

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 แผนการทดลอง

- 3.1.1 ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมและยางแอสฟัลท์ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าเพนเนเทรชัน
- 3.1.2 ทดสอบหาปริมาณน้ำต่อนูนซีเมนต์ที่เหมาะสมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ถูกเคลือบผิวโดยใช้สารซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ที่อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์เท่ากับ 0.3 และ 0.4 และอายุการบ่ม 3 วัน หาสัดส่วนขนาดคละเปอร์เซ็นต์ความขึ้นของมวลรวมเคลือบ และทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตแอสฟัลท์โดยวิธีมาร์แชลล์
- 3.1.3 ทดสอบหาคุณสมบัติของการเคลือบผิวมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดด้วยปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าลอย 100:0, 80:20 และ 60:40 ที่อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับเคลือบผิวที่การบ่ม 1,3,7 และ 28 วัน การทดสอบทำเช่นเดียวกับ 3.1.1
- 3.1.4 ทดสอบคอนกรีตแอสฟัลท์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ ตามหัวข้อ 3.1.2 และ 3.1.3 เพื่อวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพ ค่าการยุบตัว ค่าโพรงอากาศ ค่าช่องว่างระหว่างมวลรวม ค่าช่องว่างระหว่างที่มียางแอสฟัลท์ และหน่วยน้ำหนัก โดยกำหนดให้ปริมาณยางแอสฟัลท์เป็นตัวแปรสำหรับการหาค่าปริมาณตัวประสานที่เหมาะสม (Optimum Binder Content)

3.2 วัสดุที่ใช้ทดสอบ

- 3.2.1 ปูนซีเมนต์
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีคุณสมบัติดังแสดงได้ในตารางที่ 3.1
- 3.2.2 ซีเถ้าลอย
เป็นซีเถ้าลอยถ่านหินเล็กในดักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีคุณสมบัติดังแสดงได้ใน ตารางที่ 3.1
- 3.2.3 ยางแอสฟัลท์
เป็นยางแอสฟัลท์ ชนิด AC 80-100 มีคุณสมบัติดังแสดงได้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และซีเมนต์ละลาย

สารประกอบ	ปูนซีเมนต์(%)	ซีเมนต์ละลาย(%)
CaO	63.82	39.46
SiO ₂	20.20	12.03
Al ₂ O ₃	5.42	5.89
Fe ₂ O ₃	2.92	17.33
MgO	7.52	4.59
SO ₃	2.55	11.46
Na ₂ O	0.26	1.99
K ₂ O	0.46	0.78
การสูญเสียจากการเผาไหม้	2.72	6.33

หมายเหตุ ทาการวิเคราะห์โดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทย

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ที่ใช้ทดลอง

การทดสอบ	คุณสมบัติ
การทะลวงที่ 25°C (Penetration) 0.1 มม.	80-100
การอ่อนตัว (Softening point) ° ซ	45-32
การสูญเสียความร้อน (Loss of heating) % โดยน้ำหนัก	< 0.5
ความเหนียวที่ 25°C (Ductility) มม.	> 100
จุดวาบไฟ (Flash point) ° ซ	> 225
การละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (Solubility in CS ₂) % โดยน้ำหนัก	> 99

หมายเหตุ ทดสอบโดย บริษัท เซลล์แห่งประเทศไทย

3.2.4 มวลรวม

การทดสอบใช้มวลรวมที่มีสัดส่วนขนาดละเอียดที่แน่น (Dense Grade) ซึ่งประกอบด้วยมวลรวมหยาบเป็นหินย่อยคือผ่านตะแกรง 3/4" - ค้างตะแกรงเบอร์ 4 และมวลรวมละเอียดเป็นหินฝุ่นคือผ่านตะแกรงเบอร์ 4 - ค้างตะแกรงเบอร์ 200 (รวมทั้งที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นวัสดุยึดแตรก)

3.2.4.1 สัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมตามข้อกำหนด

ก่อนตัวอย่างทดสอบคอนกรีตแอสฟัลท์ที่มีมวลรวมหนัก 1200 กรัม มีมวลรวมหยาบเท่ากับ 516 กรัม และมวลรวมละเอียดเท่ากับ 680 กรัม b ซึ่งสัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมตามข้อกำหนดดังแสดงได้ตารางที่ 3.3

3.2.4.2 การจัดสัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมที่ถูกเคลือบผิวด้วยสารซีเมนต์

ในก่อนตัวอย่างคอนกรีตแอสฟัลท์ที่มีมวลรวมทั้งหมด 1200 กรัม เมื่อถูกเคลือบผิวด้วยสารซีเมนต์เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสม มีปริมาณสารซีเมนต์เท่ากับ 96 กรัม คงเหลือน้ำหนักสุทธิของมวลรวมเท่ากับ 1104 กรัม ทำการแยกเคลือบผิวมวลรวมโดยคิดเป็นมวลรวมหยาบเท่ากับ 475 กรัม มีปริมาณสารซีเมนต์ 41.28 กรัม และมวลรวมละเอียดเท่ากับ 629 กรัม มีปริมาณสารซีเมนต์ 54.72 กรัม การจัดสัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

3.2.4.3 สัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ถูกเคลือบผิวด้วยสารซีเมนต์

จากตารางที่ 3.4 นั้นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่จะทำการเคลือบผิวมาจัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5, 3.6 และรูปที่ 3.1, 3.2 กราฟแสดงสัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมและมวลรวมละเอียด

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

3.3.1 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128-73 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate and ASTM C 128-73 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption for Fine Aggregate ตามลำดับ ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะ (Bulk Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวแห้ง (Bulk

ตารางที่ 3.3 แสดงสัดส่วนขนาดกะของมวลรวม

ขนาดตะแกรง	น.น. ค้าง (กรัม)	น.น. ผ่านตะแกรง (กรัม)	% ผ่าน	% ผ่านตาม ข้อกำหนด
3/4"	0	1200	100	100
1/2	180	1020	85	80-100
3/8"	60	960	80	70-90
เบอร์ 4	276	624	57	50-70
น.น. มวลรวมหยาบ	516	-	-	-
เบอร์ 8	144	540	45	35-50
16	144	396	33	-
30	120	276	23	18-29
50	96	180	15	13-23
100	60	120	10	8-16
200	72	48	4	4-10
ถาดร่อน	48	0	0	-
น.น. มวลรวมละเอียด และวัสดุอัดแท่ง	684	-	-	-
น.น. ทั้งหมด	1200	-	-	-

ตารางที่ 3.4 แสดงสัดส่วนขนาดผลมะพร้าวที่เคลือบผิว

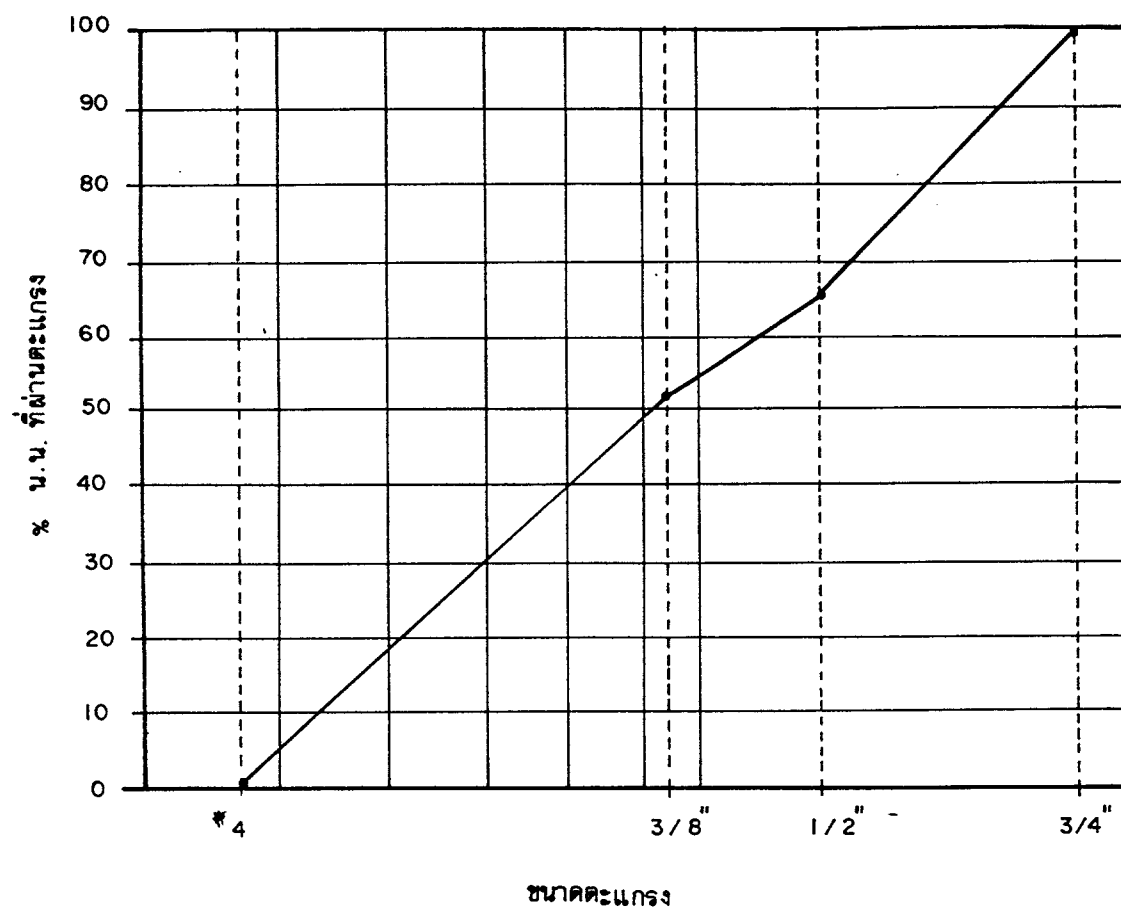
ขนาดตะแกรง	น.น. ค้าง (กรัม)	น.น. ผ่านตะแกรง (กรัม)	% ผ่าน
3/4"		1104	100
1/2	166	938	85
3/8"	55	883	80
เบอร์ 4	254	629	57
น.น. มะพร้าวหยาบ	475	-	-
เบอร์ 8	132	497	45
16	133	364	33
30	110	254	23
50	88	166	15
100	56	110	10
200	66	44	4
ถาดรอง	44	0	0
น.น. มะพร้าวละเอียด และวัสดุยึดเกาะ	629	-	-
น.น. ทั้งหมด	1104	-	-

ตารางที่ 3.5 แสดงสัดส่วนขนาดคลองรวมหยาบ

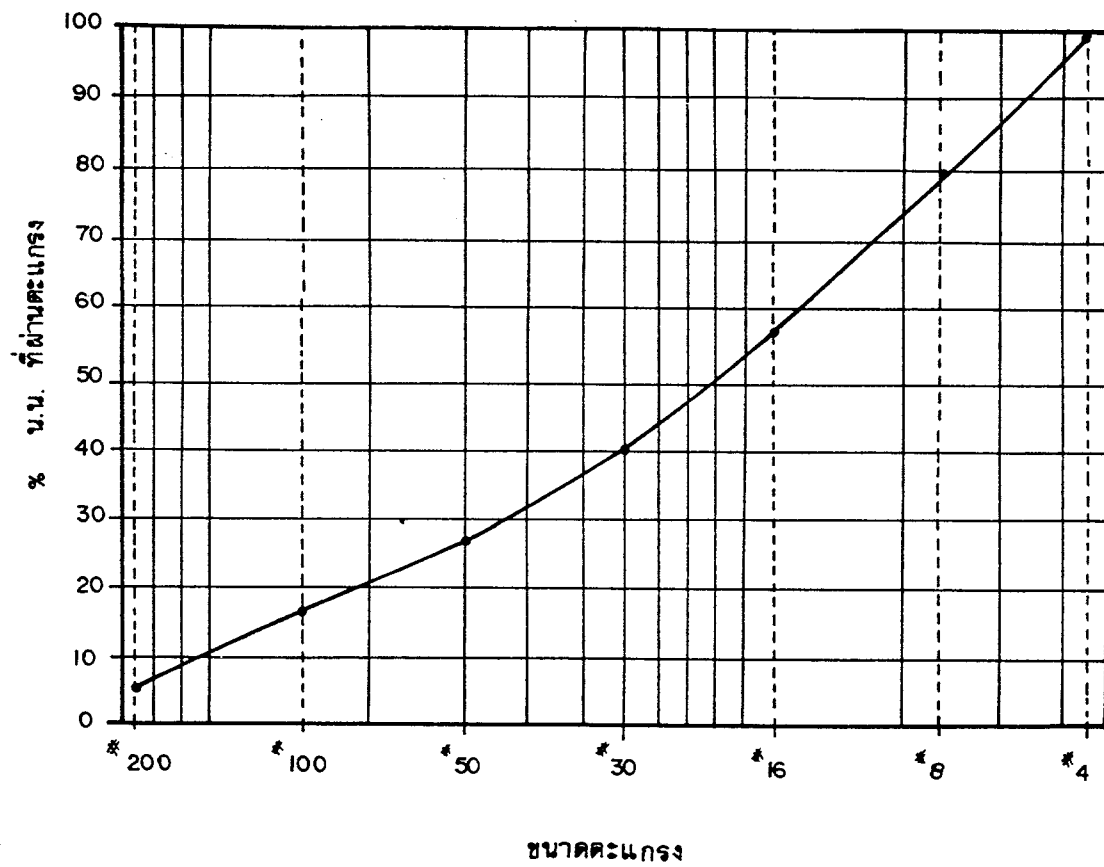
ขนาดตะแกรง	น.น. ค้าง (กรัม)	น.น. ผ่านละเอียด (กรัม)	% ผ่าน
3/4"	-	475	100.0
1/2"	166	309	65.0
3/8"	55	254	53.5
เบอร์ 4	254	0	0
รวม	475	-	-

ตารางที่ 3.6 แสดงสัดส่วนขนาดคลองรวมละเอียดและวัสดุขัดแทรก

ขนาดตะแกรง	น.น. ค้าง (กรัม)	น.น. ผ่านละเอียด (กรัม)	% ผ่าน
เบอร์ 4	-	629	100.0
8	132	497	79.0
16	133	364	57.9
30	110	254	40.4
50	88	166	26.4
100	56	110	17.5
200	66	44	7.0
ภาควง	44	0	0
รวม	629	-	-



รูปที่ 3.1 รูปกราฟแสดงสัดส่วนผลรวมรวมหยาบ



รูปที่ 3.2 รูปกราฟแสดงสัดส่วนผลรวมมวลละเอียด

Specific Gravity at Saturated Surface Dry) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ โพร่งอากาศ เปอร์เซ็นต์ ช่องว่างระหว่างมวลรวม และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่มียางแอสฟัลท์ในการทดสอบแบบมาร์แชลล์ (Marshall Test Method)

ความถ่วงจำเพาะของยางแอสฟัลท์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D70-76 Standard Test Method for Specific Gravity of Semi-Solid Bituminous Materials โดยใช้ขวด Pycnometer ความถ่วงจำเพาะของยาง คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของวัสดุที่มี ปริมาตรที่กำหนด ให้อุณหภูมิ 77 องศาฟาเรนไฮต์ (25 องศาเซลเซียส) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มี ปริมาณเท่ากันและอุณหภูมิเดียวกัน

3.3.2 ค่าเพนเนเทรชัน

การหาเพนเนเทรชันของยางแอสฟัลท์ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5-73 Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials

3.3.3 การเคลือบมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

การเคลือบมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดโดยใช้สารซีเมนต์ 8 เปอร์เซนต์โดย น้ำหนักส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วยมวลรวมหยาบ 475 กรัม มีปริมาณสารซีเมนต์ 41.28 กรัม และมวลรวมละเอียด (รวมวัสดุอัดแทรก) 629 กรัม มีปริมาณสารซีเมนต์ 54.72 กรัม ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.3 และ 0.4 โดยการบ่มคงที่ 3 วัน เพื่อหาอัตราส่วน น้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม และการเคลือบผิวมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดด้วยปูนซีเมนต์ ต่อซีเมนต์ 100:0, 80:20, 60:40 ที่การบ่ม 1,3,7, และ 28 วัน ตามลำดับ การแยกเคลือบผิวมวลรวมด้วยสารซีเมนต์นี้ ได้ใช้วิธีของ Guirguis, Daoud และ Hamdani (1980) ซึ่งสามารถคัดแปลงและปรับปรุงในการศึกษาการเคลือบผิวมวลรวมหยาบและมวลรวม ละเอียดด้วยสารซีเมนต์ เพื่อใช้ในงานคอนกรีตแอสฟัลท์ สรุบบนคอนกรีตดังนี้

1. นำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. จัดสัดส่วนขนาดผละมวลรวมหยาบหนัก 475 กรัม และมวลรวมละเอียดหนัก 629 กรัม โดยใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรง ตาม ASTM C-136
3. นำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเคลือบด้วยสารซีเมนต์
4. คำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเคลือบผิวแต่ละมวลรวมที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ที่กำหนด คือ 0.3, 0.4

5. มวลรวมหยาบและสารซีเมนต์ค่อซี้ถ้าลอยจะถูกผสมลงในอ่างผสมผสมขนาด 5 ลิตร และการผสมแห้ง เป็นเวลา 30 วินาทีต่อจากนั้นจึงผสมน้ำจนครบปริมาณ โดยทำการผสม เบิกใช้เวลาประมาณ 90 วินาที

6. การผสมมวลรวมละเอียดและสารซีเมนต์ค่อซี้ถ้าลอยขึ้นตอนตามข้อ 5 เช่นเดียวกัน

7. เทส่วนผสมลงในภาคน้ำพลาสติกคลุม เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำเป็นเวลาตาม กำหนด คือ 1, 3, 7 และ 28 วัน

8. ทดสอบหาปริมาณน้ำที่ถูกเคลือบผิวแต่ละมวลรวม

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบและละเอียดที่ถูกเคลือบผิว

3.4.1 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและละเอียดที่ถูกเคลือบผิว

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบที่ถูกเคลือบผิวทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127-73 และมวลรวมละเอียดที่ถูกเคลือบผิวตามมาตรฐาน ASTM C128-73 ทำได้โดยหาค่า ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk Specific Gravity at Saturated Surface Dry) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) เพื่อการคำนวณค่าโพรงอากาศ และเปอร์เซ็นต์ช่องว่าง ระหว่างมวลรวม และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่มียางแอสฟัลท์ ในการทดสอบมาร์แชลล์

3.4.2 ปริมาณน้ำที่ใช้เคลือบผิวมวลรวมหยาบและละเอียด

ปริมาณน้ำที่ถูกใช้เคลือบผิวของมวลรวมด้วยสารซีเมนต์ สามารถคำนวณได้จากค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น} = \frac{A-B}{B} \times 100$$

เมื่อ B = น.น. ของมวลรวมที่ถูกเคลือบผิวหลังจากอบแห้ง

3.4.3 สัดส่วนขนาดผละของมวลรวมหยาบและละเอียดที่ถูกเคลือบผิว

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C136-76 Standard Test Method for Sieve on Screen Analysis of Fine and Coarse Aggregate โดยแยกทดสอบมวลรวม หยาบ และละเอียดที่ถูกเคลือบด้วยสารซีเมนต์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำค่อ ปูนซีเมนต์ 0.3, 0.4 ที่การบ่ม 3 วัน และทดสอบมวลรวมหยาบและละเอียดที่ถูกเคลือบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ค่อซี้ถ้าลอย 100:0, 80:20 และ 60:40 อัตราส่วนน้ำค่อปูนซีเมนต์ ที่เหมาะสม ที่การบ่ม 1, 3, 7 และ 28 วัน

3.4.4 การทดสอบมาร์แชลล์

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1559-76 Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus ซึ่งทดสอบวิธีนี้จะให้ค่าเสถียรภาพ (Stability) ค่าการยุบตัว (Flow) และค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) และเมื่อทราบค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบก็จะคำนวณหาค่าโพรงอากาศ (Air Void) ค่าช่องว่างระหว่างมวลรวม (Void Filled with Bitument)

การทำตัวอย่างทดสอบ ให้นำเอามวลรวมหยาบและละเอียดที่ถูกเคลือบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเข้าด้วยกัน ตามที่กำหนดมาเทลงในภาชนะคลุกเคล้า และผสมให้เข้ากัน เพื่อไม่ให้เกิดการแยกแยะของมวลรวม จึงทำเป็นก้อนตัวอย่างคอนกรีตแอสฟัลท์ ในการทดสอบแต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างใช้การกระแทก 75 ครั้งต่อค้ำน ทั้งค้ำนบนและค้ำนล่างของตัวอย่างทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30-40 นาที จึงทำการกดตัวอย่าง เพื่อหาค่าเสถียรภาพสูงสุด และค่าการยุบตัว ค่าที่ได้จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบคอนกรีตแอสฟัลท์ ของมาร์แชลล์