ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248501

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาผลกระทบการเกิดสนิมของเหล็กในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้เป็นโครงสร้างในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

A Study the Effect of Steel Corrosion in Geopolymer Concrete using the Structure in Marine Environment

โดย

นายจักรพันธ์ แสงสุวรรณและคณะ

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ.2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248501
b00253004

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาผลกระทบการเกิดสนิมของเหล็กในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้เป็นโครงสร้างในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

A Study the Effect of Steel Corrosion in Geopolymer Concrete using the Structure in Marine Environment

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ผศ.จักรพันธ์ แสงสุวรรณ	มทร.ราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วันชัย ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายสราวุฒิ ยอดมุณี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายวิศิษ แซ่ลิ้ม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ.2554

042

สารบัญ

หน้า

สารบัญ i

สารบัญรูป iii

สารบัญตาราง v

บทที่ 1 บทนำ 1-1

1.1 ความเป็นมาของโครงการ 1-1

1.2 วัตถุประสงค์ 1-2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1-3

1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ 1-3

1.5 โครงสร้างของรายงาน 1-3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2-1

2.1 เถ้าถ่านหิน 2-1

2.2 วัสดุดินขาว 2-4

2.3 ทฤษฎีสมมติฐานและหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 2-4

2.3.1 กลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต 2-5

2.3.2 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมโดยคลอไรด์ (Steel Corrosion due to Chloride) 2-7

2.3.3 กลไกการกัดกร่อนของเหล็กเสริม 2-10

2.3.4 การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคลอไรด์ที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ 2-13

2.3.5 กำลังการยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริม 2-14

2.3.6 จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) 2-16

2.3.7 คุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า และจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต 2-18

2.3.8 การตรวจสอบทางไฟฟ้าเคมี (Evaluate of Electrochemical) 2-20

2.3.9 พฤติกรรมกำลังรับแรงดัด 2-21

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 3-1

3.1 อุปกรณ์ 3-1

3.2 วิธีการ 3-1

3.2.1 วัสดุ 3-1

3.2.2 อัตราส่วนผสม 3-3

3.3 การเตรียมตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตและคอนกรีต 3-5

3.3.1 จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ และดินขาว 3-5

3.3.2 คอนกรีต 3-8

3.4 การเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-10

3.4.1 การติดตั้งสายไฟฟ้า 3-10
3.4.2 การเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-11
3.5 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-12
3.5.1 การเตรียมสารละลาย 3-12
3.5.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 3-12
3.5.3 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-13
3.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัด 3-14
3.6.1 การตรวจสอบขนาดและน้ำหนัก 3-14
3.6.2 การตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ 3-16
3.6.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด 3-17
3.7 การทดสอบกำลังรับแรงดัด 3-18
3.7.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 3-18
3.7.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัด 3-19
3.8 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 3-21
3.8.1 การเตรียมเหล็กเสริม 3-21
3.8.2 การขัดสนิม 3-22
3.8.3 การตรวจสอบน้ำหนัก 3-23
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 4-1
4.1 วัสดุผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-1
4.1.1 กำลังรับแรงอัด 4-1
4.2 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-2
4.2.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ 4-2
4.3 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-4
4.4 กำลังรับแรงดัดของคานจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาวและคอนกรีต 4-6
4.4.1 กำลังรับแรงดัด 4-6
4.4.2 อิทธิพลของการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-11
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 5-1
5.1 วัสดุผสมของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 5-1
5.1.1 กำลังรับแรงอัด 5-1
5.2 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 5-1
5.2.1 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ 5-1
5.2.2 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 5-1
5.3 กำลังรับแรงดัดของคานจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาวและคอนกรีต 5-2

3.4.1 การติดตั้งสายไฟฟ้า 3-10
3.4.2 การเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-11
3.5 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-12
3.5.1 การเตรียมสารละลาย 3-12
3.5.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 3-12
3.5.3 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-13
3.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัด 3-14
3.6.1 การตรวจสอบขนาดและน้ำหนัก 3-14
3.6.2 การตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ 3-16
3.6.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด 3-17
3.7 การทดสอบกำลังรับแรงดัด 3-18
3.7.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 3-18
3.7.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัด 3-19
3.8 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 3-21
3.8.1 การเตรียมเหล็กเสริม 3-21
3.8.2 การขัดสนิม 3-22
3.8.3 การตรวจสอบน้ำหนัก 3-23
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 4-1
4.1 วัสดุผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-1
4.1.1 กำลังรับแรงอัด 4-1
4.2 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-2
4.2.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ 4-2
4.3 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-4
4.4 กำลังรับแรงดัดของคานจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาวและคอนกรีต 4-6
4.4.1 กำลังรับแรงดัด 4-6
4.4.2 อิทธิพลของการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-11
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 5-1
5.1 วัสดุผสมของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 5-1
5.1.1 กำลังรับแรงอัด 5-1
5.2 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 5-1
5.2.1 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ 5-1
5.2.2 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 5-1
5.3 กำลังรับแรงดัดของคานจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาวและคอนกรีต 5-2

5.3.1 กำลังรับแรงดัด 5-2
5.3.2 อิทธิพลของการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 5-2
5.4 ข้อเสนอแนะ 5-2
5.4.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ 5-2
5.4.2 การเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 5-2

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของการกัดกร่อนบนผิวเหล็กเสริม Bentur et al. (1997) 2-6
รูปที่ 2.2 ปริมาตรของเหล็กที่เกิดสนิม Nielsen (1985) 2-7
รูปที่ 2.3 ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเนื่องจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 2-9
รูปที่ 2.4 แบบจำลองการกัดกร่อนของเหล็กเสริม Tuutti (1982) 2-10
รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตจากคลอไรด์ Raupach (1996) 2-11
รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริม Pourbaix (1972) 2-12
รูปที่ 2.7 โครงสร้างคอนกรีตที่สภาวะเปียกสลับแห้งด้วยน้ำทะเล 2-14
รูปที่ 2.8 Bond stress-slip model CEB (1993) 2-15
รูปที่ 2.9 การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากแรงกดอัด fib (2000) 2-16
รูปที่ 2.10 โครงสร้างจุลภาคจีโอโพลิเมอร์ ปริญญา (2548) 2-18
รูปที่ 2.11 ความเค้นและความเครียดบนหน้าตัดคานภายใต้แรงดัด Raed Skram Saliba Al-Sunna (2006) 2-22
รูปที่ 3.1 เหล็กเสริมเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร 3-5
รูปที่ 3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3-6
รูปที่ 3.3 วัสดุผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต 3-6
รูปที่ 3.4 การผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ และดินขาว 3-7
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างรูปคาน 3-7
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างรูปทรงกระบอก 3-8
รูปที่ 3.7 การบ่มตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส 3-8
รูปที่ 3.8 การผสมคอนกรีต 3-9
รูปที่ 3.9 การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำ 3-10
รูปที่ 3.10 การติดตั้งสายไฟฟ้ากับแท่งตัวอย่างทดสอบ 3-11
รูปที่ 3.11 การเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม 3-11
รูปที่ 3.12 การตรวจสอบความสม่ำเสมอของกระแสไฟฟ้า 3-12
รูปที่ 3.13 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 3-13
รูปที่ 3.14 การเชื่อมต่อสายไฟฟ้าขั่วบอกและขั่วลบกับตัวอย่างทดสอบ 3-14
รูปที่ 3.15 การตรวจสอบแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยเครื่องมือ Half-cell Potential Test 3-14
รูปที่ 3.16 การตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-15
รูปที่ 3.17 การตรวจสอบน้ำหนัก 3-15
รูปที่ 3.18 การตรวจสอบขนาดความสูง 3-16
รูปที่ 3.19 การเคลือบผิวด้านบนตัวอย่างด้วยกำมะถัน 3-16

รูปที่ 3.20 วางตัวอย่างที่เคลือบผิวหน้าด้วยกำมะถันให้แข็งตัวในอุณหภูมิปกติ 3-17
รูปที่ 3.21 การทดสอบกำลังรับแรงอัด 3-18
รูปที่ 3.22 การกำหนดระยะห่างของฐานรองรับ 30 เซนติเมตร 3-19
รูปที่ 3.23 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine 3-20
รูปที่ 3.24 รอยร้าวเนื่องจากการวิบัติของแท่งตัวอย่างทดสอบ 3-20
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างเหล็กเสริมที่นำออกมาจากแท่งตัวอย่างทดสอบ 3-21
รูปที่ 3.26 เหล็กเสริมความยาว 20 เซนติเมตร 3-22
รูปที่ 3.27 การขัดสนิมของเหล็กเสริม 3-22
รูปที่ 3.28 การชั่งน้ำหนักของเหล็กเสริม 3-23
รูปที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-2
รูปที่ 4.2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-3
รูปที่ 4.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินขาว และคอนกรีต 4-3
รูปที่ 4.4 การแตกร้าวของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย 4-4
รูปที่ 4.5 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-5
รูปที่ 4.6 การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-5
รูปที่ 4.7 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต่อการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-6
รูปที่ 4.8 การสูญเสียกำลังการยึดเหนี่ยวระหว่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตต่อเหล็กเสริม 4-7
รูปที่ 4.9 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต OPC-CON 4-7
รูปที่ 4.10 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต PFA-CON 4-8
รูปที่ 4.11 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต PFA-RHA-CON 4-8
รูปที่ 4.12 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต PFA-MK-CON 4-9
รูปที่ 4.13 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต OPC-COR 4-9
รูปที่ 4.14 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต PFA-RHA-COR 4-10
รูปที่ 4.15 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานคอนกรีต PFA-MK-COR 4-10
รูปที่ 4.16 กำลังรับแรงดัด 4-11
รูปที่ 4.17 กำลังรับแรงดัดต่อการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริม 4-12
รูปที่ 4.18 สัมประสิทธิ์การเสื่อมสภาพกำลังรับแรงดัด 4-13

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน....3-2
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ....3-2
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาว....3-2
ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....3-2
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของเหล็กเสริม....3-3
ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าลอย....3-4
ตารางที่ 3.7 อัตราส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าแกลบ....3-4
ตารางที่ 3.8 อัตราส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากดินขาว....3-4
ตารางที่ 3.9 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต....3-5
ตารางที่ 3.10 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ASTM C 876 3-13
ตารางที่ 4.1 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และแนวโน้มการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ASTM C 876 4-2