

ผลของความร้อนที่มีต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

The effect of heat on bond strength between concrete and reinforcing steel

นายชนกร วงศ์ชนสารสิน, นายภักกพงศ์ นิลชัยโกวิทย์, นายกฤษฎา ศรีศักดิ์วรชัย

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รศ.ดร.ประเสริฐ สุวรรณวิทยา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengntk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ความร้อนเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง โครงการนี้ได้จำลองสภาพคอนกรีตเสริมเหล็ก รับความร้อน ที่อุณหภูมิ และ ระยะเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความร้อน วิธีทดสอบเริ่มจากผสมคอนกรีตที่มีเหล็กเสริม บ่ม 21 วัน นำไปเผาด้วยอุณหภูมิ และ ระยะเวลาต่าง ๆ และทดสอบ หาผลแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม เพื่อวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่เกิดขึ้น

Abstract

Fire is a factor that reduces bond strength between concrete and reinforcing steel. This project will simulate the reinforced concrete at high temperature, different time of exposure and different covering. The objectives were to determine the various factors affecting bond strength when reinforced concrete was subject to high temperature. It was found that the bond strength increased when the temperature increased to 300°C but decreased when the temperature increased to 600°C. The bond strength decreased when the time of exposure increased to 2 and 4 hours and the bond strength increased slightly when increased covering from 1.27 to 1.91 centimeters

1. คำนำ

ในสภาวะที่โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับผลกระทบจากความร้อน โครงสร้างจะได้รับความเสียหาย จะทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากเดิม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความร้อนนั้นจะไม่เสียหายทั้งหมด แต่จะได้รับความเสียหายในบางส่วน หากหลังได้รับความร้อน เราสามารถคาดการณ์แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่เหลืออยู่ได้อย่างถูกต้อง เราจะสามารถประเมินความความแข็งแรงของโครงสร้างที่เหลืออยู่ได้อย่างถูกต้อง

2. วัตถุประสงค์

หาผลกระทบของอุณหภูมิ, ระยะเวลาเผา, ระยะเวลาหุ้มคอนกรีตที่มีต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

3. การตรวจเอกสาร

การวิบัติของโครงสร้างที่เกิดขึ้นหลังได้รับความร้อนนั้น เกิดขึ้นจากกำลังอัดของคอนกรีตและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่ลดลง โดยทั่วไปคอนกรีตนั้นมีคุณสมบัติการต้านไฟที่ดี ผลกระทบที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตนั้นจะไม่มากหากอุณหภูมิไม่เกิน 200°C แต่หากคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่า 300°C คอนกรีตจะเริ่มเสียกำลังรับแรงอัด (และค่า Modulus of Elasticity เนื่องจากส่วนที่เป็น Cement Paste ในเนื้อคอนกรีตหดตัวเนื่องจากสูญเสียน้ำและวัสดุมวลรวม (Aggregate) เกิดการขยายตัว จนเกิดรอยร้าวเล็กๆ (Micro Cracks) เพิ่มขึ้นในคอนกรีต ซึ่งรอยร้าวขนาดเล็ดังกล่าว ทำให้ กำลังรับแรงอัด และค่า Modulus of Elasticity ลดลง (Emmons, P.H., 1993) จากผลการทดลองพบว่า การสูญเสียกำลังของคอนกรีตยังขึ้นกับปัจจัยต่างๆ อีกหลายประการคือ ประเภทของมวลรวมหยาบ พบว่า มวลรวมหยาบประเภท Siliceous Aggregate จะเสียกำลังรวดเร็วกว่าประเภท Limestone หรือ Lightweight Aggregate ปริมาณน้ำในคอนกรีตพบว่า คอนกรีตที่มีความชื้นสูงจะมีกำลังที่ลดลงมากกว่าคอนกรีตที่มีความชื้นต่ำ ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต พบว่า อัตราการลดลงของกำลังในคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์มากจะสูงกว่าอัตราการลดลงของกำลังในคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์ต่ำกว่า อัตราการเย็นตัว พบว่าคอนกรีตที่มีการเย็นตัวอย่างช้าๆ จะมีการลดลงของกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่มีการลดลงของอุณหภูมิอย่างกะทันหัน (Harmathy, T.Z., 1993)

ความเสียหายของคอนกรีตที่ได้รับความร้อนนั้น จะมีลักษณะแบบถาวร คือ ถึงแม้อุณหภูมิของคอนกรีตจะกลับสู่อุณหภูมิปกติแล้ว ก็ยังมีความเสียหายจากอุณหภูมิที่ถูกเผา โดยอาจสังเกตได้จากผิวของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจาก Siliceous หรือ Limestone จะเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดไฟไหม้ ดังนี้ 300-600 °C จะเป็นสีชมพูหรือแดง 600-900°C จะเป็นสีเทา 900-1000°C จะเป็นสีเหลืองอ่อน และมากกว่า 1000°C จะเป็นสีเหลือง (Harmathy, T.Z., 1993)

กำลังอัดของคอนกรีตที่เสียหายหลังได้รับความร้อน เป็นส่วนที่ทำให้โครงสร้างวิบัติ อีกส่วนสำคัญนั้นคือกำลังรับแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปหลังได้รับความร้อน โดยทั่วไปเหล็กเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงทำให้เหล็กมีอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว และเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้างงานคอนกรีต

เสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ Hot Rolled Steel เหล็กเสริมปกติในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป, Cold Drawn Prestressing Steel และ High Strength Alloy Bar จะมีกำลังรับแรงดึงและค่า Modulus of Elasticity ลดลง(Neville, A.M.,1981) แต่การลดลงของกำลังรับแรงดึงของเหล็กมีลักษณะที่แตกต่างจากคอนกรีตอย่างหนึ่งคือ กำลังส่วนใหญ่ของเหล็กหลังได้รับความร้อนนั้น จะกลับคืนมา หลังอุณหภูมิลดลงกลับสู่ปกติ(Neville, A.M.,1981) ซึ่งต่างจากกำลังของคอนกรีตที่ลดลงอย่างถาวร

จากการพิจารณาการลดลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และการลดลงของกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม พบว่าอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง

การทดสอบ พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกไฟไหม้ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมจะลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาของการเผาไฟ และระยะหุ้มเหล็กมีส่วนช่วยในการรักษาค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเกิดเพลิงไหม้ และเหล็กข้ออ้อยจะมีอัตราการลดลงของกำลังแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าเหล็กกลมที่ระยะเวลาเผาไฟเท่ากัน(ทรงเกียรติ หาญสันติ, 2001) สอดคล้องกับการทดลอง ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเหล็กเสริมกับคอนกรีตเสริมเส้นใย ที่พบว่า ที่อุณหภูมิสูงแรงยึดเหนี่ยวจะลดลงไปจากเดิมอย่างมาก(Haddad R.H., Al-Saleh R.J., Al-Akhras N.M.,2008)

4. วิธีการทดสอบ

- 1.ตัดท่อPVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความสูง 20 เซนติเมตร และตัดเหล็ก 17.5 เซนติเมตร
- 2.ทำแบบหล่อโดย เจะไม้อัดและฟุ้งเหล็ก (2.5 เซนติเมตร) ลงในไม้อัด
- 3.ติดท่อPVC กับไม้อัด โดยให้เหล็กอยู่ตรงกลางท่อPVC
- 4.ทำ 1.ถึง 3. อีก 10 ชิ้น
- 5.ทำ 1.ถึง 3. โดยเปลี่ยนท่อPVC เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้วอีก 10 ชิ้น
- 6.ผสมคอนกรีตให้ได้กำลังอัด 150 kg/cm^2 เทใส่แบบหล่อ
- 7.รอ12ชั่วโมง ถอดแบบหล่อ
- 8.ตัดท่อPVC สูง 5 เซนติเมตร ครอบส่วนบน ด้านที่มีเหล็กยื่นออกมา และพันด้วยเทปกาว (ทำทุกชิ้น)
- 9.ผสมคอนกรีตกำลังอัด 150 kg/cm^2 เทใส่ท่อในข้อ 8.
- 10.รอ12ชั่วโมง ถอดแบบ แล้วนำไปบ่ม 21 วัน
- 11.นำชิ้นตัวอย่าง จัดเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วย ชิ้นเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว 2 ชิ้น และชิ้นเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว 2 ชิ้น จะได้ 5 กลุ่ม
- 12.นำกลุ่มแรกเผาด้วยอุณหภูมิ 300°C ระยะเวลา 2 ชั่วโมง กลุ่มที่สองเผาด้วยอุณหภูมิ 300°C ระยะเวลา 4 ชั่วโมง กลุ่มที่สามเผาด้วยอุณหภูมิ 600°C ระยะเวลา 2 ชั่วโมง กลุ่มที่สี่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C ระยะเวลา 4 ชั่วโมง และกลุ่มที่ห้า ไม่เผา
- 13.นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมด มาเจียรคอนกรีตส่วนที่หล่อเพิ่มในข้อ 8. ออก (เจียรออก 5 เซนติเมตร จะพบเหล็ก)

14.นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมด มาcapหัวคอนกรีต (ด้านที่มีเหล็ก) ด้วยซีเมนต์เพสต์ (อัตราส่วนน้ำต่อปูน 1:1)

15.นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมด ไปเชื่อมทาบ กับ เหล็กRB6มม. ความยาว 60 เซนติเมตร

16.นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมด ทดสอบหาแรงดึง

5. ผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

หมายเลข	ระยะหุ้ม cm.	อุณหภูมิ $^\circ\text{C}$	ช่วงเวลาเผา hr.	แรงดึง Kg.
T1	1.27	25	-	520.90
T2	1.27	25	-	495.59
T3	1.27	300	1.25	583.35
T4	1.27	300	1.25	812.78
T5	1.27	300	4	718.07
T6	1.27	300	4	523.34
T7	1.27	600	2	93.89
T8	1.27	600	2	53.07
T9	1.27	600	4	48.99
T10	1.27	600	4	70.22

*ระยะหุ้ม 1.27 cm = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1"

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว

หมายเลข	ระยะหุ้ม cm.	อุณหภูมิ $^\circ\text{C}$	ช่วงเวลาเผา hr.	แรงดึง Kg.
G1	1.91	25	-	478.03
G2	1.91	25	-	340.46
G3	1.91	300	1.25	615.20
G4	1.91	300	1.25	584.58
G5	1.91	300	4	768.28
G6	1.91	300	4	767.47
G7	1.91	600	2	102.46
G8	1.91	600	2	107.36
G9	1.91	600	4	105.32
G10	1.91	600	4	100.01

*ระยะหุ้ม 1.91 cm = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.5"

6. วิจารณ์ผลการทดลอง

1. อุณหภูมิ 300°C และ 600°C ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ย ระยะหุ้ม 1.27 ซม. ระยะเวลา 1.25 หรือ 2 ชม. 698 และ 73 kg. ผลต่างแรงดึง 625 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ย ระยะหุ้ม 1.91 ซม. ระยะเวลา 1.25 หรือ 2 ชม. 600 และ 105 kg. ผลต่างแรงดึง 495 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ย ระยะหุ้ม 1.27 ซม. ระยะเวลา 4 ชม. 621 และ 60 kg. ผลต่างแรงดึง 561 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ย ระยะหุ้ม 1.91 ซม. ระยะเวลา 4 ชม. 768 และ 103 kg. ผลต่างแรงดึง 665 kg.

การเพิ่มอุณหภูมิจาก 0°C เป็น 300°C ทำให้แรงดึงเพิ่มขึ้นจากก่อนเผาทุกระยะเวลาเผา และ ทุกระยะหุ้ม โดยที่แรงดึงเฉลี่ยก่อนเผาเป็น 459 kg. และการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300°C เป็น 600°C ทำให้แรงดึงลดลงอย่างชัดเจน ทุกระยะเวลาเผา ทุกระยะหุ้ม

2. ระยะเวลาเผา 1.25 หรือ 2 และ 4 ชั่วโมง ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ย อุณหภูมิ 300°C มีระยะหุ้ม 1.27 ซม. 698 และ 718 kg. ผลต่างแรงดึง -20 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ยอุณหภูมิ 600°C มีระยะหุ้ม 1.27 ซม. 74 และ 60 kg. ผลต่างแรงดึง 14 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ยอุณหภูมิ 300°C มีระยะหุ้ม 1.91 ซม. 600 และ 768 kg. ผลต่างแรงดึง -168 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาเฉลี่ยอุณหภูมิ 600°C มีระยะหุ้ม 1.91 ซม. 106 และ 102 kg. ผลต่างแรงดึง 4 kg.

การเผาที่ 1.25 หรือ 2 ชั่วโมงทำให้ค่าแรงดึงลดลงอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิ 300°C และจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 600°C การเพิ่มเวลาเผาเป็น 4 ชั่วโมง ส่วนใหญ่แรงดึงจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก

3. ระยะหุ้ม 1.27 และ 1.91 ซม. ค่าแรงดึงหลังเผาที่เฉลี่ยอุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1.25 ชั่วโมง 698 และ 600 kg. ผลต่างแรงดึง 98 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาที่เฉลี่ยอุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 621 และ 768 kg. ผลต่างแรงดึง -147 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาที่เฉลี่ยอุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 74 และ 105 kg. ผลต่างแรงดึง -31 kg. ค่าแรงดึงหลังเผาที่เฉลี่ยอุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 60 และ 103 kg. ผลต่างแรงดึง 43 kg. การเพิ่มระยะหุ้มจาก 1.27 ซม. เป็น 1.91 ซม. ทำให้ค่าแรงดึงส่วนใหญ่เพิ่มขึ้น

ค่าผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างมีการกระจายของข้อมูลที่มาก เนื่องจากมีตัวแปรที่กำหนดได้ยากอยู่หลายอย่างเช่นความชื้นขณะทดสอบฝีมือการทำแบบหล่อ ฝีมือการเชื่อม การเก็บรักษาชิ้นงาน

7. สรุปผลการทดลอง

อุณหภูมิ 300°C จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิ 600°C จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง

ระยะเวลาเผาไฟที่นานขึ้นจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง โดยที่อุณหภูมิ 300 °C จะลดแรงดึงได้มากกว่าที่ 600°C

ระยะหุ้มทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นระหว่างระยะหุ้ม 1.27 เซนติเมตร กับ 1.91 เซนติเมตร จะไม่มาก

8. ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ผลการทดลองที่ได้มีความกระจายตัว สาเหตุหนึ่งคือแบบหล่อ เนื่องจากการตัดต่อ PVC มาเป็นแบบหล่อนั้นไม่สามารถทำให้ตั้งฉากได้สนิท จึงทำให้ชิ้นตัวอย่างมีปัญหาในการวางเหล็กเสริมให้ตรงตำแหน่งที่ต้องการ จึงทำให้ผลในการทดสอบแรงดึงคาดเคลื่อน การทดสอบในอนาคตอาจแก้ไขโดยทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องตัดที่มีความแม่นยำ ในการทำแบบหล่อ PVC

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำโครงการขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่ และทุนสำหรับการทำโครงการนี้ ขอขอบคุณ รศ.ดร.ประเสริฐ สุวรรณวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือในทุกๆอย่างสำหรับโครงการนี้ ขอขอบคุณ นายช่างเพทาย ทิวเวช ที่ช่วยทดสอบหาแรงดึง ขอขอบคุณ ครูช่างมาลัย ชูศรี เจ้าหน้าที่ประจำโรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยเชื่อมเหล็กสำหรับการทำโครงการนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ช่วยแนะนำ ตลอดจนการทำโครงการนี้

10. เอกสารอ้างอิง

- ทรงเกียรติ หาญสันติ. “พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกไฟไหม้”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2544
- Emmons, P.H., “Concrete Repair and Maintenance Illustrated”, R.S. Means Company, Inc., 1993.
- Haddad R.H., ,Al-Saleh R.J.,Al-Akhras N.M. “Effect of elevated temperature on bond between steel reinforcement and fiber reinforced concrete”. Fire Safety Journal Volume 43, Issue 5, July 2008, Pages 334-343
- Harmathy, T.Z., “Fire Safety Design and Concrete”, Longman Scientific and Technical, 1993.
- Neville, A.M., “Properties of concrete” , Longman Scientific and Technical, 1981.