

บทที่ 3

การทดสอบ

3.1 แผนการทดสอบ

ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นที่จำเป็นของวัสดุได้แก่

- ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซี๊เถ้าแกลบ และซี๊เถ้าลอย โดยใช้ขวดเลอชาเตอลีเยร์ (Le Chatelier Flask) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ตามมาตรฐาน ASTM C188

- ทดสอบหาสัดส่วนมวลของมวลรวมละเอียด และ มวลรวมหยาบ โดยวิธีการร่อนผ่านแรงตามมาตรฐาน ASTM C136

- ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด และ มวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C128 และ ASTM C127 ตามลำดับ

2. การทดสอบการบดอัด (Compaction Test) หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของ RCC ที่อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซี๊เถ้าแกลบ ซี๊เถ้าลอยแม่เมาะ (โดยน้ำหนัก) เท่ากับ 100:0:0, 80:20:0, 80:0:20, 60:40:0, 60:20:20 และ 60:0:40 ตามมาตรฐาน ASTM D1557

3. ทว่าการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่าง RCC ที่มีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซี๊เถ้าแกลบ ซี๊เถ้าลอยเท่ากับ 100:0:0, 80:20:0, 80:0:20, 60:40:0, 60:20:20 และ 60:0:40 ที่อายุ 7, 28 และ 90 วัน โดยแต่ละอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ซี๊เถ้าแกลบ : ซี๊เถ้าลอย ใช้ปริมาณน้ำ 4 ค่า คือ ปริมาณน้ำที่ค่าความชื้นที่เหมาะสมปริมาณน้ำที่ค่าความชื้นด้านเปียก 1 ค่าและปริมาณน้ำที่ค่าความชื้นที่ด้านแห้ง 2 ค่า

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2.2 ซีเมนต์กลบ

ซีเมนต์กลบที่ใช้ในการทดสอบเป็นซีเมนต์กลบที่ได้มาจากการใช้กลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาเอาความร้อนไปใช้ในโรงสีในจังหวัดขอนแก่น ซีเมนต์กลบจะถูกบดละเอียดก่อนนำไปใช้ การบดซีเมนต์กลบใช้เครื่องบดซีเมนต์กลบ ใช้เหล็กเส้นยาว 762 มม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9, 12 และ 15 มม. จำนวนอย่างละ 50 เส้นเป็นตัวบด เครื่องบดหมุนด้วยความเร็ว 69 รอบต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 3.2 การบดแต่ละครั้งจะใส่ซีเมนต์กลบในเครื่องบด 10 กก. และใช้เวลาบด 1 ชั่วโมง 30 นาที ซีเมนต์กลบที่บดเสร็จแล้วจะนำมาผสมกับสารซีเมนต์อื่นเพื่อใช้ในการทดสอบ จากการทดสอบของบัณฑิต หิรัญสถิตย์พร (2534) ซีเมนต์กลบดังกล่าวมีความละเอียดเท่ากับ $9,700 \text{ ซม.}^2/\text{กรัม}$ โดยวิธีของเบลน

3.2.3 ซีเมนต์ลอย

ซีเมนต์ลอยที่ใช้ในการทดสอบ ได้มาจากรองงานผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าแม่เหล็กจังหวัดสกลนคร ก่อนนำมาใช้ในการทดสอบได้เอาไปร่อนผ่านร่อนเบอร์ 100 เพื่อกำจัดซีเมนต์ลอยที่มีอนุภาคใหญ่และที่เกาะตัวกัน ซีเมนต์ลอยที่ได้จะนำมาผสม กับสารซีเมนต์อื่นเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยมีส่วนประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.2.4 หิน

หินที่ใช้เป็นหินย่อยขนาด $1/2''$

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์ลอย (บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย, 2531)

ส่วนประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี (%) ของซีเมนต์ลอย
SiO ₂	38.2
Al ₂ O ₃	21.97
Fe ₂ O ₃	16.21
CaO	14.9
MgO	2.6
Loss	1.1
Na ₂ O	0.40
K ₂ O	2.28
SO ₃	2.43
Insoluble Residue	46.5
Free CaO	1.2

3.2.5 ทราย

ทรายที่ใช้เป็นทรายพุทไธสง

3.2.6 น้ำ

น้ำที่ใช้สำหรับการทดสอบเป็นน้ำประปา

3.3 การออกแบบบัพนิภาคส่วนผสม

ทำการคำนวณบัพนิภาคส่วนผสมโดยวิธีการของสถาบันคอนกรีตอเมริกา
ACI 207.5R-89 ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

3.4 การผสมคอนกรีต

ผสมส่วนที่เป็นมอร์ตาร์โดยใช้เครื่องผสมมอร์ตาร์ (ภาพที่ 3.3) จากนั้น
จึงนำใบคลุกเคล้าให้เข้ากันกับมวลรวมหยาบ โดยวิธีผสมด้วยมือ (Hand Mixing)

3.5 การทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

ทำการทดสอบโดยบรรจุ RCC ในแบบหล่อรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว สูง 8 นิ้ว เป็นจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นกระแทกโดยวิธีตกระแทกด้วยลูกตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ระยะตกระแทก 18 นิ้ว จำนวน 73 ครั้ง (ซึ่งใช้พลังงานในการบดอัด 56,200 ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) ปาดหน้าให้เรียบร้อย นำไปชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่างในสภาพเปียก หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างบางส่วนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งเพื่อหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง เริ่มทำการทดสอบใหม่ แต่เพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ผสมระหว่าง 4 %- 8 % จนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างในสภาพเปียกเพิ่มขึ้นสูงสุดและเริ่มลดลง โดยสามารถคำนวณหาความหนาแน่นได้ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นเปียก (Wet Density)} = m = W/V$$

$$\text{ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)} = d = m/(1+w)$$

$$\text{โดยที่ } W = \text{น้ำหนักตัวอย่างในสภาพเปียก}$$

$$V = \text{ปริมาตรของแบบหล่อ}$$

$$w = \text{ปริมาณน้ำที่ใช้ (ในรูปเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวอย่างในสภาพแห้ง)}$$

จากนั้นเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับ ปริมาณน้ำที่ตรงกันแล้วหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสม

3.6 การบรรจุเข้าแบบและการบ่ม

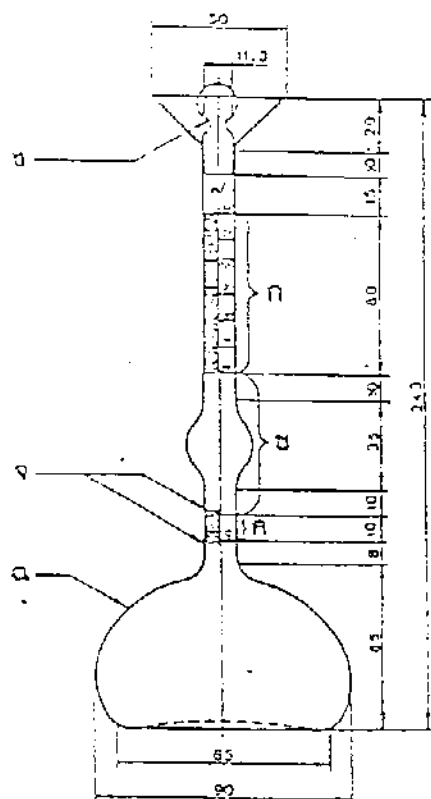
การเตรียมแบบหล่อรูปทรงกระบอก สิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งคือ การป้องกันไม่ให้น้ำซึมออกจากแบบหล่อขณะบดอัดตัวอย่าง ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้มีการป้องกันการไม่ให้น้ำซึมออกตามร่องของแบบหล่อ โดยใช้พลาสติกกรองระหว่างแผ่นฐานกับแบบหล่อ ใช้ผ้าเทปติดตรงรอยต่อของแบบหล่อ และใช้ Collar ครอบแบบหล่อไว้อีกทีเพื่อลดการกระเด็นออกของ RCC ขณะการบดอัดขั้นสุดท้าย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.4 และ 3.5

การบรรจุ RCC เข้าแบบหลอดังได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.1 ในการบดอัดแต่ละชั้นพยายามให้ความหนาของแต่ละชั้นเท่ากัน และวัสดุ RCC จะต้องมิ

ผ้าคลุมไว้ป้องกันการระเหยของน้ำ การตกกระทบของลูกตุ้มพยายามให้กระทบแผ่กระจายทั่วหน้าตัดของตัวอย่าง เมื่อบรรจุ RCC เข้าแบบหล่อเรียบร้อยแล้วทิ้ง RCC ไว้ในแบบหล่อ 24 ชั่วโมงก่อนแล้วจึงเอาตัวอย่างออกจากแบบหล่อนำไปบ่มในห้องบ่มความชื้น

3.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ RCC เมื่อแท่งคอนกรีตอายุครบ 7, 28 และ 90 วันตามลำดับ โดยการหล่อครอบหัวลูกบุน (Capping) ทั้ง 2 ด้าน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.6 และ ภาพที่ 3.7 และทดสอบด้วยเครื่อง Compression Machine ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.8 การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C39



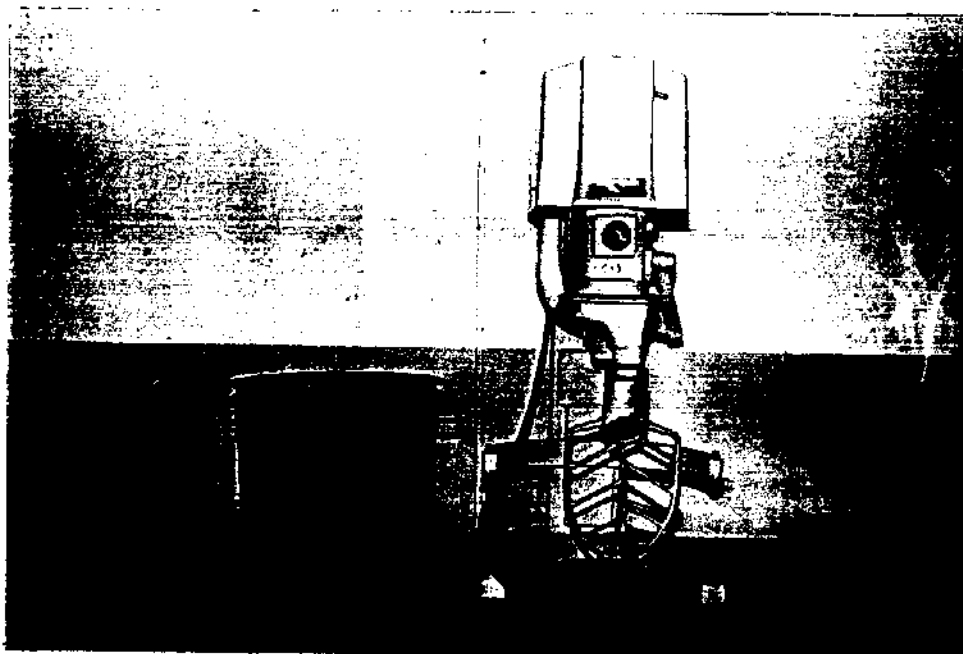
- ก. จ. 6 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
 ข. จ. 17 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
 ค. จ. 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
 ง. จุกแก้ว
 ฉ. ให้น้ำจืดแบบ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2 จัดเกินระยะ 1 และค่าค่า 0 ด้วย
 จ. ความจุประมาณ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

มีลิ้นเป็นลิ้นลิ้น

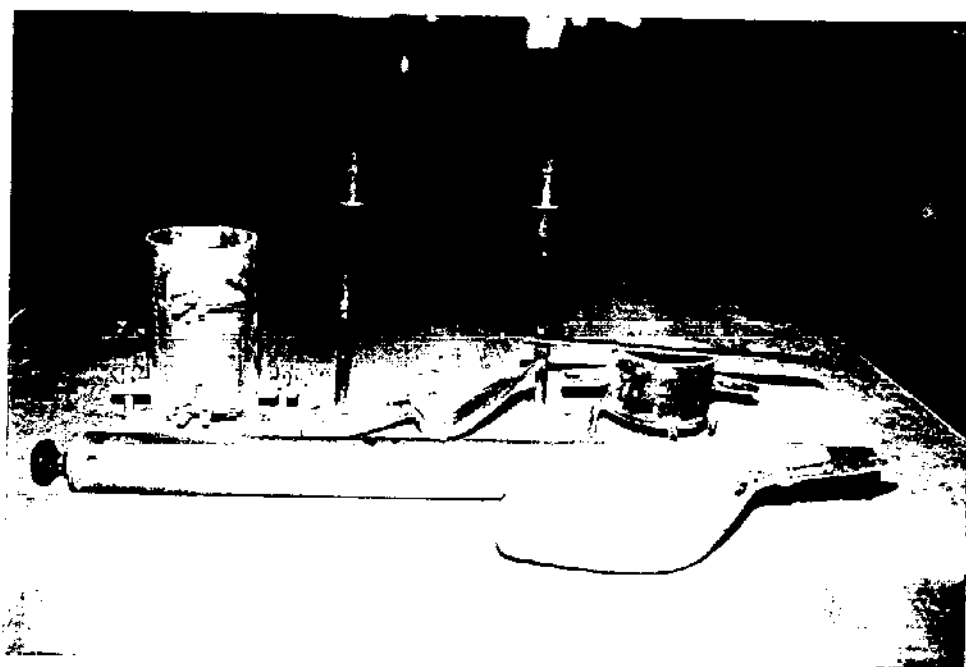
ภาพที่ 3.1 ขวตมาตรฐานเลอชาเตอร์ลีเอรี (Le Chatelier)



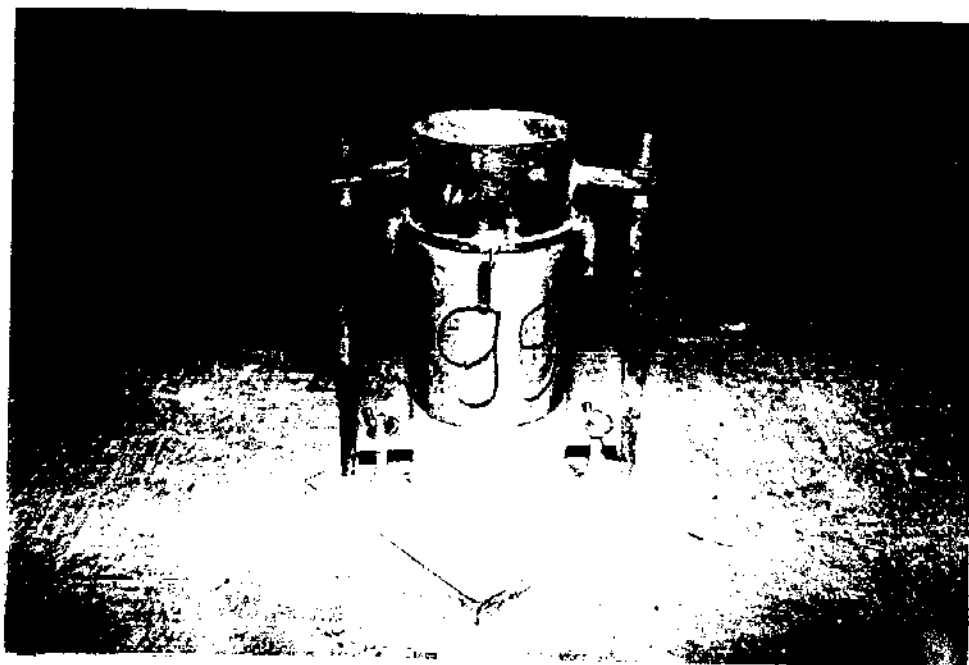
ภาพที่ 3.2 เครื่องบดขี้เถ้ากลบ



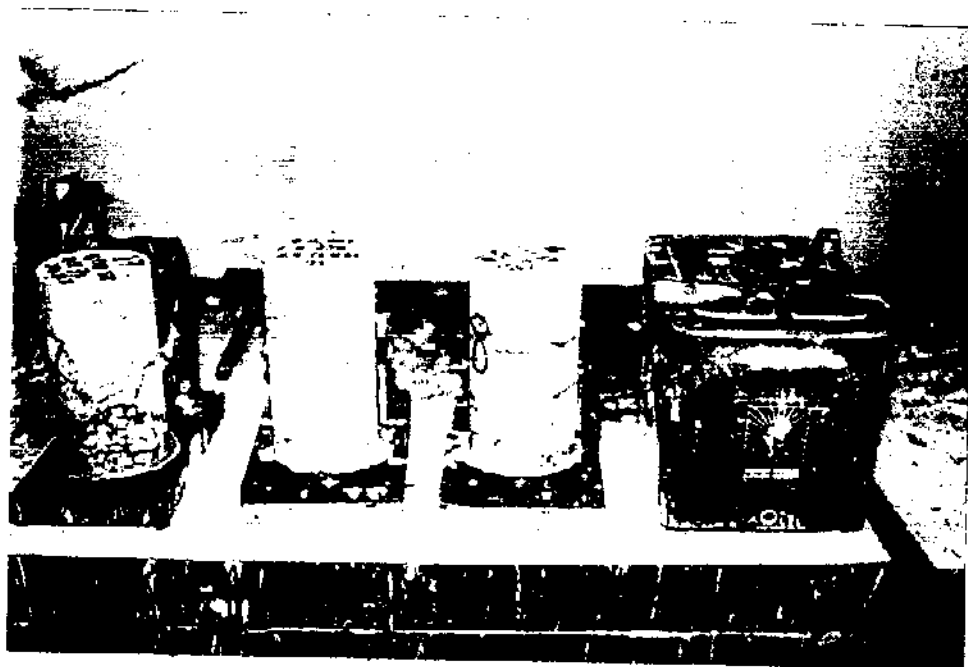
ภาพที่ 3.3 เครื่องผสมมอร์ต้า



ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ในการทดสอบ RCC



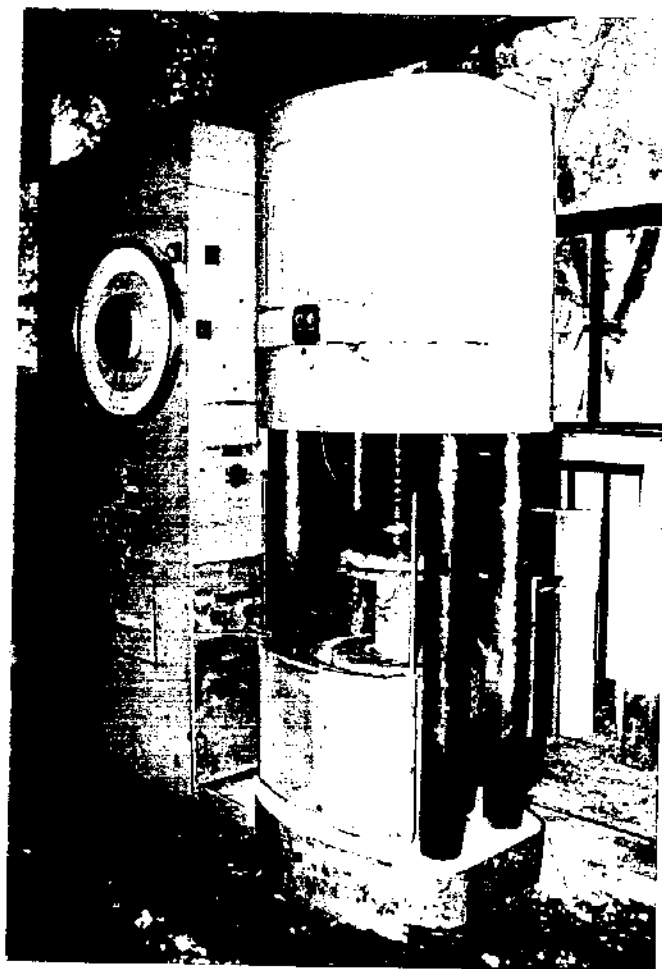
ภาพที่ 3.5 แบบหล่อรูปทรงกระบอกที่พร้อมจะทำการบดอัด



ภาพที่ 3.6 ขณะทำการหล่อครอบหัวลูกปืน (Capping)



ภาพที่ 3.7 หลังจากการหล่อครอบหัวลูกปืน



ภาพที่ 3.8 เครื่อง Compression Machine