

บทที่ 3

การทดสอบ

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

แผนการวิจัยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเตาถลุงมีดังนี้

1. การทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเตาถลุงตามมาตรฐาน ASTM C 188-84

2. การทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเตาถลุงตามมาตรฐาน ASTM C 204-84

3. การทดสอบความถ่วงจำเพาะของทรายตามมาตรฐาน ASTM C 128-68

การทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเตาถลุง (GGBS) เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 โดยน้ำหนัก

4. การทดสอบความชื้นเหลวปกติ ตามมาตรฐาน ASTM C 187-82

5. การทดสอบระยะเวลาในการก่อตัวตามมาตรฐาน ASTM C 191-82

6. การทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109-86

7. การทดสอบกำลังรับแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM C 190-85

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเตาถลุงอัตราส่วนเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 โดยน้ำหนักและใช้อัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์ เท่ากับ 3

1. การทดสอบการต้านทานของการกัดกร่อนของสารเคมีโดยใช้กรดซัลฟริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM C 267-82

2. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM C 596-82

3. การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์เมื่อแห้ง ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM C 127-84

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2. ตะกรันเตาถลุง

ตะกรันเตาถลุงที่ใช้ทดสอบเป็นตะกรันเตาถลุง จากโรงงานเหล็กสยาม จังหวัดสระบุรี ตะกรันเตาถลุงจะถูกบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ การบดตะกรันเตาถลุงโดยใช้เครื่องบด ที่ทำจาก ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ตัวบดใช้แท่งเหล็กกลมยาว 75 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 , 12 และ 15 มม. จำนวนอย่างละ 50 ท่อน เครื่องบดหมุนด้วยความเร็ว 69 รอบต่อนาที แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 การบดแต่ละครั้งใช้ตะกรันเตาถลุงประมาณ 15 กก. และบดละเอียดเป็นเวลา 180 นาที

3. ทราย

ทรายที่ใช้เป็นทรายพุทไธสงร่อนผ่านร่อนเบอร์ 16 และค้ำบนร่อนเบอร์ 30 และอบแห้ง

4. น้ำ

น้ำที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำประปา

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันเตาถลุง

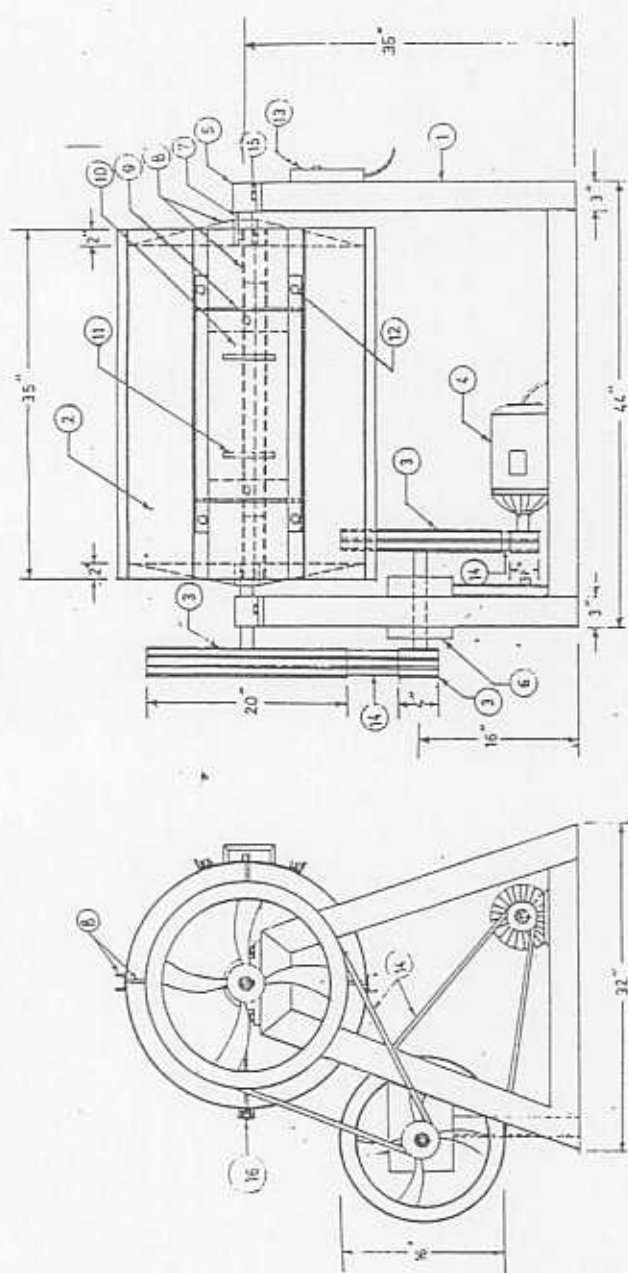
1. การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเตาถลุง โดยใช้ขวดมาตรฐานเลอชาเตอลีเยร์ (Le Chatelier Flask) ตามมาตรฐาน ASTM C 188-84 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement ความถ่วงจำเพาะคำนวณได้จากการหารความหนาแน่นของสารซีเมนต์ด้วยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 กรัม/ซ.ม³ ปริมาตรของสารซีเมนต์และตะกรันเตาถลุงที่ใช้คำนวณหาความหนาแน่นเป็นปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกสารซีเมนต์แทนที่

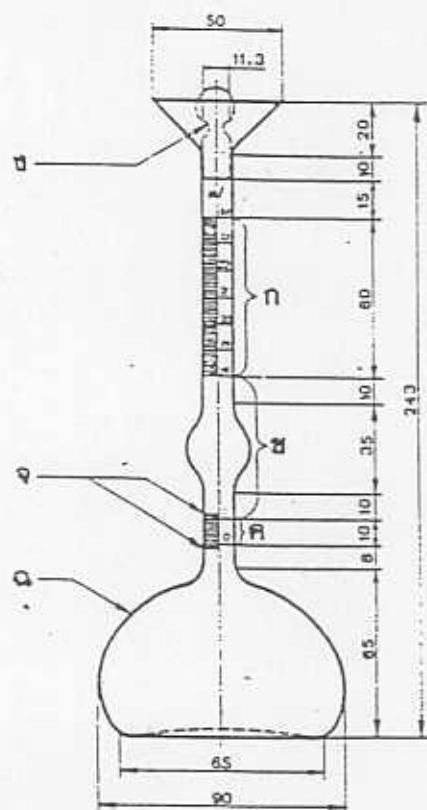
2. การทดสอบหาความละเอียด

ทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเตาถลุงทดสอบโดยใช้เครื่องแอร์เพอร์มีอะบิลิตี ของแบลน (Air Permeability Apparatus, Blain) วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 204-84 Standard Test Method for Fineness of Portland Cement

- (1) 3"x3" ANGLE FRAME
 (2) 200 L.R. OIL DRUM
 (3) PULLEY
 (4) 1.5 KW. MOTOR
 (5) 1 1/2" DIA. BEARING
 (6) 1" DIA. BEARING - HOUSING
 (7) 1/2" DIA. SHAFT
 (8) STIFFENER
 (9) RUBBER SEALING
 (10) OPENING DOOR
 (11) HANDLE DOOR
 (12) 1/2 - 14 UNC BOLT
 (13) SWITCH BOX, 25 AMP.
 (14) B-05 V-BELT
 (15) 1/2 - 18 UNRF BOLT
 (16) BALANCING WEIGHT



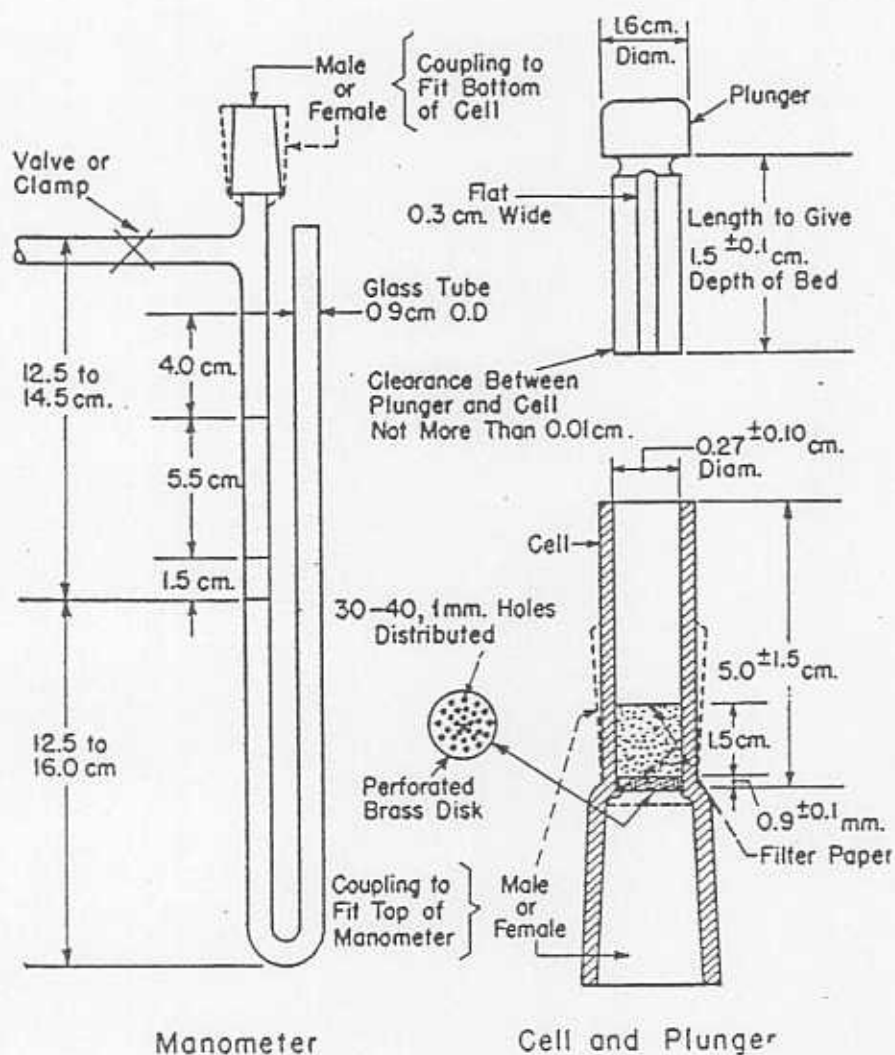
ภาพที่ 3.1 เครื่องบดตะกั่วขนาดเล็ก



- ก. จ. 6 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
 ข. จ. 17 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
 ค. จ. 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
 ง. จุกแก้ว
 จ. ไม้ขีดแบ่ง 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2 ขีดเกินระยะ 1 และต่ำกว่า 0 คืบ
 ฉ. ความจุประมาณ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

มิติเป็นมิลลิเมตร

ภาพที่ 3.2 ขวดมาตรฐานเลอชาเตอลิเอร์ (Le Chatelier)



ภาพที่ 3.3 เครื่องแอร์เพอร์มิอิมิตีของเบลน (Air Permeability , Blaine)

by Air Permeability Apparatus โดยการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของสารซีเมนต์ที่มีน้ำหนัก 1 กรัม ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น $\text{cm}^2/\text{กรัม}$

3. การทดสอบความถ่วงจำเพาะของทราย

ทดสอบความถ่วงจำเพาะของทราย จะทดสอบที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ความถ่วงจำเพาะคำนวณได้จากการหารน้ำหนักทราย ด้วยน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ ทราย วิธีการทดสอบนี้ทำตามมาตรฐาน ASTM C 128-68 Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of fine Aggregate

การทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกั่ว เตาถลุง เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 โดยน้ำหนัก

4. การทดสอบความชื้นเหลวปกติ

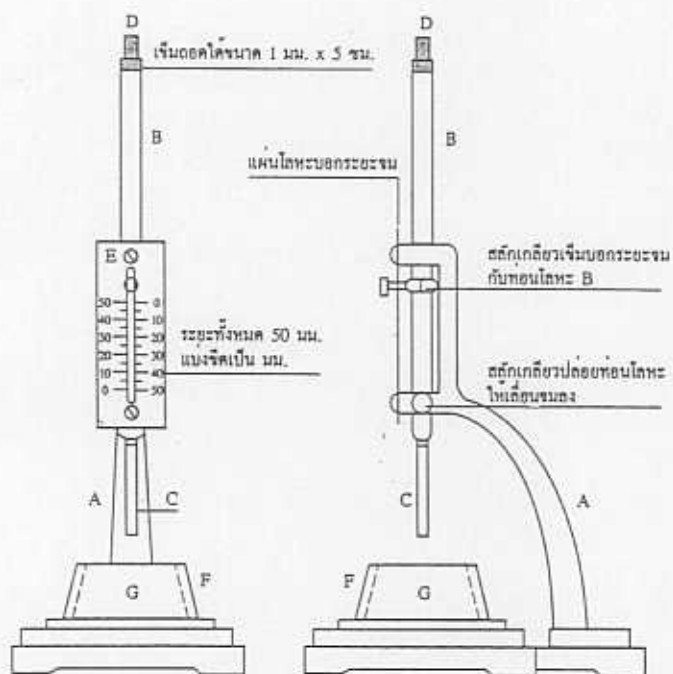
ทำการทดสอบความชื้นเหลวปกติโดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต (Vicat Apparatus) วิธีการผสมสารซีเมนต์ทำตามมาตรฐาน ASTM C 305-82 วิธีการทดสอบความชื้นเหลวปกติตามมาตรฐาน ASTM C 187-82 Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement

5. การทดสอบระยะเวลาในการก่อตัว

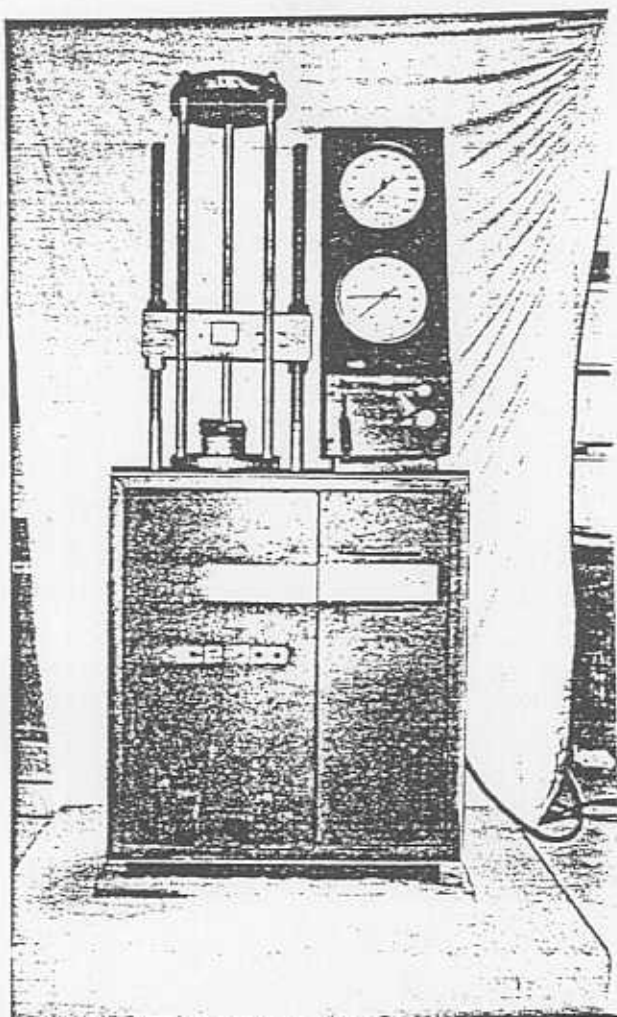
การทดสอบระยะเวลาก่อตัวจะทดสอบหาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของซีเมนต์ เพลสโดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต (Vicat Appatus) ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมเท่ากับ ปริมาณน้ำที่ทำให้ส่วนผสมมีความชื้นเหลวปกติ วิธีการผสมสารซีเมนต์ทำตามมาตรฐาน ASTM C 305-82 วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C191-82 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle

6. การทดสอบกำลังรับแรงอัด

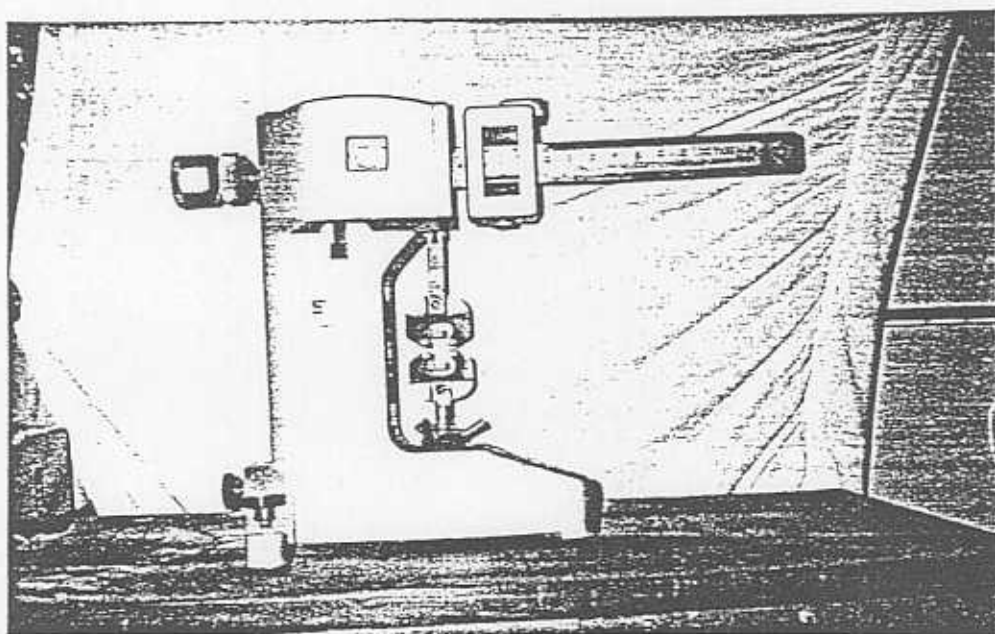
ส่วนผสมของมอร์ตาร์มีอัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 2.75 โดยน้ำหนักปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมมีค่าเท่ากับค่าความชื้นเหลวที่มอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่วร้อยละ 110 ± 5 จะต้องผสมสาร ซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดจนมีสีสม่ำเสมอก่อนที่จะเทลงไปในเครื่องผสม วิธีการผสมมอร์ตาร์ทำตาม มาตรฐาน ASTM C 305-86 Standard Test Method for Mechanical Mixing of



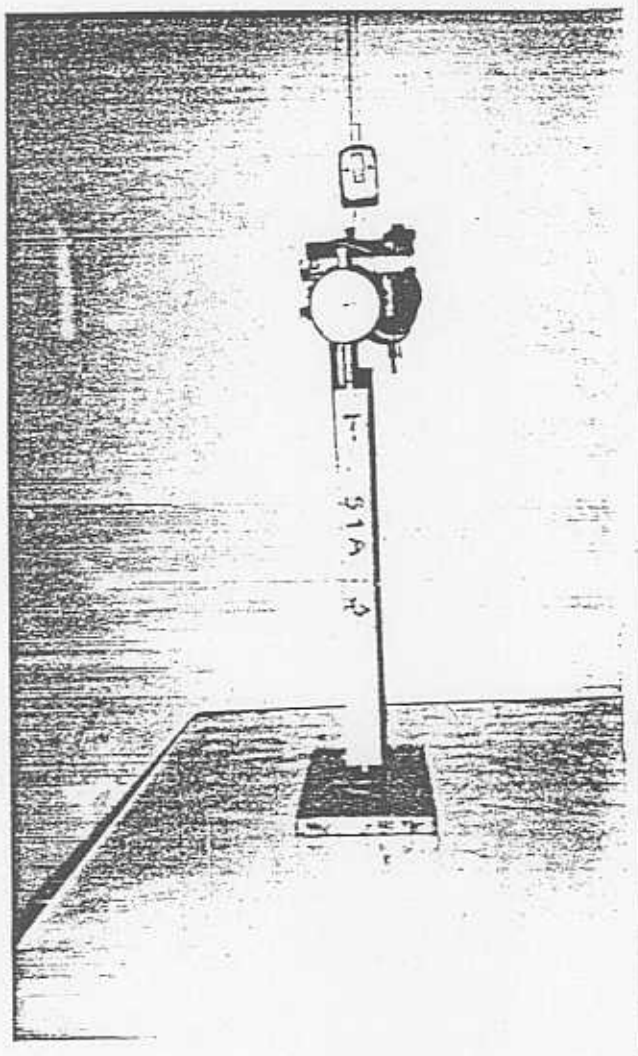
ภาพที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบแบบไวแนด



ภาพที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด



ภาพที่ 3.6 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงดึง



ภาพที่ 3.7 เครื่องมือวัดความยาว

Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency วิธีการทดสอบค่าการไหลของมอร์ตาร์ การหล่อและการบ่มก้อนทดสอบและวิธีการทดสอบทำตาม ASTM C 109-86 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars ก้อนทดสอบจะถูกถอดจากแบบเมื่ออายุได้ 24 ชั่วโมง และบ่มในน้ำทันทีจนถึงเวลาทดสอบ ส่วนผสมของมอร์ตาร์ของการทดสอบนี้ปูนซีเมนต์จะถูกตะกรันเตาถลุงแทนที่ตั้งแต่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนัก ทดสอบกำลังรับแรงอัดเมื่อก้อนทดสอบมีอายุครบ 3, 7, 28 และ 90 วัน

7. การทดสอบกำลังแรงดึง

ส่วนผสมของมอร์ตาร์มีอัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 3 โดยน้ำหนักปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ทำให้ส่วนผสมมีความชื้นเหลวปกติ วิธีการผสม การหล่อ การบ่มก้อนทดสอบ และวิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 190-85 Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortar ก้อนทดสอบจะถูกถอดจากแบบเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมงและบ่มในน้ำทันทีจนถึงเวลาทดสอบ การทดสอบค่ากำลังแรงดึงใช้เครื่องทดสอบ ทดสอบกำลังรับแรงดึงเมื่อก้อนทดสอบมีอายุครบ 3, 7, 28 และ 90 วัน

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเตาถลุง

การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเตาถลุง เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 โดยน้ำหนัก

1. การทดสอบการต้านทานสารเคมี

ก้อนทดสอบการต้านทานสารเคมีเป็นลูกบาศก์มอร์ตาร์ขนาด 50x50x50 มม. อัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 3 และ อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ มีค่าเท่ากับความชื้นเหลวที่มอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่วร้อยละ 110±5 วิธีการผสมมอร์ตาร์ ทำตามมาตรฐาน ASTM C 305-82 การทดสอบค่าการไหลแผ่วการหล่อก้อนทดสอบและการบ่มก้อนทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 ก้อนทดสอบจะถูกถอดออกจากแบบหล่อเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง และบ่มในน้ำทันทีจนมีอายุครบ 7 วัน ภายหลังจากก้อนทดสอบมีอายุครบ 7 วัน ก็เอามาแช่น้ำเช็ดผิวให้แห้ง และปล่อยให้แห้งในอากาศ 30 นาที ก่อนที่จะชั่งน้ำหนักครั้งแรก แบ่งก้อนทดสอบออกเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนจะมี 6 ก้อนทดสอบส่วนแรกจำนวน 6 ก้อนทดสอบปล่อยให้แห้งในห้องทดสอบจนมีอายุครบ 90 วัน จึงทดสอบกำลังรับแรงอัดและอีกส่วนมี 6 ก้อนจะนำไปแช่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 5 ซึ่งน้ำหนักก้อนทดสอบภายหลังแช่กรดที่ 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน และทดสอบกำลังรับแรงอัดภายหลังแช่กรดซัลฟิวริก 90 วัน วิธีการทดสอบ

ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM C 267-82 Standard Test Method for Chemical Resistance of Mortars

2. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง

แท่งทดสอบการหดตัวเป็นมอร์ตาร์ขนาด 25x25x285 mm อัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 3 และอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ จะมีค่าเท่ากับค่าความชื้นเหลือที่มอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่ร้อยละ 110 ± 5 แท่งทดสอบจะถูกถอดออกจากแบบหล่อ เมื่ออายุครบ 23 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายหลังจากแท่งทดสอบมีอายุครบ 72 ชั่วโมง ก็นำแท่งทดสอบขึ้นจากน้ำเช็ดผิวให้แห้งวัดความยาวและชั่งน้ำหนักครั้งแรก เก็บแท่งทดสอบทั้งหมดไว้ในห้องทดสอบ ที่มีอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 10 จนถึงเวลาทดสอบวัดความยาวและชั่งน้ำหนักแท่งทดสอบเมื่ออายุครบ 3, 7, 14, 28, 42, 60 และ 90 วัน การวัดค่าความยาวแท่งทดสอบใช้เครื่องมือวัดความยาว วิธีการทดสอบนี้ทำตามมาตรฐาน ASTM C 596-82 Standard Test Method for Measuring the drying Shrinkage of Mortar Containing Portland Cement

3. การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์เมื่อแห้ง

ก่อนทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ใช้ลูกบาศก์มอร์ตาร์ขนาด 50x50x50 mm อัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 3 และอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์มีค่าเท่ากับค่าความชื้นเหลือของมอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่ร้อยละ 110 ± 5 วิธีการผสมมอร์ตาร์ทำตามมาตรฐาน ASTM C 305-82 การทดสอบการไหลแผ่และการหล่อก่อนทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 ก่อนทดสอบจะถูกถอดออกจากแบบหล่อเมื่ออายุ 24 ชั่วโมง และการบ่มในน้ำทันที จนอายุครบ 7 วัน จากนั้นนำมาเช็ดผิวให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100-110 °C จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชั่วโมง) แล้วชั่งน้ำหนักวิธีการทดสอบนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM C 127-84 Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of coarse Aggregate