บทที่ 2

การพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุซ่อมแซมประเภทซีเมนต์มอร์ต้า

2.1 ประเภทของการซ่อมแซม

ความเสียหายจากการแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีตจะได้รับการซ่อมแซมได้อย่างเหมาะสมจะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์หลักของการซ่อมแซมคือ เพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง เพิ่มความสามารถในการใช้งาน ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ รักษาผิวคอนกรีตให้ดูสวยงาม ให้ความคงทน และยืดอายุการใช้งาน ป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ในการซ่อมแซมอาจเพื่อวัตถุประสงค์เดียวหรือหลายวัตถุประสงค์ขึ้นอยู่กับ สาเหตุของความเสียหาย สภาพของโครงสร้าง และวัตถุประสงค์หลักของการใช้งานโครงสร้าง การซ่อมแซมสามารถแยกได้หลายวิธีดังนี้

1) การอัดฉีด (Injection) เป็นวิธีที่นิยมใช้กับการแตกร้าวที่มีขนาดเล็ก วัสดุซ่อมแซมที่ใช้มีความหนืดต่ำเพื่อให้สามารถฉีดเข้าในรอยร้าวแคบ ๆ ได้ วัสดุซ่อมแซมที่นิยมใช้อีป๊อกซี่ และซีเมนต์เพส การฉีดจะใช้แบบปืนยิงภายใต้ความดันสูง ตามสภาพความลึกและความกว้างของรอยร้าว

2) การเกราท์ (Grouting) ใช้ในกรณีที่เนื้อคอนกรีตมีรูพรุนหรือเป็นโพรง วัสดุซ่อมแซมจะถูกอัดด้วยความดันหรืออาจปล่อยให้ไหลเข้าไปโดยน้ำหนักตัวเอง วัสดุซ่อมแซมที่ใช้อาจเป็นซีเมนต์เพส หรือมอร์ต้า แต่ถ้าเป็นโพรงขนาดใหญ่ อาจใช้คอนกรีตเทลงไปก็ได้ มอร์ต้าที่ใช้อาจเป็นอีป๊อกซี่มอร์ต้า หรือโพลิเมอร์มอร์ต้าที่มีการไหลลื่นดีพอไหลแทรกเข้าไปในช่องว่างได้ ในกรณีวัสดุซ่อมแซมจำพวกที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นพื้นฐานจะต้องมีการไหลลื่นดีมากและจะต้องพยายามลดน้ำในส่วนผสมให้น้อยที่สุดเพื่อลดการหดตัวจากการเสียน้ำ การทำให้กำลังสูงและมีการไหลลื่นดีนั้นจะต้องผสมสารเคมีจำพวกเพิ่มการไหลลื่นหรือสารลดน้ำพิเศษ

3) การปะฉาบ (Patching) ในกรณีที่ความเสียหายหรือรอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตอาจซ่อมโดยการฉาบปะ วัสดุที่ใช้ในการปะฉาบอาจเป็นมอร์ต้า ปัญหาที่พบในการซ่อมแซมแบบนี้คือการหดตัวของวัสดุซ่อมแซมที่ปะฉาบหน้า ทำให้เกิดการหลุดร่อนระหว่างผิววัสดุซ่อมแซมกับวัสดุเดิม เพื่อลดปัญหานี้อาจใส่สารผสมเพิ่มจำพวกโลหะหนัก และพวกอ๊อกซิไดซิ่ง-เอเจ็นท เพื่อลดการหดตัวและเป็นการเพิ่มกำลัง วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้คืออีป๊อกซี่มอร์ต้า วัสดุชนิดนี้มักไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการหดตัวแต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับการขยายตัวเนื่องจากความร้อนระหว่างการก่อตัวและระหว่างการใช้งาน การลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิของอีป๊อกซี่มอร์ต้าโดยการผสมมวลรวมเข้าไปในส่วนผสมซึ่งจะเป็นการลดเนื้อสารอีป๊อกซี่อีกด้วย

4) การอุดเชื่อม (Caulking and Sealing) เป็นการอุดรอยร้าวของคอนกรีตโดยที่ไม่ต้องการถ่ายกำลังผ่านรอยร้าวหากแต่เพียงเพื่อต้องการป้องกันความชื้น ความร้อน และการรั่วซึมเท่านั้น วัสดุที่ใช้จะต้องมีการยืดหดตัวได้สูง อาจเป็นอีป๊อกซี่มอร์ต้า หรือแอสฟัลส์มอร์ต้า หรือสารประเภทโพลิเมอร์ คุณสมบัติต่าง ๆ จะแตกต่างกันมากในแต่ละผลิตภัณฑ์เพราะมีขอบข่ายการใช้ที่กว้างขวางมาก

5) การเท (Placing) เมื่อคอนกรีตมีแผลใหญ่ที่สามารถเทวัสดุซ่อมเข้าที่ได้โดยง่าย จึงเป็นการประหยัดที่จะใช้วัสดุจำพวกที่เป็นคอนกรีตในการซ่อมแซมแต่ต้องมีการไหลลื่นที่ดีพอและต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากหลังจากการเทระหว่างการก่อตัวหรือระหว่างการบ่ม วัสดุที่ใช้จะมีทั้งที่เป็นซีเมนต์เป็นหลัก อีป๊อกซี่เป็นหลัก และโพลิเมอร์เป็นหลัก มวลรวมในส่วนผสมจะต้องมีขนาดคละที่ดีเพื่อให้มีกำลังสูงและความสามารถการเทได้สูง รวมทั้งลดการหดตัวด้วย

2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุซ่อม

ในการเลือกวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีต จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุซ่อม-แซมเหล่านั้นเพื่อความเหมาะสมในการใช้ร่วมกับคอนกรีต คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงคือคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติที่สำคัญที่เราต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกในการเลือกวัสดุสำหรับซ่อมแซมคอนกรีตคือคุณสมบัติเชิงกล อันประกอบด้วย กำลังอัด

กำลังดึง หรือโมดูลัสแตกร้าว กำลังยึดเหนี่ยวและโมดูลัสยืดหยุ่น คุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วยการหดตัว การขยายตัวจากความร้อน และการไหลลื่น ส่วนคุณสมบัติทางเคมีจะไม่พิจารณาในงานวิจัยนี้

2.2.1 คุณสมบัติเชิงกล

1) กำลังอัด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุซ่อมแซมจำพวกซีเมนต์มอร์ต้า และปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงอัดประกอบด้วย

ก) อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ เป็นเครื่องชี้บ่งถึงความข้นเหลว ปริมาณน้ำที่จะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ โดยทั่วไปความข้นเหลวของมอร์ต้าจะกำหนดโดยการไหล (Flow) ตามวิธีของ ASTM C109 ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่นปริมาณน้ำที่เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยาเป็นซีเมนต์เจลประมาณร้อยละ 23 (2) ซึ่งน้ำส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ระเหยออกไม่ได้เพราะเป็นส่วนหนึ่งของซีเมนต์เจล น้ำส่วนที่เหลือจะอยู่ในโพรงของเจลและในโพรงคาปิลารี่ ซึ่งเป็นน้ำส่วนที่สามารถระเหยออกมาได้ ซึ่งถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้มีโพรงเพิ่มขึ้นซึ่งจะยังผลให้กำลังของซีเมนต์มอร์ต้าลดลงด้วย

ข) อายุ กำลังของมอร์ต้าจะพัฒนาตามปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นตามอายุ อัตราการเพิ่มของกำลังจะแตกต่างกันตามชนิดของปูนซีเมนต์ การบ่ม และสัดส่วนการผสม

ค) ชนิดของปูนซีเมนต์ กำลังของมอร์ต้าและคอนกรีตขึ้นอยู่กับปูนซีเมนต์ที่ใช้ เพราะปูนซีเมนต์เป็นตัวประสานให้มวลรวมยึดติดกัน คุณสมบัติที่สำคัญของปูนซีเมนต์คือ ส่วนประกอบทางเคมี และความละเอียด สมาคมทดสอบวัสดุแห่งอเมริกา (ASTM) ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภท ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ประเภทแสดงในตารางที่ 2.1 (2) กำลังของซีเมนต์เพสได้มาจาก C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่ ส่วน C_3A และ C_4AF ให้กำลังค่อนข้างต่ำ C_3S จะให้อัตรากำลังในระยะแรกสูง ส่วน C_2S จะให้อัตรากำลังระยะหลังสูง จะเห็นว่าหากต้องการปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวเร็ว ก็เลือกใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่สามซึ่งมี C_3S สูงและ C_2S ลดลง อีกทั้งมีความละเอียดสูงขึ้นด้วยซึ่งจะทำให้ปฏิกริยา

เร็วขึ้น

ง) มวลรวม ในมอร์ต้าจะมีมวลรวมเฉพาะส่วนที่เป็นทรายที่เป็นส่วนผสม ความละเอียดของทราย ความคละ และอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายจะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกำลังของมอร์ต้า ทรายที่มีความละเอียดมากจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าทรายที่หยาบกว่า จึงทำให้ต้องใช้ซีเมนต์เพสในการเชื่อมประสานระหว่างเม็ดทรายมากกว่า ดังนั้นถ้าใช้อัตราส่วนระหว่างทรายกับซีเมนต์คงที่ทรายที่ละเอียดจะให้การไหลที่ต่ำกว่าและให้กำลังน้อยกว่าและถ้าจะให้มีการไหลเท่ากับมอร์ต้าที่มีทรายหยาบเป็นส่วนผสมต้องใช้น้ำมากขึ้นซึ่งจะทำให้กำลังต่ำลง รวมทั้งการหดตัวมากขึ้นด้วย

จ) การบ่ม ปูนซีเมนต์ต้องการน้ำสำหรับทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น การบ่มเป็นการป้องกันไม่ให้น้ำในคอนกรีตหรือมอร์ต้าสูญเสียออกสู่ภายนอกเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปมักบ่มด้วยการคลุมด้วยวัสดุที่ชุ่มน้ำแล้วรดน้ำให้เปียกชุ่มน้ำตลอดเวลา ระยะเวลาการบ่มนานเท่าใดก็จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ขึ้น แต่ในทางปฏิบัติไม่อาจบ่มได้ตลอดเวลา นอกจากบ่มด้วยน้ำแล้วยังมีการบ่มด้วยไอน้ำซึ่งจะทำให้ได้กำลังเร็วกว่าการบ่มด้วยน้ำธรรมดา

2) กำลังดึง คุณสมบัติการรับแรงดึงของมอร์ต้าและคอนกรีตมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความสามารถการรับแรงอัด กำลังดึงจะเป็นสัดส่วนกับกำลังอัด การทดสอบกำลังดึงทำได้โดยวิธีดึงโดยตรง ทดสอบแบบดึงแยก และแบบดัด โดยทั่วไปการทดสอบแบบแรงดัดจะให้กำลังดึงมากกว่าสองวิธีแรก การทดสอบหากำลังรับแรงดึงโดยตรงนั้น ทำได้ยากและไม่เป็นที่นิยมเพราะการจับยึดตัวอย่างทดสอบจะทำให้เกิดความเค้นที่บริเวณรอยจับ ซึ่งจะทำให้การวิบัติเกิดขึ้นที่บริเวณรอยจับ แรงดึงที่วัดได้จึงต่ำกว่ากำลังดึงของคอนกรีตที่แท้จริง การทดสอบแบบแรงดึงแยกตามมาตรฐาน ASTM C496 ทดสอบโดยใช้แท่งทรงกระบอก โดยการกดด้านข้างด้วยแรงอัด แรงกดจะทำให้เกิดความเค้นอัดในแนวดิ่งและความเค้นดึงในแนวนอน ส่วนการทดสอบกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C78 โดยใช้คานคอนกรีตขนาด 152x152x508 มม. การทดสอบทำโดยการกด ณ ตำแหน่งหนึ่งในสามของความยาวคาน

สมาคมคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ได้เสนอสมการสำหรับประมาณค่ากำลังดึงของ

คอนกรีตแบบดัดดังนี้

$$S_r = 1.99\ f_c \qquad \text{กก./ซม.}^2$$

เมื่อ S_r = กำลังดัด, กก./ม.^{3}

f_c = กำลังอัดประลัย, กก./ซม.^{2}

3) กำลังยึดเหนี่ยว โดยทั่วไปกำลังยึดเหนี่ยวของวัสดุซ่อมแซมกับคอนกรีตหรือเหล็กจะขึ้นอยู่กับกำลังอัดเช่นเดียวกับกำลังดึง กำลังยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความสามารถการซึมแทรกลงไปในเนื้อคอนกรีตเก่า แม้ว่ากำลังอัดของวัสดุซ่อมจะสูงสักเพียงใดก็ตามแต่หากไม่มีการไหลลื่นที่ดีพอก็จะไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ดี ซึ่งจะทำให้กำลังยึดเหนี่ยวลดลงด้วย

4) โมดูลัสยืดหยุ่น เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุซ่อมกับคอนกรีตเดิมและความเค้นในวัสดุซ่อม เมื่อคอนกรีตถูกแรงภายนอกกระทำจะเกิดการเสียรูป สำหรับวัสดุที่มีความเป็นอีลาสติกความเค้นและความเครียดจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรง สำหรับคอนกรีตและมอร์ต้าซึ่งเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยซีเมนต์เพสและมวลรวม โมดูลัสความยืดหยุ่นจะอยู่ระหว่างโมดูลัสความยืดหยุ่นของซีเมนต์เพสและของมวลรวมดังรูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของมวลรวมและซีเมนต์เพสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ส่วนของคอนกรีตหรือมอร์ต้าจะมีความโค้งเพราะความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นระหว่างซีเมนต์เพสกับมวลรวม และการขยายตัวของรอยร้าวเมื่อคอนกรีตรับแรงมากขึ้น

การหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ไม่เป็นเส้นตรงทำได้ 3 วิธีคือ โมดูลัสสัมผัสเริ่มต้น (Initial Tangent Modulus) เป็นค่าความชันของเส้นที่ลากสัมผัสกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดที่จุดเริ่มต้น โมดูลัสเซคเคนท์ (Secant Modulus) เป็นค่าความชันของเส้นที่ลากเชื่อมระหว่างจุดเริ่มต้นไปถึงจุดบนกราฟที่ค่าความเค้นที่ต้องการ และโมดูลัสสัมผัส (Tangent Modulus) เป็นค่าความชันของเส้นที่ลากสัมผัสกับกราฟความสำพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ณ ค่าความเค้นที่ต้องการและตามมาตรฐาน ASTM C469 กำหนดให้ใช้โมดูลัสเซคเคนท์ในการหาโมดูลัสยืดหยุ่น

สมาคมคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ได้เสนอสมการสำหรับหาโมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีตคือ

$$E = 0.1373 \times W^{3/2} f_c$$

เมื่อ W = หน่วยน้ำหนัก, กก./ม.^{3}

f_c = กำลังอัดประลัย, กก./ซม.^{2}

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

1) การหดตัว เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุซ่อมที่มีผลต่อกำลังยึดเหนี่ยวของผิวรอยต่อของสองวัสดุที่สัมผัสกัน การหดตัวของวัสดุจำพวกที่มีปูนซีเมนต์เป็นพื้นฐานสามารถแยกได้เป็น

ก) การหดตัวในสภาวะพลาสติก (Plastic Shrinkage) การหดตัวเกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตหรือมอร์ต้ายังอยู่ในสภาวะพลาสติก การหดตัวในสภาวะพลาสติกมีประมาณ 1 เปอร์เซ็นของปริมาตรสัมบูรณ์ (Absolute volume) ของเนื้อซีเมนต์แห้ง สาเหตุที่ทำให้เกิดการหดตัวแบบนี้เพราะการเสียน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำจากผิวคอนกรีต และการดูดน้ำของไม้แบบ การหดตัวแบบนี้ทำให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีตได้

ข) การหดตัวออโตจีนัส (Autogenous Shrinkage) แม้ว่าจะไม่มีการสูญเสียน้ำออกสู่ภายนอก แต่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างซีเมนต์กับน้ำสามารถทำให้เกิดการหดตัวได้อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของส่วนประกอบของซีเมนต์ โดยทั่วไปแล้วการหดตัวแบบนี้จะมีผลน้อยแต่จะมีผลมากต่อโครงสร้างจำพวกคอนกรีตหลา และโดยทั่วไปแล้วการทดสอบหาการหดตัวมักจะเป็นผลรวมของการหดตัวแบบออโตจีนัสกับการหดตัวจากการเสียน้ำ

ค) การหดตัวจากการเสียน้ำ (Drying Shrinkage) คอนกรีตหรือมอร์ตาร์เมื่อสูญเสียน้ำจะเกิดการหดตัว ปริมาตรคอนกรีตที่หดลงกับปริมาตรน้ำที่สูญเสียออกไปจะไม่เท่ากันเพราะว่าน้ำที่ระเหยออกมาในตอนแรกจะเป็นน้ำที่ออกจากโพรงคาปิลารี่ซึ่งทำให้เกิดการ

หดตัวน้อยมาก หลังจากที่น้ำออกจากโพรงคาปิลารี่หมดแล้วต่อไปน้ำที่ออกมาจะเป็นน้ำในโพรงของเจล (Gel water) หรือน้ำซับ (Adsorbed water) ปริมาตรของน้ำที่ระเหยออกจะมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของคอนกรีตหรือมอร์ต้าที่หดตัวลง

ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวเสียน้ำคือ มวลรวมที่ผสมกับซีเมนต์เพส อัตราส่วนระหว่างมวลรวมต่อซีเมนต์เพสมากจะทำให้การหดตัวลดลงเพราะว่ามวลรวมจะต้าน (Restraint) การหดตัว ด้วยเหตุนี้คอนกรีตหรือมอตาร์ที่มีโมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลรวมสูงกว่าจะต้านการหดตัวได้ดีกว่า ซึ่งจะทำให้การหดตัวลดลง อัตราส่วนน้ำในส่วนผสมมากจะมีผลทำให้การหดตัวมากขึ้น เพราะมวลรวมต่อปริมาตรลดลงทำให้การต้านการหดตัวของมวลรวมลดลงและการลดลงของกำลังของซีเมนต์เพสทำให้การยึดเกาะระหว่างมวลรวมลดลงด้วย ซึ่งมีผลให้การต้านการหดตัวลดลง

ง) การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยากับคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ในอากาศสามารถทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพส ปริมาณคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ในอากาศประมาณร้อยละ 0.04 เท่านั้นก็เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสในระยะยาว ปฏิกิริยานี้ทำให้ซีเมนต์เพสหดตัว ปฏิกิริยานี้ขึ้นกับความชื้น เมื่อความชื้นสูงโพรงในซีเมนต์เพสจะเต็มไปด้วยน้ำและน้ำจะกันไม่ให้คาร์บอนไดอ๊อกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสได้ และที่ความชื้นต่ำปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในโพรงจะไม่พอสำหรับทำปฏิกิริยาคาร์บอนไดอ๊อกไซด์เพื่อที่จะได้กรดคาร์บอนิค ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นจะให้การหดตัวจากปฏิกิริยาสูงสุด(2)

2) การขยายตัวเนื่องจากความร้อน เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งของวัสดุสำหรับแชมคอนกรีต คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิประมาณ $7x10^{-6}$ - $11x10^{-6}$ °C (4) สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิของเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีต (3) จึงไม่เป็นปัญหาในการใช้งานร่วมกัน สำหรับวัสดุซ่อมคอนกรีตจำพวกซีเมนต์มอร์ต้ามีสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิใกล้เคียงกับคอนกรีตเช่นกัน โดยที่มีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์สูงขึ้น สำหรับมอร์ต้าที่มีมวลรวมเป็นทรายซิลิก้าเพราะแร่ควอทซ์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของทรายซิลิก้ามีสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิสูงกว่าซีเมนต์เพส (12) วัสดุซ่อมแชมจำพวกอีป๊อกซี่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตประมาณ 1-8 เท่า (3) และสัมประสิทธิ์การ

ขยายตัวตามอุณหภูมิสามารถลงได้โดยการผสมมวลรวมเข้าไปดังรูปที่ 2.2

3) ความไหลลื่น ความสามารถในการไหลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของวัสดุซ่อมแซม แม้ว่าวัสดุซ่อมแซมจะมีกำลังสูงเพียงใด หากไม่มีการไหลลื่นดีพอ ก็จะไม่อาจแทรกซึมเข้าไปในรอยร้าวขนาดเล็ก ๆ ได้ ซึ่งจะทำให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับวัสดุซ่อมต่ำกว่าที่ควรจะเป็น สำหรับวัสดุซ่อมแซมประเภทมอร์ต้า ความสามารถไหลลื่นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และความละเอียดของทรายที่ผสม ทรายที่ละเอียดกว่า จะให้การไหลลื่นที่ต่ำกว่าสำหรับมอร์ต้าที่มีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากัน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน เพราะทรายที่ละเอียดกว่าจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าทรายที่หยาบ การเพิ่มการไหลลื่นสามารถทำได้โดยการผสมสารลดน้ำพิเศษเข้าในส่วนผสม

การไหลลื่นสำหรับมอร์ต้าเพื่อการปะฉาบ โดยการใช้โต๊ะการไหลซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยให้มีการไหล 120% และมอร์ต้าสำหรับการเกราท์ที่ใช้ในงานวิจัย ทดสอบโดยวิธีของ The U.S. Corp. of Engineers Methods CRD-C79 (Flow Cone Test) โดยกำหนดให้มีการไหล 11 วินาที

2.3 การพัฒนาวัสดุซ่อมแซมที่มีซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นพื้น

การพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุซ่อมคือการพัฒนาคุณสมบัติดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.2 คือการพัฒนากำลังอัด กำลังดึง กำลังยึดเหนี่ยวให้สูงขึ้น รวมทั้งการลดการหดตัวของวัสดุซ่อมด้วย วิธีการพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีคือ

1) การใช้ซีเมนต์แบบขยายตัว (Expansive Cement) ซีเมนต์ประเภทขยายตัวมี 3 ชนิดคือ ชนิด K,M และ S ทั้งสามประเภทนี้จะมีแคลเซี่ยมอลูมิเนตอยู่มากกว่าปอร์ตแลนด์ธรรมดา การทำปฏิกิริยากับน้ำของปูนซีเมนต์แบบขยายตัวจะทำให้เกิดสารสารเอ็ท-ทริงไง (Ettringite) ในช่วงแรก ซึ่งจะทำให้มีการขยายตัวของซีเมนต์เพสและเมื่อการหดตัวเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียน้ำก็จะหักล้างกันกับการขยายตัวในช่วงแรก ซึ่งจะทำให้การหดตัวน้อยกว่าพวกปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาหรือไม่มีการหดตัวเลยก็ได้ การพัฒนาวัสดุซ่อม

วิธีนี้จะไม่กล่าวในรายละเอียดมากเพราะไม่อยู่ในขอบข่ายของการวิจัยนี้

2) การลดน้ำในส่วนผสม (Water-reduction) ส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ต้าประกอบด้วยปูนซีเมนต์ มวลรวม และน้ำ ที่อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมหนึ่ง กำลังของคอนกรีตจะขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หากลดน้ำในส่วนผสมลงกำลังของคอนกรีตหรือมอร์ต้าจะสูงขึ้น แต่การลดน้ำในส่วนผสมจะทำให้ความสามารถในการทำงานลดลงซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการผสมสารเคมีจำพวกเพิ่มการไหลลื่น (Plasticizer) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สารเคมีจำพวกลดน้ำหรือเพิ่มการไหลลื่นโดยทั่วไปจะเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยเกลือแคลเซี่ยมหรือเกลือโซเดี่ยมของกรดลิคโนซัลโฟนิค (Lignosulphonic Acid) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของกรดคาร์บอซิลิค เช่นเกลือโซเดี่ยมของกรดคาร์บอร์ซิลิค ไฮดรอซี่อัลคีนเอ็สเตอร์ของกรดคาร์บอซิลิค สารเคมีประเภทลดน้ำพิเศษได้แก่ Melamine - Formaldehyde และ Naphthalene Sulphonate - Formaldehyde ลักษณะจำลองของโมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายสเปอร์มคือมีส่วนหัวและหาง โดยที่ส่วนหัวจะมีประจุลบและเมื่อใส่ลงในน้ำโมเลกุลของสารลดน้ำจะพยามเคลื่อนตัวไปอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศโดยที่ส่วนหัวที่มีประจุลบจะอยู่ที่ผิวสัมผัสและส่วนหางจะชี้ออกไปในอากาศดังรูปที่ 2.3 เมื่อผสมสารผสมเพิ่มลงในน้ำที่มีซีเมนต์ผสมอยู่จะมีผลดังต่อไปนี้

ก) ส่วนหางของโมเลกุลจะติดแนบกับผิวของเม็ดปูนซีเมนต์ โดยที่ส่วนหัวที่มีประจุลบจะโผล่อยู่รอบ ๆ เม็ดปูนซีเมนต์ (Cement Particle) ซึ่งจะยังผลให้เม็ดปูนซีเมนต์มีประจุลบอยู่รอบ ๆ ดังนั้นเม็ดปูนจะไม่เกาะรวมกันแต่จะแยกกระจายกันออกไปซึ่งทำให้พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยากับน้ำมากขึ้น ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการกระจายไม่ให้น้ำถูกกักอยู่ระหว่างกลุ่มของเม็ดปูนซีเมนต์ (Cement Particle Floc) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งผลดังกล่าวทำให้การไหลลื่นดีขึ้น

ข) ฟองอากาศในส่วนผสมจะไม่รวมกันและไม่เกาะติดกับเม็ดปูนแต่จะเป็นฟองเล็ก ๆ กระจายกันเพราะว่าฟองอากาศจะเสมือนมีประจุลบอยู่โดยรอบดังรูปที่ 2.5

015747

ผลของสารเคมีผสมเพิ่มประเภทลดน้ำมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุซ่อมที่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลักคือ ในแง่ของการพัฒนากำลังการผสมสารลดน้ำทำให้สามารถลดน้ำในส่วนผสมซึ่งจะทำให้กำลังสูงขึ้น ส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโดยปรกติแล้วจะขึ้นอยู่กับกำลังอัดก็จะเพิ่มตามด้วย ในกรณีกำหนดกำลังให้คงที่ไว้เมื่อผสมสารลดน้ำจะทำให้สามารถลดส่วนประกอบของซีเมนต์ในส่วนผสมซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเป็นการลดการหดตัวด้วยเพราะว่าการหดตัวของมอร์ต้าหรือคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างมวลรวมต่อซีเมนต์เพส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย