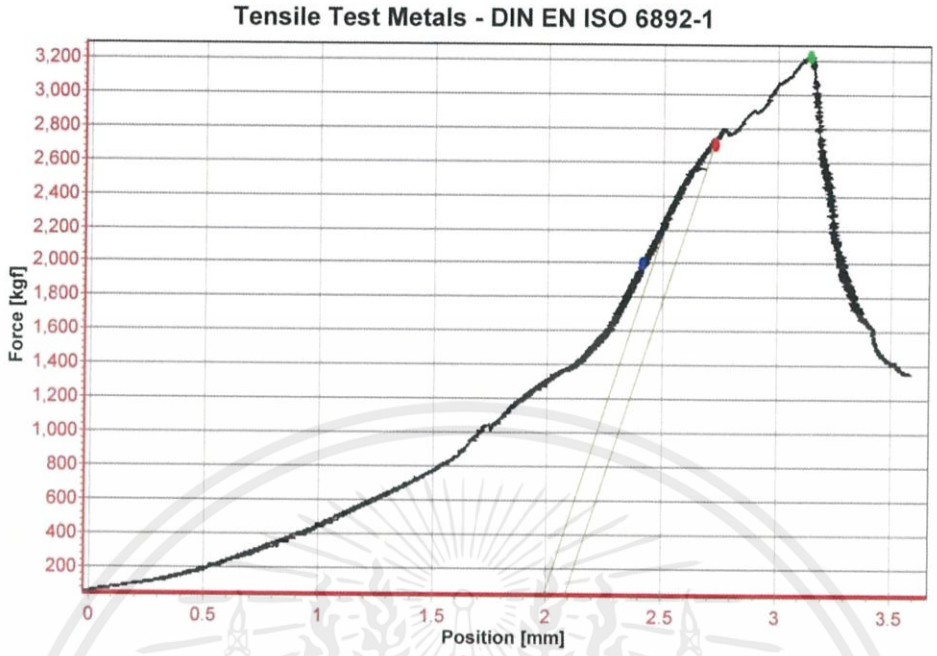
รูป 4.5 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 14

จากรูป 4.5 การดึงเหล็กทิศทางเดียว ระหว่างการทดสอบจะไม่เกิดรอยร้าวใดๆที่ผิวของคอนกรีตเลย เมื่อชิ้นงานถูกดึงจนเกิดการวิบัติ ถ้ามีการฝังเหล็กตลอดเส้น คอนกรีตอาจจะมีการผ่าซีกออก หากมีการฝังบางส่วน คอนกรีตเกิดรอยแตกในช่วงที่มีเหล็กฝั่งในคอนกรีต ในตัวอย่างนี้จะมีการฝังแค่บางส่วน จึงเกิดรอยร้าวผ่าซีกเป็นสองส่วน

รูป 4.6 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 20

จากรูป 4.6 ในตัวอย่างนี้จะมีการฝังแค่บางส่วนและส่วนล่างของคอนกรีตไม่มีเหล็กฝัง การเกิดรอยร้าวผ่าซีกเป็นสองส่วน เริ่มจากปลายเหล็กที่มีการฝัง คอนกรีตจะแตกร้าวไปยังส่วนที่ไม่มีเหล็กประมาณ 5 ซม. ลักษณะเป็นตามรูป การวิบัติจะเกิดแบบทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



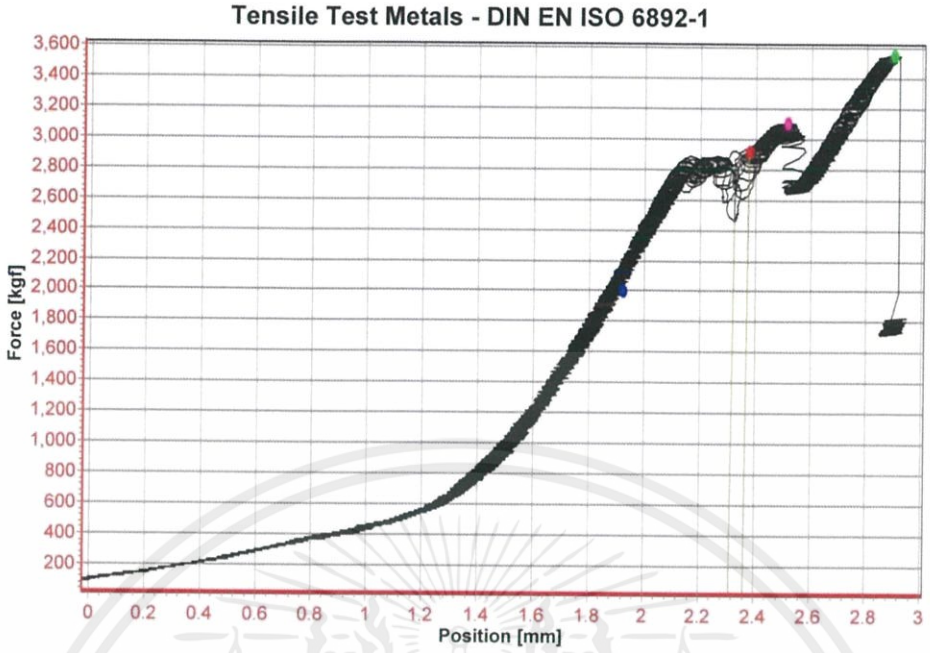
รูป 4.7 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 31

จากรูป 4.7 การดึงเหล็กทิศทางเดี่ยวผลเนื่องจากแรงเฉือน ลักษณะเส้นกราฟเส้นความชันจะมีลักษณะคล้ายสามเหลี่ยม เมื่อชิ้นส่วนตัวอย่างวิบัติเส้นกราฟก็จะค่อยๆตกลง

รูป 4.8 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 31

จากรูป 4.8 ในตัวอย่างนี้จะมีการวิบัติแบบแรงฉือนซึ่งจะเห็นได้ว่ารอยแตกมีการวิบัติตรงผิวที่หัว ลักษณะแบบชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเฉียงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.9 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 27

จากรูป 4.9 การดึงเหล็กทิศทางเดี่ยวผลเนื่องจากแรงอัดที่หัว ลักษณะเส้นกราฟเส้นความชันจะมีการยักของเส้นกราฟ เมื่อชิ้นส่วนตัวอย่างวิบัติเส้นกราฟสิ้นสุดทันที

รูป 4.10 ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 27

จากรูป 4.10 ในตัวอย่างนี้จะมีการวิบัติแบบแรงอัดซึ่งจะเห็นได้ว่ารอยแตกมีการวิบัติตรงผิวที่หัวตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 พฤติกรรมการวิบัติของวิธีดึงหนึ่งทิศทาง

ลักษณะเกิดรอยร้าวจะไม่มีการเกิดรอยร้าวที่ผิวของคอนกรีตจนกระทั่งเกิดการวิบัติ การวิบัติจะมีทั้งการรูดหลุด(pull out failure)และการปริแตก(splitting failure)ขึ้นกับระยะฝังและระยะหุ้มของคอนกรีต

ชิ้นตัวอย่างที่มีช่วงคอนกรีตด้านล่างเหล็กจะมีรอยแตกที่เหล็กฝั่งอยู่ และจะมีรอยแตกโค้งเว้าไปส่วนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กฝั่งประมาณ 6 ซม.

5.2 พฤติกรรมการวิบัติของวิธีดึงสองทิศทาง

การดึงสองทิศทางอาจจะมีการรอยร้าวที่ผิวก่อนการวิบัติทั้งนี้ขึ้นกันระยะหุ้มคอนกรีตและระยะฝัง ถ้าระยะฝังมีมากจะช่วยให้เกิดรอยร้าวก่อน ถ้าระยะหุ้มคอนกรีตมีมากจะทำให้ไม่ให้เกิดรอยร้าว ลักษณะการเกิดรอยร้าวจะเกิดรอยร้าวที่ผิวของคอนกรีตตามแนวขวางก่อน ซึ่งจะมีระยะห่างแต่ละรอยร้าวค่อนข้างใกล้เคียงกัน แล้วจะเกิดรอยร้าวตามแนวยาวขึ้นระหว่างรอยแตก จำนวนรอยร้าวตามขวางและระยะห่างของรอยร้าวจะขึ้นอยู่กับระยะฝังและระยะหุ้มของคอนกรีต

กรณีระยะหุ้มคอนกรีตประมาณ 3 ซม.(เหล็กมีสนิมขนาด 12 มม.) มีระยะห่างระหว่างรอยแตกตามขวางที่ใกล้เคียงกันประมาณ 8 ถึง 12 ซม. กรณีระยะหุ้มคอนกรีตประมาณ 5 ซม.(เหล็กมีสนิมขนาด 16 มม.) มีระยะห่างระหว่างรอยแตกตามขวางที่ใกล้เคียงกันประมาณ 15 ซม.

5.3 พฤติกรรมของคอนกรีตส่วนบนและส่วนล่าง

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในวิธีการดึงหนึ่งทิศทาง ในชิ้นตัวอย่างที่มีช่วงคอนกรีตด้านล่างเหล็กกับไม่มีช่วงคอนกรีตด้านล่างเหล็กมีค่าใกล้เคียงกันมากทุกระยะฝังและระยะหุ้มคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 เปรียบเทียบของการดึงทั้งสองแบบ

ค่าความเค้นของแรงยึดเหนี่ยวแบบดึงหนึ่งทิศทางและสองทิศทางมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในมาตรฐานการออกแบบ แต่แนวโน้มของแรงดึงสองทิศทางจะมีค่าน้อยลงตามระยะฝั่งเนื่องจากค่าความเค้นที่นำมาคิดมีค่าเฉลี่ย

5.5 ผลของการที่มีคอนกรีตห่อหุ้ม

การที่มีคอนกรีตห่อหุ้มเหล็กช่วยทำให้มีแรงต้านการดึงขาดเพิ่มขึ้นได้มากถึงประมาณ1,000 กก./ซม.^{2}(พื้นที่หน้าตัดเหล็ก)

5.5 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังจะต้องระมัดระวังในหลายเรื่อง เช่น การหล่อคอนกรีตในการวางเหล็กให้ได้ระดับ, โครงเหล็กที่ช่วยในการทดลองของดึงหนึ่งทิศทาง เป็นต้น

การศึกษาต่ออาจจะศึกษาในเรื่องของลักษณะกราฟ,ต่ำแหน่งการแข็งตัวของคอนกรีต,ระยะฝังที่ยาวขึ้นให้สอดคล้องกับสถานะการณ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

R. park and T. Paulay. 1975. **Reinforced concrete structures.** Wiley : United states of America

วินิต ช่อวิเชียร. 2554. **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง**. กรุงเทพฯ : นิวไทยมิตรการพิมพ์

ศรีกริช หิรัญมาศ. 2544. **พฤติกรรมและการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง. 2521. **คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต.**

คมสัน มาลีสี และสิริวัฒน์ ไชยชนะ 2555. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : มีน เซอร์วิส ซัพพลาย.

สุพจน์ ศรีนิล และแหลมทอง เหล่าคงถาวร 2555. ปฏิบัติการทดสอบวัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : มีน เซอร์วิส ซัพพลาย.

R. park and T. Paulay. 1975. "Reinforced concrete structures," Wiley : United states of America, pp. 392-410.

วินิต ช่อวิเชียร. 2554. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง. กรุงเทพฯ : นิวไทยมิตรการพิมพ์.

ศรีกริช หิรัญมาศ. 2544. พฤติกรรมและการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง. 2521. คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต.

Dr.Mongkol jirawacharadet. **Bond.**[Online]

Available : http://documents.tips/documents/c8-bondpdf.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

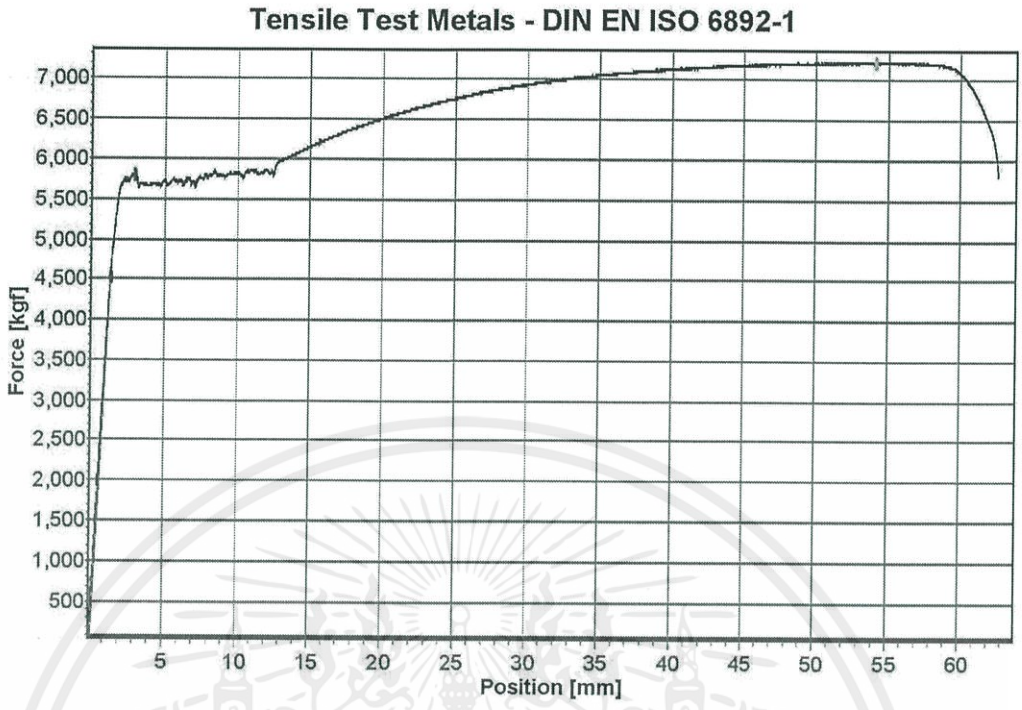
S.P. Tastani. 2010 “Direct tension pullout bond test: ecperimental results”**Journal of structural Engineering.** 136(6) : 731-743

Ismaeel H.Musa Albarwary 2013 “Bond strength of concrete with the reinforcement bars polluted with oil”**Euro Scientific Journal.** 9(6) : 255-271

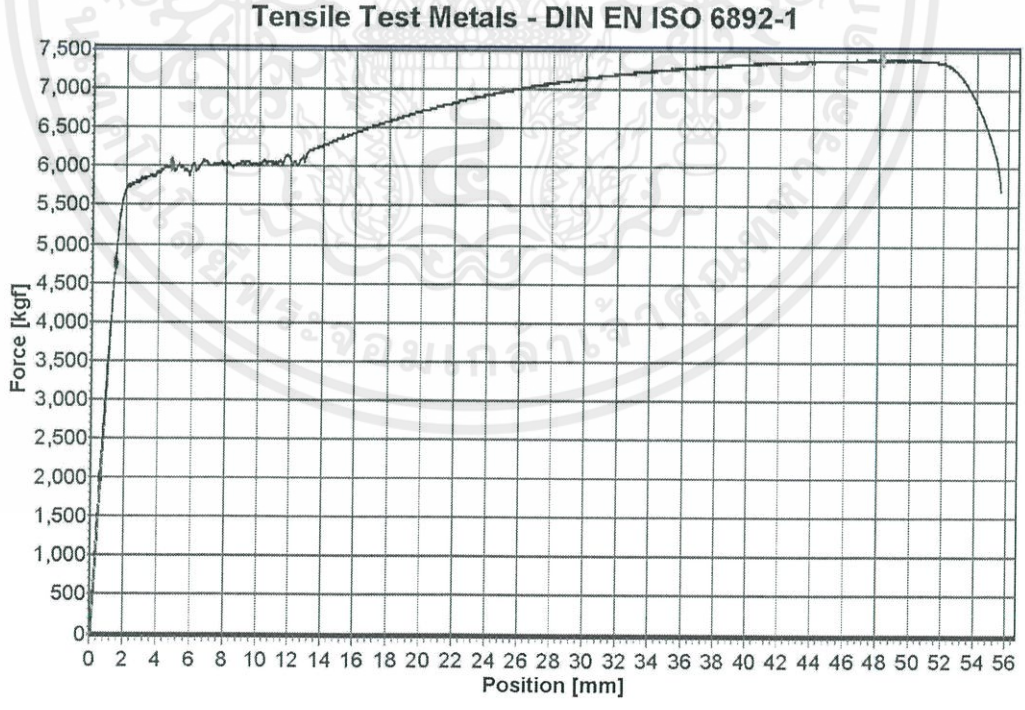
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

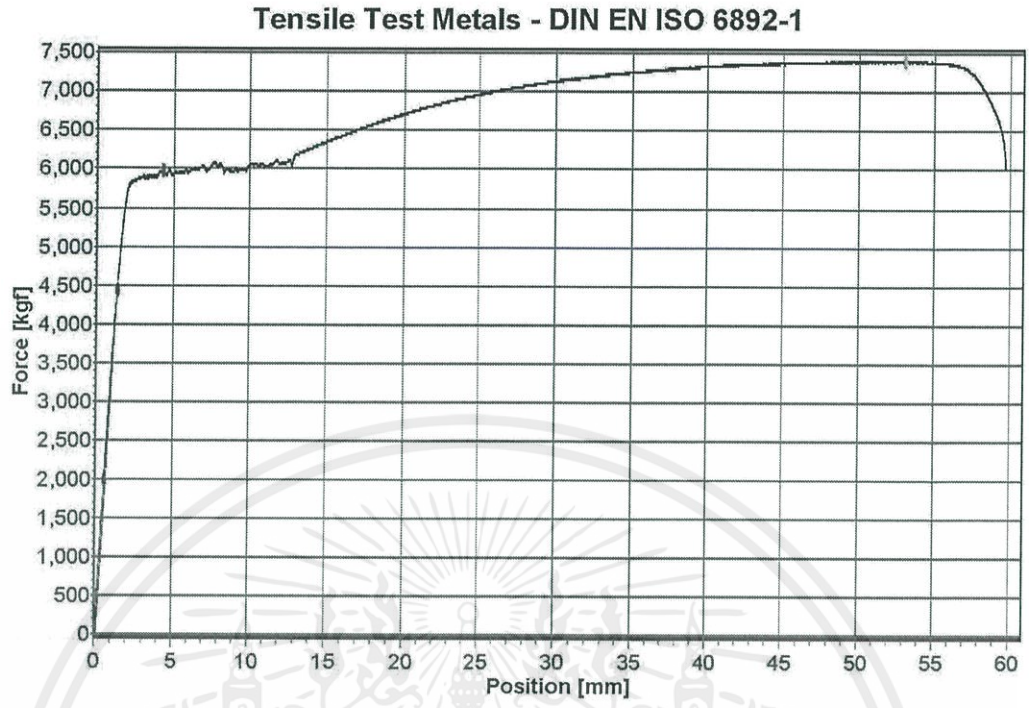


รูป ก.1 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1

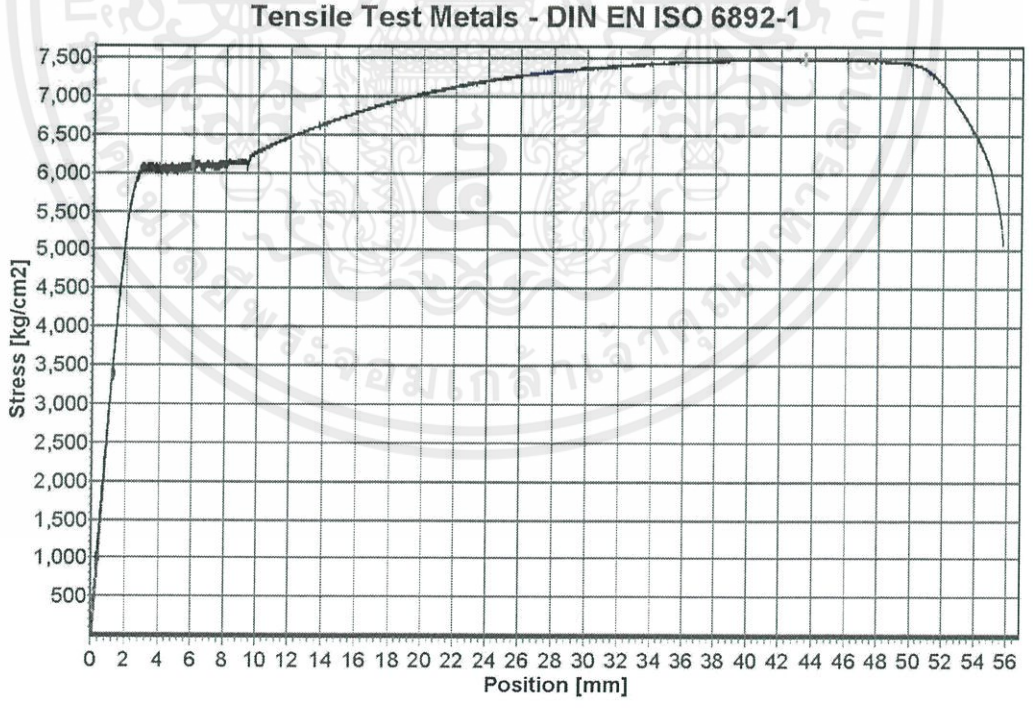


รูป ก.2 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

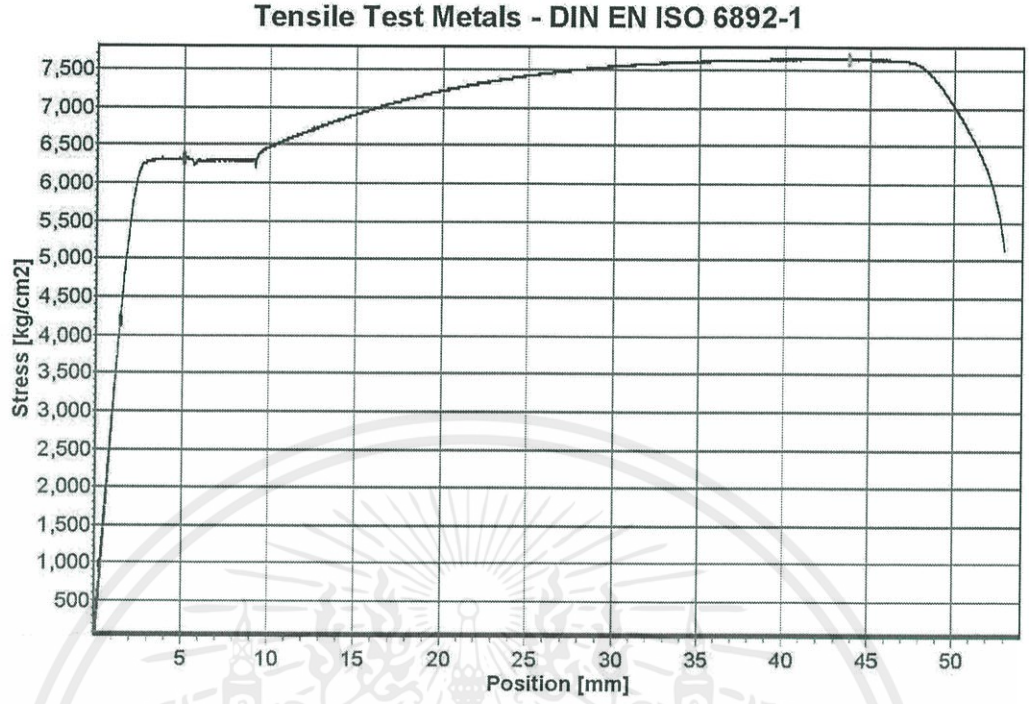


รูป ก.3 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3

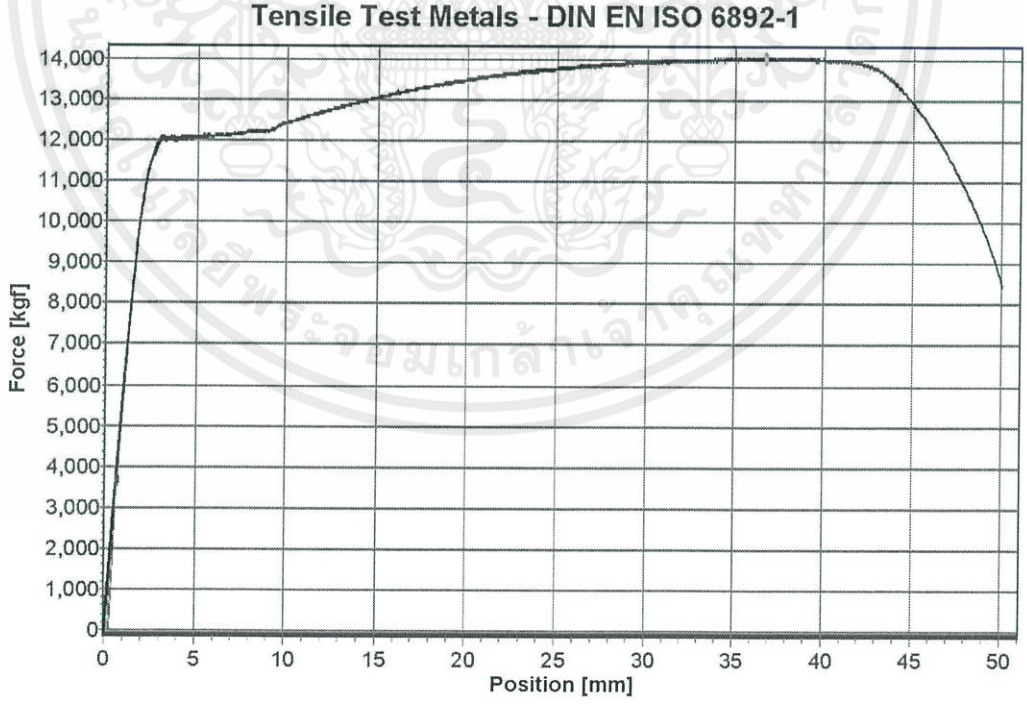


รูป ก.4 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

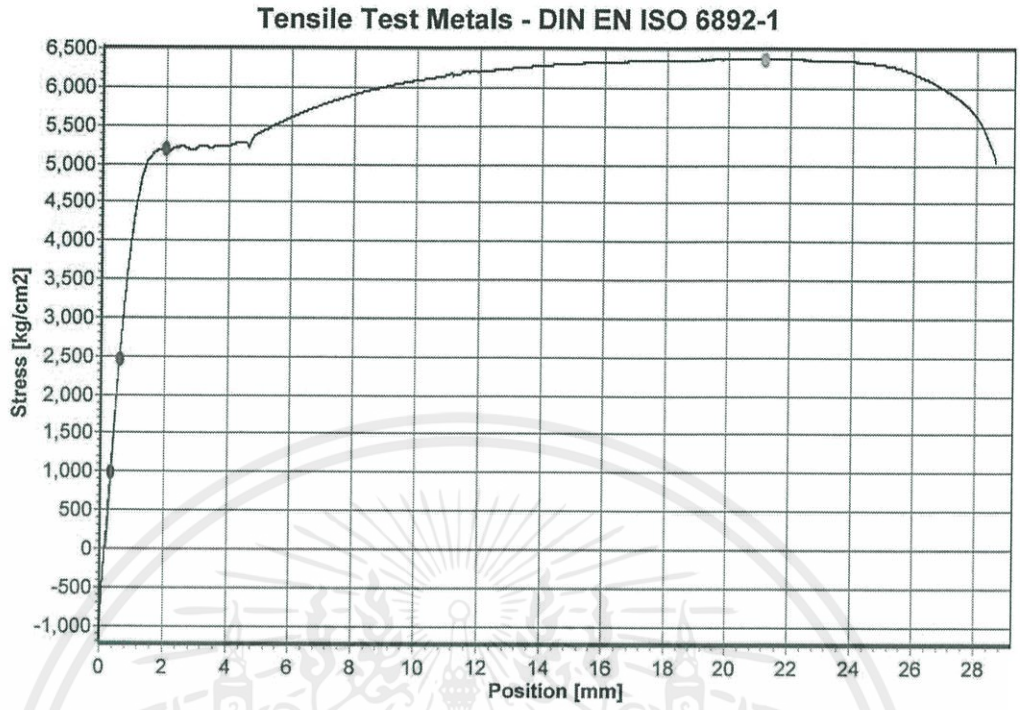


รูป ก.5 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2

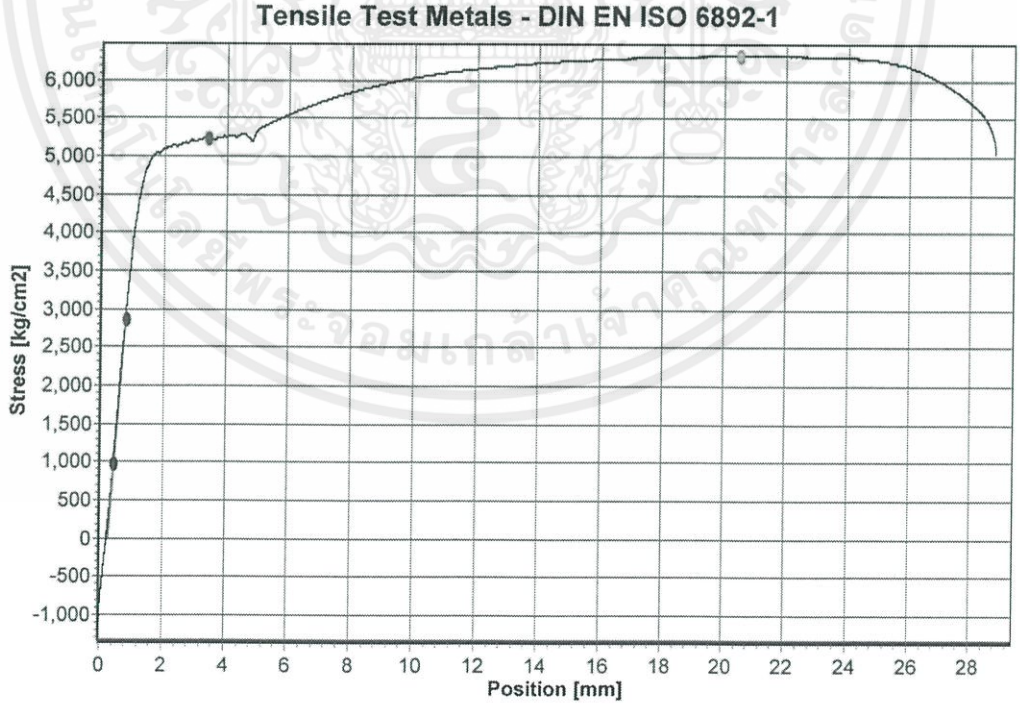


รูป ก.6 ผลของการดึงเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

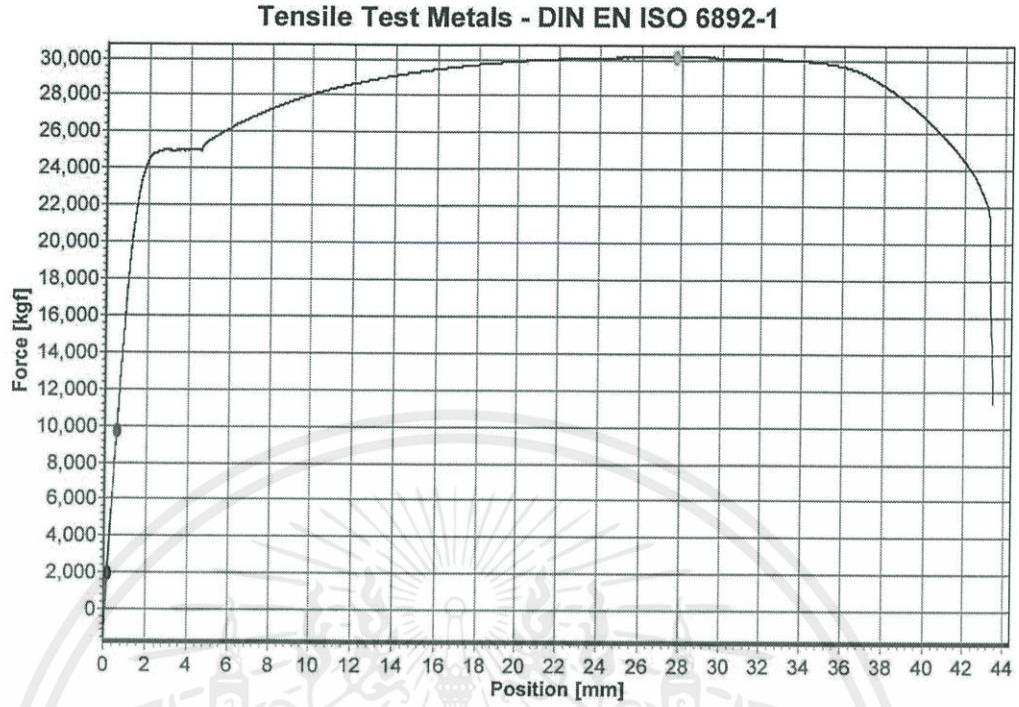


รูป ก.7 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1

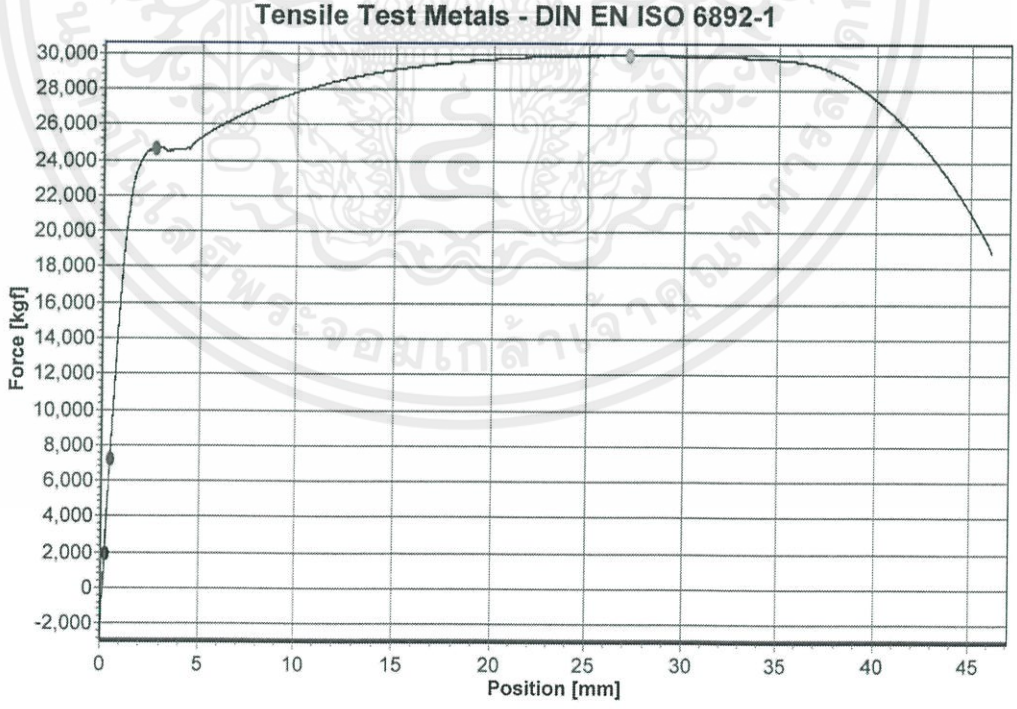


รูป ก.8 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

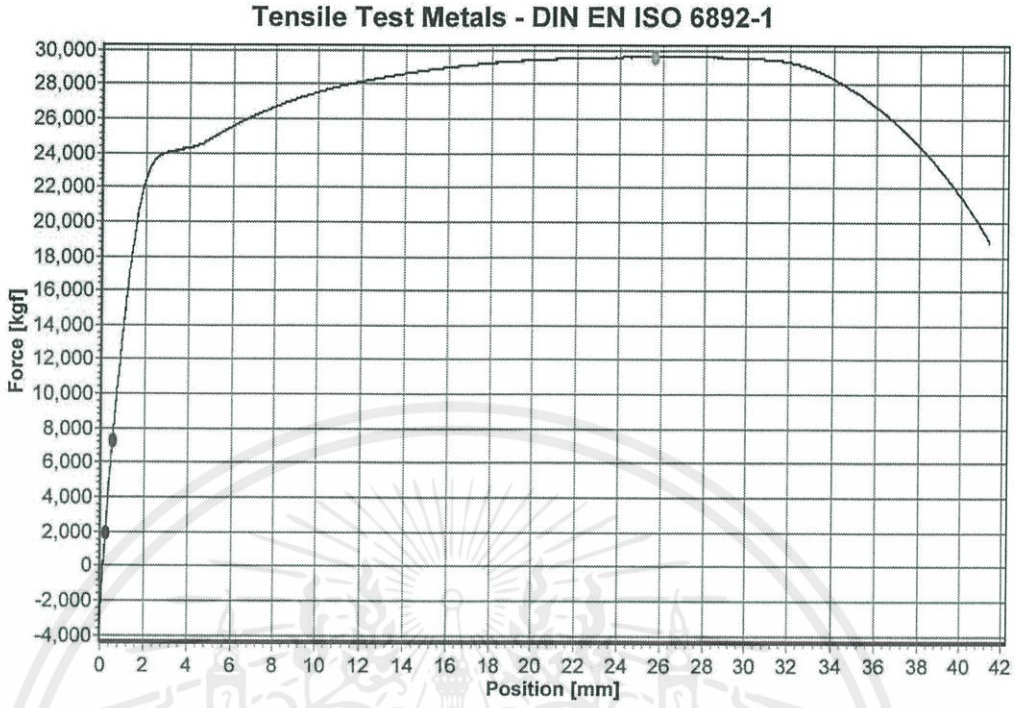


รูป ก.9 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1



รูป ก.10 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



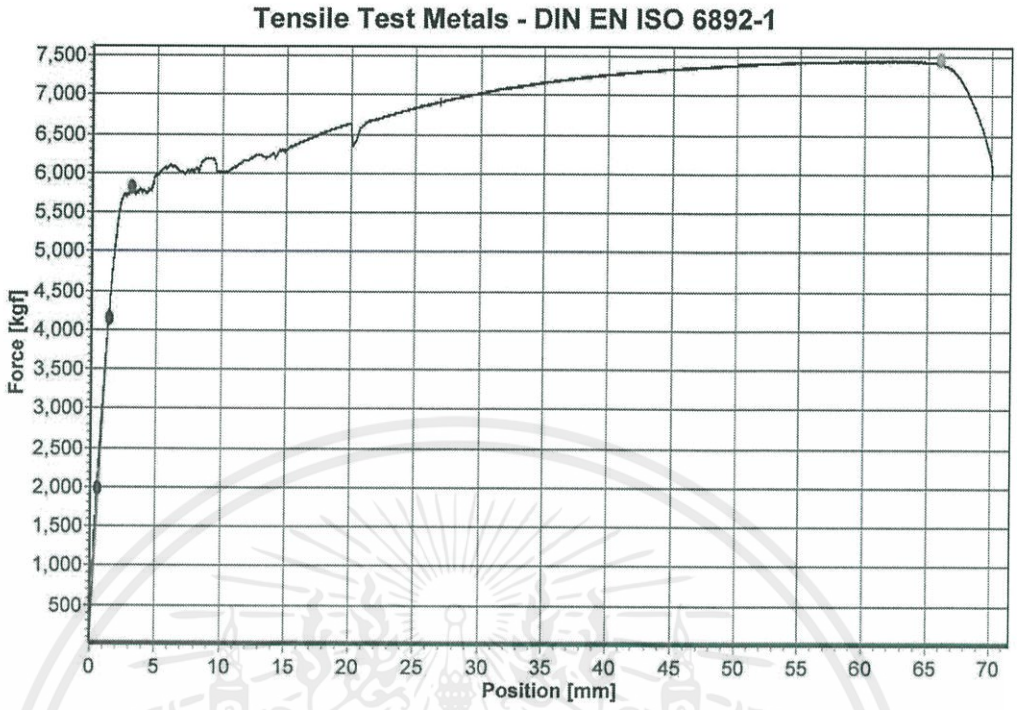
รูป ก.11 ผลของการดึงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

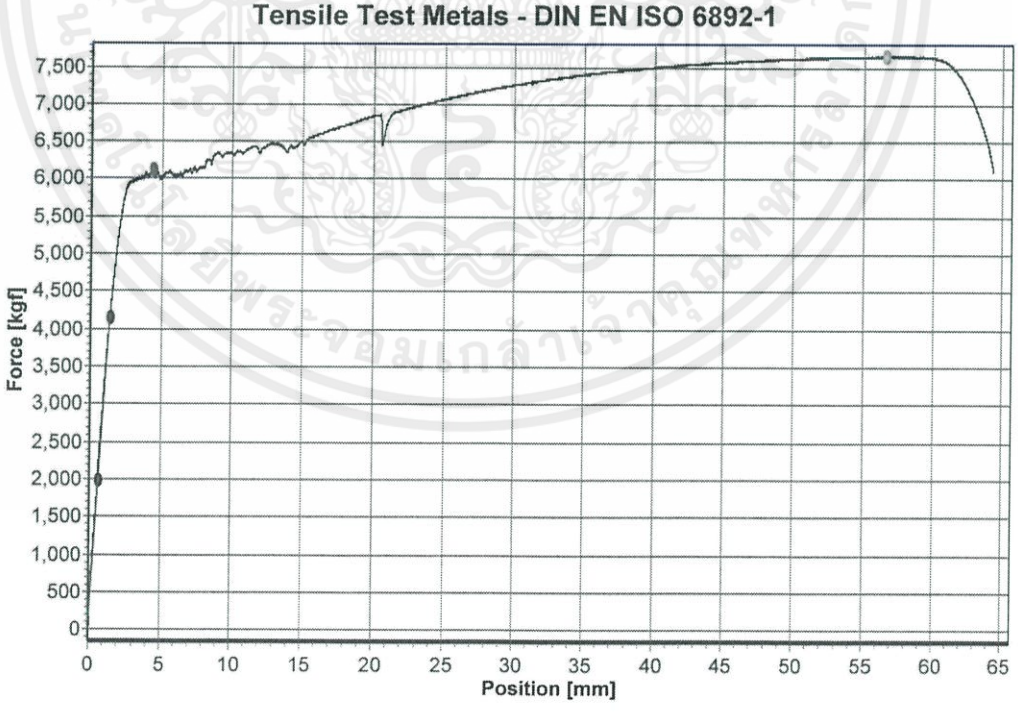
ภาคผนวก ข

กราฟดึงสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

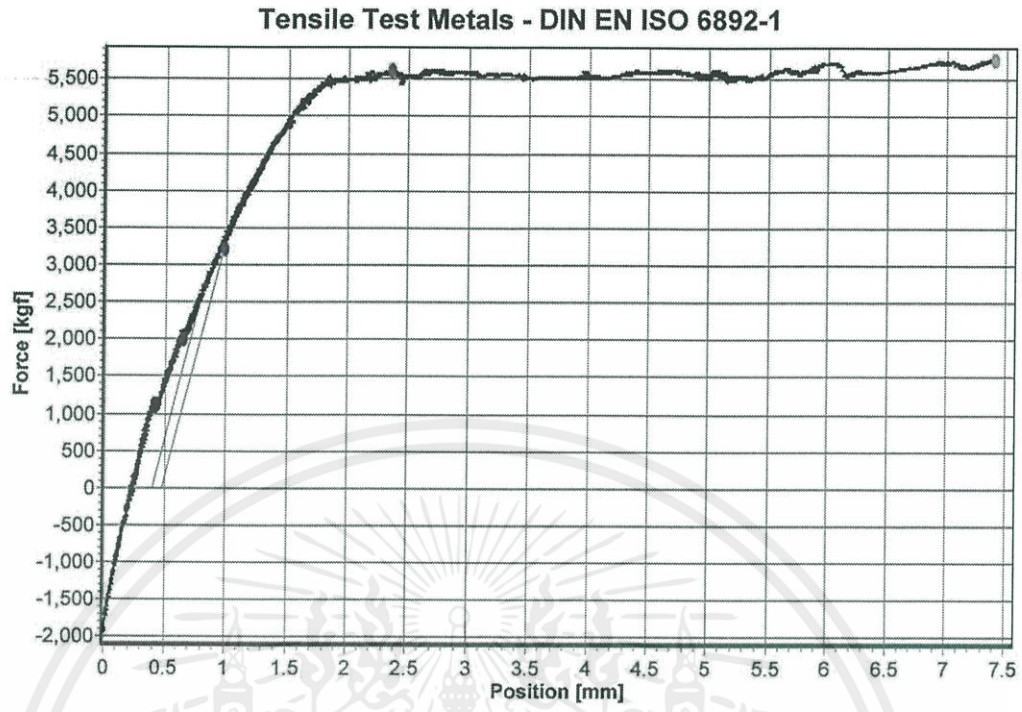


รูป ข.1 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่1

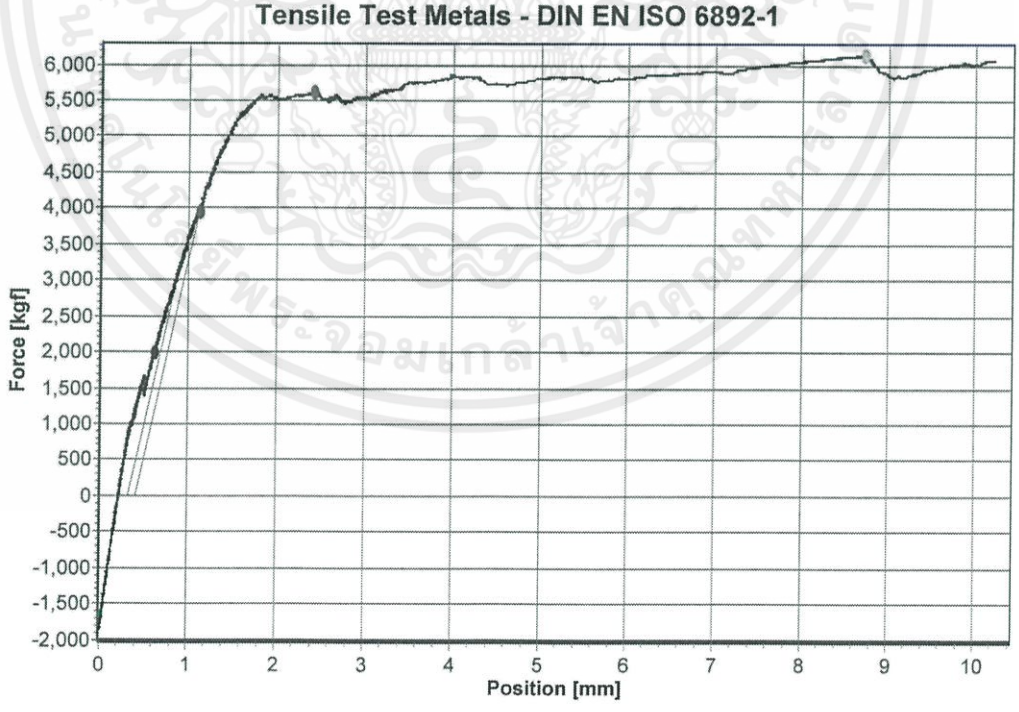


รูป ข.2 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

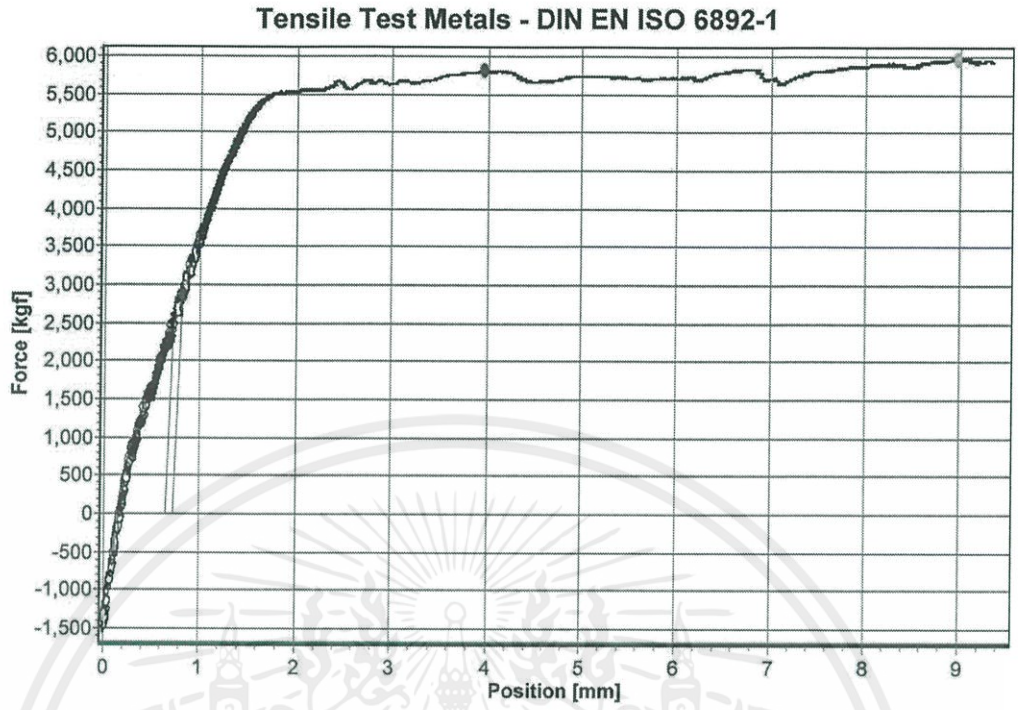


รูป ข.3 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่3

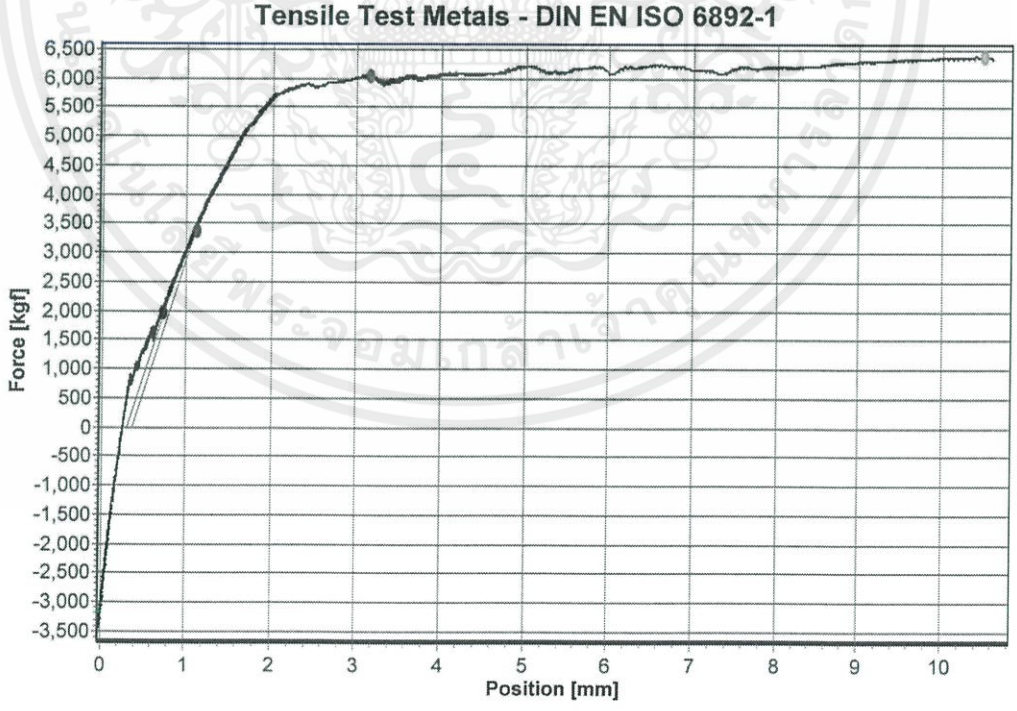


รูป ข.4 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

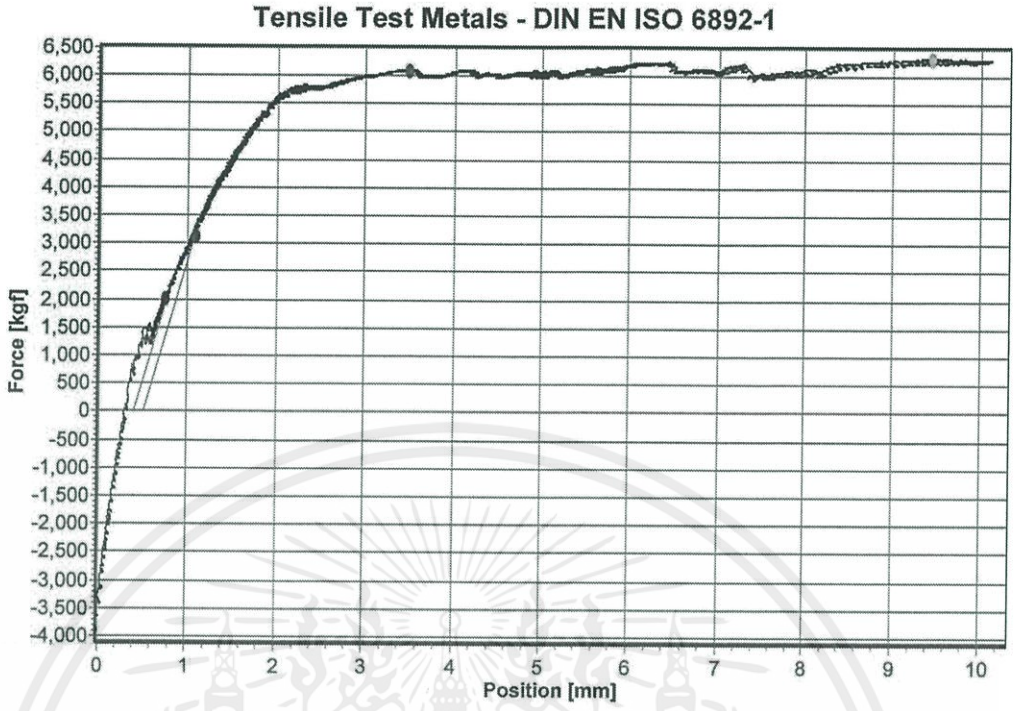


รูป ข.5 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่5

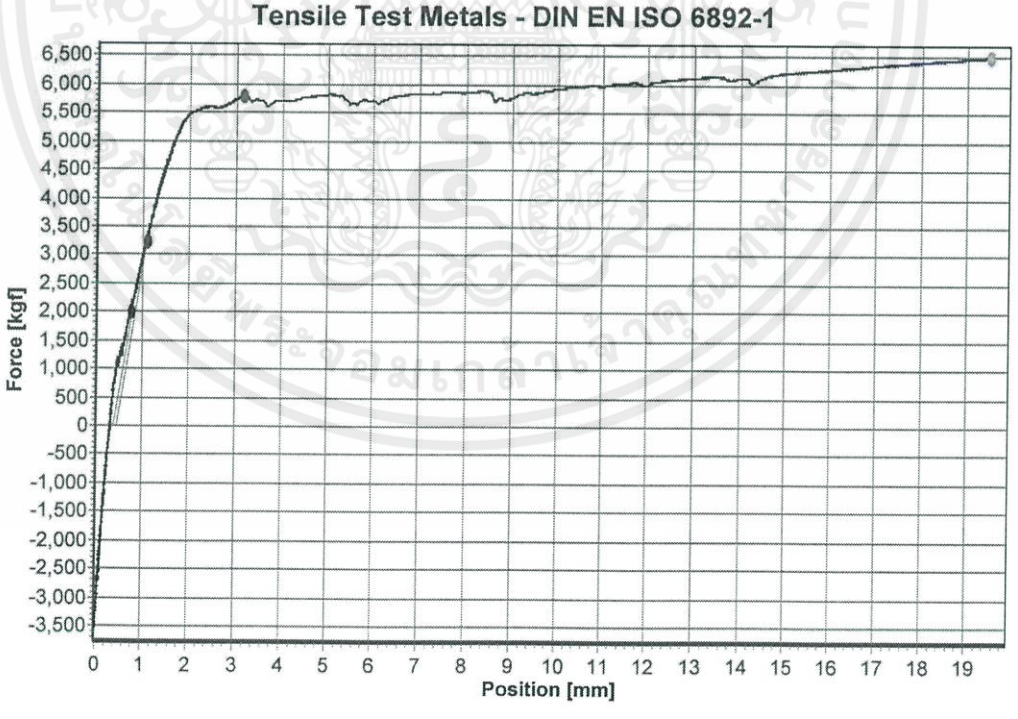


รูป ข.6 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

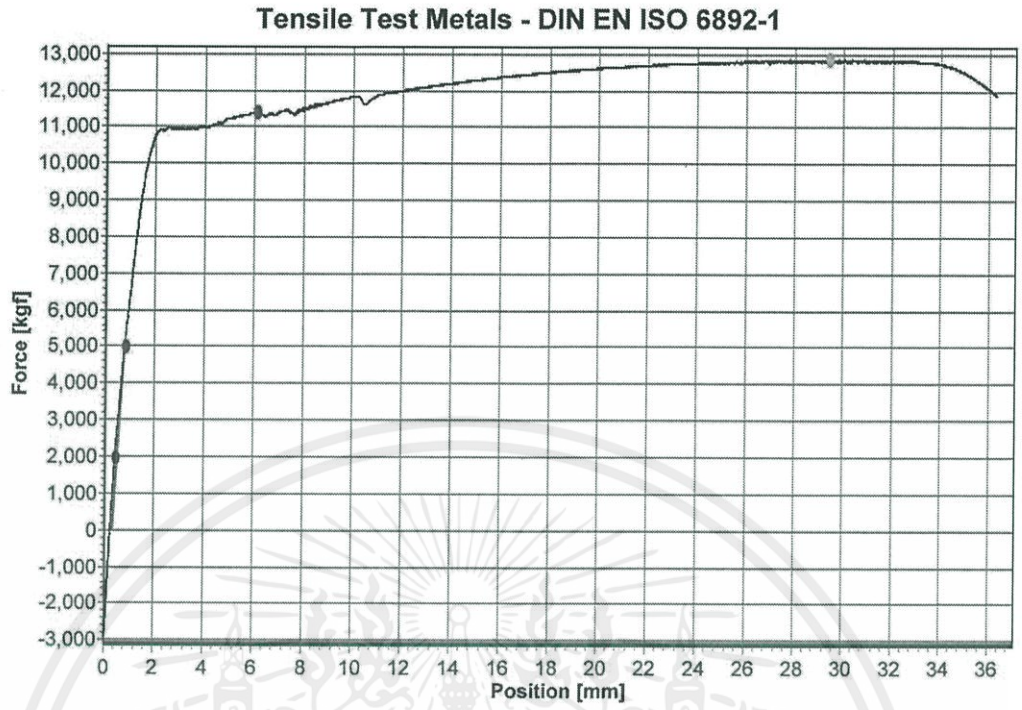


รูป ข.7 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่8

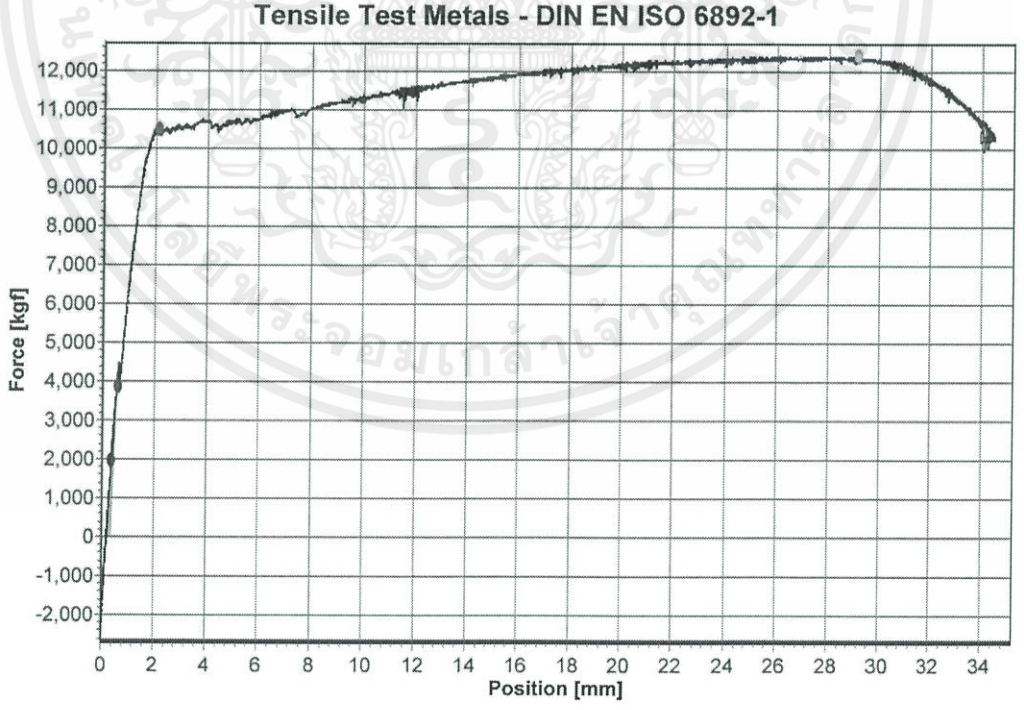


รูป ข.8 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง12มิลลิเมตรตัวอย่างที่9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

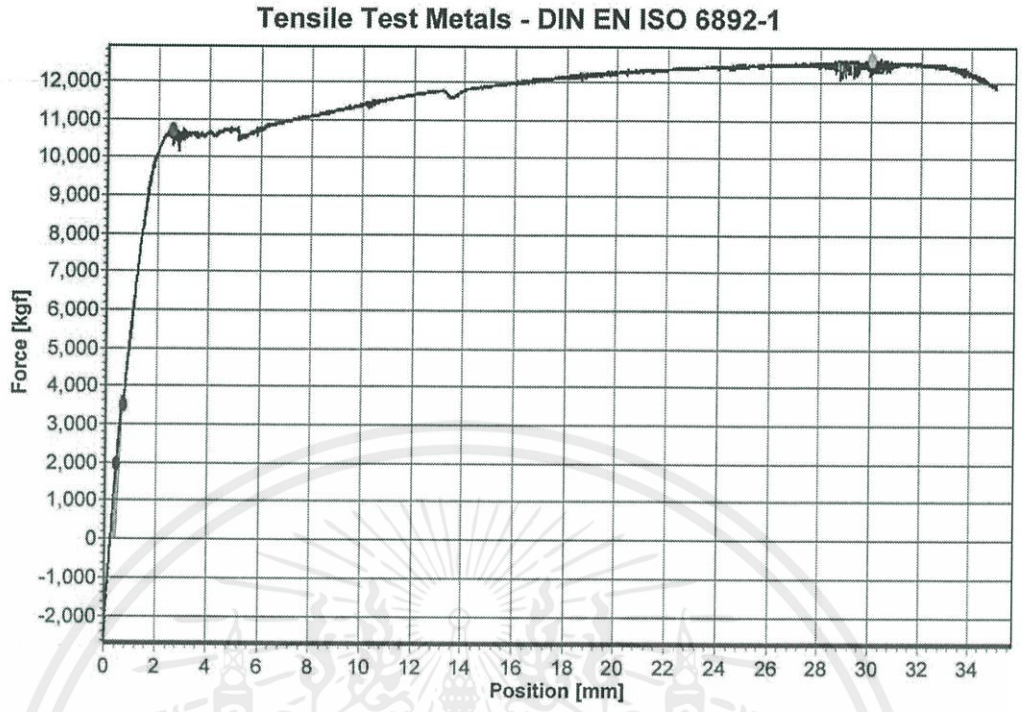


รูป ข.9 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่1

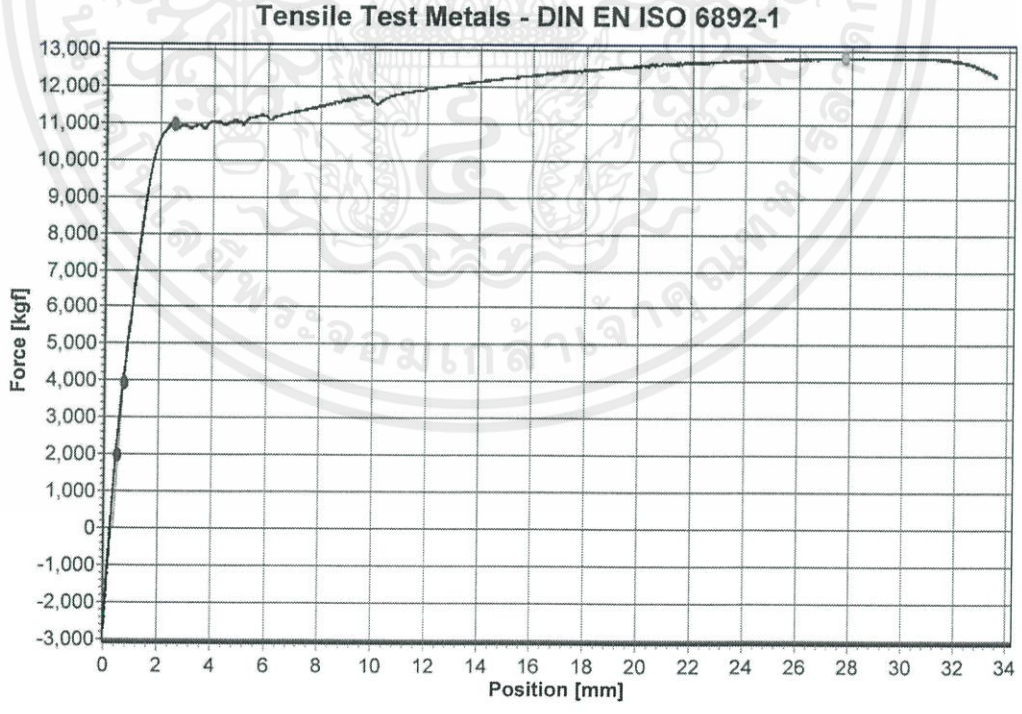


รูป ข.10 ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

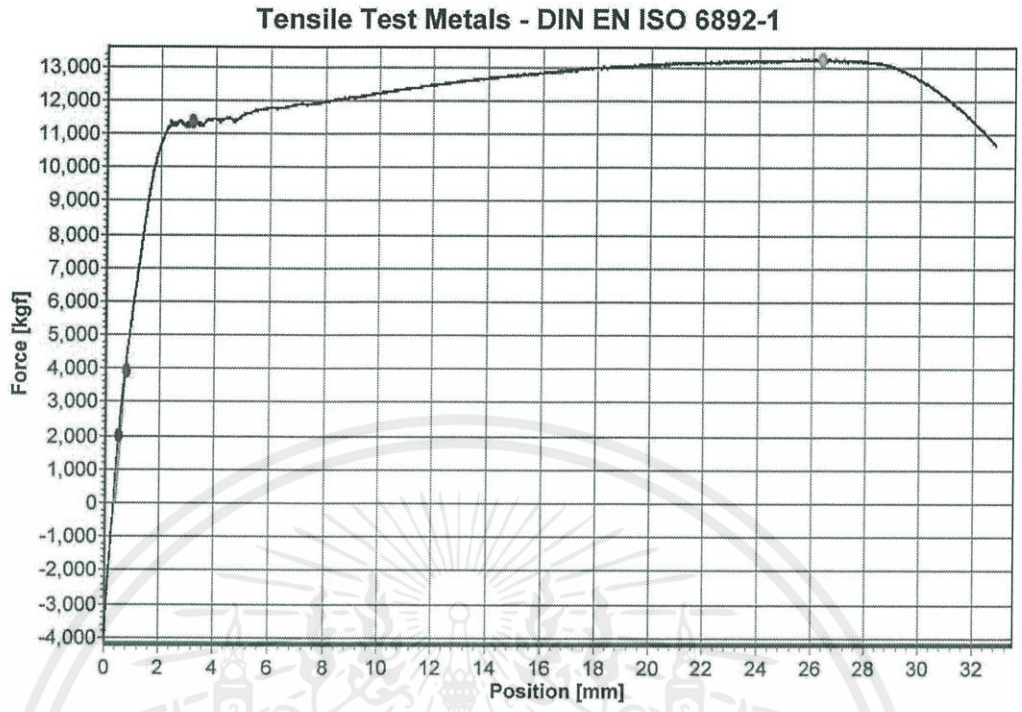


รูป ข.11ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่3

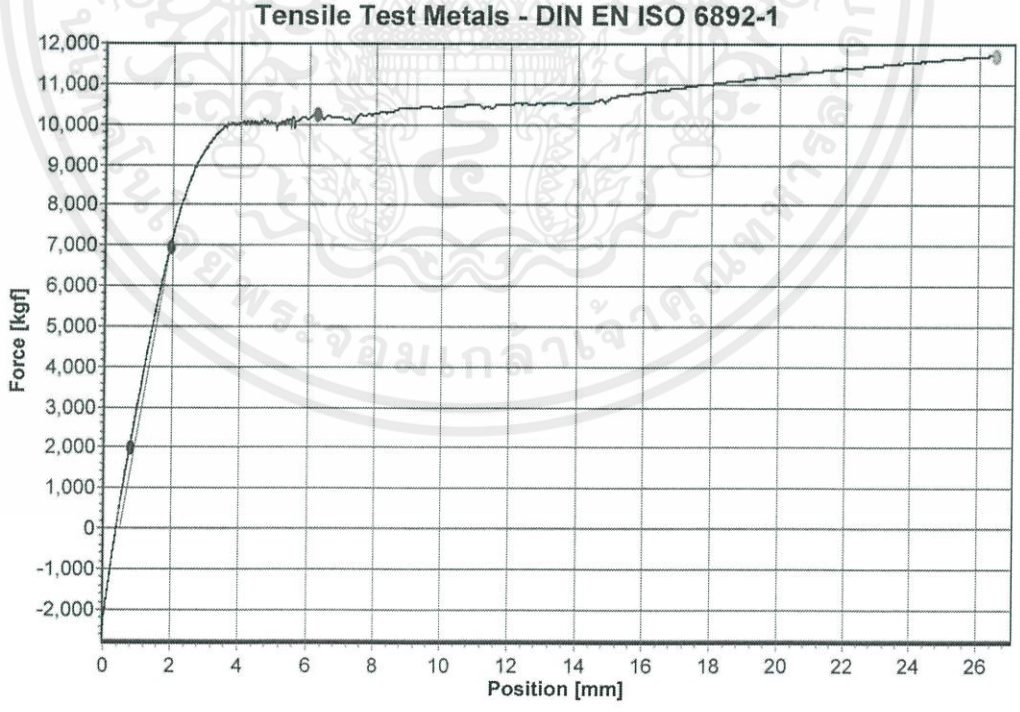


รูป ข.12ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

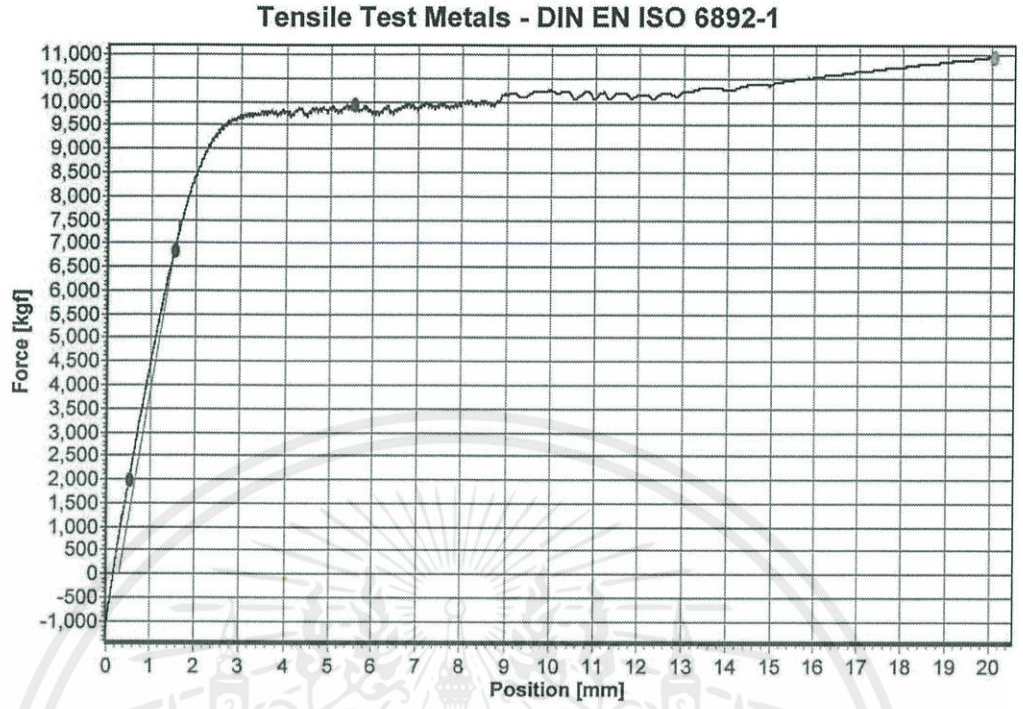


รูป ข.13ผลการดึงสองทิศทางเหล็กสนิมเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่5

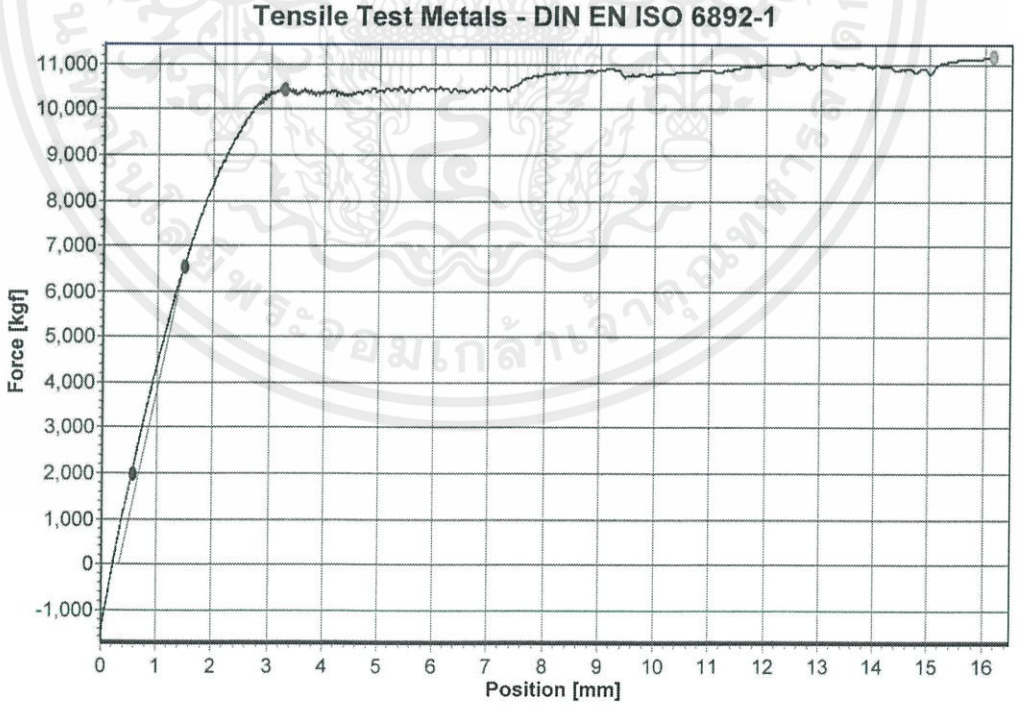


รูป ข.14ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

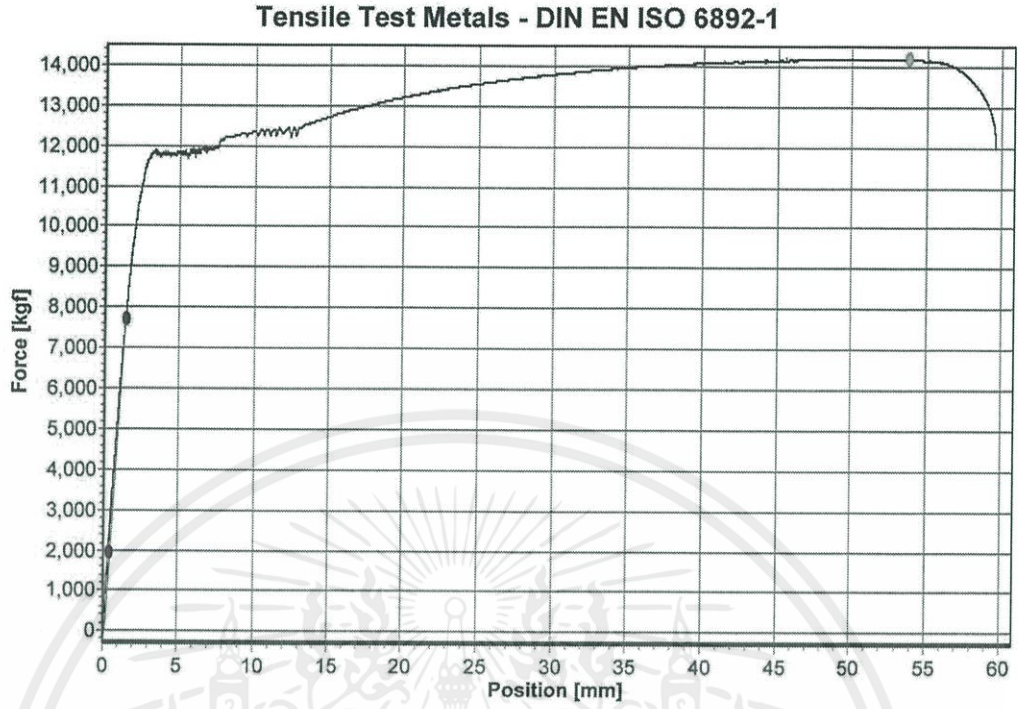


รูป ข.15ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่2

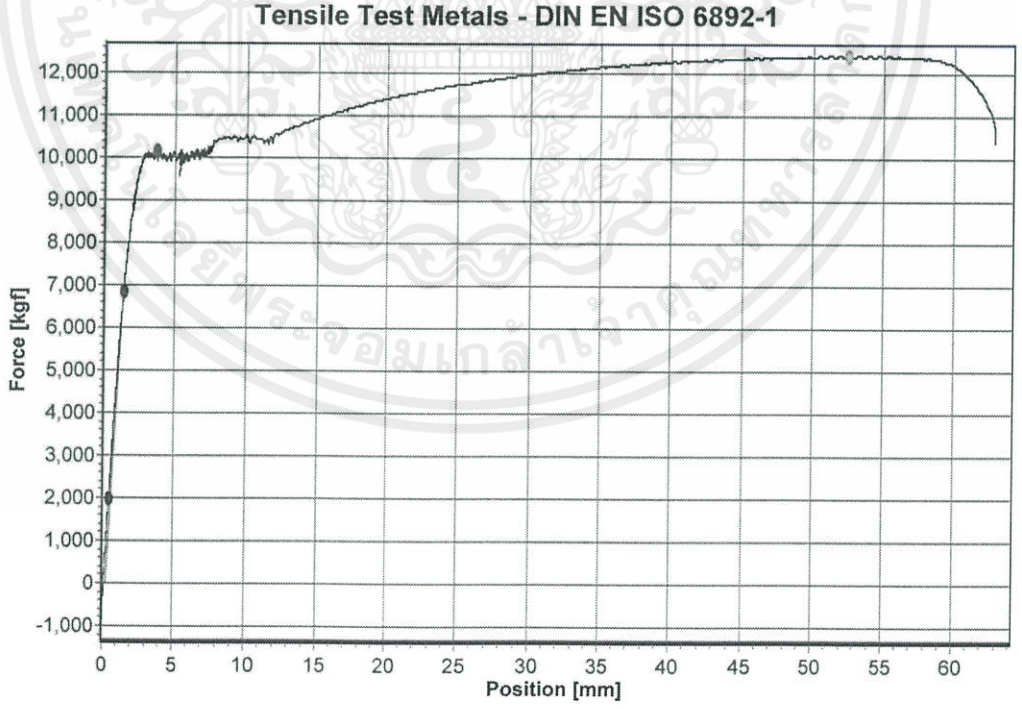


รูป ข.16ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

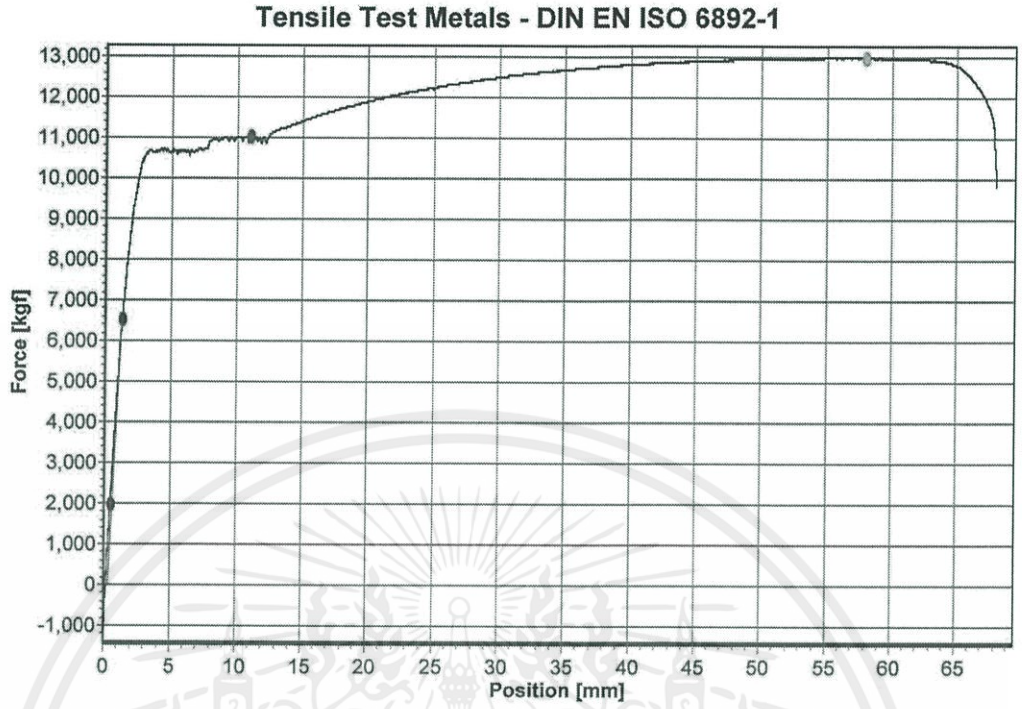


รูป ข.17ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่4

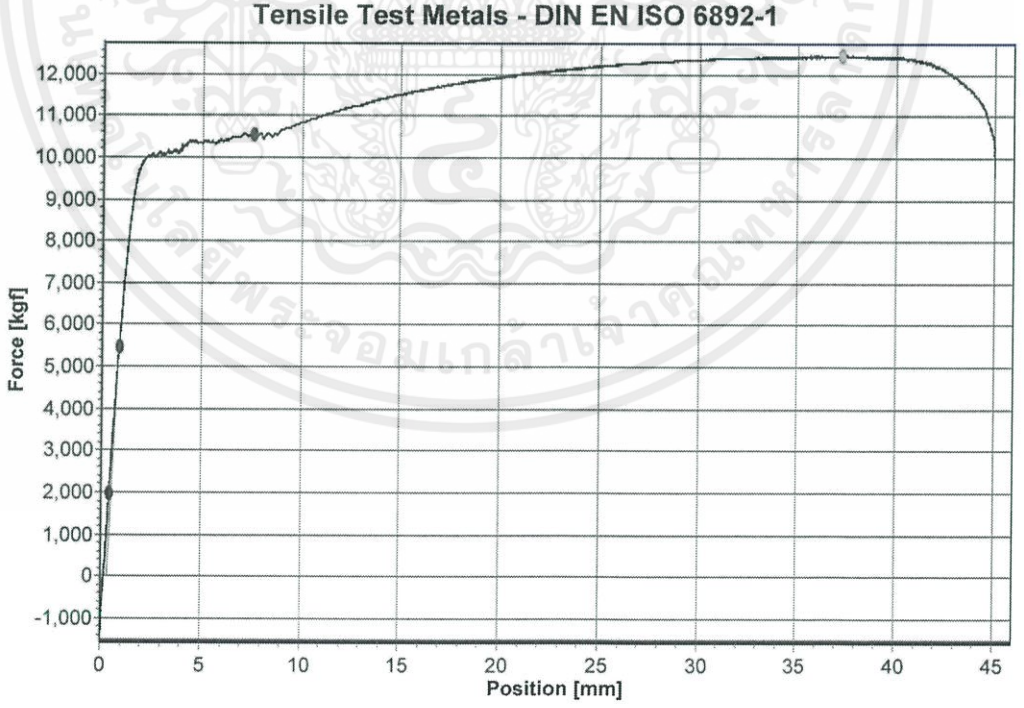


รูป ข.18ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

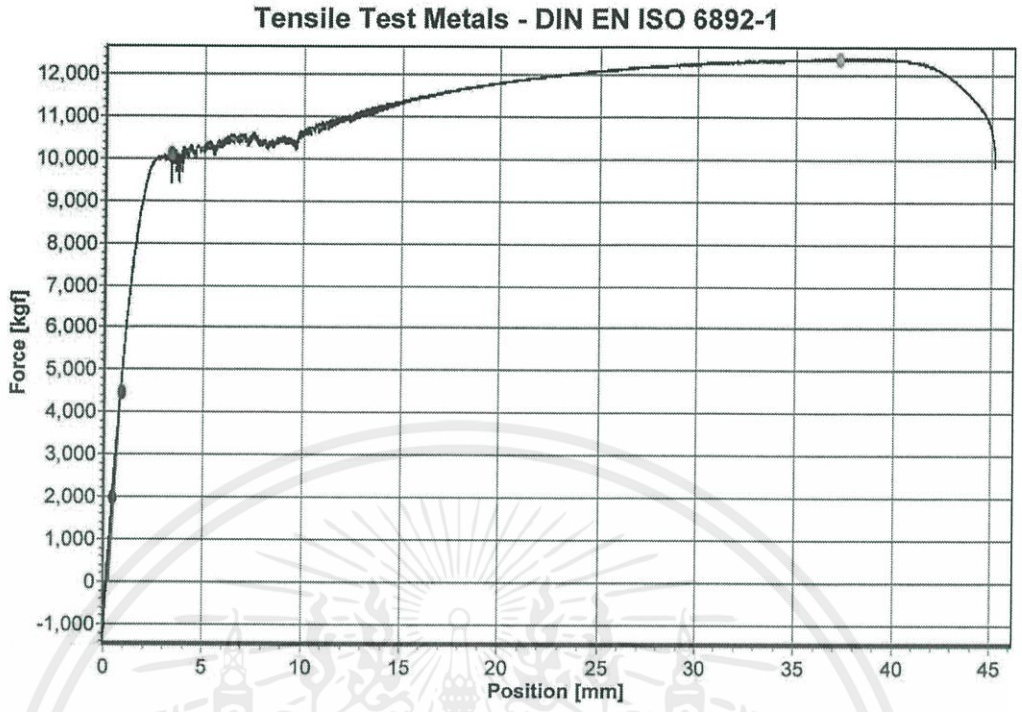


รูป ข.19ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่6

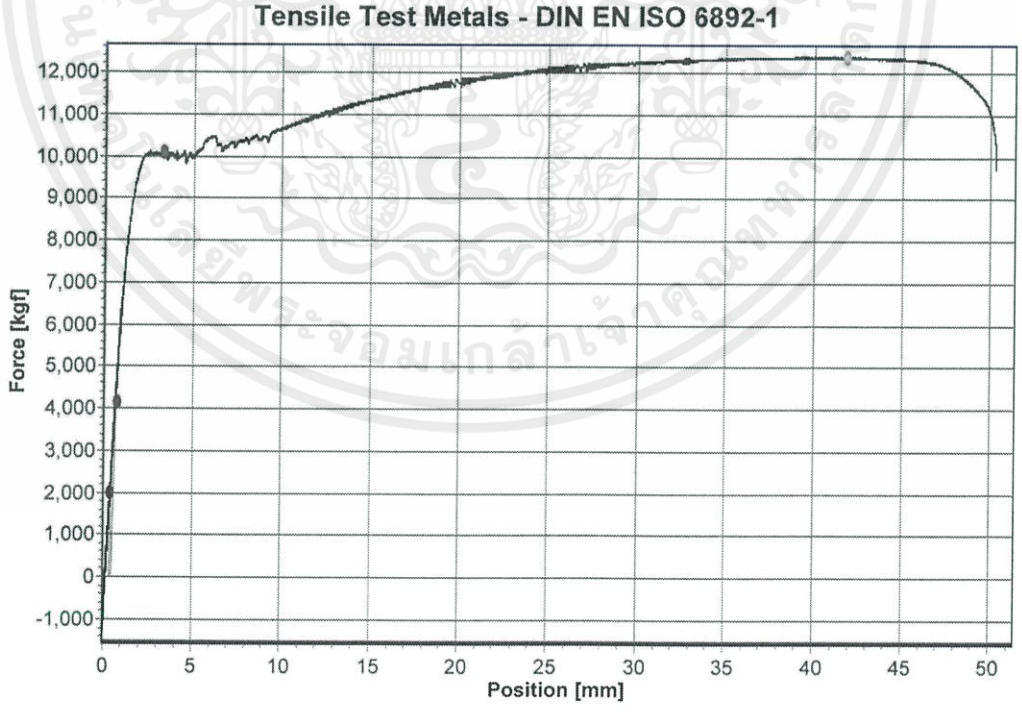


รูป ข.20ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

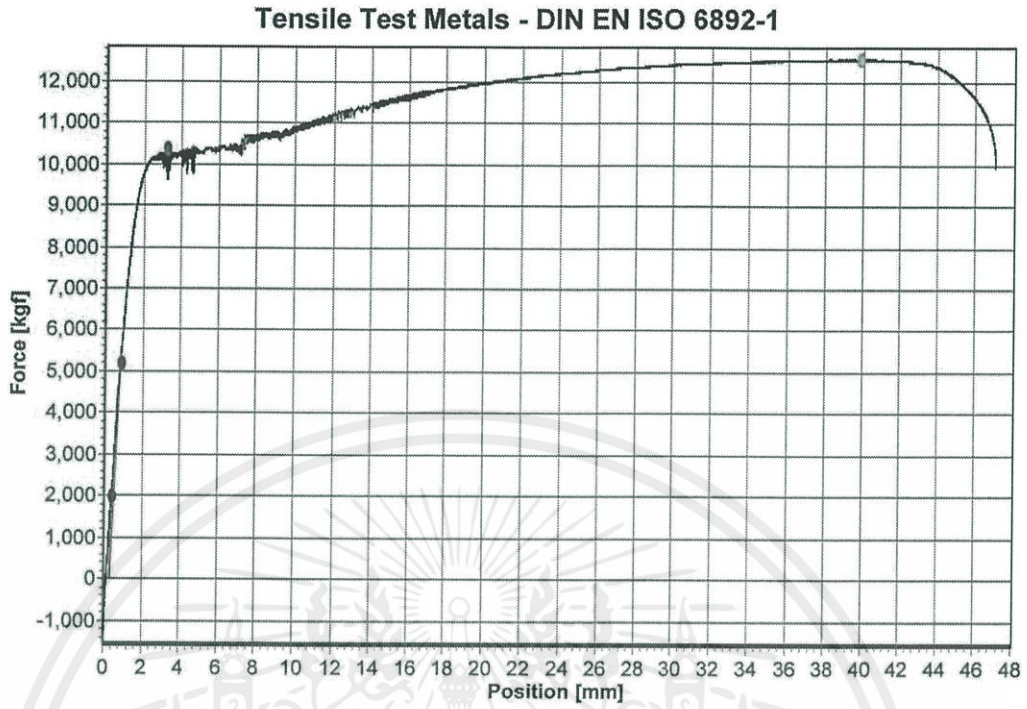


รูป ข.21ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่8

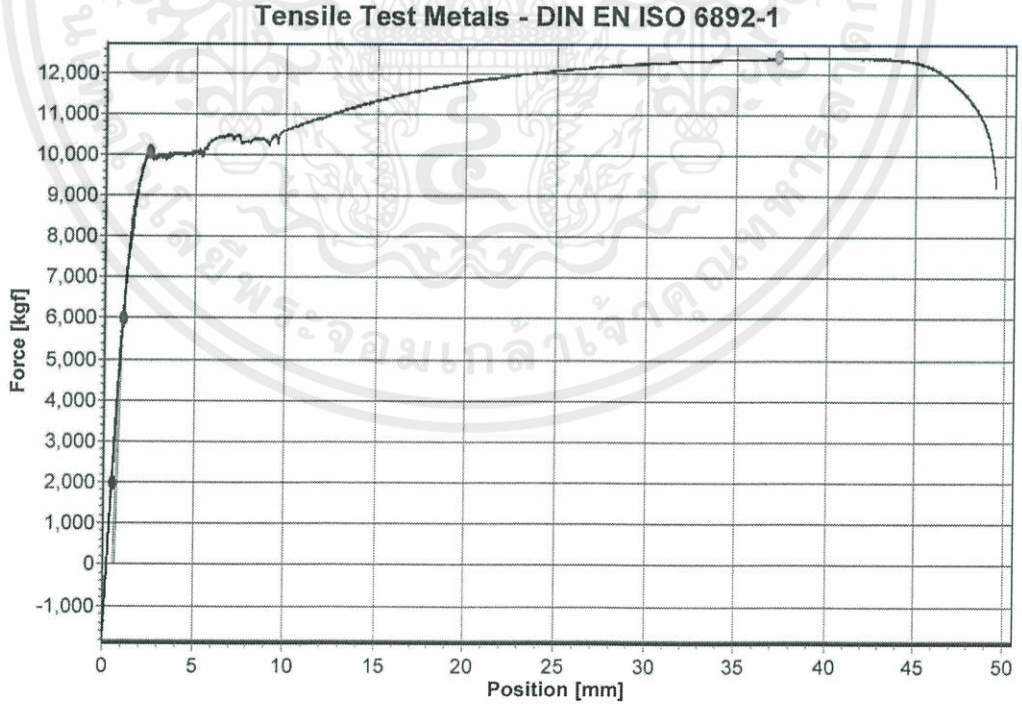


รูป ข.22ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

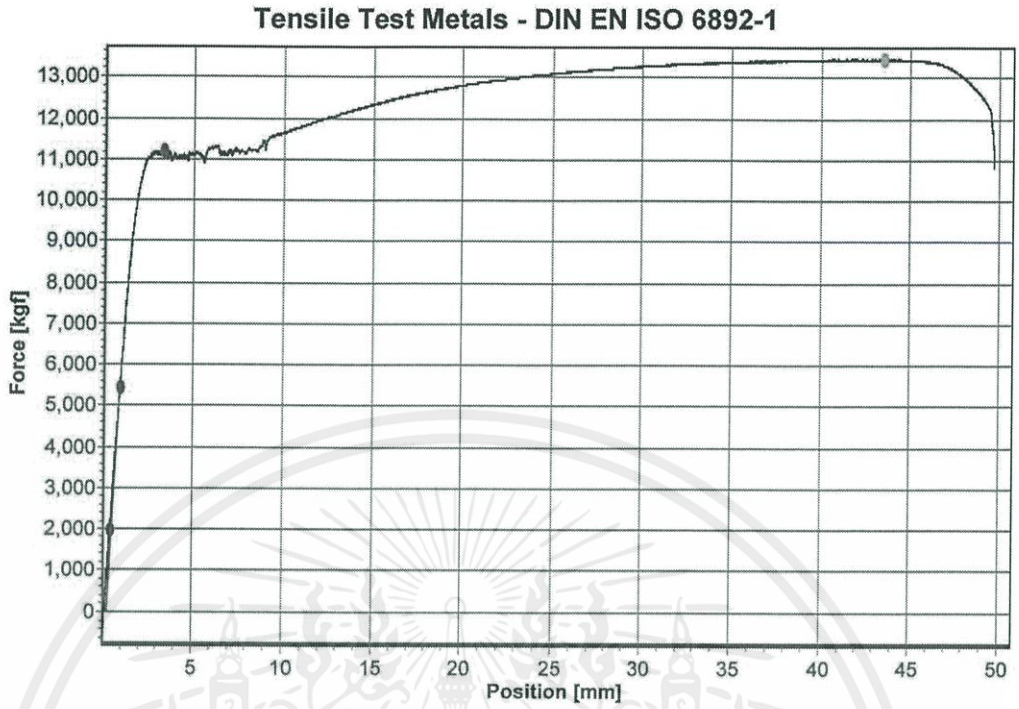


รูป ข.23ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่10

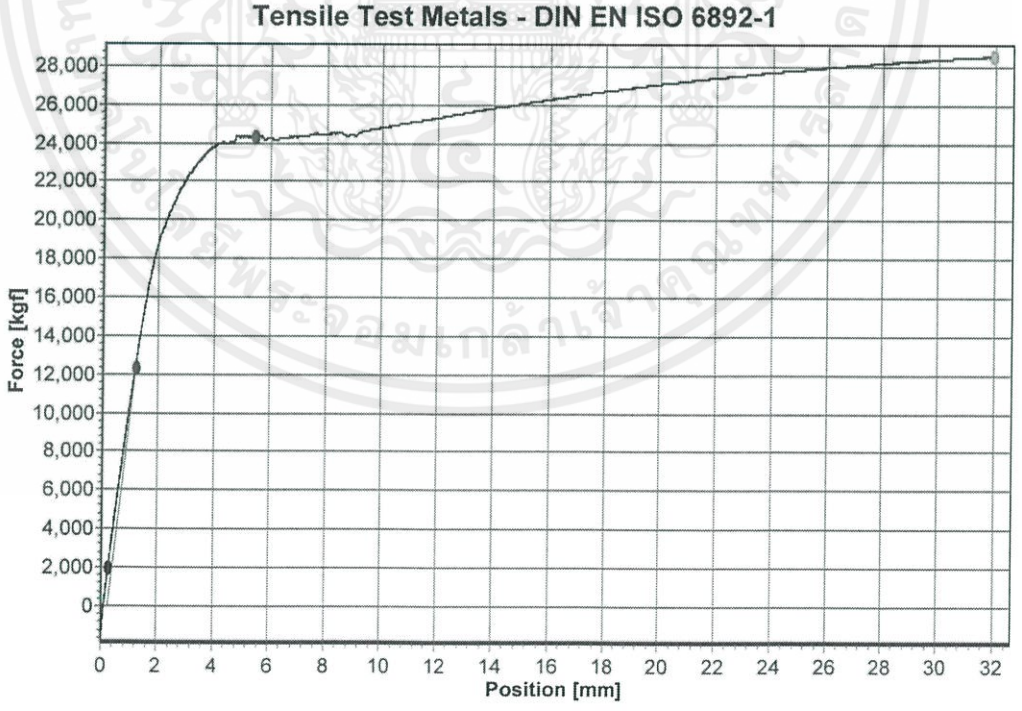


รูป ข.24ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

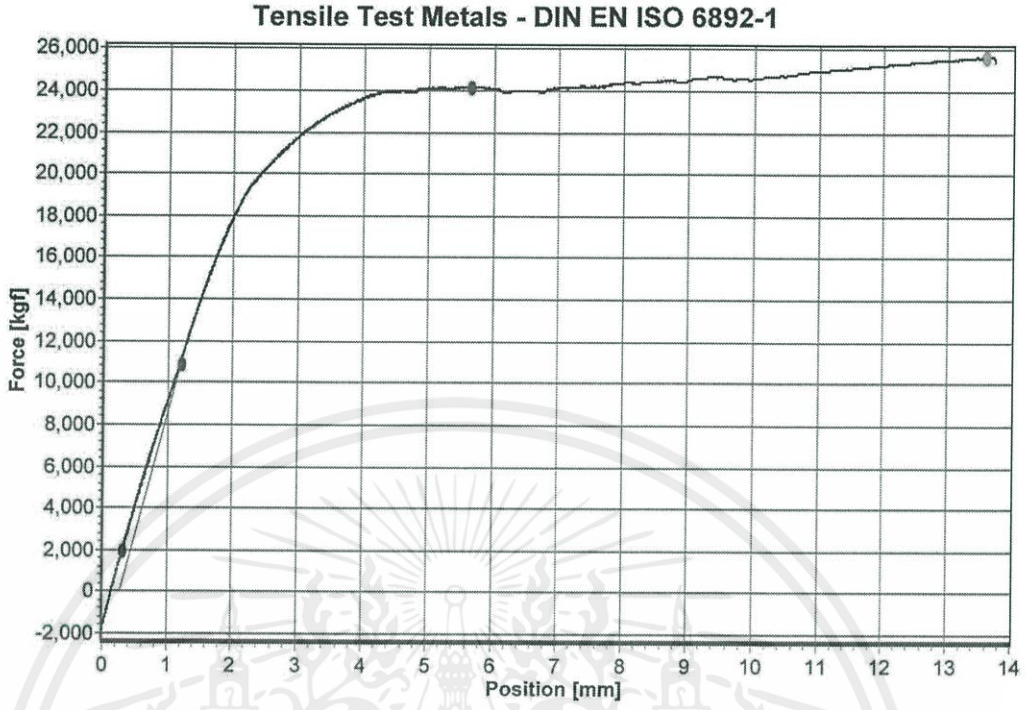


รูป ข.25ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่12

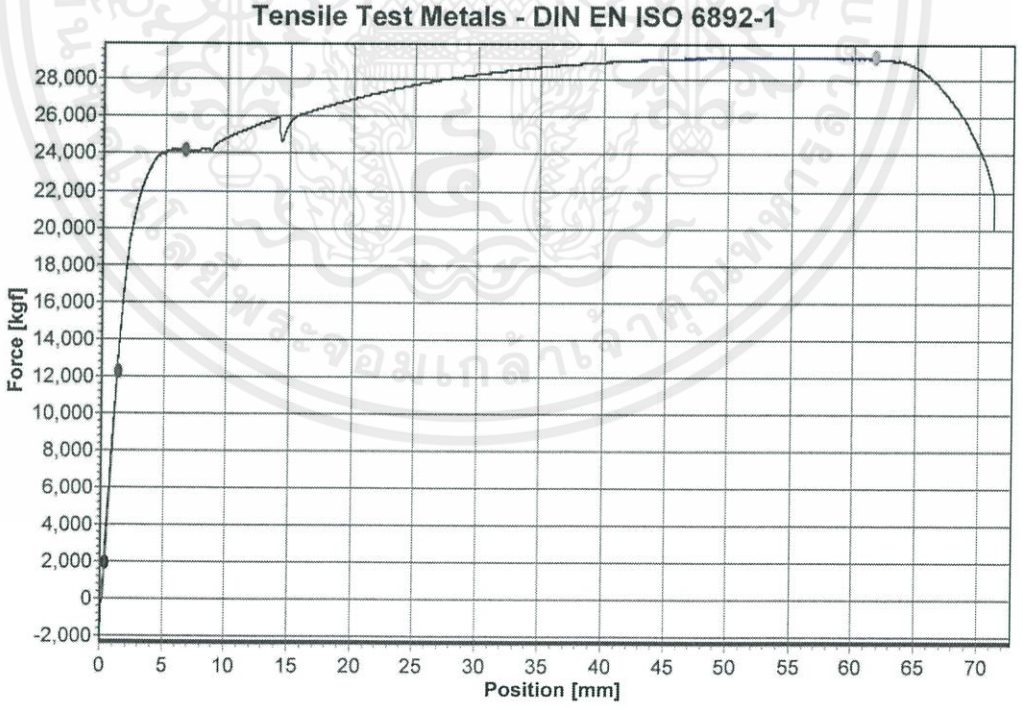


รูป ข.26ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

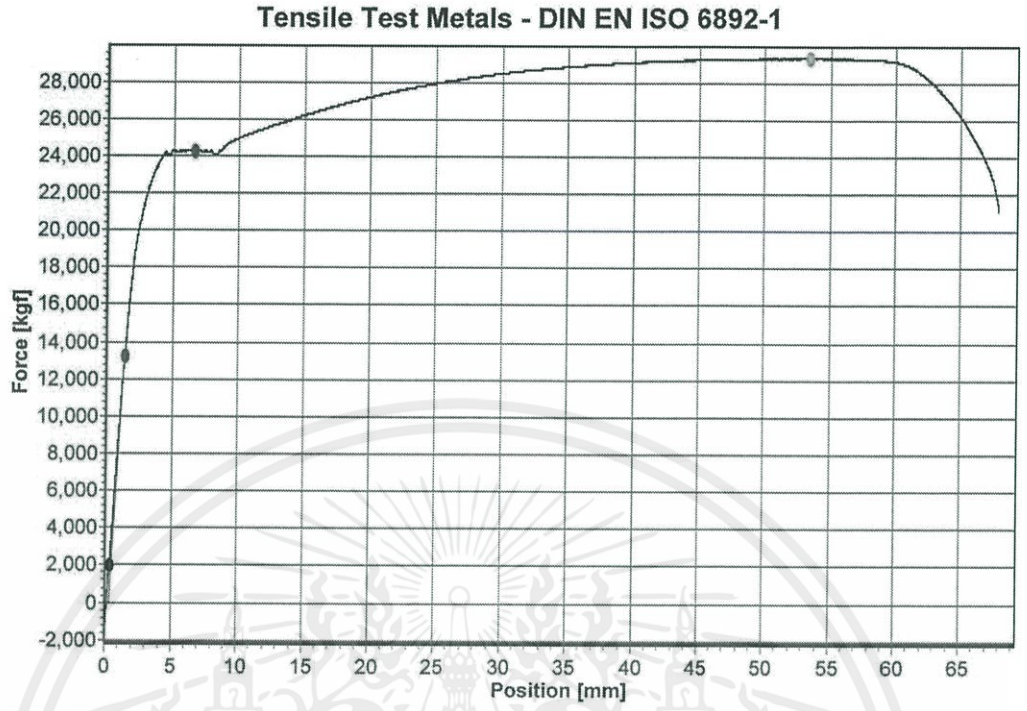


รูป ข.27ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่2

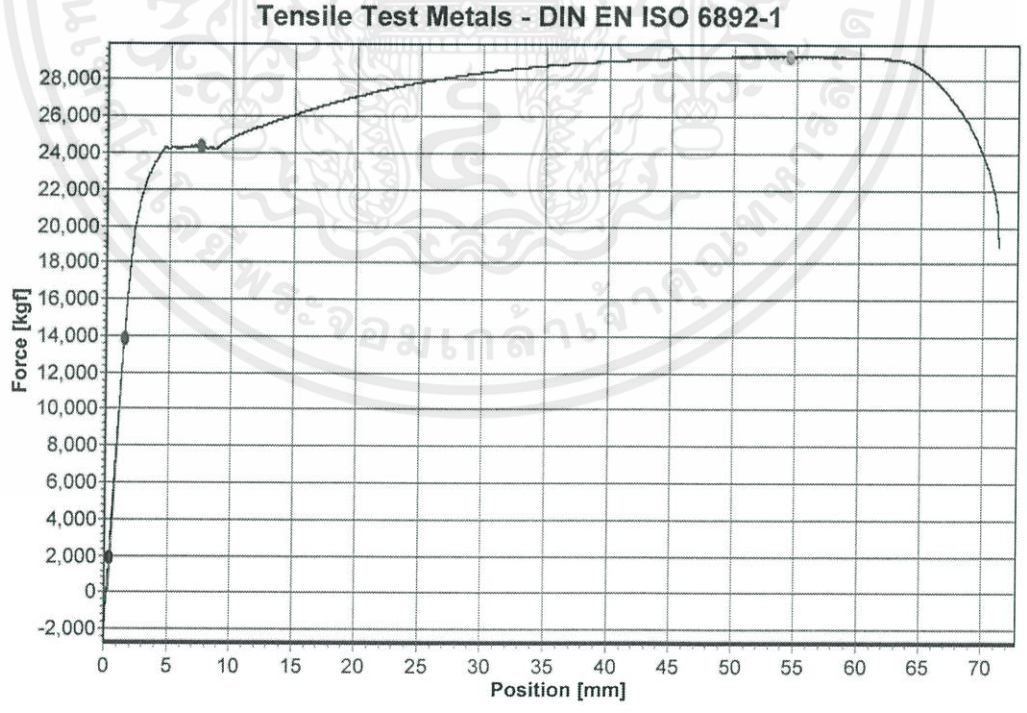


รูป ข.28ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

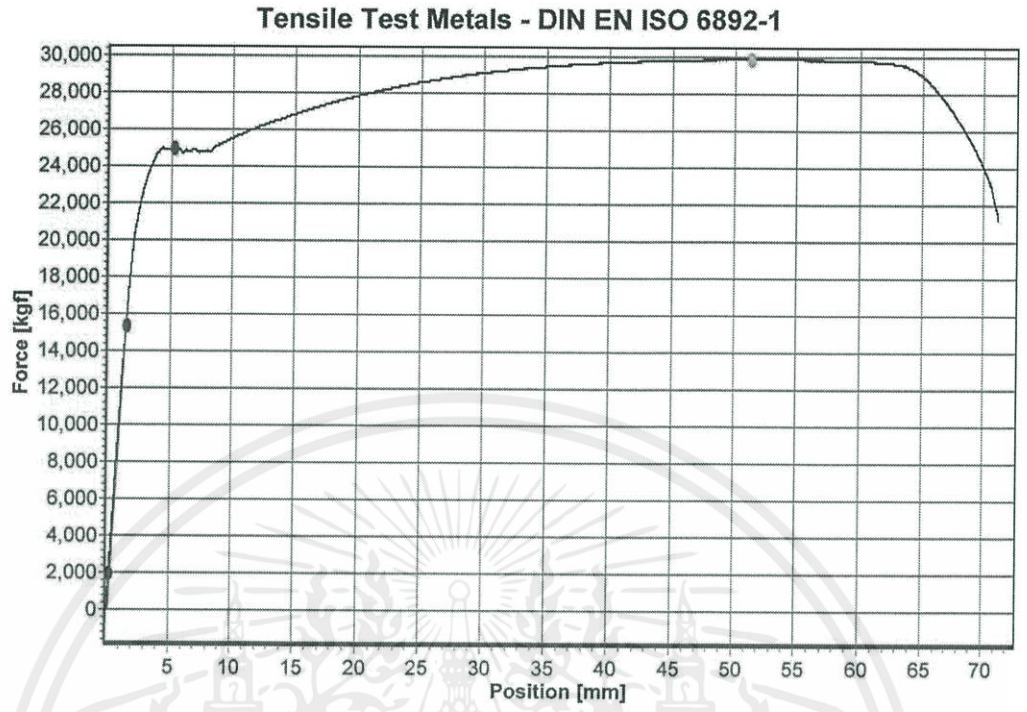


รูป ข.29ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่4

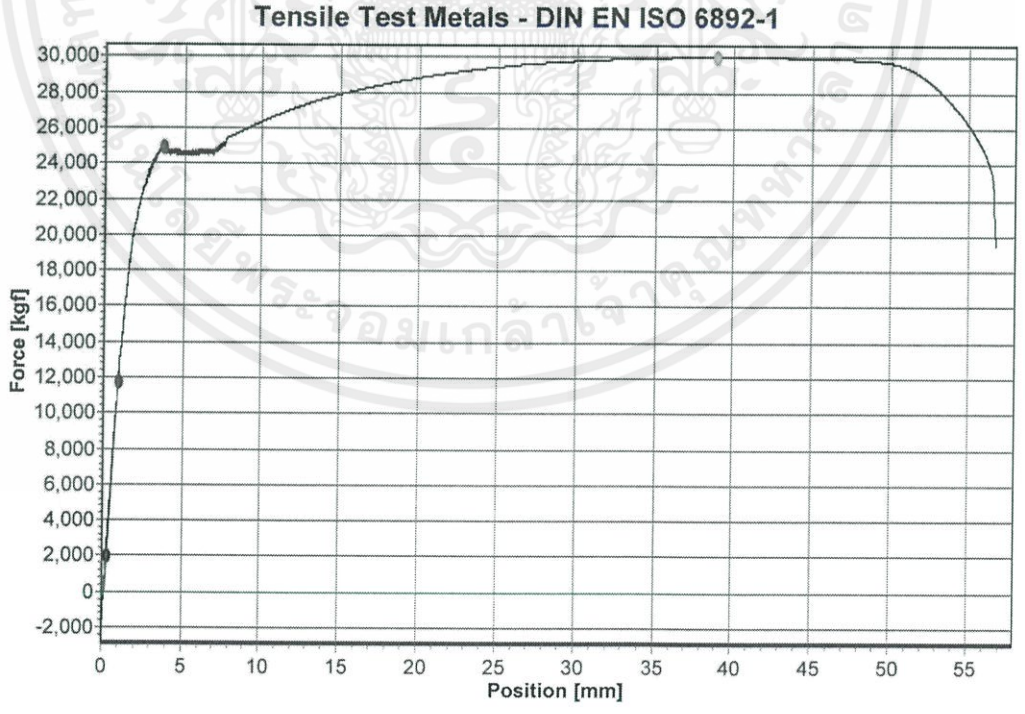


รูป ข.30ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

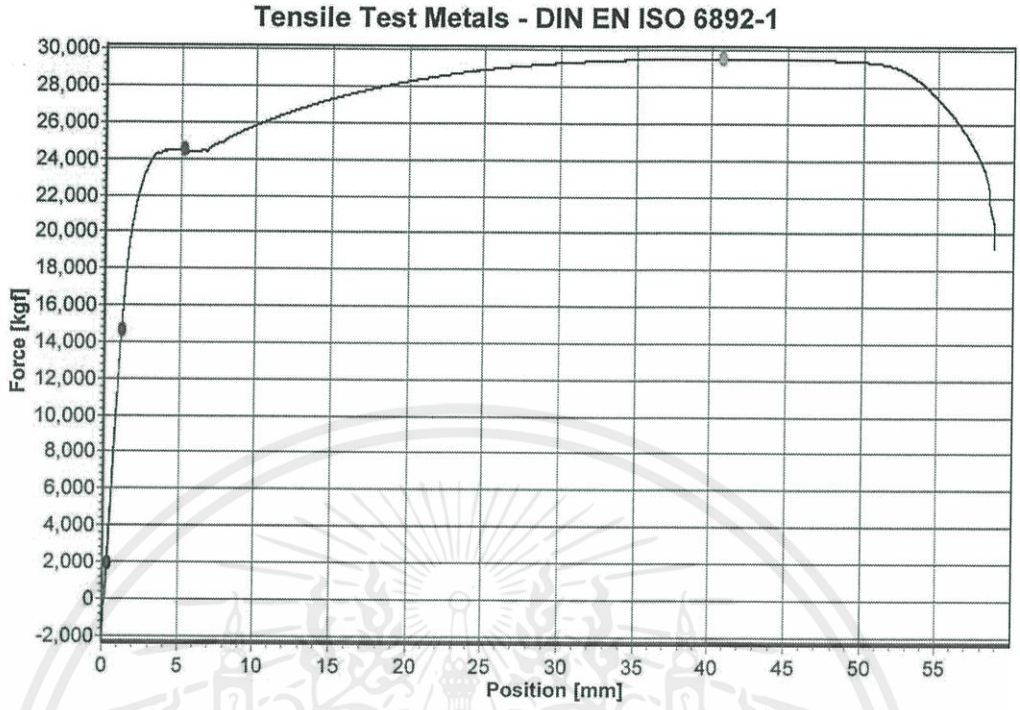


รูป ข.31ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่6

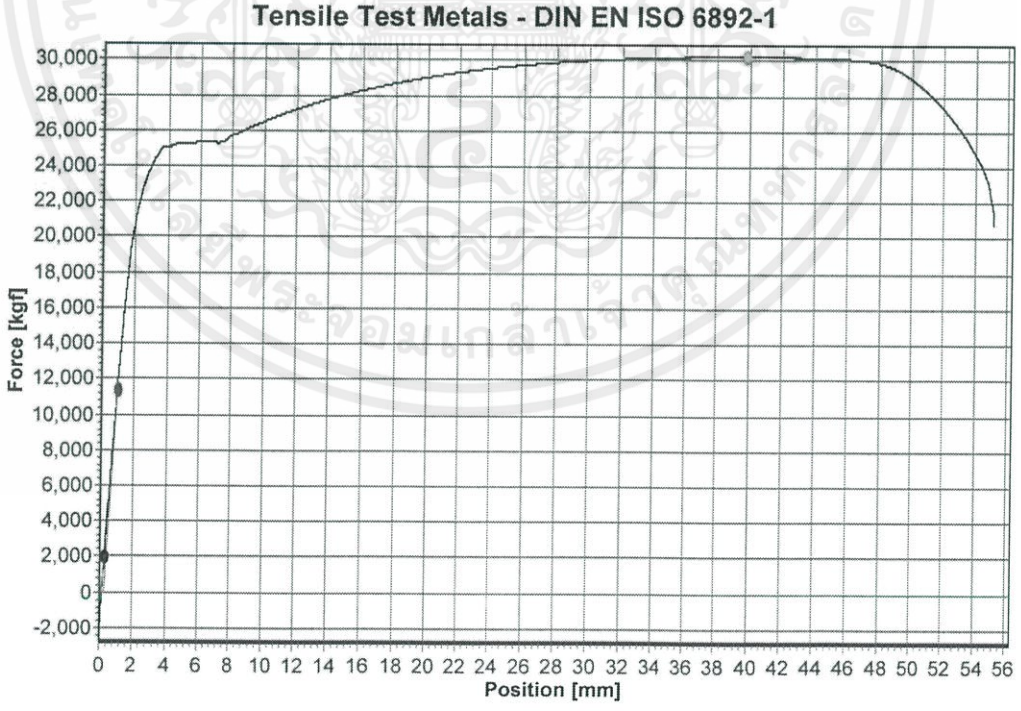


รูป ข.32ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

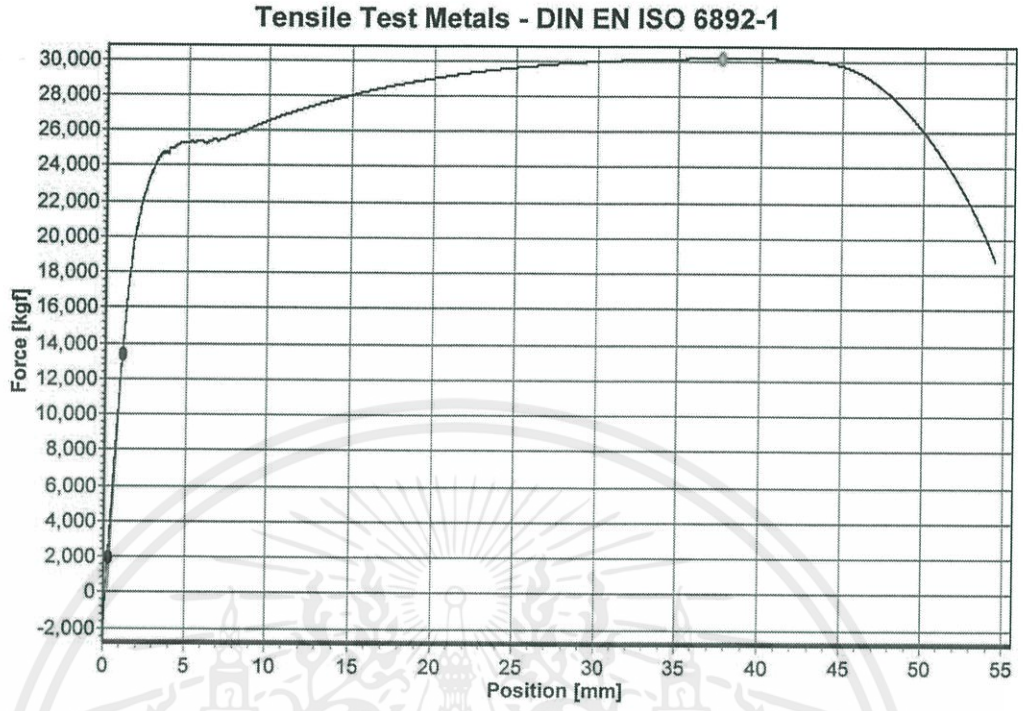


รูป ข.33ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่8

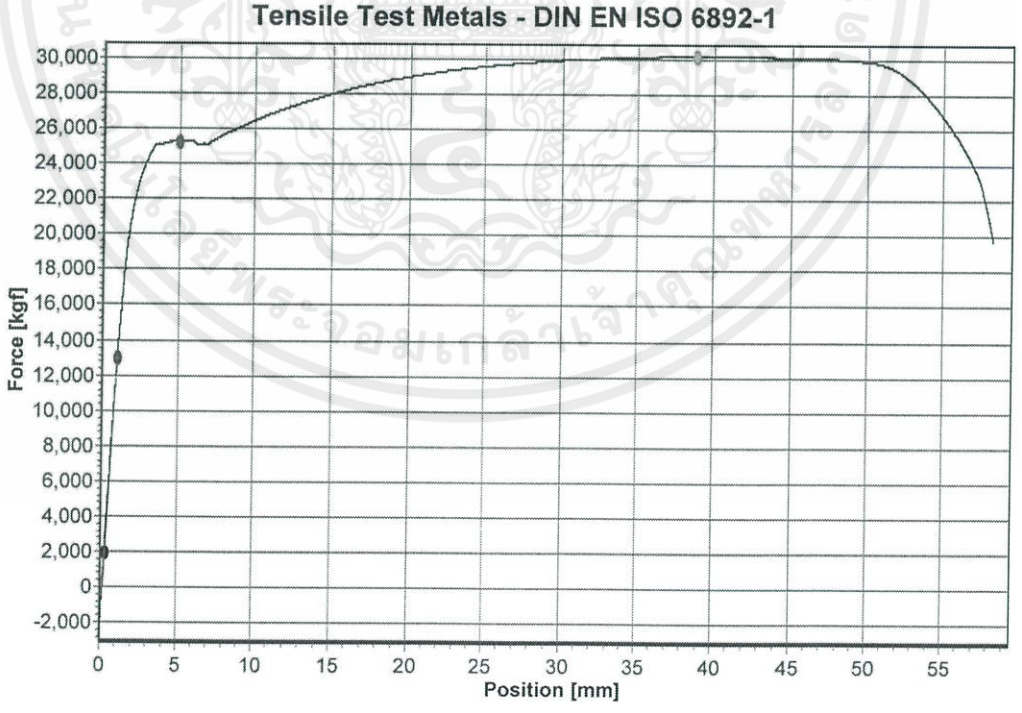


รูป ข.34ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

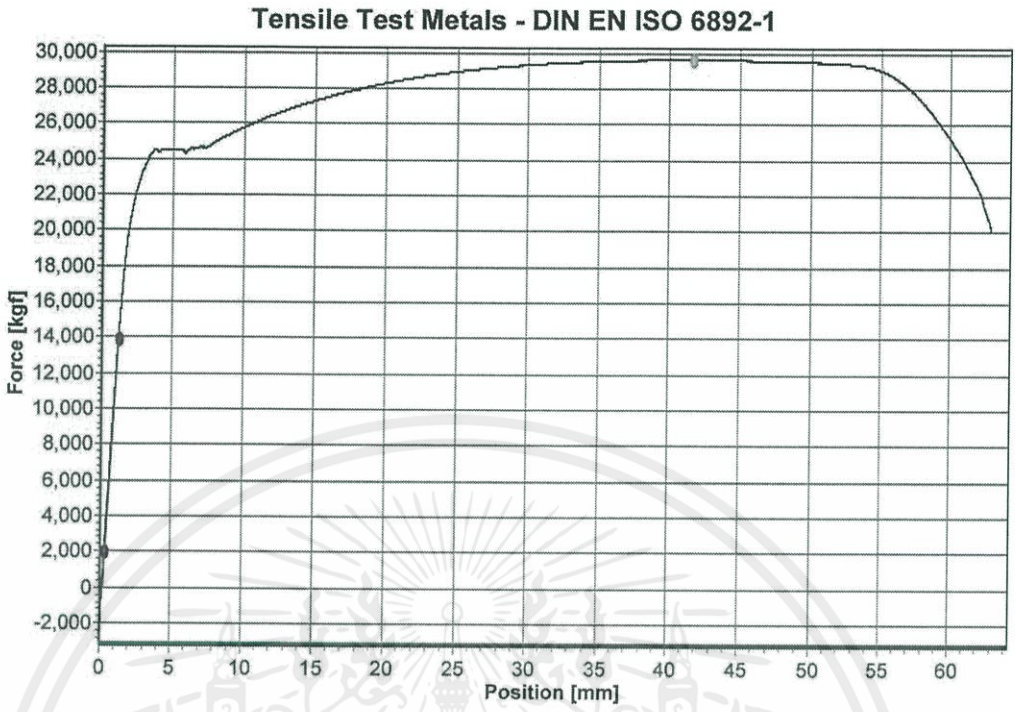


รูป ข.35ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่10



รูป ข.36ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



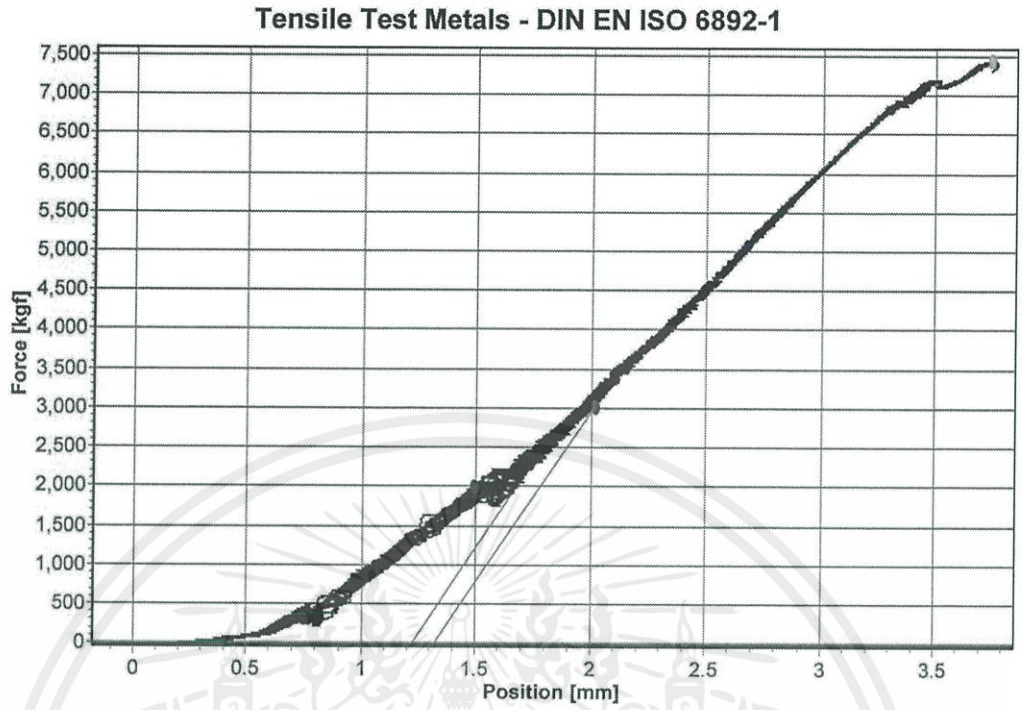
รูป ข.37ผลการดึงสองทิศทางเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

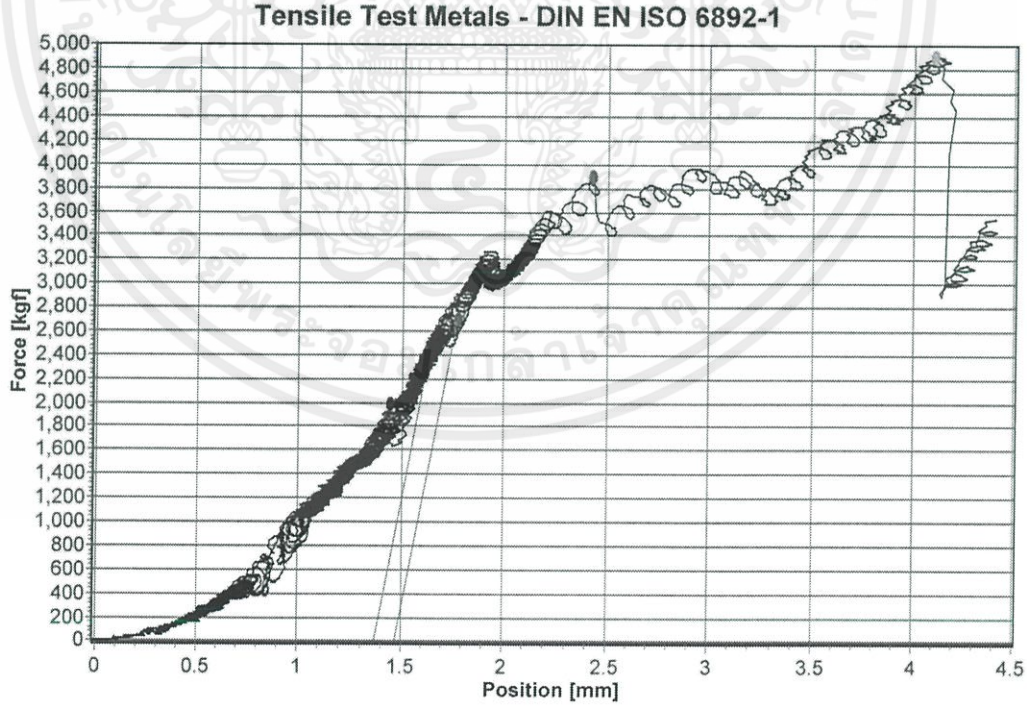
ภาคผนวก ค

กราฟดึงหนึ่งทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

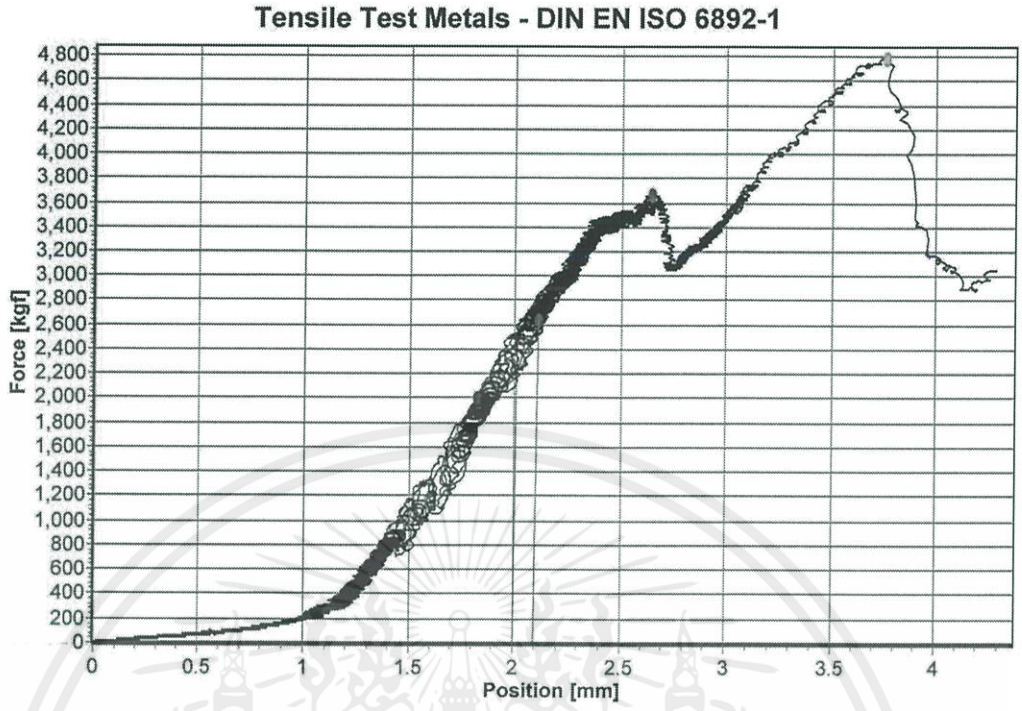


รูป ค1. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่13

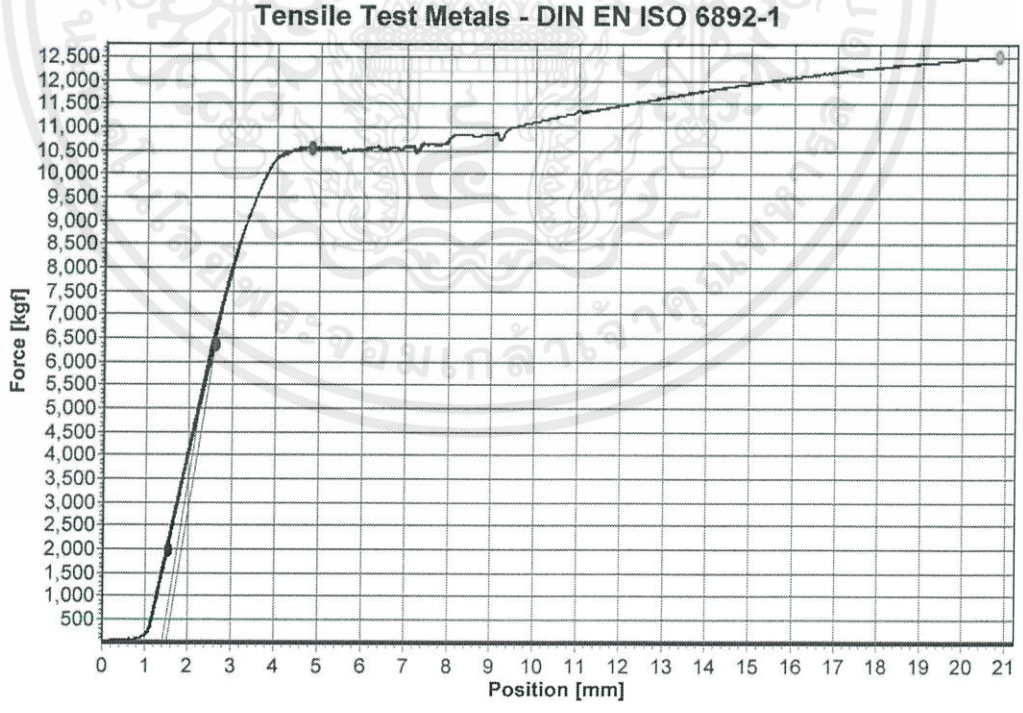


รูป ค2. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

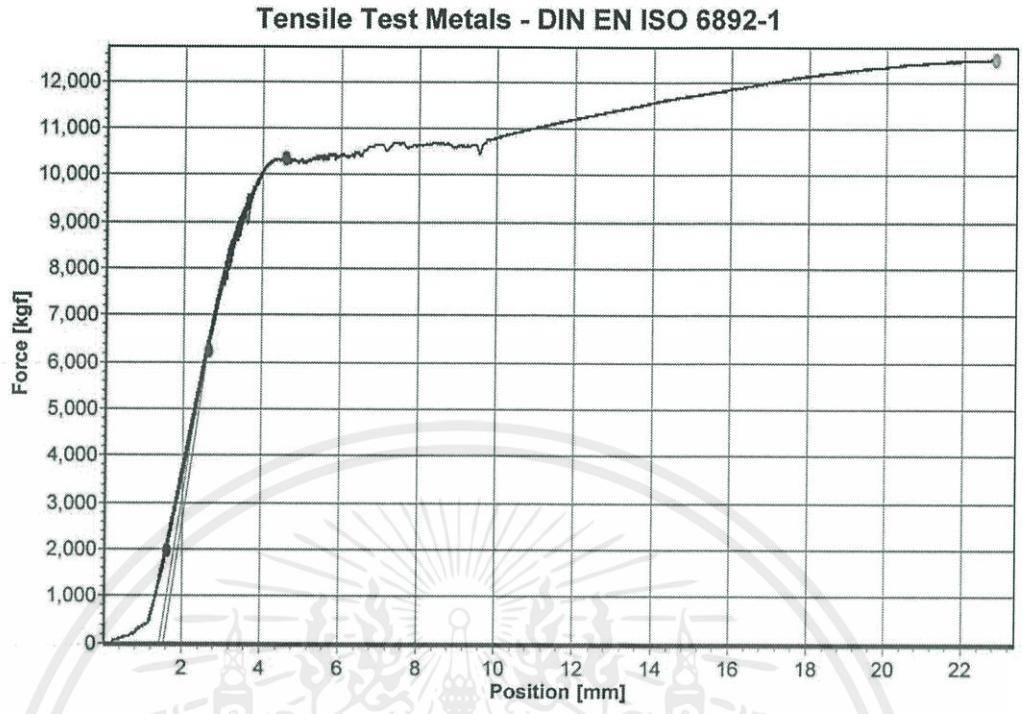


รูป ค3. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่15

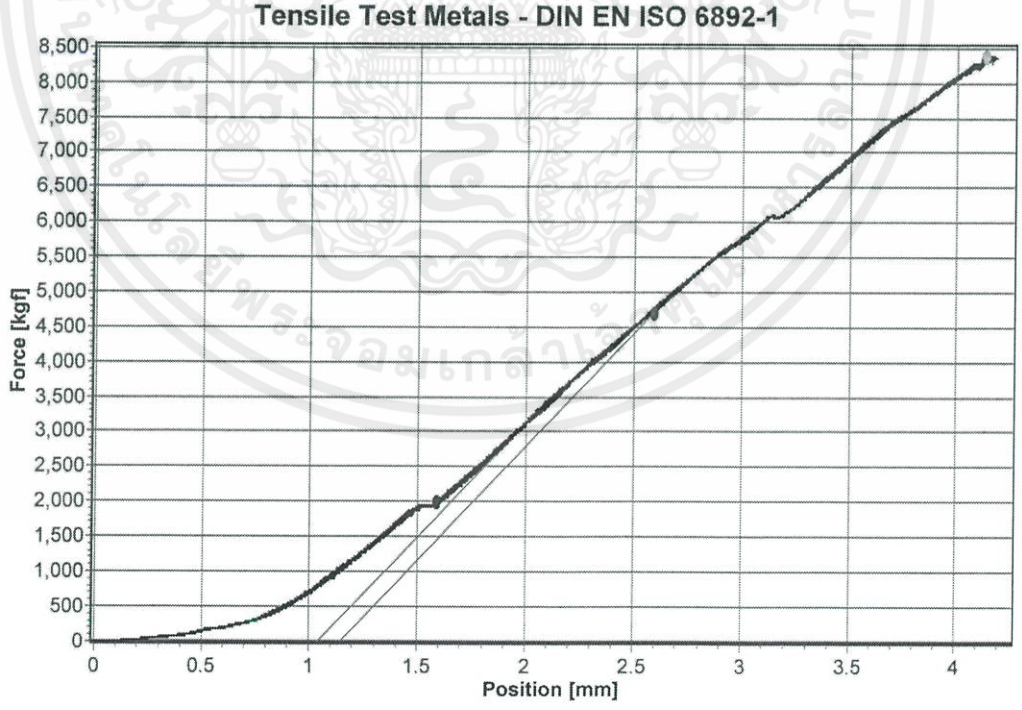


รูป ค4. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

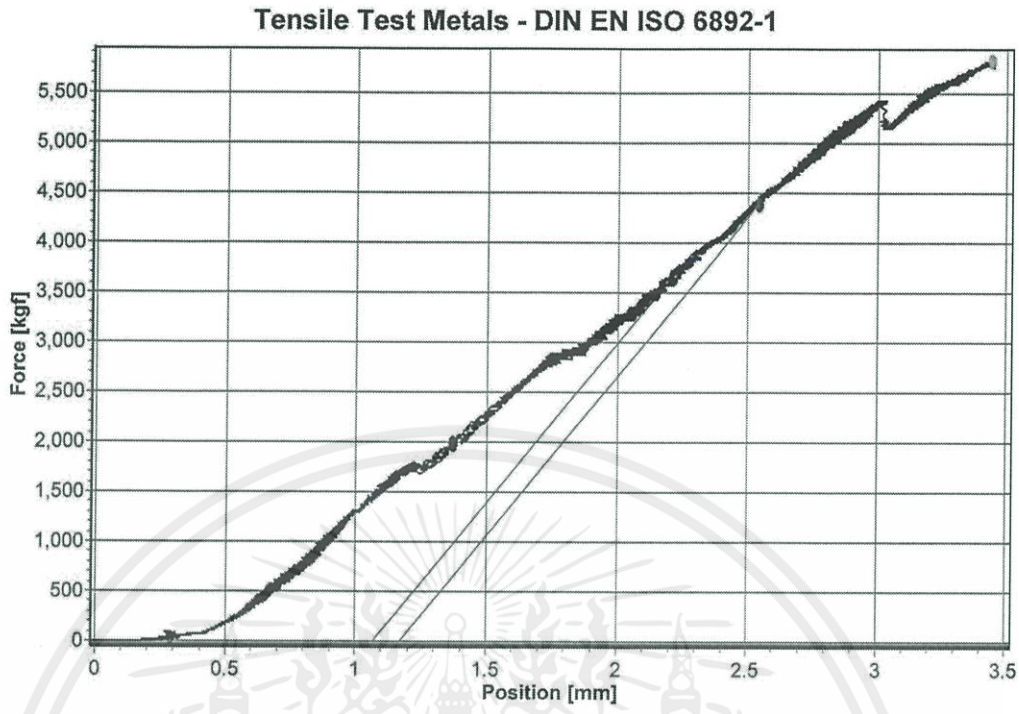


รูป ค5. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่18

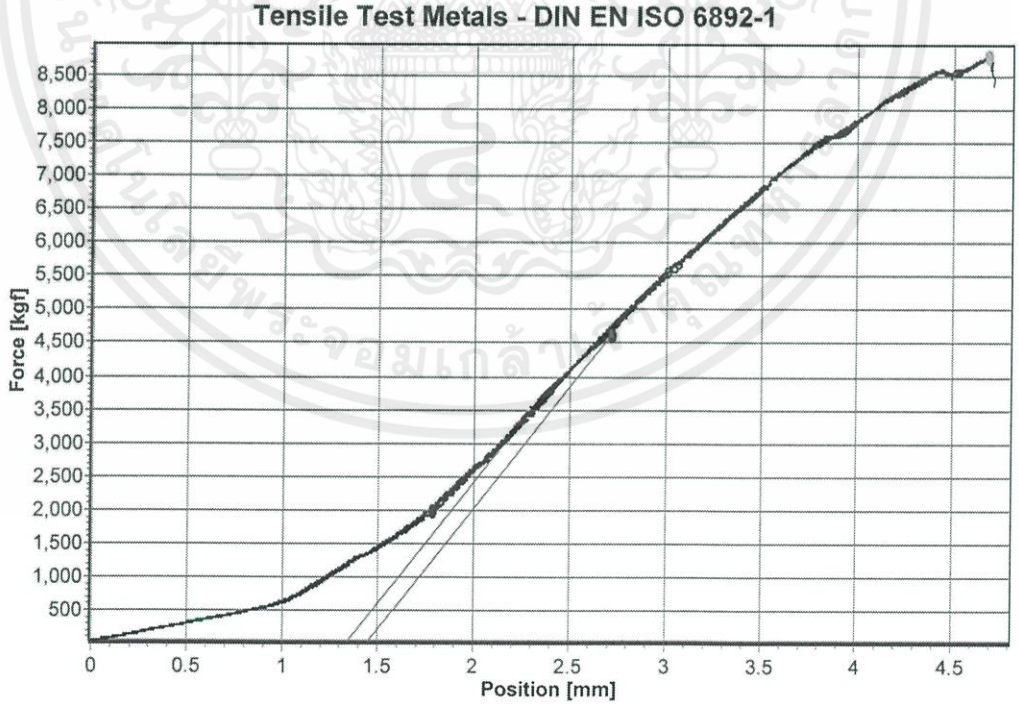


รูป ค6. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

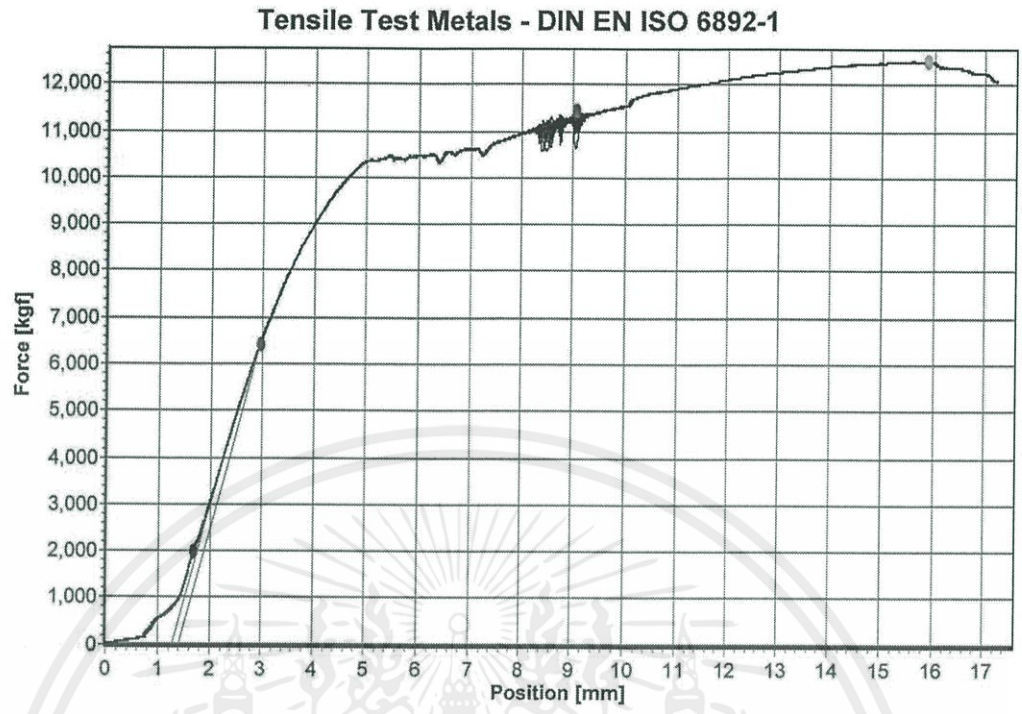


รูป ค7. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่20

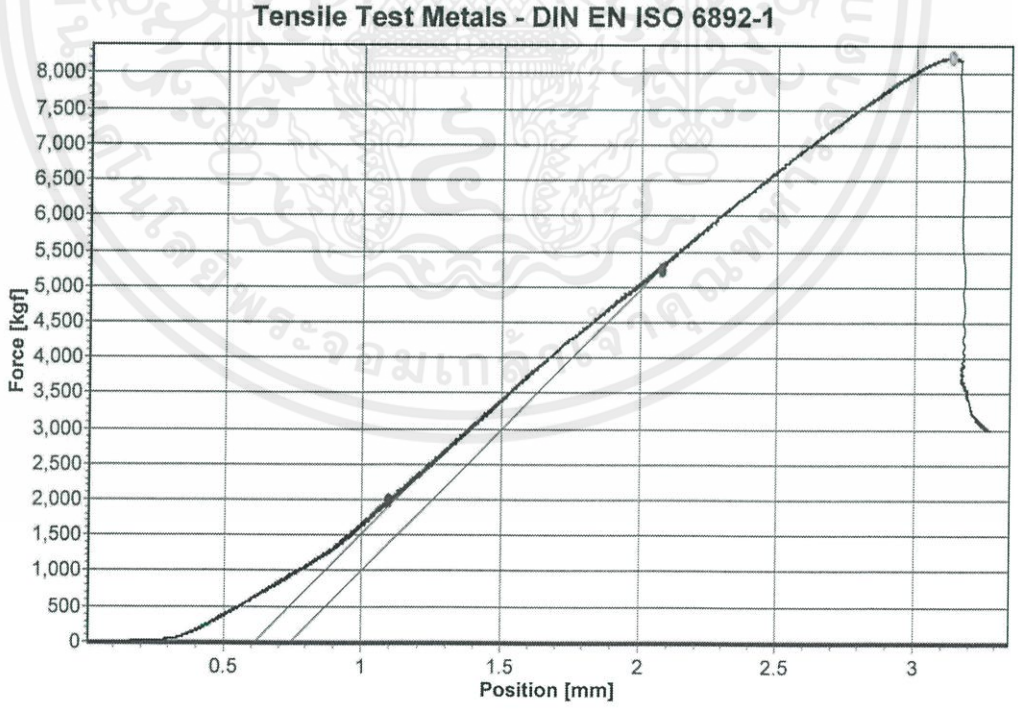


รูป ค8. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

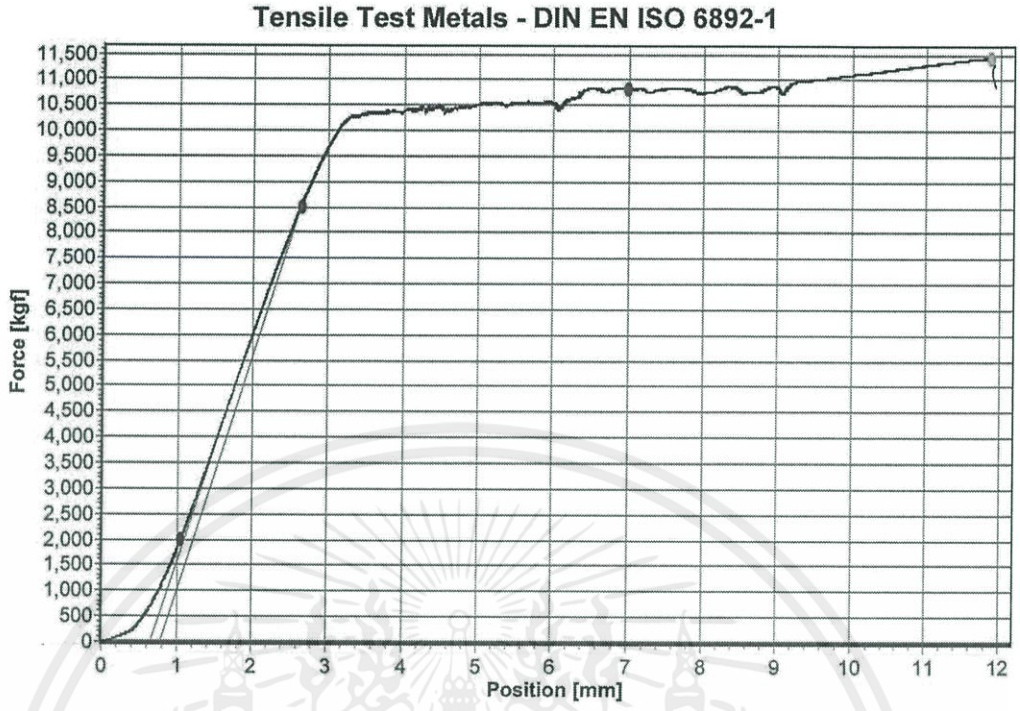


รูป ค9. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่22

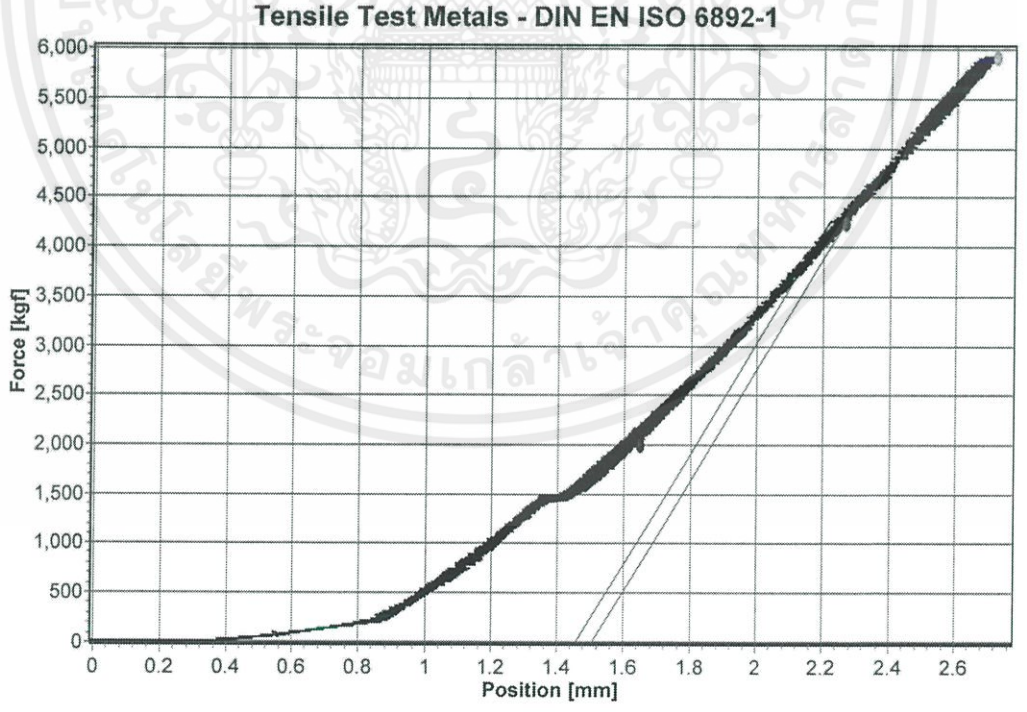


รูป ค10. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

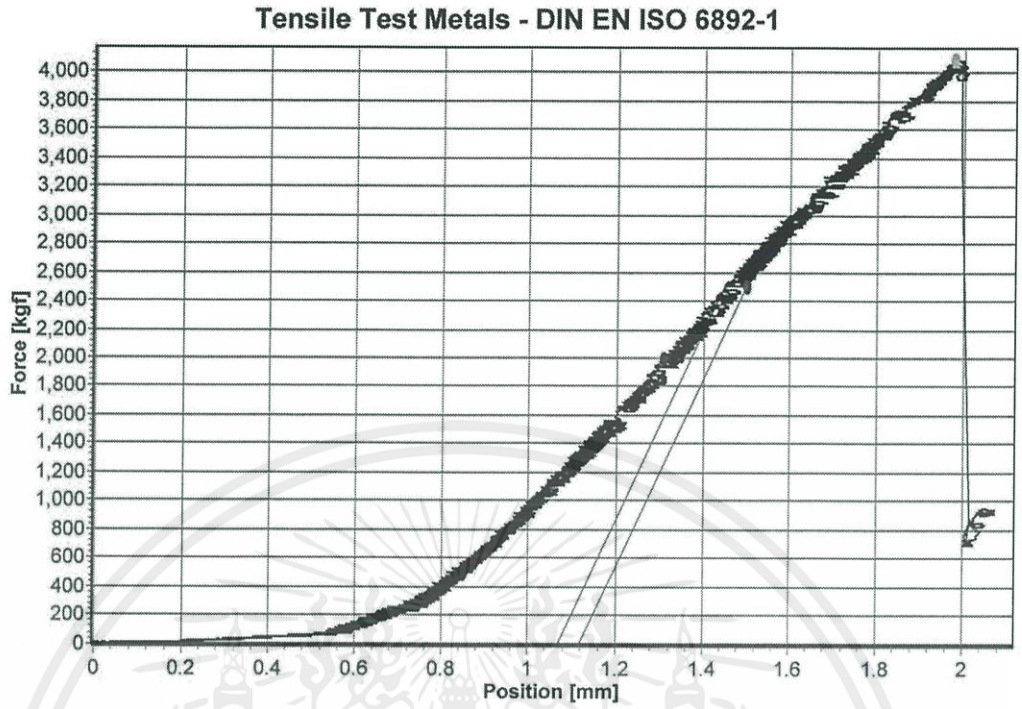


รูป ค11. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่24

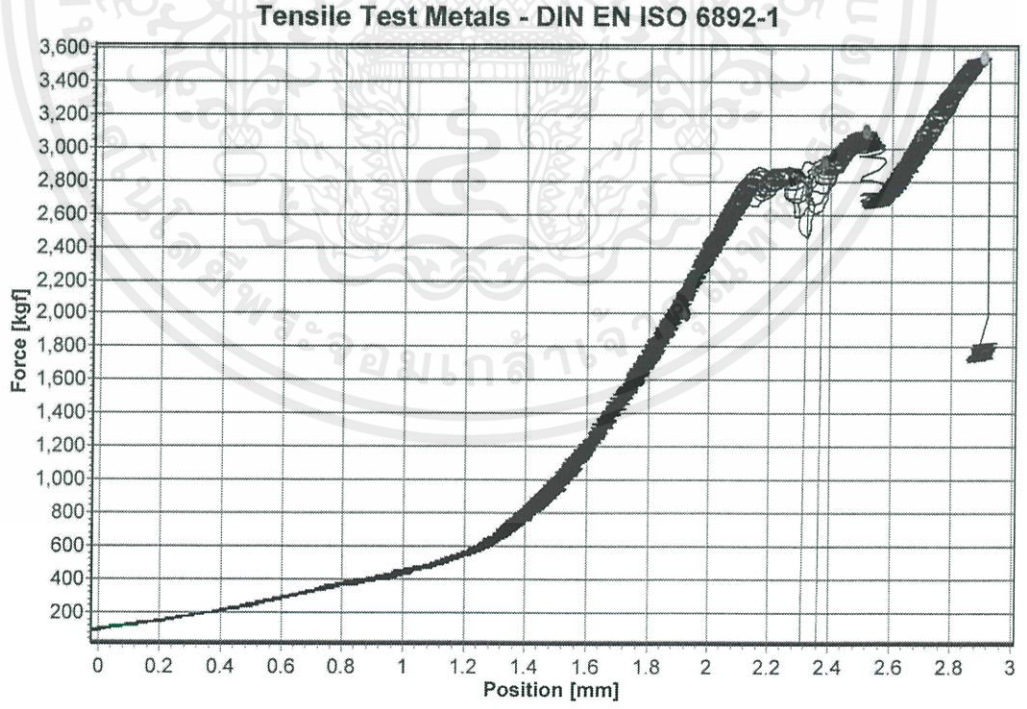


รูป ค12. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

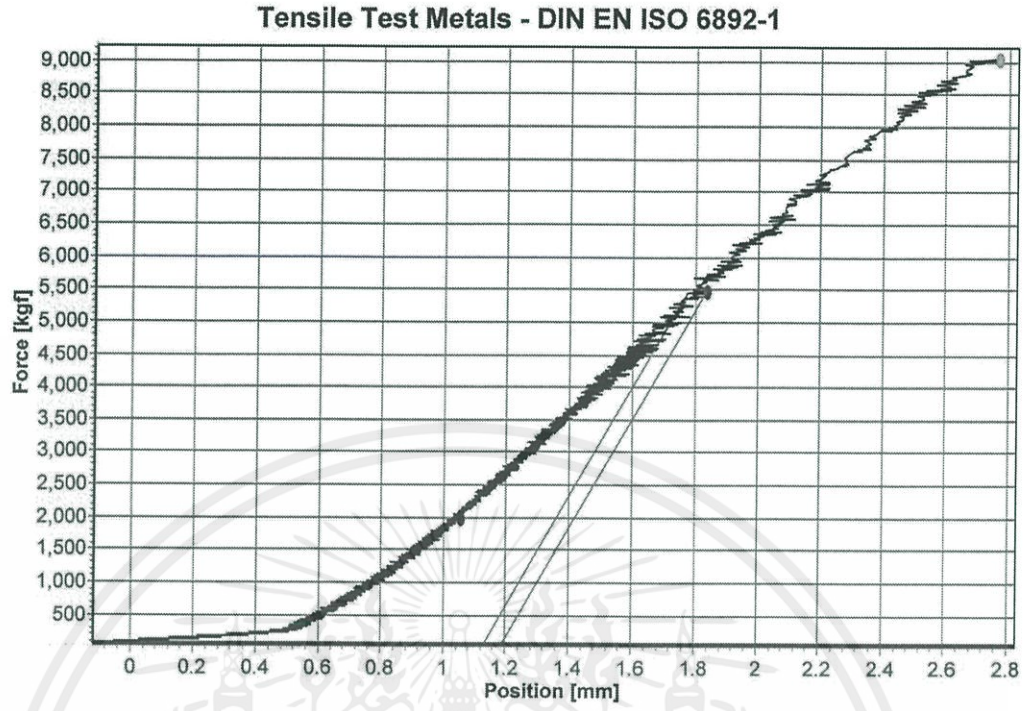


รูป ค13. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่26

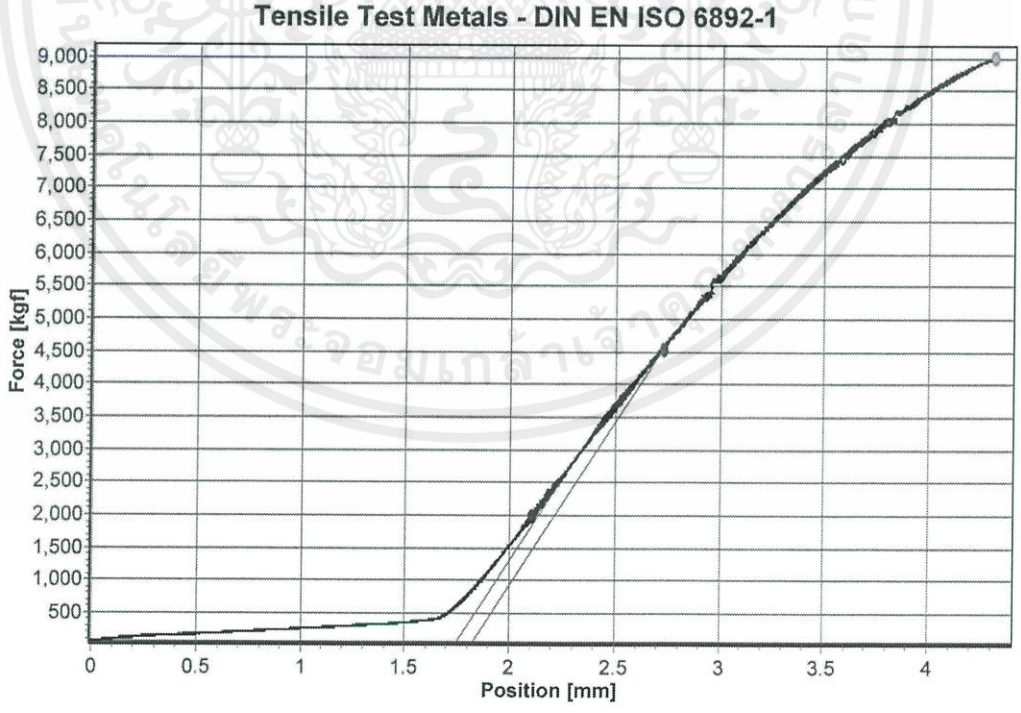


รูป ค14. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

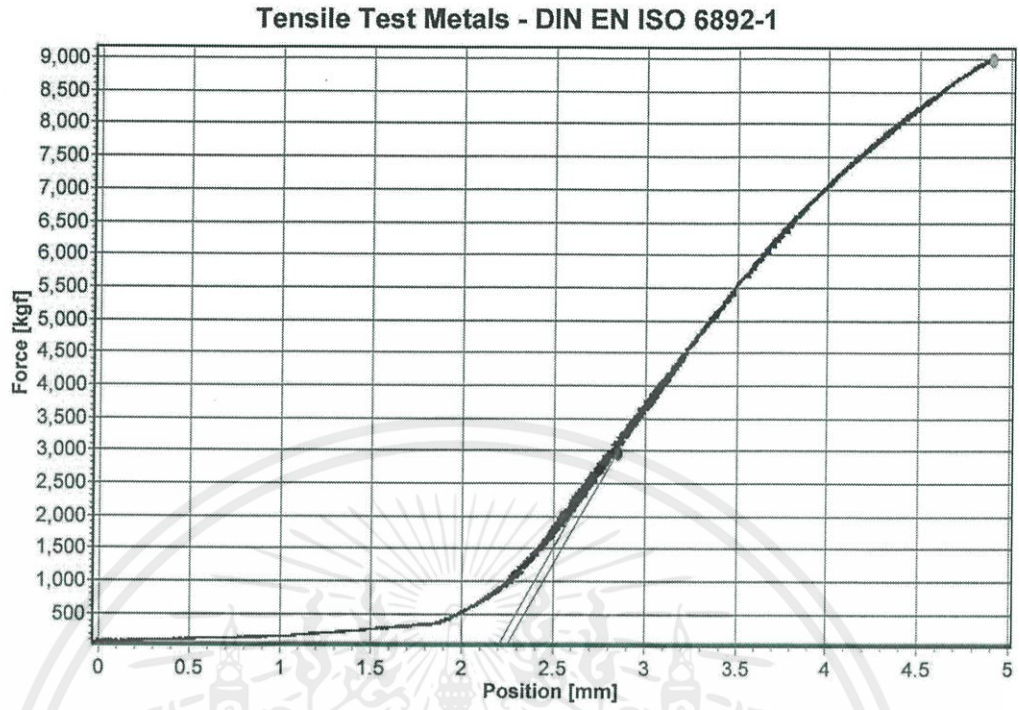


รูป ค15. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่28

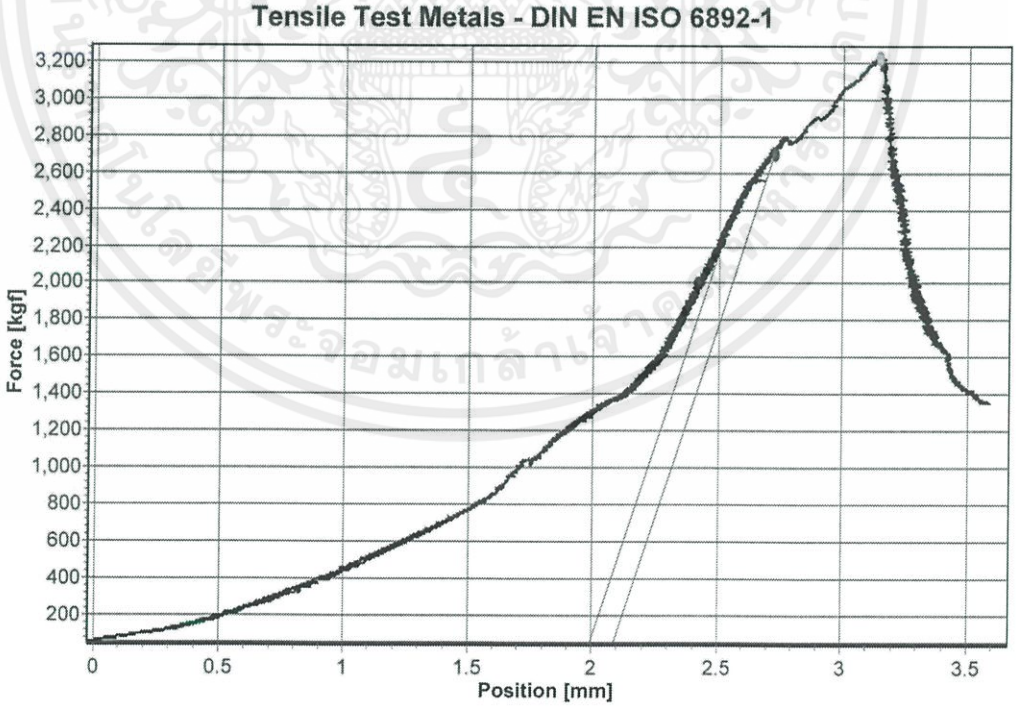


รูป ค16. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

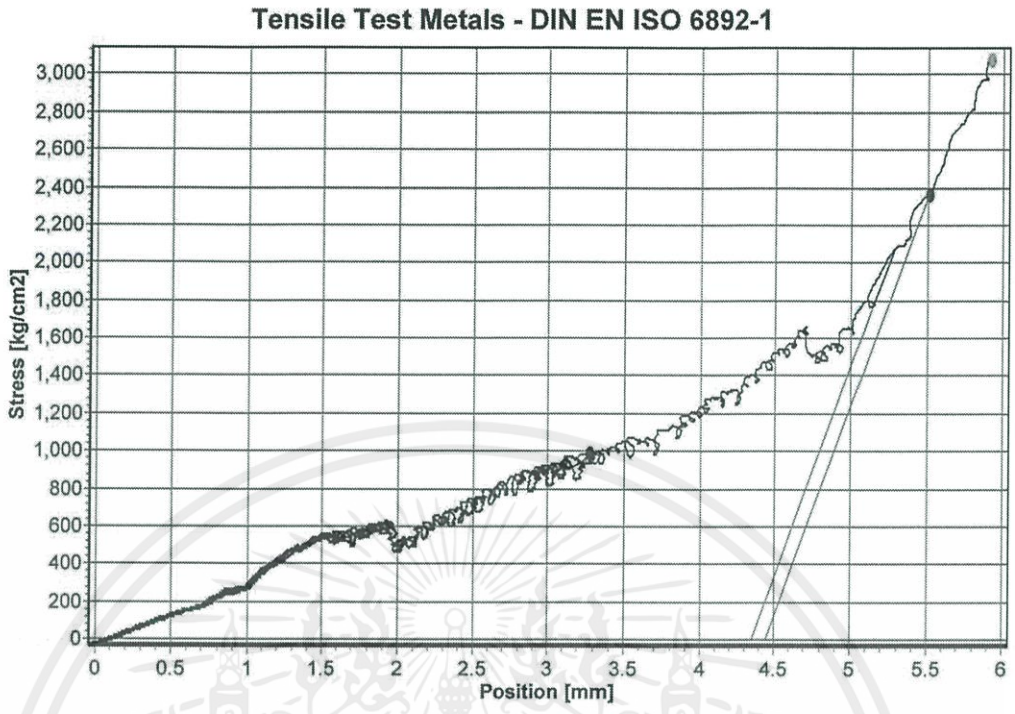


รูป ค17. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่30

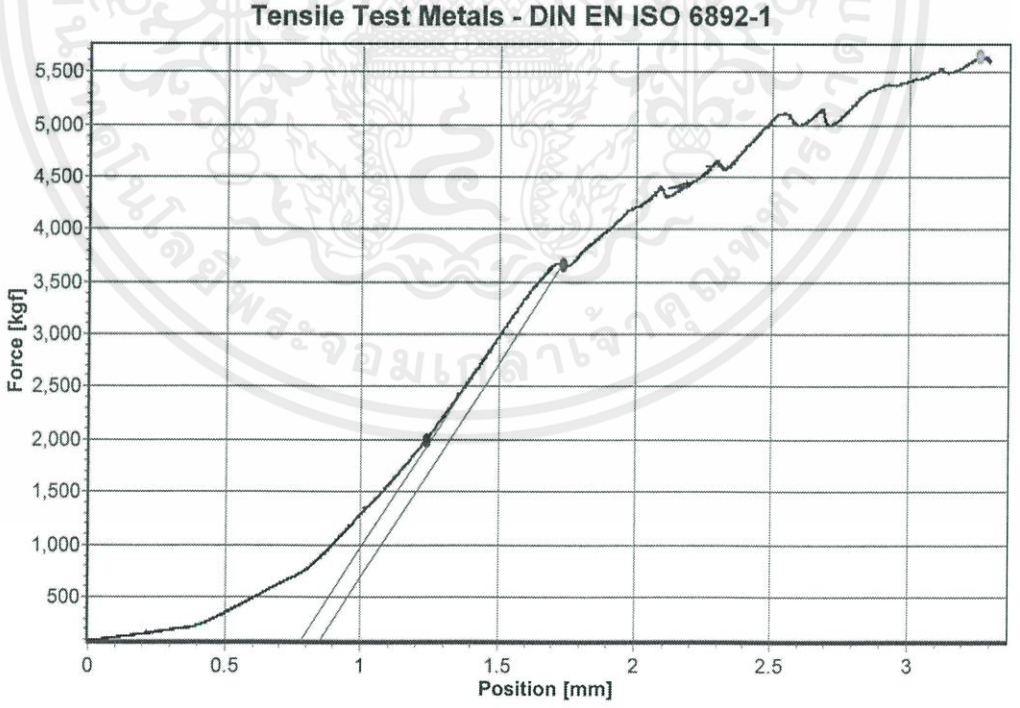


รูป ค18. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

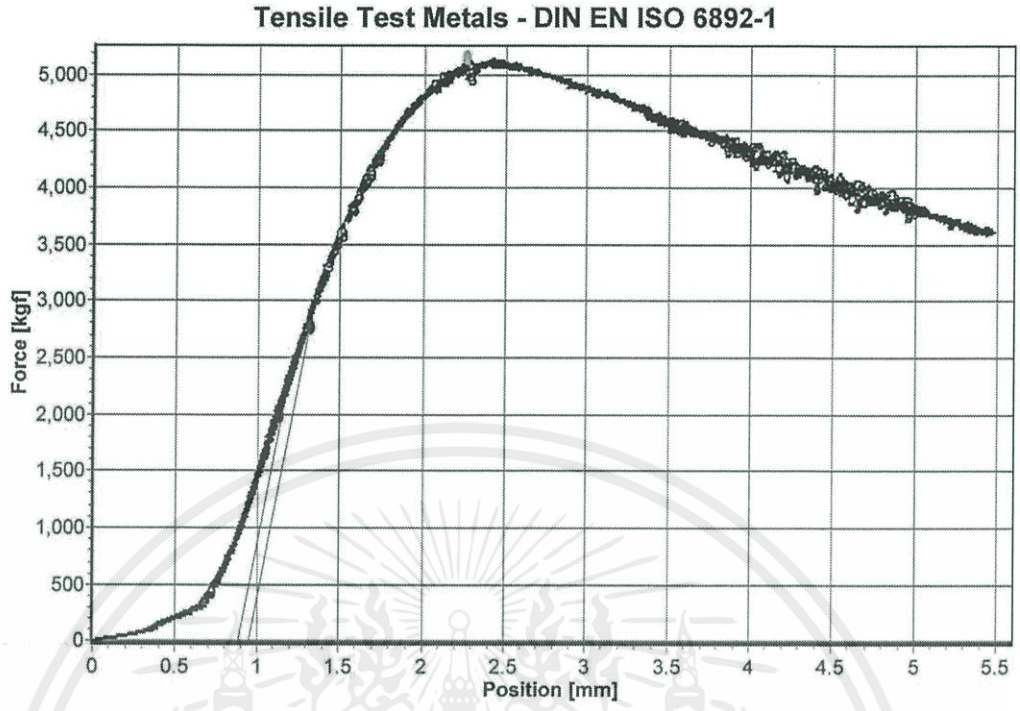


รูป ค19. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่32

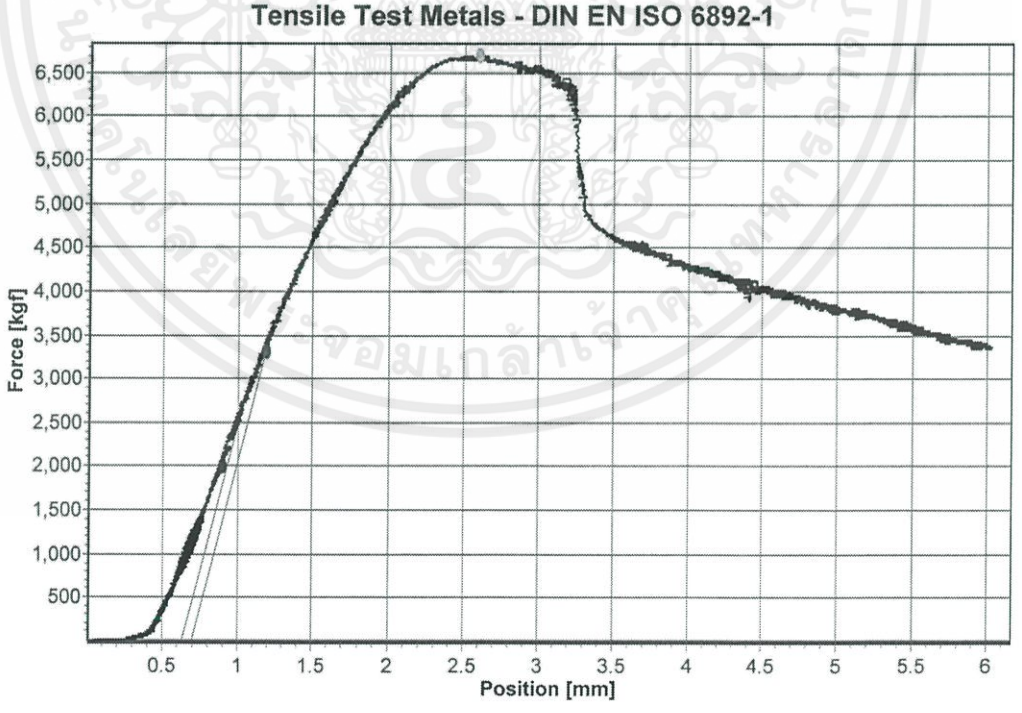


รูป ค20. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

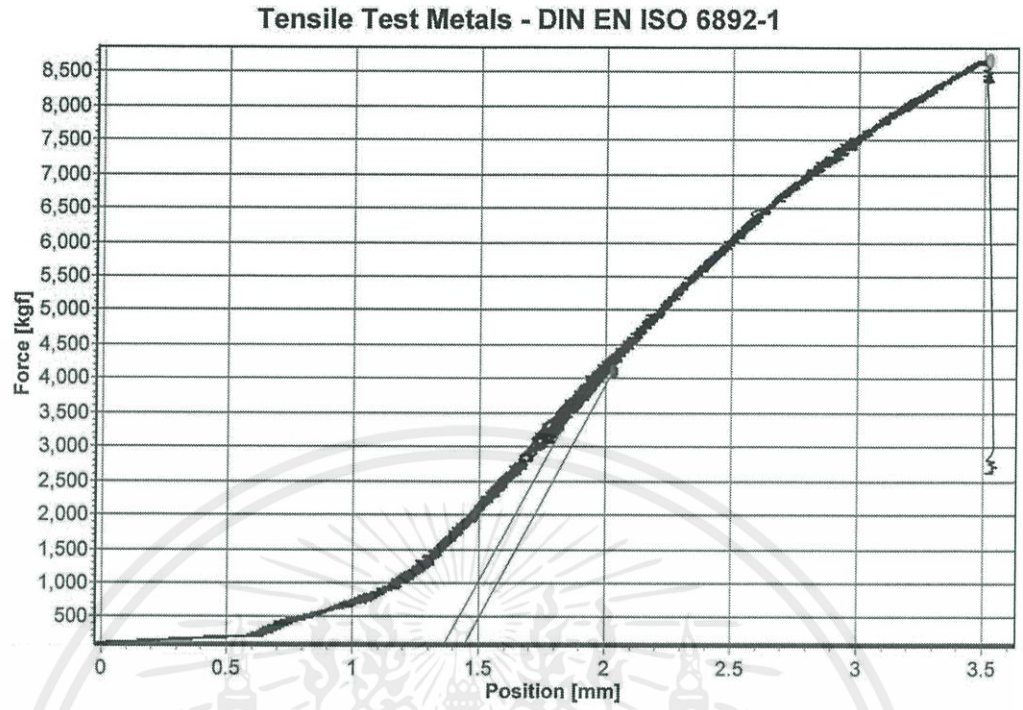


รูป ค21. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่34

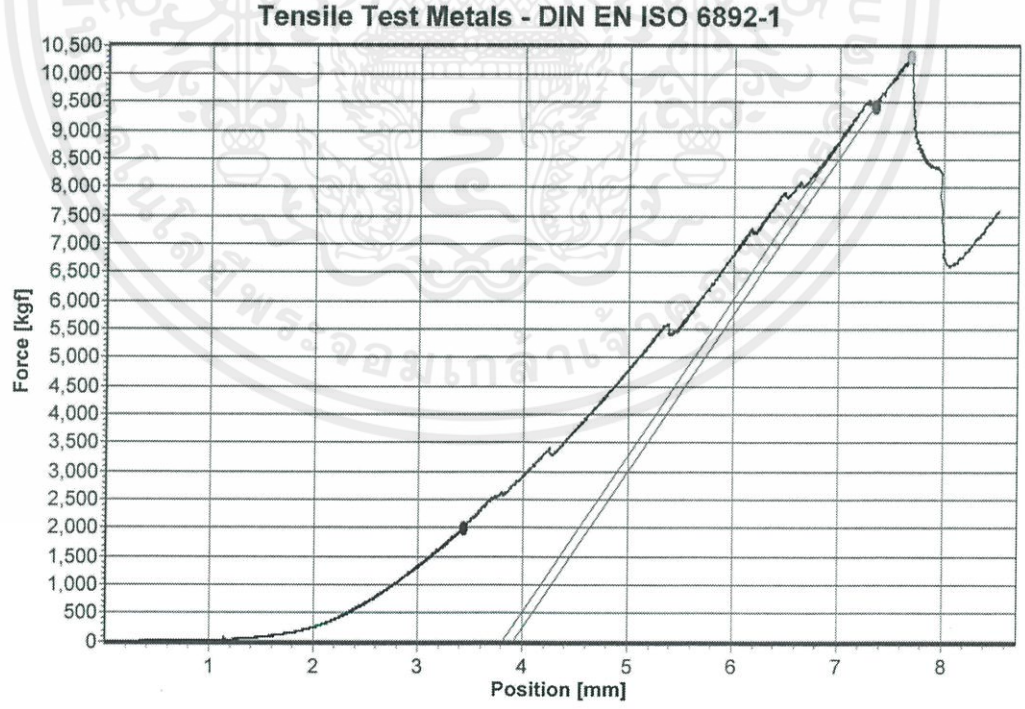


รูป ค22. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

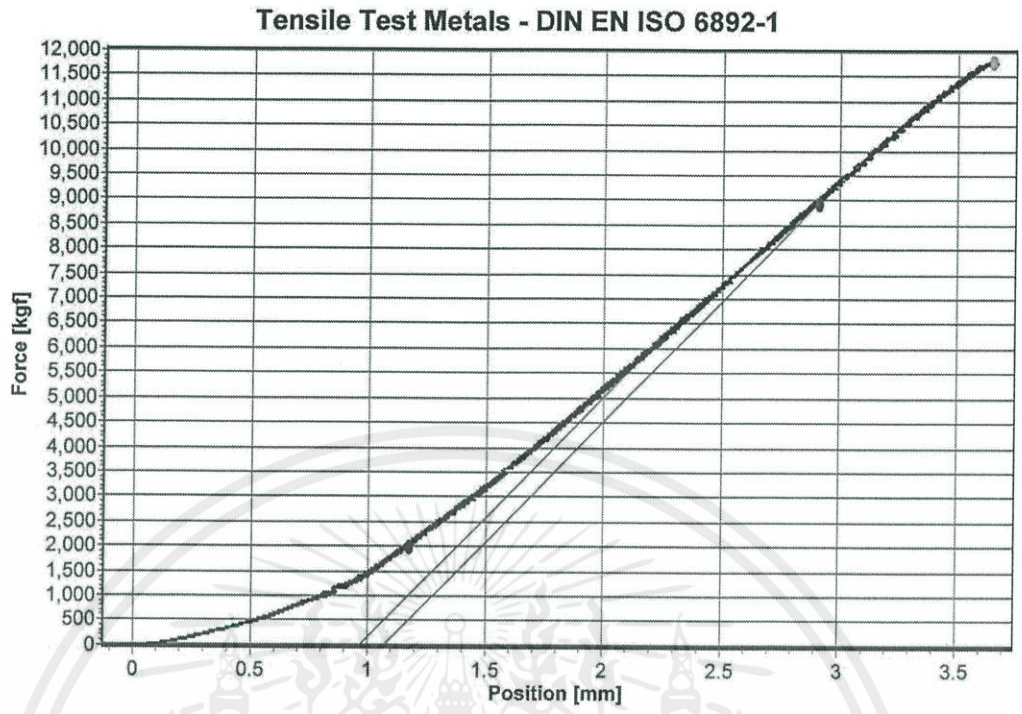


รูป ค23. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง16มิลลิเมตรตัวอย่างที่36

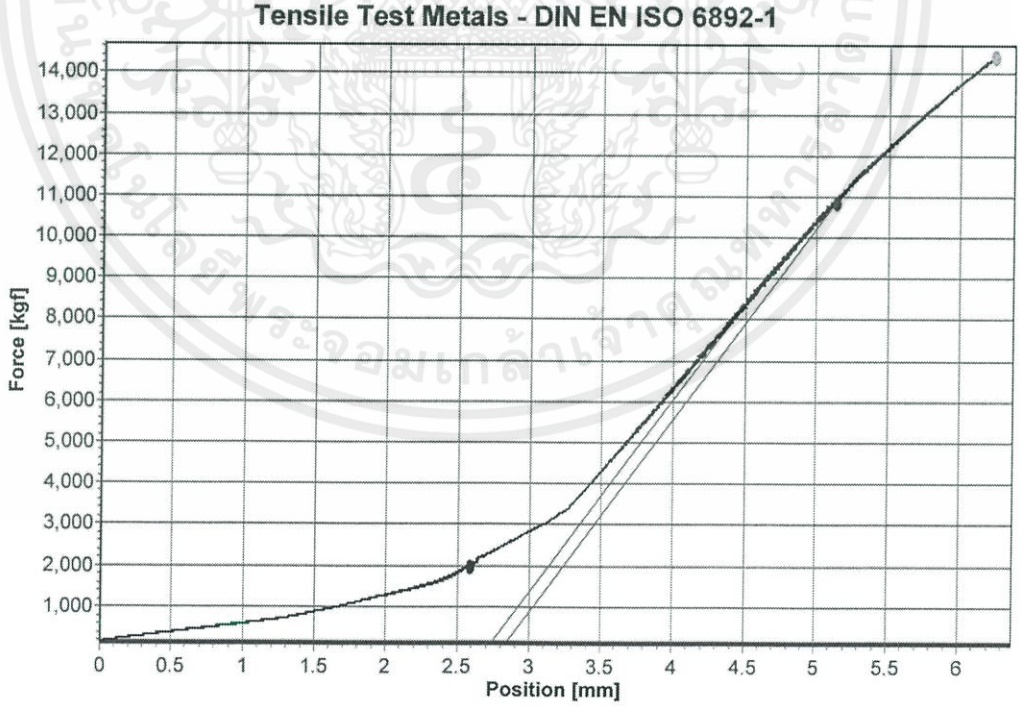


รูป ค24. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

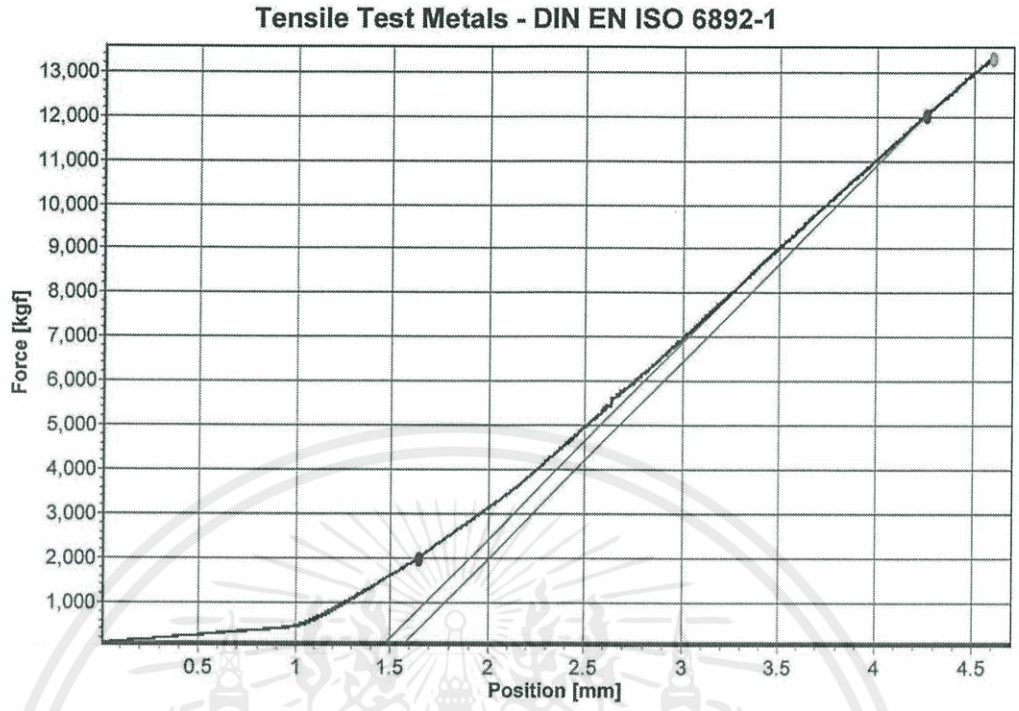


รูป ค25. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่15

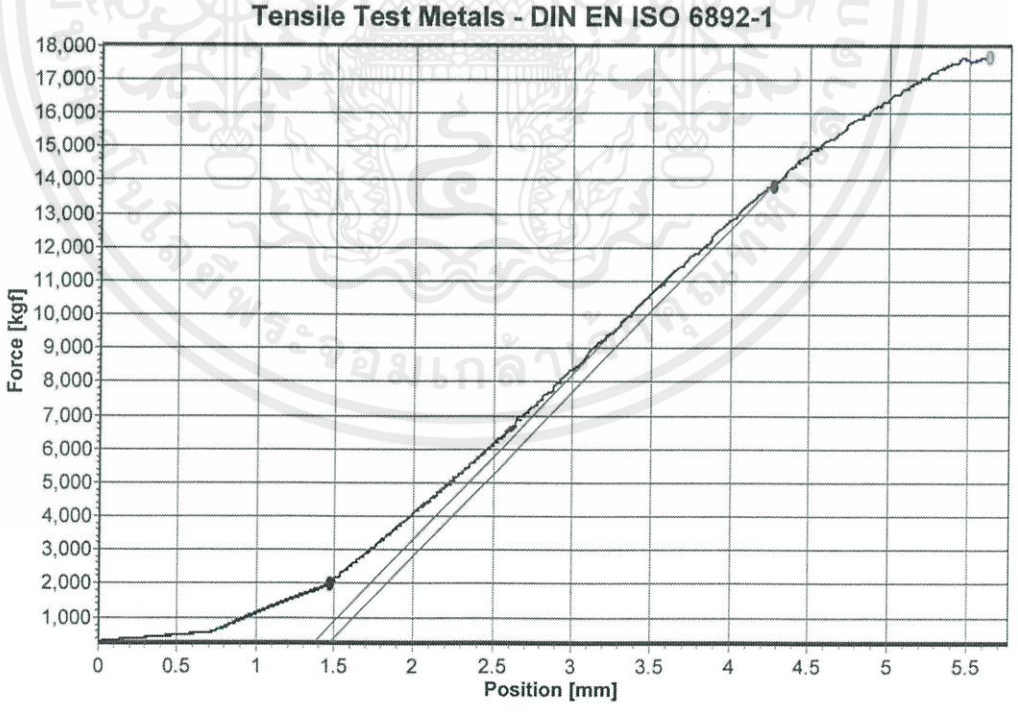


รูป ค26. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

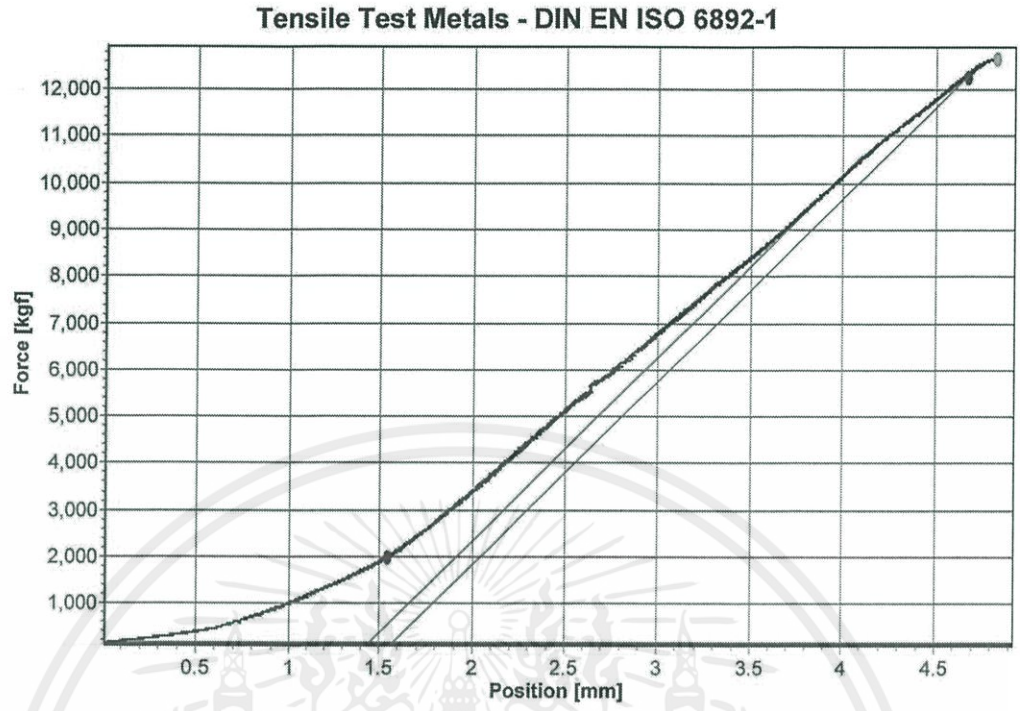


รูป ค27. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่17

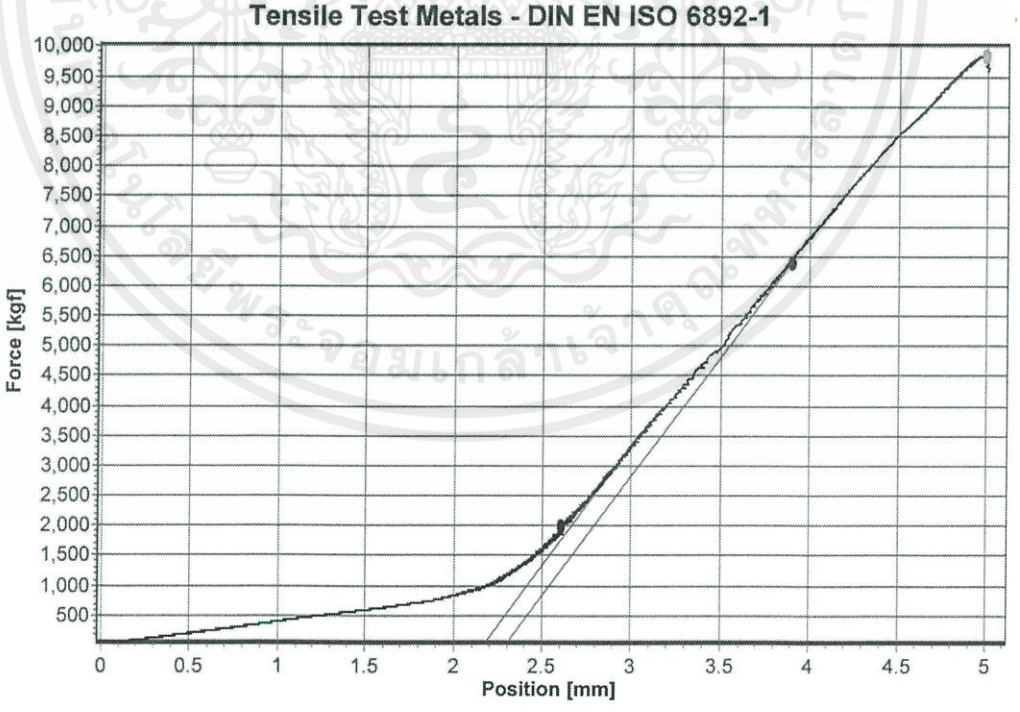


รูป ค28. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

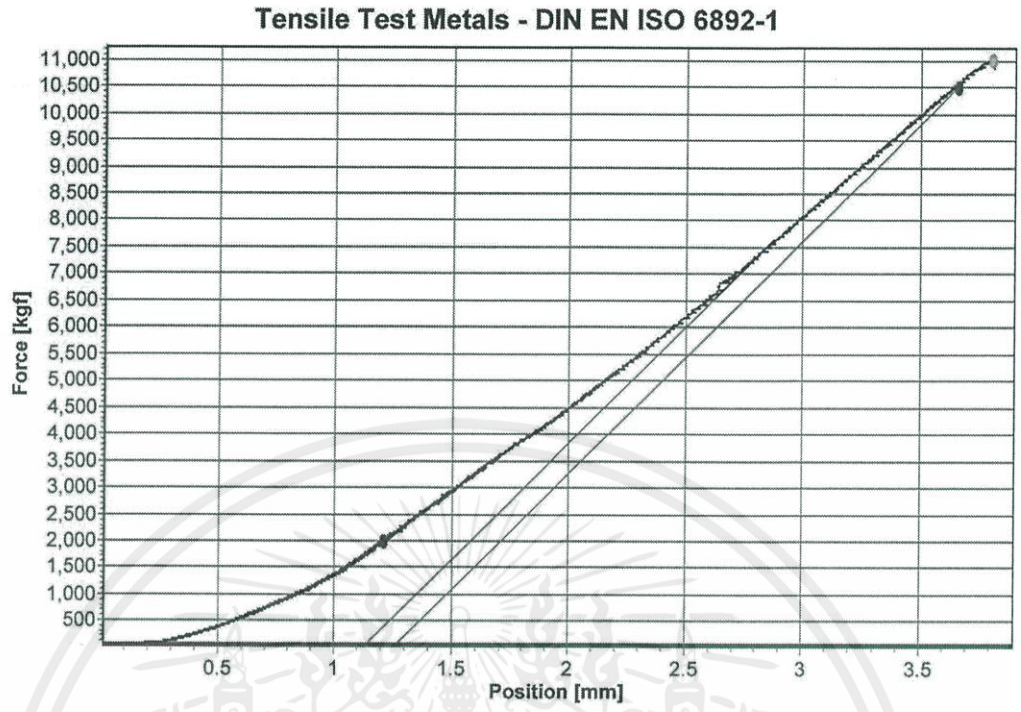


รูป ค29. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่19

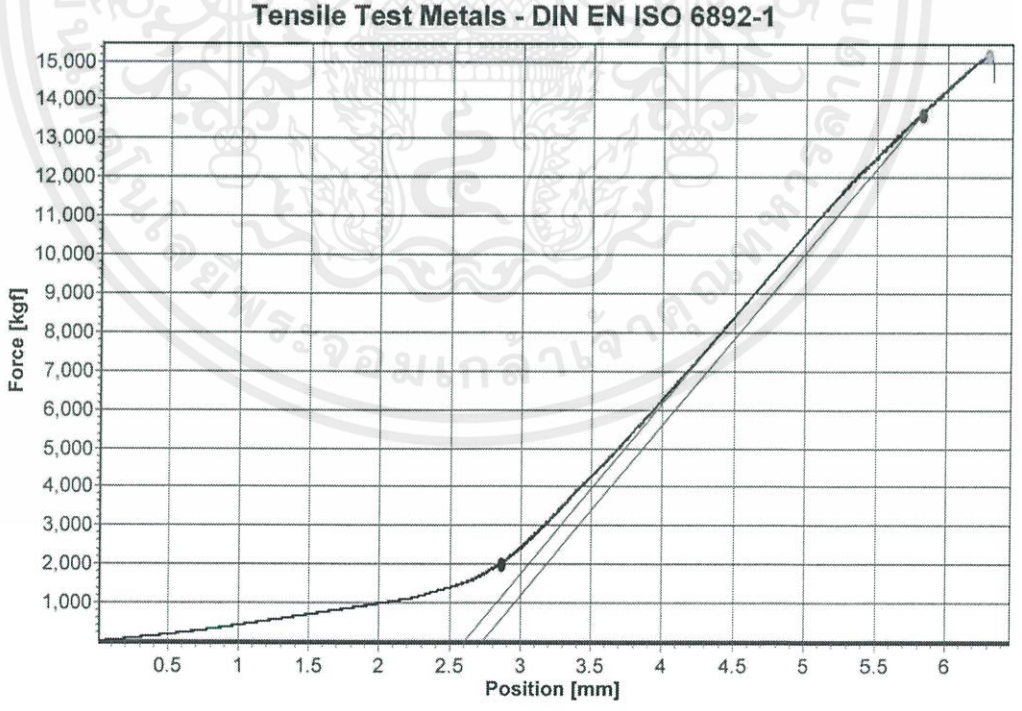


รูป ค30. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

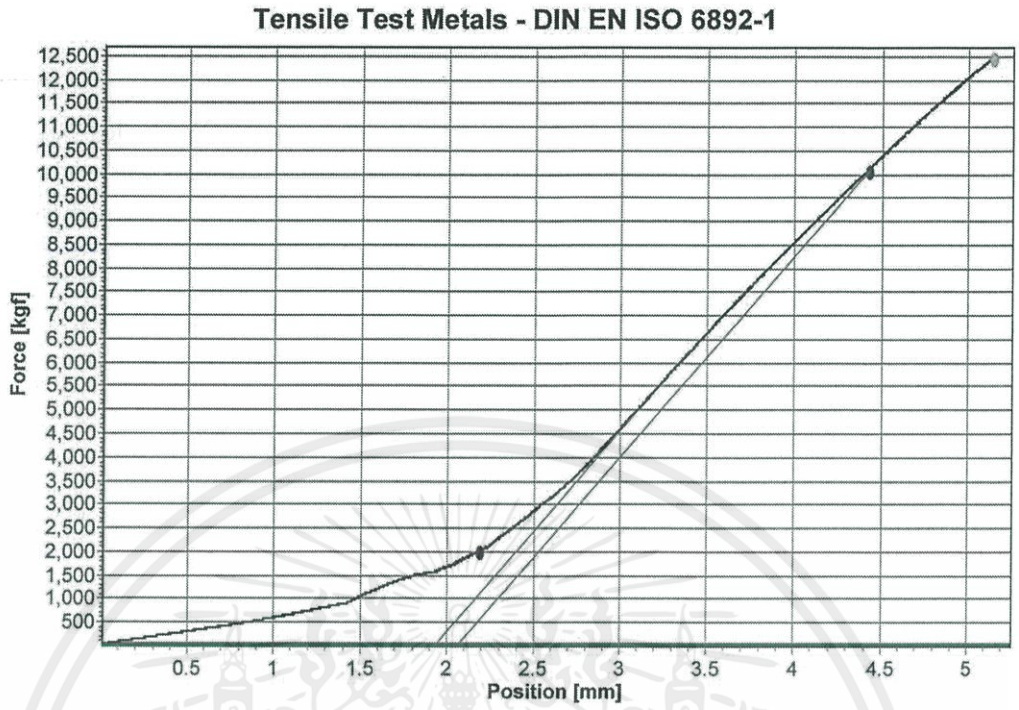


รูป ค31. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่21

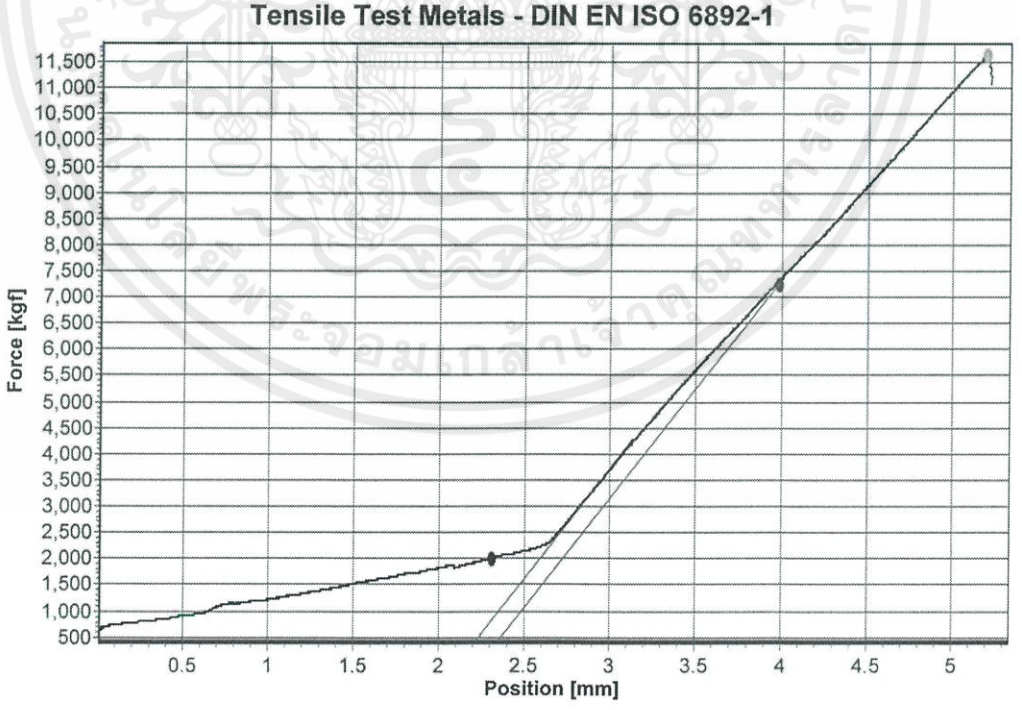


รูป ค32. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

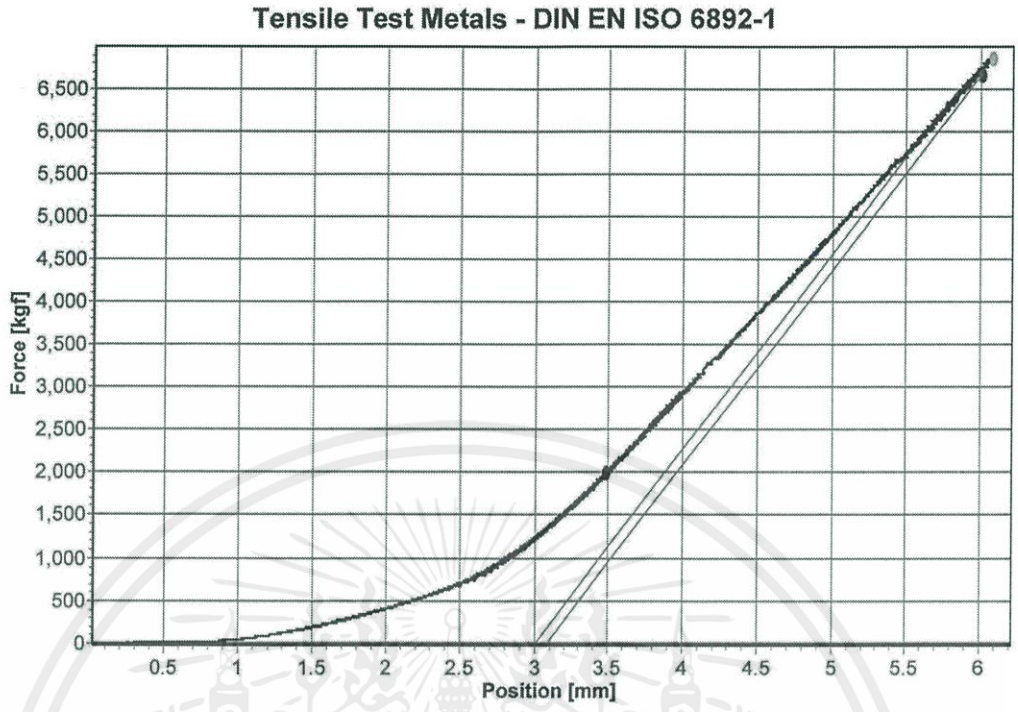


รูป ค33. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่23

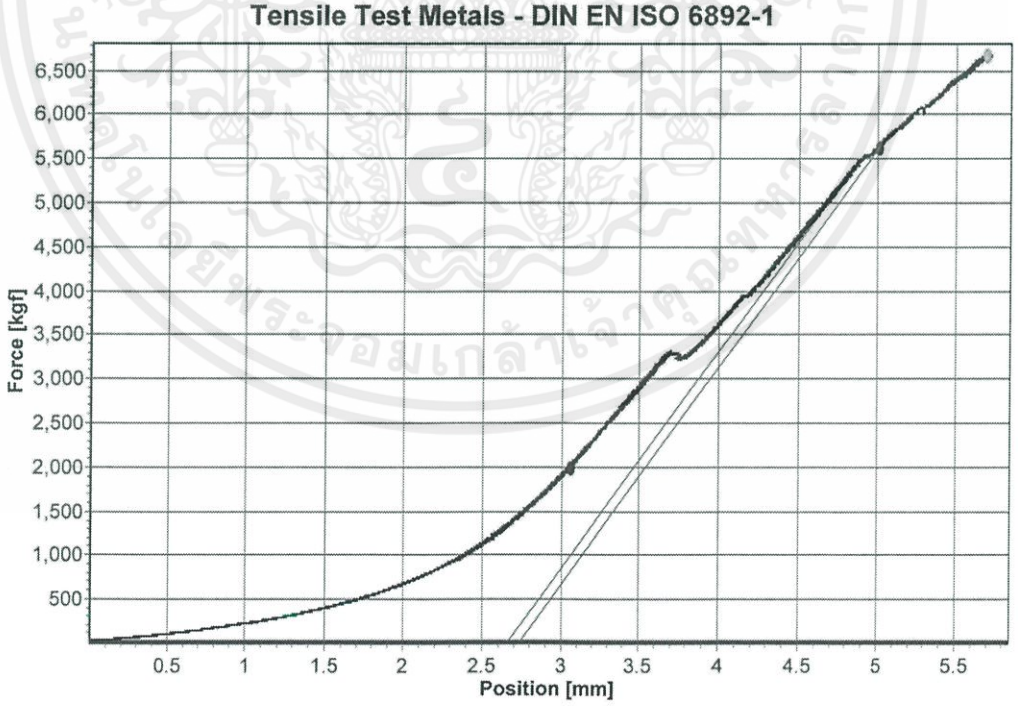


รูป ค34. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

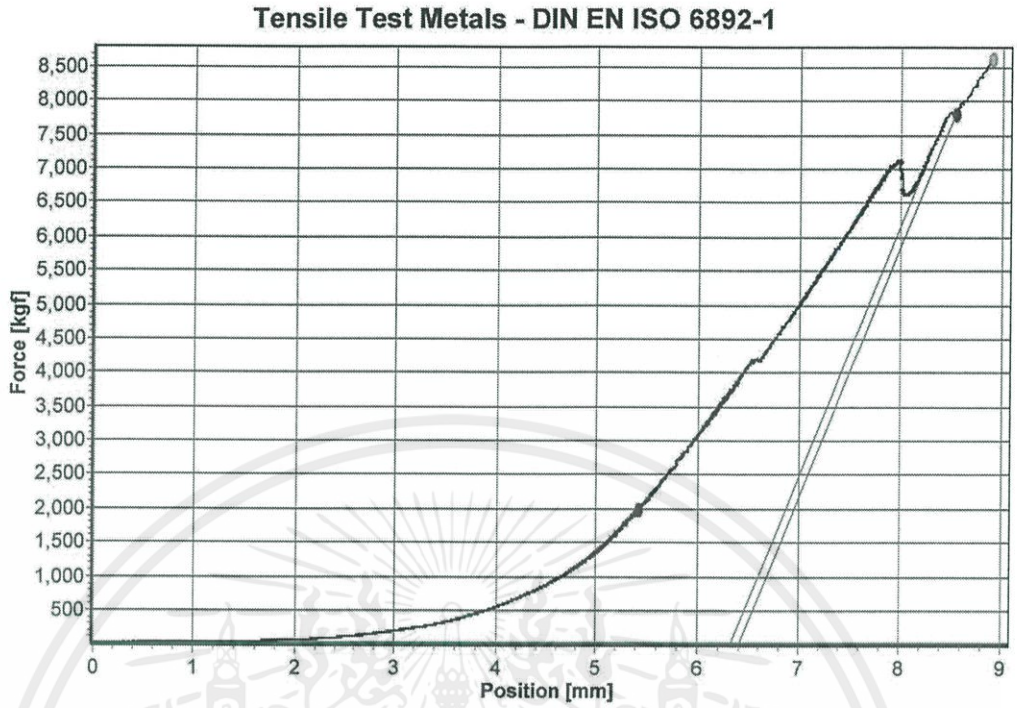


รูป ค35. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่25

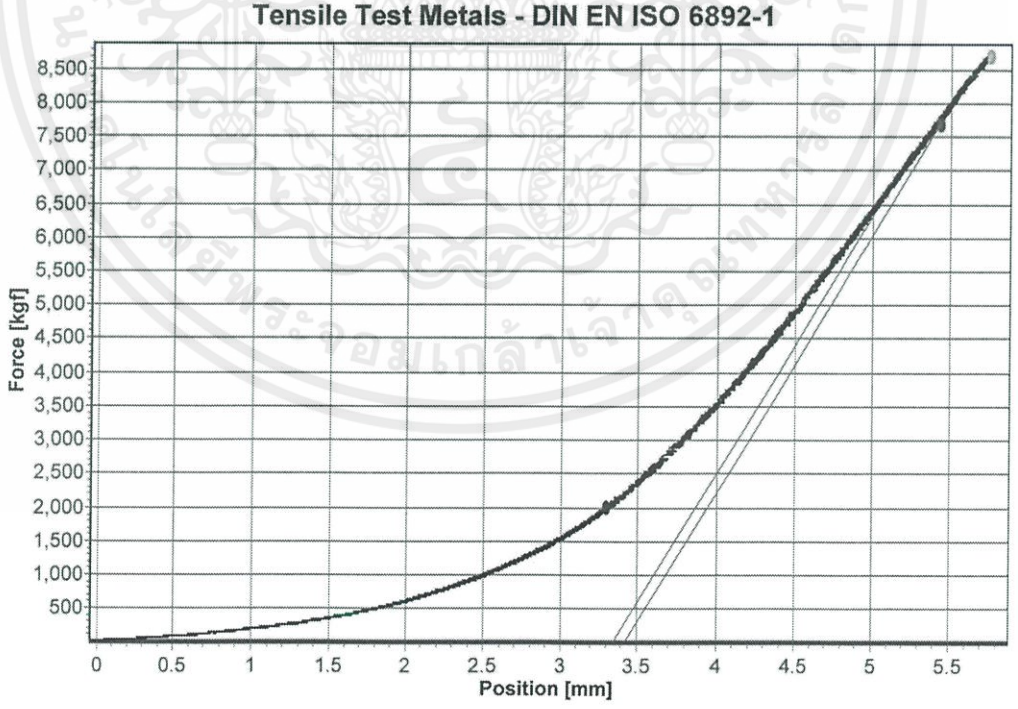


รูป ค36. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

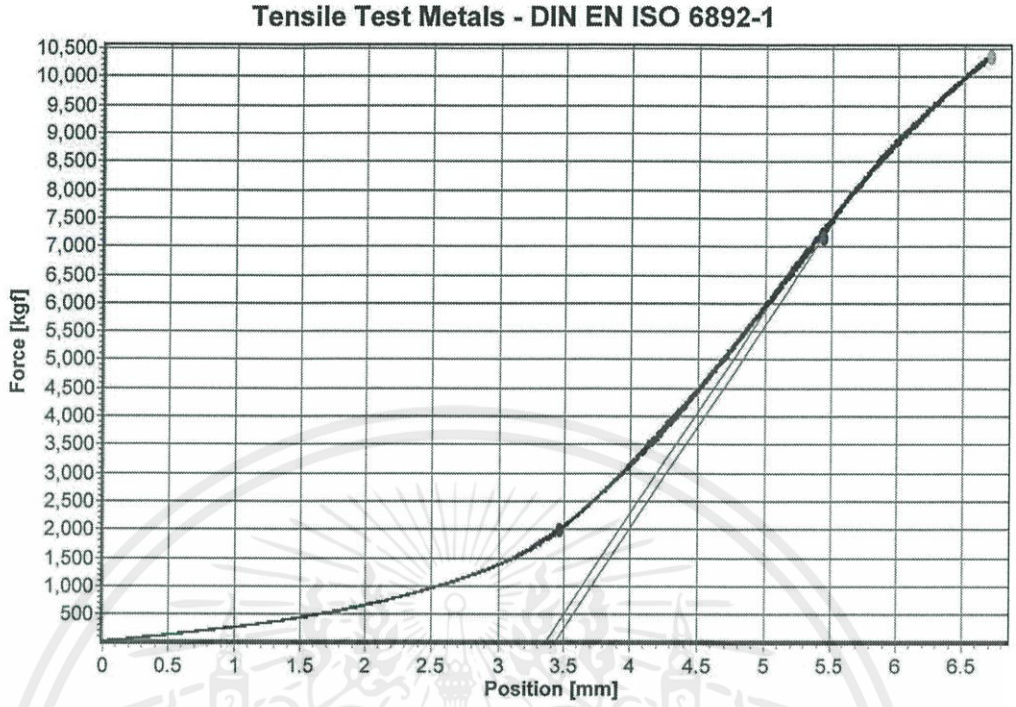


รูป ค37. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่27

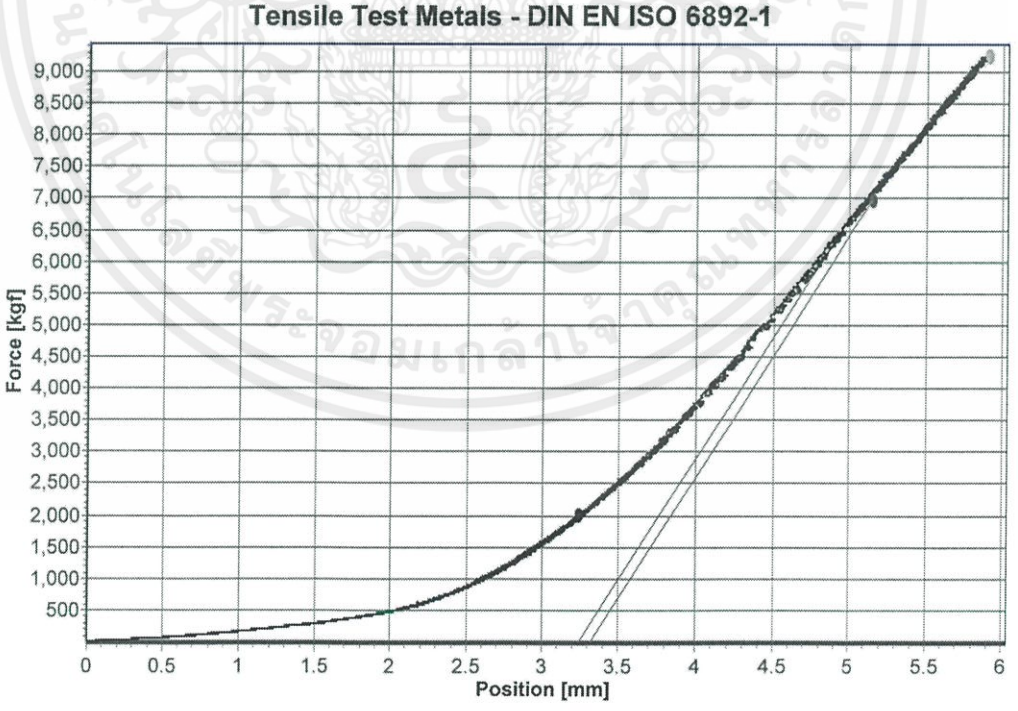


รูป ค38. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

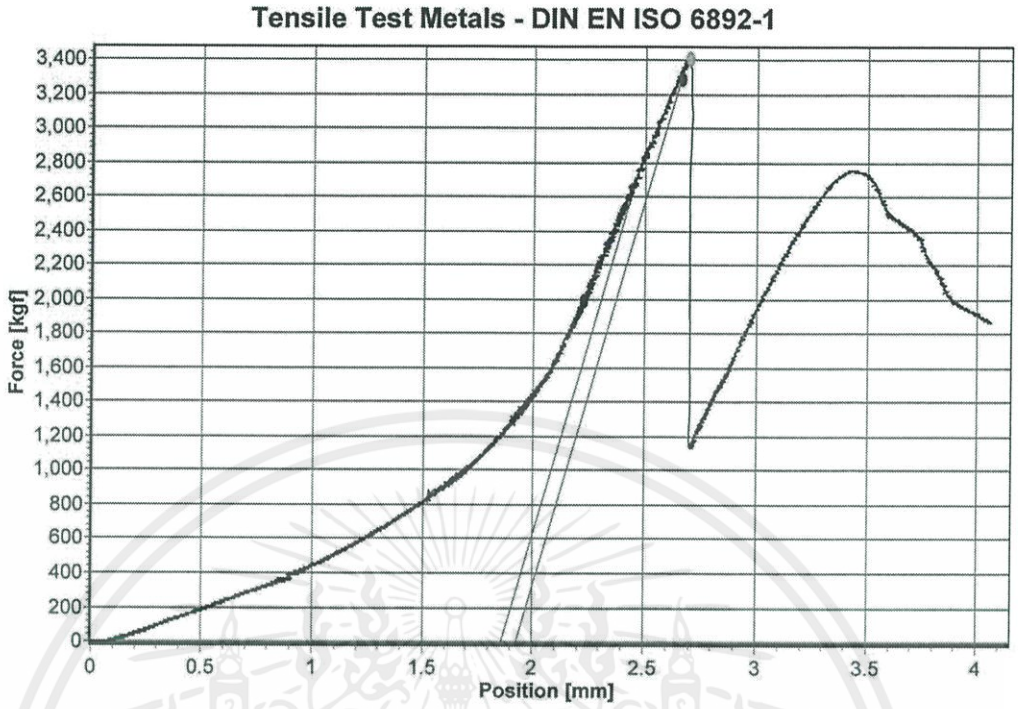


รูป ค39. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่29

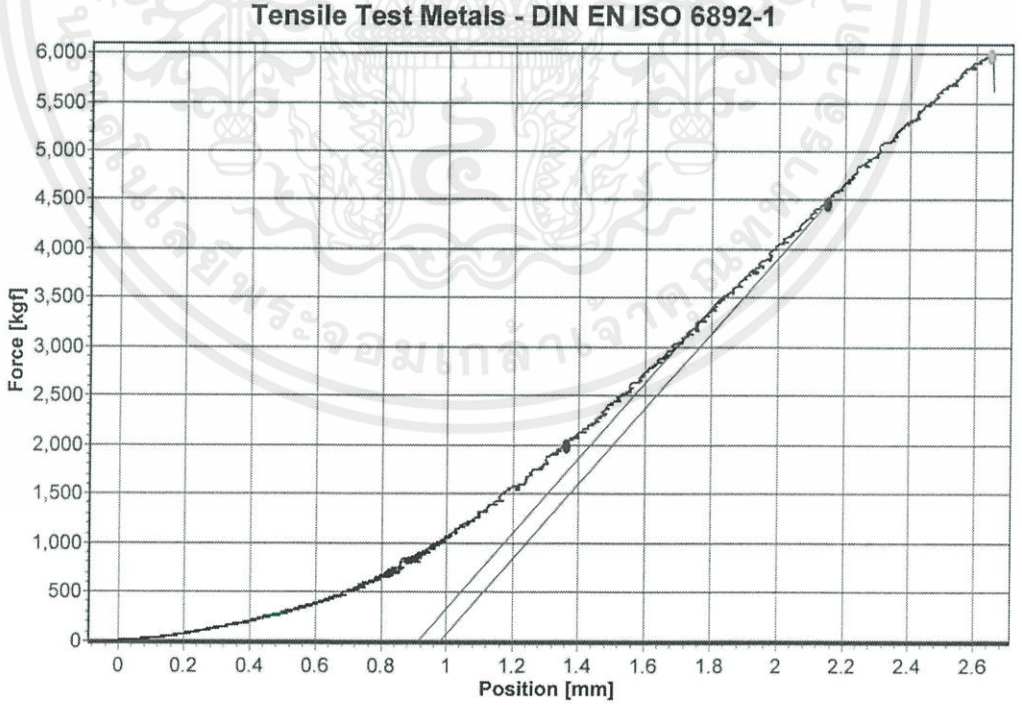


รูป ค40. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

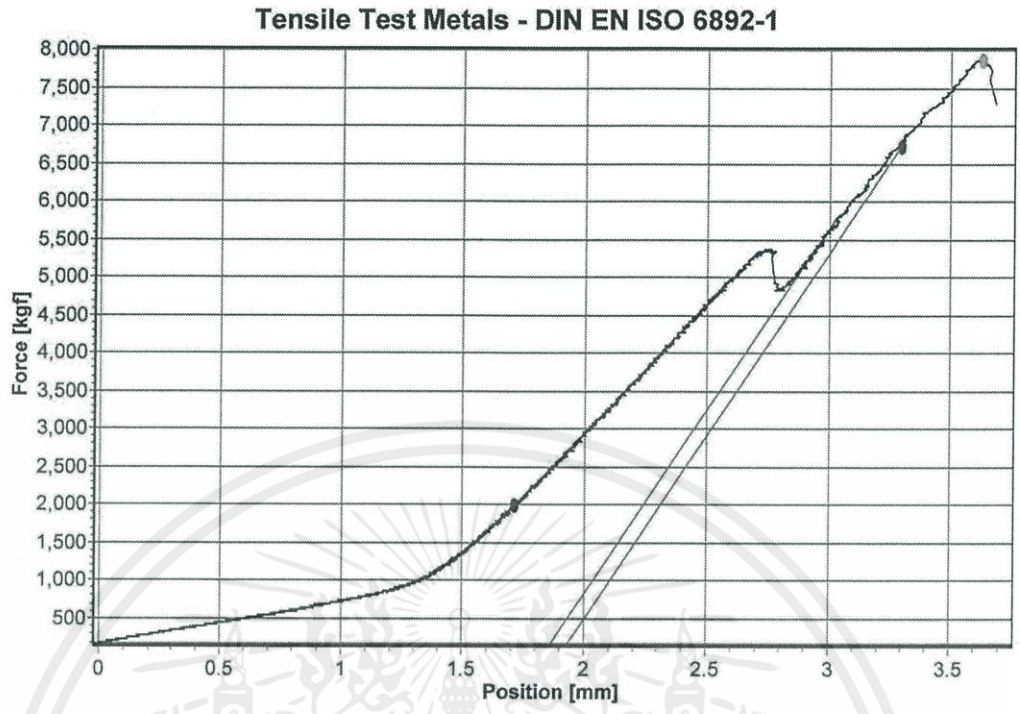


รูป ค41. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่31

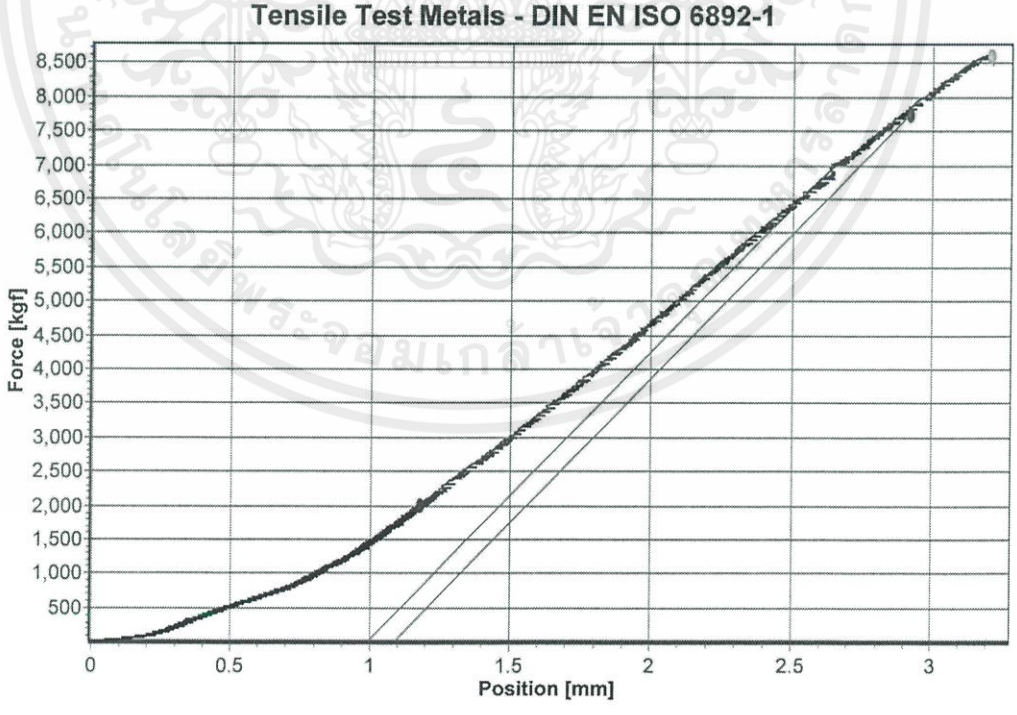


รูป ค42. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

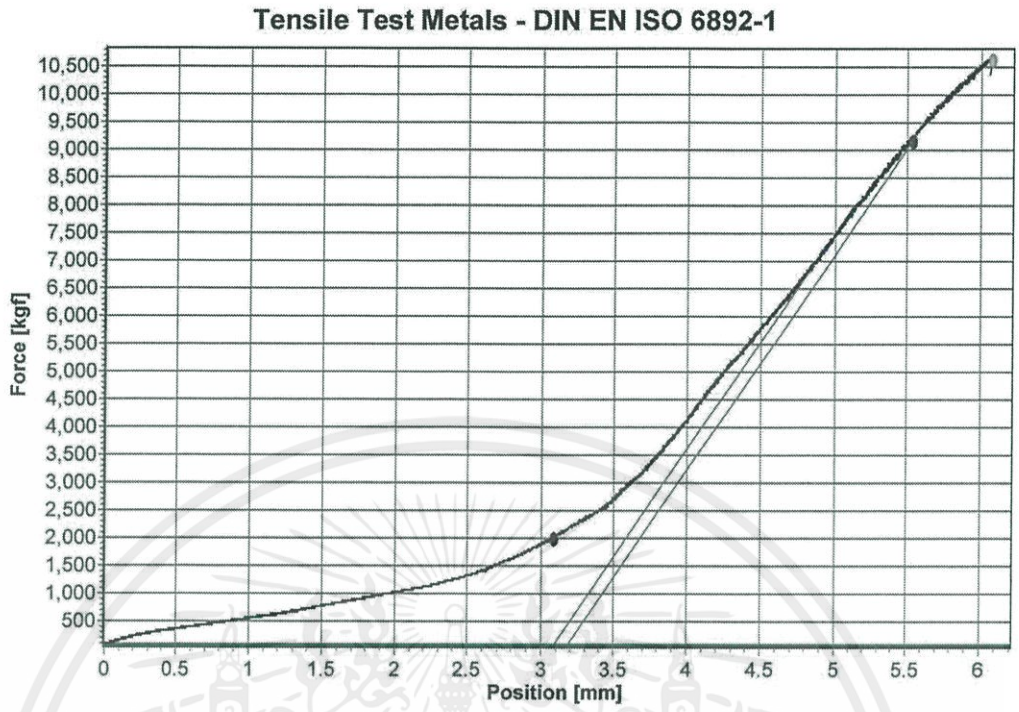


รูป ค43. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่33

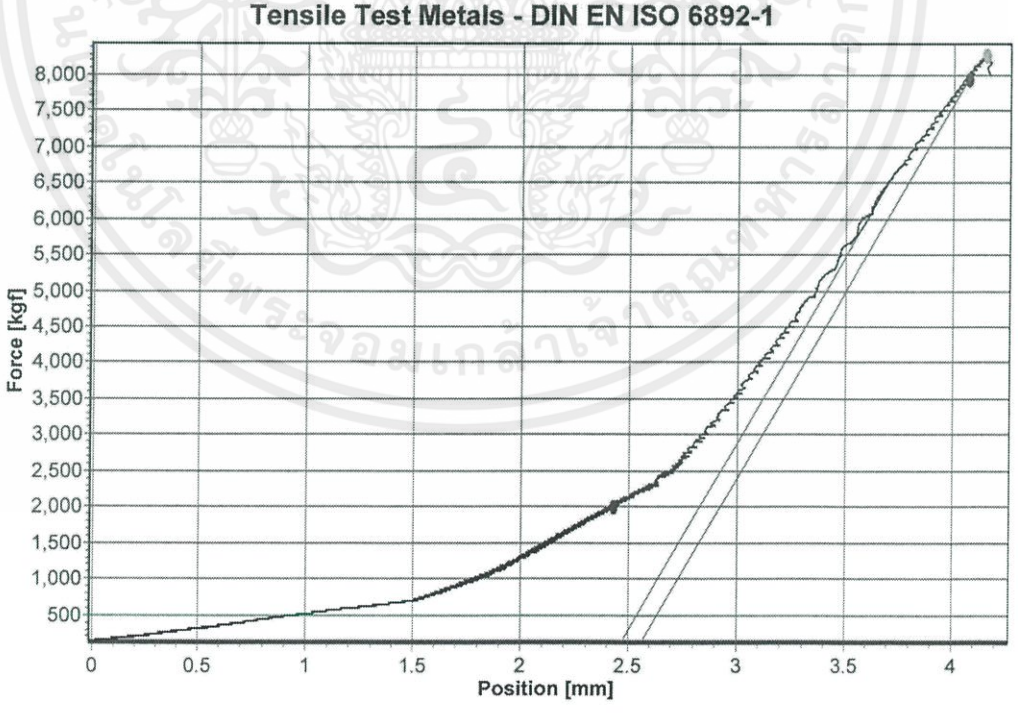


รูป ค44. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค45. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่35



รูป ค46. ผลการดึงทิศทางเดียวเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง25มิลลิเมตรตัวอย่างที่36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ง.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 1

รูป ง.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ง.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 3

รูป จ.4 ผลการดึงเหล็กเปล่า เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตั้วอย่างที่ 1 ถึง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

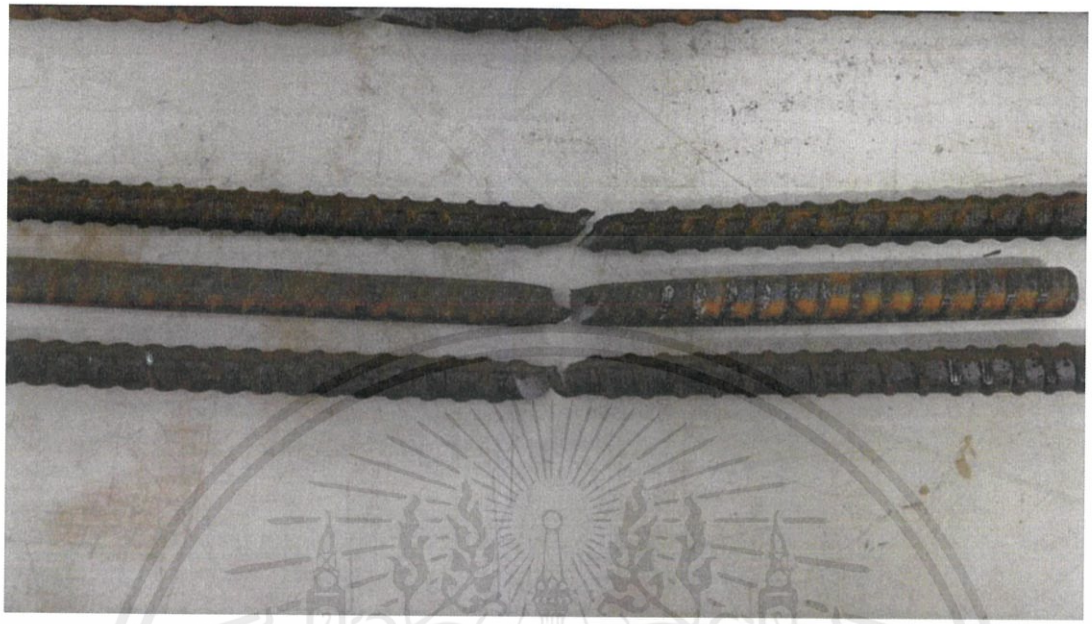
รูป ง.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต รอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบการดึงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ.1 ผลการดึงเหล็กเปล่าเป็นสนิม เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3

รูป จ.2 ผลการดึงเหล็กเปล่าเป็นสนิม เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป จ.3 ผลการดึงเหล็กเปล่า เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3

รูป จ.4 ผลการดึงเหล็กเปล่า เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

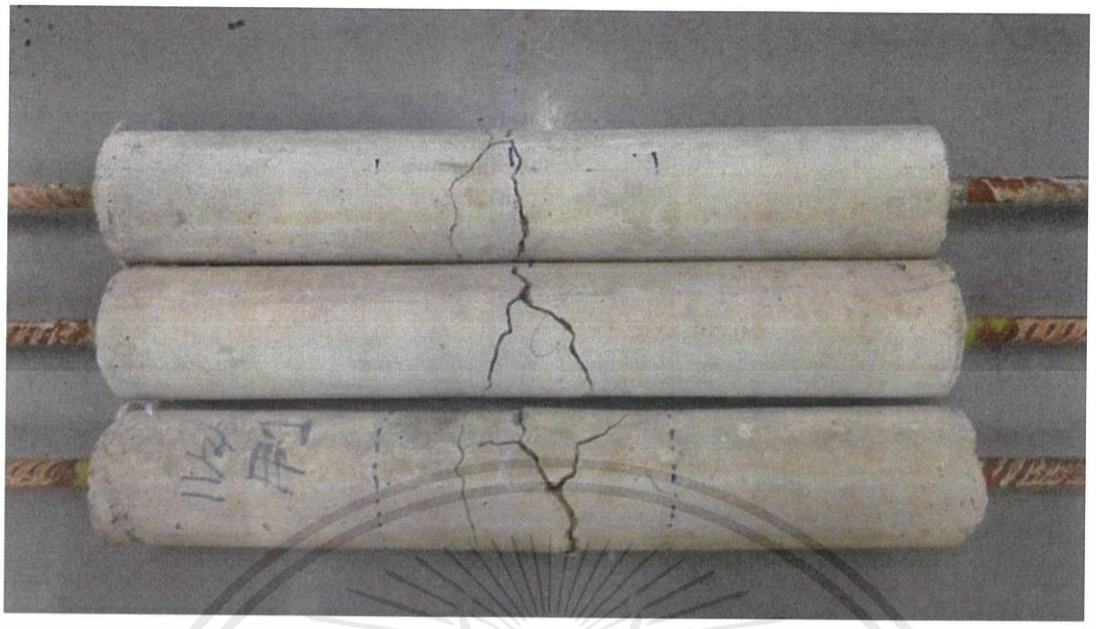
ผลการทดสอบดึงเหล็กสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ฉ.1 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กสนิมขนาด 10 ถึง 1 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 12

รูป ฉ.2 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กสนิมขนาด 10 งถึ 1 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ.3 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 16มิลลิเมตร ตัวอย่าง 3 ถึง 1

รูป ฉ.4 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 6 ถึง 3 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 16

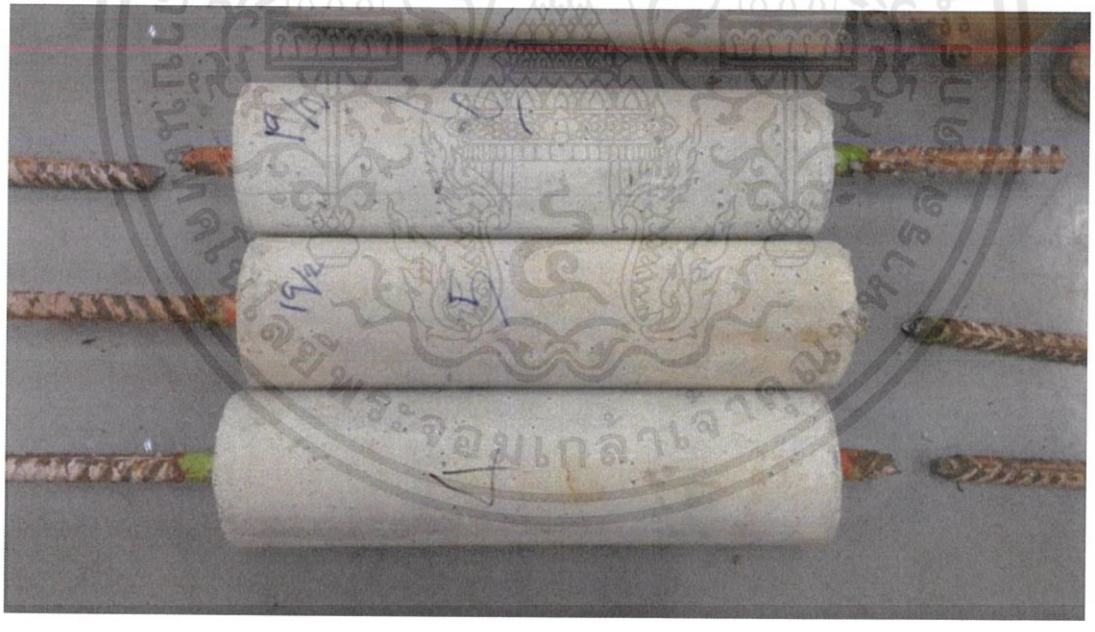
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ฉ.5 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 9 ถึง 7 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 16

รูป ฉ.6 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 12 ถึง 10 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ฉ.7 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 25 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 1 ถึง 3



รูป ฉ.8 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 6 ถึง 4 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ฉ.9 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 9 ถึง 7 วอย่างมิลลิเมตร ตั 25

รูป ฉ.10 ผลการทดสอบดึงสองทิศทาง เหล็กขนาด 12 ถึง 10 มิลลิเมตร ตัวอย่าง 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ผลการทดสอบดึงหนึ่งทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช 1.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 15 ถึง 13

รูป ช 2.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 18 ถึง 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช 3.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 21 ถึง 19

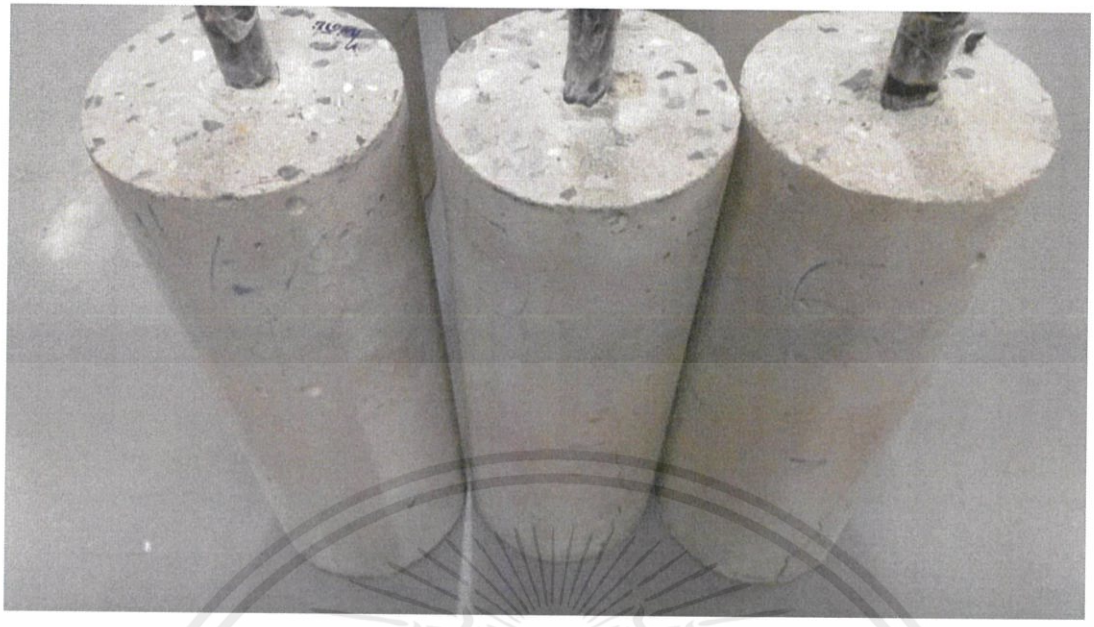
รูป ช 4.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 22 ถึง 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช 5.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 25 ถึง 27

รูป ช 6.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 28 ถึง 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ช 7.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 31 ถึง 33

รูป ช 8.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 34 ถึง 36

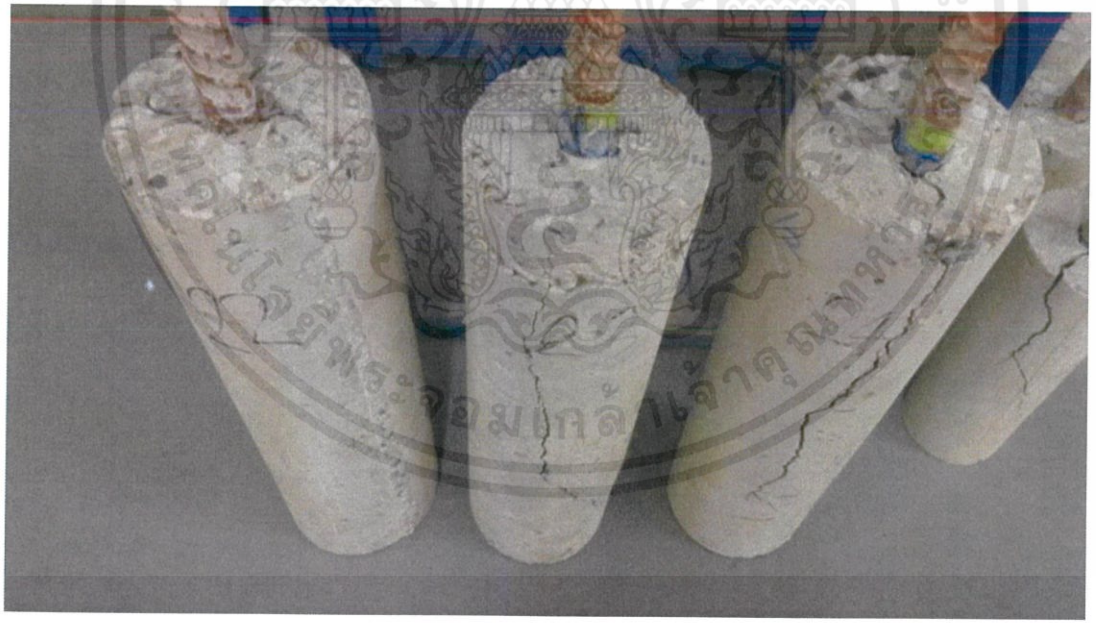
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช 9.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 13 ถึง 15

รูป ช 10.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 16 ถึง 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

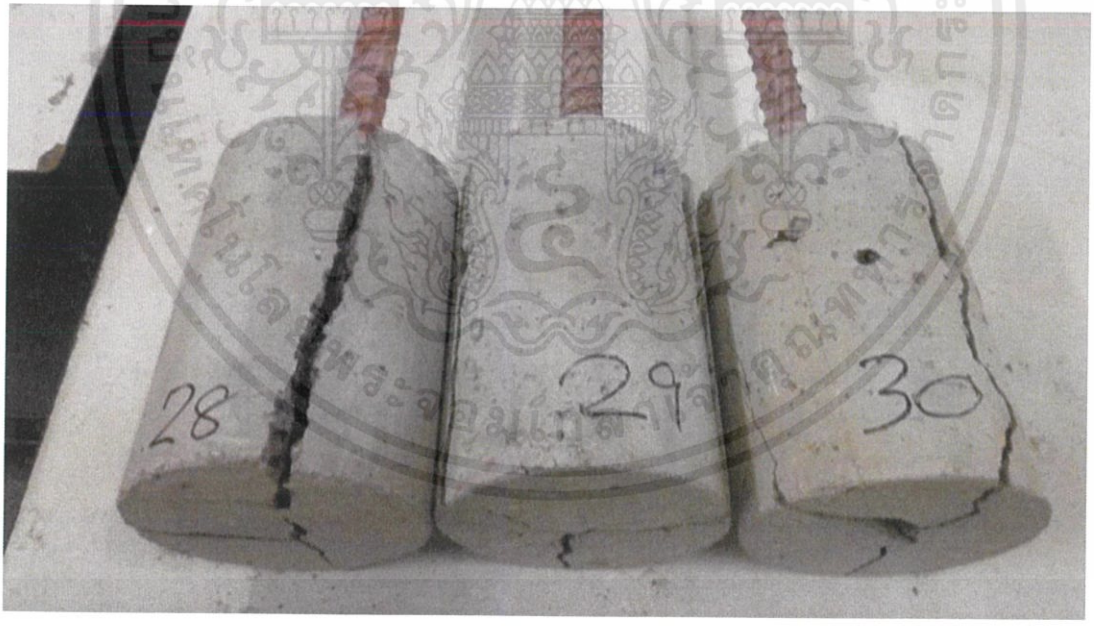
รูป ช 11.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 19 ถึง 21



รูป ช 12.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 22 ถึง 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช 13.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 25 ถึง 27



รูป ช 14.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 28 ถึง 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช 15.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 31 ถึง 33

รูป ช 16.ผลการทดสอบการดึงทิศทางเดียว ตัวอย่างที่ 34 ถึง 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้