

## บทที่ 4

## วัสดุก่อสร้างและวิธีการทดสอบ

## 4.1 วัสดุประกอบ

1. ท่อพีวีซี หรือโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC, Polyvinyl chloride) ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ตามมาตรฐาน มอก. 17-2523 มีความยาวท่อนละ 4 เมตร ระดับชั้นความดันคือ 513.5 MPa
2. ขวดน้ำพลาสติก ชนิดโพลิเอททิลีน เทเรฟทาเลท (Polyethylene Terephthalate: PET/PETE) คุณสมบัติใส แข็งแรง เหนียว
3. ปูนซีเมนต์ ตราช้างแดงของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทยจำกัด (มหาชน) ผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15 เล่ม 1-2547 ประเภทที่ 1 และมาตรฐาน ASTM (150-71 Type I)
4. เชือกกระดาดเหลือใช้ จากเศษกระดาดจากสำนักงาน เอกสาร ที่ถูกคัดแยกสิ่งปนเปื้อน
5. น้ำประปา ที่มีค่า pH  $6.0 \pm 0.5$  มีลักษณะใส สะอาดและสามารถดื่มได้

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| เชือกกระดาด                                                                         | ซีเมนต์                                                                              | ผงยิบซัม                                                                              |
|  |  |  |
| ท่อพีวีซี                                                                           | ขวดน้ำพลาสติก                                                                        | เหล็กเส้น                                                                             |

ภาพที่ 4.1 แสดงวัตถุดิบในการผลิต

## 4.2 อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิต

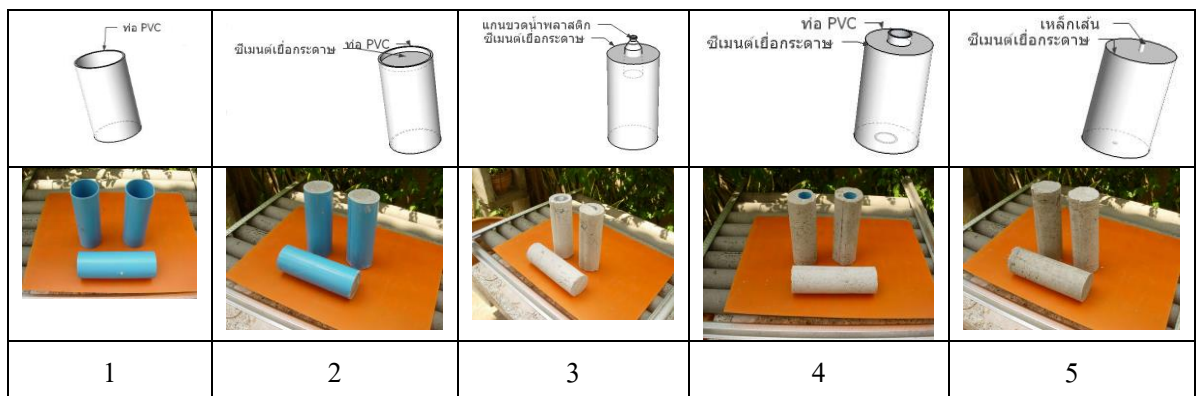
อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตวัสดุแผ่นคือ 1 : ½ : 3 (ปูน : ยิบซั่ม : เชื้อกระดาศ) โดยปริมาตร

## 4.3 การออกแบบชิ้นส่วนท่อนไม้เทียม

แนวทางการพัฒนาท่อนไม้เทียมมี 4 แนวทางในการเลือกพิจารณา คือ

- 1.1 ท่อนไม้เทียมจากท่อพีวีซี
- 1.2 ท่อนไม้เทียมจากท่อพีวีซีแกนกลางซีเมนต์เชื้อกระดาศ
- 1.3 ท่อนไม้เทียมจากซีเมนต์เชื้อกระดาศแกนกลางเสริมขดพลาสติก
- 1.4 ท่อนไม้เทียมจากซีเมนต์เชื้อกระดาศแกนกลางเสริมท่อพีวีซี 11/2"
- 1.5 ท่อนไม้เทียมจากซีเมนต์เชื้อกระดาศแกนกลางเสริมเหล็กเส้น  $\phi$  6 มม.

ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงแนวทางการออกแบบท่อนไม้เทียม

## 4.4 ขั้นตอนการผลิตและประกอบวัสดุ

### 4.4.1 การผลิตท่อนไม้เทียมจากท่อพีวีซี

- นำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3" ขึ้น 5 ตัดตามขนาดที่ต้องการ
- นำท่อที่ตัดแล้วไปวัดหาตำแหน่งเจาะรูจำนวน 3 รู คือระยะห่างจากขอบด้านซ้ายและขวา 10 ซม. และกึ่งกลางแผ่นด้วย
- ร้อยนอตตัวหนอนจากล่างขึ้นบนจนครบจำนวนที่ต้องการจึงขันนอต
- นำซิลิโคนมาอุดประสานระหว่างรอยต่อของแผ่นทุกด้านจนครบ
- ทาสี/พ่นสีรองพื้นสีขาว 2 รอบ
- ทาสีจริงลายไม้มะค่า 2 รอบ ก็จะได้ท่อนไม้เทียม

ดังแสดงในภาพที่ 4.3

#### 4.4.2 การผลิตท่อนไม้เทียมจากซีเมนต์เยื่อกระดาษเสริมแกนด้วยวัสดุต่างๆ

- นำกระดาษเหลือใช้และน้ำมาปั่นให้เป็นเยื่อตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้
  - เทปูนซีเมนต์และผงยิบซั่มตามอัตราส่วนที่กำหนด คลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยสว่านไฟฟ้า
  - นำส่วนผสมที่ได้เทลงแบบแม่พิมพ์ กระทุ้งให้วัสดุผสมกระจายทั่ว
  - นำวัสดุเสริมแกน เช่น ขวดพลาสติก ท่อพีวีซี เหล็กเส้น สอดแทรกลงบริเวณกึ่งกลางท่อ
  - ปาดผิวให้เรียบ ทิ้งไว้ 3 ชม.จึงถอดแม่พิมพ์ออก
  - นำท่อนวัสดุที่ได้ไปบ่มในที่ร่ม 3 วัน
  - เคลือบผิวและตกแต่งด้วยปูนยิบซั่ม แล้วนำไปบ่มต่ออีก 3 วัน
  - ลงสีจริงลายไม้มะค่า ก็จะได้ท่อนไม้เทียมจากซีเมนต์เยื่อกระดาษ
- ดังแสดงในภาพที่ 4.4

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| เครื่องตัด                                                                          | แบ่งแนวเส้นและแนวเจาะรู                                                              | เป่าลมร้อน                                                                            |
|  |  |  |
| เจาะ                                                                                | ร้อยตัวหนอน                                                                          | ยัดและประสานแผ่น                                                                      |
|  |  |  |
| ทาสีรองพื้น                                                                         | ตากและทาสีจริง                                                                       | จัดเก็บ                                                                               |

ภาพที่ 4.3 แสดงภาพการผลิตท่อนไม้เทียมจากท่อพีวีซี

|                                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| ปั้นเศษกระดาษ                                                                      | ตากและจัดเก็บเชื้อกระดาษ                                                            | ผสมส่วนผสมวัสดุ                                                                      |
|   |   |   |
| เทวัสดุผสมลงแบบพิมพ์                                                               | ถอดแบบพิมพ์                                                                         | บ่ม                                                                                  |
|  |  |  |
| เคลือบวัสดุฉนวน                                                                    | สีผิวท่อนไม้เทียม                                                                   | โครงสร้างยึดแผ่น                                                                     |

ภาพที่ 4.4 แสดงภาพการผลิตท่อนไม้เทียมจากซีเมนต์เชื้อกระดาษเสริมแกนด้วยวัสดุต่างๆ

## 4.5 วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผล

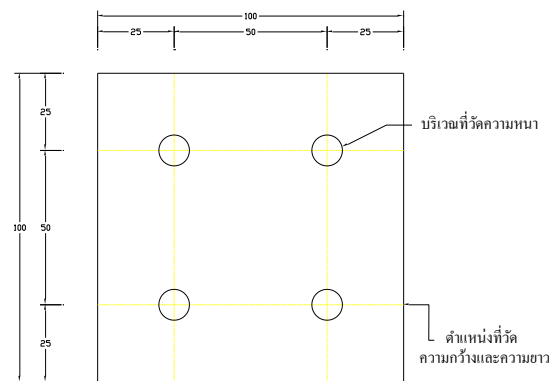
### 4.5.1 การหาค่าความหนาแน่น

ในการทดสอบเตรียมชิ้นงานทดสอบและใช้วีเนียร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นเส้นใยอัดทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.5 มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. วัดตัวอย่าง 1 ชิ้น ขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร วัดละเอียด 0.1 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย
2. นำชิ้นงานทดสอบชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดถึง 0.001 กรัม
3. วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง ด้วยวีเนียร์ตามภาพที่ 4.5 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบแล้วหาค่าเฉลี่ย
4. วิธีคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสูตร [4.1]

$$D = \frac{m}{v} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

กำหนดให้      D      =      ปริมาณความชื้น หน่วย เปอร์เซนต์ (%)  
                          m      =      มวล หน่วย กรัม (g)  
                          v      =      ปริมาตร หน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm<sup>3</sup>)



ภาพที่ 4.5 แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่น

#### 4.5.2 การทดสอบค่าความเค้นอัด (Compressive Strength)

วิธีทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 109M-99 โดยมีขนาดของชิ้นทดสอบ 100x100x100 มม. จำนวน 3 ชิ้น มีขั้นตอนทดสอบดังนี้

1. นำก้อนตัวอย่างที่มีขนาด 100x100x100 mm. วัดขนาดทั้ง 3 ด้านด้วย Vernier ที่มีค่าละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.05 กรัม เลือกเอาด้านที่เรียบเพื่อนำไปทดสอบ
2. นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบแรงดัด บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดไว้ แล้วนำค่าแรงอัดสูงสุดมาคำนวณหา Compressive Strength จากสูตร

$$f'_C = \frac{P_u}{A} \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

กำหนดให้

$f'_C$  = กำลังอัดของตัวอย่างก้อนทดสอบ หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$P_u$  = น้ำหนักหกดเฉลี่ยของก้อนทดสอบ หน่วย กิโลกรัม

$A$  = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกดของก้อนทดสอบ หน่วย ตารางเซนติเมตร

3. ทำการทดสอบตามข้อ 1-2 กับก้อนทดสอบชิ้นต่อไป

#### 4.5.3 การทดสอบปริมาณความชื้น

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น
2. ชั่งชิ้นทดสอบ ด้วยเครื่องซึ่งผ่านการวัดขนาดแล้ว ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นมวลก่อนอบ
3. อบชิ้นทดสอบในเตาอบเส้นใยห่อ SFL รุ่น EC67A ที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
4. นำชิ้นทดสอบมาใส่ในเคซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็น
5. ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นมวลเมื่ออบแห้ง และวิธีคำนวณหาค่าความชื้นจากสูตร [4.2]

$$MC = \frac{ml}{mo} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

กำหนด ให้            MC    =        ปริมาณความชื้น หน่วย เปอร์เซนต์ (%)  
                              ml     =        น้ำหนักก่อนอบ หน่วย กรัม (g)  
                              mo     =        น้ำหนักหลังอบ หน่วย กรัม (g)

#### 4.5.4 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

โดยมีขั้นตอนของการทดสอบดังนี้

1. นำชิ้นงานที่ได้ วัดขนาดทั้งสามด้าน และชั่งน้ำหนักเพื่อใช้น้ำหนักจำเพาะ
2. นำชิ้นงานที่จะทำการทดสอบ ไปแช่ในน้ำสะอาด อย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้ชิ้นทดสอบดูดซึมน้ำได้อย่างเต็มที่
3. นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ วางผึ่งไว้บนตะแกรงตาห่าง ซับหยดน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวออก นำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งบันทึกผล
4. นำชิ้นงานไปอบในตู้อบที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ เป็นเวลา 24 ชม. หรือจนกว่าการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งห่างกัน 2 ชั่วโมง แล้วน้ำหนักที่ได้ต่างกันไม่เกิน 0.2%  
 ทำการคำนวณหาการดูดซึมน้ำของกระดาศ โดยใช้สูตร

$$WA (\%) = \frac{M_o - M_i}{M_i} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

|       |                |   |                          |
|-------|----------------|---|--------------------------|
| เมื่อ | WA             | = | การดูดซึมน้ำ (%)         |
|       | M <sub>o</sub> | = | น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม) |
|       | M <sub>i</sub> | = | น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม) |

#### 4.5.5 การขยายตัวตามความหนา

วิธีการคำนวณค่าการขยายตัวตามความหนา จากสูตร

$$SW (\%) = \frac{T_i - T_o}{T_o} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

|       |                |   |                               |
|-------|----------------|---|-------------------------------|
| เมื่อ | SW             | = | การพองตัวตามความหนา (%)       |
|       | M <sub>i</sub> | = | ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร) |
|       | M <sub>o</sub> | = | ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร) |

#### 4.5.6 การทดสอบค่ามอดูลัสแตกร้าว และมอดูลัสยืดหยุ่น

เครื่องทดสอบค่ามอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น วัดแรงกดไว้ละเอียดถึง 5 นิวตันหรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ การวางชิ้นงานทดสอบมีลักษณะโดยหัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งทรงกลมมีรัศมีไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบแท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลมหรือครึ่งวงกลม มีรัศมีไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ ความยาวไม่น้อยกว่าของชิ้นทดสอบมาตรการแอนด์ตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตรและมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้คือ

1. วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 24 เท่าของความหนาระบุของชิ้นทดสอบให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากแท่นรองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่าๆกัน
2. ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที
3. วิธีการคำนวณหา

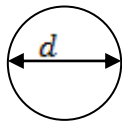
## 1. ค่ามอดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture หรือ MOR)

จากสูตร [4.3]

$$MOR = \frac{3pL}{2bd^2} \dots\dots\dots(4.6)$$

|               |   |                                                        |
|---------------|---|--------------------------------------------------------|
| กำหนด ให้ MOR | = | มอดูลัสแตกร้าว หน่วย เมกะพาสคัล (Mpa)                  |
| P             | = | แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หน่วย นิวตัน (N)         |
| L             | = | ความยาวของ span ระหว่างแท่นรองรับ หน่วย มิลลิเมตร (mm) |
| b             | = | ความกว้างของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)          |
| d             | = | ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)      |

การคำนวณหาค่า  $\sigma_b$

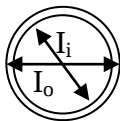


$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S} \dots\dots\dots(4.7)$$

$$I_{circular} = \frac{\pi d^4}{64} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$S_{circular} = \frac{\pi d^3}{32} \dots\dots\dots(4.9)$$

$$M = \frac{PL}{4} \dots\dots\dots(4.10)$$



$$I_{Pipe} = I_{outer\ circular} - I_{inner\ circular} \dots\dots\dots(4.11)$$

## 2. ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE)

จากสูตร [4.4]

$$MOE = \frac{PplL^3}{4bd^3\delta l} \dots\dots\dots(4.12)$$

|               |   |                                                        |
|---------------|---|--------------------------------------------------------|
| กำหนด ให้ MOR | = | มอดูลัสยืดหยุ่น หน่วย เมกะพาสคัล (Mpa)                 |
| L             | = | ความยาวของ Span ระหว่างแท่นรองรับ หน่วย มิลลิเมตร (mm) |
| Ppl           | = | น้ำหนักที่จุด P, L หน่วย มิลลิเมตร (mm)                |
| b             | = | ความกว้างของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)          |
| d             | = | ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)         |
| S             | = | ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง     |

#### 4.5.7 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร

จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) คือการถ่ายเทพลังงานระหว่างบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง เมื่อมีความแตกต่างทางอุณหภูมิ ซึ่งจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แบ่งได้ 3 ประเภท คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนวัสดุอาคารมีดังต่อไปนี้

(1) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่จะใช้ประกอบการคำนวณเพื่อหาความนำความร้อนของวัสดุใดๆ ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

(2) ความนำความร้อน (C) ค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่า

$$C = \frac{k}{\Delta x} \dots\dots\dots 4.13$$

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

C คือ ค่าความนำความร้อน หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หน่วยเป็น วัตต์ เมตร องศาเซลเซียส

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ หน่วยเป็นเมตร

(3) ความต้านทานความร้อน (R) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ คือ ส่วนกลับของ

$$R = \frac{\Delta x}{k} \text{ or } \frac{1}{C} \dots\dots\dots 4.14$$

ค่าความนำความร้อนซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$R$  คือ ค่าความต้านทานความร้อน โดยมีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

(4) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U$ ) คือ ส่วนผกผันของค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \dots\dots\dots 4.15$$

$$R_T = R_0 + \left[ \frac{\Delta X_1}{k_1} \right] + \left[ \frac{\Delta X_2}{k_2} \right] + \left[ \frac{\Delta X_3}{k_3} \right] + \dots + \left[ \frac{\Delta X_n}{k_n} \right] + R_i \quad \dots\dots\dots 4.16$$

โดยที่

$R_T$  = ค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์

$\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3, \dots, \Delta X_n$  = ความหนาของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นผนังอาคารชนิด  
ที่ 1, 2, 3, ..., n ตามลำดับ

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดที่ 1, 2, 3, ..., n  
ตามลำดับ

#### 4.6 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4.6

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| เครื่องมือวัดขนาดเวอร์เนีย                                                          | เครื่องชั่งน้ำหนัก                                                                   | เครื่องปั่นกระดาษและผสมวัสดุ                                                          |
|  |  |  |
| เครื่องทดสอบโมดูลัสการแตกหัก                                                        |                                                                                      |                                                                                       |

ภาพที่ 4.6 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบต่างๆ