



รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรื่อง

การศึกษาทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต
The Tension Test and Analysis of Reinforced Steel Bar

โดย

พงศ์เกียรติ พงษ์ศิริ รหัส 62172110063-6

ปฏิบัติงาน ณ

สำนักงานกรมทรัพยากรน้ำที่ 5 เลขที่ 47

ถนน ราชสีมา-โชคชัย ตำบล หนองบัวศาลา อำเภอเมืองนครราชสีมา

จังหวัด นครราชสีมา 30000

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรายวิชาสหกิจศึกษา

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ-โลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ปีการศึกษา 2566

รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรื่อง

การศึกษาทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต
The Tension Test and Analysis of Reinforced Steel Bar

โดย

พงศ์เกียรติ พงษ์ศิริ รหัส 62172110063-6

ปฏิบัติงาน ณ

สำนักงานกรมทรัพยากรน้ำที่ 5 เลขที่ 47
ถนน ราชสีมา-โชคชัย ตำบล หนองบัวศาลา อำเภอเมืองนครราชสีมา
จังหวัด นครราชสีมา 30000

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรายวิชาสหกิจศึกษา

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ-โลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ปีการศึกษา 2566



หนังสือยินยอมให้เผยแพร่รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เพื่อเป็นการส่งเสริมการพัฒนาการศึกษาของประเทศไทย ข้าพเจ้าในฐานะตัวแทนหน่วยงานหรือ
สถานประกอบการ.....สำนักงานพัฒนาการศึกษาด้านไฟฟ้า 5.....
มีความยินดีให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เผยแพร่เนื้อหาในรายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษาของ
นักศึกษา ในส่วนของ "กิจกรรมที่นักศึกษาสหกิจศึกษาทำรายงาน/โครงการ" "บทคัดย่อ" และ
"ข้อเสนอแนะ ในรายงาน/โครงการ" โดย

☒ ยินยอมให้เผยแพร่

☐ ไม่ยินยอมให้เผยแพร่

☐ ยินยอมให้เผยแพร่บางส่วน โปรดระบุ.....

ลงชื่อ.....

ผู้มีอำนาจกระทำการแทน

(.....(นาย ยี่ ลากสาร).....)

นิติบุคคล/ผู้ประกอบการ

ผู้อำนวยการ.....ผู้อำนวยการที่ ๑ นครราชสีมา รัชการการแทน.....

ผู้อำนวยการสำนักงานทรัพยากรน้ำที่ ๕

ลงชื่อ.....

พยาน

(นางสาวจอมใจ นิยมสุข)

นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ.....

พยาน

(นางสาวนิตยา นิตกลาง)

(เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หมายเหตุ : นักศึกษาใช้แนบในรายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ตามที่สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ 5 ได้ตอบรับนักศึกษาเข้าปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ นายพงศ์เกียรติ พงษ์ศิริ สาขาวิศวกรรมวัสดุ-โลหการ ตั้งแต่วันที่ 19 มิถุนายน 2566 ถึงวันที่ 6 ตุลาคม 2566 ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โดยประจำที่ส่วนสำรวจและออกแบบที่ 1 นครราชสีมา

ข้าพเจ้าได้เข้าปฏิบัติงานสหกิจศึกษาโดยได้รับการมอบหมายงานเพื่อฝึกปฏิบัติประกอบด้วย งานวิเคราะห์ทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต งานทดสอบการรับกำลังอัดของลูกบาศก์คอนกรีต งานสำรวจเจาะดินโดยวิธีการตอกทดลองมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) งานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematic) การเขียนแบบโครงการแหล่งน้ำด้วยโปรแกรม AutoCAD และการจัดทำแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อการฝึกงานสหกิจศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานในการปฏิบัติงานในอนาคตได้อย่างดียิ่ง

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายเชาว์ สวัสดิ์พุทรา ผู้อำนวยการสำนักงานทรัพยากรน้ำที่ 5 ผู้อำนวยการส่วนฯ หัวหน้างาน และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ถ่ายทอดองค์ความรู้ที่หลากหลายให้ข้าพเจ้าในครั้งนี้ ซึ่งมีผลให้การฝึกงานสหกิจศึกษาดังกล่าวประสบความสำเร็จตามเป้าประสงค์ และรายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษาฉบับนี้แล้วเสร็จสมบูรณ์ทุกประการ

พงศ์เกียรติ พงษ์ศิริ

บทคัดย่อ

คุณสมบัติในการรับแรงดึงของเหล็กเส้นที่ใช้ในคอนกรีตเสริมเหล็ก จัดเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากว่าเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนใหญ่จะทำหน้าที่รับแรงดึงถึงแม้ว่าบางครั้งอาจจะใช้รับแรงอัดก็ตาม แต่ถือว่าคุณสมบัติในการรับแรงดึงและแรงอัดมีค่าเป็นอย่างเดียวกันหากไม่เกิดการโก่งเดาะขึ้น ดังนั้นจึงทดสอบเฉพาะคุณสมบัติในการรับแรงดึงเท่านั้น เหล็กเสริมที่ใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมี 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือเหล็กกล้าละมุน ซึ่งคุณสมบัติรับแรงดึงของเหล็กเสริมถูกนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น พื้น บันได คาน เพื่อให้ได้คุณสมบัติต้านทานการรับแรงดึงของเหล็กเสริมตามที่ออกแบบในการก่อสร้างต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเหล็กเสริมที่จะนำมาใช้งานรายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้องของเหล็กเสริมคอนกรีตชนิดต่างๆ รวมทั้ง อธิบายขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐานกำหนด การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ผลการทดสอบ รวมทั้งการสรุปผลและข้อเสนอแนะ ผลสรุปการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะของรายงานฉบับนี้ ได้แก่ ผลการทดสอบค่า Proportional Limit, Yield strength และ Ultimate strength

ความสำคัญ : สมบัติทางกล, โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก, คุณสมบัติในการรับแรงดึง

Abstract

The properties of steel bars used in reinforced concrete are considered crucial and essential mechanical properties. Because steel bars used in reinforced concrete structures primarily bear tensile forces, although they may also be subjected to compressive forces at times. However, the properties of tensile strength and compressive strength are considered identical unless there is a significant deviation. Therefore, testing is specifically focused on the tensile properties of steel bar. There are two types of steel bar used in concrete structures: round bars and deformed bars, which are typically low-carbon or mild steel. The tensile strength properties of steel bar are used in the design of reinforced concrete structures such as slabs, stairs, and beams to achieve the required resistance to tensile forces as per the design specifications. Physical and mechanical properties of the steel bar to be used must be checked during construction. This report is a study and analysis of tensile strength tests of various types of concrete reinforcement steel to determine their relevant mechanical properties. It also explains the testing procedures according to established standards, calculation of relevant parameters, analysis of test results, and provides conclusions and recommendations. The summary of the analysis and recommendations in this report include the results of testing for Proportional Limit, Yield Strength, and Ultimate Strength.

Keywords: Mechanical properties, Reinforced concrete structures, Tensile properties.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของรายงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของรายงาน	2
1.3 ขอบเขตของรายงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต	3
2.2 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	4
2.3 การทดสอบหาขนาดและแรงดึง	5
2.4 เปรียบเทียบเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย	5
2.5 สัญลักษณ์และตัวอักษรต่างๆของเหล็กเส้น	6
2.6 สูตรคำนวณค่ามวลระบุ ร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตร ร้อยละความยืด โมดูลัสยืดหยุ่น หน่วยแรงดึง	8
2.7 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	9
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	12
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	12
3.2 การเตรียมวัสดุและเครื่องมือในการทดสอบ	12
3.3 เหล็กเสริมคอนกรีต	12
3.4 คุณภาพของเหล็กเสริมคอนกรีต	13
3.5 ขั้นตอนการทดสอบและการเตรียมชิ้นงาน	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	17
4.1 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กเส้นกลม และเหล็กข้ออ้อย	17
4.2 สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริมคอนกรีตชนิดเหล็กเส้นกลม และเหล็กข้ออ้อย	19
4.3 คุณสมบัติมาตรฐานเหล็กเสริมคอนกรีต	20
4.4 หนังสือรายงานผลการทดสอบคุณภาพแรงดึงของตัวอย่างวัสดุเหล็ก	21
4.5 ผลการวิเคราะห์ทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต RB และ DB	22
 บทที่ 5 บทสรุปการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	27
เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วัสดุอุปกรณ์	31

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 สรุปผลการทดสอบเหล็กเส้นกลม	22
4.2 ตารางคุณสมบัติมาตรฐานเหล็กเส้นกลม	22
4.3 สรุปผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย	24
4.4 ตารางคุณสมบัติมาตรฐานเหล็กข้ออ้อย	25
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตเปรียบเทียบกับมาตรฐาน	27
5.2 มาตรฐานการวิเคราะห์ทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีต	28

สารบัญรูป

2.1	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต	3
2.2	อุปกรณ์ต่างๆสำหรับการทดสอบแรงดึง	5
2.3	คุณภาพของเหล็กเส้น	6
2.4	สัญลักษณ์ของเหล็กเส้น	7
2.5	ยี่ห้อของเหล็กเส้น	7
2.6	สูตรคำนวณค่ามวลระบุร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตรร้อยละความยืด โมดูลัสยืดหยุ่น หน่วยแรงดึง	9
3.1	ซึ่งน้ำหนักเหล็กเสริมคอนกรีต	14
3.2	วัดความยาวเหล็กเสริมคอนกรีต	14
3.3	แสดงการทำเครื่องหมายความยาวพิกัด และการตอกทำเครื่องหมายความยาวพิกัด	15
3.4	ทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine	15
3.5	วัดความยาวพิกัดระหว่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีต	16
3.6	วิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ของเครื่องทดสอบแรงดึง	16
4.1	ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กเส้นกลม (RB)	17
4.2	ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กข้ออ้อย (DB)	18
4.3	สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริมคอนกรีตชนิดเหล็กเส้นกลม (RB) และเหล็กข้ออ้อย (DB)	19
4.4	ตารางแสดงคุณสมบัติมาตรฐานเหล็กเสริมคอนกรีต	20
4.5	หนังสือรายงานผลการทดสอบคุณภาพแรงดึง	21

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของรายงาน

คุณสมบัติในการรับแรงดึงของเหล็กเส้นที่ใช้ในคอนกรีตเสริมเหล็ก จัดเป็นคุณสมบัติทางกลที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากว่าเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนใหญ่จะทำหน้าที่รับแรงดึงถึงแม้ว่าบางครั้งอาจจะใช้รับแรงอัดก็ตาม แต่ถือว่าคุณสมบัติในการรับแรงดึงและแรงอัดมีค่าเป็นอย่างเดียวกันหากไม่เกิดการโก่งเดาะขึ้น ดังนั้นจึงทดสอบเฉพาะคุณสมบัติในการรับแรงดึงเท่านั้น เหล็กเสริมที่ใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมี 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือเหล็กกล้าละมุน ซึ่งคุณสมบัติรับแรงดึงของเหล็กเสริมถูกนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น พื้น บันได คาน เพื่อให้ได้คุณสมบัติต้านทานการรับแรงดึงของเหล็กเสริมตามที่ยออกแบบในการก่อสร้างต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเหล็กเสริมที่จะนำมาใช้งาน[1]

คุณภาพของเหล็กเสริมคอนกรีต ตามมาตรฐาน มยพ 1103-52, มอก.20 และ มอก.24 เหล็กเส้นกลม (Round Bar, RB) หรือเหล็ก RB6, RB9 ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในชั้นคุณภาพ SR24 เหล็ก 6 มิล หรือ 9 มิล SR24 จะต้องมีกำลังครากไม่น้อยกว่า 235 เมกาสกาล หรือ 2400 กก./ตร.ซม. เหล็ก 6 มิล หรือ 9 มิล SR24 จะต้องมีกำลังดึงประลัยไม่น้อยกว่า 385 เมกาสกาล หรือ 3900 กก./ตร.ซม. เหล็กจะต้องมีความยืดในช่วงความยาว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 21 % สามารถทดสอบคุณภาพของเหล็กด้วยการดัด 90 องศา โดยดัดฉากและให้เส้นผ่านศูนย์กลางวงดัด มีค่าเท่ากับ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก หรือ 18 มิลลิเมตรสำหรับเหล็ก RB6 และ 27 มิลลิเมตรสำหรับเหล็ก RB9 เมื่อทดสอบแล้ว เหล็กจะต้องไม่มีรอยฉีกหรือแตก เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar, DB) หรือเหล็ก DB12, DB16, DB20, DB25 ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในชั้นคุณภาพ SD40 หรือ SD40T เหล็กข้ออ้อย SD40 (SD40T) จะต้องมีกำลังครากไม่น้อยกว่า 390 เมกาสกาล หรือ 4000 กก./ตร.ซม. เหล็ก ข้ออ้อย SD40 (SD40T) จะต้องมีกำลังดึงประลัยไม่น้อยกว่า 560 เมกาสกาล หรือ 5700 กก./ตร.ซม. เหล็กจะต้องมีความยืดในช่วงความยาว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 15% สามารถทดสอบคุณภาพของเหล็กด้วยการดัด 180 องศา โดยดัดฉากและให้เส้นผ่านศูนย์กลางวงดัด มีค่าเท่ากับ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก หรือ 60 มิลลิเมตรสำหรับเหล็ก DB12, 80 มิลลิเมตรสำหรับเหล็ก DB16, 100 มิลลิเมตร สำหรับเหล็ก DB20 และ 125 มิลลิเมตร สำหรับเหล็ก DB25 เมื่อทดสอบแล้ว เหล็กจะต้องไม่มีรอยฉีกหรือแตก[2]

1.2 วัตถุประสงค์ของรายงาน

เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติในการรับแรงดึงของเหล็กเส้นดังนี้

1.2.1 กำลัง (Strength) หน่วยแรงที่พิกัดยืดหยุ่น (Proportional limit) หน่วยแรงที่จุดคราก (Yield strength) หน่วยแรงประลัย (Ultimate strength)

1.2.2 ความเหนียว (Ductility) ร้อยละการยืดในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Elongation)

1.2.3 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

1.3 ขอบเขตของรายงาน

1.3.1 เพื่อทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต

1.3.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain)

1.3.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติทางกลต่างๆ ของวัสดุ ภายใต้แรงกระทำ และรูปแบบของรอยขาด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลถึงหลักการทำงานของเครื่องมือทดสอบและอุปกรณ์ที่จะนำมาทดสอบตัวอย่างเหล็กเสริมคอนกรีต

1.4.2 ดำเนินการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของการทดสอบ

1.4.3 ดำเนินการจัดเตรียมเครื่องมือทดสอบวัสดุและอุปกรณ์

1.4.4 ดำเนินการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบ

1.4.5 ดำเนินการทดสอบแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต (RB, DB)

1.4.6 ดำเนินการวัดค่าระยะห่างระหว่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีตและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

1.4.7 ดำเนินการคำนวณหาค่าระยะห่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีต (RB, DB)

1.4.8 ดำเนินการวิเคราะห์และตรวจผลการทดสอบ

1.4.9 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ค่ากำลังหน่วยแรงที่พิกัดยืดหยุ่นค่าหน่วยแรงที่จุดคราก และหน่วยแรงประลัย

1.5.2 ได้ค่าความเหนียว ค่าร้อยละการยืดหยุ่น

1.5.3 ได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

บทที่ 2

ทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (Reinforced Steel Bar)

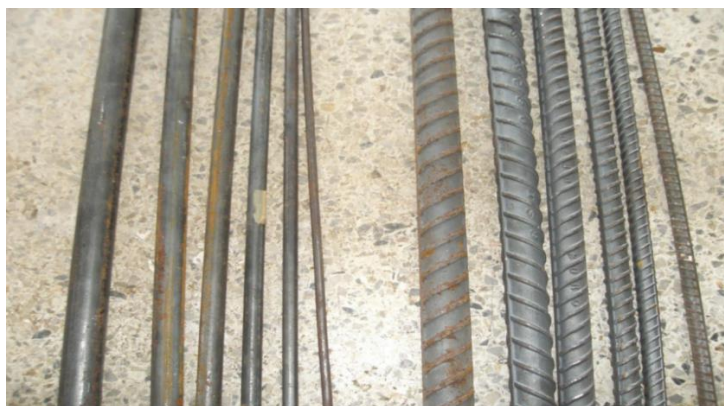
2.1 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (Reinforced Steel Bar) เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ที่พบในงานโครงสร้าง ได้แก่ 1. เหล็กกลมผิวเรียบ (Round Bars) 2. เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars) 3. ลวดเหล็กเสริมคอนกรีตอัดแรง ชนิดเส้นเดี่ยว (P.C. Wire) 4. ลวดเหล็กเสริมคอนกรีตอัดแรง ชนิดตีเกลียว (P.C. Strand Wire) 5. ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต (Wire Mesh)[3]

2.1.1 เหล็กเส้นกลม

เหล็กกลมผิวเรียบ SR24 มีกำลังรับแรงดึงที่จุดคานาไม่น้อยกว่า 2400 ksc.(กก./ตร.ซม.) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ เช่น RB6 (หมายถึง Round Bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.), RB9, RB12, RB15, RB19, RB25 เนื่องจากผิวเหล็กที่มีลักษณะกลมเรียบจึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตไม่ดี จึงต้องมีการขอเพื่อที่จะสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.2 เหล็กเส้นข้ออ้อย

เหล็กข้ออ้อย SD30, SD40, SD50 มีกำลังรับแรงดึงที่จุดคานาไม่น้อยกว่า 3000, 4000, 5000 ksc. ตามลำดับ โดยปกติจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น DB10, DB12 (หมายถึง Deformed Bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม.), DB16, DB20, DB25, DB28, DB32 ผิวของเหล็กเส้นจะมีลักษณะเป็นปล้องเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้เหล็กกับคอนกรีตมากขึ้น คุณสมบัติที่ต้องการ ได้แก่ 1. หาขนาด (ค่ามวลต่อเมตร) 2. หาแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดคานา (Yield Strength) 3. หาแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดสูงสุด (Ultimate Strength) 4. หาความยืด (Elongation)



รูปที่ 2.1 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

2.2 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

2.2.1 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

การทดสอบแรงดึงเป็นวิธีหนึ่งในการกำหนดว่าวัตถุนั้นจะตอบสนองอย่างไรเมื่อถูกแรงดึงหรือแรงกด ไม่ว่าจะเป็นสภาวะปกติหรือเมื่อถูกดึงหรือกด จนกว่าวัตถุนั้นจะเสียหายหรือแตกหักซึ่งแรงดังกล่าวสามารถแบ่งประเภทเป็นแรงดึง แรงกด แรงดัดงอ แรงเฉือนหรือแรงแตกหัก เมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะเกิดไดนามิกขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้สำหรับการทดสอบวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือทดสอบส่วนประกอบของวัตถุ อย่างไรก็ตามถือเป็นเรื่องธรรมดาที่จะวัดความแข็งแรงเชิงกลของวัตถุ โดยการใช้อัตราแรงคงที่หรือมีเปลี่ยนแปลงแรงไปอย่างช้าๆเป็นที่รู้จักชื่อ static หรือ monotonic Mecmesin เรามีความเชี่ยวชาญสำหรับอุปกรณ์การทดสอบวัดแรงแบบ static การวัดแรงแบบ static ถูกใช้แพร่หลายขึ้นโดยผู้ผลิต ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรม ช่วยให้นั่นใจในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ และทำหน้าที่ช่วยทางด้านความปลอดภัยและความเหมาะสมของเป้าหมายทางผลิตภัณฑ์โดยยังสามารถช่วยในการระบุสาเหตุของข้อบกพร่องในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ในกระบวนการผลิต มีส่วนช่วยในการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต

2.2.2 เวอร์เนียแคลิเปอร์ที่มีความละเอียด 0.1 มม. เวอร์เนีย หรือเวอร์เนียแคลิเปอร์ (Vernier Caliper) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำใช้ในการวัดระยะทั้งภายในและภายนอกอย่างถูกต้อง การใช้เวอร์เนียแบบบนาลอก การวัดจะถูกตีความจากสเกล

2.2.3 ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม เครื่องชั่งดิจิทัล, เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดสูง, เครื่องชั่งน้ำหนักมีความแม่นยำสูง, เครื่องชั่งแบบตั้งโต๊ะเครื่องชั่งเอนกประสงค์ สามารถชั่งสิ่งของต่างๆได้ตามต้องการตามที่คุณต้องการ เครื่องชั่งรุ่นนี้มีความแข็งแรงทนทานใช้งานง่าย

2.2.4 ตลับเมตร เครื่องมือช่างสามัญประจำบ้าน เครื่องมือวัดพื้นฐานสำหรับงานช่างทั่วไป งานไม้ งานก่อสร้าง และงานออกแบบ

2.2.5 เครื่องวัดการยืด Extensometer การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงหรือเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ปกติแล้วจะมีการวัดค่าที่สนใจกันมากคือ ค่าแรงดึง (force) เช่น แรงดึงสูงสุด (maximum force), แรงดึงที่จุด yield, แรงดึงที่จุดขาด (breaking force) เป็นต้น และค่าระยะยืดหรือ elongation เช่น ค่าโมดูลัส (young's modulus), ระยะยืดที่จุด yield, ระยะยืดที่จุดขาด, และระยะยืดที่จุดใดๆ แต่เนื่องจากชิ้นงานแต่ละชิ้นทำจากวัสดุที่แตกต่างกันบ้างเป็นเหล็ก พลาสติก ยาง คอมโพสิต ทำให้คุณสมบัติของชิ้นงานแตกต่างกันไป และคุณสมบัติการยืดหยุ่นก็แตกต่างกันด้วย เช่น ยืดมาก (ยาง) ยืดน้อยมากๆ (เหล็กกล้า) ดังนั้นแล้ว การเลือกอุปกรณ์ในการวัดระยะยืด (extensometer) นั้นสำคัญที่ความละเอียดและช่วงในการใช้งาน รวมถึงข้อจำกัดของลักษณะชิ้นงานด้วย

2.2.6 สลักตอกระยะพิกัด (Gauge Length) เป็นเครื่องมือใช้ตอกรอยบากลงบนชิ้นงานเพื่อทำรอยมาร์คก่อนนำเหล็กไปทดสอบ แรงดึง



รูปที่2.2 อุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทดสอบแรงดึง

2.3 การทดสอบหาขนาดและแรงดึง

2.3.1 ชั่งน้ำหนัก (กิโลกรัม) และ ความยาว (เมตร)

2.3.2 สลักตอกระยะพิกัด 5 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก

2.3.3 นำชิ้นงานทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ

2.3.4 แรงดึงทดสอบไม่เกิน 3 กก./ตร.มม./วินาที

2.3.5 บันทึกค่าจุดคูลาก (Yield Strength) และ แรงดึงที่จุดสูงสุด (Ultimate Strength)

2.3.6 นำชิ้นทดสอบต่อกันเพื่อหาความยืด (Elongation)

2.4 เปรียบเทียบเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย

2.4.1 เหล็กเส้นกลม (Round Bar) ช่างโดยทั่วไปมักเรียกกันว่าเหล็ก RB มีลักษณะภายนอกจะมีผิวเรียบเกลี้ยง หน้าตัดกลม ซึ่งที่มีขายกันอยู่ทั่วไป ใช้ในการยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต ต้องมีการงอ เพื่อที่จะสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนมากจะใช้สำหรับงานโครงสร้าง เช่น ปλοกเสา ปลอกคาน ถนน งานก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง เป็นต้น เหล็กชนิดนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6-25 มิลลิเมตร สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมในการใช้งาน ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.20-2559 ชั้นคุณภาพของเหล็กประเภทนี้คือ SR24 ที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้คือ เหล็ก Tata tisco, บลท, RSM, TDC- RB6 (เหล็กเส้นกลม 2 หุน) ใช้สำหรับงานก่อสร้างที่

รับแรงไม่มาก นิยมใช้ทำปอกเสา และปอกคาน RB9 (เหล็กเส้นกลม 3 หุน) ใช้สำหรับงานก่อสร้างที่รับแรงไม่มาก คล้ายกับเหล็กเส้นกลม 2 หุน RB12 (เหล็กเส้นกลม 4 หุน) ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป แต่ไม่เน้นงานยึดเกาะ เพราะเหล็กมีลักษณะเรียบมน ทำให้ยึดเกาะปูนไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนมากนิยมใช้กับงานกลึง เช่น งานกลึงหัวน็อตต่างๆ RB19 ใช้สำหรับงานทำถนน RB25 ใช้ทำเป็นเหล็กสตัท เกรียวแรง สำหรับงานยึดโครงป้ายขนาดใหญ่สามารถรับแรงและน้ำหนักได้ดี

2.4.2 เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) เป็นเหล็กที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างเสริมคอนกรีตที่ต้องการโครงสร้างแข็งแรง เช่น อาคารสูง คอนโดมิเนียม ถนนคอนกรีต สะพาน เขื่อน สนามบิน บ่อ หรือสระน้ำ เป็นต้น มีลักษณะเป็นเส้นกลมที่มีบั้ง ผิวของเหล็กจะมีลักษณะเป็นปล้องๆ อยู่ตลอดเส้น เหล็กข้ออ้อยจะรับแรงได้มากกว่าเหล็กเส้นกลมเรียบ จะให้ผลที่ดีต่อการรับน้ำหนักมากกว่า การเลือกใช้ชนิดของเหล็กเส้นข้ออ้อย SD30, SD40, และ SD50 ขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างเป็นสำคัญ โดยเหล็กข้ออ้อยจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขายโดยทั่วไปคือ 12 และ 16 มม. สำหรับขนาดอื่นได้แก่ 10, 20, 25 และ 28 มม. ต้องสั่งซื้อพิเศษ โดยเหล็กข้ออ้อยแต่ละขนาดจะมีความยาวอยู่ที่ 10 และ 12 เมตรเช่นเดียวกับเหล็กเส้นกลม[4]

2.5 สัญลักษณ์และตัวอักษรต่างๆของเหล็กเส้น

2.5.1 ชั้นคุณภาพของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต



รูปที่ 2.3 คุณภาพของเหล็กเส้น

2.5.2 สัญลักษณ์ของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์ของเหล็กเส้น

2.5.3 ยี่ห้อของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต



รูปที่ 2.5 ยี่ห้อของเหล็กเส้น

2.6 สูตรคำนวณค่ามวลระบุ ร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตร ร้อยละความยืด โมดูลัส ยืดหยุ่น หน่วยแรงดึงแสดงดังรูปที่ 2.6

1. มวลระบุ (W) คำนวณได้จาก

$$W = \frac{0.00785 \pi d^2}{4} \quad (4-1)$$

เมื่อ W คือมวลระบุ (kg/m)
 d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ (mm)
 (เหล็กเสริมมีค่าหน่วยน้ำหนัก 7,850 kg/m³)

2. ร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตร

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (4-2)$$

เมื่อ M คือร้อยละของความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตร
 W_1 คือมวลระบุ (kg/m)
 W_2 คือมวลต่อเมตร (kg/m)

3. หน่วยแรงดึงที่จุดพิักัดยืดหยุ่น (Tensile strength at proportional limit)

เป็นตำแหน่งสุดท้ายที่แรงดึงยังคงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ซึ่งตรงกับความสัมพันธ์ตามกฎของฮุก

4. หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (yield strength)

เป็นตำแหน่งที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร เหล็กเส้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างรวดเร็วโดยมีค่าหน่วยแรงดึงมีค่อนข้างคงที่

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A} \quad (4-4)$$

เมื่อ σ_y คือ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (ksc)
 P_y คือ แรงดึงที่จุดคราก (kg)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดก่อนการทดสอบ (cm²)

5. หน่วยแรงประลัย (Ultimate tensile strength)

เป็นจุดรับแรงดึงสูงสุด (maximum point) คือ จุดที่วัสดุรับแรงดึงได้สูงสุดก่อนที่วัสดุจะเกิดคอคอดขึ้นที่พื้นที่หน้าตัด

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \quad (4-5)$$

เมื่อ σ_u คือ หน่วยแรงดึงที่จุดสูงสุด (ksc)
 P_u คือ แรงดึงที่จุดสูงสุด (kg)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดก่อนการทดสอบ (cm²)

6. ร้อยละของความยืด (percent of elongation)

$$PE = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (4-6)$$

- เมื่อ PE คือ ร้อยละของความยืด
 L_0 คือ ความยาวเดิมมีค่าเท่ากับ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง 5D
 L_f คือ ความยาวในช่วง L_0 หลังจากเหล็กขาดแล้ว

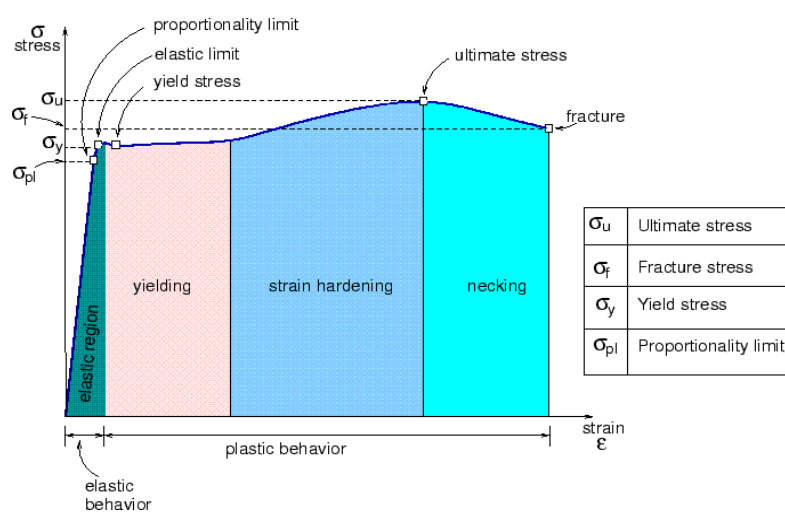
7. โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (4-8)$$

- เมื่อ E คือ ร้อยละของความยืด
 $\Delta \sigma$ คือ การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงดึงในช่วงพิกัดยืดหยุ่น (ksc)
 $\Delta \epsilon$ คือ การเปลี่ยนแปลงของความเครียดในช่วงไม่เกินพิกัดยืดหยุ่น

รูปที่ 2.6 สูตรคำนวณค่ามวลระบุ ร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตร ร้อยละความยืด โมดูลัสยืดหยุ่น หน่วยแรงดึง

2.7 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผศ. ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว[5] การรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ เหล็กข้ออ้อย ลวดเหล็กกล้า และลวดเหล็กกล้าตีเกลียว โดยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์ประเภทแสดง รายละเอียด ในการวิเคราะห์และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการออกแบบกำลังประลัย (Ultimate strength design, USD) กำลังประลัยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กมีค่ามากเกินไป กว่าขีดอีลาสติก ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวจะไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งแตกต่าง ไปจากวิธีการออกแบบหน่วยแรงใช้งาน (Working stress design, WSD) ที่หน่วยแรงที่เกิดขึ้นใน คอนกรีตและเหล็กยังอยู่ในช่วงอีลาสติก ทั้งนี้การวิเคราะห์และออกแบบโดยวิธีการ ออกแบบกำลังประลัย มีสมมติฐานคือ 1) ระยะเวลาของหน้าตัดก่อนการดัดยังคงเป็นระยะหลังการดัด โดยมีการยืดหดตัวเป็น สัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน (Neutral axis) 2) คอนกรีตรับแรง ดึงได้น้อยมากจึงไม่คิดกำลัง รับแรงดึงคานคอนกรีต 3) คอนกรีตและเหล็กเสริมยึดเกาะกันดีมาก ดังนั้นการยืดหดตัวของเหล็กและ คอนกรีตจะเท่ากันที่จุดเดียวกัน 4) คอนกรีตเสริมเหล็กจะวิบัติเมื่อ คอนกรีตมีหน่วยการหดตัว (ϵ_{cu}) เท่ากับ 0.0035) การกระจายตัวหน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่ สภาวะประลัยที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้ใช้การ กระจายหน่วยแรงเทียบเท่าในการคำนวณ และ 6) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (σ_s) และความเครียด (ϵ_s) ของเหล็กเสริม แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงความสัมพันธ์ก่อนเกิดการครากและช่วงหลังจากเกิดการคราก อย่างไรก็ตามในการใช้ลวด เหล็กกล้าและลวดเหล็กกล้าตีเกลียวโดยไม่ใส่แรงดึงลวดทั้งสองประเภท แทนเหล็กข้ออ้อยในคาน คอนกรีตเสริม นั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าพฤติกรรมการรับแรงดัดของคาน ประเภทนี้จะเป็นไปตาม สมมติฐานข้างต้นหรือไม่ และการออกแบบคานประเภทนี้ควรใช้วิธีใดในการออกแบบ ดังนั้นการ วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เป็นแนวทางหนึ่งที่น่านำมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับ แรงดัดในเบื้องต้น รวมถึงการศึกษาเชิงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการรับแรงดัดของคาน กระบวนการแก้ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ 1. กระบวนการ ขั้นต้น (pre-processor) เป็นการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของตัวอย่างที่ต้องการ วิเคราะห์ พฤติกรรม เช่น แรง หน่วยแรง ความเค้น ความเครียด ระยะแอนตัว เป็นต้น 2. กระบวนการ 6 วิเคราะห์ (analysis) ด้วยโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ เป็นขั้นตอนการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์โดย โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ปัญหา 3. กระบวนการแสดงผลการวิเคราะห์ (post-processor) ผลลัพธ์ที่ เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้วจะประกอบด้วยผลลัพธ์ทางตัวเลขเป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการ เลือกให้โปรแกรมแสดงผลการวิเคราะห์ตามที่ต้องการ

สมชาย ประยงค์พันธ์ , กฤษณะ จันทระโชติ [6]ปริมาณการยืดตัวหรือ Elongation ของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีต มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของโครงสร้างโดยตรง ปริมาณการยืดตัวของเหล็กเสริมวัดได้ในขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของ เหล็กเส้นมาตรฐานของการทดสอบกำหนดให้ทำการวัดค่า Elongation ในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางจากจุดที่เหล็กขาดจากกันเมื่อรับแรงดึง โดยผู้ทดสอบต้องทำการกำหนดระยะ Gauge Length บนตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบ เหล็กที่นำมาทดสอบเป็นเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กประกอบด้วย RB6 RB9 DB12 และ DB16 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการยืดตัวของเหล็กมีค่ามากที่สุดอยู่ระหว่าง 58.00 ถึง 62.33% ในช่วง 1 เซนติเมตรจากบริเวณที่เหล็กขาด และลดลงจนมีปริมาณการยืดตัวอยู่ระหว่าง 22.30 ถึง 33.22 % ที่ระยะ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง นอกจากนี้ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ช่วงระยะการยืดตัว 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ปริมาณการยืดตัวจะมีค่าน้อยกว่าในช่วงระยะการยืดตัว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของความยาว ช่วงที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบ โดยมีผลต่างเฉลี่ย 6.91% และผลการศึกษาพบว่าการกำหนดช่วง Gage Length ลงบนตัวอย่างที่ 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการทดสอบจะทำให้ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษากระบวนการทดสอบการรับแรงดึงเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (RB, DB)
- 3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.3 ดำเนินการเตรียมเครื่องมือทดสอบวัสดุและอุปกรณ์
- 3.1.4 ดำเนินการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบ
- 3.1.5 ดำเนินการทดสอบแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต (RB, DB)
- 3.1.6 ดำเนินการวัดค่าระยะห่างระหว่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีต (RB, DB)
- 3.1.7 ดำเนินการคำนวณหาค่าระยะห่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีต (RB, DB)
- 3.1.8 ดำเนินการวิเคราะห์ผลการทดสอบ
- 3.1.9 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

3.2 การเตรียมวัสดุและเครื่องมือในการทดสอบ

- 3.2.1 ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
- 3.2.2 ตลับเมตร
- 3.2.3 สลักต่อกระยะพิกัด
- 3.2.4 เวอร์เนียร์แคลิเปอร์ที่มีความละเอียด 0.1 มม.
- 3.2.5 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3.3 เหล็กเสริมคอนกรีต

3.3.1 เหล็กเส้นกลม คือ เหล็กเส้นที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปกลม มีผิวเรียบเกลี้ยง เหล็กเส้นกลมตามมาตรฐาน มอก. 20-2527 ทำจากเหล็กแท่งเล็ก (billet) เหล็กเส้นใหญ่ (bloom) หรือ เหล็กแท่งหล่อ (ingot) โดยตรง ด้วยกรรมวิธีรีดร้อนโดยไม่เคยมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่นมาก่อน มีขนาด 6, 9, 12, 15, 19, 22, 25, 28 และ 34 มิลลิเมตร ความยาว 10 หรือ 12 เมตร มีชั้นคุณภาพเดียว ใช้สัญลักษณ์ SR 24 ชื่อขนาดใช้สัญลักษณ์ RB แล้วตามด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้นๆ เหล็กทุกเส้นจะต้องมีชื่อหรือเครื่องหมายการค้าของผู้ผลิตและชื่อขนาดหล่อเป็นตัวนูนติดกับผิวเหล็ก ชื่อหรือเครื่องหมายการค้าของผู้ผลิตจะต้องห่างจากชื่อ ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ตัวอย่างเช่น เหล็กเส้นกลมขนาด 12 มิลลิเมตร ของบริษัทเหล็กสยาม จำกัด ดังนั้น

เหล็กเส้นกลมขนาดนี้ทุกเส้นจะมีตัวอักษรว่า บลส. ตราช้าง และ RB 12 หล่อเป็นตัวนูนติดกับผิวของเหล็กเส้นทุกเส้น เหล็กเส้นชนิดนี้นิยมใช้กันมากที่สุดกับงานก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง

3.3.2 เหล็กข้ออ้อย คือ เหล็กเส้นที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปกลม มีบั้ง (transverse ribs) และอาจมีครีป (longitudinal ribs) ที่ผิว เพื่อเสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต เหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน มอก. 24-2527 ทำจากเหล็กชนิดเดียวกัน และด้วยกรรมวิธีเดียวกันกับเหล็กเส้นกลม มีขนาด 10, 12, 16, 20, 22, 25, 28 และ 32 มิลลิเมตร ความยาว 10 หรือ 12 เมตร มี 3 ชั้นคุณภาพ ใช้สัญลักษณ์ SD 30, SD 40 และ SD 50 ชื่อขนาดใช้สัญลักษณ์ DB แล้วตามด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้นๆ เหล็กทุกเส้นจะมีชื่อเรียกหรือเครื่องหมายการค้าของผู้ผลิตและชื่อขนาด หล่อเป็นตัวนูนติดกับผิวเหล็กเช่นเดียวกับเหล็กเส้นกลม และเหล็กรีดซ้ำ เหล็กเส้นชนิดนี้เนื่องจากให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับเนื้อคอนกรีตได้ดีกว่า 2 แบบแรก จึงนิยมนำไปใช้กับงานก่อสร้างที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ

3.3.3 ตะแกรงเหล็กไวร์เมช (Wire Mesh) หรือ ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต ผลิตโดยการนำลวดเหล็กรีดเย็น (Cold Drawn Steel Wire) รองรับแรงดึงสูง โดยอาร์คด้วยไฟฟ้า ที่ทำให้จุดเชื่อมทุกจุดเชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกัน จากเครื่องจักรระบบอัตโนมัติ ที่มีความละเอียดสูง สามารถตัดเป็นแผง/ม้วน ได้ตามต้องการโดยไม่เสียเศษ ใช้แทนการผูกเหล็กเส้นธรรมดาทั่วไปได้เป็นอย่างดี ประหยัดทั้งเวลาและค่าแรงงานได้มากกว่า 80% และมีความสม่ำเสมอของตะแกรงที่แน่นอน ตะแกรงเหล็กไวร์เมช มีทั้งเส้นกลม และผิวข้ออ้อย ขนาดมาตรฐานตั้งแต่ 4.00 – 6.00 มม. รับแรงดึงได้ไม่ต่ำกว่า 5500 KSC. ซึ่งสามารถสั่งทำได้ตามขนาดที่ต้องการ ผลิตหน้ากว้าง 2.00 - 3.50 ม. และความยาว 25 - 50 ม.

3.4 คุณภาพของเหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเสริมคอนกรีตเป็นองค์ประกอบหลักของการทำคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กที่ใช้คือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน (Hot-Rolled process) โดยมีปริมาณคาร์บอนเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0-0.3% ซึ่งเหล็กที่ผลิตมาจากโรงงานต่างๆ อาจจะมีคุณภาพไม่เท่ากัน

3.5 ขั้นตอนการทดสอบและการเตรียมชิ้นงาน

3.5.1. นำเหล็กเสริมคอนกรีตมาชั่งด้วยตาชั่ง ชั่งด้วยละเอียด 0.1 กรัมเพื่อหาน้ำหนักของเหล็กเสริมคอนกรีตแต่ละเส้น



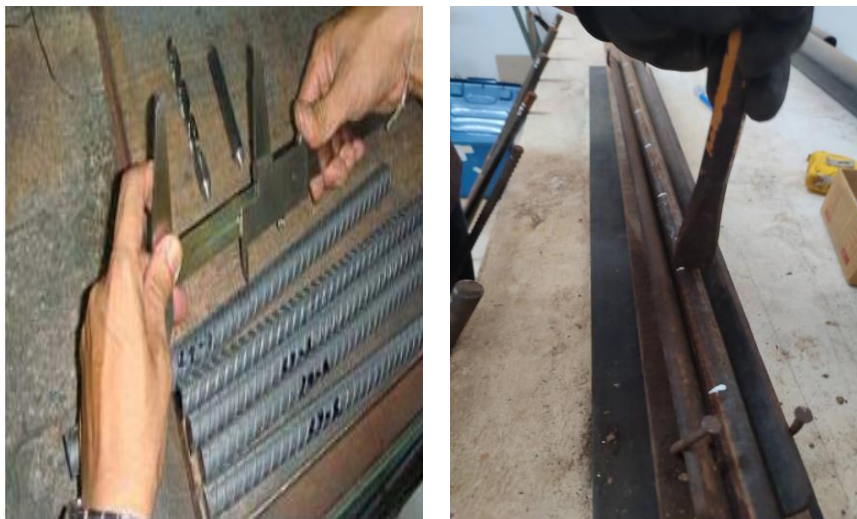
รูปที่ 3.1 ชั่งน้ำหนักเหล็กเสริมคอนกรีต

3.5.2. จากนั้นนำเหล็กเสริมคอนกรีตมาวัดความยาวด้วยตลับเมตรเพื่อหาความยาวของเหล็กเสริมคอนกรีตโดยความยาวตามมาตรฐานที่กำหนดของเหล็กจะต้องมีความยาวอยู่ที่ 1 เมตร



รูปที่ 3.2 วัดความยาวเหล็กเสริมคอนกรีต

3.5.3 ทำเครื่องหมายความยาวพิกัด (gauge length) ให้ความยาวพิกัดมีขนาด 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางระบุโดยจับขึ้นทดสอบด้วยปากกาจับขึ้นงานและวัดความยาวพิกัดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ตอกหาเครื่องหมายด้วยเหล็กตอกให้ชัดเจน



รูปที่ 3.3 แสดงการทำเครื่องหมายความยาวพิกัด และการตอกหาเครื่องหมายความยาวพิกัด

3.5.4 จากนั้นนำเส้นเหล็กเสริมคอนกรีตไปทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine



รูปที่ 3.4 ทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3.5.5 จากนั้นนำเส้นเหล็กเสริมคอนกรีตที่ดึงจนขาดแล้วมาทำการวัดความยาวพิกัดระหว่างรอยขาดด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์ที่มีความละเอียด 0.1 มม.



รูปที่ 3.5 วัดความยาวพิกัดระหว่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีต

3.5.6 นำค่าจากการวัดความยาวพิกัดระหว่างรอยขาดของเหล็กเสริมคอนกรีตที่วัดได้นำข้อมูลใส่ลงในคอมพิวเตอร์ของเครื่องทดสอบแรงดึงแล้วจะได้ผลของการทดสอบ

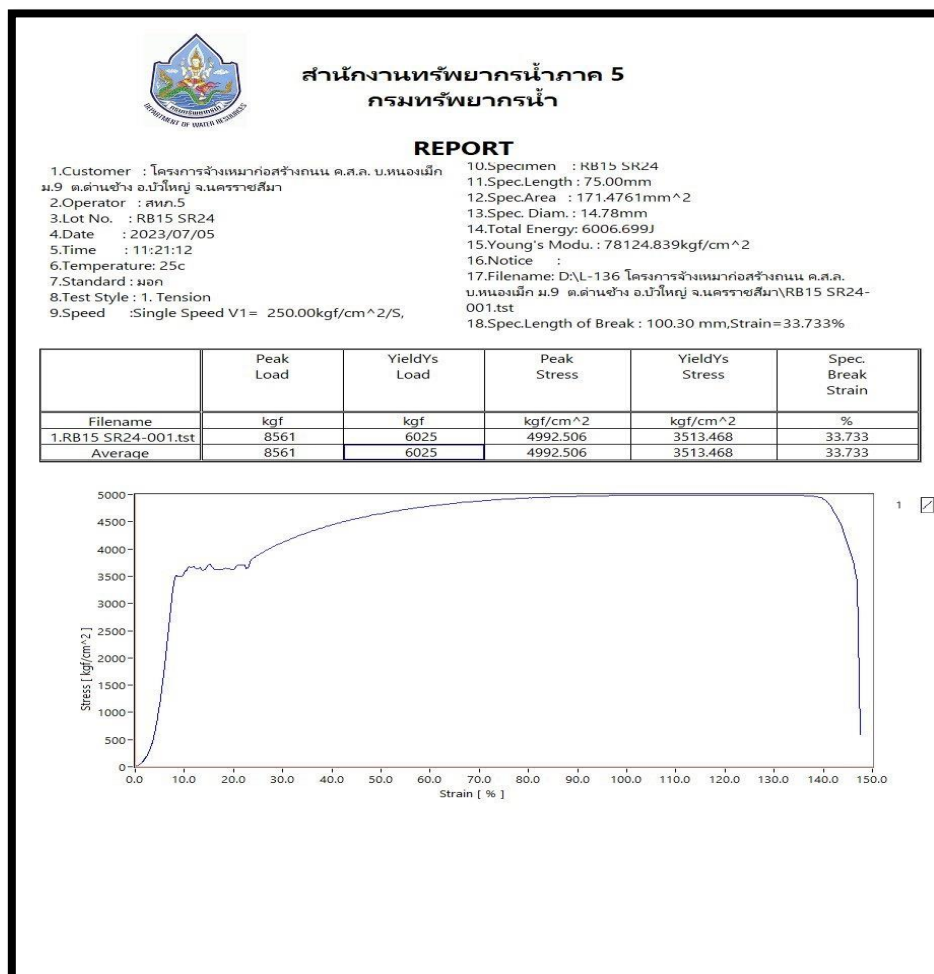


รูปที่ 3.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ของเครื่องทดสอบแรงดึง

บทที่ 4

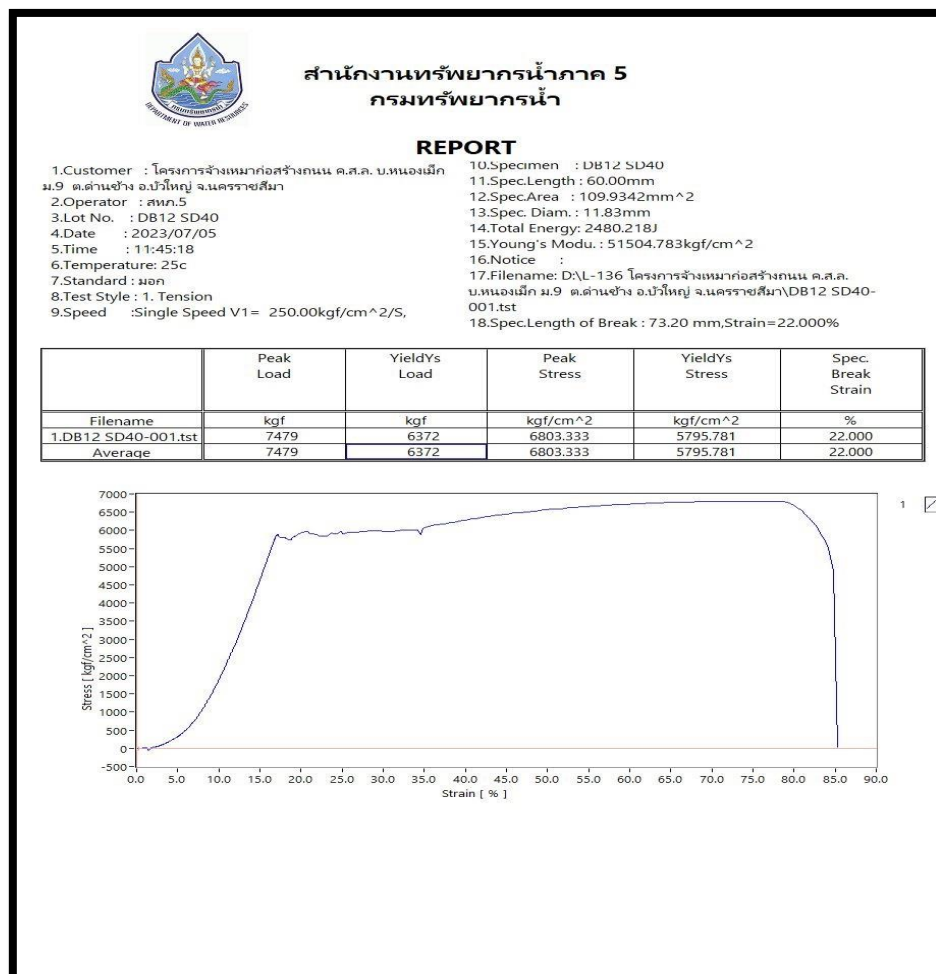
ผลการทดสอบ

4.1 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กเส้นกลม (RB) และเหล็กข้ออ้อย (DB)



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กเส้นกลม (RB)

จากรูปที่ 4.1 เป็นผลการทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (RB หรือ Round Bars) มีขนาด 15 มม.รับแรงดึงสูงสุด 8,561 kg รับแรงดึงที่จุดคาน 6,025 kg ความเค้นสูงสุด 4992.506 kg/cm² ความเค้นที่จุดคาน 3513.468 kg/cm² และมีความยืดในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง 33.733 %



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีตของเหล็กข้ออ้อย (DB)

จากรูปที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต เหล็กเส้นกลมข้ออ้อย (DB หรือ Deformed Bars) มีขนาด 12 มม. รับแรงดึงสูงสุด 7,479 kg รับแรงดึงที่จุดคาน 6,372 kg ความเค้นสูงสุด 6803.333 kg/cm² ความเค้นที่จุดคาน 5795.781 kg/cm² และมีความยืดในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.000 %

4.3 คุณสมบัติมาตรฐานเหล็กเสริมคอนกรีต

กรมทรัพยากรน้ำ

สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ 5 นครราชสีมา

ส่วนสำรวจและออกแบบที่ 1 นครราชสีมา

ตารางคุณสมบัติมาตรฐานเหล็ก

ขนาดระบุ	น้ำหนัก (กก/ม)	มวลคลาดเคลื่อน		ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง		อัตรา ความยืด (%)
		ต่อเส้น	เฉลี่ย		จุดคราก	จุดสูงสุด	
		(%)	(%)		(กก/ซม ²)	(กก/ซม ²)	
RB 6	0.222	±10	±5	SR 24	≥2,400	≥3,900	≥21
RB 9	0.499	±6	±3.5				
RB 12	0.888						
RB 15	1.387						
RB 19	2.226						
RB 25	3.853						
DB 12	0.888	±6	±5	SD 30	≥3,000	≥4,900	≥17
DB 16	1.578	±5	±4	SD 40	≥4,000	≥5,700	≥15
DB 20	2.466						
DB 25	3.853						

เหล็กตะแกรง (wire mesh)		
Min. Tensile Strength	กำลังดึงประลัย (ft)	6,230 (กก/ซม ²)
Min. Yield Strength	กำลังครากต่ำสุด (fy)	5,500 (กก/ซม ²)

รูปที่ 4.4 ตารางแสดงคุณสมบัติมาตรฐานเหล็กเสริมคอนกรีต

4.4 หนังสือรายงานผลการทดสอบคุณภาพแรงดึงของตัวอย่างวัสดุเหล็ก

สำนักฯ ๒๒๕
 เลขที่รับ
 วันที่ ๒๕ มิ.ย. ๖๖
 เวลา ๑๕.๓๐ น.

ทส ๐๖๑๕/๑๒๕๕

สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ ๕
 ๔๗ หมู่ที่ ๑ ถนนราชสีมา-โชคชัย
 ตำบลหนองบัวศาลา อำเภอเมือง
 จังหวัดนครราชสีมา ๓๐๐๐๐

๒๕ กรกฎาคม ๒๕๖๖

เรื่อง รายงานผลการทดสอบคุณภาพแรงดึงของตัวอย่างวัสดุเหล็ก

เรียน นายกเทศมนตรีตำบลวังหิน

อ้างถึง หนังสือที่ นม ๔๔๕๐๓/๕๓๔ ลงวันที่ ๒๐ กรกฎาคม ๒๕๖๖

สิ่งที่ส่งมาด้วย รายงานผลการทดสอบคุณภาพแรงดึงของตัวอย่างวัสดุเหล็ก จำนวน ๑ ชุด

ตามหนังสือที่อ้างถึง เทศบาลตำบลวังหิน ได้ส่งตัวอย่างวัสดุเหล็กเสริมคอนกรีตเพื่อทดสอบคุณภาพแรงดึงของเหล็ก โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก บ้านนางเพลิน - คลองอีสานเขียว บ้านคอนยาวน้อย หมู่ที่ ๖ ตำบลวังหิน อำเภอโนนแดง จังหวัดนครราชสีมา ให้สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ ๕ เพื่อทดสอบคุณภาพแรงดึงของเหล็ก ให้เป็นไปตามมาตรฐานตรงตามรูปแบบรายการที่กำหนด นั้น

สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ ๕ ได้ทดสอบคุณภาพตัวอย่างวัสดุเหล็กเสริมคอนกรีตเพื่อทดสอบคุณภาพแรงดึงของเหล็กเส้นกลม ขนาด ๑๕ มม. จำนวน ๓ ตัวอย่าง และเหล็กข้ออ้อย ขนาด ๑๒ มม. จำนวน ๓ ตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยได้รับชำระค่าธรรมเนียม จากทั้งห้าส่วนจำกัดหนึ่งเกียรติธาดาก่อสร้าง ผู้รับจ้างตามใบเสร็จรับเงิน เลขที่ ๗๒ เลขที่ ๓๕๘๒ ลงวันที่ ๒๑ กรกฎาคม ๒๕๖๖ เป็นเงิน ๓๐๐ บาท (สามร้อยบาทถ้วน) รายละเอียดตามรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ที่แนบมาพร้อมนี้ จำนวน ๑ ชุด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ


 (นายธี ลากสาร)
 ผู้อำนวยการส่วนอำนวยการที่ ๑ นครราชสีมา วิชาการฯแผน
 ผู้อำนวยการสำนักงานทรัพยากรน้ำที่ ๕

ส่วนสำรวจและออกแบบที่ ๑ นครราชสีมา
 โทร. ๐-๔๔๙๒-๐๒๕๖ ต่อ ๕๑๐
 โทรสาร. ๐-๔๔๙๒-๐๒๕๔

๕๕๕ ปี เมืองนครราชสีมา
555th Anniversary of Mahon Ratchasima
๑๔ มิถุนายน ๒๕๖๖

ผอ.ส่วน... วันที่... พ.ศ.๖๖
 ผู้ปฏิบัติ... วันที่... พ.ศ.๖๖
 ผู้พิมพ์... สุธีร์... วันที่... พ.ศ.๖๖

รูปที่ 4.5 หนังสือรายงานผลการทดสอบคุณภาพแรงดึง

4.5 ผลการวิเคราะห์ทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต RB และ DB

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต RB

1) พิจารณาค่ามวลคลาดเคลื่อนของ RB

ที่	ขนาด ระบุ (mm.)	ขนาด จริง (mm.)	น้ำหนัก (kg/m)	พื้นที่ หน้า ตัด (cm ²)	แรงดึง		ความต้านทานแรงดึง		อัตรา ความ ยืด (%)	ผู้ผลิต ชั้น คุณภาพ
					จุดสูงสุด (kgf)	จุด คลาย (kgf)	จุดสูงสุด (kg/cm ²)	จุดคลาย (kg/cm ²)		
1	RB 15	14.77	1.346	1.714	8514	6104	4967	3560	28.67	SR 24
2	RB 15	14.78	1.347	1.716	8602	6208	5013	3618	28.88	
3	RB 15	14.77	1.345	1.713	8360	5975	4879	3487	28.13	

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบเหล็กเส้นกลม (RB)

ขนาด ระบุ (mm.)	น้ำหนัก (kg/m)	มวลคลาดเคลื่อน		ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง		อัตรา ความยืด (%)
		ต่อเส้น	เฉลี่ย		จุดคลาย	จุดสูงสุด	
		%	%		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
RB 6	0.222	±10	±5	SR 24	≥2,400	≥3,900	≥21
RB 9	0.499	±6	±3.5				
RB 12	0.888						
RB 15	1.387						
RB 19	2.226						
Rb 25	3.853						

ตารางที่ 4.2 ตารางคุณสมบัติมาตรฐานเหล็กเส้นกลม (RB)

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พิจารณาวิเคราะห์ได้ว่าเหล็ก RB15 ลำดับที่ 1 น้ำหนักตามมาตรฐาน 1.387kg/m น้ำหนักที่วัดได้จริง 1.346kg/m ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $((1.387-1.346)/1.387) \times 100$ จะเท่ากับ $(0.041/1.387) \times 100$ จะได้ค่าความคลาดเคลื่อน 2.856% < 6% แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนของมวลเหล็กเส้นชนิดกลม RB15 ลำดับที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 6% ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด สามารถใช้งานเหล็กเสริมคอนกรีตได้ และ RB15 ลำดับที่ 2 มีมวลคลาดเคลื่อน 2.884% และ RB15 ลำดับที่ 3 มีมวลคลาดเคลื่อน 3.028%

ดังนั้นสรุปได้ว่ามวลคลาดเคลื่อนของ RB15 มีดังนี้

- ลำดับที่ 1 = 2.856%
- ลำดับที่ 2 = 2.884%
- ลำดับที่ 3 = 3.028%

} < 6%

และค่าเฉลี่ยของมวลคลาดเคลื่อนมีค่าดังนี้

$$\Delta^m \text{RB15} = [2.856 + 2.884 + 3.028] / 3 = 2.456\% < 3.5\%$$

ค่าเฉลี่ยของมวลคลาดเคลื่อนของเหล็กเส้นชนิดกลม RB15 มีค่าน้อยกว่าค่ามวลคลาดเคลื่อนตามมาตรฐานที่กำหนดสามารถใช้งานเหล็กเสริมคอนกรีตได้

2) พิจารณาความต้านแรงดึงของ RB

2.1 ความต้านแรงดึงที่จุดคานงที่ทดสอบได้

ลำดับที่ 1 RB 15 : $\sigma_y = 3,560 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{y \text{ allowable}} = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{y \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 2 RB 15 : $\sigma_y = 3,618 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{y \text{ allowable}} = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{y \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 3 RB 15 : $\sigma_y = 3,487 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{y \text{ allowable}} = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{y \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

2.2 ความต้านแรงดึงที่จุดสูงสุดที่ทดสอบได้

ลำดับที่ 1 RB 15 : $\sigma_{\max} = 4,967 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{\max \text{ allowable}} = 3,900 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{\max \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 2 RB 15 : $\sigma_{\max} = 5,013 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{\max \text{ allowable}} = 3,900 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{\max \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 3 RB 15 : $\sigma_{\max} = 4,879 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{\max \text{ allowable}} = 3,900 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{\max \text{ allowable}}$ = สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

3) พิจารณาอัตราความยืดของ RB

ลำดับที่ 1 RB15 : Elongation = 28.67%

$$\text{Elongation}_{\text{allowable}} \geq 21\%$$

ดังนั้น Elongation > Elongation_{allowable} สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 2 RB15 : Elongation = 28.88%

$$\text{Elongation}_{\text{allowable}} \geq 21\%$$

ดังนั้น Elongation > Elongation_{allowable} สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 3 RB15 : Elongation = 28.13%

$$\text{Elongation}_{\text{allowable}} \geq 21\%$$

ดังนั้น Elongation > Elongation_{allowable} สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

4.5.2 ผลการวิเคราะห์ทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต DB

1) พิจารณาค่ามวลคลาดเคลื่อนของ RB

ที่	ขนาด ระบุ (mm.)	ขนาด จริง (mm.)	น้ำหนัก (kg/m)	พื้นที่ หน้า ตัด (cm ²)	แรงดึง		ความต้านทานแรงดึง		อัตรา ความ ยืด (%)	ผู้ผลิต ชั้น คุณภาพ
					จุดสูงสุด (kgf)	จุด คลาก (kgf)	จุดสูงสุด (kg/cm ²)	จุดคลาก (kg/cm ²)		
1	DB 12	11.72	0.847	1.079	6801	5496	6304	5094	22.00	SR 40
2	DB 12	11.74	0.850	1.083	7049	5680	6511	5247	23.62	
3	DB 12	11.73	0.848	1.081	6979	5604	6458	5186	22.84	

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB)

ขนาด ระบุ (mm.)	น้ำหนัก (kg/m)	มวลคลาดเคลื่อน		ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง		อัตรา ความยืด (%)
		ต่อเส้น	เฉลี่ย		จุดกลาง	จุดสูงสุด	
		%	%		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
DB 12	0.888	±6	±5	SD 30	≥3,000	≥4,900	≥17
DB 16	1.578						
DB 20	2.466	±5	±4	SD 40	≥4,000	≥5,700	≥15
DB 25	3.853						

ตารางที่ 4.4 ตารางคุณสมบัติมาตรฐานเหล็กข้ออ้อย (DB)

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 พิจารณาวิเคราะห์ได้ว่าเหล็ก DB12 ลำดับที่ 1 น้ำหนักตามมาตรฐาน 0.888 kg/m น้ำหนักที่วัดได้จริง 0.847 kg/m ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $(0.888-0.847)/0.888 \times 100$ จะเท่ากับ $(0.041/0.888) \times 100$ จะได้ค่าความคลาดเคลื่อน 4.617% < 6% แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนของมวลเหล็กเส้นชนิดข้ออ้อย DB12 ลำดับที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 6% ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด สามารถใช้งานเหล็กเสริมคอนกรีตได้ และ DB12 ลำดับที่ 2 มีมวลคลาดเคลื่อน 4.279% และ DB12 ลำดับที่ 3 มีมวลคลาดเคลื่อน 4.505%

ดังนั้นสรุปได้ว่ามวลคลาดเคลื่อนของ DB12 มีดังนี้

- ลำดับที่ 1 = 4.617%
 - ลำดับที่ 2 = 4.279%
 - ลำดับที่ 3 = 4.505%
- } < 6%

และค่าเฉลี่ยของมวลคลาดเคลื่อนมีค่าดังนี้

$$\Delta^{mRB15} = [4.617 + 4.279 + 4.505] / 3 = 4.467\% < 5\%$$

ค่าเฉลี่ยของมวลคลาดเคลื่อนของเหล็กเส้นชนิดกลม DB12 มีค่าน้อยกว่าค่ามวลคลาดเคลื่อนตามมาตรฐานที่กำหนดสามารถใช้งานเหล็กเสริมคอนกรีตได้

2) พิจารณาความต้านแรงดึงของ DB

2.1 ความต้านแรงดึงที่จุดกลางที่ทดสอบได้

$$\text{ลำดับที่ 1 DB12 : } \sigma_y = 6304 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{y \text{ allowable}} = 4,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ดังนั้น } \sigma_y \geq \sigma_{y \text{ allowable}} = \text{สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน}$$

ลำดับที่ 2 DB12: $\sigma_y = 6511 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{y \text{ allowable}} = 4,000 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{y \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 3 DB12: $\sigma_y = 6,458 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{y \text{ allowable}} = 4,000 \text{ kg/cm}^2$$

ดังนั้น $\sigma_y \geq \sigma_{y \text{ allowable}} =$ สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

3) พิจารณาอัตราความยืดของ DB

ลำดับที่ 1 DB12: : Elongation = 22.00%

$$\text{Elongation}_{\text{allowable}} \geq 15\%$$

ดังนั้น Elongation > Elongation_{allowable} สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 2 DB12: : Elongation = 23.62%

$$\text{Elongation}_{\text{allowable}} \geq 15\%$$

ดังนั้น Elongation > Elongation_{allowable} สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

ลำดับที่ 3 DB12: : Elongation = 22.84%

$$\text{Elongation}_{\text{allowable}} \geq 15\%$$

ดังนั้น Elongation > Elongation_{allowable} สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน

บทที่ 5

บทสรุปการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริมคอนกรีตชนิดเหล็กเส้นกลมขนาด RB15 ชั้นคุณภาพ SR24 ตัวอย่างเช่น ลำดับที่ 1 ขนาด RB15 ขนาดจริง 14.77 มม น้ำหนัก 1.346 kg/m พื้นที่หน้าตัด 1.714 ตารางเซนติเมตร มีแรงดึงสูงสุด 8,514 kg รับแรงดึงที่จุดคาน 6,104 kg ความเค้นแรงดึงสูงสุด 4,967 kg/cm ความเค้นแรงดึงที่จุดคาน 3560kg/cm² อัตราความยืด 28.67% และตัวอย่างลำดับที่ 4 เป็นเหล็กเสริมคอนกรีตชนิดเหล็กข้ออ้อยขนาด DB12 ชั้นคุณภาพ SD40 ขนาดจริง 11.72 มม น้ำหนัก 0.847 kg/m พื้นที่หน้าตัด 1.079 cm รับแรงดึงสูงสุด 6,801 kg รับแรงดึงที่จุดคาน 5,496 kg ความเค้นแรงดึงสูงสุด 6,304kg/cm² ความเค้นแรงดึงจุดคาน 5,094 kg/cm² อัตราความยืด 22.000%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากสรุปผลการวิเคราะห์การทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กชนิดกลมเรียบ (RB) และเหล็กชนิดข้ออ้อย (DB) ควรมีตารางสรุปเปรียบเทียบตามมาตรฐานกำหนด ดังนี้

ที่	ขนาด ระบุ (mm.)	ขนาด จริง (mm.)	น้ำหนัก (kg/m)	พื้นที่ หน้า ตัด (cm ²)	แรงดึง		ความต้านทานแรงดึง		อัตรา ความ ยืด (%)	ผู้ผลิต ชั้น คุณภาพ
					จุดสูงสุด (kgf)	จุด คาน (kgf)	จุดสูงสุด (kg/cm ²)	จุดคาน (kg/cm ²)		
1	RB 15	14.77	1.346	1.714	8514	6104	4967	3560	28.67	SR 24
2	RB 15	14.78	1.347	1.716	8602	6208	5013	3618	28.88	
3	RB 15	14.77	1.345	1.713	8360	5975	4879	3487	28.13	
4	DB 12	11.72	0.847	1.079	6801	5496	6304	5094	22.00	SR 40
5	DB 12	11.74	0.850	1.083	7049	5680	6511	5247	23.62	
6	DB 12	11.73	0.848	1.081	6979	5604	6458	5186	22.84	

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตเปรียบเทียบกับ
มาตรฐาน

ที่	ขนาด ระบุ (mm.)	น้ำหนัก (kg/m)	ความต้านทานแรงดึง		อัตราความยืด (%)	ผู้ผลิต ชั้น คุณภาพ
			จุดสูงสุด (kg/cm ²)	จุดกลาง (kg/cm ²)		
1	RB 15	1.387	≥3,900	≥2,400	≥21	SR 24
2	RB 15	1.387	≥3,900	≥2,400		
3	RB 15	1.387	≥3,900	≥2,400		
4	DB 12	0.888	≥5,700	≥4,000	≥15	SR 40
5	DB 12	0.888	≥5,700	≥4,000		
6	DB 12	0.888	≥5,700	≥4,000		

ตารางที่ 5.2 มาตรฐานการวิเคราะห์ทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

- [1] การทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต. (2565, พฤษภาคม 10). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://sites.google.com/a/ubu.ac.th/tobchai-janyakorn-5613401376/?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- [2] คุณภาพของเหล็กเสริมคอนกรีต ตามมาตรฐาน มยพ. (2565, พฤษภาคม 28). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.rksteel.co.th/2019/08/06/standard-strength-reinforced-concrete-steel-rebar/>
- [3] เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย. (2565, พฤษภาคม 14 [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://research.rid.go.th/rte/attachments/article/65/%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%95.pdf>
- [4] ความแตกต่าง เหล็กเส้นกลม เหล็กข้ออ้อย (2565, พฤษภาคม 10). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://fullhousestore.co.th/%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%94%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89/%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%A1%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A2/>
- [5] อานนท์ วงษ์แก้ว. พฤติกรรมการรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ เหล็กข้ออ้อย ลวดเหล็กกล้า และ ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว โดยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์อีเลเมนต์ประเภทแสดงรายละเอียด [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/4065/1/2564_235.pdf
- [6] สมชาย ประยงค์พันธ์ 1. การศึกษาปริมาณการยึดตัวของเหล็กเสริมจากการทดสอบกำลังรับแรงดึง [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: [file:///C:/Users/Admin/Downloads/KRKPS000S0000798c1%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/KRKPS000S0000798c1%20(1).pdf)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วัสดุอุปกรณ์และเครื่องทดสอบ



รูปที่ ก.1 เส้นเหล็กเสริมคอนกรีต



รูปที่ ก.2 ตาชั่ง ชั่ง 0.1 กรัม



รูปที่ ก.3 ตลับเมตร



รูปที่ ก.4 เวอร์เนียแคลิเปอร์ที่มีความละเอียด 0.1 มม.



รูปที่ ก.5 ค้อนและสลักตอกระยะพิกัด



รูปที่ ก.6 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine



รูปที่ ก.7 คอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องทดสอบแรงดึง