บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป

ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมักจะมีความเสียหายเกิดขึ้นกับโครงสร้างให้เห็นอยู่เสมอ การก่อสร้างที่ขาดการควบคุมที่ดี การใช้วัสดุที่ด้อยคุณภาพหรือผิดประเภท การทรุดที่ไม่เท่ากันของอาคาร รวมทั้งความผิดพลาดที่เกิดจากการออกแบบ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีขนาดความรุนแรงหรืออันตรายมากน้อยเพียงใดขึ้นกับสาเหตุของการเสียหาย ชนิดการใช้งานของโครงสร้าง และผลต่อเนื่องที่อาจเกิดขึ้นแก่โครงสร้าง การซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นก่อนอื่นจำเป็นต้องศึกษาถึงสาเหตุของการเสียหายและต้องหยุดสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายนั้นเสียก่อน จากนั้นจึงทำการซ่อมแซมรอยแผลด้วยวัสดุที่เหมาะสมและสอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างสามารถยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างให้ยาวนานขึ้น

สถาบันคอนกรีตของอเมริกา ACI(4) ได้แบ่งแยกรอยร้าวของคอนกรีตเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1) รอยร้าวที่เกิดขึ้นในขณะคอนกรีตอยู่ในสภาวะพลาสติก เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุดังนี้คือ

ก) เกิดจากการหดตัวเสียน้ำของคอนกรีตในขณะอยู่ในสภาวะพลาสติก รอยร้าวแบบนี้จะเป็นรอยร้าวตื้น ๆ มีทิศทางไม่แน่นอน เกิดจากการเสียน้ำของผิวหน้าคอนกรีตเร็วกว่าการเยิ้ม (Bleeding) ของน้ำจากข้างล่าง

ข) เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีตในขณะอยู่ในสภาวะพลาสติก อาจเกิดจากการทรุดตัวของแบบ การใช้เครื่องเขย่าที่ไม่เหมาะสม

2) รอยร้าวของคอนกรีตในขณะแข็งตัวแล้ว เกิดจากสาเหตุดังนี้คือ

ก) การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำ สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดการร้าวคือการยึดรั้งของโครงสร้างต่อการหดตัวซึ่งทำให้เกิดความเค้นดึงในคอนกรีตขึ้น

ข) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในคอนกรีตมีสาเหตุจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการยึดรั้งของโครงสร้างส่วนอื่น และเกิดจากการเสียรูปที่มากเกินขีดความสามารถ

ค) การกัดกร่อนจากสารเคมี สารเคมีที่มีผลกระทบกับคอนกรีตอาจมาจากสารเคมีที่อยู่ในดิน น้ำหรือสิ่งแวดล้อมที่โครงสร้างสัมผัสอยู่ เช่นซัลเฟตซึ่งมีในน้ำทะเล บริเวณชายเลน ซัลเฟตเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซี่ยมอลูมิเนตจะได้แคลเซี่ยมซัลโฟอลูมิเนตซึ่งจะขยายตัวและทำให้เกิดความเค้นดึงในคอนกรีตขึ้น นอกจากนั้นอัลคาไลส์ซึ่งอาจมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ หรือจากสารผสมเพิ่มหรือจากภายนอก เมื่อทำปฏิกิริยากับซิลิกาจะทำให้เกิดสารจากปฏิกิริยาเคมีมีลักษณะเป็นวุ้นซึ่งจะขยายตัวเมื่อได้รับความชื้น

ง) การสึกกร่อนจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เช่นการแข็งตัวและละลาย (Freezing and Thawing) สภาวะเปียกแห้ง และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น

จ) การกัดกร่อนของเหล็กเสริม สนิมในเหล็กเสริมจะมีผลทำให้เกิดแรงดันโดยรอบ ๆ เหล็ก เพราะการกัดกร่อนในเหล็กเสริมจะทำให้เกิดไอรอนออกไซด์และไอรอนไฮดรอกไซด์ซึ่งจะมีปริมาตรมากกว่าโลหะเหล็ก ในกรณีเหล็กเสริมอยู่ใกล้กันมาก ๆ การเกิดสนิมในเหล็กเสริมจะทำให้คอนกรีตหลุดออกเป็นแผ่นได้ (Spalling)

ฉ) การก่อสร้างที่ไม่ถูกหลักวิชาช่างที่ดี แม้ว่าจะมีการออกแบบ หรือข้อกำหนดที่ดีเพียงใด หากไม่มีการควบคุมในงานก่อสร้างที่ดีแล้วความเสียหายย่อมเกิดขึ้นได้ ปัญหาที่มักพบเสมอคือการผสมคอนกรีตที่เหลวเกินไปซึ่งจะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง การบ่มคอนกรีตที่ไม่ได้อายุตามกำหนด การทำแบบหล่อที่ไม่แข็งแรงเพียงพอ การเขย่าคอนกรีตที่ไม่ดีซึ่งจะทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้นได้

ช) น้ำหนักบรรทุกเกินกว่าที่กำหนดในขณะทำการก่อสร้าง เช่นการกองวัสดุก่อสร้างหรือเครื่องจักรบนโครงสร้างซึ่งอาจเกินกว่าน้ำหนักที่ออกแบบ

1.2 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันวัสดุที่ใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีตมีหลายชนิดมีคุณสมบัติขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุพื้นฐานที่ใช้เป็นส่วนประกอบ การเลือกใช้วัสดุสำหรับซ่อมแซมคอนกรีตนั้นต้องพิจารณาถึงลักษณะของการซ่อมแซม ชนิดของโครงสร้างที่จะซ่อมแซม ลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง สภาพความเสียหายของโครงสร้าง รวมทั้งต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาซ่อมแซมด้วย วัสดุซ่อมแซมแยกตามลักษณะการใช้งานคือ แบบที่ใช้เชื่อมประสานรอยแยก (Addhesive or Bonding) แบบที่ใช้สำหรับป้องกันความชื้นและสัมผัสสารเคมี (Protective Barrier) แบบใช้อุดรูชอกหรือช่องเล็ก ๆ (Grouting) ใช้สำหรับการปะฉาบ (Patching) ใช้อุดรอยเชื่อมระหว่างวัสดุ (Caulking and Sealing) วัสดุซ่อมแซมแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาปัจจุบันที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทางผู้จำหน่ายได้เสนอคุณสมบัติต่าง ๆ ไว้ไม่ตรงกับความเป็นจริงอาจเพื่อทางการค้าหรืออาจเนื่องจากคุณสมบัติที่ทดสอบอาจเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศของแต่ละท้องถิ่น

ปัญหาที่พบกับวัสดุซ่อมแซมประเภทปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบพื้นฐานมักเป็นปัญหาจากการหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำ ซึ่งทำให้เกิดการแยกกันระหว่างวัสดุซ่อมกับคอนกรีตเดิมที่ไม่มีการหดตัวแล้วซึ่งจะทำให้กำลังของรอยต่อลดลง ดังนั้นหากสามารถลดการหดตัวดังกล่าวลงได้ก็จะเป็นการพัฒนาวัสดุซ่อมแซมให้มีกำลังยึดเหนี่ยวสูงขึ้น การลดการหดตัวอาจทำได้โดยการลดน้ำในส่วนผสมลง และเพื่อให้การไหลลื่นยังคงเท่าเดิมโดยการเติมสารเคมีจำพวกลดน้ำหรือลดน้ำพิเศษ และหน่วงการก่อตัวเพื่อยืดเวลาการทำงานให้นานขึ้น ไม่เพียงแต่ลดการหดตัวเท่านั้นแต่การลดน้ำในส่วนผสมยังเพิ่มกำลังของวัสดุซ่อมแซมอีกด้วยซึ่งจะยังผลให้กำลังยึดเหนี่ยวดีขึ้นด้วย

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษาที่เกี่ยวกับวัสดุซ่อมแซมคอนกรีตส่วนมากที่ผ่านมามักเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วัสดุซ่อมแซมจำพวกอีป๊อกซี่ ในปี 1954 California Division of Highways ได้เริ่มใช้อีป๊อกซี่ในงานแบ่งช่องจราจร ซึ่งผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ จึงพัฒนาต่อมาใช้กับงานซ่อมแซมคอนกรีตโดยการพัฒนาคุณสมบัติทางด้านกำลัง การเชื่อมประสานกับคอนกรีต กา[redacted]ทำปฏิกิริยา และจากนั้นก็มีการใช้อีป๊อกซี่ในงานซ่อมแซมคอนกรีตอย่างกว้างขวาง ACI Committee 503 ได้ทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของอีป๊อกซี่ และมีผลดังนี้คือ โมดูลัสแตกร้าวมีค่าประมาณ 105-350 กก./ซม.^{2} ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 3-5 เท่า กำลังดึงมีค่าประมาณ 35-350 กก./ซม.^{2} หรือประมาณ 1-7 เท่าของกำลังดึงคอนกรีตธรรมดา กำลังอัดมีค่าประมาณ 35-840 กก./ซม.^{2} หรือประมาณ 0.2-2.1 เท่าของกำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตประมาณ 1-8 เท่าของคอนกรีต และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิสามารถลดลงได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างทรายกับอีป๊อกซี่

สำหรับรอยร้าวที่กว้างพอ ACI Commitee 503 แนะนำให้ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ผสมสารเคมีเพื่อลดน้ำเกราท์ลงโดยอาศัยน้ำหนักตัวเองหรือใช้ความดันช่วยในกรณีที่รอยร้าวลึกมากจนไม่สามารถอาศัยการไหลลงโดยน้ำหนักตัวเองได้

J.S. Wall และ N.G. Shrive (10) ใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์จำลองตัวอย่างทดสอบแบบแรงเฉือนอัดโดยจำลองเป็นคอนกรีตและวัสดุประสานดังรูปที่ 1.1 โดยให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตคงที่แล้วแปรเปลี่ยนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุประสาน พบว่าวัสดุประสานที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นมากกว่าคอนกรีตจะทำให้เกิดความเค้นดึงในวัสดุประสานน้อย และในกรณีที่ใช้วัสดุประสานที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าคอนกรีตจะทำให้เกิดความเค้นดึงในวัสดุประสานมาก การเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุประสานมีผลต่อความเค้นที่เกิดขึ้นคือความเค้นอัดสูงสุดในวัสดุประสานลดลง แต่ความเค้นดึงสูงสุดของคอนกรีตที่ติดกับวัสดุประสานจะสูงขึ้น ในส่วนของการทดสอบ J.S. Wall และ N.G. Shrive (10) ได้หล่อตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงปริซึมที่ตัดทะแยงทำมุมกับแนวแกน 30 องศา โดยใช้กำลังอัดของคอนกรีตประมาณ 450 กก./ซม.^{2} แล้วประสานโดยซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของทรายแห้งกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เท่ากันโดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อซี

เมนต์ และความหนาของชั้นมอร์ต้า หลังจากประสานผิวต่อของคอนกรีตเก่าด้วยมอร์ต้าแล้วก็เทคอนกรีตใหม่ทับลงจากนั้นบ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % เป็นเวลา 28 วันจึงนำมาทดสอบพบว่ากำลังของตัวอย่างทดสอบลดลงเมื่อความหนาของชั้นประสานเพิ่มขึ้น การทำให้ผิวรอยต่ออิ่มน้ำก่อนที่จะประสานด้วยซีเมนต์มอร์ต้ามีผลต่อกำลังของตัวอย่างทดสอบเพียงเล็กน้อย การลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของมอร์ต้าซึ่งเป็นการเพิ่มกำลังของมอร์ต้าให้ผลต่อกำลังของตัวอย่างทดสอบไม่แน่นอน เพราะคอนกรีตใหม่ที่เททับมีกำลังแตกต่างกันมากจึงไม่อาจเปรียบเทียบกันได้อย่างชัดเจน

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมของวัสดุซ่อมคอนกรีตมีหลายขั้นตอนที่จะให้ได้คุณสมบัติของโครงสร้างที่ต้องการ ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักคือ

1) ศึกษาคุณสมบัติหลักของวัสดุสำหรับซ่อมแซมคอนกรีตที่มีในท้องตลาด
2) พัฒนาวัสดุสำหรับซ่อมแซมคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นพื้นฐาน
3) ศึกษาความสามารถของการเชื่อมประสานระหว่างวัสดุซ่อมแซมกับคอนกรีต

1.5 ขอบข่ายของการวิจัย

วัสดุซ่อมแซมที่จะทดสอบในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 จำพวกคือ พวกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดอันประกอบด้วย อีป็อกซี่ อีปอกซี่มอร์ต้า มอร์ต้าที่ไม่หดตัว และพวกซีเมนต์มอร์ต้า ซึ่งประเภทหลังจะเป็นการพัฒนาวัสดุซ่อมแซมที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นพื้นฐานโดยการผสมสารเคมีจำพวกลดน้ำพิเศษ คุณสมบัติที่ศึกษาของวัสดุดังกล่าวข้างต้นประกอบด้วย กำลังอัด กำลังดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น ความยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต การหดตัว และการขยายตัวเนื่องจากความร้อน

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาจะพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุจากการทดสอบเป็นสำคัญ โดยการแปรสัดส่วนการผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ โดยที่การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุซ่อมแซมแบบต่างๆ จะศึกษาถึงคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุซ่อมแซม และผลต่อกำลังของรอยต่อ อันประกอบด้วย

1) ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ของวัสดุซ่อมแซมคือ กำลังอัด กำลังดึง โมดูลัสยืดหยุ่น การหดตัว การขยายตัวตามอุณหภูมิ

2) ทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตโดยการทดสอบแบบกำลังดัดด้วยการซ่อมคานคอนกรีตขนาด 15x15x80 ซม. และการทดสอบแบบกำลังเฉือนโดยซ่อมคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม.สูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C39 อนึ่งกำลังของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยต้องมีกำลังเกินกว่า 350 กก./ซม.^{2}

3) เปรียบเทียบกำลังยึดเหนี่ยวกับกำลังของคอนกรีตเดิมก่อนการซ่อมแซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย