

บทที่ 3

การทดสอบ

3.1 แผนการทดสอบ

ในการวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1.1 การศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่ผสมในมอร์ต้า โดยแบ่งการทดสอบ

ออกเป็น 8 ชุด ตามตารางที่ 3.1

3.1.1.1 ศึกษาอัตราส่วนปูนขาวต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.84

อัตรา ส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทรายที่ไซ้ คือ 1:1:6, 1:2:6, 1:2.5:6 และ 1:3:6 โดยปริมาตร

3.1.1.2 ศึกษาอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.84

อัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทรายที่ไซ้ คือ 1:2:5, 1:2:6, 1:2:6.5 และ 1:2:7 โดยปริมาตร

3.1.1.3 ศึกษาอัตราส่วนเพอร์ไลต์ที่ไซ้แทนทรายต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.67 และอัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย:เพอร์ไลต์ที่ไซ้ คือ 1:2:5:1, 1:2:4:2, 1:2:3:3 และ 1:2:2:4 โดยปริมาตร

3.1.1.4 ศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย เป็น 1:2:6 โดยปริมาตร แปรผันอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เป็น 1.70, 1.84, 1.90 และ 1.95 โดยน้ำหนัก

3.1.1.5 ศึกษาอัตราส่วนสารลดน้ำพิเศษต่อซีเมนต์และปูนขาว ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.70 และอัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทรายที่ไซ้ คือ 1:2:6 โดยปริมาตรแปรผัน ปริมาณสารลดน้ำพิเศษเป็นร้อยละ 0.15, 0.30, 0.45 และ 0.60 โดยน้ำหนักของซีเมนต์และปูนขาว

3.1.1.6 ศึกษาอัตราส่วนสารกระจายกักฟองอากาศต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.84 และอัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย ที่ไซ้ คือ 1:2:6 โดยปริมาตร แปรผัน ปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศเป็นร้อยละ 0.02, 0.06, 0.10 และ 0.14 โดยน้ำหนักของซีเมนต์

3.1.1.7 ศึกษาอัตราส่วนสารโพลิเมอร์ต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.84 และอัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย ไซ้ คือ 1:2:6 โดยปริมาตร แปรผันปริมาณ สารโพลิเมอร์ เป็นร้อยละ 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 โดยน้ำหนักของซีเมนต์

3.1.1.8 ศึกษาอัตราส่วนสารเมทิลเซลลูโลสต่อซีเมนต์ ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.84 และอัตราส่วน ซีเมนต์:ปูนขาว:ทรายที่ใช้ คือ 1:2:6 โดยปริมาตร แปรผันปริมาณสารเมทิลเซลลูโลส เป็นร้อยละ 0.03 , 0.05 , 0.08 และ 0.12 โดยน้ำหนักของซีเมนต์

3.1.2 การศึกษาผลกระทบเมื่อมีการผสมตัวแปรรวมกัน โดยทดสอบตามตารางที่

3.2

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ปูนซีเมนต์ (Portland Cement)

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I ตามมาตรฐาน ASTM C 150

3.2.2 ปูนขาว(Lime)

ปูนขาวใช้ไฮเดรตไลม์(Hydrated lime)

3.2.3 ทราย(Sand)

ทรายที่ใช้เป็นทรายน้ำจืดจากธรรมชาติขนาดกละตามตารางที่ 3.3 และสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM C 144

3.2.4 มวลรวมเบา(Lightweight Aggregate)

มวลรวมเบาที่ใช้รวมในการทดสอบในครั้งนี้คือเพอร์ไลต์(Perlite) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาวเทา มีขนาด 0.50-2.00 มิลลิเมตร

3.2.5 น้ำ(Water)

น้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำประปา

3.2.6 สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้ มี 4 ชนิด คือสารลดน้ำพิเศษ(Superplasticizer) ,สารกระจายกักฟองอากาศ(Air-entraining Agent) ,สารโพลีเมอร์(Polymer) ,สารเมทิลเซลลูโลส(Methyl cellulose) โดยสารเคมีทุกชนิดจะอยู่ในรูปผง และอัตราส่วนผสมใช้ตามคำแนะนำตามบริษัทที่ผลิต

3.3 ขั้นตอนการทดสอบและการวิธีการทดสอบ

การทดสอบกระทำในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยแยกทำการทดสอบใน 3 ขั้นตอนคือ

3.3.1 การผสมมอร์ต้า

การผสมมอร์ต้าดัดแปลงมาจากการผสมมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM C 305 โดยเริ่มแรกใส่ปูนซีเมนต์และปูนขาวลงในหม้อผสมที่เติมน้ำแล้ว เปิดเครื่องผสมความเร็วต่ำเป็นเวลา 30

วินาที ขณะเดียวกันค่อยๆดึงทรายลงไปในห้องผสมช้าๆให้หมด แล้วเปิดเครื่องผสมปรับความเร็วของเครื่องผสมระดับปานกลาง แล้วเปิดเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที ปิดเครื่องผสมเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที เปิดเครื่องผสมในระดับปานกลางอีกเป็นเวลา 1 นาที เสร็จแล้วนำส่วนผสมไปใช้ได้

ในกรณีที่มีการใส่สารผสมเพิ่มให้ผสมกับปูนซีเมนต์ คละให้เข้ากันก่อน แล้วทำตามขั้นตอนข้างต้น สำหรับเพอร์โลสต์เนื่องจากเป็นมวลรวมประเภทหนึ่งใส่โดยผสมกับทราย แล้วใส่ในขั้นตอนการใส่ทราย

3.3.2 การทดสอบมอร์ต้าในระยะเริ่มแรก

การทดสอบการไหล(Flow Test)

การทดสอบการไหลมีเครื่องมือการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 305 การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109 ทั้งนี้ เป็นการทดสอบเพื่อให้ได้มอร์ต้าที่เหมาะสมแก่การทำงาน ทดสอบโดยหลังจากการผสมมอร์ต้าแล้วต้องวัดค่าการไหลก่อนที่จะนำไปหล่อในแบบหรือทดสอบขั้นต่อไป

3.3.3 การทดสอบเมื่อมอร์ต้าแข็งตัวแล้ว

3.3.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Compressive Strength Test)

เป็นการทดสอบหากล้างอัดของมอร์ต้า ใช้แท่งทดสอบขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร แท่งทดสอบจะถูกถอดจากแบบเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง และทำการบ่มในน้ำทันที จนได้อายุการทดสอบแล้วทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลัง(Universal Testing Machine) ดังรูป 3.1 วิธีทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109

3.3.3.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(Modulus of Elasticity)

ตัวอย่างการทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น จะใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS A 1108 เมื่อบ่มตัวอย่างได้ตามอายุแล้วทำการทดสอบกำลังด้วยเครื่องทดสอบกำลัง และทำการวัดการหดตัวเทียบกับแรงที่กด โดยค่าวัดค่าละเอียดถึง 0.001 มิลลิเมตร นำค่าความเค้นและความเครียดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ เพื่อหาขาค้นท์โมดูลัส

3.3.3.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ(Water Absorption)

แท่งทดสอบใช้แท่งทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ถอดแบบหลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ในอากาศ 6 วัน ซึ่งน้ำหนักแท่งตัวอย่างก่อนนำแท่งตัวอย่างมาทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการดมในน้ำเดือดประมาณ 2 ชั่วโมงเพื่อไล่

พองอากาศในเนื้อมอร์ต้าทิ้งไว้ให้แห้งตัวอย่างเย็นลงด้วยตัวเอง เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งแล้วทำการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มแรก โดยการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 413

$$\text{การดูดซึมน้ำ(Absorption)} = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad \%$$

D

$$W = \text{น้ำหนักแห้งตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำ}$$

$$D = \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มแรก}$$

3.3.3.4 การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง(Drying Shrinkage)

การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งใช้แท่งทดสอบขนาด 25x25x285 มิลลิเมตร แท่งทดสอบจะถูกถอดจากแบบเมื่อมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มในน้ำ 48 ชั่วโมง เมื่อมีอายุครบ 72 ชั่วโมง นำแท่งทดสอบขึ้นจากน้ำเช็ดผิวให้แห้งวัดความยาวแท่งตัวอย่างครั้งแรก นำแท่งตัวอย่างทิ้งไว้ในอากาศวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของแท่งตัวอย่างเมื่อมีอายุครบ 7, 14, 21 และ 28 วัน จากนั้นนำผลการหดตัวมาเขียนกราฟความสัมพันธ์เทียบกับเวลา โดยที่แกนการหดตัวเป็นมาตราส่วนแบบล็อก และแกนเวลาเป็นมาตราส่วนแบบผกผัน(Reciprocal Scale) วิธีการทดสอบนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM C 596

3.3.3.5 การทดสอบการขยายตัวตามอุณหภูมิ(Thermal Expansion)

การทดสอบการขยายตัวตามอุณหภูมิดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM C 157 เป็นการทดสอบหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิของมอร์ต้า โดยใช้แท่งทดสอบขนาด 25x25x285 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับการทดสอบการหดตัว นำแท่งตัวอย่างที่ต้มในน้ำจนอายุครบ 28 วันมาอบในตู้อบอุณหภูมิและวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวที่อุณหภูมิต่างๆ กัน เนื่องจากไม่สามารถวัดขนาดในตู้อบได้จึงทำการวัดโดยนำออกมาวัดทันทีนอกตู้อบแล้วจึงนำเข้าอบต่อไป จากนั้นนำการเปลี่ยนแปลงความยาวมาเขียนกราฟเทียบกับอุณหภูมิในสเกลธรรมดา เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิ

3.3.3.6 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยว(Bonding Strength)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับคอนกรีตเบาชนิด AAC ดัดแปลงมาจาก มาตรฐาน ASTM C 952 โดยใช้คอนกรีต AAC ขนาด 60x100x200 มิลลิเมตร 2 ก้อนมาก่อไขว้กันโดยไม่มีการพรมน้ำก่อน ดังรูปที่ 3.2 หลังจากหล่อแห้งตัวอย่างแล้วทำการบ่มโดยการคลุมด้วยกระสอบป่านแช่น้ำจนอายุครบ 14 วัน นำแท่งตัวอย่างมาประกอบกับตัวประกบ (Loading Jigs) แล้วทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลัง

3.4 การหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

การหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างคุณสมบัติของมอर्टากับตัวแปรต่างๆที่ศึกษาในครั้งนี้ จะใช้วิธีการถดถอย(Regression)

การถดถอย (Regression) เป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการตรวจหาหรือตรวจสอบลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาความสัมพันธ์เหล่านั้นไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในอนาคต

3.4.1 การถดถอยแบบเส้นตรงตัวแปรเดียว(Linear Regression)

ในการวิเคราะห์การศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ต่อคุณสมบัติของมอर्टา จะวิเคราะห์โดยวิธีการถดถอยแบบเส้นตรงตัวแปรเดียว(Linear Regression) โดยความสัมพันธ์จะอยู่ในรูป

$$Y = a_0 + a_1X$$

โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด(Least Square Method) จะได้

$$a_1 = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \bar{X}$$

เมื่อ

Y = คุณสมบัติของมอर्टาที่ศึกษา(การไหล,กำลังรับแรงอัด ฯลฯ)

X = ตัวแปร (ปูนขาว,ทราย,เพอร์ไลต์,น้ำ ฯลฯ)

a_0, a_1 = ค่าคงที่

$i = n$ = จำนวนข้อมูล

$j = k$ = จำนวนตัวแปร

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของค่า X

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของค่า Y

3.4.2 การถดถอยแบบเส้นตรงหลายตัวแปร(Multiple Linear Regression)

ในการวิเคราะห์การศึกษาผลกระทบในกรณีที่มีสมตัวแปรต่างๆรวมกันจะวิเคราะห์โดยวิธีการถดถอยแบบเส้นตรงหลายตัวแปร(Multiple Linear Regression) โดยความสัมพันธ์จะอยู่ในรูปสมการ

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k$$

โดยค่าคงที่ต่างๆได้จาก

$$\begin{array}{cccc}
 n & \sum X_{1i} & \sum X_{2i} & \dots & \sum X_{ki} \\
 \sum X_{1i} & \sum X_{1i}^2 & \sum X_{1i}X_{2i} & \dots & \sum X_{1i}X_{ki} \\
 \sum X_{2i} & \sum X_{2i}X_{1i} & \sum X_{2i}^2 & \dots & \sum X_{2i}X_{ki} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\
 \sum X_{ki} & \sum X_{ki}X_{1i} & \sum X_{ki}X_{2i} & \dots & \sum X_{ki}^2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 a_0 \\
 a_1 \\
 a_2 \\
 \vdots \\
 a_k
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \sum Y_i \\
 \sum X_{1i}Y_i \\
 \sum X_{2i}Y_i \\
 \vdots \\
 \sum X_{ki}Y_i
 \end{array}$$

เมื่อ

Y = คุณสมบัติของมอรัค่าที่ศึกษา(การไหล,กำลังรับแรงอัด ฯลฯ)

X = ตัวแปร (ปูนขาว,ทราย,เพอร์ไลต์,น้ำ ฯลฯ)

$a_0, a_1 \dots a_k$ = ค่าคงที่

$i = n$ = จำนวนข้อมูล

$j = k$ = จำนวนตัวแปร

3.4.3 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(Coefficient of Determination)(R Squared)

สมการการถดถอยที่ดีจะสามารถทำนายคุณสมบัติต่างๆ(Y) โดยมีโอกาสถูกต้องที่สุดค่า ผลรวมกำลังสองของการกระจายที่อธิบายได้($\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$) ต้องมีค่าใกล้เคียงกับผลรวมกำลังสองของการกระจายทั้งหมด($\sum(Y_i - \bar{Y})^2$) นั่นคือ

$$R \text{ Squared} = \frac{(\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2)}{(\sum(Y_i - \bar{Y})^2)}$$

เมื่อ

$i = n$ = จำนวนข้อมูล

Y = คุณสมบัติของมอรัค่าที่ศึกษา(การไหล,กำลังรับแรงอัด ฯลฯ)

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของค่า Y

$\hat{Y}$ = ค่าคุณสมบัติที่ได้จากสมการการถดถอย

คุณสมบัติของ R Squared

1.) R Squared มีค่าเป็นบวกเสมอ

2.) R Squared มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 (0% - 100%)

ประโยชน์ของ R Squared

R Squared เป็นเครื่องวัดความเหมาะสมของเส้นถดถอยว่า จะแสดงแนวโน้มของข้อมูลบนแผนภาพการกระจายได้มากน้อยเพียงใด เช่นกรณีที่ศึกษาการถดถอยของข้อมูลเชิงเส้นตรง จะได้ว่า ถ้า

- 1.) R Squared มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าข้อมูลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากที่สุด
- 2.) R Squared มีค่าใกล้เคียงเลข ศูนย์ แสดงว่าแนวโน้มของข้อมูลมีลักษณะข้อมูลไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งอาจเป็นเส้นโค้งก็ได้