

บทที่ 3

อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

3.1.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของ ถ้ำหนัก , ตะกอนน้ำประปา และถ้ำลอย

3.1.2 เพื่อศึกษาลำดั้งอัคขของคอนกรีตที่มวลรวมหยาบ (หิน) ถูกแทนที่ด้วยมวลรวมประคิษฐ์ 100% ที่อายุ 7 วัน

3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์และวิธีบ่มมวลรวมประคิษฐ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์และการบ่มมวลรวมประคิษฐ์



รูปที่ 3.1 เครื่องขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์

3.2.1.1 เครื่องขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์

3.2.1.2 สปเรย์ฉีดน้ำ

3.2.1.3 น้ำสะอาด

3.2.1.4 เหล็กเส้น

3.2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

3.2.1.6 ถาดสำหรับใส่มวลรวมประคิษฐ์ 2 ถาด

3.2.1.7 กระดาษแข็ง

3.2.1.8 ตะกร้าใส่มวลรวมประคิษฐ์

3.2.1.9 ถูพลาสติก

3.2.2 วัสดุที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์

- นำวัสดุทั้งสามมาจากแหล่งที่หาได้ ถ้ำหนักและถ้ำลอยจะนำมาจากโรงผลิตไฟฟ้าถ้ำนหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ส่วนตะกอนน้ำประปาจะนำมาจากโรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
- เมื่อได้วัสดุมาครบแล้วก็นำถ้ำหนักและตะกอนน้ำประปาไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ส่วนถ้ำลอยไม่ต้องอบเพราะมีลักษณะแห้งอยู่แล้ว
- นำถ้ำหนักและตะกอนน้ำประปาออกจากตู้อบแล้วนำไปผึ่งให้เย็น จากนั้นนำไปทุบให้ละเอียดด้วยค้อนขางส่วนถ้ำลอยมีขนาดที่ละเอียดอยู่แล้ว
- นำถ้ำหนักและตะกอนน้ำประปาที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16, 30, 40, 50, และ 100 โดยการทดลองครั้งนี้จะนำเฉพาะส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 มาใช้งานเท่านั้น ส่วนถ้ำลอยมีขนาดอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 อยู่แล้ว
- นำส่วนที่ได้ทั้งสามไปผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่กำหนดเพื่อนำไปขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์คือ ถ้ำหนัก / ตะกอนน้ำประปา / ถ้ำลอย มีทั้งหมด 7 อัตราส่วนดังตารางที่ 3.1 โดยจะแบ่งบางส่วนของวัสดุทั้งสามเพื่อนำไปหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัสดุที่จะนำไปขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์

วัสดุ	ตัวอย่างที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ถ้ำหนัก %	33	25	50	20	30	10	5
ตะกอนน้ำประปา %	33	50	25	30	20	10	5
ถ้ำลอย %	33	25	25	50	50	80	90

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาทำเป็นมวลรวมประคิษฐ์

คุณสมบัติ	ถ้ำหนัก	ตะกอนน้ำประปา	ถ้ำลอย
ความถ่วงจำเพาะ	2.7	2.5	2.3

3.2.3 วิธีการขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์และวิธีบ่มมวลรวมประคิษฐ์



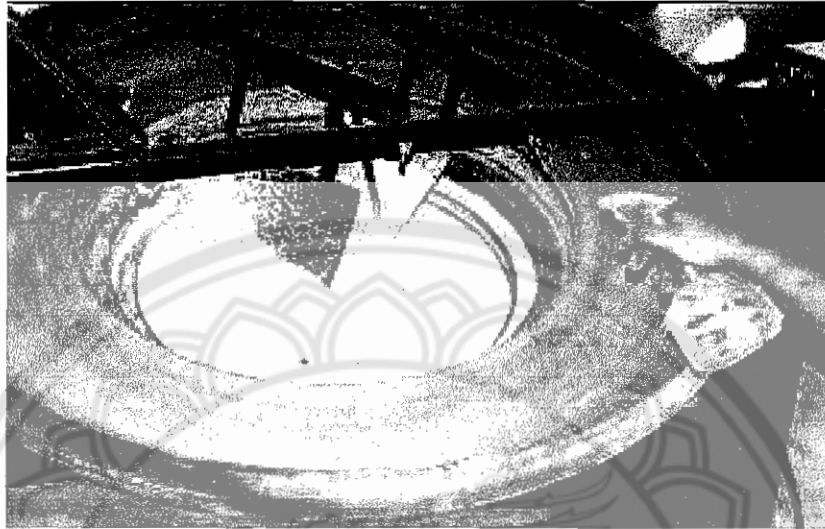
รูปที่ 3.2 ส่วนผสมที่จะขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์

1. เตรียมส่วนผสมที่จะขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์ในอัตราส่วนที่เตรียมไว้ใส่ถาด จากนั้นเตรียมน้ำในปริมาณที่ได้กำหนดไว้ใส่สเปรย์
2. เปิดเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์แต่ยังไม่เปิดให้หมุน
3. เติงจานผสมของเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประคิษฐ์ประมาณ 30 องศา ดังรูปที่ 3.12 แล้วใส่ส่วนผสมลงไปในงานผสม จากนั้นเปิดเครื่องหมุนจำนวนรอบไปที่ประมาณ 7-8 รอบ/วินาที (ความเร็วรอบมอเตอร์) โดยที่ความเร็วงานหมุน 55 รอบ/นาที กระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 2 นาที



รูปที่ 3.3 งานผสมมวลรวมประคิษฐ์เอียงประมาณ 30 องศา

4. สเปรย์น้ำใส่ในส่วนผสมในปริมาณ 50% ของจำนวนน้ำที่ใช้ทั้งหมด ใช้เวลาให้ ส่วนผสมคลุกเคล้าให้ทั่วประมาณ 3-5 นาที ดังรูปที่ 3.4



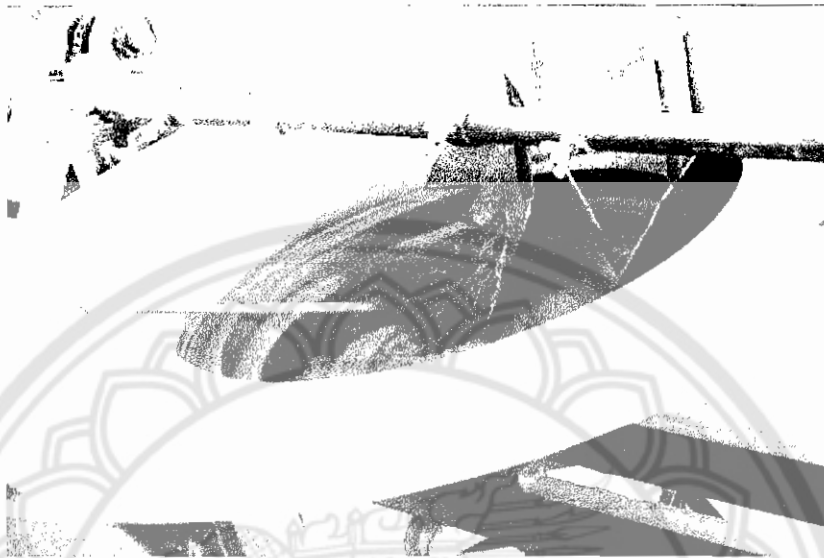
รูปที่ 3.4 การสเปรย์น้ำใส่ในส่วนผสม

5. ปรับเทียบจานผสมของเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ประมาณ 45 องศา ปรับ ความเร็วรอบเป็น 9-10 รอบ/วินาที(ความเร็วรอบมอเตอร์) โดยที่ความเร็วงานหมุน 85 รอบ/นาที ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 จานผสมมวลรวมประดิษฐ์เอียงประมาณ 45 องศา

6.แล้วสเปรย์น้ำเป็นระยะๆ ในขั้นตอนนี้ส่วนผสมจะไปติดและรวมกันที่บริเวณที่
กัน จึงต้องใช้เหล็กเส้นคอยแทงให้ส่วนผสมแยกจากกัน ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 15
นาที ดังรูปที่ 3.6



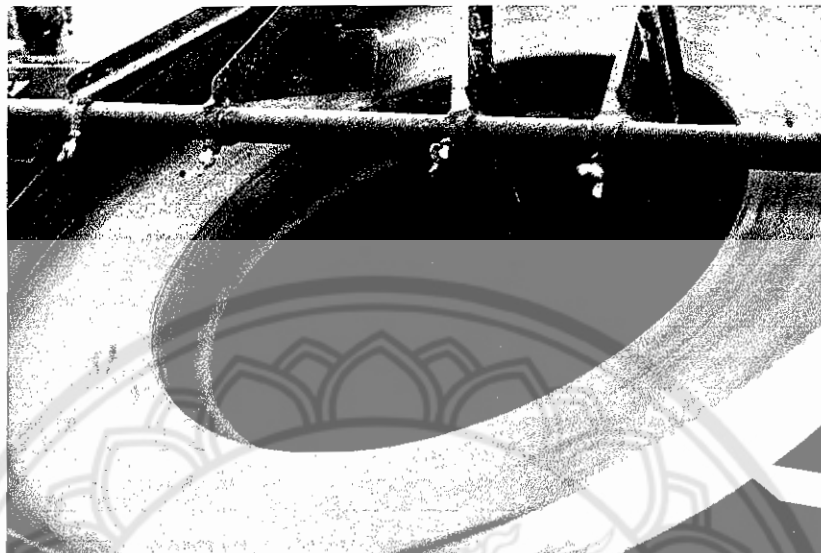
รูปที่ 3.6 ใช้เหล็กเส้นคอยแทงให้ส่วนผสมแยกจากกัน

7. เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที ส่วนผสมจะเริ่มจับตัวเป็นก้อนขนาด
พอเหมาะจนเป็นเม็ดมวลรวมประคิษฐ์ ขั้นตอนนี้เองต้องระวังเม็ดมวลรวมประคิษฐ์จะ
กระเด็นออกมาจากงานผสม จึงต้องมีสิ่งที่นำไปกันไม่ให้เม็ดมวลรวมประคิษฐ์กระเด็น
ออกมา ในที่นี้ใช้กระดาษแข็งดังรูปที่ 3.7 ขั้นตอนนี้จะรอประมาณ 10-20 นาที เพื่อที่จะให้
เม็ดมวลรวมประคิษฐ์มีความกลมและความแน่น



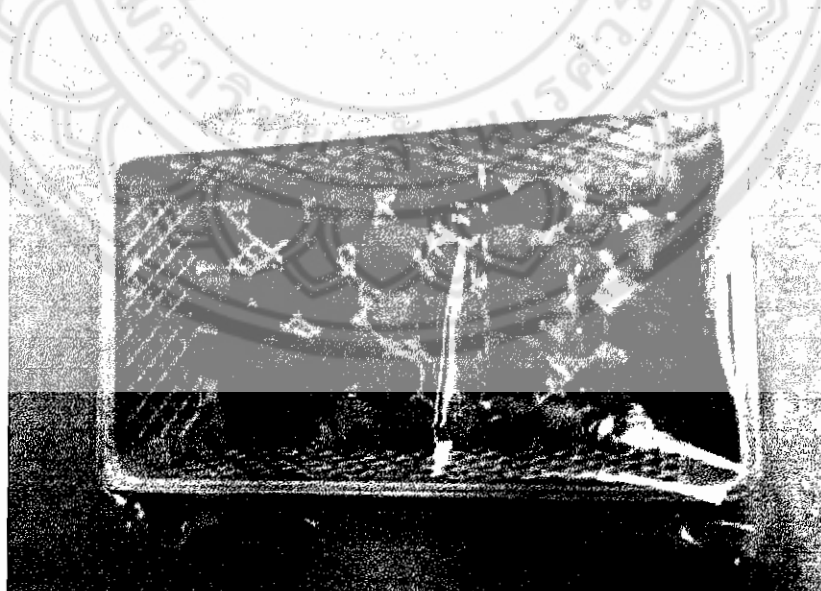
รูปที่ 3.7 ใช้กระดาษแข็งกันไม่ให้เม็ดมวลรวมประคิษฐ์กระเด็นออกมา

8. เมื่อเม็คมวลรวมประดิษฐ์มีความกลมและความแน่นพอสมควรแล้ว ก็ปิดเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ แล้วก็นำเม็คมวลรวมประดิษฐ์ใส่ตะกร้า



รูปที่ 3.8 มวลรวมประดิษฐ์มีความกลมและความแน่น

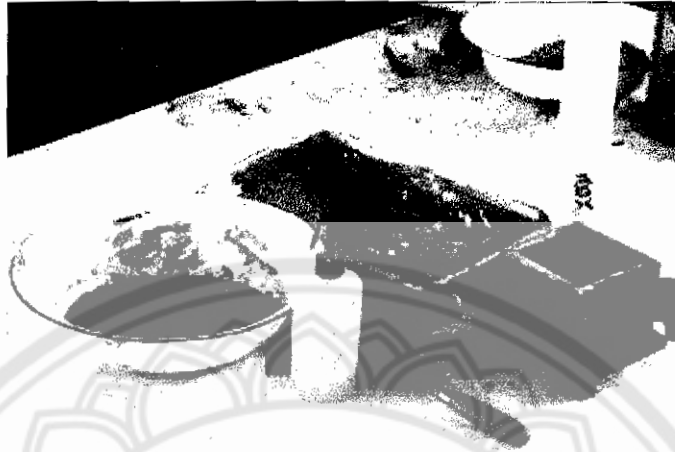
9. วิธีการบ่มคือเอาถุงพลาสติกคลุมตะกร้าที่ใส่มวลรวมประดิษฐ์แล้วคอยสเปรย์น้ำทุกวัน เวลาที่โซบ่มคือ 28 วัน



รูปที่ 3.9 การบ่มมวลรวมประดิษฐ์

3.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

3.3.1 อุปกรณ์ในการผสมคอนกรีตและบ่มคอนกรีต ประกอบด้วย



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ในการผสมคอนกรีต

3.2.6.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weights and Weighing devices) 1 ชุด

3.2.6.2 กระจกตวง (Glass Graduate) 1 ชุด สามารถตวงน้ำซึ่งใช้เป็นส่วนผสมได้ในปริมาณที่เพียงพอแก่การใช้ภายใน 1 ครั้ง และมีขีดแบ่งอย่างน้อย 5 ml

3.2.6.3 แบบหล่อคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 10 ซม.

3.2.6.4 เครื่องมาตรฐาน 1 อัน

3.2.6.5 ถูมือ

3.2.6.6 อ่างน้ำบ่มคอนกรีต

3.3.2 วัสดุที่ใช้สำหรับการผสมคอนกรีต

3.3.2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (ตราอินทรี) ผลิตโดย บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 15-2532 น้ำหนัก / 1 ถู 50 กิโลกรัม โดยมีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
CaO_2	60 - 67
SiO_2	17 - 25
Al_2O_3	3 - 8
Fe_2O_3	0.5 - 6.0
MgO	0.1 - 5.5
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0.5 - 1.3
TiO_2	0.1 - 0.4
P_2O_5	0.1 - 0.2
SO_3	1 - 3

ที่มา : คู่มือคอนกรีตเทคโนโลยี (บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง (CPAC))

โดยปูนซีเมนต์นี้ ถูกจัดเก็บไว้ในถังพลาสติก เพื่อป้องกันความชื้น ซึ่งจะทำให้ปูนซีเมนต์แข็งและเกาะตัวกันเป็นก้อน

3.3.2.2 หิน

หินที่ใช้ในการทดสอบ คือ หินปูน (Limestone) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัด กำแพงเพชร ขนาดโตสุดของหินที่ใช้ประมาณ 4.75 มม. มีค่าความแข็งแรง ประมาณ 50-105 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าต้านทานความสึกกร่อน ประมาณ 20 - 37% (คู่มือคอนกรีตเทคโนโลยี, บทที่ 3 มวลรวม, บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง (CPAC))

ในการเตรียมหินที่จะใช้ในการทดสอบ จะเริ่มจากการร่อนหินผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) จากนั้น นำหินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้วและค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) มาล้างด้วยน้ำสะอาดโดยสังเกตจากสีของน้ำที่ใช้ล้างให้มีความใสพอสมควร นำหินที่ล้างเสร็จแล้วมาผึ่งแดดให้แห้งและเก็บไว้ในถังพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้น

3.3.2.3 ทราย

ทรายที่ใช้ในการทดสอบ คือ ทรายแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัด กำแพงเพชร

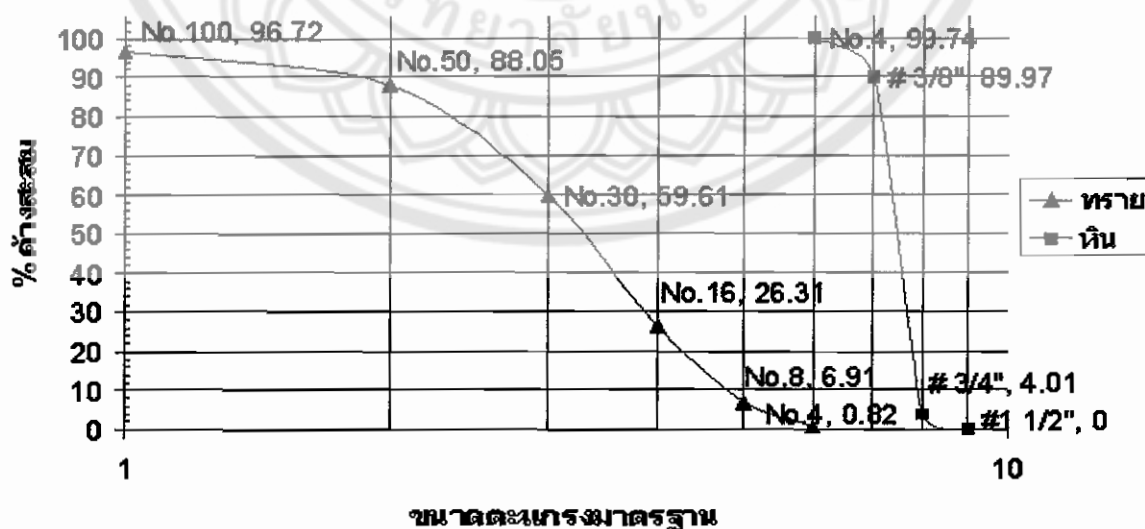
โดยในการเตรียมทรายที่จะใช้ในการทดสอบ ทำการร่อนทรายโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร) ร่อน นำทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ที่จะใช้ในการทดสอบเก็บไว้ในถังพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้น



รูปที่ 3.11 หินและทรายที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.2.4 ขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ (Aggregate gradation)

ในการหาขนาดคละของหินและทรายที่ใช้ในการศึกษา อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 136 และ ASTM C 33 ซึ่งเป็นการทดสอบที่เรียกว่า การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรง (Gradation of Aggregates by Sieve Analysis) การทดสอบดำเนินการโดยร่อนหินหรือทราย ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่มีลักษณะเป็นช่องเปิดสี่เหลี่ยม โดยใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8" และ เบอร์ 4 สำหรับการทดสอบหิน และใช้ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 สำหรับการทดสอบทราย ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กราฟความสัมพันธ์ขนาดตะแกรงกับ % ด่างสะสม

3.3.3 วิธีการเตรียมส่วนผสมคอนกรีต

- หาสัดส่วนส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตร

หน่วยน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	= 1400 กก/ลบ.ม
หน่วยน้ำหนัก หินและทราย	= 1450 กก/ลบ.ม
การคำนวณ ใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน 2 : 3 : 3	
ปูนซีเมนต์ 2 ถุง มีน้ำหนัก 100 กก. มีปริมาตร $100/1400$	= 0.0714 ลบ.ม
ทราย 3 ส่วน มีปริมาตร $.0714*3$	= 0.214 ลบ.ม
น้ำหนักทราย $0.214*1450$	= 310.3 กก.
หินก็มีน้ำหนักเช่นเดียวกับทราย	= 310.3 กก.
ปริมาณน้ำ ใช้ $W/C = 0.6$ จะได้ปริมาณน้ำ $100*0.6$	= 60 ลิตร
น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 2 ถุง = $100+(2*310.3)+60$	= 780.6 กก.
แบบหล่อมีปริมาตร = 0.001 ลบ.ม ดังนั้นคอนกรีตจะหนัก 2.4 กก.	
ต้องใช้ปริมาณปูน $2.4/780.6 = 0.0031$ ถุง	
ดังนั้นจะได้น้ำหนักของส่วนผสมต่างๆ ดังนี้	
ปูนซีเมนต์ $100*0.0031$	= 0.310 กก.
ทราย $310.3*0.0031$	= 0.962 กก.
หิน $310.3*0.0031$	= 0.962 กก.
น้ำ $60*0.0031$	= 0.186 กก.

- วิธีการหาปริมาณมวลรวมประคิษฐ์ที่จะแทนที่หินในคอนกรีต

ในการแทนที่หินด้วยมวลรวมประคิษฐ์ 100% นั้น จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่มวลรวมประคิษฐ์แทนที่หิน กล่าวได้ว่า น้ำหนักหินคิดเป็น 100% ต้องแทนด้วยน้ำหนักของมวลรวมประคิษฐ์ที่เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาตรเท่ากัน วิธีการก็คือ

1. นำหินที่มีน้ำหนัก 1 กก. ไปใส่ขวดเปล่าที่ตัดหัว เขย่าให้แน่นแล้วขีดเส้นระดับของหินที่อยู่บนสุด ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการแทนที่ของหิน

2. นำมวลรวมประคิษฐ์ไปใส่ขวดที่ได้ขีดเส้นไว้และเขย่าให้แน่น ใส่ให้ได้ตามระดับที่ขีดเส้นไว้ เสร็จแล้วนำไปชั่ง ดังรูปที่ 3.14



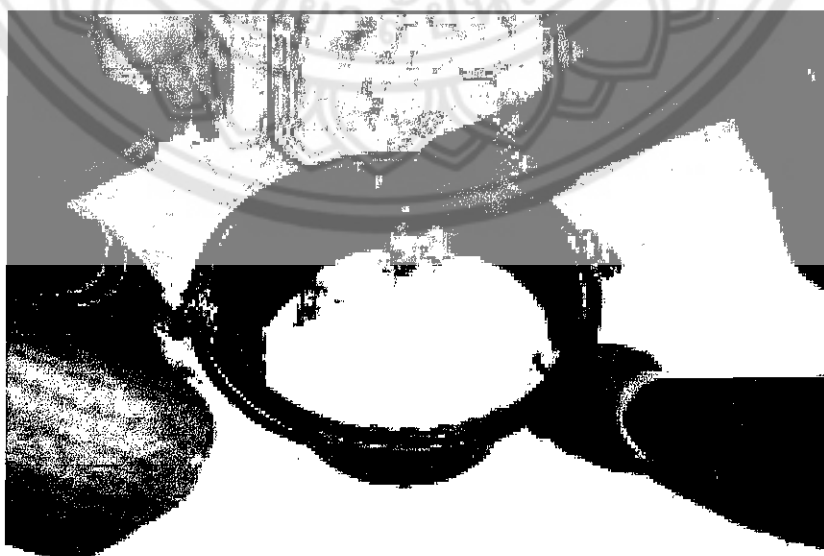
รูปที่ 3.14 แสดงการแทนที่มวลรวมประคิษฐ์

3. นำค่าน้ำหนักทั้งสองมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยตั้งน้ำหนักของหินเป็น 100%
- วิธีหาปริมาณน้ำส่วนเพิ่ม

นำค่าที่ได้จากการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นส่วนผสมคอนกรีตมาคิดหาปริมาณน้ำส่วนเพิ่ม

3.3.4 วิธีผสมคอนกรีตและบ่มคอนกรีต

1. เตรียมวัสดุและส่วนผสมที่จะผสมคอนกรีตตามที่ได้ออกแบบไว้
2. ผสมปูนซีเมนต์กับทรายให้เข้ากัน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการผสมปูนซีเมนต์กับทราย

3. จากนั้นก็เติมน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.16



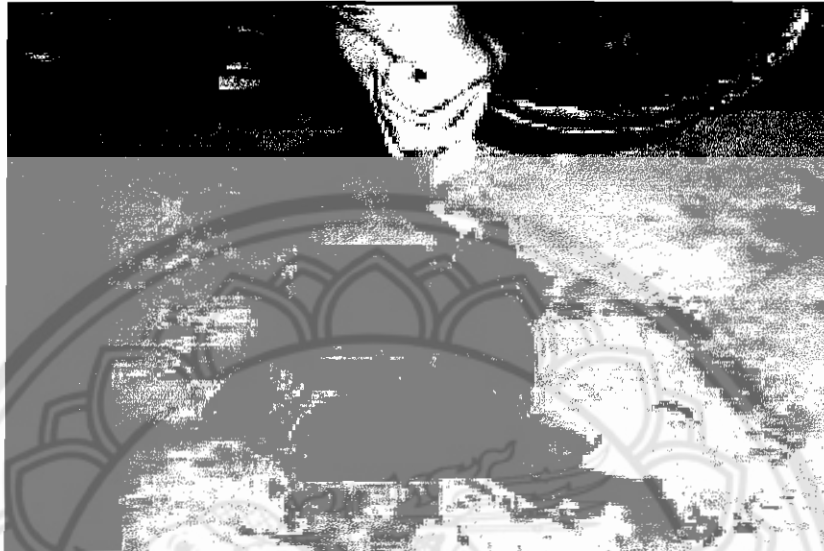
รูปที่ 3.16 แสดงการเติมน้ำ

4. เมื่อเข้ากันดีแล้วก็ใส่มวลรวมหยาบลงไปและผสมให้เข้ากันอีกทีโดยค่อย ๆ เติมน้ำแต่ระวังอย่าให้คอนกรีตเหลวจนเกินไป ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงการใส่มวลรวมหยาบ

5. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว ไปใส่ในแบบหล่อขนาด 10*10*10 ซม. โดยใส่เป็นชั้นๆ 3 ชั้น เท่า ๆ กันแต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้ง และนำไปวางบนเครื่องสั่นคอนกรีต



รูปที่ 3.18 แสดงการนำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว ไปใส่ในแบบหล่อขนาด 10*10*10 ซม.

6. ใช้เกียงปากหน้าให้เรียบ และนำไปวางไว้ที่มีอุณหภูมิห้อง โดยใช้ถุงพลาสติกคลุมหน้า ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.19 แสดงการใช้เกียงปากหน้าให้เรียบ

7. ถอดคอนกรีตออกจากแบบ แล้วนำไปบ่มในน้ำ เป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ 3.20 แสดงคอนกรีตออกจากแบบ



รูปที่ 3.21 แสดงการบ่มคอนกรีตในน้ำ

3.4 การทดสอบความต้านทานแรงอัด

3.4.1 เครื่องมือทดสอบ

ทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดย เครื่องทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 3.22 เครื่องมือทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต

3.4.2 วิธีการทดสอบความต้านทานแรงอัด

1. ให้ทดสอบก่อนทดสอบทันทีหลังจากที่นำออกมาจากอ่างแช่ก้อนทดสอบ
2. เช็ดผิวก้อนทดสอบแต่ละก้อนให้แห้ง ใช้ไม้บรรทัดเหล็กทาบหากปรากฏว่าผิวหน้าโค้งต้องฝนให้เรียบ
3. ชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ



รูปที่ 3.23 แสดงการชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ

4. วางก้อนทดสอบให้อยู่ได้ศูนย์กลางเป็นกวด้วน โดยให้ผิวที่สัมผัสกับแบบหล่อเป็นด้านที่รับแรงกดและต้องให้แน่ใจว่าเป็นกวด้วนนั้นเอียงได้อย่างอิสระ จากนั้นตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆในเครื่องให้เสร็จแล้วกดเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงการวางก้อนทดสอบให้อยู่ได้ศูนย์กลางเป็นกวด

5. เมื่อเครื่องทดสอบกดก้อนทดสอบจนถึงจุดครากแล้ว เครื่องจะปรีนค่าออกมาให้ ค่าหน่วยแรงอัดที่ได้จะเป็น N/mm^2 ดังนั้นจึงแปลงหน่วยมาเป็น ksc

6. ในการทดสอบนี้ได้ทำตัวอย่างละ 2 ก้อน ดังนั้นกำลังที่ได้จะนำ 2 ก้อนมาเฉลี่ยกัน