

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการเตรียมตัวอย่างเถ้าลอยชีวมวล โดยตัวอย่างเถ้าลอยชีวมวลที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชีวมวล และส่วนที่สองเป็นการทดลองผสมเถ้าลอยชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ในตัวอย่างมอร์ตาร์และคอนกรีต และทำการทดสอบค่ากำลังอัดเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดที่ดีที่สุด

3.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพเถ้าลอยชีวมวล

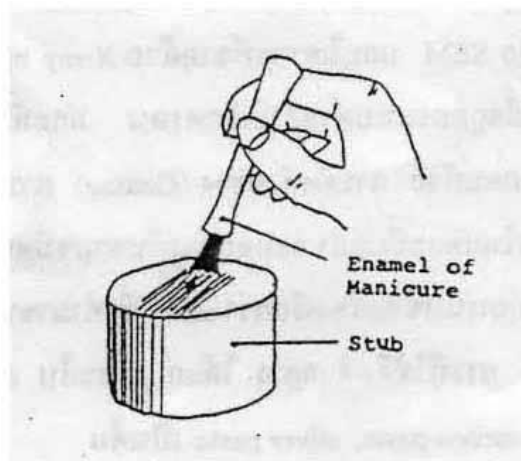
การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยชีวมวลประกอบด้วย การทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) และการทดสอบ X – ray Diffraction (XRD) รายละเอียดมีดังนี้

3.1.1 การทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM)

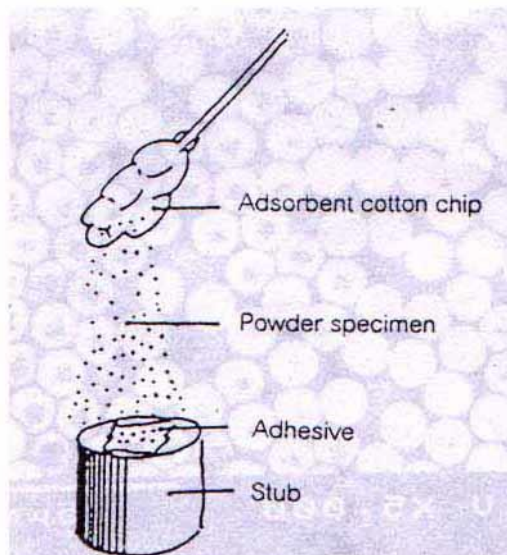
ผลของการทดสอบ SEM คือ ภาพถ่ายที่มีลักษณะ 3 มิติ ที่มีรายละเอียดของรูปร่างพื้นผิว ของตัวอย่างอย่างชัดเจน การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาด้วย SEM จะต้องเป็นของแข็งปราศจากความชื้น ไม่สลายตัวเมื่อถูกกระทบด้วยลำแสงอิเล็กตรอน และพื้นตัวอย่างจะต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า ในการเตรียมตัวอย่างประกอบด้วย การตัดตัวอย่าง การติดตัวอย่าง และการฉาบผิว ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะแตกต่างกันตามชนิดของตัวอย่างและวัตถุประสงค์ในการศึกษาวัสดุที่ใช้วางตัวอย่างก่อนนำเข้าเครื่องเรียกว่า Stub ซึ่งทำมาจากวัสดุหลายชนิด เช่น ทองเหลือง อะลูมิเนียม หรือคาร์บอนเป็นต้น กาวที่ใช้ติดตัวอย่างได้แก่ กาวตราช้าง เทปคาร์บอน เทปใสสองหน้า หรือใช้กาวโลหะ เช่น Carbon Paste หรือ Silver Paste เป็นต้น

เถ้าลอยชีวมวลเป็นตัวอย่างที่เป็นผง (Powder Specimen) ตัวอย่างที่เป็นผงสามารถนำไปติดบน Stub ได้เลย แสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.3 โดยใช้ไม้พันสำลีตัวอย่าง แล้วเกาะเบาๆ บน Stub ที่ติดเทปสองหน้าไว้ ใช้ลูกโป่งยางเป่าส่วนเกินออก แสดงในรูปที่ 3.2 โดยพยายามคิดให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียวไม่เกาะกลุ่มกัน เพื่อให้การฉาบผิว ทำได้ทั่วถึง แล้วนำตัวอย่างไปฉาบผิวต่อไป



รูปที่ 3.1 ลักษณะการป้ายยาทาเล็บลงบน Stub
ที่มา : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2542)



รูปที่ 3.2 การโรยตัวอย่างด้วยไม้พันสำลี
ที่มา : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2542)



รูปที่ 3.3 แท่ง Stub ที่โรยผงเคลือบชีวมวล

2) การฉาบผิว (Coating) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการเตรียมตัวอย่าง เพื่อให้พื้นผิวมีคุณสมบัตินำไฟฟ้ากเว้นกรณีที่ตัวอย่างนำไฟฟ้าได้ติดอยู่แล้ว หรือนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วย SEM ชนิดสุญญากาศต่ำ ก็ไม่จำเป็นต้องฉาบผิว

ตัวอย่างที่จะศึกษาด้วย SEM นิยมฉาบผิวด้วยทอง (Au) หรือโลหะผสมระหว่างทองกับ พลาเดียม (Au-Pd) ซึ่งโลหะผสม Au-Pd จะให้ Grain ที่ละเอียดกว่าทอง เหมาะสำหรับศึกษาตัวอย่างที่ต้องการรายละเอียดสูง (High Resolution) เครื่องมือที่ใช้ในการฉาบผิวเรียกว่า Sputter Coater หรือ Ion Sputter โดยตัวอย่างจะวางไว้ที่ขั้ว Anode และโลหะที่ใช้ฉาบ (Target) อยู่ที่ขั้ว Cathode ในการฉาบผิวจะสูบอากาศออกให้อยู่ในสถานะสุญญากาศระดับ 0.1 Torr แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าและปล่อยก๊าซอาร์กอน (Ar) เข้าไปในห้อง Chamber แสดงในรูปที่ 3.44 โดย Ar จะเคลื่อนไปที่ขั้ว Cathode และชนเข้าหาแผ่นทองทำให้แตกตัวเป็น โมเลกุล กระจายไปทั่วห้อง Chamber แล้วค่อย ๆ ตกลงมาเคลือบบนตัวอย่าง โดยความหนาของผิวฉาบมีค่าอยู่ระหว่าง 10 -20 nm. ถ้าหากฉาบบางเกินไป จะทำให้เกิดการ Charge up ซึ่งภาพที่ได้จะเห็นเป็นแสงสว่างจ้าเป็นจุดๆ แต่ถ้าฉาบผิวหนาเกินไปจะทำให้สูญเสียรายละเอียด ความหนาของผิวฉาบขึ้นอยู่กับ ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับ โลหะที่ใช้ (Working Distance) กระแสไฟฟ้า และเวลาที่ฉาบ

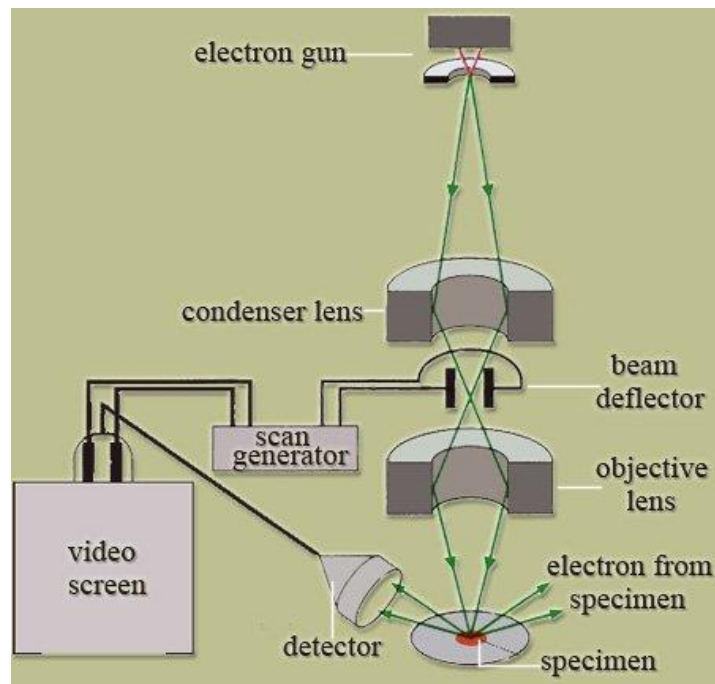


รูปที่ 3.4 ภาพระหว่างการฉายรังสีลงบนแผ่นตัวอย่าง

3) นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่อง SEM แสดงในรูปที่ 3.5 โดยหลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะส่งผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอนซึ่งสามารถปรับขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสด้วยการใช้เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงค่าเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ แสดงในรูปที่ 3.6 แล้วถูกนำไปวิเคราะห์แล้วแสดงเป็นภาพบนจอโทรทัศน์และสามารถบันทึกภาพบนหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM)



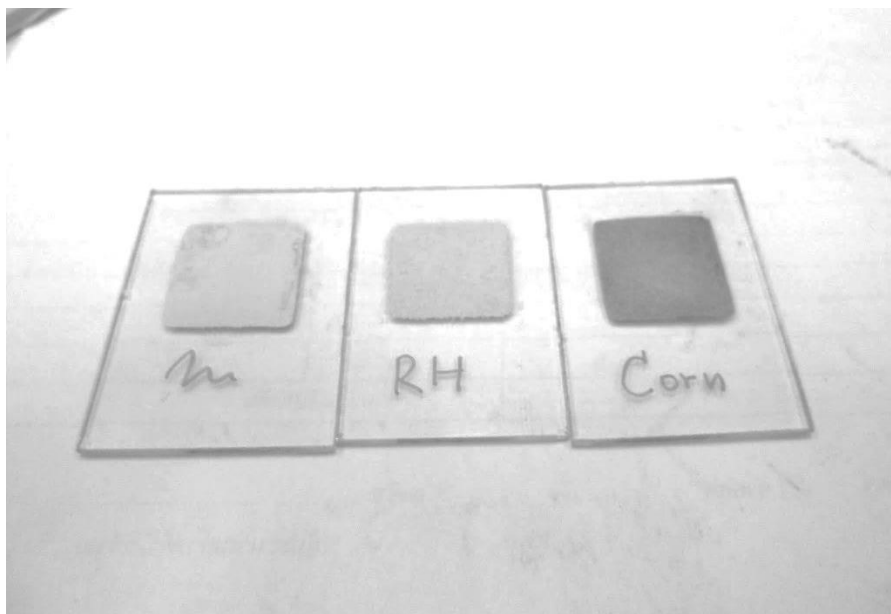
รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของเครื่อง SEM

ที่มา : สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล (ม.ป.ป.)

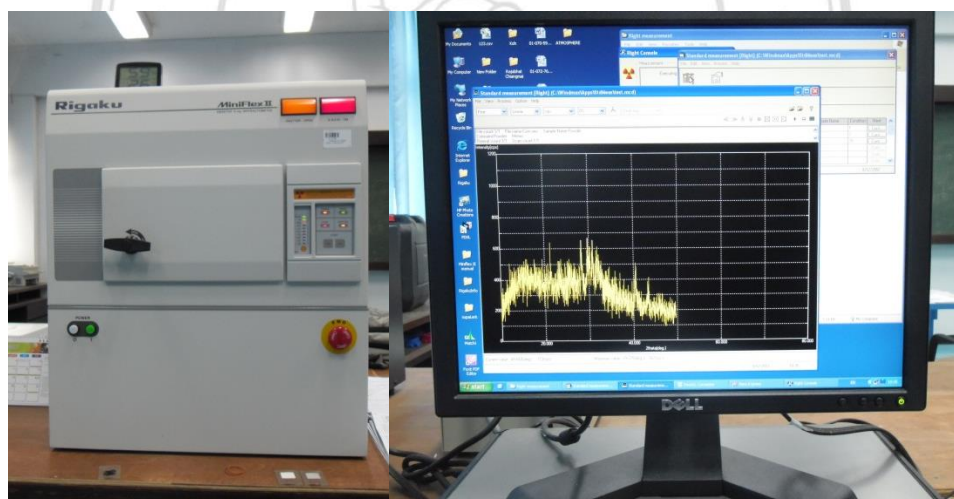
3.1.2 การทดสอบความเป็นผลึก โดยวิธี X – ray Diffraction (XRD)

ผลของการทดสอบ XRD จะให้ผลเป็นกราฟของจุดยอดคลื่นเทียบกับมุม 2θ โดยขั้นตอนการทดสอบ XRD มีดังนี้

- 1) เตรียมตัวอย่างเกล็ดลอยชีวมวลที่จะนำไปทดสอบ XRD จะต้องมีความหนาไม่เกิน 100 ไมครอน
- 2) เตรียมตัวอย่างบรรจุลงเพลท เพื่อที่จะเตรียมนำเข้าเครื่อง Diffractometer แสดงในรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8
- 3) กำหนดเวลาในการตรวจวัดความเข้มของรังสีเลี้ยวเบน
- 4) บันทึกข้อมูลตำแหน่งมุมที่เกิดการเลี้ยวเบนและค่าความเข้มสัมพัทธ์ของการเลี้ยวเบน
- 5) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบกับ Pattern มาตรฐาน เพื่อที่จะจำแนกชนิดของสารประกอบต่อไป



รูปที่ 3.7 เฟลทใส่ผงถั่วลยชีวมวลเตรียมนำเข้าเครื่อง Diffractometer



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบ Diffractometer

3.2 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี X-ray Fluorescence (XRF)

การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี X-ray Fluorescence (XRF) ให้ผลปริมาณองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างถั่วลยชีวมวล ซึ่งมีผลต่อความเป็นสารปอชโซลานและใช้จำแนกประเภทของถั่วลยได้ โดยมีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

- 1) เตรียมตัวอย่างผงถั่วลยชีวมวลปริมาณไม่น้อยกว่า 30 mg แสดงในรูปที่ 3.9
- 2) นำตัวอย่างผงถั่วลยชีวมวลไปเผากำจัดส่วนที่เป็นคาร์บอนของผงตัวอย่างออก

- 3) อัดผงถั่วลยชีวมวลเข้าตลับทดสอบ
- 4) นำเข้าเครื่องทดสอบ X-ray Fluorescence (XRF) แสดงในรูปที่ 3.10
- 5) ผลที่ได้ประกอบด้วยชนิดของธาตุทางเคมีและร้อยละของปริมาณของธาตุโดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างถั่วลยชีวมวลที่ใช้ทดสอบ X-ray Fluorescence (XRF)



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบ X-ray Fluorescence (XRF)

3.3 การทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 ประกอบด้วยขั้นตอนการผสมมอร์ตาร์ การหล่อตัวอย่าง และทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ อัตราส่วนการผสมประกอบด้วยวัสดุประสาน มวลรวมละเอียดและน้ำ โดยในงานวิจัยนี้ใส่เถ้าลอยชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

3.3.1 การผสมมอร์ตาร์

อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์ คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1 : 2.75 โดยน้ำหนัก โดยทรายที่ใช้มีขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C778 ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน ทดสอบจากการทดสอบทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ โดยกระบวนการผสมมอร์ตาร์มีดังนี้

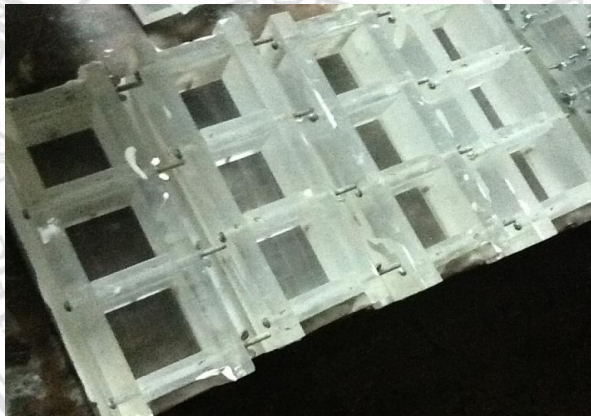
- 1) ผสมปูนซีเมนต์กับเถ้าลอยชีวมวลให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมมอร์ตาร์ แสดงในรูปที่ 3.11 ใช้ความเร็วต่ำผสมนาน 30 วินาที



รูปที่ 3.11 เครื่องผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 2) เติมทรายให้หมดภายในเวลา 30 วินาที ใช้ความเร็วต่ำตอนเติมทราย
- 3) เติมน้ำให้หมดภายในเวลา 30 วินาที ใช้ความเร็วต่ำตอนเติมทราย
- 4) เปิดเครื่องผสมที่ความเร็วสูง เป็นเวลา 90 วินาที
- 5) ปิดเครื่องผสม นำหม้อผสมออกจากชนด้วยมือ ให้มอร์ตาร์ที่ติดขอบหม้อผสมเข้ากัน ใช้เวลา 15 วินาที

- 6) นำมือเข้าเครื่องผสม ใช้ความเร็วสูง นาน 2 นาที
- 7) ปิดเครื่องนำมอร์ตาร์หล่อลงแบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ cm ที่ทำความสะอาดแล้ว แสดงในรูปที่ 3.12
- 8) แบ่งมอร์ตาร์เป็น 2 ชั้น กระทุ้งชั้นละ 32 ครั้ง แบ่งเป็น 4 รอบ
- 9) เมื่อมอร์ตาร์เต็มแบบทำการปาดหน้าให้เรียบ
- 10) ทิ้งมอร์ตาร์ให้แข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบแล้วนำไปบ่มขึ้นเป็นเวลา 7 14 และ 28 วัน ลักษณะของมอร์ตาร์แสดงในรูปที่ 3.13 ก่อนนำไปทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ต่อไป



รูปที่ 3.12 แบบหล่อมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.13 มอร์ตาร์ที่บ่มและอายุ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบกำลังอัด

3.3.2 การทดสอบทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์

การทดสอบทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C1437 ทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนปริมาณของน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ในการผสมมอร์ตาร์ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เมื่อผสมมอร์ตาร์เรียบร้อยแล้ว นำมอร์ตาร์ใส่ลงในแบบวงแหวนบนโต๊ะทดสอบการไหลแสดงใน รูปที่ 3.14 โดยแบ่งชั้นมอร์ตาร์เป็น 2 ชั้น แล้วใช้แท่งกระทุ้งกระทุ้งในแบบที่มีซีเมนต์มอร์ตาร์ 20 ครั้งต่อชั้น เมื่อเต็มแล้วปาดซีเมนต์มอร์ตาร์ให้เสมอบนแบบ
- 2) ยกแบบวงแหวนขึ้นในแนวตั้ง แล้วหมุนแท่นตกกระทบเป็นจำนวน 25 ครั้งในเวลา 15 วินาที ต่อมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แผ่กระจายบนแท่นทดสอบจำนวน 4 จุด และหาค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง จากนั้นคำนวณหาค่าการไหลแผ่ด้วยสมการ 3.1



รูปที่ 3.14 โต๊ะทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์

$$\% \text{ Flow} = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\% \text{ Flow} = \text{ร้อยละการไหลแผ่ (ค่าร้อยละการไหลแผ่ที่ยอมรับให้ใช้เท่ากับร้อยละ } 110 \pm 5)$$

D_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแบบทดสอบ

D_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ตาร์บนแท่นทดสอบ

3.3.3 การทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์

กำลังอัดของมอร์ตาร์ มีผลมาจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ตามอายุ ปริมาณเถ้าลอยชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์และขั้นตอนการในกระบวนการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์มีดังนี้

- 1) เมื่อตัวอย่างมอร์ตาร์มีอายุครบตามกำหนดนำตัวอย่างมาตากให้แห้งในที่ร่ม ก่อนทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) วัดขนาดมิติ และชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ เลือกด้านที่จะรับแรงกด
- 3) นำตัวอย่างมอร์ตาร์เข้าเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine แสดงในรูปที่ 3.15
- 4) เริ่มปล่อยแรงกดด้วยอัตรา 90-180 kg/วินาที จนก้อนตัวอย่างประลัยบันทึกแรงกดสูงสุดนำไปคำนวณกำลังอัดตามสมการที่ (3.2)

$$F = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

เมื่อกำหนดให้

F = กำหนดหน่วยแรงอัดประลัยหรือค่าความต้านทานแรงอัด (kg/cm^2)

P = แรงอัดประลัย ได้จากการอ่านในเครื่องทดสอบ (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่างทดสอบ (cm^2)



รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3.4 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไป คุณสมบัติของคอนกรีตที่สำคัญก็คือ กำลังอัด เพราะคอนกรีตมีสมบัติรับแรงอัดได้ดี ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมีดังนี้

3.4.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ออกแบบโดยวิธีตามมาตรฐานอเมริกาโดยต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1) ปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทั่วไป

2) มวลรวม

2.1) ขนาดกละ ควรมีส่วนกละตามมาตรฐาน ASTM C33

2.2) ความถ่วงจำเพาะ

- ทราบ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128
- หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127

2.3) ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C70 และ ASTM C566

2.4) ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C125

2.5) หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จัดหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 3.16

3.4.2 ตัวอย่างการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

ออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานทั่วไป โดยกำหนดรายละเอียดดังนี้ กำลังอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 200 ksc โดยให้อิโกลาส์ที่ก้อนตัวอย่างก้อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกินร้อยละ 5 ($k = 1.645$) และค่า $S = 30$ ksc

- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15
- ข้อมูลมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดแสดงในตารางที่ ข-8 ถึง ข-13
- มวลรวมหยาบขนาดโตสุด 20 mm (3/4") มีความถ่วงจำเพาะ 2.70
- ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.48 ค่าความชื้นร้อยละ 0.90
- มีหน่วยน้ำหนัก (แห้งอัดแน่น) เป็น 1566 kg/m^3
- มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.73
- มีโมดูลความละเอียดของมวลรวมละเอียดเท่ากับ 2.68
- ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.88 ค่าความชื้นร้อยละ 1.60

วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้

- 1) กำลังที่ต้องผลิต $= f_c' + k_s = 200 + (1.645 \times 30) = 250 \text{ ksc}$
- 2) จากตารางที่ ข-1 ใช้ค่าการยุบตัว เท่ากับ 8-10 cm
- 3) ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 mm

- 4) จากตารางที่ ข-3 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20 mm ค่าความยุบตัว 8-10 cm ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศ ได้ปริมาณน้ำ = 200 lite/m³ ของคอนกรีต
- 5) จากตารางที่ ข-5 คอนกรีตออกแบบที่กำล้ง 250 ksc ใช้ W/C = 0.62
- 6) ปริมาณปูนซีเมนต์ = $200/0.62 = 322 \text{ kg}$
- 7) หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ ข-6 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.68 ได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = $0.63 \text{ m}^3/\text{m}^3$ คอนกรีต
- 8) วัสดุผสมหยาบที่ใช้ = $1566 \times 0.63 = 987 \text{ kg/m}^3$ ของคอนกรีต
- 9) ปริมาณของวัสดุผสมละเอียด ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม:
- ปริมาตรของน้ำ = $200/1000 = 0.200 \text{ m}^3$
 - ปริมาตรของซีเมนต์ = $322/(3.15 \times 1000) = 0.102 \text{ m}^3$
 - ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ = $987/(2.70 \times 1000) = 0.366 \text{ m}^3$
 - ปริมาตรของฟองอากาศ = $0.02 \times 1.0 = 0.020 \text{ m}^3$
 - ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.688 m^3
 - ปริมาตรของทราย = $1 - 0.688 = 0.312 \text{ m}^3$
 - น้ำหนักของทรายแห้ง = $0.312 \times 2.73 \times 1000 = 852 \text{ m}^3$
 - ปริมาณน้ำปรับแก้ : หิน = $(1.48-90) \times 987 / 100 = 6 \text{ kg/m}^3$
 - : ทราย = $(2.88-1.60) \times 852 / 100 = 11 \text{ kg/m}^3$
 - ปริมาณน้ำปรับแก้ = $200 + 11 + 6 = 217 \text{ kg/m}^3$

สรุป สัดส่วนผสมคอนกรีต 1 m³ ต้องใช้

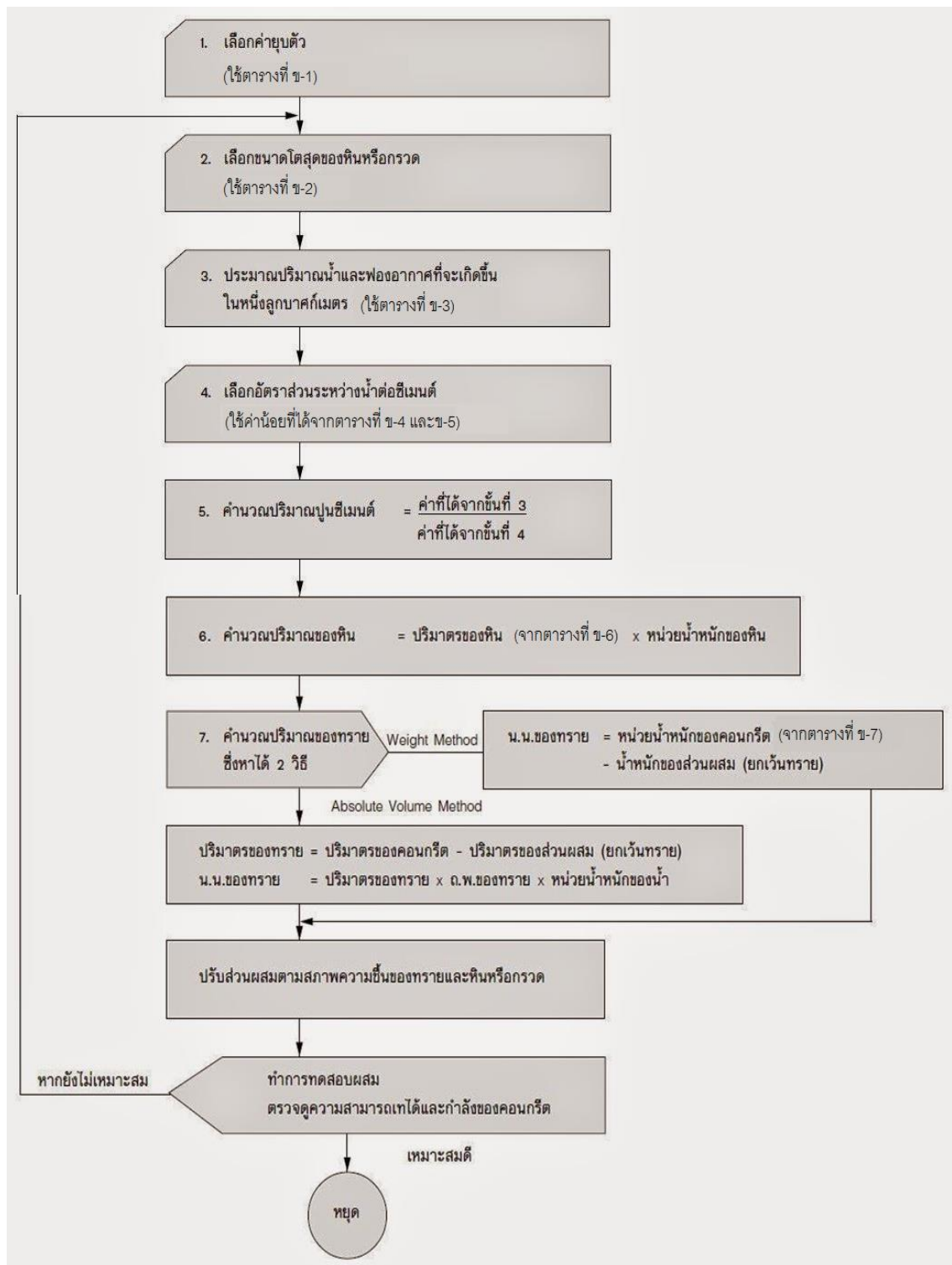
- ซีเมนต์ 322 kg
- น้ำ 217 kg
- มวลรวมหยาบ 987 kg
- มวลรวมละเอียด 852 kg
- รวมน้ำหนักทั้งหมด 2378 kg

3.4.3 การผสมคอนกรีต

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตปฏิบัติงานตามมาตรฐาน ASTM C192 มีวิธีการผสมคอนกรีตดังนี้

- 1) ชั่งตวงส่วนผสมคอนกรีตทั้งหมดให้เรียบร้อย และล้างเครื่องผสมคอนกรีตให้สะอาด แสดงในรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18
- 2) เปิดเครื่องผสมคอนกรีต ใส่หินลงไปตามด้วยน้ำบางส่วน ผสมกันประมาณ 1 นาที
- 3) ใส่ปูนซีเมนต์ทั้งหมด ตามด้วยน้ำทั้งหมด 1-2 นาที
- 4) ใส่ทรายทั้งหมดลงไป ผสมจนเนื้อคอนกรีตผสมเข้าด้วยกัน
- 5) เทคอนกรีตออกจากเครื่องผสมและหล่อคอนกรีตลงแบบต่อไป แสดงในรูปที่

3.19



รูปที่ 3.16 แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

ที่มา : รัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2552)



รูปที่ 3.17 ส่วนผสมของคอนกรีตที่ชั่งตวงเตรียมไว้



รูปที่ 3.18 เครื่องผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.19 คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.4.4 การทดสอบค่าการยุบตัว

การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตเป็นการทดสอบหาความสามารถไหลได้ของคอนกรีตสด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143 มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์ทดสอบ คือ โคนรูปทรงกรวยตัด เส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 10 cm และด้านล่าง 20 cm สูง 30 cm มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบทั้ง 2 ข้าง เหล็กดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm ยาว 60 cm ปลายกลมมน แสดงในรูปที่ 3.20
- 2) นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
- 3) วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบ นำโคนขึ้นวางให้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้าง
- 4) ใช้ช้อนตักคอนกรีตใส่ลงในโคนโดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาณเท่า ๆ กัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในโคนสูงประมาณ 6-7 m คำด้วยเหล็กดำ 25 ที่ ในการตักต้องทำให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 cm คำให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนเต็มคำให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เพียงเล็กน้อยปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบร้อย รวมทั้งทำความสะอาดบริเวณโคนและแผ่นเหล็กทรง
- 5) ดึงโคนขึ้นตรง ๆ ไม่หมุน
- 6) วางโคนลงข้าง ๆ คอนกรีตแล้ววัดค่ายุบตัวของคอนกรีต แสดงในรูปที่ 3.21

ค่ายุบตัวคือ ค่าระยะที่คอนกรีตยุบตัวจากเดิม โดยวัดที่บริเวณจุดกึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัว ในการวัดให้วัดละเอียดถึง 0.5 cm

3.4.5 การหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

การหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C192 ขนาดแบบหล่อที่ใช้คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm สูง 20 cm โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์ แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงกระบอกขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm สูง 20 cm เหล็กดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm ปลายกลมมน ช้อนตัก และเกลียงเหล็ก



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต



รูปที่ 3.21 การวัดค่ายุบตัวของคอนกรีต

- 2) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน แสดงในรูปรูปที่ 3.22
- 3) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กตัก 25 ครั้ง
- 4) เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ แสดงในรูปที่ 3.23

- 5) รอคอนกรีตแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก แล้วนำไปบ่มขึ้นจนครบอายุ จึงนำไปทดสอบกำลังอัดต่อไป ก้อนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.22 แบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm สูง 20 cm ที่ใช้



รูปที่ 3.23 คอนกรีตที่เต็มแบบหล่อทรงกระบอกเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.24 คอนกรีตทรงกระบอกที่แข็งตัวแล้ว

3.4.6 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ดังนี้

การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C39 มีขั้นตอนการทดสอบ

- 1) วัดขนาดมิติ ชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างก้อนคอนกรีต
- 2) นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแกนแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ตรงแนวศูนย์กลางของแท่งกดของเครื่องทดสอบ แสดงในรูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26
- 3) เปิดเครื่องทดสอบ โดยในการทดสอบควบคุมแรงกดให้มีอัตราสม่ำเสมอ 1.4-3.4 ksc/วินาที
- 4) กดก้อนตัวอย่างจนประลัย บันทึกค่าแรงกด
- 5) นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย ตามสมการที่ (3.3)

$$\text{กำลังประลัยคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}} \quad (3.3)$$



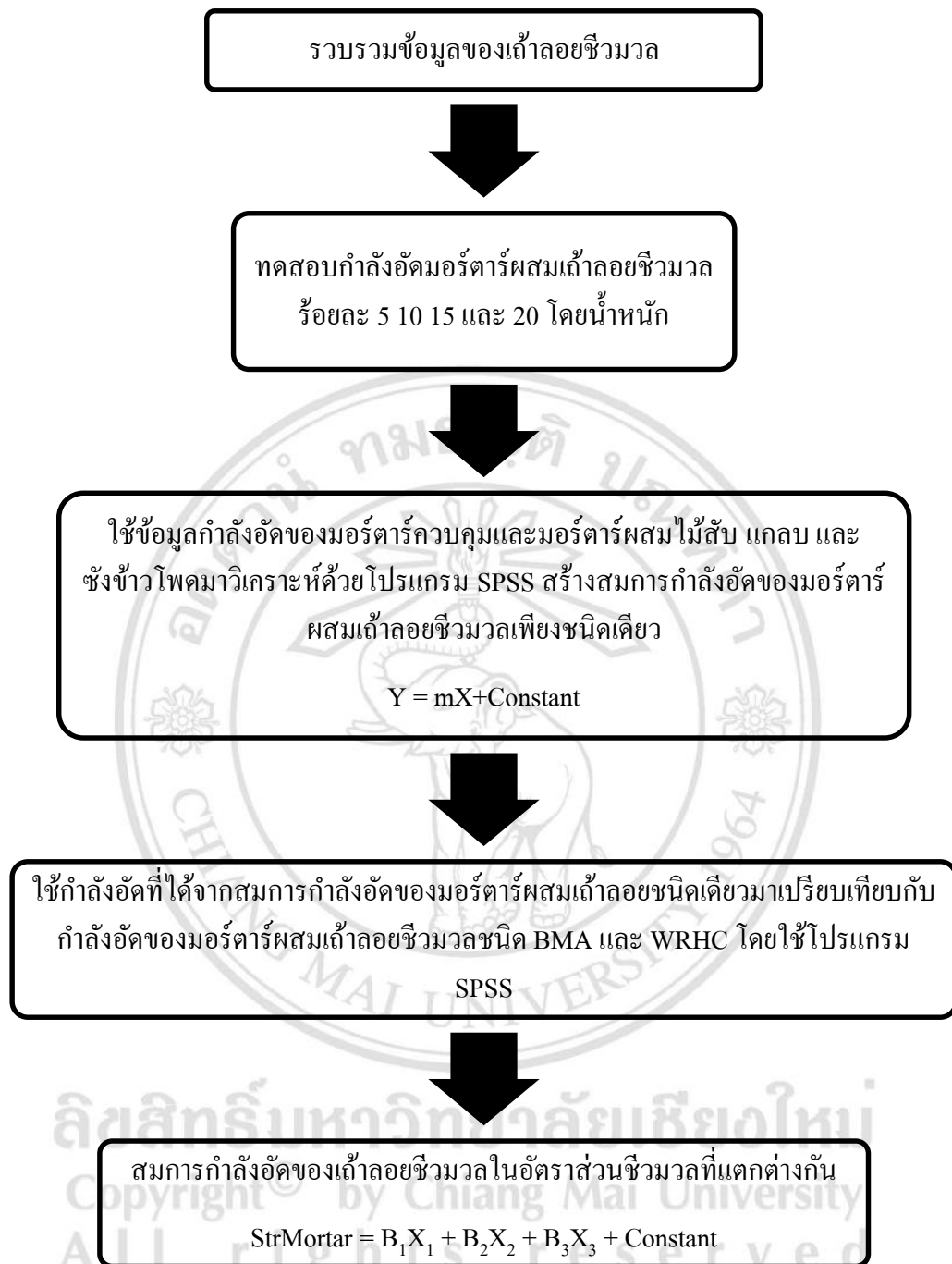
รูปที่ 3.25 เครื่องทดสอบกำลังอัดก้อนคอนกรีต



รูปที่ 3.26 ทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด

3.5 การวิเคราะห์กำลังอัดของมอร์ตาร์ด้วยโปรแกรม SPSS

การนำโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS มาใช้ในการสร้างสมการกำลังอัดของมอร์ตาร์ เพื่อใช้ในการทำนายอัตราส่วนผสมที่ใช้เผาและปริมาณการนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผสมมอร์ตาร์ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.27 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลร้อยละการเป็นเถ้าและร้อยละการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ของเถ้าลอยชีวมวลของไม้สับ แกลบขังข้าวโพด ชนิด BMA และชนิด WRHC เพื่อนำมาคำนวณหารอัตราส่วนปริมาณของเถ้าของแต่ละอัตราส่วนผสม นำกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยชีวมวลชนิดเดียวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้าลอยชีวมวลกับกำลังอัด ซึ่งสมการอย่างง่ายที่เลือกใช้คือ สมการเส้นตรง จากนั้นนำค่าที่คำนวณจากสมการอย่างง่ายมาหาลำลังอัดที่เกิดจากเถ้าลอยชีวมวล คือ นำกำลังอัดจากสมการมาลบด้วยค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุมที่หัก ร้อยละปริมาณเถ้าลอยชีวมวลออกแล้ว แล้วนำกำลังอัดส่วนนี้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกำลังอัดของ มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยชีวมวลชนิด BMA และ WRHC เพื่อสร้างสมการอย่างง่ายขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายตัวแปรตาม คือ กำลังอัดของมอร์ตาร์ จากตัวแปรอิสระ คือ อัตราส่วนชีวมวล ที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 3.27 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลกำลังอัดด้วยโปรแกรม SPSS