บทที่ 3

วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

3.1 รายการการทดสอบ

วัสดุซ่อมแซมที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุที่คัดเลือกจากที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ และกลุ่มวัสดุที่ผสมขึ้นมาโดยมีซีเมนต์เป็นพื้นโดยกำหนดคุณสมบัติการใช้งานตามมาตรฐานที่ยอมรับ และใช้กันทั่วไป แล้วทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับกลุ่มแรก

3.1.1 วัสดุประสานจากท้องตลาด

1) วัสดุสำหรับการฉีดอัด

ก) อีป๊อกซี่(Epoxy) เป็นเนื้ออีป๊อกซี่ล้วนๆ ใช้อีป๊อกซี่ที่มีความหนืดต่ำที่ผลิตตามมาตรฐาน ASTM D1763 ประกอบด้วยสารเคมี 2 ส่วนคือ ยางอีป๊อกซี่ (Epoxy Rasin) และตัวเร่งให้แข็ง (Hardener) สัดส่วนการผสม A : B จะเป็น 2.5 : 1 โดยปริมาตร ทั้งสองส่วนเมื่อผสมกันแล้ว สามารถฉีดเข้าในรอยร้าวเล็กๆของคอนกรีตได้โดยใช้ความดัน

2) วัสดุสำหรับการฉาบปะ

ก) อีป๊อกซี่มอร์ต้า (Epoxy Mortar) เป็นอีป๊อกซี่ตามมาตรฐาน ASTM D1763 เช่นเดียวกับแบบฉีดอัด แต่มีทรายเป็นส่วนผสมเพื่อลดเนื้ออีป๊อกซี่และลดการขยายตัวตามอุณหภูมิด้วย โดยทรายที่ผสมต้องเป็นทรายที่สะอาดไม่มีฝุ่นละอองและปราศจากความชื้นหรือแห้งสนิทเพื่อให้มีการยึดเกาะระหว่างเนื้ออีป๊อกซี่กับทรายได้ดี การผสมตัวอย่างทดสอบในอัตราส่วนระหว่างเนื้ออีป๊อกซี่ต่อทรายโดยน้ำหนักเป็น 1:2, 1:3 และ 1:4 ตามคำแนะนำจากผู้ผลิต

ข) มอร์ต้า ที่ไม่หดตัว (Non-shringage Mortar) ที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้ มีวัสดุพื้นฐานเป็น ปูนซีเมนต์ ตามที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นมีหลายชนิด แตกต่างกันตามสภาพการใช้งาน เครื่องมือที่ใช้ซ่อมและปริมาณการใช้งาน ในการทดสอบจะคัดเพียง 2 อย่างคือประเภทลดน้ำด้วยการเพิ่มความไหลลื่น และ ประเภทที่ใช้ซีเมนต์ขยายตัว ส่วนผสมที่ใช้จะเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต

3.1.2 วัสดุซ่อมที่พัฒนาจากวัสดุที่มีซีเมนต์เป็นพื้นฐาน

วัสดุซ่อมที่พัฒนาจากวัสดุที่มีซีเมนต์เป็นพื้นฐาน จะมีทั้งที่เป็นซีเมนต์เพส และซีเมนต์ผสมทรายเป็นมอร์ต้า โดยใช้ทรายที่มีขนาดคละตาม ASTM 109 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในการศึกษาจะใช้สารเคมีผสมเพิ่มแบบสารลดน้ำพิเศษประเภท G ที่ผลิตตามมาตรฐาน ASTM C494-80 ปรับแต่งคุณสมบัติทางกายภาพขณะใช้งานให้ได้ตามมาตรฐาน แล้วจึงทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล เมื่อแข็งตัวแล้ว

1) วัสดุสำหรับการปะฉาบ

วัสดุสำหรับการปะฉาบจะเป็นซีเมนต์มอร์ต้าเพียงอย่างเดียว และควบคุมการไหลตามมาตรฐาน ASTM C109 ที่เหมาะสมสำหรับการปะฉาบโดยเฉพาะ โดยจะมีการไหลประมาณ 120 - 150 % กำหนดสัดส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักเป็น 1:1, 1.5:1, 2:1 และ 2.5:1 โดยปรับแต่งน้ำและสารเคมีผสมเพิ่มให้ได้การไหลตามต้องการ

2) วัสดุสำหรับเกราท์

วัสดุสำหรับเกราท์ จะควบคุมการไหลตามมาตรฐาน The U.S. Corp. of Engineers, Method CRD-C79 (Flow cone test) วัสดุประเภทเกราท์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

ก) ซีเมนต์เพส

ข) ซีเมนต์มอร์ต้า สัดส่วนการผสมทรายต่อซีเมนต์ ที่ใช้คือ 0.5:1, 1:1 และ 1.5:1 แต่ละสัดส่วนทรายต่อซีเมนต์จะปรับการไหลให้ได้ตามต้องการโดยการปรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

3.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

1) การทดสอบกำลังอัด

ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัด จะใช้ทรงลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 มม. โดยหล่อในแบบแล้วคลุมด้วยกระสอบชุบน้ำ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วถอดแบบมาบ่มในน้ำ แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109 ที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน

2) การทดสอบกำลังดึง

ตัวอย่างทดสอบจะเป็นรูปบิเดวท หล่อทิ้งไว้ในแบบรูปบริเดวท และ บ่มด้วยการคลุมด้วยกระสอบป่านชุบน้ำ 24 ชั่วโมง แล้วถอดแบบมาบ่มในน้ำ การทดสอบกำลังดึงจะเป็นแบบดึงโดยตรง ตามมาตรฐาน ASTM C190

3) การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

การทดสอบหาโมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับพวกซีเมนต์มอร์ต้า และมอร์ต้าแบบไม่หดตัว ใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. และสูง 100 มม. ตามมาตรฐาน JIS A1108 การทดสอบโดยการกดตัวอย่างทดสอบประมาณ 60% ของกำลังอัดสูงสุดและวัดการหดตัวโดยที่ เกจ มีความละเอียดถึง 0.001 มม. ใช้ค่าความเค้นและความเครียดเขียนกราฟความสัมพันธ์ แล้วหาค่า เซ็คเค็นท์โมดูลัส สำหรับวัสดุซ่อมแซมจำพวกอีป๊อกซี่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D695-80 โดยใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว สูง 1 นิ้ว

3.2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

1) การทดสอบการหดตัว

การทดสอบการหดตัวของตัวอย่างขนาด 1x1x 11-1/4 นิ้ว ตามมาตรฐาน ASTM C490 หล่อตัวอย่างแล้วบ่มโดยการคลุมด้วยกระสอบชุบน้ำจนครบ 24 ชั่วโมงแล้วถอดแบบ นำตัวอย่างทดสอบบ่มในน้ำจนครบ 3 วัน จึงนำมาวัดความยาวเริ่มต้นจากนั้นทิ้งไว้ใน

อากาศ และวัดการเปลี่ยนแปลงความยาว ที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยที่ การเปลี่ยนแปลงความยาวต้องมีความละเอียดถึง 0.0001 นิ้ว จากนั้นนำผลการหดตัวมาเขียนความสัมพันธ์กับเวลา โดยที่แกนการหดตัวเป็นมาตราส่วนแบบล็อก และแกนเวลาเป็นมาตราส่วนแบบผกผัน (Reciprocal scale)

2) ตัวอย่างการทดสอบการขยายตัวตามอุณหภูมิ

สำหรับการทดสอบหาสัมประสิทธิ์การขยายตามอุณหภูมิ ตามมาตรฐานต้องสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวได้โดยที่ตัวอย่างอยู่ในเตาอบได้ แต่ในการนี้ไม่สามารถทำตามนั้นได้จึงใช้เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวอันเดียวกันกับที่ใช้วัดการหดตัวแต่การวัดจะต้องกระทำอย่างรวดเร็วหลังจากที่นำตัวอย่างออกจากเตาอบ ขนาดตัวอย่างที่ใช้ก็ใช้ขนาดเดียวกันกับที่ใช้วัดการหดตัว

3.2.3 <u>การทดสอบการยึดเหนี่ยวทางโครงสร้าง</u>

ตัวอย่างวัดการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับวัสดุซ่อมแซม ในการวิจัยนี้จะทดสอบกำลังยึดเหนี่ยว 2 วิธีคือกำลังยึดเหนี่ยวแบบเฉือนอัด และกำลังยึดเหนี่ยวแบบดัด

1) การยึดเหนี่ยวแบบเฉือนอัด หล่อคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C39 หลังจากบ่มในน้ำครบ 28 วันแล้วนำมาตัดโดยใช้เครื่องตัดคอนกรีตแยกเป็น 2 ท่อนทำทะแยง 45° และฝนทรายที่ผิวของรอยตัดเพื่อให้ผิวของคอนกรีตไม่เรียบมัน จากนั้นจึงนำมาต่อกันใหม่โดยใช้วัสดุซ่อมแซมแบบต่าง ๆ เป็นตัวเชื่อมดังรูปที่ 3.5 เมื่อประสานโดยวัสดุซ่อมแซมแล้วนำไปบ่มในน้ำอีกครั้งจนอายุได้ครบ 28 วันจึงนำไปทดสอบกำลังอัด

2) การยึดเหนี่ยวแบบดัด หล่อคานคอนกรีตขนาด 15x15x80 ซม. เมื่อบ่มคอนกรีตจนได้อายุ 28 วันแล้วนำมาหักโดยเครื่อง Universal Testing Machine ด้วยการดัดแบบน้ำหนักอยู่ที่ $^1/_3$ ของช่วงคานจนหักเป็นสองท่อนแล้วนำมาประสานกันกลับคืนโดยวัสดุซ่อมแซม สำหรับการประสานโดยวัสดุประเภทเกราท์เช่นมอร์ตาร์เกราท์ และการฉีดโดยอีป๊อกซี่ จะ

ต้องนำคานมาประกอบกันก่อนโดยให้ได้ความกว้างของรอยร้าวตามที่กำหนดเสียก่อนจากนั้นก็ปิดรอยแผลโดยวัสดุที่ใช้สำหรับอุดเพื่อป้องกันการรั่วออกซึ่งอาจใช้อีป๊อกซี่มอร์ต้าหรือซีเมนต์มอร์ต้าก็ได้ และจะต้องเสียบท่อไว้สำหรับเป็นที่ฉีดวัสดุประสานเข้าไปในรอยร้าวท่อที่เสียบไว้ต้องมีสองทางคืออันอยู่ล่างสำหรับฉีดวัสดุซ่อมแซมเข้าไปอีกอันหนึ่งอยู่บนสำหรับให้อากาศภายในระบายออกมาได้เพื่อป้องกันการเกิดโพรงอากาศภายในซึ่งอาจมีผลให้กำลังการยึดเหนี่ยวของรอยต่อลดลง ตามที่แสดงในรูปที่ 3.6, 3.7 หลังจากประสานเข้าด้วยกันแล้วจึงนำไปบ่มน้ำอีก 28 วัน ยกเว้นวัสดุซ่อมประเภทอีป๊อกซี่เมื่อประสานแล้วไม่ต้องมีการบ่มในน้ำ

อนึ่ง คอนกรีตที่ใช้สำหรับหล่อตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวของวัสดุซ่อมแซมกับคอนกรีตจำเป็นเป็นที่ต้องใช้คอนกรีตที่มีกำลังสูงเหตุเพราะว่าจะได้สามารถวัดกำลังยึดเหนี่ยวของวัสดุซ่อมแซมได้สูง คอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีกำลังประลัยที่อายุ 28 วัน ประมาณ 400 กก./ซม.^{2} โดยมีสัดส่วนการผสมดังตารางที่ 3.2 สัดส่วนการผสมจำเป็นต้องควบคุมให้มีความสม่ำเสมอ หินที่ใช้มีขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C-33 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ก. โดยที่ก่อนใช้ทุกครั้งต้องล้างน้ำให้สะอาดปราศจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกใด ๆ เจือปนปล่อยให้แห้งก่อนแล้วจึงนำมาใช้ในการผสม ทรายที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำเมื่อนำไปวิเคราะห์หาขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C136 พบว่ามีขนาดคละได้ตามมาตรฐาน ASTM C-33 ดังรูปที่ 3.2 ข. และเพื่อลดระยะเวลาในการทำการทดสอบในการทำวิจัยนี้ จึงใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ตราช้างเอราวัณในการหล่อคอนกรีต ตารางที่ 3.3 แสดงกำลังของตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อตามสัดส่วนผสมที่กำหนดโดยมีค่าเฉลี่ย 400 กก./ซม.^{2} โดยมีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 32 กก./ซม.^{2} ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 320000 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ 11 x10^{-6} /°C ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.3 ผลการทดสอบ

3.3.1 วัสดุซ่อมคัดเลือกจากท้องตลาด

1) วัสดุสำหรับฉีด

ก) อีป๊อกซี่ ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นสารเคมี 2 ส่วนคือส่วน A และ ส่วน B

โดยส่วน A เป็นของเหลวไม่มีสีเป็นเรซิน (Resin) ส่วน B เป็นของเหลวใสสีอมเหลืองเป็นตัวทำปฏิกริยาเคมี (Hardenner) ให้แข็งตัว สัดส่วน A : B เป็นไปตามผู้ผลิตกำหนดคือ2.5:1.0 โดยปริมาตร การผสมทั้งสองส่วนให้ได้ปริมาตรที่กำหนดแล้วผสมกันในภาชนะใสคนให้เข้ากันโดยสังเกตุสีของส่วนผสมหากทั้งสองส่วนเข้ากันดีสีของส่วนผสมจะสม่ำเสมอ จึงเก็บตัวอย่าง หรือใช้ฉีดอัดในการซ่อมแซมโครงสร้าง ผลการทดสอบกำลังอัดของอีป๊อกซี่ที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ได้ค่าเฉลี่ย 257, 518 และ 751 กก./ซม.^{2} ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบกำลังดึงของอีป๊อกซี่ที่หล่อเป็นรูปบิเดวทที่อายุ 7 และ 28 วันได้ค่าเฉลี่ย 263 และ 280 กก./ซม.^{2} ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบการหดตัวของอีป๊อกซี่ได้ค่าประมาณ 0.046 % ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งมีค่าน้อยมาก ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิของอีป๊อกซี่มีค่าประมาณ $93x10^{-6}$/ $^{\circ}$C ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของอีป๊อกซี่ที่อายุ 28 วันได้ค่าเฉลี่ย 18860 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างอีป๊อกซี่กับคอนกรีตเก่าโดยวิธีแรงเฉือนอัดโดยใช้ความกว้างของรอยต่อ 1, 2, 3 และ 4 มม. ได้ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด 420, 412, 436 และ 437 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ลักษณะการวิบัติของแท่งคอนกรีตจะไม่วิบัติที่รอยต่อแต่จะวิบัติที่คอนกรีตเก่าดังแสดงในรูปที่ 3.11 ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบดัดโดยใช้ความกว้างของรอยต่อ 1, 2, 3 และ 4 มม. ได้ค่าเฉลี่ยของแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 66.9, 52.7, 49.8 และ 52.1 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตเดิมดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.6

2) วัสดุสำหรับปะฉาบ

ก) อีป๊อกซี่มอร์ต้า คือส่วนผสมระหว่างเนื้ออีป๊อกซี่และทราย โดยใช้ทรายขนาดความคละมาตรฐานตามตารางที่ 3.1 โดยมีอัตราส่วนระหว่างเนื้ออีป๊อกซี่ต่อทรายโดยน้ำหนัก 1:2, 1:3 และ 1:4 ผลการทดสอบกำลังอัดของอีป๊อกซี่โดยใช้ขนาดตัวอย่าง 50x50x50 มม.ที่อายุ 28 วันได้ค่าเฉลี่ย 650, 501 และ 425 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบกำลังดึงโดยใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นรูปบิเดวทได้ค่ากำลังดึงเฉลี่ย 223, 190 และ 176 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิมีค่า $75x10^{-6}$, $64x10^{-6}$ และ $53x10^{-6}$ / $^{\circ}$C ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวเฉือนอัดระหว่างอีป๊อกซี่มอร์ต้ากับคอนกรีตเก่าโดยใช้ความกว้างรอยต่อ 1 ซม. ได้ค่า

เฉลี่ยกำลังอัด 420, 426 และ 393 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบตัดระหว่างอีป๊อกซี่มอร์ต้ากับคอนกรีตเก่าโดยใช้ความกว้างรอยต่อ 1 ซม. ได้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวตัดเฉลี่ยเท่ากับ 60.7, 57.5 และ 59.5 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าโมดูลัสความแตกร้าวของคอนกรีตเดิมดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.8

ข) มอร์ต้าที่ไม่หดตัว (Non-Shrinkage mortar) ในงานวิจัยนี้นำวัสดุซ่อมแซมจำพวกมอร์ต้าที่ไม่หดตัวมาทดลอง 2 ชนิดคือ ประเภทลดน้ำเพิ่มการไหลลื่น และ ประเภทขยายตัว โดยแต่ละชนิดใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

1) ผลการทดสอบประเภทลดน้ำเพิ่มการไหลลื่น กำลังอัดที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน ได้ค่าเฉลี่ย 242, 459, 525 และ 598 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบกำลังดึงที่อายุ 7 และ 28 วันได้ค่าเฉลี่ย 28.7 และ 42.5 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ การหดตัวจากการเสียน้ำมีค่าประมาณ 0.130 % ดังแสดงในรูปที่ 3.13 สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ 4.05×10^{-6} /°C ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 304000 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ผลการทดสอบการยึดเหนี่ยวอัดเฉือนเฉลี่ย 358 กก./ซม.^{2} ผลการทดสอบการยึดเหนี่ยวแบบตัดได้กำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 31.2 กก./ซม.^{2} ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.10

2) ผลการทดสอบประเภทขยายตัว กำลังอัดที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน ได้ค่าเฉลี่ย 317, 527, 561 และ 847 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.11 ผลการทดสอบกำลังดึงที่อายุ 7 และ 28 วัน ได้ค่าเฉลี่ย 37.1 และ 52.2 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ การหดตัวเสียน้ำมีค่าประมาณ 0.110% ดังแสดงในรูปที่ 3.16 สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ 4.54×10^{-6}/°C ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 275000 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ผลการทดสอบการยึดเหนี่ยวเฉือนอัดเฉลี่ย 245 กก./ซม.^{2} ผลการทดสอบการยึดเหนี่ยวแบบตัดได้กำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 29.8 กก./ซม.^{2} ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.12

3.3.2 วัสดุซ่อมที่พัฒนาจากวัสดุที่มีซีเมนต์เป็นพื้นฐาน

การทดสอบวัสดุซ่อมแซมจำพวกซีเมนต์มอร์ต้าแบ่งเป็น 2 ประเภทคือแบบที่ใช้สำหรับการปะฉาบและแบบที่ใช้สำหรับการเกราท์ ทั้งสองประเภทจะทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือนวัสดุซ่อมจากท้องตลาดโดยเปรียบเทียบกันระหว่างแบบที่ผสมสารลดน้ำพิเศษและมอร์ต้าธรรมดา

1) มอร์ต้าสำหรับการปะฉาบ

มอร์ต้าที่เป็นประเภทสำหรับการปะฉาบจะมีการไหลโดยการทดสอบโดยโต๊ะวัดการไหล (Flow table) ตามมาตรฐาน ASTM C 230 และทดสอบตามขั้นตอนของ ASTM C109 มอร์ต้าที่ใช้จะผันแปรอัตราส่วนระหว่างทรายกับปูนซีเมนต์คือ 1:1, 1.5:1, 2:1 และ 2.5:1 โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์กับอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทราย ทั้งมอร์ต้าที่ผสมสารลดน้ำพิเศษและมอร์ต้าแบบไม่ผสมสารลดน้ำพิเศษที่ทำให้ได้การไหลพอเหมาะกับการปะฉาบดังแสดงในรูปที่ 3.18

มอร์ต้าสำหรับปะฉาบแบบไม่ผสมสารลดน้ำพิเศษ ที่มีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40, 0.48, 0.58 และ 0.68 ตามลำดับผลการทดสอบกำลังอัดโดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 50x50x50 มม. ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.19 โดยที่กำลังอัดที่อายุ 28 วันมีค่าเฉลี่ย 805, 560, 437 และ 360 กก./ซม.^{2} ผลการทดสอบกำลังดึงที่อายุ 28 วันได้กำลังดึงเฉลี่ย 55.1, 43.0, 34.0 และ 31.3 กก./ซม.^{2} ตามลำดับผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ค่าเฉลี่ย 298000, 261400, 230000, 203600 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ถึงรูปที่ 3.23 ผลการทดสอบการหดตัวจากการเสียน้ำได้การหดตัว 0.117, 0.112, 0.107 และ 0.104 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.24 การทดสอบการขยายตัวตามอุณหภูมิได้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัว 4.0×10^{-6}, 5.5×10^{-6}, 7.71×10^{-6} และ 8.53×10^{-6} / °C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.25 ผลการทดสอบการยึดเหนี่ยวเฉือนอัดโดยใช้ความกว้างของรอยต่อกว้าง 1 ซม. ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 336, 229, 215 และ 173 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบดัดโดยใช้ความกว้างรอยต่อ 1 ซม. ได้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 19.7, 17.5, 17.6 และ 12.5 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในตารางที่ 3.13

มอร์ต้าสำหรับปะฉาบแบบผสมสารลดน้ำพิเศษ ที่มีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1 โดยมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30, 0.38, 0.49 และ 0.63 ผลการทดสอบกำลังอัดโดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 50x50x50 มม. ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.26 กำลังที่อายุ 28 วันมีค่าเฉลี่ย 876, 710, 526 และ 412 กก./ซม.^{2} ผลการทดสอบกำลังดึงที่อายุ 28 วันได้กำลังดึงเฉลี่ย 59.1, 49.1, 39.1 และ 37.9 กก./ซม.^{2} ตามลำดับผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ค่าเฉลี่ย 344500, 290000, 250000, 205100 กก./ซม^2 ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ถึงรูปที่ 3.30 ผลการทดสอบการหดตัวจากการเสียน้ำได้การหดตัว 0.113, 0.108, 0.101 และ 0.097 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 การทดสอบการขยายตัวตามอุณหภูมิได้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัว $6.2x10^{-6}$, $7.7x10^{-6}$, $8.91x10^{-6}$ และ $9.58x10^{-6}$ /°C ตามลำดับดังแสดงในรูป 3.32 ผลการทดสอบการยึดเหนี่ยวเฉือนอัดโดยใช้ความกว้างของรอยต่อกว้าง 1 ซม. ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 394, 362, 243 และ 214 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบดัดโดยใช้ความกว้างรอยต่อ 1 ซม. ได้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 35.6, 23.3, 19.5 และ 18.1 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในตารางที่ 3.14

2) มอร์ต้าสำหรับการเกราท์

มอร์ต้าที่ใช้สำหรับการเกราท์วัดการไหลโดยการทดสอบด้วย Flow Cone Test ดังแสดงในรูปที่ 3.33 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ The U.S. Corps. of Engineers, Methods CRD-C79 โดยใช้เวลาการไหล 11 วินาที จากการทดลองการไหลดังกล่าวได้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับอัตราส่วนระหว่างทรายต่อซีเมนต์ที่ทำให้เวลาการไหลได้ 11 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.34

ก) ซีเมนต์เพสแบบไม่ผสมสารลดน้ำพิเศษ และแบบที่ผสมสารลดน้ำพิเศษ มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 และ 0.45 ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังอัดโดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 50x50x50 มม. ได้กำลังอัดที่อายุ 28 วัน 388 กก./ซม.^{2} และ 476 กก./ซม.^{2} กำลังดึง 34.2 กก./ซม.^{2} และ 41.0 กก./ซม.^{2} และโมดูลัสยืดหยุ่นได้ค่า 990000 กก./ซม.^{2} และ 190300 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.43 การทดสอบการหดตัวจากการเสียน้ำ 0.302 % และ 0.304 % ดังแสดงในรูปที่ 3.40 และ 3.48

สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ ทั้งแบบไม่ผสมสารลดน้ำพิเศษ และแบบผสมสารลดน้ำพิเศษ ให้ค่าเท่ากันคือ 2.5×10^{-6} / °C ดังแสดงในรูปที่ 3.41 และ 3.48 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวเฉือนอัด ได้กำลังอัดเฉลี่ย 173 กก./ซม.^{2} และ 219 กก./ซม.^{2} ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบตัด ได้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 18.2 กก./ซม.^{2} และ 29.7 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ

ข) มอร์ต้าสำหรับเกราท์แบบไม่ผสมสารลดน้ำพิเศษ โดยที่มอร์ต้ามีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 0.5:1, 1:1 และ 1.5:1 มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.65, 0.75, 0.81 ผลการทดสอบกำลังอัดโดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 50x50x50 มม. ได้กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เฉลี่ย 433, 440 และ 302 กก./ซม.^{2} ตามลำดับดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.35 ผลการทดสอบกำลังดึงที่อายุ 28 วันได้กำลังดึงเฉลี่ย 31.6, 30 และ 31.9 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ค่าเฉลี่ย 119500, 130700 และ 111900 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.37 ถึงรูปที่ 3.39 การทดสอบการหดตัวจากการเสียน้ำได้การหดตัว 0.232, 0.157 และ 0.125 % ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.40 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิได้ค่าเฉลี่ย 2.8×10^{-6}, 4.1×10^{-6} และ 4.8×10^{-6} / °C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.41 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวเฉือนอัด ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 152, 138 และ 130 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบตัดได้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 13.4, 15.7 และ 19.2 กก./ซม.^{2} ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3.15

มอร์ต้าสำหรับเกราท์แบบผสมสารลดน้ำพิเศษ โดยที่มอร์ต้ามีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 0.5:1, 1:1 และ 1.5:1 มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.57, 0.65, 0.75 ผลการทดสอบกำลังอัดโดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 50x50x50 มม. ได้กำลังอัดที่อายุ 28 วันเฉลี่ย 600, 628 และ 283 กก./ซม.^{2} ตามลำดับดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.42 ผลการทดสอบกำลังดึงที่อายุ 28 วันได้กำลังดึงเฉลี่ย 37.0, 31.0 และ 31.5 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ค่าเฉลี่ย 214300, 225900 และ 174300 กก./ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.44 ถึงรูปที่ 3.46 การทดสอบการหดตัวจากการเสียน้ำได้การหดตัว 0.228, 0.155 และ 0.136 % ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.47 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิได้ค่าเฉลี่ย 3.5×10^{-6}, 4.0×10^{-6} และ 5.0×10^{-6} / °C ตามลำดับ

ดังแสดงในรูปที่ 3.48 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวเฉือนอัด ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 160, 141 และ 136 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบดัดได้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวเฉลี่ย 27.5, 22.0 และ 18.7 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย