

การสูญเสียกำลังดึงของเหล็กเสริมเนื่องจากการเกิดสนิม Loss of the Tensile Stress of Reinforcing Bars by Rust Corrosion

จรรุญ เจริญเนตรกุล^{1*}

¹รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
จังหวัดสงขลา 90000

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการสูญเสียกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต เนื่องจากการเกิดสนิม ศึกษาโดยเก็บตัวอย่างเหล็กที่เกิดสนิมมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ หาค่าการลดน้ำหนักของตัวอย่าง โดยคิดเป็นร้อยละ แล้วจึงทดสอบการรับแรงดึง นำคุณสมบัติที่ได้มาเปรียบเทียบกับเหล็กตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) และ มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย) จากการศึกษาพบว่า เหล็กเสริมคอนกรีตที่เกิดสนิมมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 1-2 จะมีค่ากำลังดึงลดลงร้อยละ 5-14 มีการยืดในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ร้อยละ 9-39 และ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) กับ มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย) สรุปได้ว่า หากน้ำหนักของเหล็กเสริมคอนกรีตลดลงร้อยละ 1-2 จะยังคงสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้เฉพาะโครงสร้างที่ไม่สำคัญมาก เช่น พื้นวางบนดิน โดยจะต้องทำการขัดสนิมออกก่อน และมีการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบตามมาตรฐานโดยเคร่งครัด

Abstract

The study of loss of the tensile stress of the steel bar by rust corrosion was proceeded by select the sample steel bars which be corroded to analyze the physical character and find the percentage of weight decrease. Then, made the comparison with the steel bar – weight of Thai Industrial Standard 20-2543 (RB) and 24-2536 (DB) and tested the resistance of tensile force. The result found that the steel bar that had percentage of weight decrease at 1-2% would had percentage of tensile stress decreased at 9-15% and had percentage of stretch at 9-39%. When they were compared with the Thai Industrial Standard 20-2543 (RB) and 24-2536 (DB). Overall, if the percentage of the weight of the steel bar was decreased at 1-2% , the steel bar would can be used in building with unimportant structure , such as , ground slab ,by rub the rust off and had the sampling random for the strictly standard test

คำสำคัญ : สนิม การสูญเสียกำลังดึง เหล็กเสริม

Keywords : Rust, Loss of Tensile Stress, Steel Bar

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ charoon2515@gmail.com โทร. 08 4312 4477

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเสริมคอนกรีตจึงมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นการนำคุณสมบัติของเหล็ก และคอนกรีตที่แตกต่างกันมารวมกัน ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับแรงดึง และแรงอัดได้ดีในเวลาเดียวกัน

ศูนย์วิจัยสิริกไทย คาดว่าจะมีการใช้เหล็กในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างประมาณ 10,800 – 11,300 พัน เมตริกตัน หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 63 ของปริมาณการใช้เหล็กทั้งหมด ส่วนที่เหลือจะถูกใช้ในการผลิตของอุตสาหกรรมอื่น

ปัญหาเมื่อเหล็กเสริมที่ผู้ก่อสร้างเตรียมเก็บไว้ แต่ยังไม่ได้ทำการก่อสร้าง และทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังของเหล็ก เนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ คือเมื่อเหล็กถูกทิ้งไว้โดนแดดโดนฝน หรือเก็บไว้ในที่ไม่เหมาะสม ทำให้เหล็กเกิดสนิมที่มองเห็นด้วยสายตา จึงได้เกิดความคิดว่าคุณสมบัติของเหล็กที่เกิดสนิมนั้นจะมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานหรือไม่ เพื่อจะได้นำข้อมูลไปใช้ประกอบพิจารณาเหล็กที่เกิดสนิม นำไปใช้งานก่อสร้างต่อไปได้หรือไม่ อย่างไร

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

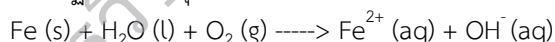
การผุกร่อนของโลหะที่พบบ่อยในชีวิตประจำวันได้แก่ เหล็กเป็นสนิม สนิมเหล็กเป็นออกไซด์ของเหล็ก ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ ตัวอย่างเช่น การที่อะตอมของโลหะที่ถูกออกซิไดส์แล้วรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นออกไซด์ของโลหะนั้น เช่นสนิมเหล็ก (Fe_2O_3) หรือสนิมอลูมิเนียม (Al_2O_3) การเกิดสนิมมีกระบวนการที่ซับซ้อนมาก และมีลักษณะเฉพาะตัวดังนี้

- 1) การผุกร่อนของโลหะ คือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดระหว่างโลหะกับภาวะแวดล้อม
- 2) ภาวะแวดล้อมที่ทำให้ผุกร่อน คือ ความชื้น และออกซิเจน หรือ กับอากาศ
- 3) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในการผุกร่อน เป็นปฏิกิริยา Redox

(1) โลหะที่เกิดปฏิกิริยา Oxidation ให้อิเล็กตรอน

(2) ภาวะแวดล้อมเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยา Reduction

- 4) สมการแสดงปฏิกิริยาการผุกร่อน (เกิดจากการทดลอง) โลหะ + ภาวะแวดล้อม $\rightarrow$ Ion ของโลหะ + เบส

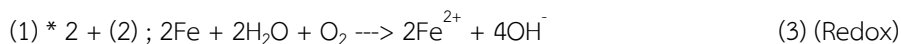


Fe^{2+} ทดสอบโดยใช้สารละลาย $\text{K}_3\text{Fe (CN)}_6$ จะได้สีน้ำเงิน ถ้าสีน้ำเงินเข้ม แสดงว่ามี Fe^{2+} มาก ถ้าจางมี Fe^{2+} น้อย

- 5) ในการ Balance สมการ เมื่อเหล็กสัมผัสกับอากาศและความชื้น อะตอมของเหล็กจะเกิดปฏิกิริยา Oxidation ดังสมการ



น้ำและออกซิเจนรับอิเล็กตรอนจากเหล็ก ดังสมการ



จากงานวิจัยของภักตวัฒน์ แสนเจริญ และคณะ ศึกษาการเกิดสนิมของเหล็กโครงสร้างชนิดต่างๆ ในสภาพแวดล้อมทะเลของประเทศไทย การเกิดสนิมเป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่งที่พบ และก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเหล็กในหลายประเทศทั่วโลก งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาอัตราการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมจริงของเหล็กโครงสร้างชนิดต่าง ๆ ได้แก่เหล็กรีดร้อนชั้นคุณภาพ SS400, SM490YA และ เหล็กทนการกัดกร่อนชั้นคุณภาพ SMA490 ตามมาตรฐาน JIS G3101 JIS G3106 และ JIS G3114 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบในสภาพ

บรรยากาศ และสภาพน้ำขึ้น-น้ำลง ของสภาพแวดล้อมทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง จากผลการทดสอบพบว่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กกรัดร้อนมีค่าสูงกว่าเหล็กทนการกัดกร่อน และมีอัตราการกัดกร่อนอยู่ในค่าที่แนะนำตามมาตรฐานต่างประเทศ อย่างไรก็ตามอัตราการกัดกร่อนของเหล็กในสภาพน้ำขึ้น-น้ำลง มีค่าสูงกว่าค่าที่แนะนำตามมาตรฐานต่างประเทศอยู่หลายเท่าตัว ดังนั้นวิศวกรควรคำนึงถึงผลของสภาพแวดล้อมต่อการออกแบบความคงทน และอายุการใช้งานของโครงสร้างเหล็กในประเทศไทย

ชยพัทธ์ ทิพย์โพธิ์ ศึกษาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตและการป้องกันโดยใช้สารเคลือบผิวป้องกันสนิมของโครงสร้างอาคารหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้าบางปะกง จากการศึกษาพบว่าเหล็กเสริมคอนกรีตของแท่งตัวอย่างที่แช่ในน้ำจากอาคารหอหล่อเย็นโรงไฟฟ้าบางปะกง มีแนวโน้มเกิดสนิมสูงกว่าเหล็กคอนกรีตแท่งตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.50 แต่ไม่เกินร้อยละ 3.00 ที่สภาวะเดียวกันทุกกรณีและปฏิกิริยาการเกิดสนิมมีค่าผันแปรตามความเข้มข้นของคลอไรด์ การแตกร้าวของคอนกรีตระยะเวลาของสภาพเปียกสลับแห้งและสารเคลือบผิวป้องกันสนิม นอกจากนั้นแล้วสารเคลือบผิวป้องกันสนิมมีผลช่วยชะลอการเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตเนื่องจากคลอไรด์ได้เล็กน้อย

สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์ และ จริญญา เจริญเนตรกุล ศึกษาความคงทนของทาเทียบเรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับน้ำทะเล พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างทาเทียบเรือคอนกรีตเสริมเหล็กรุนแรงที่สุดคือการเกิดสนิมของเหล็กเสริมอันเนื่องมาจากคลอไรด์ไปทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริม ซึ่งปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อความเสียหายเกิดจากคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีความชื้นผ่านน้ำสูง มีระยะหุ้มเหล็กที่ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และการกระแทกของเรือที่มาเทียบท่าทำให้คอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมเกิดความเสียหาย ส่งผลให้คลอไรด์ทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมได้ง่ายขึ้น

เกณฑ์มาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) เป็นตามตารางที่ 1 และเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย) ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก และความยืดของเหล็กกลม

ชื่อขนาด	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (MPa)	มวลระบุ (kg/m)	ความยืด (%)
RB9	385	235	0.499	21
RB12	385	235	0.888	21

ตารางที่ 2 ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก และความยืดของเหล็กข้ออ้อย

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (MPa)	ความยืด (%)
SD 30	480	295	17
SD 40	560	390	15
SD 50	620	490	13

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อหาปริมาณการกัดกร่อนของเหล็กเสริมคอนกรีตโดยใช้น้ำหนักที่ลดลงเนื่องจากการเกิดสนิม
- 1.2.2 เพื่อตรวจสอบสมบัติการรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตที่เกิดสนิม

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาตัวอย่างเหล็กเสริมคอนกรีตโดยตรวจสอบคุณสมบัติตาม มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) และ มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย)

2. วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเป็นพื้นฐาน และจำเป็นในการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเสริม ซึ่งมีวิธีการดำเนินการดังนี้

2.1.1 ศึกษาข้อมูล และคุณสมบัติด้านต่างๆ ของเหล็กเสริมที่เป็นตัวอย่างในการศึกษา

2.1.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการกัดกร่อนของเหล็กโดยการศึกษาจากการสูญเสียน้ำหนักของเหล็ก ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเหล็ก เช่น ความชื้น ที่มีผลมาจากน้ำ

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่าง

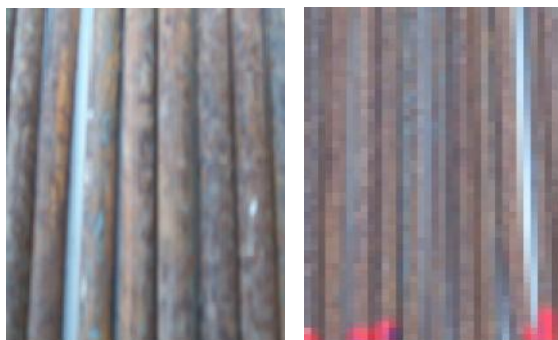
การนำเหล็กเสริมไปใช้งานในการก่อสร้างต้องตรวจสอบคุณสมบัติของเหล็กซึ่งมีมาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) และ มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย) โดยใช้เครื่องมือที่สำคัญในการทดสอบคือเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ขนาด 200 ตัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์

2.3 วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.3.1 ตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบแบ่งเป็น 3 ชุด คือ DB12 RB12 และ RB9 ชุดตัวอย่างละ 25 ชิ้น โดยตัดให้มีความยาวประมาณ 50-70 ซม. ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3



(ก) ตัวอย่าง RB 12

(ข) ตัวอย่าง RB 9

รูปที่ 2 ตัวอย่างเหล็กเส้นกลม



รูปที่ 3 ตัวอย่างเหล็กข้ออ้อย (DB 12)

2.3.2 เครื่องมือวัดได้แก่ตลับเมตรใช้วัดความยาวของชิ้นตัวอย่าง และเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ใช้วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มีความละเอียดในการวัดถึง 0.1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องมือวัด

2.3.3 เครื่องขัดและตัด ใช้ในการขัดสนิมและตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อนำไปทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องขัดและตัด

2.3.4 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในการชั่งตัวอย่างมีความละเอียด 0.01 กรัม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

2.4 วิธีการทดสอบ

2.4.1 รวบรวมข้อมูลตัวอย่างที่จะนำมาทำการทดสอบ และจัดเก็บตัวอย่าง

2.4.2 การตรวจสอบด้วยสายตา ทำการสำรวจและตรวจสอบตัวเหล็กเส้น แล้วถ่ายรูปความเสียหายจากการกัดกร่อนด้วยสนิมดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เพื่อเป็นพื้นฐานว่าเกิดสนิมมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากสี ความเข้ม และพื้นที่เกิดสนิม และตั้งสมมติฐานว่าสามารถนำไปใช้ในการเสริมคอนกรีตเสริมเหล็กได้หรือไม่

2.4.3 ชัดสนิมออก โดยการนำตัวอย่างเหล็กมาซึ่งน้ำหนัก และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความยาว แล้วจึงนำตัวอย่างซึ่งน้ำหนัก แล้วนำมาขัดสนิมออกโดยใช้เครื่องเจียรไน ใช้ใบขัดเหล็กขัดเฉพาะสนิมออก ขัดไม่ให้โดนเนื้อเหล็ก ทำความสะอาด ดังรูปที่ 7 ซึ่งน้ำหนักอีกครั้งพร้อมกับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบันทึกค่า และคำนวณหาค่าร้อยละของน้ำหนักที่หายไป ซึ่งก็คือค่าการกัดกร่อนของสนิม ดังสมการที่ (4)

การกัดกร่อนของสนิม = $[(\text{น้ำหนักเหล็กก่อนขัด} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยหลังขัด}) \div \text{น้ำหนักเหล็กก่อนขัด}] \times 100$ (4)

ตัวอย่างเช่น

$$[(7,419 - 6,661) \div 7,419] \times 100 = 10.217 \%$$



รูปที่ 7 ตัวอย่างที่ขัดสนิมออก

2.4.4 การทดสอบการรับแรงดึง

นำตัวอย่างเหล็กมาทำเครื่องหมายกำหนดระยะความยาวเดิม โดยใช้ระยะ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กคือเหล็ก DB12 เท่ากับ 60 mm เหล็ก RB12 เท่ากับ 60 mm และ เหล็ก RB9 เท่ากับ 45 mm ทำการทดสอบแรงดึงโดยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. ดังนี้

- 1) หาค่าการรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็ก
- 2) หาค่าการยืดตัวของเหล็ก
- 3) หาค่าการรับแรงดึงสูงสุดของเหล็ก (Maximum Load)

2.4.5 วัดค่าการยืดตัวของเหล็กหลังจากทดสอบจนขาดออกจากกัน และวิเคราะห์ลักษณะการวิบัติดังรูปที่ 8

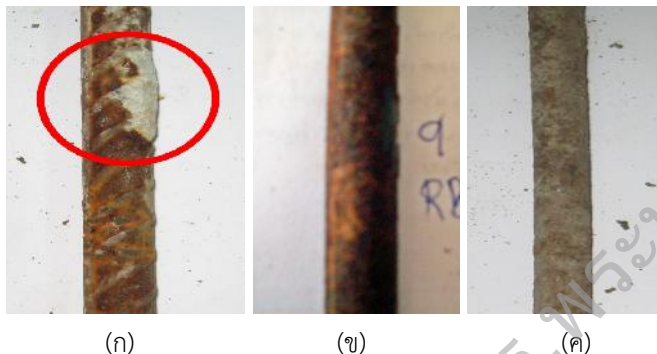


รูปที่ 8 วัดค่าการยืดตัวและลักษณะการวิบัติ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

ชิ้นตัวอย่างเหล็กที่นำมาทดสอบ เกิดการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ และ การกัดกร่อนแบบเฉพาะที่ลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 (ก) ชิ้นตัวอย่างขนาด DB12 (ข) ชิ้นตัวอย่างขนาด RB12 (ค) ชิ้นตัวอย่างขนาด RB9

จากรูปที่ 9 (ก) เป็นชิ้นตัวอย่างเหล็ก DB12 เป็นตัวอย่างที่เก็บไว้ในโรงงานที่โดนความชื้นจากฝน เป็นเวลา 2 ปี ทำให้เกิดการกัดกร่อนเกิดเฉพาะที่ โดยเฉพาะตำแหน่งที่โค้งงอกลับไว้

จากรูปที่ 9 (ข) เป็นชิ้นตัวอย่างเหล็ก RB12 ซึ่งเก็บไว้ในโรงงานที่โดนความชื้น ฝน และน้ำที่ซังหลังจากฝนตกเสร็จ เป็นเวลา 2 ปี ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 9 (ค) เป็นชิ้นตัวอย่างเหล็ก RB9 ซึ่งโดนความชื้นเล็กน้อย และโดนฝุ่นเกาะเป็นเวลา 2 ปี ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ

3.2 ผลการทดสอบ

3.2.1 คำนวณน้ำหนักต่อเมตรของเหล็กเส้นได้มาจากการนำน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่ได้มาก่อนขัด หาค่าด้วยความยาวของชิ้นตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเหล็กที่เกิดขึ้น

ขนาด (mm)	น้ำหนักต่อเมตรของเหล็กก่อนขัด (kg/m)	น้ำหนักต่อเมตรของเหล็กหลังขัด (kg/m)	ร้อยละการเกิดสนิม	หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (ksc)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (ksc)	ร้อยละการยืดตัว
RB9	0.481	0.476	1.03	5,174	6,653	33.60
RB12	0.811	0.795	1.97	3,999	5,089	37.67
DB12	0.864	0.857	0.82	6,661	8,342	22.05

จากตารางที่ 3 พบว่าชิ้นตัวอย่าง RB9, RB12 และ DB12 มีน้ำหนักต่อเมตรก่อนขัดสนิมมากกว่าน้ำหนักต่อเมตรหลังขัดสนิม จึงเห็นได้ว่าสนิมมีผลทำให้น้ำหนักของเหล็กก่อนขัดมากกว่าน้ำหนักของเหล็กหลังขัดสนิม

ค่าร้อยละการกัดกร่อน ได้มาจากการนำน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นตัวอย่างที่ได้มาก่อนขัด ลบด้วยน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นตัวอย่างหลังขัด และหารด้วยน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นตัวอย่างก่อนขัด ดังตารางที่ 3 พบว่าชิ้นตัวอย่าง RB12 มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดสนิมมากที่สุด ทุกตัวอย่างทั้งก่อน และหลังขัดไม่ผ่านเกณฑ์น้ำหนักต่อเมตรตามมาตรฐาน มอก.

3.2.2 จากการทดลองโดยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ได้คำนวณหน่วยแรงดึงที่จุดคราก และคำนวณหน่วยแรงดึงสูงสุดได้ผลดังตารางที่ 3

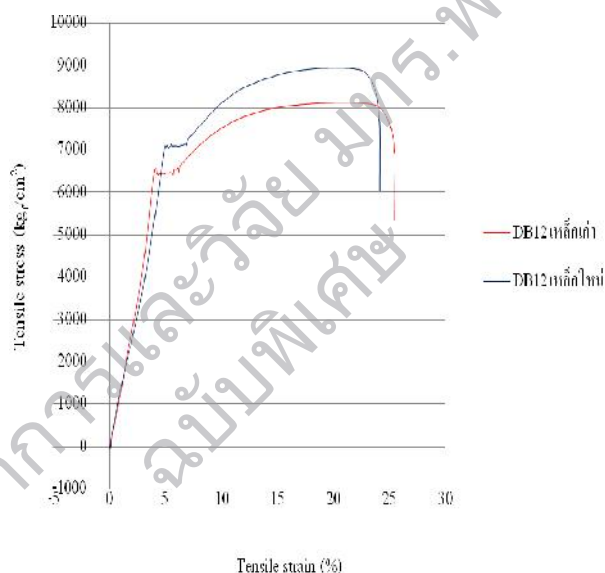
จากตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยหน่วยแรงดึงสูงสุดมีค่ามากกว่าค่าหน่วยแรงดึงที่จุดคราก ทำให้ทราบว่าเมื่อชิ้นตัวอย่างถูกดึงจนถึงจุดครากแล้วจะไม่ขาดทันทีที่มันได้รับแรงดึงไปได้อีกจนถึงช่วงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดถึงจะขาดออกจากกัน

3.2.3 ค่าการยืดตัวในช่วงความยาว 5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ การยืดตัวของเหล็กหลังจากทำการทดสอบ ได้ผลดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าการยืดตัวในช่วงความยาว 5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของชิ้นตัวอย่าง RB12 จะมีการยืดตัวมากที่สุด และชิ้นตัวอย่าง DB12 จะมีการยืดตัวน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 2 เห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างผ่านตามมาตรฐาน มอก.

3.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังดึง

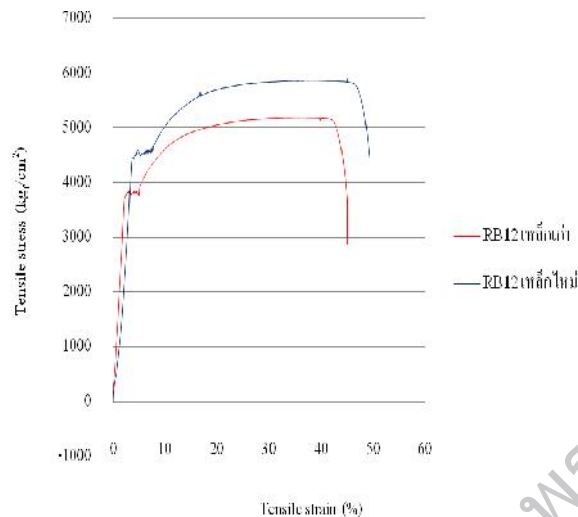
3.3.1 ผลการทดสอบกำลังดึงของเหล็กตัวอย่าง DB12 เปรียบเทียบระหว่างเหล็กใหม่กับเหล็กที่เกิดสนิมได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึง และค่าความเครียด ดังในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดของชิ้นตัวอย่าง DB12 เหล็กใหม่และเหล็กที่เกิดสนิม

จากรูปที่ 10 พบว่าชิ้นตัวอย่างเหล็กใหม่จะมี ค่ากำลังดึง มากกว่าเหล็กเก่าที่เกิดสนิม แต่เหล็กเก่าที่ขึ้นสนิมจะมีความเครียดดังก่อนการวิบัติมากกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเหล็กคนละช่วงการผลิต

3.3.2 ผลการทดสอบกำลังดึงของเหล็กใหม่กับเหล็กที่ทำการทดสอบ เหล็กที่นำมาทำการทดสอบเป็นเหล็ก RB12 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึง และความเครียดของชิ้นตัวอย่าง RB12 เหล็กใหม่ และเหล็กที่เกิดสนิม

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างเหล็กใหม่จะมี ค่ากำลังดึง และความเครียดดึงที่มากกว่าเหล็กเก่าที่เกิดสนิม

3.4 เปรียบเทียบกำลังดึงของเหล็ก

จากการทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตที่ยังไม่เกิดสนิม และเหล็กเสริมคอนกรีตที่เกิดสนิม ได้ผลดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีตที่ไม่เกิดสนิม

ขนาด (mm)	หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (ksc)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (ksc)	การยืดตัว (ร้อยละ)
RB9	5,402	7,116	+33.50
RB12	4,437	5,896	+44.25
DB12	7,117	8,942	+31.97

จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบกับตารางที่ 4 พบว่าหน่วยแรงดึงที่จุดคราก และหน่วยแรงดึงสูงสุดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยเหล็กเสริมที่ไม่เกิดสนิมมีค่าความต้านทานมากกว่าเหล็กเสริมที่เกิดสนิมเพียงร้อยละ 1-2

3.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตัวอย่างที่เกิดสนิม เหล็กเสริมใหม่ และตามมาตรฐาน มอก.

3.5.1 การสูญเสียกำลังดึงของเหล็กชิ้นตัวอย่างเปรียบเทียบกับเหล็กใหม่ ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การสูญเสียกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมเปรียบเทียบกับเหล็กใหม่

การสูญเสียกำลังรับแรงดึงเปรียบเทียบกับเหล็กใหม่			
ขนาด (mm)	หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (ร้อยละ)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (ร้อยละ)	การยืดตัว (ร้อยละ)
RB9	-4.22	+5.60	-9.19
RB12	-9.87	-13.68	-23.12
DB12	-10.217	-5.87	-38.75

จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 6 พบว่าค่าการยืดตัวในช่วงความยาว 5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่ไม่เกิดสนิมมีค่าการยืดตัวมากกว่าเหล็กที่เกิดสนิม แต่ที่มีการยืดตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ชิ้นตัวอย่าง RB12 และ DB12 อันเนื่องมาจากการเกิดสนิมทำให้ยืดตัวได้น้อยลง นั่นคือเหล็กมีความเหนียวน้อยลง พบว่าในภาพรวมชิ้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเหล็กใหม่ จะมีคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กลดลง

3.5.2 ขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM) นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) กับ มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย) ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย)

ขนาด (mm)	หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (ร้อยละ)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (ร้อยละ)	การยืดตัว (ร้อยละ)
RB9	+53.61	+41.38	+33.50
RB12	+39.99	+23.35	+44.25
DB12	+39.99	+31.67	+31.97

จากตารางที่ 6 พบว่าตัวอย่างเหล็กเก่าที่เกิดสนิมเมื่อนำค่าหน่วยแรงดึงมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพบว่าผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย)

4. สรุป

จากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า

1. ปริมาณการกัดกร่อนของสนิมจากการเก็บตัวอย่างเหล็กที่ขึ้นสนิมที่นำมาทดลอง เฉลี่ยมีสนิมเกาะประมาณร้อยละ 1-2 ของน้ำหนักเหล็ก
2. เหล็ก DB12 ที่นำมาทำการทดสอบ มีค่าการกัดกร่อนของสนิมเฉลี่ยร้อยละ 0.82 มีค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากเท่ากับ 6,661 ksc หน่วยแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 8,342 ksc และค่าการยืดตัวร้อยละ 22.05 ผ่านตามมาตรฐาน มอก. 24-2536 (เหล็กข้ออ้อย) แต่ไม่ผ่านมวลระบุ
3. เหล็ก RB12 ที่นำมาทำการทดสอบ มีค่าการกัดกร่อนของสนิมเฉลี่ยร้อยละ 1.97 มีค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากเท่ากับ 3,999 ksc หน่วยแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 5,089 ksc และ ค่าการยืดตัวร้อยละ 37.67 ผ่านตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 (เหล็กเส้นกลม) แต่ไม่ผ่านมวลระบุ
4. เหล็ก RB9 ที่นำมาทำการทดสอบ ซึ่งมีค่าการกัดกร่อนของสนิมเฉลี่ยร้อยละ 1.03 มีค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากเท่ากับ 5,174 ksc ค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 6,653 ksc และ ค่าการยืดตัวร้อยละ 33.60 ซึ่งผ่านตามมาตรฐาน มอก.20-2543 (เหล็กเส้นกลม) แต่ไม่ผ่านมวลระบุ

สำหรับข้อแนะนำในการนำใช้งานจริงของเหล็กเสริมที่เกิดสนิมร้อยละ 1-2 ของน้ำหนักเหล็ก สามารถนำมาใช้ได้กับโครงสร้างที่ไม่ใช่โครงสร้างหลัก เช่น พื้นวางบนดินเพราะค่ากำลังดึงยังคงผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยต้องขัดสนิมออกก่อนใช้งาน และต้องอยู่ในการควบคุมของวิศวกร

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยกันทดสอบชิ้นตัวอย่าง ขอคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม และเครื่องมือทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

เดลินิวส์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.dailynews.co.th/article/950/216942>

(วันที่ค้นข้อมูล : 14 กรกฎาคม 2556)

การกัดกร่อนของโลหะ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.lpnpm.co.th/th/knowledge6.php>.

(วันที่ค้นข้อมูล : 30 มกราคม 2554)

- ภักดีวัฒน์ แสนเจริญ และคณะ. 2555. การเกิดสนิมของเหล็กโครงสร้างชนิดต่างๆ ในสภาพแวดล้อมทะเลของประเทศไทย. วารสารคอนกรีต. ฉบับที่ 16 ประจำเดือนสิงหาคม
- ชยพัทธ์ ทิพย์โพธิ์ 2550. การเกิดสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตและการป้องกันโดยใช้สารเคลือบผิวป้องกันสนิมของโครงสร้างอาคารหล่อเย็นโรงไฟฟ้าบางปะกง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สมเกียรติ รุ่งทองใบสุริย์ และจรรุญ เจริญเนตรกุล. 2545. การกัดกร่อนของทำเทียมเรือคอนกรีตเสริมเหล็ก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, หน้า STR233-238
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) 2543. มอก.20-2543. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กกลม. กรุงเทพมหานคร : สมอ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) 2548. มอก.24-2548. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย. กรุงเทพมหานคร : สมอ.
- Allen, Robert F. 1999. Annual Book of ASTM Standards : Section 1, Iron and Steel Products, Volume 01.04 Steel-Structural, Reinforcing, Pressure Vessel, Railway.662 P.
- คุณสมบัติของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.3s-steel.com/Thai/spec_th.php. (วันที่ค้นข้อมูล : 29 มกราคม 2554).