

บทที่ 4

การวิจัยในประเทศไทย

4.1 ขบวนการในการผลิตแอสฟัลท์

แอสฟัลท์ เป็นผลิตผลทางปิโตรเลียมที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude Petroleum) ในการกลั่นน้ำมัน น้ำมันดิบจะถูกส่งเข้าไปยังหอกลั่น เพื่อที่จะแยกชนิดของน้ำมันตามน้ำหนักและจุดเดือดของน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งจะแยกน้ำมันตามน้ำหนักจากเบาไปถึงหนักออกเป็น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด และ น้ำมันดีเซล กากน้ำมันที่เหลือ จะเป็นน้ำมันซีลล์และน้ำมันเตา ซึ่งระเหยได้ยาก และบางส่วนของกากน้ำมันจะนำไปผลิตเป็นแอสฟัลท์โดยบ้านขบวนการต่าง ๆ ขบวนการในการผลิตแอสฟัลท์แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี<sup>(1)</sup> คือ

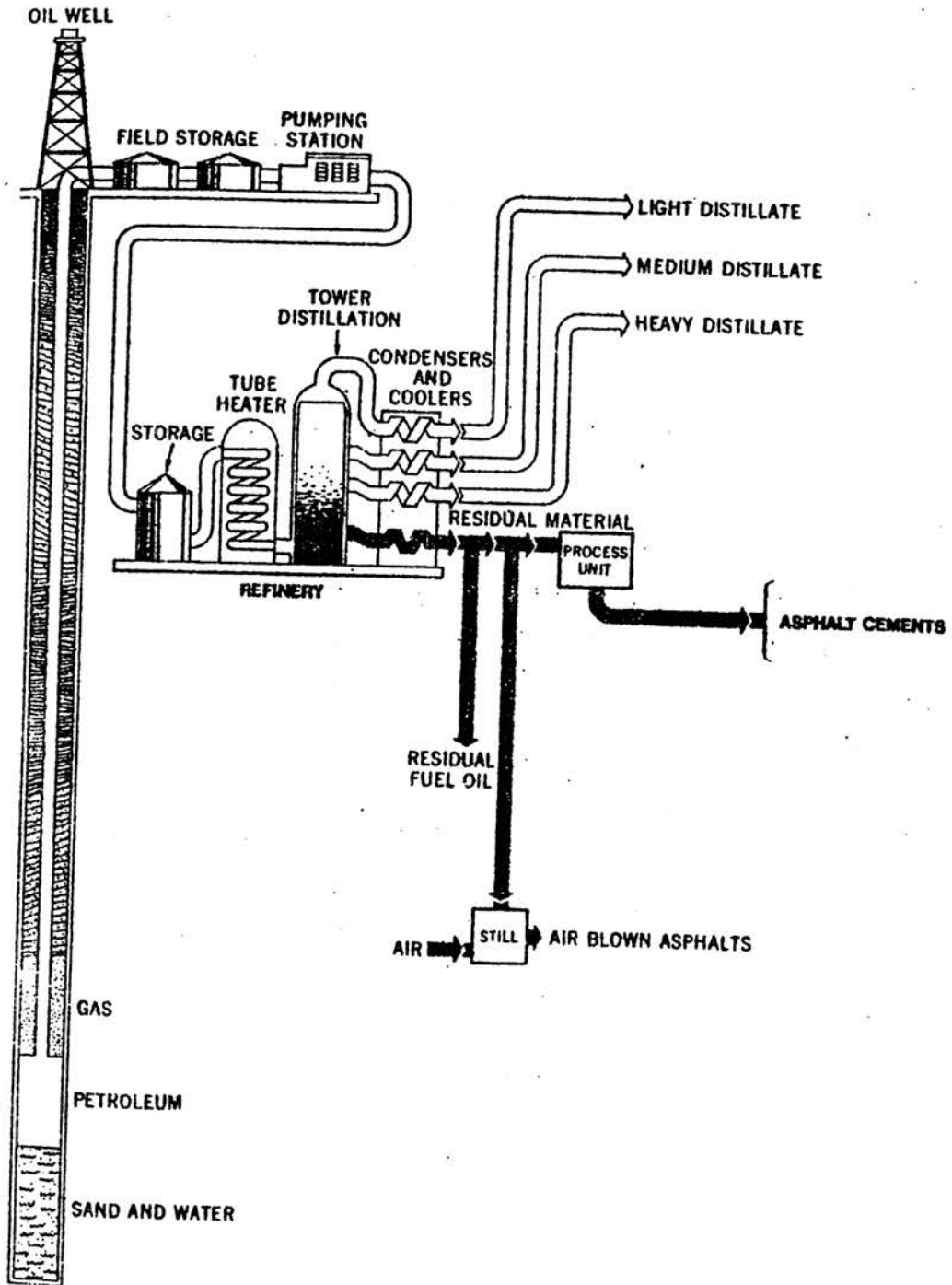
4.1.1 Vacuum reproduction วิธีการนี้ส่วนของแอสฟัลท์ที่ผสมอยู่ในน้ำมันดิบจะแข็งอยู่ที่อุณหภูมิหนึ่ง โดยการแยกออกโดยวิธีกลั่นสุญญากาศที่อุณหภูมิประมาณ 700<sup>0</sup>F

4.1.2 Oxidation การใช้วิธีกลั่นสุญญากาศ จะได้ยางแอสฟัลท์ที่เหลวเท่านั้น การจะแยกแอสฟัลท์ที่แข็งจะต้องใช้วิธี Oxidation โดยการนำแอสฟัลท์เหลวมาให้ความร้อนถึง 500<sup>0</sup>F แล้วเป่าอากาศร้อนผ่านเข้าไปในแอสฟัลท์เหลว ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับแอสฟัลท์เหลว โดยที่พวกออยส์จะเปลี่ยนไปเป็นแอสฟัลท์ดีกรีเรซิน และแอสฟัลท์ดีกรีเรซินจะเปลี่ยนไปเป็นแอสฟัลท์เทน ซึ่งทำให้แอสฟัลท์มีสภาพแข็งตัวขึ้น จากส่วนประกอบที่เป็นของแข็งมากขึ้นดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

4.1.3 Propane precipitation วิธีนี้ทำโดยการเติมกากน้ำมันด้วยแก๊สโพรเพนเหลว (Liquid propane) ซึ่งจะทำให้แอสฟัลท์ส่วนที่แข็งตกตะกอน แอสฟัลท์ที่ได้จากวิธีการนี้จะแข็งจนเกินไปสำหรับการทำวัสดุผิวจราจร

รูปที่ 4-1 แสดงถึงขบวนการในการกลั่นน้ำมันดิบและการผลิตแอสฟัลท์

ในประเทศไทย มีโรงงานกลั่นน้ำมันของบริษัทต่าง ๆ มากมายทั้งของรัฐ และเอกชน น้ำมันดิบส่วนมากต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศที่มีแหล่งน้ำมันดิบทั่วไป การผลิตแอสฟัลท์ได้จากกากน้ำมันที่เหลือจากการกลั่นแยกน้ำมันน้ำหนักเบา นำไปเข้าขบวนการ Oxidation โดยผ่านลมร้อนให้กากน้ำมันแข็งตัว เป็นผลิตภัณฑ์แอสฟัลท์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแอสฟัลท์ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย จะเป็นเกรดที่มีค่าพีนิเตรชัน (Penetration) ในช่วงระหว่าง



รูปที่ 4-1 แผนภาพขบวนการกลั่นน้ำมันดิบและการผลิตแอสฟัลท์

80 ถึง 100 ชนิด เทียบเท่ากัน เนื่องจากแอสฟัลท์เหล่านี้นำมาเพื่อใช้ในงานถนนโดยเฉพาะ อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังมีบริษัทจำหน่ายแอสฟัลท์เกรดที่มีความแข็งแรงมากกว่าแอสฟัลท์ที่ใช้ในงานผิวจราจร เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์แมคเคอรี่ ผลิตภัณฑ์กันซึมหรือคาคมน้ำ หลังคา กันซึมของน้ำและอื่น ๆ ซึ่งสิ่งเข้ามาจากต่างประเทศ สาเหตุที่บริษัทไม่ได้ผลิตขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากปริมาณที่ใช้งานมีน้อย ไม่คุ้มค่าในการลงทุนที่จะเปลี่ยนแปลง ขบวนการการผลิตแอสฟัลท์ให้มีเกรดต่าง ๆ กันได้

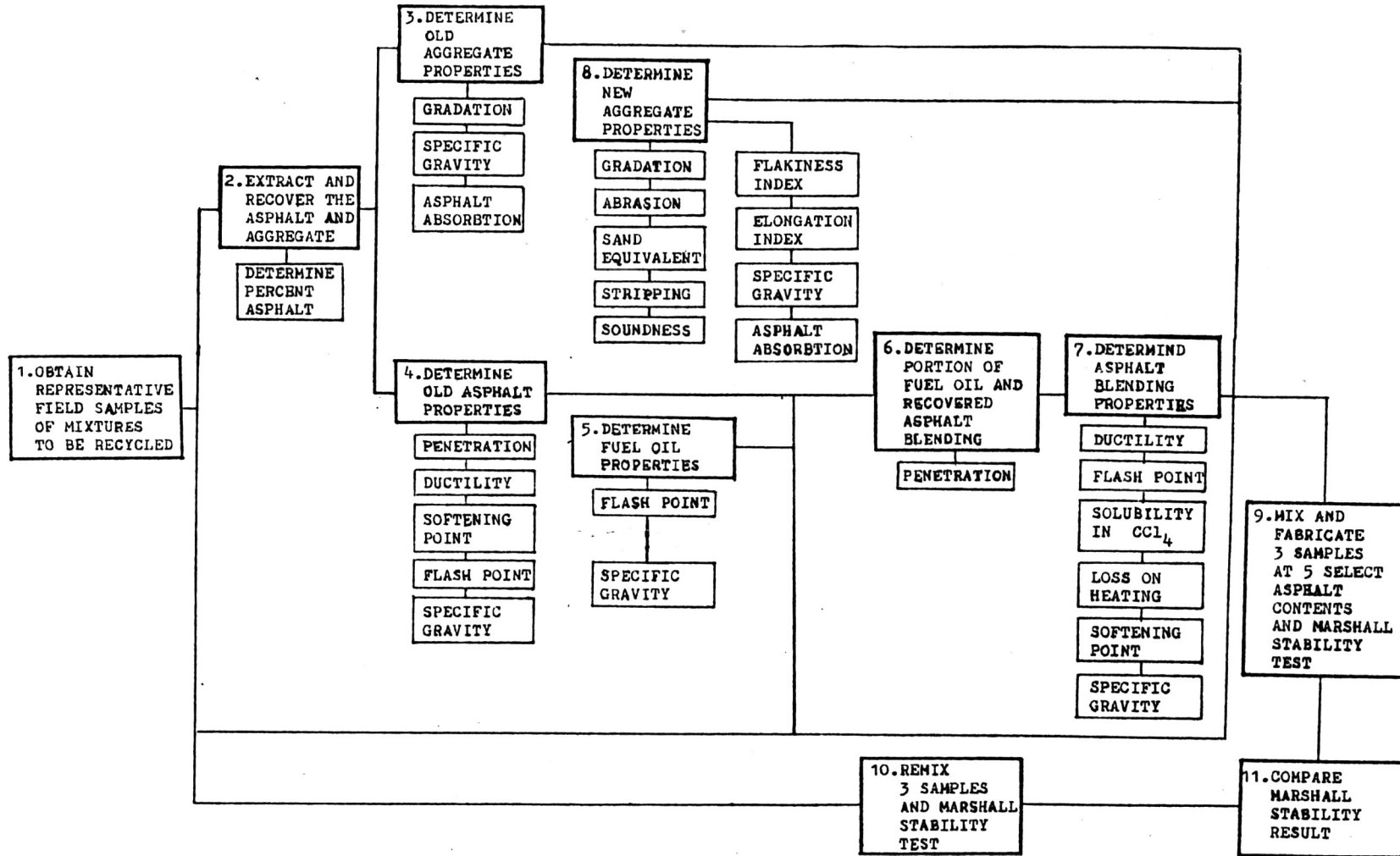
#### 4.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การศึกษาได้ทำการวิจัยที่จะนำวัสดุผิวจราจรแอสฟัลท์ดิกคอนกรีต เก้า นำมาใช้งานใหม่ เพราะเห็นว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่เนื่องจากในประเทศไทย ไม่มีแอสฟัลท์ เกรดที่อ่อนหรือสารปรับสภาพที่จะนำมาปรับคุณสมบัติของแอสฟัลท์ เก้า ให้มีคุณภาพเหมือนคุณสมบัติ เดิมจำหน่ายในประเทศไทยและยังไม่มีการใช้วิธีการนี้ในประเทศไทย ในการวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองนำเอาน้ำมัน เตาที่มีจำหน่ายในประเทศไทยและเป็นกาน้ำมันที่ได้หลังจากการกลั่นน้ำมันและมีสภาพอ่อนตัวนำมาทดลองผสม เข้ากับแอสฟัลท์ เก้า ที่ได้มีการใช้งานมาแล้ว เนื่องจากน้ำมัน เตาเป็นผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียม จึงเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับยางแอสฟัลท์ ดังนั้นจึงสามารถผสม เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ การวิจัยนี้จะนำสารผสมที่ได้นี้ มาทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาความเหมาะสม ปัญหาและวิธีการที่จะนำมาใช้งานต่อไป

ในการวิจัยได้แบ่งขั้นตอนไว้ 11 ขั้นตอน รูปที่ 4-2 แสดงถึงวิธีการและขั้นตอนในการวิจัยที่จะทดสอบนำเอาน้ำมัน เตา มาผสม เพื่อปรับสภาพแอสฟัลท์ดิกคอนกรีต เก้า และทำการทดสอบหาเสถียรภาพวัสดุ โดยวิธีมาร์แชลล์ และการทดสอบลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ของส่วนผสม ขั้นตอนในการวิจัยได้แก่

##### 4.2.1 การเก็บตัวอย่างแอสฟัลท์ดิกคอนกรีต เก้า ที่นำมาปรับสภาพ

##### 4.2.2 การแยกแอสฟัลท์และวัสดุมวลรวมจากแอสฟัลท์ดิกคอนกรีต เก้า และหาปริมาณแอสฟัลท์ในส่วนผสม



รูปที่ 4-2 วิธีการและขั้นตอนในการใช้น้ำมันเตาผสมเพื่อปรับสภาพแอสฟัลท์ติกคอนกรีตเก่า

4.2.3 การทดสอบคุณสมบัติมวลรวมเก่า ได้แก่ Gradation, Specific gravity และ Asphalt absorbtion

4.2.4 การทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลท์เก่า ได้แก่ Penetration, Ductility, Softening point, Flash point และ Specific gravity

4.2.5 การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันเตา ได้แก่ Flash point และ Specific gravity

4.2.6 การทดสอบหาปริมาณการผสมระหว่างแอสฟัลท์เก่าและน้ำมันเตาโดยนำค่า Penetration ที่ต้องการเป็นหลัก

4.2.7 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมของแอสฟัลท์เก่าและน้ำมันเตาจากชั้นตอนที่ 4.2.6 ได้แก่ Ductility, Flash point, Solubility in  $CCl_4$ , loss on heating, softening point และ Specific gravity

4.2.8 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมใหม่ ได้แก่ Gradation, Abrasion, Sand equivalent, Stripping, Soundness, Flakiness index, Elongation index, Specific gravity และ Asphalt absorbtion

4.2.9 การเตรียมตัวอย่างโดยนำวัสดุแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่า น้ำมันเตาและวัสดุมวลรวมใหม่ที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติจากชั้นตอนที่ 4.2.2 ถึง 4.2.8 นำมาผสมให้ได้ปริมาณแอสฟัลท์ในส่วนผสมต่าง ๆ กัน 5 ปริมาณ แต่ละปริมาณใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างและทำการทดสอบ Marshall stability

4.2.10 การนำแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่ามาผสมใหม่ 3 ตัวอย่างและทำการทดสอบ Marshall stability

4.2.11 นำผลที่ได้จากการทดสอบ Marshall stability ในชั้นตอนที่ 4.2.9 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากชั้นตอนที่ 4.2.10

รายละเอียดและการทดสอบวิธีการแต่ละขั้นตอนจะได้เสนอต่อไป ในการก่อสร้างผิวจราจรและการใช้วัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เป็นวัสดุผิวจราจร ได้มีหลักการในการเลือกใช้วัสดุที่นำมาใช้ผสม และการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุเหล่านั้น เช่นเดียวกับในประเทศไทย หน่วยงานของรัฐที่ดำเนินงานเกี่ยวข้องกับบริการทางด้านคมนาคมขนส่ง เช่น กรมทางหลวง ซึ่งให้บริการโครงการก่อสร้างและบูรณะทางหลวงต่าง ๆ กรุงเทพมหานคร ซึ่งให้บริการก่อสร้างและบูรณะซ่อมแซมถนนภายในกรุงเทพมหานคร ต่างก็ได้กำหนดมาตรฐานและข้อกำหนดคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและวัสดุที่นำมาใช้ผสม ข้อกำหนดวัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีตของกรมทางหลวงแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1 และข้อกำหนดวัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีตของกรุงเทพมหานคร แสดงไว้ในภาคผนวก ก.2 เนื่องจากกรมทางหลวงเป็นหน่วยงานของรัฐซึ่งให้บริการทางการก่อสร้างซ่อมแซม สั้วรองและออกแบบทางหลวงต่าง ๆ โดยตรง การวิจัยนี้จึงใช้มาตรฐานและข้อกำหนดวัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีตของกรมทางหลวง มาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยและคุณสมบัติของวัสดุที่ทดสอบได้จากการวิจัยนี้ รายละเอียดและผลการทดสอบในขั้นตอนต่าง ๆ จะได้กล่าวต่อไป

#### 4.2.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเก่าที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ ได้จากการขุดลอกผิวจราจรเพื่อปรับปรุงถนนใหม่ บริเวณสี่แยกศาลาแดง ถนนพระรามที่ 4 ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2525 ผิวจราจรมีลักษณะแตกร้าวและหลุมร่อนเป็นหลุมกว้าง ประวัติของถนนบริเวณนี้ได้รับการซ่อมแซมครั้งสุดท้ายเมื่อปลายปี พ.ศ. 2518 รวมอายุการใช้งานของวัสดุผิวจราจรประมาณ 7 ปี

#### 4.2.2 การแยกวัสดุในแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเก่าและหาปริมาณแอสฟัลท์ในส่วนผสม

ตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเก่า จะถูกนำมาแยกแอสฟัลท์และวัสดุมวลรวมออกจากกัน เพื่อนำไปหาคุณสมบัติต่าง ๆ โดยวิธีการแยกและหาปริมาณของบิทูเมนจากส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (ดูภาคผนวก ง.1) ข้อมูลในการทดสอบ แสดงไว้ดังตารางที่ 4-1 ซึ่งจะได้ปริมาณของบิทูเมนเท่ากับ 5.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเก่า วัสดุมวลรวมเก่าแยกได้จากวิธีการทดสอบนี้ สำหรับแอสฟัลท์เก่า แยกได้

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลในการทดสอบวิธีการแยกวัสดุจากส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

Test for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures

Sample No.	Wt. of Bowl (gm)	Moisture Content %	Wt. of Bowl + Sample (gm)	Wt. of Sample $W_1$ (gm)	Wt. of Water in Sample $W_2$ (gm)	Wt. of Extracted Aggregate $W_3$ (gm)	Wt. of Mineral Matter $W_4$ (gm)	Asphalt Content % by Wt. of Mix. $(W_1 - W_2) - (W_3 - W_4) / W_1 - W_2$	Asphalt Content % by Wt. of Aggregate $(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4) / W_3 + W_4$
1	1536.2	0.31	2507.7	971.5	3.0	916.3	0.1	5.38	5.69
2	1536.2	0.53	2674.9	1138.7	6.0	1081.9	0.2	4.47	4.68
3	1536.2	0.64	2891.9	1355.7	8.7	1288.0	0.4	4.35	4.55
4	1536.2	0.48	2934.8	1398.6	6.7	1314.4	0.2	5.55	5.88
Avg. Asphalt Content, % by Wt. of Agg.									5.20

จากสารละลายที่มาจากวิธีการนี้ นำไปทดสอบโดยวิธีการนำแอสฟัลท์จากสารละลายแอสฟัลท์  
ในตัวทำละลาย (ดูภาคผนวก ง.2) วัสดุมวลรวมเก่าและแอสฟัลท์เก่าจะนำไปทดสอบคุณสมบัติ  
ต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวในขั้นตอนต่อไป

#### 4.2.3 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมเก่า

วัสดุมวลรวมเก่าที่แยกได้จากแอสฟัลท์ดีคคอนกรีต จะถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติ  
ต่าง ๆ ได้แก่

4.2.3.1 การทดสอบขนาด (Gradation) เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้ได้  
วัสดุมวลรวมที่มีขนาดเหมาะสม มีช่องว่างระหว่างเม็ดของวัสดุที่เหมาะสม โดยการเพิ่มวัสดุ  
มวลรวมใหม่ การทดสอบหาขนาด ใช้วิธีการหาขนาดวัสดุเล็กกว่า 0.075 มม. โดยผ่านตะแกรง  
แบบล้าง (ดูภาคผนวก ค.1) และวิธีการทดสอบหาขนาดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (ดู  
ภาคผนวก ค.2) ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแสดงไว้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 การทดสอบหาขนาด (Gradation) ของวัสดุมวลรวมเก่า

ขนาดตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง (กรัม)	นน.ตะแกรง+วัสดุค้างบนตะแกรง		นน. วัสดุมวล รวมค้างบน ตะแกรง (กรัม)	วัสดุมวลรวม ผ่านตะแกรง (%)
		ตัวอย่างที่ 1 (กรัม)	ตัวอย่างที่ 2 (กรัม)		
3/4" (19.000)	760.0	760.0	760.0	0	100
1/2" (12.500)	633.0	633.0	633.0	0	100
3/8" (9.500)	640.9	833.1	859.2	410.5	91.1
No. 4 (4.760)	559.0	1025.8	1024.0	931.8	70.8
No. 8 (2.380)	522.9	1041.3	1104.1	1099.6	46.9
No. 30 (0.590)	447.0	921.0	973.9	1000.9	25.1
No. 50 (0.297)	413.9	615.6	603.4	391.2	16.6
No.100 (0.149)	399.1	528.6	534.0	264.4	10.9
No.200 (0.074)	302.6	379.6	386.1	160.5	7.4
Pan (<0.074)	487.3	657.2	655.6	338.2	0
รวม	5165.7	7395.2	7533.3	4597.1	
นน. วัสดุมวลรวม	-	2229.5	2367.6	4597.1	



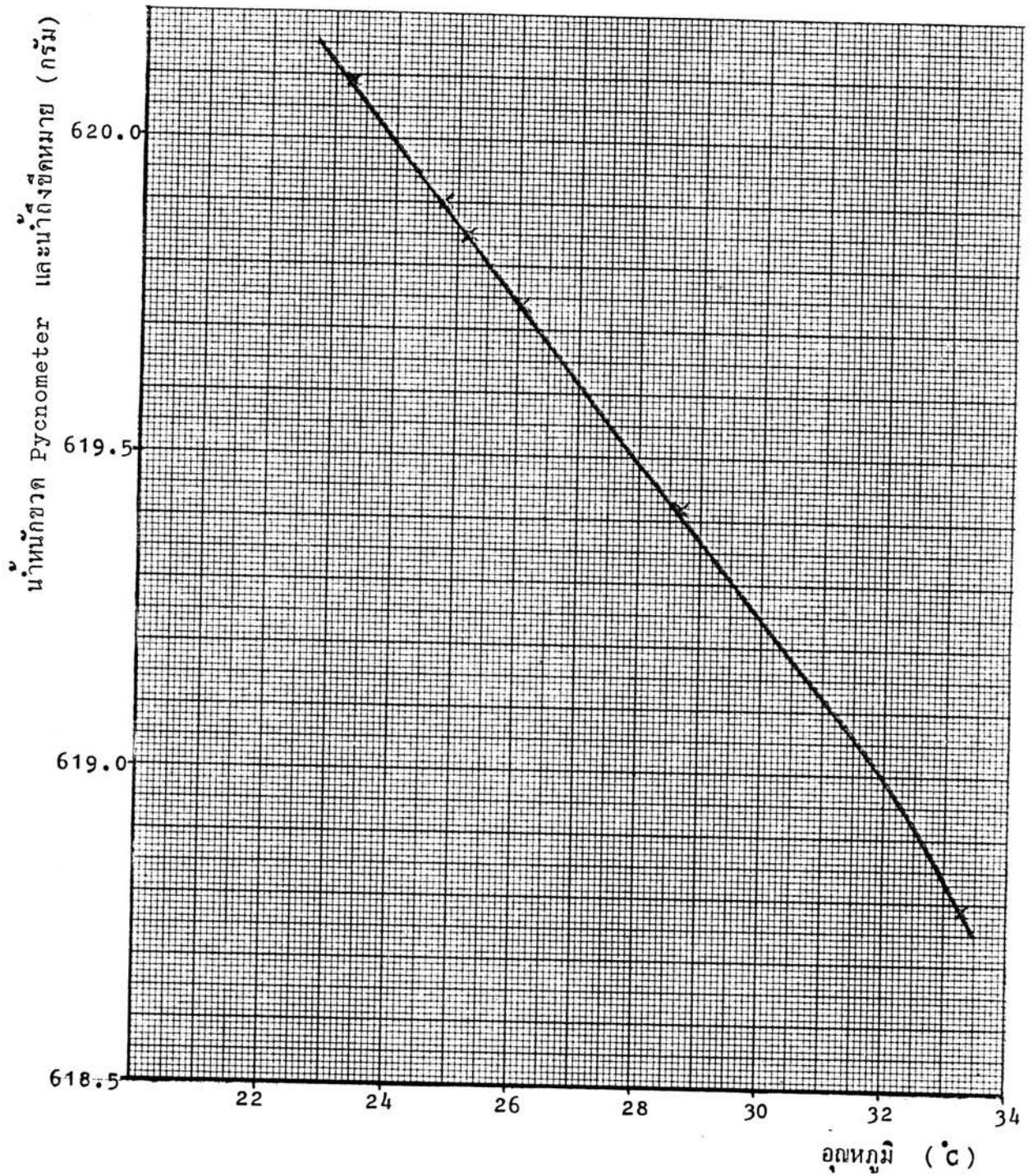
4.2.3.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ ในการทดสอบแอสฟัลท์ค็อคคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะใช้วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (ดูภาคผนวก ค.3) และวิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด (ดูภาคผนวก ค.4) ตารางที่ 4-3 แสดงถึงข้อมูลในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบ เท่ากับ 2.7022 ตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-3 แสดงถึงการปรับ Pycnometer ที่ใช้ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด ตารางที่ 4-5 แสดงถึงข้อมูลในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด เท่ากับ 2.6939 และตารางที่ 4-6 แสดงถึงข้อมูลในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. เท่ากับ 2.6793

ตารางที่ 4-3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบในวัสดุมวลรวม  
แก้ว

ตัวอย่าง	นน. วัสดุแห้ง $W_s$ (กรัม)	นน. วัสดุสภาพ SSD $W_D$ (กรัม)	นน. วัสดุในน้ำ $W_W$ (กรัม)	Bulk sp.gr. $= \frac{W_s}{W_D - W_W}$
No. 1	287.50	288.92	182.4	2.6990
No. 2	308.20	309.62	195.7	2.7054
Avg.				2.7022

ตารางที่ 4-4 การปรับปริมาตรของ Pycnometer ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการหาความ  
ถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมชนิดเม็ดละเอียด

น้ำหนักขวด Pycnometer = 121.76 gm.		
Determination Number	Wt. of Pycnometer + Water (gm)	Temperature °C
1	618.79	33.3
2	619.42	28.7
3	619.74	26.1
4	619.85	25.2
5	619.90	24.8
6	620.09	23.3



รูปที่ 4-3 การปรับน้ำหนักขวด Pycnometer ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด

ตารางที่ 4-5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียดในวัสดุมวลรวมเก่า

Sample No.	นน. วัสดุแห้ง W <sub>S</sub> (gm)	นน. วัสดุสภาพ SSD W <sub>D</sub> (gm)	อุณหภูมิ T (°C)	Sp. gr. น้ำ G <sub>T</sub> ที่ T <sub>o</sub> C	นน. ชวด+วัสดุ+น้ำถึงขีดหมาย W <sub>1</sub> (gm)	นน. ชวด+น้ำถึงขีดหมาย W <sub>2</sub> (gm)	Bulk sp.gr. $= \frac{W_S G_T}{W_D - W_1 + W_2}$	Avg. Bulk sp.gr. of Agg.
1	158.97	159.67	28.6	0.9961	720.4	619.42	2.6981	2.6994
			26.8	0.9966	720.5	619.65	2.6935	
			25.1	0.9971	720.9	619.87	2.7031	
			24.1	0.9973	721.0	619.99	2.7027	
2	138.48	139.05	30.0	0.9957	706.9	619.25	2.6826	2.6883
			28.3	0.9962	707.2	619.46	2.6886	
			27.4	0.9964	707.3	619.57	2.6886	
			26.6	0.9966	707.4	619.67	2.6892	
			24.5	0.9972	707.7	619.94	2.6924	
Avg. Bulk Sp. Gr.							2.6939	

หมายเหตุ การทดลองใช้ Pycnometer ที่ได้รับปริมาณและน้ำหนักที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-3

ตารางที่ 4-6 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ในวัสดุมวลรวมเก่า

Sample No.	นน. วัสดุแห้ง $W_s$ (gm)	อุณหภูมิ $T$ ( $^{\circ}C$ )	Sp.gr. น้ำ $G_T$ ที่ $T^{\circ}C$	นน. ขวด+วัสดุ+น้ำ ถึงขีดหมาย $W_1$ (gm)	นน. ขวด+น้ำ ถึงขีดหมาย $W_2$ (gm)	Specific Gravity $= \frac{W_s G_1}{W_s - W_1 + W_2}$	Avg. Sp.Gr.
1	59.49	29.8	0.9958	656.79	619.27	2.6964	2.6858
		28.5	0.9962	656.82	619.44	2.6804	
		26.7	0.9967	657.07	619.66	2.6854	
		25.9	0.9968	657.13	619.76	2.6808	
2	51.66	27.3	0.9964	652.00	619.59	2.6740	2.6727
		26.0	0.9968	652.12	619.75	2.6695	
		25.5	0.9970	652.18	619.81	2.6700	
		24.8	0.9971	652.32	619.90	2.6772	
Avg. Sp. Gr.							2.6793

หมายเหตุ การทดลองใช้ Pycnometer ที่ได้รับปริมาตรและน้ำหนักที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-3

จากการทดสอบขนาดในหัวข้อ 4.2.3.1 ได้น้ำหนักของวัสดุรวมเก่าแยกออกได้ดังนี้

น้ำหนักของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.074 มม. ถ.พ. 2.6793	7.4	เปอร์เซ็นต์	
น้ำหนักของวัสดุชนิด เม็กละเอียด	ถ.พ. 2.6939	63.4	เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักของวัสดุชนิด เม็กลหยาบ	ถ.พ. 2.7022	29.2	เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{Bulk Specific Gravity เฉลี่ยของวัสดุ (ดูภาคผนวก ค.3)} &= \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \frac{P_3}{100G_3}} \\ &= \frac{1}{\frac{7.4}{100(2.6793)} + \frac{63.4}{100(2.6939)} + \frac{29.2}{100(2.7022)}} \end{aligned}$$

$$\text{Bulk Specific Gravity of Old Aggregate} = 2.6952$$

4.2.3.3 การทดสอบหาการดูดซึมแอสฟัลท์ เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณในการทดสอบแอสฟัลท์ที่คคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาการดูดซึมแอสฟัลท์ (ดูภาคผนวก ค.5) ข้อมูลของการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-7 ได้ค่าการดูดซึมแอสฟัลท์เท่ากับ 0.146 % by wt. of agg.

ตารางที่ 4-7 การทดสอบการดูดซึมแอสฟัลท์ของวัสดุรวมเก่า

Bulk Sp.Gr. of Old Agg.,	$G_{sb}$	=	2.6952
Sp.Gr. of Asphalt,	$G_b$	=	1.0131
Asphalt Content in Mixture		=	7 % by wt. of Agg.
	$P_b$	=	6.5421 % by wt. of Mix.
Wt. of Mix in air,	A	=	803.2 gm.
Wt. of Mix in Water,	C	=	473.9 gm.
Max. Sp.Gr. of Mixture,	$G_{mm}$	=	$\frac{A}{A-C}$
		=	2.4391

## ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Effective Sp.Gr. of Agg.,	$G_{se}$	$= \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$
		$= 2.7057$
Absorbed Asphalt,	$P_{ba}$	$= 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \cdot G_{sb}} G_b$
		$= 0.146 \% \text{ by wt. of Agg.}$

## 4.2.4 การทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลท์เก่า

แอสฟัลท์เก่าที่แยกได้จากแอสฟัลท์ดีคคอนกรีต นำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อมีการใช้งานแล้ว และเป็นข้อมูลที่จะนำไปออกแบบวิธีการปรับสภาพให้ได้คุณสมบัติของแอสฟัลท์ในส่วนผสมแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่ต้องการ การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์เก่าได้แก่

4.2.4.1 การทดสอบหาค่าพีนิเตรชัน (Penetration) เพื่อที่จะได้ทราบค่า Penetration ของแอสฟัลท์เก่า เป็นข้อมูลในการหาการผสมน้ำมัน เตาปริมาณที่พอเหมาะให้ค่า Penetration ของส่วนผสมที่ต้องการ โดยใช้วิธีการทดสอบหาค่าพีนิเตรชัน (Penetration) (ดูภาคผนวก ข.1) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์เก่า ได้ค่า Penetration = 24.5, 25.0 และ 25.5

$$\text{Avg. Penetration of Old asphalt} = 25.0$$

4.2.4.2 การทดสอบการดึงเป็นเส้น (Ductility) เพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดึงเป็นเส้นของแอสฟัลท์ที่ได้มีการใช้งานมาแล้ว จากคุณสมบัติเดิมที่กำหนดให้แอสฟัลท์ที่ใช้ผสมกับวัสดุมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตมีคุณสมบัติโดยมีค่าการดึงเป็นเส้น (Ductility) มากกว่า 100 ซม. การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาค่าการดึงเป็นเส้น (Ductility) (ดูภาคผนวก ข.2) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์เก่า ได้แก่

Ductility = 22.5 และ 28 ซม.

Avg. ductility of old asphalt = 22.25 ซม.

4.2.4.3 การทดสอบหาจุดอ่อนตัว (Softening point) เพื่อที่จะศึกษาหาจุดอ่อนตัวของแอสฟัลท์ที่มีการใช้งานมาแล้ว โดยวิธีการทดสอบหาจุดอ่อนตัว (Softening point) (ดูภาคผนวก ข.3) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์เก่าได้ค่าจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิ  $62^{\circ}\text{C}$ ,  $64^{\circ}\text{C}$  และ  $63.5^{\circ}\text{C}$

Avg. softening point of old asphalt =  $63.2^{\circ}\text{C}$

4.2.4.4 การทดสอบหาจุดความไฟ (Flash point) เพื่อที่จะศึกษาหาจุดความไฟของแอสฟัลท์ที่มีการใช้งานมาแล้ว โดยวิธีการทดสอบหาจุดความไฟ (Flash point) (ดูภาคผนวก ข.4) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์เก่าได้ค่าจุดความไฟที่อุณหภูมิมากกว่า  $450^{\circ}\text{F}$  ( $232^{\circ}\text{C}$ )

4.2.4.5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปใช้คำนวณในการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะใช้วิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ (ดูภาคผนวก ข.5) ข้อมูลในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4-8 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์เก่าเท่ากับ 1.0608

ตารางที่ 4-8 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์เก่า

Sample No.	นน. ขวด Pycnometer (กรัม) a	นน. ขวด+น้ำ b (กรัม)	นน.ขวด+AC c (กรัม)	นน.ขวด+AC + น้ำ d (กรัม)	Sp.Gr. of AC $= \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}$
1	47.48	107.00	64.22	107.93	1.0588
2	47.30	106.81	61.18	107.60	1.0604
3	49.08	108.53	63.73	109.40	1.0631
Avg. Sp.Gr. of Old A.C.					1.0608

#### 4.2.5 การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันเตา

น้ำมันเตาที่ใช้ในการวิจัยนี้เพื่อนำไปปรับสภาพแอสฟัลท์เก่าให้กลับมามีคุณสมบัติเหมือนใหม่ น้ำมันเตาที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ตามความข้นเหลว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-9 น้ำมันเตาที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้เป็นน้ำมันเตา 'TYPE D' เนื่องจากเป็นน้ำมันเตาที่มีความข้นมากกว่าน้ำมันเตาชนิดอื่นๆ จึงมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันเตาชนิดอื่น ๆ มีความข้นเหลวพอเหมาะไม่เหลวมากจนเกินไปและพอเหมาะที่จะผสมกับแอสฟัลท์เก่าให้ได้ความข้นเหลวที่ต้องการ น้ำมันเตานำมาใช้ จำเป็นต้องทำการทดสอบคุณสมบัติบางประการเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและการคำนวณในการทดสอบแอสฟัลท์ที่ศึกษาคอนกรีต

ตารางที่ 4-9 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเตา

PROPERTIES	FUEL OIL			
	TYPE 'A'	TYPE 'B'	TYPE 'C'	TYPE 'D'
Density at 15°C, kg/l max.	0.985	0.970	0.990	0.995
Viscosity Kinematic at 50°C, cSt min.	67	7	135	240
max.	80	30	180	280
Flash Point PM cc, °C, min.	66	66	66	66

4.2.5.1 การทดสอบหาจุดวาบไฟ (Flash point) เพื่อที่จะศึกษาหาจุดวาบไฟของน้ำมันเตา นำไปใช้เพื่อความปลอดภัยของอุณหภูมิที่ทำการผสมและการขนส่ง การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาจุดวาบไฟ (Flash point) (ดูภาคผนวก ข.4) ผลของการทดสอบด้วยน้ำมันเตาที่ใช้ในการวิจัยได้ค่าจุดวาบไฟที่อุณหภูมิ 162°C (323°F)

4.2.5.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปใช้ในการคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมที่ได้จากการผสมน้ำมันเตาและนำไปใช้ในการคำนวณการทดสอบแอสฟัลท์ที่ศึกษาคอนกรีตที่ทำการปรับสภาพ ในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ใช้วิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ (ดูภาคผนวก ข.5) ข้อมูลในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4-10





ตารางที่ 4-10 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเตา

Sample No.	นน. ขวด Pycnometer a (กรัม)	นน. ขวด+น้ำ b (กรัม)	นน.ขวด + น้ำมันเตา c (กรัม)	นน.ขวด+น้ำ + น้ำมันเตา d (กรัม)	Sp. Gr. of Fuel Oil $= \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}$
1	47.48	107.00	61.51	106.68	0.9777
2	47.30	106.81	62.75	106.45	0.9772
3	49.08	108.53	63.38	108.31	0.9848
Avg. Sp. Gr. of Fuel Oil					0.9799

4.2.6 การหาปริมาณการผสมของแอสฟัลท์เก่าและน้ำมันเตา

การออกแบบการผสมน้ำมันเตาและแอสฟัลท์เก่า เพื่อให้มีค่า Penetration ที่ต้องการ จะต้องทราบค่า Penetration ของส่วนผสมทั้ง 2 ส่วน แต่เนื่องจากน้ำมันเตามีลักษณะที่มีความเหลว จนไม่สามารถทดสอบหาค่า Penetration ด้วยการทดสอบธรรมดาได้ ในการวิจัยนี้ จึงได้ทำการทดลองผสมน้ำมันเตากับแอสฟัลท์ในปริมาณต่าง ๆ กัน และนำไปผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันและทดสอบหาค่า Penetration ของการผสมในแต่ละปริมาณ ตารางที่ 4-11 แสดงถึงค่า Penetration ที่ได้จากการทดสอบส่วนผสมของแอสฟัลท์และน้ำมันเตา ที่ปริมาณต่าง ๆ กัน จากความสัมพันธ์ของการผสมแอสฟัลท์ที่มีความข้นเหลวต่างกัน พบว่า Logarithms ของค่า Penetration ของการผสมแอสฟัลท์ที่มีความข้นเหลวต่างกัน จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เมื่อกำหนดในแผนภาพ semi-log chart<sup>(16)</sup> ดังนั้นค่า Penetration ของการผสมในแต่ละปริมาณระหว่างแอสฟัลท์และน้ำมันเตา สามารถสร้างเส้นตรงในกราฟ semi-log chart ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ในการคำนวณหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ใช้วิธี Least squares ดังแสดงในตารางที่ 4-12 และต่อแนวเส้นตรงออกไปตัดแนวแกนตั้งที่จุด P ที่ปริมาณน้ำมันเตา 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-11 การทดสอบหาค่า Penetration ที่ปริมาณการผสมของแอสฟัลท์ และน้ำมันเตาต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก AC : น้ำมันเตา	ค่า Penetration			Avg. Penetration
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
100 : 0	84.0	82.5	83.0	83.2
95 : 5	107.0	108.0	106.5	107.2
90 : 10	155.0	158.0	156.0	156.3
85 : 15	220.0	218.5	221.5	220.0
80 : 20	292.0	295.0	292.0	293.0

ตารางที่ 4-12 การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแอสฟัลท์และน้ำมันเตาที่ปริมาณต่าง ๆ

By least squares method,

สมการเส้นตรง  $y = a+bx$

$$\Sigma(y) = Na+b\Sigma(x) \quad (I)$$

$$\Sigma(xy) = a\Sigma(x)+b\Sigma(x^2) \quad (II)$$

$y = \log P$  ( $P =$  ค่า Penetration);  $\Sigma(\log P) = a\Sigma(x)+Nb \quad (I)$

$x =$  ปริมาณน้ำมันเตาในส่วนผสม  $\Sigma(X \log P) = a\Sigma(x^2)+b\Sigma(x) \quad (II)$

x	x <sup>2</sup>	P	Log P	x log P
0	0	83.2	1.9201	0
5	25	107.2	2.0302	10.151
10	100	156.3	2.1940	21.940
15	225	220.0	2.3424	35.136
20	400	293.0	2.4669	49.338
$\Sigma$ 50	750		10.9536	116.565

แทนค่าใน (I) และ (II),  $N = 5$ ;  $10.9536 = a(50)+5b \quad (III)$

$$116.565 = a(750)+50b \quad (IV)$$

$$a = 0.0281$$

$$b = 1.9097$$

เมื่อปริมาณน้ำมันเตา = 0 % ( $x = 0$ )  $\log P = b = 1.9097$

$$P = 10^{1.9097} = 81.23$$

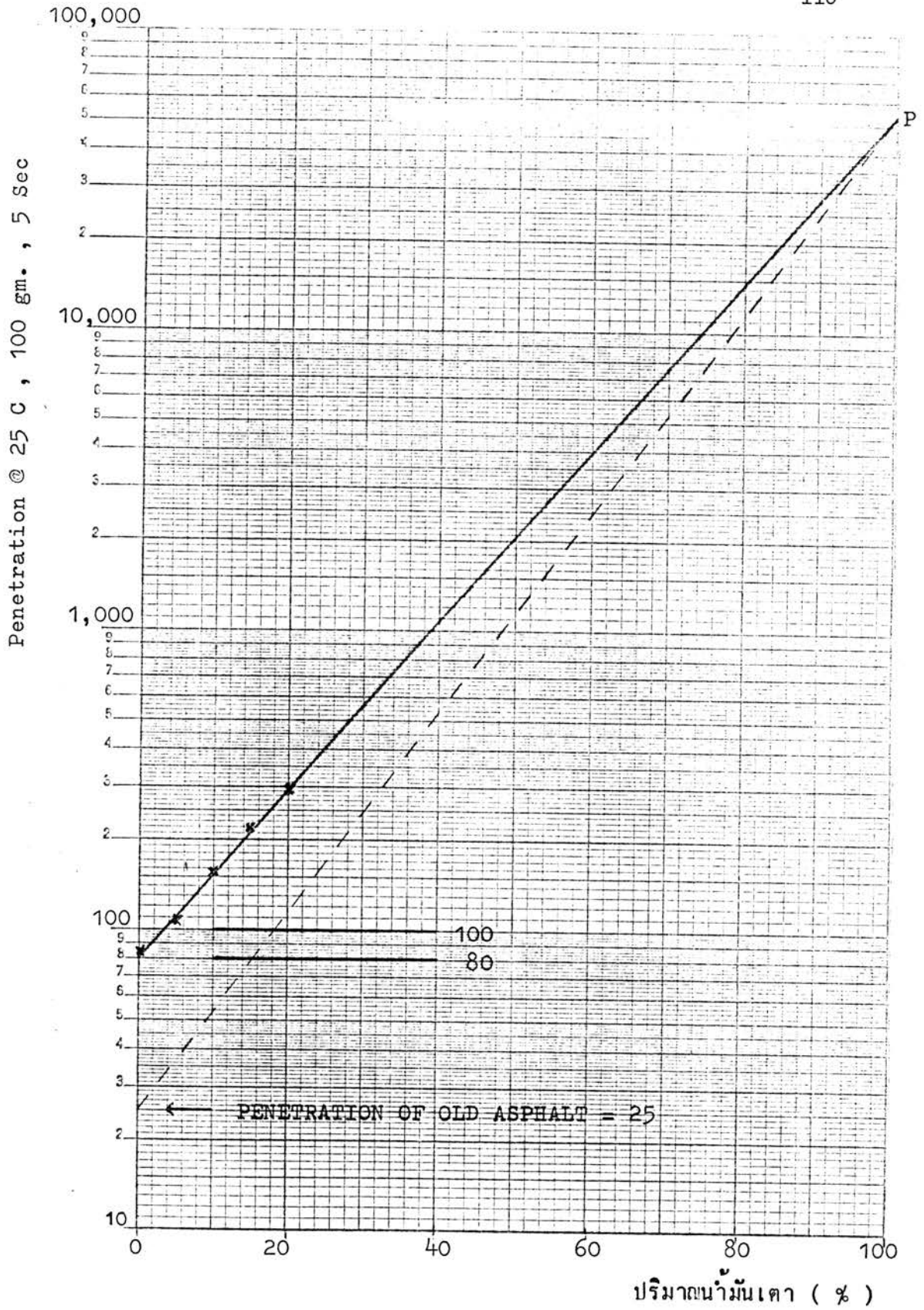
ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อปริมาณน้ำมันเตา} = 100 \% (x = 100) \log P &= 4.7197 \\ P &= 10^{4.7197} \\ &= 52,445 \end{aligned}$$

ในการนำน้ำมันเตาผสมกับแอสฟัลท์เก่า เพื่อปรับสภาพแอสฟัลท์เก่าให้มีคุณสมบัติกลับเหมือนเช่นแอสฟัลท์ที่ใช้ในการผสมตามข้อกำหนด ในการหาปริมาณของการผสมจะใช้ค่า (Penetration) เป็นหลัก ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดให้แอสฟัลท์ที่ใช้ในการทำแอสฟัลท์ติกคอนกรีต ต้องมีค่า Penetration ระหว่าง 80 ถึง 100 เนื่องจากแอสฟัลท์เก่ามีค่า Penetration เท่ากับ 25 (ดูหัวข้อ 4.2.4.1) และการหาจุด P ที่ปริมาณน้ำมันเตา 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการผสมน้ำมันเตาและแอสฟัลท์เก่าจึงอาศัยการผสมแอสฟัลท์ที่มีค่าความข้นเหลวต่างกัน เช่นเดียวกันกับการผสมน้ำมันเตากับแอสฟัลท์ดังที่กล่าวมาแล้ว เส้นประในรูปที่ 4-4 เป็นเส้นที่ลากต่อระหว่างค่า Penetration เท่ากับ 25 ที่ปริมาณน้ำมันเตา 0 % และจุด P บนแนวแกนตั้งที่ปริมาณน้ำมันเตา 100 % เส้นประนี้จะผ่านช่วงของค่า Penetration เท่ากับ 80 และ 100 ที่ปริมาณน้ำมันเตาเท่ากับ 15 และ 19 % ดังนั้น ในการผสมน้ำมันเตาและแอสฟัลท์เก่า โดยมีปริมาณน้ำมันเตาในช่วง 15 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม จะทำให้ส่วนผสมมีค่า Penetration ระหว่าง 80 และ 100

ในการวิจัยนี้ เลือกใช้ปริมาณน้ำมันเตา 18 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม เพื่อให้ได้ค่า Penetration ของส่วนผสมอยู่ในช่วง 80 ถึง 100 ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่กำหนดให้เป็นค่า Penetration ของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต และใช้ส่วนผสมของน้ำมันเตา: แอสฟัลท์เก่า เท่ากับ 18:82 เป็นตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ด้วย และเป็นแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว

4.2.6.1 การทดสอบหาค่าพีนิเตรชัน (Penetration) ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เพื่อหาค่า Penetration ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกรมทางหลวงของวัสดุแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต โดยใช้วิธีการทดสอบหาค่า



รูปที่ 4-4 การหาปริมาณการผสมระหว่างแอสฟัลท์เก่าและน้ำมันเตา

พีนี เทรชั่น (Penetration) (ดูภาคผนวก ข.1) ผลของการทดสอบได้ค่า Penetration = 97.5, 94.0 และ 96.0

$$\text{Avg. Penetration of Recycled Asphalt} = 95.8$$

#### 4.2.7 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว

ส่วนผสมของน้ำมันเตาและแอสฟัลท์เก่า ซึ่งเป็นแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้กับข้อกำหนดของกรมทางหลวงของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีตและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแอสฟัลท์เก่าเมื่อได้ทำการปรับสภาพแล้ว

4.2.7.1 การทดสอบการดึงเป็นเส้น (Ductility) เพื่อทดสอบหาค่า Ductility ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เปรียบเทียบกับค่า Ductility ของแอสฟัลท์เก่าและข้อกำหนดของกรมทางหลวงของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาค่าการดึงเป็นเส้น (Ductility) (ดูภาคผนวก ข.2) ผลการทดสอบตัวอย่าง 3 ตัวอย่างของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว ได้ค่า Ductility มากกว่า 100 ซม. ทั้ง 3 ตัวอย่าง

4.2.7.2 การทดสอบหาจุดอ่อนตัว (Softening point) เพื่อทดสอบหาจุดอ่อนตัวของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เปรียบเทียบกับจุดอ่อนตัวของแอสฟัลท์เก่า โดยวิธีการทดสอบหาจุดอ่อนตัว (Softening point) (ดูภาคผนวก ข.3) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้วได้ค่าจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิ  $46^{\circ}\text{C}$ ,  $44^{\circ}\text{C}$  และ  $45.5^{\circ}\text{C}$

$$\text{Avg. Softening Point of recycled asphalt} = 45.2^{\circ}\text{C}$$

4.2.7.3 การทดสอบหาจุดความไฟ (Flash point) เพื่อทดสอบหาจุดความไฟของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกรมทางหลวงของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต โดยวิธีการทดสอบหาจุดความไฟ (Flash point) (ดูภาคผนวก ข.4) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว ได้ค่าจุดความไฟที่อุณหภูมิมากกว่า  $450^{\circ}\text{F}$  ( $232^{\circ}\text{C}$ )

4.2.7.4 การทดสอบหาการละลายในสารทำละลายอินทรีย์ เพื่อทดสอบหาการละลายในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ( $\text{CCl}_4$ ) ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกรมทางหลวงของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต โดยวิธีการทดสอบการละลายของวัสดุบิทูเมนในสารทำละลายอินทรีย์ (ดูภาคผนวก ข.6) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว แสดงในตารางที่ 4-13 ได้แอสฟัลท์ที่ละลายในสารทำละลาย  $\text{CCl}_4$  เท่ากับ 99.76 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-13 การทดสอบหาการละลายใน  $\text{CCl}_4$  ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว

	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
น้ำหนักของขวดและตัวอย่าง, กรัม	102.7350	103.1500
น้ำหนักของขวด, กรัม	100.3300	101.2850
น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม	2.4050	1.8650
น้ำหนักของถั่วและวัตถุที่ไม่ละลายใน $\text{CCl}_4$ , กรัม	18.1800	18.1050
น้ำหนักของถั่ว, กรัม	18.1750	18.1000
น้ำหนักของวัตถุที่ไม่ละลายใน $\text{CCl}_4$ , กรัม	0.0050	0.0050
จำนวนของอินทรีย์ที่ไม่ละลายใน $\text{CCl}_4$ , %	0.21	0.27
จำนวนของบิทูเมน, %	99.79	99.73
เฉลี่ย		99.76

4.2.7.5 การทดสอบหาการสูญเสียเมื่อให้ความร้อน (Loss on heating) เพื่อทดสอบหาการสูญเสียน้ำหนักของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เมื่อให้ความร้อน เปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกรมทางหลวงของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต โดยวิธีการทดสอบหาการสูญเสียเมื่อให้ความร้อน (Loss on heating) (ดูภาคผนวก ข.7) ผลของการทดสอบตัวอย่างแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว แสดงในตารางที่ 4-14 ได้การสูญเสียน้ำหนักเมื่อให้ความร้อนเท่ากับ 0.78 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-14 การทดสอบหาการสูญเสียเมื่อให้ความร้อน (Loss on heating)  
ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว

น้ำหนักของตัวอย่างและกระป๋อง	78.44	กรัม
น้ำหนักของกระป๋อง	28.46	กรัม
น้ำหนักของตัวอย่าง	49.98	กรัม
น้ำหนักของตัวอย่างและกระป๋องก่อนอบ	78.44	กรัม
น้ำหนักของตัวอย่างและกระป๋องภายหลังอบแล้ว	78.05	กรัม
น้ำหนักที่หายไป	0.39	กรัม
เปอร์เซ็นต์ที่หายไป	0.78	%

4.2.7.6 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ เพื่อคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว เพื่อที่จะได้นำไปในการคำนวณการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่ทำการปรับสภาพแล้ว จากการผสมน้ำมันเตาที่มี ถ.พ. 0.9799 (ดูหัวข้อ 4.2.5.2) ปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์กับแอสฟัลท์เก่าที่มี ถ.พ. 1.0608 (ดูหัวข้อ 4.2.4.5) ปริมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว =  $\frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_3}}$

โดยที่  $P_1$  และ  $P_2$  เป็น เปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน เตาและแอสฟัลท์เก่าในส่วนผสม

$G_1$  และ  $G_2$  เป็นค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน เตาและแอสฟัลท์เก่า

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว} = \frac{100}{\frac{18}{0.9799} + \frac{82}{1.0608}} = 1.0453$$

4.2.8 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมใหม่

วัสดุมวลรวมใหม่จะถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงขนาดของส่วนผสมและ เปลี่ยนแปลงปริมาณแอสฟัลท์ในส่วนผสมของการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ดังนั้นวัสดุมวลรวมใหม่จึงต้องนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ซึ่งกำหนด

คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

4.2.8.1 การทดสอบขนาด (Gradation) เพื่อนำมาแยกขนาดและปรับปรุงขนาดของวัสดุมวลรวม เพื่อให้ได้ขนาดของวัสดุมวลรวมผสมเก่าและใหม่ที่เหมาะสมขนาด (Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่ในการวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าแสดงไว้ในตารางที่ 4-15 ซึ่งจะทำให้วัสดุมวลรวมผสมเก่าและใหม่มีขนาดเหมาะสมตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ในการกำหนดขนาดของวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในการทำแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

ตารางที่ 4-15 ขนาด (Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่

ขนาดตะแกรง (มม.)	เปอร์เซ็นต์ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรง
3/4" (19.000)	100
1/2" (12.500)	80
3/8" (9.500)	70
No. 4 (4.760)	55
No. 8 (2.380)	46.9
No. 30 (0.590)	25.1
No. 50 (0.297)	16.6
No. 100 (0.149)	10.9
No. 200 (0.074)	7.4

4.2.8.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณในการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ใช้วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (ดูภาคผนวก ค.3) และวิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด (ดูภาคผนวก ค.4) ตารางที่ 4-16 แสดงถึงข้อมูลในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิด



เม็คหยาบเท่ากับ 2.6917 ตารางที่ 4-17 แสดงถึงข้อมูลในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิด เม็คละเอียคได้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิด เม็คละเอียคเท่ากับ 2.6670 และ ตารางที่ 4-18 แสดงถึงข้อมูลในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. เท่ากับ 2.7577

ตารางที่ 4-16 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ เม็คหยาบในวัสดุรวมใหม่

ตัวอย่าง	นน. วัสดุแห้ง $W_S$ (กรัม)	นน. วัสดุสภาพ SSD $W_D$ (กรัม)	นน. วัสดุในน้ำ $W_W$ (กรัม)	Bulk <sub>W</sub> sp. gr. $= \frac{W_S}{W - W_W}$
No. 1	394.34	396.52	249.80	2.6877
No. 2	462.62	465.12	293.50	2.6956
Avg.				2.6917

จากการทดสอบขนาดในหัวข้อ 4.2.8.1 ได้น้ำหนักของวัสดุรวมใหม่แยกออกได้ดังนี้

น้ำหนักของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.074 มม.	ถ.พ. 2.7577	7.4	เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักของวัสดุชนิด เม็คละเอียค	ถ.พ. 2.6670	47.6	เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักของวัสดุชนิด เม็คหยาบ	ถ.พ. 2.6917	45	เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{Bulk Specific Gravity เฉลี่ยของวัสดุ (ดูภาคผนวก ค.3)} &= \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \frac{P_3}{100G_3}} \\ &= \frac{1}{\frac{7.4}{100(2.7577)} + \frac{47.6}{100(2.6670)} + \frac{45}{100(2.6917)}} \end{aligned}$$

$$\text{Bulk Specific Gravity of New Aggregate} = 2.6846$$

ตารางที่ 4-17 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิด เม็ดละเอียดของวัสดุมวลรวมใหม่

Sample No.	นน. วัสดุแห้ง $W_s$ (gm)	นน. วัสดุสภาพ SSD $W_D$ (gm)	อุณหภูมิ $T$ ( $^{\circ}C$ )	Sp.Gr. น้ำ $G_T$ ที่ $T^{\circ}C$	นน. ของวัสดุ+น้ำถึงขีดหมาย $W_1$ (gm)	นน. ขวด+น้ำถึงขีดหมาย $W_2$ (gm)	Bulk sp.gr. $= \frac{W_s G_T}{W_D - W_1 + W_2}$	Agg. Bulk sp.gr. of Agg.
1	128.04	129.45	26.8	0.9966	701.0	619.65	2.6529	2.6547
			26.0	0.9968	701.1	619.75	2.6534	
			25.4	0.9969	701.2	619.82	2.6553	
			24.8	0.9971	701.3	619.90	2.6570	
2	125.69	126.86	26.8	0.9966	699.73	619.65	2.6777	2.6793
			26.4	0.9967	699.83	619.70	2.6808	
			25.1	0.9971	700.00	619.87	2.6819	
			23.2	0.9975	700.12	620.10	2.6767	
Avg. Bulk Sp.Gr.								2.6670

หมายเหตุ การทดลองใช้ Pycnometer ที่ได้ปรับปริมาตรและน้ำหนักที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-3

ตารางที่ 4-18 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ในวัสดุมวลรวมใหม่

Sample No.	นน. วัสดุแห้ง W <sub>S</sub> (gm)	อุณหภูมิ T(°C)	Sp.Gr. น้ำ G <sub>T</sub> ที่ T°C	นน.ขวด+วัสดุ+น้ำ ถึงขีดหมาย W <sub>1</sub> (gm)	นน.ขวด+น้ำถึงขีดหมาย W <sub>2</sub> (gm)	Specific Gravity $= \frac{W_S G_T}{W_S - W_1 + W_2}$	Avg. Sp. Gr.
1	65.82	30.0	0.9957	661.35	619.25	2.7629	2.7608
		26.0	0.9968	661.84	619.75	2.7648	
		24.9	0.9971	661.90	619.88	2.7575	
		22.6	0.9977	662.18	620.17	2.7580	
2	71.77	28.7	0.9961	665.27	619.42	2.7581	2.7546
		26.2	0.9967	665.53	619.72	2.7555	
		24.9	0.9971	665.63	619.88	2.7503	
Avg. Sp.Gr.							2.7577

หมายเหตุ การทดลองใช้ Pycnometer ที่ได้รับปริมาตรและน้ำหนักที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-3

4.2.8.3 การทดสอบหา การดูดซึมแอสฟัลท์ เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณในการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหา การดูดซึมแอสฟัลท์ (ดูภาคผนวก ค.5) ข้อมูลของการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-19 ได้ค่า การดูดซึมแอสฟัลท์เท่ากับ 0.150 % by wt. of Agg.

ตารางที่ 4-19 การทดสอบการดูดซึมแอสฟัลท์ของวัสดุมวลรวมใหม่

Bulk Sp.Gr. of New Agg., $G_{sb}$	=	2.6846
Sp.Gr. of Asphalt, $G_b$	=	1.0131
Asphalt Content in Mixture	=	7 % by wt. of Agg.
$P_b$	=	6.5421 % by wt. of Mix.
Wt. of Mix in air, A	=	806.9 gm.
Wt. of Mix in Water, C	=	475.0 gm.
Max. Sp.Gr. of Mixture, $G_{mm}$	=	$\frac{A}{A-C}$
	=	2.4312
Effective Sp.Gr. of Agg., $G_{se}$	=	$\frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$
	=	2.6953
Absorbed Asphalt, $P_{ba}$	=	$100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} - G_{sb}} G_b$
	=	0.150 % by wt. of Agg.

4.2.8.4 การทดสอบหาความสึกหรอ เป็นการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุ มวลรวมใหม่ชนิด เม็ดหยาบ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงของวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ดีค คอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาความสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles(ดูภาคผนวก ค.6) ข้อมูลในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4-20 ได้ค่าความสึกหรอเท่ากับ 20.88 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-20 การทดสอบหาความลึกทรของวัสดุมวลรวมใหม่

เกรตของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	B															
จำนวนลูกเหล็กกลม	11															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ขนาดตะแกรง</th> <th>น้ำหนัก (กรัม)</th> </tr> <tr> <th>ขนาดผ่านตะแกรง</th> <th>ขนาดค้างตะแกรง</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19.0 มม. (3/4 นิ้ว)</td> <td>12.5 มม. (1/2 นิ้ว)</td> <td>2,500 ± 10</td> </tr> <tr> <td>12.5 มม. (1/2 นิ้ว)</td> <td>9.5 มม. (3/8 นิ้ว)</td> <td>2,500 ± 10</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">รวม</td> <td>5,000 ± 10</td> </tr> </tbody> </table>		ขนาดตะแกรง		น้ำหนัก (กรัม)	ขนาดผ่านตะแกรง	ขนาดค้างตะแกรง		19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	2,500 ± 10	12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	2,500 ± 10	รวม		5,000 ± 10
ขนาดตะแกรง		น้ำหนัก (กรัม)														
ขนาดผ่านตะแกรง	ขนาดค้างตะแกรง															
19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	2,500 ± 10														
12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	2,500 ± 10														
รวม		5,000 ± 10														
นน. ตัวอย่างทั้งหมดก่อนทำการทดลอง, $W_1$	5,000 กรัม															
นน. ตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12																
หลังทดลอง, $W_2$	3,956 กรัม															
ความลึกทร = $\frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100$	= 20.88 %															

4.2.8.5 การทดสอบหาค่า Sand Equivalent เป็นการทดสอบหาค่า Sand Equivalent ของวัสดุมวลรวมใหม่ชนิดเม็ดละเอียด ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงของวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาค่า Sand Equivalent (ดูภาคผนวก ค.7) ผลของการทดสอบได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Clay reading} &= 5.30 \\
 \text{Sand reading} &= 3.27 \\
 \text{Sand Equivalent (S.E.)} &= \frac{\text{Sand reading}}{\text{Clay reading}} \times 100 \\
 &= \frac{3.27}{5.30} \times 100 = 61.7 \% \\
 &= 62 \%
 \end{aligned}$$

4.2.8.6 การทดสอบการหลุดลอกของแอสฟัลท์ เป็นการทดสอบหาการหลุดลอกของแอสฟัลท์หรือหาการ เคลือบผิวของแอสฟัลท์บนผิวของวัสดุมวลรวมใหม่ชนิด เม็ดหยาบ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง สำหรับวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบการหลุดลอกของแอสฟัลท์ (ดูภาคผนวก ค.8) ผลของการทดสอบวัสดุมวลรวมใหม่ แอสฟัลท์เคลือบบนผิวของวัสดุมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.8.7 การทดสอบหา Soundness เป็นการทดสอบความแข็งแรงต่อสภาพอากาศ Soundness ของวัสดุมวลรวมใหม่ชนิดเม็ดหยาบ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหา Soundness ของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (ดูภาคผนวก ค.9) ข้อมูลและผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4-21 ได้ค่าน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ Soundness เท่ากับ 2.85 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-21 การทดสอบหา Soundness ของวัสดุมวลรวมใหม่

สารละลายที่ใช้ในการทดสอบ		Sodium Sulfate Solution		
ขนาดตะแกรง		น้ำหนัก (กรัม)	ขนาดตะแกรงใช้หาการสูญเสีย	
ขนาดผ่านตะแกรง	ขนาดค้ำตะแกรง			
19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	1000 ± 10	8.0 มม. (5/16 นิ้ว)	
9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	4.75 มม. (No. 4)	300 ± 5	4.0 มม. (No. 5)	
ขนาดของวัสดุ		4.75-9.5 มม.	9.5-19.0 มม.	รวม
น้ำหนักของตัวอย่างก่อนทำการทดลอง , กรัม		300	1000	1,300
น้ำหนักของตัวอย่างหลังทำการทดลองแล้ว , กรัม		287	976	1,263
น้ำหนักที่สูญหาย , กรัม		13	24	37
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหาย		4.33	2.40	2.85

4.2.8.8 การทดสอบหาค่าครรชนีความแบน เป็นการทดสอบหาลักษณะความแบนของวัสดุมวลรวมใหม่ชนิดเม็ดหยาบ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในแอสฟัลต์คิกคอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาค่าครรชนีความแบน (Flakiness Index) (ดูภาคผนวก ค.10) ข้อมูลและผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4-22 ได้ค่าครรชนีความแบนเท่ากับ 24 เปอร์เซ็นต์

4.2.8.9 การทดสอบหาค่าครรชนีความยาว เป็นการทดสอบหาลักษณะความยาวของวัสดุมวลรวมใหม่ชนิดเม็ดหยาบ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมในแอสฟัลต์คิกคอนกรีต การทดสอบใช้วิธีการทดสอบหาค่าครรชนีความยาว (Elongation Index) (ดูภาคผนวก ค.11) ข้อมูลและผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4-22 ได้ค่าครรชนีความยาวเท่ากับ 21 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-22 การทดสอบหาค่าครรชนีความแบนและครรชนีความยาวของวัสดุมวลรวมใหม่

ขนาดตะแกรง		Wt. of the fraction W (gm)	Wt. of Agg. in each fraction (gm) Passing the Slotted Sieve (X)	Wt. of Agg. in each fraction (gm) Retained on length gauge (Y)
ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง			
3/4"	1/2"	970.3	288.9	114.7
1/2"	3/8"	501.0	101.4	126.1
3/8"	# 4	750.2	140.7	228.0
		$\Sigma W = 2221.5$	$\Sigma X = 531.0$	$\Sigma Y = 468.8$
Flakiness Index (F.I.) = $\frac{\Sigma X}{\Sigma W} \times 100 = 23.9 \% = 24 \%$				
Elongation Index (E.I.) = $\frac{\Sigma Y}{\Sigma W} \times 100 = 21.1 \% = 21 \%$				

#### 4.2.9 การทดสอบแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว

แอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าที่ได้ทำการแยกแอสฟัลต์และวัสดุมวลรวมนำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามขั้นตอนขั้นต้นแล้ว และนำน้ำมันเตาและวัสดุมวลรวมใหม่ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อนำไปผสมกับแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าให้ได้แอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตที่ปรับสภาพใหม่ มีคุณสมบัติที่เหมาะสม คุณสมบัติของแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตทดสอบได้โดยวิธีการทดสอบมาร์แชลล์ (ดูภาคผนวก ง.3) ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับวัสดุแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานผิวทาง

ในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบมาร์แชลล์ แอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าจะถูกนำไปใส่น้ำมันเตา ในปริมาณที่จะปรับสภาพแอสฟัลต์เก่าที่อยู่ในแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าดังได้ทดสอบคุณสมบัติในขั้นตอนขั้นต้นแล้ว เวลาที่เหมาะสมที่จะให้ความร้อนสำหรับแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าก่อนที่จะนำไปผสม เป็นสิ่งที่สำคัญ เวล่าน้อยที่สุดที่จำเป็นในการนำพาให้แอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตไปยังอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การผสมขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของแอสฟัลต์เก่าจากการทดสอบตัวอย่างจำนวนมากในห้องปฏิบัติการ<sup>(23)</sup> พบว่า เวล่าน้อยที่สุดที่เหมาะสมในการให้ความร้อนประมาณ 90 นาที

ในการวิจัยนี้ น้ำมันเตาจะถูกผสม เข้าไปในแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าและนำไปให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำการผสมให้น้ำมันเตาไหลเข้าผสมกับแอสฟัลต์เก่าเป็นเวลา 90 นาทีและมีอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม วัสดุมวลรวมใหม่จะถูกเตรียมขึ้นและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $160 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เพื่อนำไปเพิ่มในแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าให้มีค่าปริมาณของแอสฟัลต์ในส่วนผสมแตกต่างกันจำนวน 5 ปริมาณ แต่ละปริมาณแตกต่างกัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ 4.0 ถึง 6.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม แต่ละปริมาณเตรียมตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง นำไปผสมกันระหว่างแอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่า น้ำมันเตาและวัสดุมวลรวมใหม่ โดยการทดสอบมาร์แชลล์ (ดูภาคผนวก ง.3)

ตารางที่ 4-23 แสดงถึงการคำนวณปริมาณของส่วนผสมต่าง ๆ ในการเตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ โดยที่แอสฟัลต์ค็อคคอนกรีตเก่าจะมีปริมาณแอสฟัลต์ 5.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม (ดูหัวข้อที่ 4.2.2) น้ำหนักของวัสดุ



ตารางที่ 4-23 การหาปริมาณของส่วนผสมในการเตรียมตัวอย่างแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตในการทดสอบมาร์แชลล์

Asphalt Content % by wt. of Agg.	Wt. of Agg. AG (gm)	Wt. of Asp. AC (gm)	Wt. of Old Asp. $AC_o = AC \times 0.82$	Wt. of Fuel Oil $AC_1 = AC \times 0.18$	Wt. of old Agg. $AG_o = \frac{AC_o \times 100}{5.2}$	Wt. of New Agg. $AG_1 = 1200 - AG_o$	Wt. of Old Asphaltic Concrete $AG_o + AC_o$
4	1200	48	39.36	8.64	756.92	64.62	796.28
4.5	1200	54	44.28	9.72	851.54	159.23	895.82
5	1200	60	49.20	10.80	946.15	253.85	995.35
5.5	1200	66	54.12	11.88	1040.77	159.23	1094.89
6	1200	72	59.04	12.96	1135.38	64.62	1194.42

มวลรวมในตัวอย่างแต่ละตัวอย่างเท่ากับ 1200 กรัม ขนาดของวัสดุมวลรวมเก่าและใหม่ เป็นไปตามผลของการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.3.1 และ 4.2.8.1 และปริมาณของแอสฟัลท์เก่า น้ำมันเตาเท่ากับ 82:18 (ดูหัวข้อที่ 4.2.6)

ตารางที่ 4-24 ถึง 4-28 แสดงถึงข้อมูลและผลของการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบมาร์แชลล์ ขนาดของวัสดุมวลรวม ในการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่มีปริมาณแอสฟัลท์ 4, 4.5, 5, 5.5 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมตามลำดับ โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ได้จากการทดสอบในหัวข้อ 4.2.7.6 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.3.2 และ 4.2.8.2 การดูดซึมแอสฟัลท์ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.3.3 และ 4.2.8.3 ขนาดของวัสดุมวลรวมได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.3.1 และ 4.2.8.1 และการทดสอบใช้วัสดุแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตสำหรับการจราจรมาก (Heavy) จำนวนการบดอัดตัวอย่าง 75 ครั้งต่อด้าน

ผลของการทดสอบจากตารางที่ 4-24 ถึง 4-28 นำค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงความสัมพันธ์ในแผนภาพรูปที่ 4-5 เป็นรูปกราฟดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพ (ค่า  $q$  ในตาราง) กับ เปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม
2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายุบตัว (Flow) (ค่า  $x$  ในตาราง) กับ เปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม
3. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของส่วนผสม (Unit Weight) (ค่า  $o$  ในตาราง) กับ เปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม
4. ความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์ของช่องอากาศ (% Air Voids) (ค่า  $k$  ในตาราง) กับ เปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม
5. ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.M.A. (ค่า  $l$  ในตาราง) กับ เปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

ตารางที่ 4-24 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 4.0 % โดยวิธีมาร์แชลล์

AC. content . . . 4.0 % by Wgt. of Agg.

Sp. Gr. AC. = 1.0453

Old Agg. content= 63.077 % Sp. Gr. = 2.6952

New Agg. content= 36.923 % Sp. Gr. = 2.6846

$$\text{Sp. Gr. of Agg.} = \frac{\frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}}}{1} = 2.6913$$

Bitumen Absorp. = (0.146 x 0.631) + (0.150 x 0.369)

= 0.147 % by Wgt. of Agg.

% Passing Sieve	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 30	# 50	# 100	# 200
Specification	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Old Agg.	100	100	91.1	70.8	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
New Agg.	100	80	70	55	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
Old Agg. x 0.631	63.10	63.10	57.48	44.67	29.59	15.84	10.47	6.88	4.67
New Agg. x 0.369	36.90	29.52	25.83	20.30	17.31	9.26	6.13	4.02	2.73
Total	100.00	92.62	83.31	64.97	46.90	25.10	16.60	10.90	7.40

% AC. Spec. No.	% AC. Spec. No.		Spec. Pgt. cm.	Weight-Grams			Bulk vol. cc.	Density		Volume-% Total			Voids-%			Unit Wgt. gm/cc.	Stability-Lbs.		Flow 0.01 in.
				in air	Sat. Sur. dry	in Water		Bulk	Max. Theor.	AC.	Agg.	Void	Agg.	Filled	Total		Meas	Adjust	
a	b	b1	c	d	d1	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
% AC. by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mix.	% Eff. A.O. by Wgt. of Mix.					d <sub>1</sub> -e	$\frac{d}{f}$		$\frac{b1.g}{G_{ac}}$	$\frac{(100-b)g}{G_{ag}}$	100-i-j	100-j	$\frac{i}{l}$	$100 \frac{100g}{h}$	g			
4.0	3.846	3.705	6.49 6.57 6.59 6.5500	12324	12382	712.5	525.7	2344	2547	8.31	83.75	7.95	16.25	51.11	7.97	2.344	2670 *0.9140	2440	9.0
			6.49 6.51 6.59 6.5300	12378	12420	722.9	519.1	2385		8.45	85.21	6.34	14.79	57.16	6.36	2.385	3130 *0.9250	2895	7.0
			6.47 6.41 6.38 6.4200	12143	12176	708.7	508.9	2386		8.46	85.25	6.30	14.75	57.32	6.32	2.386	3000 *0.9545	2864	11.0
4.0	3.846	3.705						2372	2547	8.41	84.73	6.86	15.27	55.20	6.88	2.372		2733	9.0

ตารางที่ 4-25 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 4.5 % โดยวิธีมาร์แชลล์

AC. content 4.5 % by Wgt. of Agg.

Sp. Gr. AC. = 1.0453

Old Agg. content= 70.962 % Sp. Gr. = 2.6952

New Agg. content= 29.038 % Sp. Gr. = 2.6846

$$\text{Sp. Gr. of Agg.} = \frac{\frac{P_1 + P_2}{G_1 + \frac{P_2}{G_2}}}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}} = 2.6921$$

Bitumen Absorp. = (0.146 x 0.710) + (0.150 x 0.290)

= 0.147 % by Wgt. of Agg.

% Passing Sieve	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 30	# 50	# 100	# 200
Specification	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	15-23	8-16	4-10
Old Agg.	100	100	91.1	70.8	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
New Agg.	100	80	70	55	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
Old Agg.-x 0.710	71.00	71.00	64.68	50.27	33.30	17.82	11.79	7.74	5.25
New Agg.-x 0.290	29.00	23.20	20.30	15.95	13.60	7.28	4.81	3.16	2.15
Total	100	94.20	84.98	66.22	46.90	25.10	16.60	10.90	7.40

% AC. Spec. No.	% AO. Spec. No.		Spec. Pgt. cm.	Weight-Grams			Bulk vol. cc.	Density		Volume-% Total			Voids-%			Unit Wgt. gm/cc.	Stability-Lbs.		Flow 0.01 in.
	a	b		h1	e	d		d <sub>1</sub>	e	f	g	h	i	j	k		l	m	
% AC. by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mix.	% Eff. A.O. by Wgt. of Mix.					d <sub>1</sub> -e	$\frac{d}{f}$		$\frac{b \cdot g}{Gac.}$	$\frac{(100-b)g}{Gag.}$	100-i-j	100-j	$\frac{i}{l}$	$100 - \frac{100g}{h}$	g			
4.5	4.306	4.165	6.43 6.50 6.49 6.4733	1245.0	1247.2	734.5	512.7	2.428		9.67	86.31	4.02	13.69	70.64	4.03	2.428	3270 x0.9400	3074	8.5
			6.58 6.48 6.51 6.5233	1250.0	1252.4	736.7	515.7	2.424		9.66	86.16	4.18	13.84	69.80	4.19	2.424	3170 x0.9267	2938	8.0
			6.38 6.46 6.38 6.4067	1239.6	1241.2	731.1	510.1	2.430		9.68	86.38	3.94	13.62	71.07	3.95	2.430	2830 x0.9582	2712	13.0
4.5	4.306	4.165						2.427	2.530	9.67	82.28	4.05	13.72	70.51	4.06	2.427		2908	9.8

ตารางที่ 4-26 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 5.0 % โดยวิธีมาร์แชลล์

AC. content 5.0 % by Wgt. of Agg.

Sp. Gr. AC. = 1.0453

Old Agg. content= 78.846 % Sp. Gr. = 2.6952

New Agg. content= 21.154 % Sp. Gr. = 2.6846

$$\text{Sp. Gr. of Agg.} = \frac{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}} = 2.6930$$

Bitumen Absorp. = (0.146 x 0.788) + (0.150 x 0.212)

= 0.147 % by Wgt. of Agg.

% Passing Sieve	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	#30	#50	#100	#200
Specification	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Old Agg.	100	100	91.1	70.3	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
New Agg.	100	80	70	55	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
Old Agg. x 0.788	78.8	78.80	71.79	55.79	36.96	19.78	13.08	8.59	5.83
New Agg. x 0.212	21.2	16.96	14.84	11.66	9.94	5.32	3.52	2.31	1.57
Total	100.0	95.76	86.63	67.45	46.90	25.10	16.60	10.90	7.40

% AC. Spec. No.	% AC. Spec. No.		Spec. Pgt. cm.	Weight—Grams			Bulk vol. cc.	Density		Volume—% Total			Voide—%			Unit Wgt. gm/cc.	Stability—Lbs.		Flow 0.01 in.
	a	b		b1	in air	Sat. Sur. dry		in Water	Bulk	Max. Theor.	AC.	Agg.	Void	Agg.	Filled		Total	Meas	
				d	d <sub>1</sub>	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
% AC. by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mix.	% Eff. A.O. by Wgt. of Mix.					d <sub>1</sub> —e	$\frac{d}{f}$		$\frac{bl.g}{Gao.}$	$\frac{(100-b)g}{Gag.}$	100—i—j	100—j	$\frac{i}{l}$	$100 - \frac{100g}{b}$	g			
5.0	4.762	4.622	6.49 6.48 6.48 <u>6.4833</u>	12473	12491	733.0	516.1	2417	2.514	10.69	85.48	3.84	14.52	73.59	3.86	2.417	2420 x0.9373	2268	10.0
			6.44 6.49 6.42 <u>6.4500</u>	12542	12550	741.0	514.0	2440		10.79	86.29	2.92	13.71	78.70	2.94	2.440	2390 x0.9464	2262	10.5
			6.48 6.47 6.43 <u>6.4600</u>	12424	12445	732.7	511.8	2428		10.74	85.87	3.40	14.13	75.96	3.42	2.428	2160 x0.9436	2038	10.0
5.0	4.762	4.622						2428	2.514	10.74	85.88	3.39	14.12	76.08	3.41	2.428		2189	10.2

ตารางที่ 4-27 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ค็อคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 5.5 % โดยวิธีมาร์แชลล์

AC. content 5.5 % by Wgt. of Agg.

Sp. Gr. AC. = 1.0453

Old Agg. content= 86.731 % Sp. Gr. = 2.6952

New Agg. content= 13.269 % Sp. Gr. = 2.6846

Sp. Gr. of Agg. =  $\frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}}$  = 2.6938

Bitumen Absorp. = (0.146 x 0.867) + (0.150 x 0.133)  
= 0.147 % by Wgt. of Agg.

% Passing Sieve	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	#30	#50	#100	#200
Specification	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Old Agg.	100	100	91.1	70.8	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
New Agg.	100	80	70	55	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
Old Agg. x 0.867	86.7	86.70	78.98	61.38	40.66	21.76	14.39	9.45	6.42
New Agg. x 0.133	13.3	10.64	9.31	7.32	6.24	3.34	2.21	1.45	0.98
Total	100.0	97.34	88.29	68.70	46.90	25.10	16.60	10.90	7.40

% AC. Spec. No.	% AC. Spec. No.		Spec. Hgt. cm.	Weight-Grams			Bulk vol. cc.	Density		Volume-% Total			Voide-%			Unit Wgt. gm/cc.	Stability-Lbs.		Flow 0.01 in.
	h	b1		in air	Sat. Sur. dry	in Water		Bulk	Max. Theor.	AC.	Agg.	Void	Agg.	Filled	Total		Meas	Adjust	
a	b	b1	c	d	d1	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
% AC. by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mix.	% Eff. A.O. by Wgt. of Mix.					d <sub>1</sub> -e	$\frac{d}{f}$		$\frac{b1.g}{Gao.}$	$\frac{(100-b)g}{Gag.}$	100-i-j	100-j	$\frac{i}{l}$	$100 \frac{100g}{h}$	g			
5.5	5.213	5.074	6.60 6.62 6.68 6.6333	1255.7	1259.0	730.0	529.0	2374	2.498	11.52	83.53	4.94	16.47	69.99	4.96	2.374	2210 x0.8992	1987	12.0
			6.54 6.70 6.59 6.6100	1252.1	1254.8	733.0	521.8	2400		11.65	84.45	3.90	15.55	74.91	3.92	2.400	2030 x0.9050	1837	11.5
			6.58 6.50 6.51 6.5300	1260.8	1263.2	743.0	520.2	2424		11.77	85.29	2.94	14.71	80.01	2.96	2.424	2400 x0.9250	2220	13.0
5.5	5.213	5.074						2399	2.498	11.65	84.43	3.93	15.57	74.97	3.95	2.399		2015	12.2

ตารางที่ 4-28 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติดคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 6.0 % โดยวิธีมาร์แชลล์

AC. content 6.0 % by Wgt. of Agg.

Sp. Gr. AC. = 1.0453

Old Agg. content= 94.615 % Sp. Gr. = 2.6952

New Agg. content= 5.385 % Sp. Gr. = 2.6846

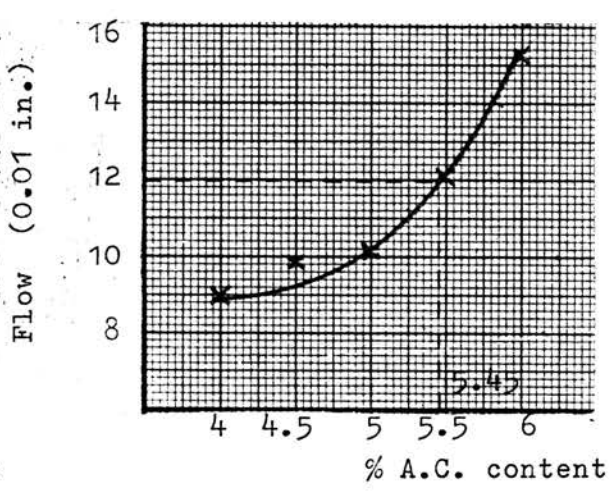
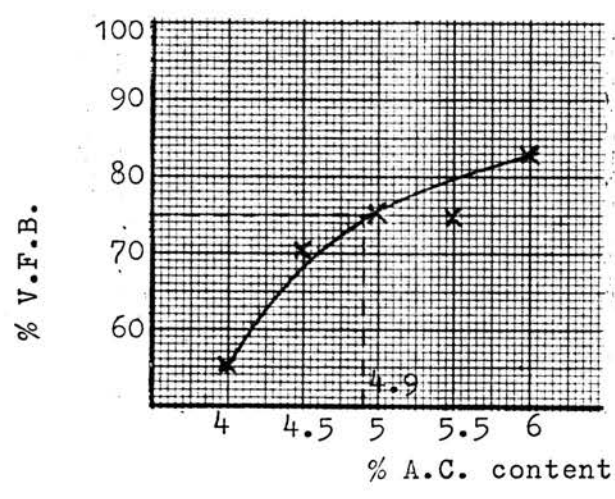
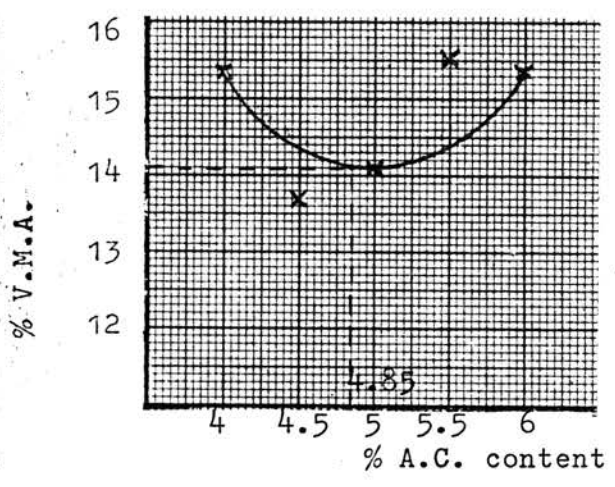
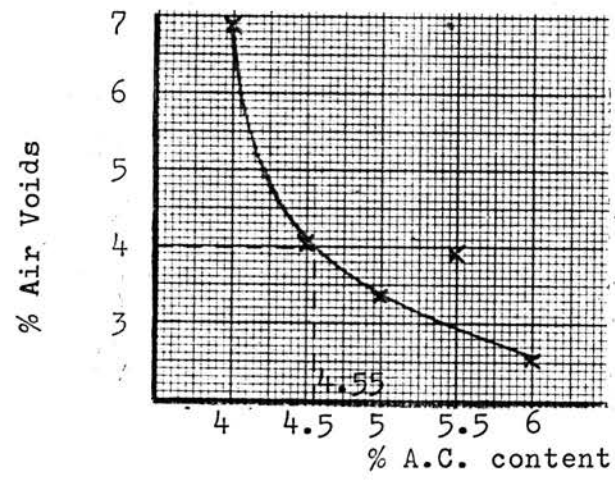
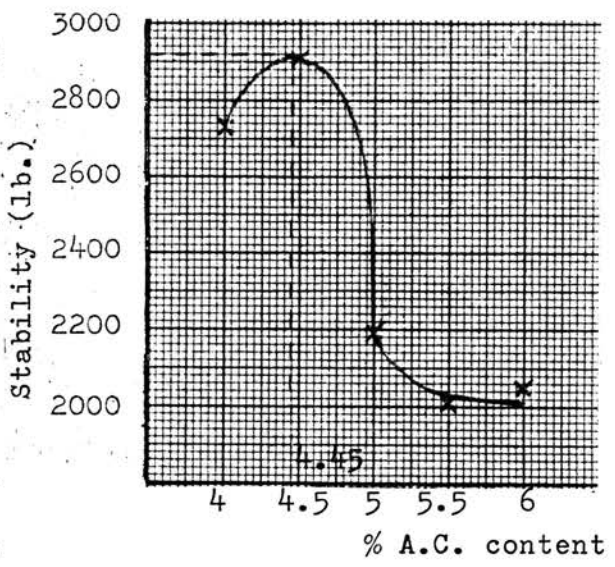
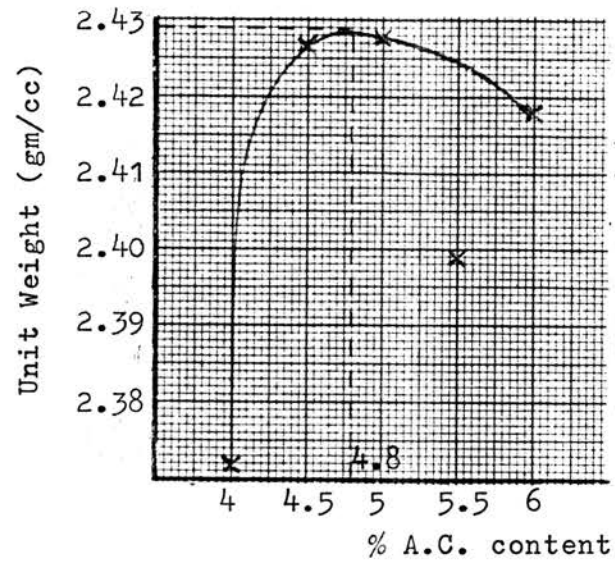
$$\text{Sp. Gr. of Agg.} = \frac{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}} = 2.6946$$

Bitumen Absorp. = (0.146 x 0.946) + (0.150 x 0.054)

= 0.146 % by Wgt. of Agg.

% Passing Sieve	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	#30	#50	#100	#200
Specification	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Old Agg.	100	100	91.1	70.8	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
New Agg.	100	80	70	55	46.9	25.1	16.6	10.9	7.4
Old Agg. x 0.946	94.6	94.60	86.18	66.98	44.37	23.74	15.70	10.31	7.00
New Agg. x 0.054	5.4	4.32	3.78	2.97	2.53	1.36	0.90	0.59	0.40
Total	100.0	98.92	89.96	69.95	46.90	25.10	16.60	10.90	7.40

% AC. Spec. No.	% AO. Spec. No.		Spec. Pgt. cm.	Weight-Grams			Bulk vol. cc.	Density		Volume-% Total			Voids-%			Unit Wgt. gm/cc.	Stability-Lbs.		Flow 0.01 in.
	h	h1		in air	Sat. Sur. dry	in Water		Bulk	Max. Theor.	AC.	Agg.	Void	Agg.	Filled	Total		Meas	Adjust	
a	b	b1	c	d	d1	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
% AC. by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mix.	% Eff. A.O. by Wgt. of Mix.					d <sub>1</sub> -e	$\frac{d}{f}$		$\frac{b1.g}{Gac.}$	$\frac{(100-b)g}{Gag.}$	100-i-j	100-j	$\frac{i}{l}$	$100 - \frac{100j}{h}$	g			
6.0	5.660	5.522	6.51 6.58 6.50 6.5300	12524	12549	734.0	520.9	2404	2.482	12.70	84.17	3.13	15.83	80.21	3.14	2.404	2200 x 0.9250	2035	14.5
			6.55 6.48 6.54 6.5233	12585	12603	741.0	519.3	2423		12.80	84.83	2.37	15.17	84.38	2.38	2.423	2260 x 0.9267	2094	18.0
			6.64 6.57 6.54 6.5833	1268.1	12701	747.8	522.3	2428		12.83	85.01	2.17	14.99	85.54	2.18	2.428	2200 x 0.9117	2006	13.5
6.0	5.660	5.522						2418	2.482	12.78	84.67	2.56	15.33	83.38	2.57	2.418		2045	15.3



รูปที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์จากผลการทดสอบแอสฟัลต์ดีคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้วโดย วิจิมาร์เซลล์



6. ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.F.B. (ค่า m ในตาราง) กับเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม

จากกราฟ คำนวณค่าปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมดังนี้

1. ปริมาณแอสฟัลท์ที่ค่าเสถียรภาพสูงสุด	4.45	เปอร์เซ็นต์
2. ปริมาณแอสฟัลท์ที่ค่ายุบตัว 0.12 นิ้ว (กึ่งกลางระหว่างค่า .08 และ .16 นิ้ว ในข้อกำหนดการออกแบบ)	5.45	เปอร์เซ็นต์
3. ปริมาณแอสฟัลท์ที่หน่วยน้ำหนักสูงสุด	4.80	เปอร์เซ็นต์
4. ปริมาณแอสฟัลท์ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ของช่องอากาศ (กึ่งกลางระหว่างค่า 3 และ 5 สำหรับวัสดุผิวจราจรที่มีการจราจรมาก)	4.55	เปอร์เซ็นต์
5. ปริมาณแอสฟัลท์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ของ V.M.A. ค่าสุด	4.85	เปอร์เซ็นต์
6. ปริมาณแอสฟัลท์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ V.F.B. เท่ากับ 75 (กึ่งกลางระหว่างค่า 70 และ 80 ของปริมาณที่เหมาะสม)	4.90	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมเฉลี่ย	4.83	เปอร์เซ็นต์

ปริมาณแอสฟัลท์ 4.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม จากกราฟจะได้

ค่าความเสถียรภาพ	2760	ปอนด์
ค่ายุบตัว, 0.01 นิ้ว	9.7	
หน่วยน้ำหนักของส่วนผสม	2.43	กรัม/ซม <sup>3</sup>
เปอร์เซ็นต์ของช่องอากาศ	3.6	%
% V.M.A.	14.1	%
% V.F.B.	73.5	%

#### 4.2.10 การทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่า

การทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่า โดยไม่มีการเพิ่มสารใด ๆ เข้าไปในส่วนผสม เพียงแต่นำแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตมาทำการผสมให้ความร้อนและบดทับและทำการทดสอบโดยวิธีการทดสอบมาร์แชลล์ (ดูภาคผนวก ง.3) เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ การทดสอบแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่ได้ทำการปรับสภาพแล้ว และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตที่ทำการปรับสภาพแล้วจากแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่า ในการเตรียมตัวอย่าง ในการทดสอบมาร์แชลล์ แอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่าจะถูกนำไปให้ความร้อนก่อนการผสมเป็นเวลา 90 นาที จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิที่ใช้ผสม แอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่าจะถูกเตรียมขึ้น 3 ตัวอย่าง โดยใช้ปริมาณแอสฟัลท์ 5.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม (ดูหัวข้อที่ 4.2.2) น้ำหนักของวัสดุมวลรวมในตัวอย่างแต่ละตัวอย่างเท่ากับ 1200 กรัม ค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ได้จากการทดสอบในหัวข้อ 4.2.4.5 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.3.2 การดูดซึมแอสฟัลท์ได้จากการทดสอบในหัวข้อ 4.2.3.3 ขนาดของวัสดุมวลรวม เป็นไปตามการทดสอบในหัวข้อ 4.2.3.1 ตารางที่ 4-29 แสดงถึงข้อมูลและผลของการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบมาร์แชลล์ และการทดสอบใช้วัสดุแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตสำหรับการจราจรมาก (Heavy) จำนวนการบดอัดตัวอย่าง 25 ครั้งต่อค้ำ

ผลของการทดสอบในตารางที่ 4-29 แสดงคุณสมบัติของแอสฟัลท์ดีคคอนกรีตเก่าดังนี้

ค่าความเสถียรภาพ	2230	ปอนด์
ค่ายุบตัว, 0.01 นิ้ว	12.5	
หน่วยน้ำหนักของส่วนผสม	2.328	กรัม/ซม <sup>3</sup> .
เปอร์เซ็นต์ของช่องอากาศ	7.35	%
% V.M.A.	17.89	%
% V.F.B.	58.99	%

ตารางที่ 4-29 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คคอนกรีตเก่า โดยวิธีมาร์แชลล์

Sp. Gr. AC. = 1.0608  
 Sp. Gr. Agg. = 2.6952  
 bitumen absorp. = 0.146 % by Wgt. of Agg.  
 AC. content = 5.20 % by Wgt. of Agg.  
 Wgt. of AC. in Mix = 62.4 gm.  
 Wgt. of Agg. in Mix = 1200 gm.  
 Wgt. of Old Asphaltic Concrete = 1262.4 gm.

% AC. Spec. No.	% AO. Spec. No.		Spec. Hgt. cm.	Weight-Grams			Bulk vol. cc.	Density		Volume-% Total			Voide-%			Unit Wgt. gm/cc.	Stability-Lbs.		Flow 1/10 mm.
	h	h1		in air	Sat. Sur. dry	in Water		Bulk	Max. Theor.	AC.	Agg.	Void	Agg.	Filled	Total		Meas	Adjust	
a	b	b1	o	d	d1	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
% AC. by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mix.	% Eff. A.O. by Wgt. of Mix.					$d_1 - e$	$\frac{d}{f}$	.	$\frac{bl.g}{Gao.}$	$\frac{(100-b)g}{Gag.}$	$100-i-j$	$100-j$	$\frac{l}{m}$	$100 - \frac{100g}{h}$	s			
5.2	4.943	4.804	6.73	12448	1254.1	7145	539.6	2307	2513	10.45	81.37	8.19	18.63	56.07	8.20	2.307	1980 x0.8719	1726	12.5
			6.72																
			6.85																
			6.7667																
5.2	4.943	4.804	6.67	12455	1251.6	7175	534.1	2332		10.56	82.25	7.19	17.75	59.49	7.20	2.332	3040 x0.8800	2675	12.0
			6.73																
			6.77																
			6.7233																
5.2	4.943	4.804	6.77	1251.3	1260.5	727.0	533.5	2345		10.62	82.71	6.67	17.29	61.41	6.69	2.345	2600 x0.8800	2288	13.0
			6.88																
			6.72																
			6.7233																
								2.328	2513	10.54	82.11	7.35	17.89	58.99	7.36	2.328	2230	12.5	

## 4.2.11 การเปรียบเทียบผลการทดสอบมาร์แชลล์

ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของแอสฟัลท์ติกคอนกรีต เก้าและแอสฟัลท์ติกคอนกรีต ที่ได้ทำการปรับสภาพแล้ว สามารถนำคุณสมบัติต่าง ๆ มาเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4-30 จะเห็นว่า แอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่ทำการปรับสภาพแล้วจะมีค่าความเสถียรภาพ หน่วยน้ำหนักของส่วนผสมและเปอร์เซ็นต์ V.F.B. สูงขึ้นกว่าเดิม ส่วนช่องอากาศและช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุรวมลดลง ทำให้แอสฟัลท์ติกคอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เหมาะสำหรับเป็นวัสดุผิวจราจร

ตารางที่ 4-30 เปรียบเทียบผลการทดสอบมาร์แชลล์ของแอสฟัลท์ติกคอนกรีต

ผลการทดสอบมาร์แชลล์	แอสฟัลท์ติกคอนกรีต เก้า	แอสฟัลท์ติกคอนกรีต หลังทำการปรับสภาพ
ปริมาณแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของวัสดุรวม	5.2 %	4.83 %
ค่าความเสถียรภาพ, lb.	2230	2760
ค่ามุมตัว, 0.01 นิ้ว	12.5	9.7
หน่วยน้ำหนักของส่วนผสม, กรัม/ซม <sup>3</sup> .	2.328	2.43
เปอร์เซ็นต์ของช่องอากาศ, %	7.35	3.6
เปอร์เซ็นต์ของ, V.M.A., %	17.89	14.1
เปอร์เซ็นต์ของ, V.F.B., %	58.99	73.5