



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การวิจัยอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติในแอสฟัลต์ซีเมนต์

Research of Mixture Natural Rubber Ratio in Asphalt Cement

นามผู้วิจัย

นายกอบชัย เกิดจันทร์ตรง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รongศาสตราจารย์วัชรินทร์ วิทยกุล, M.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระเกษตร สอนพกา, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ยอดสุดใจ, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

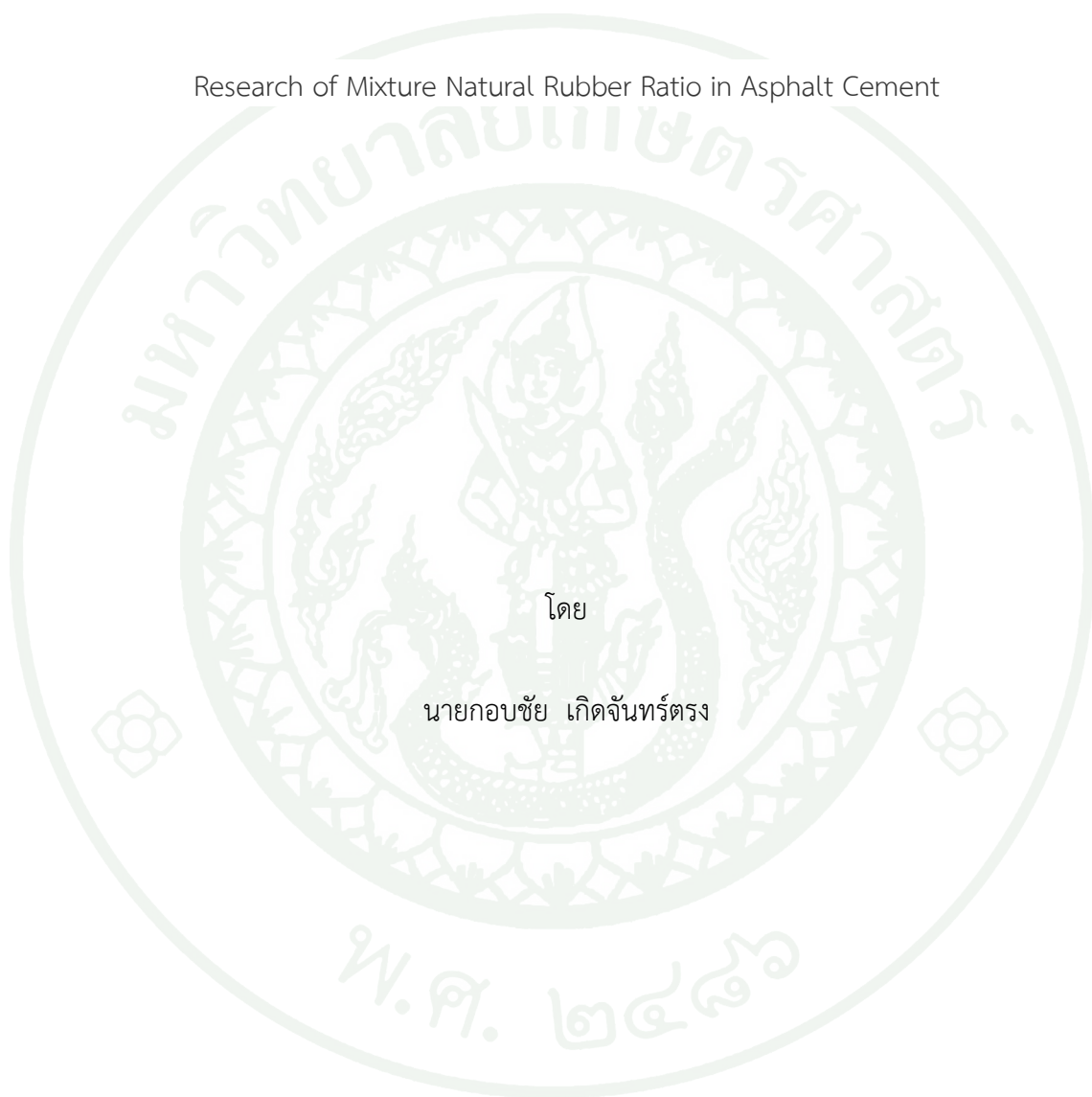
วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิจัยอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติในแอสฟัลต์ซีเมนต์

Research of Mixture Natural Rubber Ratio in Asphalt Cement



โดย

นายกอบชัย เกิดจันทร์ตรง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กอบชัย เกิดจันทร์ตรง 2557: การวิจัยอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ วชิรินทร์ วิทยกุล, M.Eng. 243 หน้า

การก่อสร้างถนนในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น มลภาวะทางอากาศเนื่องจากฝุ่นละอองบริเวณโรงงานผสม สารพิษที่ลอยมาในอากาศของกระบวนการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต สภาวะโลกร้อนเนื่องจากการผสมของแอสฟัลต์ที่ใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง บวกกับปัญหาการคายน้ำพาราในตลาดที่มีแนวโน้มจะต่ำลงและมีความผันผวนสูง จึงได้มีแนวคิดใหม่ที่จะทำการทดลองนำยางพาราธรรมชาติมาผสมใช้ในงานถนน โดยการใช้อุณหภูมิต่ำ หรือที่เรียกว่า “การผสมอ่อน”

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยวิธีการผสมร้อนและการผสมอ่อน โดยออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลล์ ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลทางด้านวิศวกรรมตามมาตรฐานกรมทางหลวง วัสดุมวลรวมที่ใช้เป็นหินปูนจากจังหวัดสุพรรณบุรี ใช้วัสดุเชื่อมประสานเป็นพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยผสมยางพาราธรรมชาติเข้ากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60/70 ซึ่งทำการทดลองใช้อัตราส่วนผสมของยางพาราธรรมชาติที่อยู่ในรูปของ Masterbatch คิดเป็นร้อยละ 3, 4, 5, 6 และ 7 ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามลำดับ ในส่วนของการผสมร้อนของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ ใช้อุณหภูมิการผสมและการบดอัดที่ 140 °C พบว่าเปอร์เซ็นต์ยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3-5 มีค่าเสถียรภาพ ค่าดัชนีความแข็งแรง ช่องว่างในอากาศ และค่าการไหลผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยที่เปอร์เซ็นต์ยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 ให้คุณสมบัติเชิงกลดีกว่ากรณีอื่น ในส่วนของการผสมอ่อน ใช้สาร Advera WMA เป็นสารผสมเพิ่ม พบว่าการผสมปริมาณสาร Advera ที่ให้ค่าเสถียรภาพดีที่สุดอยู่ที่ ร้อยละ 0.20 โดยมวลรวม อุณหภูมิการผสมและบดอัดที่ดีที่สุด คือ 130 °C และปริมาณพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ร้อยละ 4.7 ให้ผลดีที่สุด ทั้งนี้ถึงแม้ว่าค่าเสถียรภาพจะผ่านมาตรฐานแต่ค่าร้อยละช่องว่างในอากาศต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยสรุปแล้ว การนำยางพาราธรรมชาติที่อยู่ในรูปแบบยางมาสเตอร์แบทมาใช้ในการงานถนนเหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการผสมร้อนมากกว่าการผสมอ่อน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kopchai Kerdjuntrong 2014: Research of Mixture Natural Rubber Ratio in Asphalt Cement. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Watcharin Witayakul, M.Eng. 243 pages.

Road constructions have nowadays caused environmental pollutions, such as air pollution, because of dust particles at the toxic substance mixing factories drifting through the air from the asphalt concrete mixing process. With global farming caused by the use of comparatively high temperature in mixing asphalt and the fact that the rubber market prices have been in a declining trend and highly volatile, that is a new trial idea to mix road pavement rubber at a low temperature called “Warm Mix.”

This research presents the mechanical properties of Para Asphalt Concrete produced through Hot Mix and Warm Mix methods. The mix was based on Marshall Mix design method, with mechanical properties tested based on the Department Of Highway's, (DOH) Standards. The aggregate used was limestone from Suphan Buri Province, with bitumen as Para asphalt cement grade AC 60/70 mixed with natural rubber. In the conducted experiment, the mixing ratio for natural rubber in the form of Masterbatch was 3, 4, 5, 6 and 7 percent of asphalt cement respectively. For Hot Mix Asphalt of Para asphalt cement, the temperature at which mixing and compacting were made was 140 °C. It was found that the natural rubber percentage at 3-5 percent is with stability, strength index, air voids, and flow value in accordance with the DOH's Standards. Natural rubber at 3 percent gives better mechanical properties than other cases. For warm mix, Advera® WMA was used as an admixture. It was found that Advera® at 0.20% by mass results in better stability of the sample with reduced air voids, low than the standard. The mixing and compacting temperature at 130 °C positively affects the sample stability with reduced air voids, low than the standard too. If the percentage of Para asphalt cement was reduced, the air voids would pass the standard, but the stability would reduce lower not pass the Standard. Over all, the use of natural rubber in road pavements is suitable for hot mix asphalt process more than warm mix process.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูง รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วิระเกษตร สอนผลกา กรรมการที่ปรึกษาร่วม ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิ - รงค์ กรรมการผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัย และดร.วัจนันท์ มัตติทานนท์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนแล้วเสร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ อ.มนตรี ฝ้ายอุประ ครูและช่างเทคนิค ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความรู้และข้อมูลต่างๆ ของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณสุธรรม ชมชื่น ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา คุณทวี แสงสุวรรณโณ ผู้อำนวยการกลุ่มวิเคราะห์ทดสอบและควบคุมคุณภาพ คุณปริญญา เกิดจันทร์ตรง ผู้อำนวยการกลุ่มปฐพีวิศวกรรม กรมทางหลวงชนบท รวมถึง คุณปรีชา สุภาพพงษ์ คุณปิยะนนท์ หลงปาน และคณะทำงานกลุ่มวิเคราะห์ทดสอบและควบคุมคุณภาพทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณสุรพล เกตุแก้ว ผู้จัดการอาวุโสฝ่ายการตลาด บริษัท ทีบีไอแอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้การสนับสนุนตัวอย่าง แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 มาโดยตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณณพรัตน์ วิชิตชลชัย ผู้อำนวยการกลุ่มอุตสาหกรรมยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ให้การสนับสนุนตัวอย่างวัสดุ Masterbatch เพื่อให้ง่ายต่อการผสมในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท พีคิว คอร์ปอเรชั่น ที่ได้ให้การสนับสนุนสาร Advera WMA ซึ่งจะนำมาใช้ในส่วนของการผสมอ่อนของงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยวัฒนวิศวกรรมทาง จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุน วัสดุผสมรวม

ท้ายที่สุด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดา พี่น้องและเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

กอบชัย เกิดจันทร์ตรง

มีนาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	5
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ	36
วัสดุอุปกรณ์	36
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	54
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก ผลการทดลองโดยละเอียด	80
ภาคผนวก ข มาตรฐานและวิธีการทดลอง	140
ภาคผนวก ค ข้อกำหนดพิเศษสำหรับงาน Warm-Mix Asphalt	202
ภาคผนวก ง ภาพเครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง	210
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	243

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532	3
2	ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532	4
3	คุณสมบัติเฉพาะตัว ของ Advera	19
4	การเลือกเกรดของแอสฟัลต์	29
5	สมบัติของแอสฟัลต์ผสมยางแห้งชนิดต่าง ๆ	33
6	สมบัติของแอสฟัลต์ผสมยางพาราชนิดน้ำยางชั้น	33
7	ปริมาณการใช้หินร้อนในงานวิจัย	36
8	การเตรียมวัสดุเม็ดละเอียด	42
9	การเตรียมวัสดุเม็ดหยาบ	43
10	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบวัสดุมวลรวม (DOH Standard)	44
11	สัดส่วนผสม Masterbatch ในแต่ละกระป๋อง	50
12	การทดสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ของ PAC ด้วยกระบวนการผสมอุ่น โดยวิธีการทดสอบ Marshall	51
13	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง ของหินเย็น (Cold Bin)	55
14	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง ของหินร้อน (Hot Bin)	56
15	คุณสมบัติของวัสดุ	58
16	การออกแบบเปอร์เซ็นต์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ด้วยวิธีมาร์แชลล์	59
17	การทดสอบก้อนตัวอย่าง “มาร์แชลล์” ของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์	60
18	การทดสอบดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์	64
19	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3.00 %	68
20	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 4.00 %	68
21	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 5.00 %	69
22	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของการทดสอบผสมร้อน (PAC)	69
23	ผลเฉลี่ยความสูงของก้อนตัวอย่าง แต่ละสัดส่วนยางพาราธรรมชาติ	70
24	จำนวนก้อนตัวอย่างและอุณหภูมิประจำวันของการบดอัดก้อนตัวอย่าง ช่วงเวลา 11.00 น. ของวัน	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Cold Bin 1 (ฝุ่น)	81
ก2	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Cold Bin 2 (3/8”)	82
ก3	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Cold Bin 3 (3/4”)	82
ก4	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Hot Bin 1 (ฝุ่น)	83
ก5	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Hot Bin 2 (3/8”)	83
ก6	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Hot Bin 3 (1/2”)	84
ก7	ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Hot Bin 4 (3/4”)	84
ก8	ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 2 , 3 และ 4	85
ก9	ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 1 (หินฝุ่น) ค้างตะแกรงเบอร์ 200 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	86
ก10	ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 1 (หินฝุ่น) ค้างตะแกรงเบอร์ 200 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	87
ก11	ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 1 (หินฝุ่น) ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	88
ก12	ดัชนีความแบน Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	89
ก13	ดัชนีความแบน Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	89
ก14	ดัชนีความแบน Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	90
ก15	ดัชนีความแบน Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	90
ก16	ดัชนีความแบน Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	91
ก17	ดัชนีความแบน Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	91
ก18	ดัชนีความยาว Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	92
ก19	ดัชนีความยาว Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	92
ก20	ดัชนีความยาว Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	93
ก21	ดัชนีความยาว Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	93
ก22	ดัชนีความยาว Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	94
ก23	ดัชนีความยาว Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	94
ก24	การหาค่าสีกหรือด้วยเครื่องซัดสี Los Angeles ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1	95
ก25	การหาค่าสีกหรือด้วยเครื่องซัดสี Los Angeles ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2	95
ก26	การทดสอบทรายสมมูล ของ Fine Aggregate	96
ก27	การทดสอบทรายสมมูล ของ Hot Bin 1 (ฝุ่น)	96
ก28	การทดลองหาการดูดซึมน้ำของมวลรวม	97

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า	
ก29	Quantitative Examination for Fine Aggregate (Soundness Test)	98
ก30	Quantitative Examination for Coarse Aggregate (Soundness Test)	98
ก31	ผลการทดสอบ Mixed Marshall โดย AC 60/70, HMA (1)	99
ก32	ผลการทดสอบ Mixed Marshall โดย AC 60/70, HMA (2)	100
ก33	ผลการทดสอบ Mixed Marshall โดย AC 60/70, HMA (3)	101
ก34	ตารางผลการทดลองค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต, HMA (1)	105
ก35	ตารางผลการทดลองค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต, HMA (2)	106
ก36	ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (1)	107
ก37	ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (2)	108
ก38	ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (3)	109
ก39	ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (4)	110
ก40	ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (5)	111
ก41	ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อนของ PAC (1)	112
ก42	ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อนของ PAC (2)	113
ก43	ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อนของ PAC (3)	114
ก44	ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อนของ PAC (4)	115
ก45	ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อนของ PAC (5)	116
ก46	ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (1)	117
ก47	ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (2)	119
ก48	ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (3)	120
ก49	ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (1)	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก50 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (2)	122
ก51 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (3)	123
ก52 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)	124
ก53 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)	126
ก54 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)	127
ก55 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.15% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)	128
ก56 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.15% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)	129
ก57 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.15% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)	130
ก58 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)	131
ก59 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)	132
ก60 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)	133
ก61 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)	134
ก62 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)	135
ก63 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)	136
ก64 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (1)	137
ก65 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (2)	138

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก66 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (3)	139
ข1 สำหรับหินย่อย	142
ข2 สำหรับ Soil Aggregate	145
ข3 ความถ่วงจำเพาะของน้ำ	155
ข4 จำนวน Abrasive Charge	161
ข5 การเลือกเกรดที่จะทำสอบ Los Angeles	163
ข6 ขนาดตะแกรงที่ใช้	170
ข7 ขนาดตะแกรงและมวลของมวลรวมเม็ดละเอียดที่ใช้ในการทดลอง	173
ข8 มวลของมวลรวมเม็ดหยาบที่ใช้ในการทดลอง	174
ข9 ขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อนหาส่วนที่ไม่คงทนของมวลรวมเม็ดหยาบ	177
ข10 ปริมาณตัวอย่างทดลอง	180
ข11 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้	184
ข12 Specification for Asphalt Cement	185
ข13 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก	186
ข14 Stability Correlation Ration (1)	194
ข15 Stability Correlation Ration (2)	194
ค1 ขนาดคละของมวลรวม ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ และปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใช้	205
ค2 ข้อกำหนดในการออกแบบ WMA	206
ค3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่าง ๆ สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน	207

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของแอสฟัลต์	5
2 ส่วนประกอบทั่วไปของแอสฟัลต์คอนกรีต	9
3 ความสัมพันธ์เชิงมวลและปริมาตรในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	10
4 ช่วงที่ยอมรับได้ทุกเกณฑ์จะเป็นปริมาณแอสฟัลต์ช่วงแคบ ๆ	21
5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VMA กับขีดจำกัดของข้อกำหนด ในกรณีที่มีค่าต่ำสุดของ VMA มากกว่าข้อกำหนด	22
6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VMA กับขีดจำกัดของข้อกำหนด ในกรณีที่มีค่าต่ำสุดของ VMA น้อยกว่าข้อกำหนด	23
7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VMA กับขีดจำกัดของข้อกำหนด ในกรณีที่มีการพของ VMA ทั้งหมดอยู่ต่ำกว่าข้อกำหนด	24
8 ผลจากระดับของการบดอัดที่มีต่อช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)	25
9 ผลจากระดับของการบดอัดที่มีต่อช่องว่างอากาศ (AV)	25
10 โครงสร้างแบบ cis-1, 4-polyisoprene	30
11 แผนภูมิงานการวิจัยอัตราส่วนผสมยางพาราธรรมชาติในวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์	53
12 การออกแบบขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง ของหินเย็น (Cold Bin)	54
13 การออกแบบขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง ของหินร้อน (Hot Bin)	55
14 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น	61
15 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าความเสถียรภาพ	61
16 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าการไหล	62
17 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าช่องว่างในอากาศ	62
18 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่า VMA	63
19 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่า VFB	63
20 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าดัชนีความแข็งแรง	64
21 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Advera กับ %AV ของการผสมอุ่น	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Advera WMA กับ Stability ของการผสมอุ้	71
23	ความสัมพันธ์ระหว่าง %AV กับ Mix & Compaction Temp. ของการผสมอุ้	72
24	ความสัมพันธ์ระหว่าง Stability กับ Mix & Compaction Temp. ของการผสมอุ้	72
25	ความสัมพันธ์ระหว่าง %PAC กับ %AV ของการผสมอุ้	73
26	ความสัมพันธ์ระหว่าง %PAC กับ Stability ของการผสมอุ้	73
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟความสัมพันธ์ของ Density กับ %AC	102
ก2	กราฟความสัมพันธ์ของ Stability กับ %AC	102
ก3	กราฟความสัมพันธ์ของ %Air Voids กับ %AC	103
ก4	ความสัมพันธ์ของ %V.M.A. กับ %AC	103
ก5	กราฟความสัมพันธ์ของ Flow กับ %AC	104
ก6	กราฟความสัมพันธ์ของ %V.M.A. กับ %AC	104
ข1	เครื่อง Los Angeles	164
ข2	Mechanical Shaker	168
ข3	Manual Shaker	169
ข4	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการดูดซึมแอสฟัลต์	179
ข5	แท่นรอง , แบบสำหรับบดทับ , ที่จับแบบและค้อนที่ใช้บดทับ	196
ข6	เครื่องทดลองวิธี Marshall , แบบทดลอง และเครื่องวัด Flow	196
ง1	การเก็บหินตัวอย่าง (Hot Bin) จากโรงงาน	211
ง2	ลักษณะของหิน Hot Bin ทั้ง 4 Bin	211
ง3	เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่าง ๆ	212
ง4	ตัวอย่างแอสฟัลต์ AC 60-70	212
ง5	การหาความถ่วงจำเพาะของหิน 3/4" , 1/2" , 3/8"	213
ง6	อุปกรณ์ทดสอบ ดัชนีความแบน และดัชนีความยาว	213
ง7	การเตรียมตัวอย่าง ทดสอบ Sand Equivalent	214
ง8	สารละลาย Stock Solution สำหรับการทดสอบ Sand Equivalent	214
ง9	อุปกรณ์ทดสอบ Sand Equivalent	215
ง10	การรอตตะกอนของตัวอย่าง Sand Equivalent	215

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง11 เครื่องทดสอบ Los Angeles	216
ง12 การล้างหินหลังจากทดสอบ Los Angeles	216
ง13 หินที่ล้าง และเข้าตู้อบเรียบร้อยแล้ว ของการทดสอบ Los Angeles	217
ง14 ความแตกต่างระหว่างหินล้างกับยังไม่ได้ล้าง ของการทดสอบ Los Angeles	217
ง15 หลังจากนำหินที่ล้างแล้วเข้าตู้อบ ของการทดสอบ Los Angeles	218
ง16 การแช่ตัวอย่างหินฝุ่นผ่านตะแกรงเบอร์ 200	218
ง17 การปล่อยให้หิน อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ของหินฝุ่น ค้างตะแกรงเบอร์ 4	219
ง18 การปล่อยให้หิน อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ของหินฝุ่น ผ่านตะแกรงเบอร์ 4	219
ง19 การตรวจสอบหินฝุ่น ค้างตะแกรงเบอร์ 4 ว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	220
ง20 การตัมหินฝุ่น เพื่อไล่อากาศ	220
ง21 หลังอบของหินฝุ่น ค้างตะแกรงเบอร์ 200	221
ง22 หลังอบของหินฝุ่น ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	221
ง23 ตะแกรงขนาดต่าง ๆ	222
ง24 ตะแกรงล้างหินฝุ่น	222
ง25 วัสดุมวลหยาบ ที่จะทำการทดสอบ Soundness	223
ง26 วัสดุมวลละเอียด ที่จะทำการทดสอบ Soundness 1	223
ง27 วัสดุมวลละเอียด ที่จะทำการทดสอบ Soundness 2	224
ง28 กระป๋องแช่ตัวอย่าง ของการทดสอบ Soundness	224
ง29 การนำตัวอย่างมวลรวม ใส่ในอุปกรณ์แช่ ของ Soundness	225
ง30 การนำมวลรวมหยาบแช่โซเดียมซิลิเฟต ของการทดสอบ Soundness	225
ง31 การนำมวลรวมละเอียดแช่โซเดียมซิลิเฟต ของการทดสอบ Soundness	226
ง32 การแช่ตัวอย่าง ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเฟต	226
ง33 การนำตัวอย่างเข้าตู้อบ ของการทดสอบ Soundness	227
ง34 ลักษณะสารละลายโซเดียมซิลิเฟต หลังจากแช่แล้ว 5 รอบ	227
ง35 การล้างตัวอย่าง หลังจากแช่สารละลายโซเดียมซิลิเฟต	228
ง36 สารละลายโซเดียมซิลิเฟต ใช้ในการทดสอบ Soundness	228
ง37 ตู้อบ ใช้เฉพาะการทดสอบ Soundness	229
ง38 เครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิตอล	229
ง39 การวัดอุณหภูมิแอสฟัลต์ กระบวนการผสมร้อน	230
ง40 การเตรียมวัสดุมวลรวม ตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้	230
ง41 การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ Marshall	231

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ง42	ก้อนตัวอย่าง พาราแอสฟัลต์คอนกรีต ผสมร้อน	231
ง43	แม่แรงแกะก้อนตัวอย่างออกจาก Mold	232
ง44	เครื่องต้มตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที	232
ง45	การชั่งน้ำหนักในอากาศ น้ำหนักในน้ำ และน้ำหนักสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	233
ง46	การทดสอบ Marshall เพื่อหา Stability และ Flow	233
ง47	อุปกรณ์ทดสอบ Strength Index	234
ง48	เครื่องกดก้อนตัวอย่าง การทดสอบ Strength Index	234
ง49	การกดก้อนตัวอย่าง ทดสอบ Strength Index	235
ง50	การเข้าเครื่องอบที่ 60 °C การทดสอบ Strength Index	235
ง51	การดูดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Vacuum การทดสอบ Strength Index	236
ง52	การแช่ตัวอย่างในโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทดสอบ Strength Index	236
ง53	การแช่ตัวอย่างในน้ำอุณหภูมิ 25 °C เวลา 1 ชั่วโมง การทดสอบ Strength Index	237
ง54	ชิ้นส่วนตัวอย่าง Masterbatch	237
ง55	ลักษณะก้อน Masterbatch ก่อนผสม และเมื่อผสมเข้ากันแล้ว	238
ง56	อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม ระหว่าง 250 – 300 °C	238
ง57	การผสมตัวอย่าง Masterbatch ตามที่ออกแบบไว้	239
ง58	สาร Advera WMA	239
ง59	การผสม Advera ในพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์	240
ง60	การผสมอุ่น อุณหภูมิผสมประมาณ 130 °C	240
ง61	การผสมอุ่น อุณหภูมิผสมประมาณ 120 °C	241
ง62	การผสมอุ่น โดยใช้สาร Advera	241
ง63	ก้อนตัวอย่างพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยกระบวนการผสมอุ่น	242
ง64	ภาพโดยรวมของวัสดุการทดสอบ	242

การวิจัยอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติในแอสฟัลต์ซีเมนต์

Research of Mixture Natural Rubber Ratio in Asphalt Cement

คำนำ

ปัจจุบันถนนลาดยางมักจะพบปัญหาเรื่องการรับน้ำหนักของชั้นใต้ผิวทาง คือ ความสามารถในการถ่ายน้ำหนักจากผิวทางและความสามารถในการระบายน้ำของโครงสร้างใต้ผิวทาง ไม่เพียงแต่โครงสร้างใต้ผิวทางเท่านั้น จากการศึกษาวิจัยพบว่าปัจจุบันการก่อสร้างถนนลาดยางยังประสบปัญหาเกี่ยวกับเรื่องผิวทางอยู่มาก มีปัญหาหลักสองประการเกี่ยวกับความสามารถในการยึดหยุ่นของผิวทาง ในกรณีที่รถบรรทุกหนักวิ่งผ่านในตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิสูงจะเกิดร่องล้อลึก และเมื่อสภาพอากาศเย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำจะเกิดการแตกร้าวของผิวทาง ดังนั้นเพื่อให้ถนนในประเทศไทยมีความคงทนและมีอายุการใช้งานมากขึ้นจึงต้องหาวิธีที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว การถ่ายน้ำหนัก การระบายน้ำ และความทนทานในสภาวะที่ผิวทางต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด

จึงมีการพัฒนาแนวความคิดที่จะเปลี่ยนรูปแบบการก่อสร้างผิวถนนแบบใหม่ จากสมัยก่อนการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์จะใช้แอสฟัลต์เพียงอย่างเดียวในส่วนของ Bitumen ก็หันมาลองใช้แอสฟัลต์ผสมยางพาราธรรมชาติแทน สาเหตุที่ใช้ยางพาราธรรมชาติเพราะประเทศไทยสามารถผลิตยางพาราธรรมชาติได้ภายในประเทศ ประกอบกับราคายางพาราในตลาดราคายางพารามีราคาค่อนข้างต่ำที่จะผันผวน ขึ้นลงไม่แน่นอน และยังมีการศึกษา การวิจัยจากหลายๆประเทศแสดงให้เห็นว่าการนำแอสฟัลต์ผสมกับยางพาราธรรมชาติ ส่งผลให้ถนนมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ถนนมีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ป้องกันการเกิดร่องล้อและการหลุดตัวของผิวทางเนื่องจากการรับน้ำหนักบดทับที่มากเกินไป ป้องกันการหลุดหล่อนเนื่องจากการระบายน้ำไม่ดี หรือการแตกร้าวต่าง ๆ ถึงแม้ว่ายางพาราธรรมชาติจะมีข้อดีดังที่กล่าวมา แต่ก็ยังมีข้อด้อย คือขั้นตอนการผลิตหรือขั้นตอนการผสมระหว่างยางพาราธรรมชาติกับแอสฟัลต์ ซึ่งจะเกิดปัญหาเรื่องของจุดเดือดที่แตกต่างกันของแอสฟัลต์กับน้ำที่อยู่ในยางพาราธรรมชาติ ซึ่งสภาวะนี้สารทั้งสองจะทำปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดฟองบนผิวหน้าแอสฟัลต์ หลังจากนั้นจะเกิดไอน้ำแรงดันสูงพุ่งขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์เทคนิค ที่ช่วยในการผสมอย่างมีประสิทธิภาพ คุณภาพ และที่สำคัญต้องมีความปลอดภัยอีกด้วย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของยางพารา ธรรมชาติ (Para Asphalt Cement: ParaAC) เข้าเป็นวัสดุทดแทนในส่วนของการใช้ Bitumen โดยการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วย วิธีมาร์แชลล์ โดยการผสมร้อน และการผสมอุ่น เพื่อเลือกสัดส่วนผสมยางพาราธรรมชาติที่ดีที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมยางพารา ธรรมชาติ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC60/70 ที่เหมาะสมและมีคุณภาพดีที่สุด สำหรับกระบวนการผสมร้อน (Hot Mix) โดยองค์ประกอบของส่วนผสมจะต้องมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และยางพาราธรรมชาติถูกแปรรูปให้เป็นมาสเตอร์แบท (Masterbatch 1:1)
2. เพื่อศึกษากระบวนการผสมอุ่น (Warm Mix) ในการใช้พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยสารผสมเพิ่มในการผสมอุ่นเป็น Advera WMA
3. เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของผิวทางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต (Para Asphalt Concrete) ด้วยกระบวนการผสมร้อนและการผสมอุ่น

ขอบเขตการศึกษา

1. ทดสอบคุณสมบัติของพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งผลิตด้วยกระบวนการผสมร้อน (Hot Mix Asphalt) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 ด้วยวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517 “มาร์แชลล์ (Marshall)” ตามตารางที่ 1
2. การศึกษานี้ใช้ขนาดคละของผิวทางตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ทล.-ม. 408/2532 มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตโดยมีมวลรวมขนาดใหญ่ที่สุด (Maximum Size) 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ตามตารางที่ 2
3. การศึกษานี้ ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง
4. ในกระบวนการผสมอุ่นของพาราแอสฟัลต์คอนกรีต พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยเท่านั้น คือ ปริมาณสารผสมเพิ่ม Advera WMA อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมและบดอัด และปริมาณพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532

รายการ	ชั้นทาง				
	Wearing Course ขนาด 9.5 มม.	Wearing Course ขนาด 12.5 มม.	Binder Course	Base Course	Shoulder
Blow	75	75	75	75	50
Stability (N)	8006	8006	8006	7117	7117
(lb)	1800	1800	1800	1600	1600
Flow 0.25 mm (0.01 in)	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16
Percent Air Voids	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5
Percent Voids in Mineral					
Aggregate (VMA) Min	15	14	13	12	14
Stability/Flow Min					
N/0.25 mm	712	712	712	645	645
(lb/0.01 in)	(160)	(160)	(160)	(145)	(145)
Percent Strength Index					
Min	75	75	75	75	75

หมายเหตุ การทดลองหาค่า Percent strength Index ใช้วิธี Ontario Vacuum Immersion Marshall Test หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า

ตารางที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร (นิ้ว)	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19.0 (3/4)	25.0 (1)
สำหรับชั้นทาง		Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course
ความหนา	มิลลิเมตร	25-35	40-70	40-80	70-100
ขนาดตะแกรง	มิลลิเมตร (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
37.5	(1 1/2)				100
25.0	(1)			100	90-100
19.0	(3/4)		100	90-100	-
12.5	(1/2)	100	80-100	-	56-80
9.5	(3/8)	90-100	-	56-80	-
4.75	(เบอร์ 4)	55-85	44-74	35-65	29-59
2.36	(เบอร์ 8)	32-67	28-58	23-49	19-45
1.18	(เบอร์ 16)	-	-	-	-
0.600	(เบอร์ 30)	-	-	-	-
0.300	(เบอร์ 50)	7-23	5-21	5-19	5-17
0.150	(เบอร์ 100)	-	-	-	-
0.075	(เบอร์ 200)	2-10	2-10	2-8	1-7
ปริมาณแอสฟัลต์					
ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0-8.0	3.0-7.0	3.0-6.5	3.0-6.0

การตรวจเอกสาร

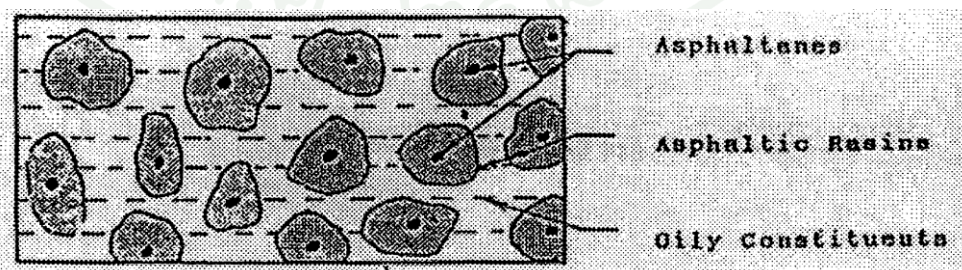
ทฤษฎี

1. ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ (Asphalt)

มนุษย์รู้จักและนำยางมะตอย หรือแอสฟัลต์มาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น สร้างถนน ก่อผนัง สร้างบ่อเก็บน้ำมานานกว่าสองพันปีแล้ว เมื่อประมาณ 300 ปี ก่อนคริสตกษัตราช ชาวอียิปต์ใช้ยางมะตอยมาช่วยในการเก็บรักษามัมมี่ ปี ค.ศ.1802 ชาวฝรั่งเศสใช้ยางมะตอยที่เกิดเองตามธรรมชาติมาลาดบนผิวสะพาน และทำบาเทวิถึ ปี ค.ศ.1870 ในประเทศสหรัฐอเมริกา มลรัฐนิวเจอร์ซี่ เริ่มใช้ยางมะตอยลาดยึดผิวถนนทำผิวจราจร ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ยางมะตอยรู้จักใช้กันแพร่หลายทั่วโลก ส่วนใหญ่ใช้ในการทำถนน เพราะมีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง และทนทานได้นานปี นอกจากนี้ อาจจะนำมาใช้ในลักษณะอื่นๆ เช่น ทาผิววัสดุเพื่อป้องกันสนิมหรือกันน้ำ (Waterproof) กันซึม ฯลฯ (นฤดล, 2544)

แอสฟัลต์ ตามความหมายของ ASTM (The American Society for Testing and Materials) คือ วัสดุประสานสีน้ำตาลแก่ถึงสีดำ มีบิทูเมน (Bitumen) เป็นส่วนประกอบหลักเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ แอสฟัลต์ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

- Asphaltenes เป็นผงสีน้ำตาลเกือบดำ สามารถแยกออกจากยางแอสฟัลต์ได้ ให้ความร้อนสูงจะไม่ละลาย แต่จะลุดเป็นไฟ
- Asphaltic Resins เป็นของแข็งสีน้ำตาลแก่ เปราะ จะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนโดยละลาย ได้เมื่อให้อุณหภูมิสูง 200 °F
- Oily Constituents เป็นส่วนที่เหลือจากแยก Asphaltenes และ Asphaltic Resins ออกแล้ว มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลแกมแดงคล้ายน้ำมันเครื่องชนิดสีเข้ม ๆ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของแอสฟัลต์
ที่มา: นฤดล (2544)

บิทูเมน (Bitumen) ตามความหมายของ ASTM หมายถึง สารที่ประกอบด้วยโมเลกุลพวกไฮโดรคาร์บอน มีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานที่ดีมากอยู่ในสถานะของแข็ง กึ่งของแข็งหรือเหนียวหนืด สีดำหรือค่อนข้างดำ สามารถละลายได้ในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) มีทั้งชนิดที่เกิดเองตามธรรมชาติ และชนิดที่ได้จากการผลิต

2. ประเภทของยางแอสฟัลต์

2.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement, AC) แอสฟัลต์ซีเมนต์ มีลักษณะกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ ก่อนการนำไปใช้งานต้องให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิประมาณ $200 - 300^\circ F$ และสามารถแบ่งเกรดต่าง ๆ ได้ด้วยการทดสอบค่า เพนิเทรชัน (Penetration) คือ จำนวนหน่วยของระยะ (1 หน่วย = 0.1 มิลลิเมตร) ที่เข็มมาตรฐานซึ่งถูกกดด้วยน้ำหนัก 100 กรัม จมลงในแอสฟัลต์ เป็นเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิ $77^\circ F (25^\circ C)$ ค่า Penetration ของ AC ที่อ่านได้จะอยู่ประมาณ 40 ถึง 300 ถ้า AC อ่อนจะมีค่า Penetration มาก หรืออาจแบ่งเกรดตามค่าความหนืดที่อุณหภูมิ $140^\circ F (60^\circ C)$ ค่าความหนืดไดนามิก วัดในหน่วยปาสคาลวินาที (Pa.s) ซึ่งเป็นหน่วย SI และพอยส์ (Poises) 1 พอยส์ = 0.1 Pa.s ค่าความหนืดเนแมติกวัดในหน่วย ตร.ซม./วินาที (cm^2/S) ซึ่งเป็นหน่วย SI และสโตค (stoke) หรือเซนติสโตค 1 สโตค = 100 เซนติสโตค = $1 cm^2/S$ โดยสรุปแล้วเกรดที่เหมาะสมและใช้กันมากสำหรับงานถนนในประเทศไทยปัจจุบันคือ 60-70 (จिरพพัฒน์, 2551)

คุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์ซีเมนต์ในด้านวิศวกรรมที่นำมาใช้ในงานก่อสร้าง คือ

- ความข้นเหลว (Consistency) AC เปลี่ยนแปลงความข้นเหลวตามอุณหภูมิ จึงจำเป็นต้องกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานในการเปรียบเทียบ สำหรับเกรดความหนืดของ AC โดยปกติใช้ที่ $140^\circ F (60^\circ C)$ เป็นอุณหภูมิขณะใช้งาน และ $275^\circ F (135^\circ C)$ เป็นอุณหภูมิขณะผสมใช้ในการก่อสร้างของวัสดุผสมร้อนสำหรับถนนลาดยาง
- ความบริสุทธิ์ (Purity) AC ละลายได้ดีในคาร์บอนไดซัลไฟด์ AC ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันประกอบด้วยบิทูเมนบริสุทธิ์ เกือบทั้งหมด อาจมีพวกสารเฉื่อย (Inert) ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย (ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ใช้ใส่อาจมีความชื้นปะปนอยู่บ้างจะทำให้ AC เตือดเป็นฟองเมื่อ AC ได้รับความร้อนสูงกว่า $100^\circ C$
- ความปลอดภัย (Safety) AC อาจจะเตือดเป็นฟอง เมื่อได้รับความร้อนสูงถึง $347^\circ F (175^\circ C)$ ซึ่งเสี่ยงต่อความปลอดภัย เกิดมีไอเมื่อได้รับความร้อนสูง และลุกวาบไฟได้ เมื่อสัมผัสประกายไฟ หรือเปลวไฟ แต่อุณหภูมิที่จะเกิดจุดวาบไฟนี้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานโดยทั่วไปประมาณ $450^\circ F (232^\circ C)$

2.2 แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid Asphalt) เพื่อลดความยุ่งยากในการเคลื่อนย้ายแอสฟัลต์ จึงมีแนวความคิดที่จะทำให้แอสฟัลต์อยู่ในสถานะของเหลวเสียก่อน สำหรับแอสฟัลต์ซีเมนจะต้องให้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตามยังมีวิธีอื่นที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของเหลวได้อีก ก็คือ นำแอสฟัลต์ไปละลายในตัวทำละลาย (Solvent) แอสฟัลต์ที่ได้เรียกว่า คัทแบคแอสฟัลต์ (Cutback Asphalt) และอีกวิธีหนึ่งนำเอาแอสฟัลต์ผสมกับน้ำ แบบ Emulsion แอสฟัลต์ที่ได้เรียกว่า แอสฟัลต์อิมัลชันหรือยางมะตอยน้ำ (Asphalt Emulsion)

3. มวลรวม

3.1 มวลรวม (Aggregate) ที่ใช้สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตจำแนกออกเป็น มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุอัดแทรก (Mineral Filler)

- มวลรวมหยาบ หมายถึง มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 4.75 mm หรือค้ำบนตระแกรงเบอร์ 4
- มวลรวมละเอียด หมายถึง มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 4.75 mm และ 75 μm หรือผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้ำตะแกรงเบอร์ 200
- วัสดุอัดแทรก หมายถึง มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก ซึ่งเล็กกว่า 75 μm หรือผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ใช้ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อเติมส่วนละเอียดให้มากขึ้น ส่วนละเอียดเป็นส่วนสำคัญในการผลิตวัสดุผสมที่แข็งแรงและมีเกรดแน่น (Dense-Graded) โดยทั่วไปทรายธรรมชาติส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีส่วนละเอียดที่ต้องการนี้ วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุอัดแทรก ได้แก่ ฝุ่นของหินปูน

3.2 คุณสมบัติของมวลรวม

มวลรวมที่ใช้ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ขนาดคละดีให้ส่วนผสมแน่น ถ้าจำเป็นอาจรวมวัสดุอัดแทรกด้วย เพื่อความแข็งแรงของส่วนผสม
2. แข็ง เพื่อต้านทานต่อการสึกกร่อนและการขัดสีจากการจราจร
3. คงทน เพื่อต้านทานการแตกตัวจากการเพิ่มและลดอุณหภูมิ
4. ผิวขรุขระหยาบ เพื่อให้มีความเสียดทานมากขึ้นและมีผิวหน้ายึดเกาะกับ แอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ดีขึ้น
5. รูปร่างลูกบาศก์ เนื่องจากอนุภาครูปร่างผอมยาวมีโอกาสแตกได้ง่าย
6. เกล็ดน้ำที่เรียกว่าไฮโดรโฟบิก มวลรวมจำพวกซิลิกา เช่น คอวอร์ชเป็นพวกชอบน้ำที่เรียกว่า ไฮโดรฟิลิก หมายถึง ยึดเกาะกับน้ำดีกว่ายึดเกาะกับแอสฟัลต์เนื่องจากประจุที่ผิวหน้าของอนุภาคซึ่งเป็นสาเหตุนำไปสู่การหลุดลอกของแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวอนุภาคของมวลรวมที่มีน้ำห่อหุ้มอยู่

7. ปราศจากสารที่เป็นอันตราย วัสดุจำพวกอนุภาคของดินเหนียว ฝุ่น สิ่งสกปรก และชิ้นส่วนน้ำหนักราบ อาจทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวอนุภาคของมวลรวมมีคุณภาพต่ำลงหรือ อาจทำให้อนุภาคบางอนุภาคแตกได้

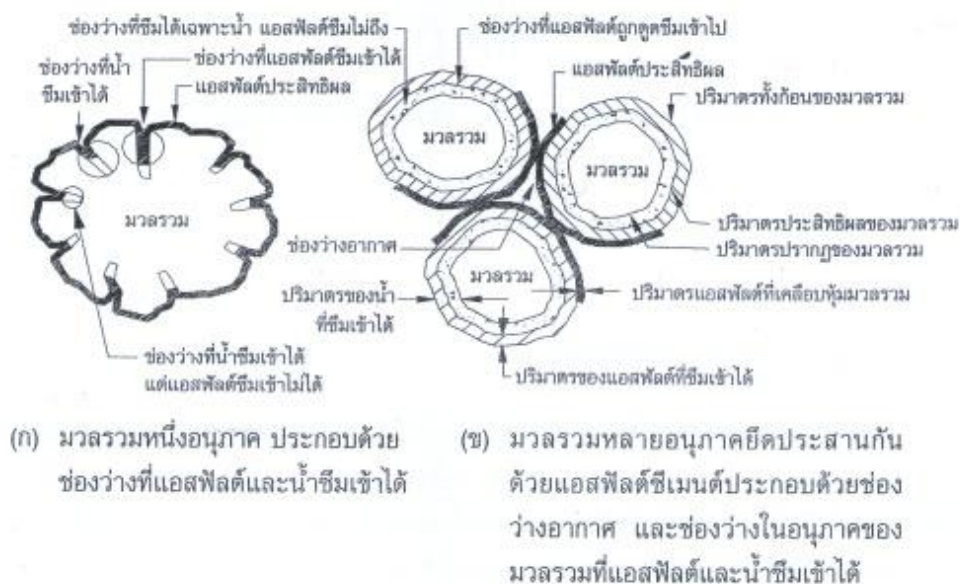
4. แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) หมายถึง วัสดุทำผิวทางที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และมวลรวม (Aggregates) ผสมกันอย่างร้อน ด้วยอุณหภูมิสูงในเครื่องผสม จากนั้นจึงนำไปปูลาดทำเป็นผิวทางของถนนในขณะที่ส่วนผสมยังร้อน อยู่แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบเป็นถนนลาดยางที่มีผิวทางคุณภาพดี แข็งแรง สีค่อนข้างดำ รับ ปริมาณการจราจรหนาแน่นมาก ๆ ได้ จึงเป็นที่รู้จักกันในนามของ แบล็คท็อป (Blacktop) หรือ ส่วนผสมร้อน (Hot Mix) แอสฟัลต์คอนกรีตจึงมักใช้สำหรับสร้างถนนลาดยางคุณภาพดีทั่ว ๆ ไป รวมถึงลานจอดรถขนาดใหญ่ แต่จะไม่นิยมนำไปใช้สร้างถนนชนบท หรือถนนที่มีปริมาณการจราจรเบาบางมากจนไม่จำเป็นต้องใช้ผิวทางคุณภาพดีอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ถนนลาดยางประเภทผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตนี้จัดเป็นถนนที่มีผิวทางที่ให้ความปลอดภัยเสถียรภาพ และทนทานดี โดยคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวม ซึ่งเป็น ส่วนประกอบของส่วนผสม ตลอดจนสัดส่วนที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสม และกระบวนการในการผลิต ส่วนผสม (วัชรินทร์, 2544)

4.1 ส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ มวลรวม และอากาศ แอสฟัลต์ซีเมนต์บางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ส่วนที่ ถูกดูดซึมนี้ ไม่ได้เคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคของมวลรวม และไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานอนุภาคของมวลรวมแต่ ละอนุภาค นอกจากนั้นยังทำให้เหลือช่องว่างอากาศในส่วนผสมมากขึ้นอีกด้วย ปริมาณสัมพัทธ์ระหว่างมวลรวม แอสฟัลต์ และอากาศ เป็นสิ่งสำคัญมากของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคหลายอนุภาคของมวลรวมที่มีแอสฟัลต์เคลือบที่ผิวอนุภาคของมวลรวมทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคแต่ละอนุภาคของมวลรวมให้ เกาะติดกัน โดยมีแอสฟัลต์ บางส่วนถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม และช่องว่างอากาศ (Air Void) ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่มีแอสฟัลต์เคลือบอยู่

แอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคมวลรวมจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานอนุภาค มวลรวมให้เกาะติดกันแน่นไม่หลุดหล่อนง่ายจึงเรียกว่าแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ (Effective Asphalt) โดยทั่วไปปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมจะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของ มวลรวมชนิดนั้นได้ประมาณร้อยละ 50



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบทั่วไปของแอสฟัลต์คอนกรีต

ที่มา: วุชรินทร์ (2544)

ในการคำนวณหาสัดส่วนของส่วนผสมจึงจำเป็นต้องรวมปริมาณของแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวมด้วย เพราะว่าปริมาณทั้งหมดในส่วนผสมจะต้อง ทำการชั่งตวงวัดอย่างถูกต้องที่สุด ปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปนี้ สามารถคำนวณได้จาก การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของส่วนผสมแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากส่วนผสมที่สมมุติว่าไม่มีการดูดซึมแอสฟัลต์เข้าไปในอนุภาคของมวลรวม

4.2 ความสัมพันธ์เชิงมวลและปริมาตรของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ความหมายและสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์เชิงมวล (Mass) และปริมาตร (Volume) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต มีดังต่อไปนี้

M มวลทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $M_G + M_B$

M_G มวลของมวลรวม

M_B มวลของแอสฟัลต์ซึ่งเป็นตัวยึดประสาน (Binder) มีค่าเท่ากับ $M_{BE} + M_{BA}$

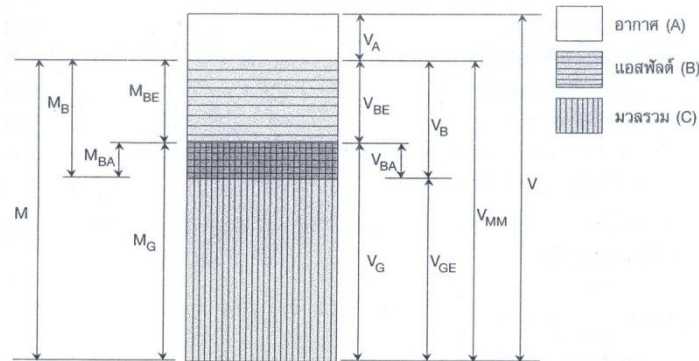
M_{BE} มวลของแอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt) ซึ่งเป็นตัวยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Aggregate Particles)

M_{BA} มวลของแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม (Absorbed Asphalt) ซึ่งเป็นแอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปในรูโพรงของมวลรวม (Aggregate Pores) แต่ละอนุภาค

- V ปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสมที่ได้รับการบดอัด (Compacted Mix)
- V_G ปริมาตรของมวลรวมซึ่งเป็นปริมาตรทั้งก้อน (Bulk Volume) รวมถึงรูโพรงในอนุภาคของมวลรวมด้วย
- V_{BE} ปริมาตรของแอสฟัลต์ประสิทธิผล
- V_{BA} ปริมาตรของแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม
- V_B ปริมาตรของแอสฟัลต์มีค่าเท่ากับ $V_{BE} + V_{BA}$
- V_A ปริมาตรของอากาศระหว่างอนุภาคของมวลรวมแต่ละอนุภาคที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ (Coated Aggregate Particles) ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
- V_{GE} ปริมาตรประสิทธิผล (Effective Volume) ของมวลรวมมีค่าเท่ากับ $V_G - V_{BA}$
- V_{MM} ปริมาตรของส่วนผสมที่ปราศจากช่องว่าง (Voidless Mix) ซึ่งเท่ากับปริมาตรที่ทำให้ส่วนผสมมีความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Mix Volume)

ค่าปริมาตรทั้งก้อนของส่วนประกอบมวลรวมของส่วนผสมจะกำหนดด้วยสัญลักษณ์ V_G ในส่วนผสม แทนที่จะใช้ V_B ก็เพื่อป้องกันการสับสนกับสัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับปริมาตรของแอสฟัลต์ที่ใช้ในการยึดประสาน ปริมาตรทั้งก้อนนี้โดยทั่วไปหาได้จากค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ทั้งก้อน (Bulk Relative Density) ของมวลรวม

ค่าปริมาตรประสิทธิผลของมวลรวมใช้สัญลักษณ์ V_{GE} หาค่าได้จากความหนาแน่นสัมพัทธ์ประสิทธิผล (Effective Relative Density) ของมวลรวม



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์เชิงมวลและปริมาตรในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ที่มา: วัชรินทร์ (2544)

5. คุณสมบัติเชิงปริมาตรของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ตามข้อกำหนดของสถาบันแอสฟัลต์แห่งประเทศไทย

5.1 บททั่วไป

คุณสมบัติเชิงปริมาตรของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ได้แก่ ช่องว่างอากาศ (AV) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) และค่าร้อยละของแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ (P_{BE}) จะเป็นตัวบ่งบอกสมรรถภาพในการใช้งานของส่วนผสมที่นำมาปูผิวทางของถนน การบดอัดตัวอย่างของส่วนผสมในห้องปฏิบัติการเป็นการเลียนแบบความหนาแน่นในสนามหลังจากที่มีการใช้งานถนนให้รองรับการจราจรหลายปี จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจนิยามและกระบวนการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกการออกแบบส่วนผสมที่ถูกต้อง ในที่นี้จะอธิบายรายละเอียดทั้งตัวอย่างของส่วนผสมที่ได้รับการบดอัดในห้องปฏิบัติการและตัวอย่างของส่วนผสมที่ไม่ถูก รมกวนซึ่งเก็บมาจากผิวทางในสนาม

5.2) นิยาม

มวลรวมส่วนใหญ่มีความพรุนและสามารถดูดซึมน้ำกับแอสฟัลต์ได้ในระดับต่าง ๆ กัน ยิ่งกว่านั้นอัตราส่วนของน้ำต่อแอสฟัลต์ในการดูดซึมน้ำก็จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามมวลรวมแต่ละชนิด การหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมมีอยู่ 3 วิธีที่ต้องนำมาพิจารณาถึงความผันแปรเหล่านี้ วิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้ง 3 ค่านี้ ได้แก่ วิธีหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อน (Bulk) วิธีหาค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent) และวิธีหาค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพ ความแตกต่างของค่าความถ่วงจำเพาะทั้ง 3 แบบนี้มาจากความแตกต่างกันของนิยามของปริมาตรของมวลรวมดังต่อไปนี้

1. ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อน (Bulk Specific Gravity, G_{SB}) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของวัสดุซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้ซึมผ่านได้รวมทั้งช่องว่างที่ซึมผ่านได้และ ซึมผ่านไม่ได้ต่อน้ำหนักในอากาศของน้ำกลั่นที่ปราศจากก๊าซและมีปริมาตรเท่ากับวัสดุนั้นเมื่อวัดที่อุณหภูมิเดียวกัน
2. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity, G_{SA}) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของวัสดุ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ยอมให้ซึมผ่าน ต่อน้ำหนักในอากาศของน้ำกลั่นที่ปราศจากก๊าซและมีปริมาตรเท่ากับวัสดุนั้นเมื่อวัดที่อุณหภูมิเดียวกัน
3. ความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพ (Effective Specific Gravity, G_{SE}) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของวัสดุ ซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้ซึมผ่านได้แต่ไม่รวมช่องว่างที่ยอมให้แอสฟัลต์ซึมผ่านได้ ต่อน้ำหนักในอากาศของน้ำกลั่นที่ปราศจากก๊าซและมีปริมาตรเท่ากับวัสดุนั้นเมื่อวัดที่อุณหภูมิเดียวกัน

นิยามสำหรับแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ (P_{BE}) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) และช่องว่างอากาศ (AV) มีดังต่อไปนี้

1. แอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt Content, P_{BE}) คือ ปริมาณแอสฟัลต์ซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคของมวลรวม ทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมแต่ละอนุภาคให้ยึดเหนี่ยวติดกัน มีค่าเท่ากับปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต หักออกด้วยปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม

2. ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาตรของช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละก้อนของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้วซึ่งเท่ากับค่าช่องว่างอากาศรวมกับค่าแอสฟัลต์ประสิทธิผล แสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสม

3. ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Asphalt, VFA) คือ ส่วนหนึ่งของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม โดยเป็นส่วนที่แอสฟัลต์ประสิทธิผลบรรจุอยู่

4. ช่องว่างอากาศ (Air Voids, AV) คือ ปริมาตรทั้งหมดของช่องเล็ก ๆ ที่มีอากาศบรรจุอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว แสดงเป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว

สถาบันแอสฟัลต์แห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกาแนะนำไว้ว่าค่า VMA ของส่วนผสมที่บดอัดแล้วควรคำนวณในเทอมของความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวม (G_{SB}) ส่วนการคำนวณหาค่าช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่บดอัดแล้วควรคำนวณโดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิผล

ชนิดของค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ในส่วนผสมที่บดอัดแล้วมีอิทธิพลต่อค่าของช่องว่างอากาศ และค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม ดังแสดงในตารางที่ 5 ความแตกต่างเหล่านี้มีผลมากพอที่จะทำให้ส่วนผสมได้หรือไม่ได้ตามเกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบ

เนื่องจากค่า AV VMA และ VFA เป็นปริมาตร จึงไม่สามารถหาค่าได้ ดังนั้นอันดับแรกของการออกแบบหรือการวิเคราะห์จึงต้องยึดถือปริมาณเชิงปริมาตรเป็นหลัก แล้วจึงเปลี่ยนเข้าสู่ค่าน้ำหนักเพื่อใช้ในการกำหนดสูตรส่วนผสมใช้งาน (Job-Mix Formula) ในลำดับต่อไป

6. องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

6.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของช่องว่างอากาศช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์

6.1.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง มวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอจะทำให้มีอายุการใช้งานได้นานและมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการบดอัดโดยรถบดในสนามจะให้ความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ ซึ่งบดอัดด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ต้องบดอัดให้ได้ในสนามจะกำหนดให้เป็นค่าร้อยละของความหนาแน่นที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย กำหนดไว้ว่าต้องบดอัดให้ได้ความหนาแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความหนาแน่นที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ

6.1.2 ช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็ก ๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับการบดอัดแล้วจะต้องมีปริมาตรช่องว่างอากาศที่เพียงพอ เพราะว่าหลังจากที่เปิดการจราจรแล้ว ยานพาหนะที่แล่นบนผิวทางจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นกว่าเดิม จึงมีปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยลง ดังนั้น ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอก็จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนน นอกจากนั้นช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักรวมของยานพาหนะที่แล่นบนผิวทางส่วนผิวทางชั้นล่าง ๆ อาจออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างได้มากกว่าขนาดร้อยละ 4 ถึง 7 เป็นต้น

ปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความทนทานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศน้อย น้ำและอากาศมีโอกาสซึมผ่านเข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้น้อยทำให้ผิวทางมีอายุยาวนาน อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนนได้

ความหนาแน่นและปริมาตรช่องว่างอากาศมีความสัมพันธ์กัน ถ้าความหนาแน่นมากปริมาตรช่องว่างอากาศจะมีค่าน้อยและเป็นจริงในทางกลับกัน การกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดของผิวทางจะต้องคำนึงถึงปริมาตรช่องว่างอากาศด้วย โดยปกติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดเสร็จใหม่ ๆ มักจะกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 8

6.1.3 ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม

ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate หรือ VMA) หมายถึง ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมทั้งช่องว่างที่ถูกแอสฟัลต์แทนที่ (Voids Filled with Asphalt หรือ VFA) ด้วย

ดังนั้น ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจึงเป็นปริมาตรช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์รวมกับปริมาตรช่องว่างอากาศ ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า $VMA = VFA + AV$ การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศเท่ากับ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า สามารถอธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า มวลรวมที่มีค่า VMA สูง ย่อมมีปริมาตร ช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์มากทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิวอนุภาคของมวลรวมหนากว่า จึงทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า

การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อย เป็นการประหยัดแต่ไม่ควรกระทำ เพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความทนทานลดลง

6.1.4 ปริมาณแอสฟัลต์

ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content) ในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องปฏิบัติการหรือที่โรงผสมในสนาม ข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการในการออกแบบจะเป็นตัวกำหนดปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ในส่วนผสม

ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวมได้แก่ ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์ มวลรวมที่มีขนาดคละ ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กต้องการแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่ามวลรวมที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่กว่า เหตุผลก็คือเมื่อปริมาตรเท่ากันมวลรวมที่มีอนุภาคขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวมากกว่ามวลรวมที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวอนุภาคของมวลรวม

สำหรับมวลรวมที่ดูดซึมแอสฟัลต์มากทำให้ต้องใช้แอสฟัลต์ผสมมาก เพื่อชดเชยส่วนที่ถูกดูดซึม

6.2 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

6.2.1 เสถียรภาพ

เสถียรภาพ (Stability) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้โดยไม่เกิดร่องล้อ หรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ผิดไปจากเดิม

ความมีเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต ขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งได้แก่ รูปร่างของอนุภาคของมวลรวม ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือขรุขระของผิวอนุภาคของมวลรวม ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ในการยึดเกาะกับอนุภาคของมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักของยานพาหนะมากระทำ

ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้เสถียรภาพมีค่าสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้แต่ควรคำนึงไว้ว่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น ซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปูลงบนผิวทาง หรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัวสูง

สาเหตุทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีเสถียรภาพต่ำ ได้แก่

1. ใช้แอสฟัลต์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกกระขนาด หรือเกิดร่องล้อหรือทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าถนน
2. ใช้ทรายที่มีอนุภาคขนาดกลางมากเกิดไปทำให้บดอัดได้ยาก และเมื่อบดอัดเสร็จใหม่จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย ไม่อยู่ตัว
3. ใช้มวลรวมที่มีอนุภาครูปร่างกลม ผิวเรียบทำให้ขยับตัวได้ง่ายเป็นสาเหตุให้เกิดร่องล้อ

6.2.2 ความทนทาน

ความทนทาน (Durability) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ อาจเป็นผลมาจากภูมิอากาศ สภาพการจราจร หรือทั้งสองอย่าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลต์ที่ใช้เสื่อมสภาพ เนื่องจากกระบวนการโพลีเมอไรเซชัน และออกซิเดชัน มวลรวมที่เสื่อมสภาพจะเกิดการแตกตัวและฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบมวลรวมก็จะหลุดล่อนออกได้ง่าย

6.2.3 การออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความทนทาน

การออกแบบส่วนผสมที่มีความทนทานทำได้ 3 วิธี คือ

ก. ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ การใช้ปริมาณแอสฟัลต์มาก ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวมวลรวมหนา ฟิล์มแอสฟัลต์ที่หนามากจะเชื่อมสภาพซ้ากว่าฟิล์มแอสฟัลต์ที่บาง นอกจากนั้นการใช้แอสฟัลต์มากจะช่วยอุดช่องว่างอากาศที่อยู่ต่อเนื่องกัน ทำให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำลายส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตได้ยาก

ข. เลือกขนาดคละที่ทำให้ส่วนผสมมีเกรดแน่น (Dense Grade) รวมทั้งใช้มวลรวมที่มีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติในการยึดเกาะกับแอสฟัลต์ได้ดี ขนาดคละที่มีเกรดแน่นทำให้น้ำและอากาศผ่านได้ยาก ความแข็งแรงของมวลรวมช่วยป้องกันการแตกจากน้ำหนักของยานพาหนะที่มากระทำ คุณสมบัติการเกาะยึดระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์จะช่วยไม่ให้มวลรวมหลุดลุ่ยออกได้ง่าย ภายใต้สภาวะการใช้งานขณะที่ผิวทางเปียกน้ำ

ค. ออกแบบส่วนผสมรวมทั้งการบดอัดในสนามที่ทำให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีต มีคุณสมบัติกันน้ำและอากาศให้ซึมผ่านได้ยาก

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์ขาดความทนทาน

1. ปริมาณแอสฟัลต์น้อยเกินไป ทำให้ผิวทางมีลักษณะแห้ง หินหลุดหล่อนได้ง่าย
2. ช่องว่างอากาศมากเกินไป อาจเนื่องมาจากการออกแบบไม่เหมาะสมหรือการบดอัดไม่แน่นเพียงพอ ทำให้แอสฟัลต์เชื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดรอยแตกหรือแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย
3. คุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ภายใต้สภาวะเปียกน้ำไม่ดีพอ ทำให้ฟิล์มหลุดล่อนออกจากมวลรวม ทำให้มวลรวมหลุดหรือไหลออกมาจาก ส่วนผสม

6.3 ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ

ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากปริมาตรช่องว่างอากาศที่เป็นตัวบ่งชี้ ถึงความยากง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศแล้วตัวบ่งชี้อื่น ๆ ที่สำคัญอีกได้แก่ ลักษณะของช่องว่าง ซึ่งได้แก่ขนาดของช่องว่างแต่ละช่องความต่อเนื่องกันของช่องว่าง และช่องว่างที่ทะลุถึงผิวนอกของแอสฟัลต์คอนกรีต

อย่างไรก็ตามความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความทนทาน แต่ในความเป็นจริงแล้วในแอสฟัลต์คอนกรีตยอมให้น้ำและอากาศสามารถซึมผ่านได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งหากมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนดแล้วก็ถือว่า ใช้ได้

สาเหตุที่ทำให้หน้าและอากาศซึมผ่านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

1. มีปริมาณแอสฟัลต์น้อยเกินไป ทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ทำให้มวลรวมหลุดออกเกิดเป็นช่องว่าง
2. ออกแบบส่วนผสมให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไป ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านง่ายขึ้น
3. บดอัดไม่แน่นเพียงพอ มีปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไป ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ง่าย

6.4 ความสามารถในการปูและบดอัด

ความสามารถในการปูและบดอัด (Workability) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในการทำผิวทางของถนน แอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูและบดอัดได้ยาก อาจแก้ไขให้ปูและบดอัดได้ง่ายขึ้นได้โดยการออกแบบใหม่ หรือเปลี่ยนชนิดของมวลรวม หรือเปลี่ยนขนาดกะของมวลรวม

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตปูและบดอัดยาก

1. ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมมีขนาดโตเกินไป และมีผิวหน้าหยาบ ทำให้ปูยาก
2. มวลรวมมีส่วนที่หยาบมากเกินไป ทำให้บดอัดยาก
3. อุณหภูมิขณะที่ทำการผสมมีค่าต่ำ ทำให้แอสฟัลต์เคลือบผิวมวลรวมได้ไม่ทั่วถึง ทำให้ได้ส่วนผสมที่มีความหนานานต่ำ ผิวหยาบ บดอัดได้ยาก
4. ทรายอนุภาคขนาดกลางมีในส่วนผสมมากเกินไป ทำให้ส่วนผสมไม่อยู่ตัว อ่อนยวบ ยาบ ขณะที่ทำการบดอัด จึงทำให้บดอัดได้ยาก
5. วัสดุอัดแทรกมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะอ่อนยวบ ยาบ น้ำซึมผ่านได้ง่าย
6. วัสดุอัดแทรกมีปริมาณมากเกินไป ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแห้งหรือเหนียวหนืด ทำงานยากและไม่ทนทาน

6.5 ความสามารถในการยึดหยุ่นตัว

ความสามารถในการยึดหยุ่นตัว (Flexibility) ได้โดยไม่แตก เป็นสิ่งที่ต้องการในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวโดยการทรุดตัวต่ำลง เนื่องจากการกระทำของน้ำหนักที่มากกดทับหรือโดยการโป่งพองขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของดินชั้นทางที่อยู่ข้างล่าง

แอสฟัลต์คอนกรีตเกรดเปิด (Open-Graded) จะสามารถแอนตัวได้ดีกว่าชนิดเกรดแน่น (Dense-Graded)

แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอนตัวได้ดีมักจะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่แอนตัวได้น้อย

6.6 ความต้านทานต่อการล้า

ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance) คือ ความสามารถในการต้านทานการดัดโค้งแบบซ้ำ ๆ (Repeated Bending) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักรถบรรทุกกระทำ ปริมาตรช่องว่างอากาศที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์ และความหนืดของแอสฟัลต์มีผลต่อความต้านทานต่อการล้าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศมาก ไม่ว่าจะเป็ผลจากการออกแบบหรือจากการบดอัดไม่แน่นเพียงพอ จะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลง ในทำนองเดียวกันการใช้แอสฟัลต์ที่เสื่อมสภาพและแข็งตัวได้ง่าย จะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงได้เช่นกัน นอกจากนี้ ความหนาและความแข็งแรงของ ชั้นผิวทาง ตลอดจนความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางก็มีผลต่ออายุ และความสามารถในการรับน้ำหนักของผิวทางได้โดยไม่เกิดรอยแตก ผิวทางที่หนาและมีชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางแข็งแรงจะทำให้มีการแอนตัวได้น้อยลง จึงมีอายุการรับน้ำหนักบรรทุกซึ่งกระทำซ้ำ ๆ ได้นานกว่า

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความต้านทานต่อการล้าได้ไม่ดี

1. มีปริมาณแอสฟัลต์น้อยเกินไปจะทำให้เกิดรอยแตกเมื่อมีน้ำหนักรถบรรทุกกระทำ ซ้ำ ๆ มากครั้ง
2. ออกแบบให้มีช่องว่างอากาศมากเกินไปทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพรวดเร็ว เกิดรอยแตกได้ง่าย
3. บดอัดไม่แน่นเพียงพอ ทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพ และเกิดรอยแตกได้ง่าย
4. ออกแบบผิวทางให้มีความหนาไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการแบนตัวมากเกินไป เป็นเหตุให้เกิดรอยแตกได้ง่ายเมื่อมีน้ำหนักรถบรรทุกกระทำ

6.7 ความต้านทานต่อการลื่นไถล

ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของถนนลาดยางเพราะช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางลื่นไถล

1. ปริมาณแอสฟัลต์มากเกินไป แอสฟัลต์บางส่วนทะลักออกมาที่ผิวหน้าทำให้ผิวทางลื่น
2. ขนาดคละและลักษณะผิวของมวลรวมไม่เหมาะสม ทำให้ผิวทางมีลักษณะเรียบเกินไป เมื่อน้ำมีโอกาสท่วมอนุภาคของมวลรวมจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตลื่นไถลได้
3. ผิวอนุภาคของมวลรวมถูกขัดสี ทำให้ผิวหน้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ลื่นไถลได้ง่าย

7. การผสมร้อน (Warm Mix Asphalt) โดย Advera WMA

Advera WMA (แอดเวรา ดับบลิวเอ็มเอ) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในเทคโนโลยีแอสฟัลต์ผสมอุ่น เพื่อช่วยให้ความหนืดของยางมะตอยลดลง สามารถเคลือบกับหินได้เป็นอย่างดี โดยการปล่อยอนุภาคน้ำในลักษณะฟองน้ำจำนวนมากขณะผสมกับยางมะตอยอย่างต่อเนื่อง

Advera WMA (แอดเวรา ดับบลิวเอ็มเอ) คือ ผง Hydrate Aluminosilicate เป็นสารสังเคราะห์ขนาดเล็ก คุณลักษณะพิเศษที่มีโครงสร้างภายในเป็นโพรง และภายในตัวเองมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 20%

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเฉพาะตัว ของ Advera

รูปแบบ (form)	สี (Color)	น้ำในโครงสร้างโมเลกุล (Moisture Loss)
เป็นผงที่มีการกระจายตัวได้ดี (Free Flow)	ขาว	18 – 21 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800 °C

ที่มา: เบญจภา (2556)

7.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ Advera WMA

- ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
- ลดกลิ่นและควันที่โรงงานผสมแอสฟัลต์
- ลดการปล่อยมลพิษได้มากถึง 60 % ทั้งที่โรงผสมแอสฟัลต์และบริเวณพื้นที่ปูลาดและบดอัด
- ช่วยทำให้ขนส่งได้ไกลขึ้น
- เดินทางได้นานขึ้น ไปที่ Site งานไกลจากโรงผสม
- ช่วยให้นำแอสฟัลต์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ในปริมาณที่มากขึ้น (RAP)

- เพิ่มประสิทธิภาพในการบดอัด

7.2 จุดเด่นของผลิตภัณฑ์ Advera WMA

- ผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำ ในช่วง 120 ถึง 150 °C และบดอัดได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 °C สำหรับ AC 60/70
- ไม่มีผลต่อเนื้อเยื่อทั้ง AC 60/70 และ Polymer Modified Asphalt (PMA)
- สามารถใช้ได้กับงานก่อสร้างผิวถนนทุกประเภท เช่น Dense Grade Mix ที่ใช้ AC 60/70 หรือ Polymer Modified Asphalt , GAP Grade Mix เช่น SMA
- สามารถใช้ผสมได้ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน
- มีระบบการฉีดป้อนสารเพิ่มคุณภาพทั้งชนิดเคลื่อนย้ายได้และชนิดติดตั้งแบบถาวร สำหรับทั้งในการผลิตแบบแบชท์และการผลิตแบบต่อเนื่อง (batch and drum plant)
- สามารถทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ
- มีโรงงานผลิตทั้งในอเมริกาเหนือ ยุโรป และเอเชีย รวมทั้งประเทศไทยซึ่งมีโรงงานผลิตตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัด ชลบุรี

7.3 การทำงาน

แอสฟัลต์ผสมร้อน (HMA) เป็นยางมะตอยซึ่งผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 150-165 °C แต่ด้วยการเติม แอดเวรา ดับบลิวเอ็มเอ (Advera WMA) ประมาณร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก (wt%) (2.5 กิโลกรัมต่อแอสฟัลต์คอนกรีต 1 ตัน) ทำให้สามารถผลิตยางมะตอยได้ที่อุณหภูมิต่ำลงมา 30-40 °C โดยไม่มีความจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนส่วนผสมอื่นใด

ผลิตภัณฑ์ Advera WMA (แอดเวรา ดับบลิวเอ็มเอ) สามารถช่วยเพิ่มการปลดปล่อยอนุภาคน้ำอย่างต่อเนื่องตามเวลาที่ผ่านไป (Time-Release Forming) และมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการผลิตแอสฟัลต์ผสมอุ่น Advera WMA (แอดเวรา ดับบลิวเอ็มเอ) มีอนุภาคน้ำซึ่งอยู่ในโครงสร้างผลึกประมาณ 20 % โดยขณะผสมกับยางมะตอยและหินมวลรวมที่ร้อน จะมีการคายอนุภาคน้ำออกมาทีละน้อย เป็นฟองน้ำขนาดจิ๋วจำนวนมาก (Micro Forming) ซึ่งฟองเหล่านี้ก็ได้สูญหายไปไหนในระหว่างการผสมเพราะยังสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทั้งในกระบวนการผลิตและขณะปูลาดผิวถนน ในการปฏิบัติงาน ทั้งกลิ่น ความร้อน และควันสีฟ้า ที่ระเหยออกจากยางมะตอยขณะผสม ก็จะลดลงอย่างมากอีกด้วย อุณหภูมิขณะใช้งานและอุณหภูมิในการผลิตสามารถต่ำลงประมาณ 30-40 °C แล้วยังสามารถใช้กระบวนการบดอัดได้ตามปกติจึงสะดวกต่อการปฏิบัติหน้างาน ทั้งนี้ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น ยังหมายถึง การที่สามารถขนย้ายได้สะดวกขึ้น และมีความหนาแน่นมากขึ้นด้วย ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความแน่นของยางระหว่างการบดอัดได้ นอกจากนั้นยังช่วยให้การนำแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในสัดส่วนที่มากขึ้น (RAP) การช่วยยืดเวลาในการทดงานภาคสนามและการทำให้สามารถขนส่งได้ระยะทางไกลมากขึ้น ก็ล้วนเป็นคุณสมบัติของ ผลิตภัณฑ์ Advera WMA (แอดเวรา ดับบลิวเอ็มเอ)

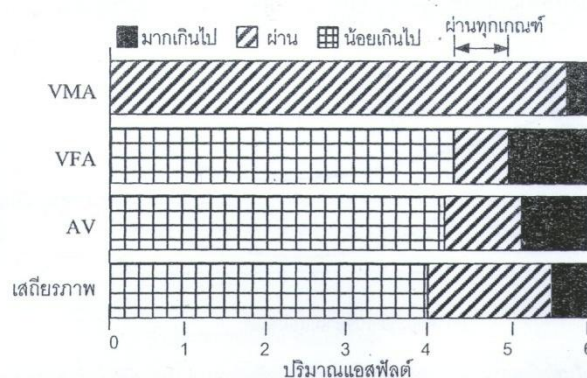
การทำให้อุณหภูมิในการผลิตลดต่ำลง ช่วยลดการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย (VOC) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่ลดลงได้มากถึง 60% การที่สารเหล่านี้ระเหยน้อยลง ย่อมช่วยทำให้เกิดสภาพแวดล้อมดีขึ้น ทั้งที่โรงงานแอสฟัลต์คอนกรีต ระหว่างการขนส่ง และในพื้นที่ปฏิบัติงานภาคสนาม ซึ่งย่อมเป็นผลดีต่อทั้งผู้ปฏิบัติงานและสาธารณสุข เพิ่มความเป็นมิตรกับชุมชนมากขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิต่ำลงยังสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานได้ถึง 30% อีกด้วย (เบญจภา, 2556)

8. การเลือกส่วนผสมที่ออกแบบ

จากส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ตามปกติสูตรของส่วนผสมที่จะนำมาใช้งานจะต้องเป็นสูตรของส่วนผสมที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจมากที่สุด โดยมีคุณสมบัติได้ตามเกณฑ์ของข้อกำหนดทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่ควรเจาะจงออกแบบส่วนผสมให้มีคุณสมบัติพิเศษเพียงข้อใดข้อหนึ่งของเกณฑ์กำหนด ส่วนผสมที่มีค่าเสถียรภาพสูงมากผิดปกติจะไม่ใช่ที่ต้องการ เพราะว่ามีวิวิธของถนนที่สร้างด้วยส่วนผสมดังกล่าวนี้มักจะมีความทนทานน้อยและเกิดรอยแตกร้าวก่อนเวลาอันควรภายใต้การจราจรที่มีปริมาณหนาแน่นมาก สถานการณ์เช่นนี้ถือว่าเป็นกรณีที่เกิดสำหรับถนนที่มีวัสดุของชั้นพื้นทางและดินคันทางที่มีคุณภาพอ่อนแอและมีการแอ่นตัวมากภายใต้สภาพการจราจรแน่น (วัชรินทร์, 2544)

8.1 ช่วงการยอมรับปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสม

การออกแบบปริมาณแอสฟัลต์จึงควรให้มีความพอดีที่จะเกิดความสมดุลต่อคุณสมบัติทุกประการของส่วนผสม โดยทั่ว ๆ ไปเกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบส่วนผสมจะมีช่วงการยอมรับปริมาณแอสฟัลต์ที่ทำให้ส่วนผสมได้คุณสมบัติเหมาะสมผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดครบทุกประการเป็นช่วงแคบ ๆ ดังในแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ช่วงที่ยอมรับได้ทุกเกณฑ์จะเป็นปริมาณแอสฟัลต์ช่วงแคบ ๆ

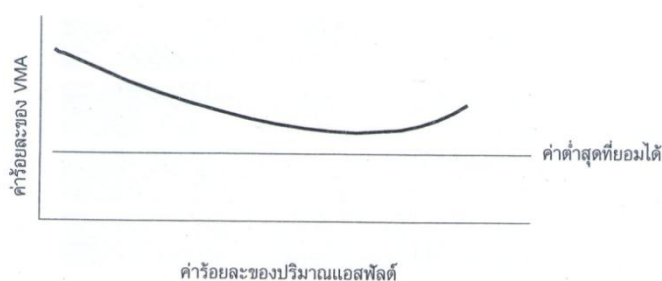
ที่มา: วัชรินทร์ (2544)

การเลือกปริมาณแอสฟัลต์สามารถปรับแก้ได้ภายในช่วงแคบ ๆ ดังกล่าวนี้นี้ ซึ่งจะทำได้ ส่วนผสมที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่ระบุไว้ในข้อกำหนดทุกประการ คุณสมบัติที่แตกต่างจากข้อกำหนด อาจวิกฤตมากขึ้นสำหรับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร โครงสร้างของถนน สภาพภูมิอากาศ การก่อสร้าง และองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนั้นกระบวนการที่สมดุลสำหรับถนนและการ ออกแบบส่วนผสมของแต่ละแห่งจึงไม่เหมือนกัน ควรประเมินข้อควรพิจารณาต่าง ๆ เหล่านี้ก่อนที่จะ กำหนดสูตรส่วนผสมครั้งสุดท้ายเพื่อที่จะนำมาใช้งานให้ได้ผลดีตามต้องการ

8.2 การประเมินค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจากกราฟเส้นโค้ง

ในทุก ๆ กรณีคุณสมบัติที่ยากที่สุดของส่วนผสมที่จะให้ได้ตามข้อกำหนด ก็คือค่าต่ำสุด ของปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) เพราะเป็นจุดประสงค์ที่ต้องการให้ส่วนผสม มีช่องว่างเพียงพอสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่จะสามารถยึดเกาะกับอนุภาคต่าง ๆ ของมวลรวมและช่วย ให้มวลรวมทุก ๆ อนุภาคเชื่อมประสานติดกันแน่น โดยที่จะไม่ทำให้แอสฟัลต์เยิ้มทะลักขึ้นมาได้เมื่อ อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและแอสฟัลต์ขยายตัว ตามปกติแล้วกราฟเส้นโค้งจะเป็นรูปตัวยูที่ค่อนข้างแบน และมีค่าลดลงจนถึงค่าต่ำสุดแล้วจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์มากขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงใน ภาพที่ 5

ค่า VMA ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแอสฟัลต์ที่บรรจุในส่วนผสมจะปรากฏเหมือนกับว่าขัดแย้ง กับคำจำกัดความ เพราะคนส่วนใหญ่มักคิดว่า ค่า VMA จะยังคงมีค่าคงที่ถึงแม้ว่าค่าปริมาณ แอสฟัลต์จะแปรเปลี่ยนไปโดยคิดว่าช่องว่างอากาศจะถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์อย่างธรรมดา แต่ ในความจริงแล้วปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอย่างที่คนทั่ว ๆ ไปคิด เนื่องจากว่าปริมาตรทั้งหมด ของส่วนผสมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณแอสฟัลต์มีค่าเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสมมุติฐานที่ว่าปริมาณ รวมของส่วนผสมมีค่าคงที่เสมอจึงไม่ถูกต้อง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ๆ ก็คือว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ แอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทำงานและบดอัดได้ง่ายขึ้น หมายความว่า น้ำหนักมากขึ้นแต่สามารถอัดให้มีปริมาตรได้น้อยลง ดังนั้นเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งความหนาแน่นทั้งก้อนของ ส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นและค่า VMA จะลดลง



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VMA กับขีดจำกัดของข้อกำหนด ในกรณีที่ค่าต่ำสุดของ VMA มากกว่าข้อกำหนด

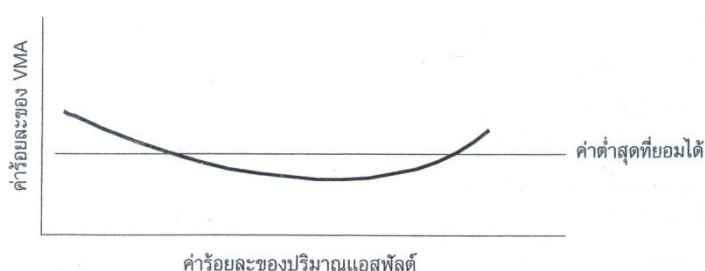
ที่มา: วชิรินทร์ (2544)

บางกรณีที่จุดกันโค้งรูปตัวยูกันแหลมของกราฟปรากฏว่า เมื่อปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น ค่า VMA ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเพราะว่ามวลรวมจะถูกแทนที่และถูกผลักให้ออกห่างจากกันด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ จึงขอแนะนำว่าไม่ควรใช้ปริมาณแอสฟัลต์ในช่วงเปียกหรือช่วงที่เพิ่มขึ้นทางด้านขวามือของกราฟเส้นโค้ง ถึงแม้ว่าจะมีค่า AV ต่ำสุด และ VMA ได้ตามเกณฑ์แล้วก็ตาม เพราะว่าการออกแบบโดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์ในช่วงนี้จะมีแนวโน้มว่าส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จะเป็นส่วนผสมที่เยิ้ม และ/หรือแสดงสภาพการไหลแบบพลาสติกเมื่อนำไปใช้ปูในสนาม นอกจากนี้ การบดอัดที่เพิ่มเติมจากปริมาณการจราจรของยานพาหนะที่แล่นบนถนนจะทำให้ไม่มีช่องว่างเหลือพอสำหรับที่แอสฟัลต์ขยายตัวและทำให้มวลรวมแต่ละอนุภาคห่างกันมากไปแล้วยังทำให้เกิดเป็นร่องล้อ และคลื่นจากการแล่นไปมาของยานพาหนะอีกด้วย

ในทางปฏิบัติที่เหมาะสมแล้วการออกแบบควรเลือกใช้ปริมาณแอสฟัลต์ในช่วงที่ค่อนข้างต่ำทางด้านซ้ายเล็กน้อยจากจุดต่ำสุดของกราฟ VMA ซึ่งจะทำให้ได้สัดส่วนผสมที่ไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนด

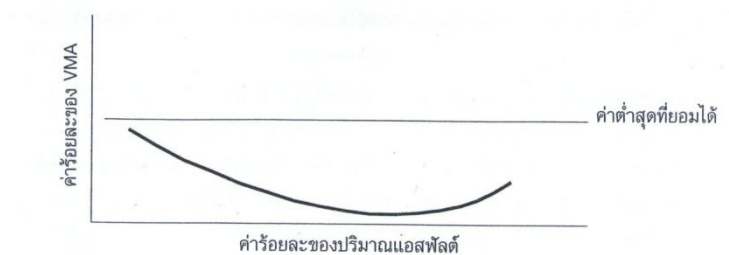
ในส่วนผสมบางชุดจะพบว่ากราฟเส้นโค้งรูปตัวยูของ VMA มีก้นค่อนข้างแบนมาก หมายความว่าส่วนผสมที่ได้รับการบดอัดแล้วไม่ค่อยมีผลกระทบจากปริมาณแอสฟัลต์ที่บรรจุในช่วงนี้มากเท่าไรนัก เมื่อเทียบกับผลกระทบจากตัวประกอบอื่น ๆ ในส่วนผสม ส่วนผสมที่มีปริมาณแอสฟัลต์ในช่วงปกติจะพบว่าคุณสมบัติของมวลรวมจะมีอิทธิพลมากต่อความสามารถในการบดอัดได้ อย่างไรก็ตามที่บางจุดปริมาณแอสฟัลต์ก็จะกลายเป็นตัววิกฤตต่อพฤติกรรมของส่วนผสมและผลกระทบของแอสฟัลต์จะมีอิทธิพลเหนือตัวประกอบต่าง ๆ เมื่อ VMA มีค่าเพิ่มขึ้นมาก

เมื่อกราฟเส้นโค้งรูปตัวยูของ VMA มีก้นโค้งอยู่ต่ำกว่าค่าต่ำสุดของเกณฑ์ข้อกำหนด สำหรับขนาดมวลรวมค่ามากที่สุดที่ระบุของส่วนผสมดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสูตรส่วนผสมที่ใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดขนาดคละของมวลรวมควรมีการดัดแปลงแก้ไขให้ได้ค่า VMA เพิ่มเติม



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VMA กับขีดจำกัดของข้อกำหนด
ในกรณีที่ค่าต่ำสุดของ VMA น้อยกว่าข้อกำหนด

ที่มา: วัชรินทร์ (2544)



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VMA กับขีดจำกัดของข้อกำหนด
ในกรณีที่กราฟของ VMA ทั้งหมดอยู่ต่ำกว่าข้อกำหนด

ที่มา: วัชรินทร์ (2544)

ช่วงซ้ายมือของกราฟเส้นโค้งรูปตัวยูของ VMA จะทำให้ส่วนผสมแห้งมากไปซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการแยกตัวได้ และอาจทำให้มีช่องว่างอากาศในส่วนผสมมากเกินไปด้วย ช่วงขวามือของกราฟอาจทำให้ส่วนผสมเกิดร่องล้อได้เมื่อนำไปใช้งาน

ถ้ากราฟเส้นโค้งรูปตัวยูของ VMA ทั้งหมดอยู่ต่ำกว่าค่าต่ำสุดของเกณฑ์ข้อกำหนด ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่ให้เห็น ว่าส่วนผสมที่ออกแบบใช้ไม่ได้ควรทำการออกแบบใหม่ และ/หรือเปลี่ยนแหล่งวัสดุที่ใช้

8.3 ผลจากระดับของการบดอัด

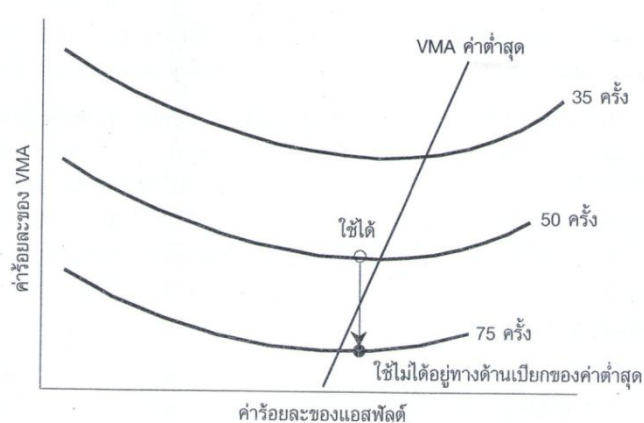
ที่ปริมาณแอสฟัลต์ค่าเท่ากันมักพบว่าทั้งค่าช่องว่างอากาศ (AV) และช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) จะมีค่าลดลงเมื่อใช้แรงพยายามในการบดอัดที่มีค่ามากขึ้น ระดับของการบดอัดสำหรับกระบวนการผลิตส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลล์แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งสามารถอธิบายผลของการบดอัดได้ ดังต่อไปนี้

ในภาพที่ 8 แสดงผลให้เห็นว่าไม่เพียงเฉพาะขนาดของค่าต่าง ๆ เท่านั้นที่เปลี่ยนไปแต่ค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่ค่า VMA มีค่าต่ำสุดก็เลื่อนไปด้วย

ตามภาพที่ระดับของการบดอัด 50 ครั้ง ถ้าออกแบบส่วนผสมไปทางด้านซ้ายของค่า VMA ค่าต่ำสุดเพียงเล็กน้อยและให้รองรับปริมาณจราจรมากกว่าที่คาดไว้โดยให้ใกล้เคียงกับการบดอัด 75 ครั้ง เมื่อพล็อตค่าปริมาณแอสฟัลต์ค่าเดียวกันลงบนกราฟของการบดอัด 75 ครั้ง จะปรากฏว่าอยู่ทางด้านขวาของค่า VMA ค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นค่าทางด้านเปียกของการบดอัด 75 ครั้ง ผลก็คือส่วนผสมจะอ่อนไหวต่อการเกิดร่องล้อ (Rutting)

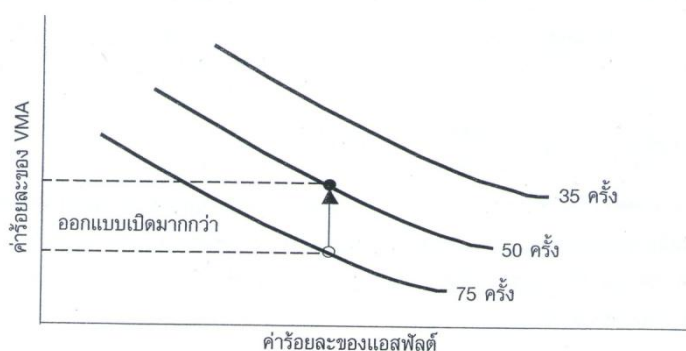
ในทางกลับกัน ถ้าออกแบบส่วนผสมที่ระดับของการบดอัด 75 ครั้ง แต่นำส่วนผสมไปใช้ทำผิวทางที่รองรับ ปริมาณการจราจรต่ำกว่าที่ออกแบบมาก ผลที่ได้คือค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ จะมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 9 สภาวะเช่นนี้ ส่วนผสมจะมีช่องว่างเปิดมากยอมให้อากาศและน้ำซึมผ่านทะลุได้อย่างง่ายดาย ผลที่ตามมาจากสภาพดังกล่าวนี้ก็คือส่วนผสมจะแข็งก่อนเวลาอันสมควร มีคุณสมบัติเปราะและแตกร้าวได้ง่ายตั้งแต่อายุยังน้อย ๆ หรือมวลรวมหลุดออกจากส่วนผสมได้ง่ายเพราะขาดการยึดเกาะกับแอสฟัลต์ และนำไปสู่การหลุดลอก (Stripping) ของมวลรวมจากแอสฟัลต์

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องใช้ระดับของการบดอัดให้เป็นไปตามปริมาณการจราจรที่จะมาใช้ถนนตามที่คาดไว้ใน การออกแบบและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 8 ผลจากระดับของการบดอัดที่มีต่อช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)

ที่มา: วัชรินทร์ (2544)



ภาพที่ 9 ผลจากระดับของการบดอัดที่มีต่อช่องว่างอากาศ (AV)

ที่มา: วัชรินทร์ (2544)

ข้อควรระวังพึงระลึกไว้เสมอว่า เกณฑ์ข้อกำหนดของ VMA ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของการบดอัด เหตุผลสำหรับการมี VMA เพียงพอจะยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปริมาณการจราจรเพื่อให้มีช่องว่างพอสำหรับแอสฟัลต์และช่องว่างอากาศ

8.4 ผลของช่องว่างอากาศ

ควรตระหนักไว้ว่าช่วงการออกแบบสำหรับช่องว่างอากาศที่ค่าร้อยละ 3 ถึง 5 คือช่วงที่ต้องการหลังจากเปิดให้มีการจราจรแล้วเป็นเวลาหลาย ๆ ปี การออกแบบให้ได้ช่องว่างอากาศดังกล่าวนี้จะเกิดได้ต่อเมื่อส่วนผสมได้รับการออกแบบที่มีการบดอัดอย่างถูกต้องและมีค่าร้อยละของช่องว่างอากาศประมาณ 8 หลังจากเพิงก่อสร้างเสร็จ การยุบตัวอัดแน่นหลังจากเปิดการจราจรเป็นสิ่งคาดหวังและต้องการในเวลาต่อมา

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งหรือการหลีกเลี่ยงขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการจะมีผลให้เกิดการสูญเสียสมรรถภาพหรืออายุของการบริการได้ จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่าส่วนผสมที่มีการยุบตัวอัดแน่นจนมีช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 3 จะเกิดร่องล้อและเคลื่อนไหวได้ง่ายถ้านำไปเป็นผิวทางบริเวณที่มีการจราจรปริมาณหนาแน่นมาก แต่ก็อาจมีองค์ประกอบอีกหลายอย่างที่จะช่วยก่อให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ ตัวอย่างเช่น ปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มมากขึ้นในส่วนผสมทั้งโดยตั้งใจและบังเอิญ หรือมีการเพิ่มปริมาณอนุภาคขนาดเล็กซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ($75 \mu\text{m}$) มากเกินกว่าที่กำหนดใช้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ในทำนองคล้าย ๆ กัน ปัญหาต่าง ๆ อาจเกิดขึ้นได้ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศค่าสุดท้ายมีค่ามากกว่าร้อยละ 5 หรือผิวทางของถนนที่เพิงก่อสร้างเสร็จมีค่าช่องว่างอากาศมากกว่าร้อยละ 8 ในตอนเริ่มต้นสภาพอย่างนี้จะทำให้ผิวทางที่ใช้ส่วนผสมดังกล่าวมีคุณสมบัติเปราะ แตกร้าวก่อนเวลาอันสมควร หรือหลุดลอกได้ง่าย

การออกแบบที่ดีจึงควรจำกัดการปรับแก้ปริมาณแอสฟัลต์ให้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของช่องว่างอากาศจากค่ามัธยฐานของเกณฑ์การออกแบบที่มักจะกำหนดไว้ร้อยละ 4 โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านต่ำของช่วงและควรตรวจสอบว่าส่วนผสมจากโรงผสมมี องค์ประกอบเหมือนกับส่วนผสมจากห้องปฏิบัติการ

8.5 ผลของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์

ถึงแม้ว่าค่า VMA VFA และ AV จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและมีเพียงสองค่าที่จำเป็นสำหรับหาค่าอีกค่าที่เหลือ รวมทั้งเกณฑ์ข้อกำหนดของ VFA จะช่วยป้องกันการออกแบบให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับ VFA ได้ ผลอันสำคัญของเกณฑ์ข้อกำหนด VFA ก็คือจำกัดระดับค่าสูงสุดของ VFA และที่ตามมาคือระดับค่าสูงสุดของปริมาณแอสฟัลต์

ค่า VFA จะจำกัดช่องว่างอากาศที่ยอมได้สำหรับส่วนผสมที่มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ข้อกำหนดของ VFA ค่าต่ำสุด ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับปริมาณการจราจรที่เบาบางกว่าจะไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของ VFA ที่มีช่องว่างอากาศขนาดร้อยละ 5 ถึงแม้ว่าจะได้ตามเกณฑ์ข้อกำหนดของช่องว่างอากาศก็ตาม จุดประสงค์ก็คือหลีกเลี่ยงส่วนผสมที่มีความหนาแน่นน้อยในสภาพการณที่มีปริมาณการจราจรเบาบาง

ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับปริมาณจราจรหนาแน่นจะไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของ VFA ที่มีช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 3.5 ถึงแม้ว่าปริมาณช่องว่างอากาศจะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ก็ตาม เพราะว่าช่องว่างอากาศปริมาณน้อยจะทำให้วิกฤตได้ในแง่ของการเสีรฐอย่างถาวร เกณฑ์ข้อกำหนดของ VFA จะช่วยหลีกเลี่ยงไม่ไห้ส่วนผสมอ่อนไหวง่ายต่อการเกิดร่องล้อในสถานการณ์ที่มีการจราจรหนาแน่น

เกณฑ์ข้อกำหนดของ VFA ช่วยเพิ่มองค์ประกอบด้านความปลอดภัยต่อกระบวนการของการออกแบบและการก่อสร้างในแง่ของสมรรถภาพ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบและการก่อสร้างจริง ๆ ดังนั้นจึงควรเพิ่มขอบเขตเผื่อไว้สำหรับความผิดพลาดด้วย

8.6 อิทธิพลของโครงสร้างและภูมิอากาศ

การออกแบบส่วนผสมจะต้องคำนึงถึงตัวประกอบหลายอย่างปริมาณแอสฟัลต์ที่จะทำให้ส่วนผสมมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในทุก ๆ ด้านรวมถึงผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดทุกอย่างจะต้องพิจารณาค่าต่าง ๆ ในการออกแบบอย่างละเอียดรอบคอบ กระบวนการในการตัดสินใจสำหรับการเลือกปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะแปรตามสภาพแวดล้อมรวมทั้งข้อจำกัดในแต่ละกรณีด้วย

ประเภทของโครงสร้างถนนก็เป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงการประเมินของวิศวกรได้หลาย ๆ วิธี ตัวอย่างเช่นถนนประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูทับบนโครงสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตก็จะเกี่ยวข้องกับการล้าเพียงเล็กน้อย เพราะว่าความเครียดจากแรงดึงที่บริเวณข้างล่างของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูทับจะมีค่าเพียงเล็กน้อย นอกจากนั้นยังเป็นจริงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชั้นดินคันทางซึ่งสัมพันธ์กับความเครียดจากแรงกดบริเวณด้านบนของชั้นดินคันทางนั้น สิ่งสำคัญที่ยังต้องพิจารณาก็คือจะต้องจำกัดการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีต รวมทั้งจะต้องปรับปรุงเสริมคุณภาพสำหรับลดการเกิดรอยแตกร้าวด้วยวิธีการอย่างไรจึงจะได้ผลดี ในกรณีพิเศษเช่นนี้ก็ควรตรวจสอบผลของการเปลี่ยนแปลงการบดอัดในห้องปฏิบัติการและในสนามทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสม

การพิจารณาการบดอัดว่าจะใช้รถบดขนาดหนักกว่าหรือระยะเวลาในการบดอัดนานกว่าเพื่อที่จะให้ได้ความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่าเดิมด้วยปริมาณแอสฟัลต์น้อยกว่าในส่วนผสมนั้นจะ

ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้างอย่างมาก ในกรณีเช่นนี้ควรหลีกเลี่ยงการใช้ส่วนผสมที่มีปริมาณแอสฟัลต์อยู่ทางด้านมากของช่วงที่ยอมรับได้ในข้อกำหนด

สำหรับถนนลาดยางทั่ว ๆ ไป จำเป็นต้องประเมินค่าดัชนีซึ่งเป็นตัวชี้บอกสมรรถภาพของถนนในเทอมของการบำรุงรักษาในอนาคต สิ่งสำคัญก็คือจะต้องป้องกันชั้นดินคันทางด้วยโครงสร้างถนนอย่างเพียงพอ ส่วนผสมที่มีปริมาณแอสฟัลต์ด้านมากของช่วงที่ยอมรับมีแนวโน้มที่จะแตกร้าวยากเพราะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ในทำนองกลับกันส่วนผสมที่มีปริมาณแอสฟัลต์ด้านน้อยของช่วงที่ยอมรับจะมีแนวโน้มที่จะเกิดร่องล้อยาก

สภาพภูมิอากาศมีผลกระทบอย่างมากต่อส่วนผสมและประสิทธิภาพของโครงสร้าง ถนนตารางที่ 4 ได้แนะนำเกรดของแอสฟัลต์ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศที่อุณหภูมิค่าต่าง ๆ ในสภาพภูมิอากาศร้อนมักนิยมใช้แอสฟัลต์เกรดที่แข็งกว่าและหนักมากกว่า เพื่อให้ได้ความเสถียรภาพที่มากกว่าจากการยึดเกาะของแอสฟัลต์และการยึดเกาะขัดเสียดกันเองระหว่างอนุภาคของมวลรวม แต่ถ้าการออกแบบและการก่อสร้างที่ทำให้ส่วนผสมมีการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ กรณีนี้คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ก็จะมีค่าน้อยลง และควรใช้ปริมาณแอสฟัลต์ทางด้านน้อยของช่วงที่ยอมรับได้ ในสภาพภูมิอากาศเย็นมักแนะนำให้ใช้แอสฟัลต์เกรดที่อ่อนกว่าและหนักน้อยกว่า เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่ไม่อ่อนไหวต่อการเกิดรอยแตกร้าวยากจากการหดตัวเนื่องจากสภาพอุณหภูมิต่ำ สภาพเช่นนี้มักจะไม่น่าจะก่อให้เกิดร่องล้อ โดยทั่วไปแล้วกรณีนี้มักใช้ปริมาณแอสฟัลต์ด้านมากของช่วงที่ยอมรับได้ซึ่งช่วยให้ยืดหยุ่นดีขึ้น

8.7 เงื่อนไขโครงการ

ฤดูกาลของปีที่จะมีการก่อสร้างถนนก็เป็นตัวประกอบสำคัญอันหนึ่งที่จะต้องพิจารณา เมื่อทำการเลือกปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ออกแบบครั้งสุดท้าย การก่อสร้างในช่วงฤดูร้อนมักใช้ปริมาณแอสฟัลต์ค่าต่ำกว่า ในขณะที่ช่วงฤดูที่มีอากาศหนาวเย็นกว่ามักใช้ปริมาณแอสฟัลต์ค่าสูงกว่าเพื่อให้สามารถทำการบดอัดได้ดีขึ้นในสภาพอุณหภูมิที่เย็นกว่า การเปลี่ยนค่าปริมาณแอสฟัลต์จะมีเพียงปริมาณเล็กน้อยซึ่งอยู่ในช่วงแคบ ๆ ที่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว

ปริมาณการจราจรและการจัดการเกี่ยวกับการจราจรก็มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ ขั้นสุดท้ายด้วยสำหรับการเลือกระดับการบดอัดและเกณฑ์ข้อกำหนดการออกแบบของส่วนผสมในห้องปฏิบัติการนั้นถ้าปริมาณการจราจรจริง ๆ อยู่ที่ปลายต่ำสุดหรือปลายสูงสุดของการจำแนกประเภทการจราจรก็จำเป็นต้องมีการปรับค่าปริมาณแอสฟัลต์เล็กน้อยตามสภาพการนั้น ๆ บริเวณที่มีปริมาณการจราจรสูงกว่าอาจต้องการปริมาณแอสฟัลต์จำนวนน้อยกว่าซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนผสมที่จะนำมาใช้ปูทับผิวทางเดินซึ่งเป็นช่องทางวิ่งที่ต้องรองรับปริมาณการจราจรที่มีน้ำหนักบรรทุกมากอย่างเช่น ช่องทางวิ่งสำหรับรถบรรทุกหนักที่มีการใช้ความเร็วต่ำมาก ๆ และช่องทางวิ่งที่มีความลาดชันมาก จะต้องเพิ่มความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตและการก่อสร้าง ปริมาณแอสฟัลต์ที่ออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกจากค่าที่ปลายต่ำสุดของช่วงที่ยอมรับได้และจะต้อง

ได้ตามข้อกำหนดของการบดอัดเริ่มต้น และจะต้องไม่ให้มีการจรรยาจนกว่าส่วนผสมจะเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเข้าสู่อุณหภูมิปกติ การปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงนี้จะช่วยให้แอสฟัลต์เพิ่มเสถียรภาพให้กับส่วนผสม และจะช่วยลดการลื่นไหลในการบดอัดด้วย

ตารางที่ 4 การเลือกเกรดของแอสฟัลต์

สภาพอุณหภูมิ	เกรดของแอสฟัลต์	
เย็น : อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย $\leq 7^{\circ}\text{C}$ (45°F)	AC - 5	AC - 10
	AR - 2,000	AR - 4,000
	120/150 pen.	85/100 pen.
อุ่น : อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7°C (45°F) และ 24°C (75°F)	AC - 10	AC - 20
	AR - 4,000	AR - 8,000
	85/100 pen.	60/70 pen.
ร้อน : อุณหภูมิอากาศ $\geq 24^{\circ}\text{C}$ (75°F)	AC - 20	AC - 40
	AR - 8,000	AR - 16,000
	60/70 pen.	40/50 pen.

ที่มา: วัชรินทร์ (2544)

9. ยางธรรมชาติ

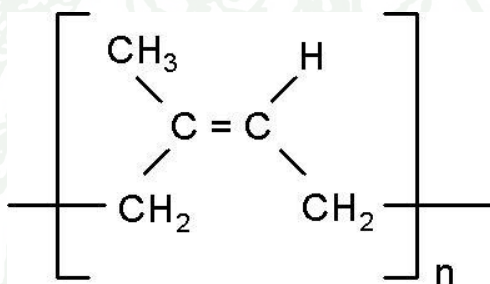
ผลผลิตยางภายในประเทศไทยนั้น ประวัติศาสตร์ได้บันทึกไว้ว่า เมื่อครั้งที่เจ้าพระยาธรรมาธิราชบุรี ประดิษฐ์เดินทางไปมาเลเซีย ท่านได้เห็นสวนยางพารา จึงคิดนำยางมาปลูกในไทยบ้าง แต่รัฐบาลอังกฤษซึ่งยึดครองมาเลเซียขณะนั้นอยู่ไม่อนุญาต ต่อมาในพ.ศ. 2444 พระสถลสถานพิทักษ์ซึ่งได้เดินทางไปดูงานที่อินโดนีเซีย สามารถนำกล้ายางกลับมาได้ จึงนำกล้ายางต้นแรกไปปลูกที่บ้านพัก ที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง เพราะต้นยางเจริญเติบโตดีมาก การปลูกจึงได้ขยายขยับมากขึ้นๆ จนมีเนื้อที่ถึง 45 ไร่ (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2556)

จากนั้นพระยาธรรมาธิราชบุรีจึงจัดให้ข้าราชการไปเรียนวิชาปลูกยางเพื่อนำไปถ่ายทอดให้ชาวบ้านรู้จักปลูก รู้จักทำสวนยางบ้าง และได้นำพันธุ์ยางดีๆ ไปแจกจ่ายให้คนได้รู้จักปลูกยางกันแพร่หลายจนทำให้ท่านได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดายางพาราของไทยมาจนทุกวันนี้

ยางธรรมชาติ มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า ฮีเวีย บราซิลเลียนซิส (Hevea Brazilliensis) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำ อเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะข้นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่าน

กระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C₅H₈) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000 -20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง



ภาพที่ 10 โครงสร้างแบบ cis-1, 4-polyisoprene

ที่มา: สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (2556)

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนแ่ยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปใน

แม้พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ง่ายที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า " ยางสุกหรือยางคงรูป " (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat Build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้นของ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะ สำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ง่ายที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double Bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับต่างๆ ดังกล่าว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศไทย

นฤดล. (2544) ทำการวิจัยปรับปรุงคุณภาพของยางแอสฟัลต์อิมัลชันชนิด CSS – 1h โดยใช้ยางธรรมชาติมาเป็นส่วนผสม ใช้ตั้งแต่ 4.5 ถึง 6.0 % โดยน้ำหนัก พบว่าช่วยให้คุณสมบัติของแอสฟัลต์อิมัลชันในด้านฟื้นตัวกลับ (Elastic recovery) เพิ่มขึ้นมากกว่า 8 เท่า ที่ปริมาณน้ำยางชั้นธรรมชาติ 4.5 % และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองผสมเป็นส่วนผสมสเลอร์ซีล พบว่าต้องใช้ปริมาณแอสฟัลต์อิมัลชัน 14 % สำหรับหินบะซอลต์ และ 13 % สำหรับหินปูน โดยน้ำหนัก 100 % ของมวลรวม พบว่าสามารถรับแรงที่กระทำได้ดีขึ้น ทนต่อการสึกกร่อน มีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น มีค่าความเสถียรภาพสูงขึ้น โดยการทดลองจากมวลรวมทั้งสองชนิด พบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ณพรัตน์ (2551) ทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางเพื่อใช้ในงานถนน ทำให้ถนนมีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา โดยทำการผสมระหว่างยางพารา กับแอสฟัลต์ แต่พบปัญหาอุปสรรคในการผสมยางพารา เนื่องจากถ้าใช้ยางพาราที่เป็นยางแผ่นรมควันหรือเป็นประเภทยางแห้ง จะต้องใช้เครื่องผสมที่มีแรงเฉือนสูง แต่ถ้าใช้ยางพาราประเภทน้ำยางซึ่งได้แก่น้ำยางชั้นหรือน้ำยางสดจะเกิดปัญหาเรื่องฟองที่เกิดขึ้นขณะผสม จึงทดลองผสมยางแห้งพวกยางเต่าหุ้และเศษยางแผ่นรมควันผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์อัตราส่วน 1 :1 เป็น Masterbatch ก่อนนำไปผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ และทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยผลปรากฏว่าการทดลองใช้ยางพาราชนิดน้ำชั้นที่ทำการทดสอบในปี 2545 มีผลการทดลองที่ดีกว่า การใช้ยางเต่าหุ้และเศษยางแผ่นรมควัน ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมยังไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ เนื่องจากประสิทธิภาพเครื่องผสมยังดีไม่พอ คุณสมบัติของแอสฟัลต์ผสมยางแห้งชนิดต่าง ๆ ดูได้ตามตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 สมบัติของแอสฟัลต์ผสมยางแห้งชนิดต่าง ๆ

สมบัติ	AC 60/70	แอสฟัลต์ผสมเศษยาง	แอสฟัลต์ผสมยางเต้าหู้
Penetration	67	67	62
Softening Point	48.5	49.5	54
Penetration Index	-0.86	-0.04	0.31
Torsional Recovery	10	20	13
Toughness / Tenacity			
- Toughness	59.7	60.41	79.86
- Tenacity	18.22	21.11	23.31
Density	1.0389	1.0388	1.0229
Flash Point	338	324	314

ที่มา: ฌพรรัตน์ (2551)

ตารางที่ 6 สมบัติของแอสฟัลต์ผสมยางพาราชนิดน้ำยางชั้น

สมบัติ	อัตราส่วนเนื้อยางแห้งในยางมะตอย		
	0%	2%	5%
Penetration (0.1 mm.)	65	56	52
Softening Point (°C)	48	50	61
Penetration Index	-1.2	-0.9	+1.3
Ductility (cm.)	150	37	33
Torsional Recovery (%)	5.6	11	21.1
Toughness (Kg.cm.)	71.2	93.1	102.6
Tenacity (Kg.cm.)	23.9	25.1	44.6

ที่มา: ฌพรรัตน์ (2551)

ชยธันว์ และคณะ. (2553) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อให้สามารถระบายน้ำได้ โดยใช้วัสดุมวลรวมเปรียบเทียบระหว่างหินปูนกับตะกรันเหล็ก รวมทั้งหาความเหมาะสมในการออกแบบอัตราส่วนผสม โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ 1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวม 2 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุมวลรวม 3 การหาความหนาที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความสามารถในการระบายน้ำจากการศึกษาพบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำที่มีความสามารถในการระบายน้ำ ได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง และมีแรงเสียดทานที่ดีกว่าในสภาพแห้งและเปียก โดยแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมจะมีความทนทานและมีความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้ดีกว่าใช้หินปูนเป็นมวลรวมเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับต้นทุนของวัสดุนั้น แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับโพลีเมอร์ (SBS 40% ผสมในเรซิน) 12% โดยน้ำหนัก ซึ่งคิดเป็นปริมาณ SBS 4.8% โดยน้ำหนัก

ก่อโชค . (2555) ได้ศึกษาการใช้งานไปในชั้นผิวทาง โดยศึกษาการทำพาราสเลอรีซิล ใช้ซ่อมผิวทางด้วยการฉาบบนผิวทางเพื่อเพิ่มความแข็งแรง คงทน การยึดเกาะ และทนต่อสภาพอากาศ และได้พบว่ามีอายุการใช้งานนานขึ้นถึง 2.5 เท่า เมื่อใช้น้ำยางชั้น 5%

2. งานวิจัยต่างประเทศ

Fernando and Nodara. (1969) ได้พัฒนาปรับปรุงโดยใช้ น้ำยางสด น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ และหางน้ำยาง อัตรา 2-4 % ในแอสฟัลต์ AC 80/100 แบบ Hot Mix Asphalt โดยการพ่นน้ำยางธรรมชาติลงในแอสฟัลต์ที่มีอุณหภูมิ 300-325 ° F และมีการคนตลอดเวลา พบว่า แอสฟัลต์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งในด้านความแข็งแรง จุดอ่อนตัว แต่ค่าการยึดดึงต่ำลง

Takalou. (1987) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ Rubber-Modified Asphalt ในพื้นที่ที่มีอากาศเย็น โดยใช้เศษยาง ขนาดประมาณ ¼ นิ้ว ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อน (asphalt cement) พบว่า ความต้านทานการแตกร้าวดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ สามารถอยู่ภายใต้ความชื้นได้โดยไม่เสียหาย ความต้านทานที่ถนนมีกับล้อรถดีขึ้น และมลภาวะทางเสียงลดลง

Nair et al. (1998) ได้พัฒนาปรับปรุงแก้ไข และทดลองส่วนผสมแอสฟัลต์ด้วยแผ่นรมควัน โดยเปลี่ยนแผ่นรมควันให้อยู่ในรูปสารละลาย (Liquid Natural Rubber : LNR) จากนั้นนำไปผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2 ชนิด คือ Penetration grade และ Blown grade ผสมโดยกระบวนการผสมร้อน พบว่าเมื่อเติมสารละลาย LNR ทำให้คุณสมบัติแอสฟัลต์ดีขึ้น เช่น ทำให้การยึดดึงลดลง แต่จุดอ่อนตัวสูงขึ้น

Kongsuwan. (2003) ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับ ปัญหาที่เกิดจากการเชื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของถนนยางมะตอย เนื่องจากเกิดการเย็นจึงได้ทดลองใช้ยางมะตอยผสมโพลีเมอร์ที่มี ส่วนผสมของยางพาราธรรมชาติในการผสมร้อน พบว่าวัสดุเศษยางรถบรรทุกในประเทศไทย สามารถ ผสมได้กับ AC 60/70 ในการผสมร้อน หรือผสมกับ CSS-1h ในการผสมเย็นได้ และพบว่ามีความสมบัติ ความต้านทานต่อการล้า ของผิวถนนดีกว่ายางมะตอยธรรมดาถึง 1.5 เท่า และยังสามารถต้านทาน การสั่นไถลและการดูดซับเสียงได้ดีอีกด้วย

Mashaan. (2011) นักค้นคว้าชาวมาเลเซีย ได้ขยายผลการศึกษาไปถึงเศษยางที่จะนำมา ผสมรวมกับยางมะตอย CRM (crumb rubber modifier) โดยใช้วัสดุเหลือจำพวกเศษยางมาเพิ่ม ประสิทธิภาพในการผสมร้อน พบว่าถนนมีคุณสมบัติดีขึ้น เพิ่มความยืดหยุ่น ทนต่อร่องล้อ มีความ ทนทานต่อการใช้งาน ทั้งเศษยางเป็นส่วนผสมที่ลดปัญหามลพิษและปกป้องสิ่งแวดล้อม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

1. มวลรวม

มวลรวม (Aggregates) ที่ใช้สำหรับงานแอสฟัลต์คอนกรีตจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และวัสดุผสมแทรก มวลรวมหยาบ หมายถึง ส่วนที่ค้ำตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ปกติมวลรวมหยาบจะใช้หินไม่ตั้งแต่ 2 ขนาดขึ้นไปผสมกัน เช่น ใช้หินขนาดโตสุด 19.0 มิลลิเมตร ผสมกับหินขนาดโตสุด 9.5 มิลลิเมตร เป็นต้น หินแต่ละขนาดที่ใช้จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นขนาดเดี่ยว (Single Size) ทั้งนี้เพื่อลดการแยกตัว (Segregation) ส่วนมวลรวมละเอียด หมายถึง ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) และวัสดุอัดแทรก วัสดุอัดแทรกนี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม หมายถึง มวลรวมส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ใช้ผสมเพิ่มในกรณีเมื่อผสมมวลรวมหยาบกับมวลรวมละเอียดเป็นมวลรวมแล้ว ส่วนละเอียดในมวลรวมยังมีไม่พอ วัสดุอัดแทรกที่ใช้ได้แก่ ฝุ่นหิน (Stone Dust) ปูนขาว หรือปูนซีเมนต์

สำหรับในงานวิจัยนี้ ใช้วัสดุเพียง 2 ประเภท คือ มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด จากโรงโม่หิน ศิลามิตรเจริญ (บริษัทอุทธรณ์จำกัด) อ.อุทธรณ์ จ.สุพรรณบุรี ปริมาณหินที่ใช้ในแต่ละ Bin ตามตารางที่ 7 โดยการออกแบบเลือกใช้เฉพาะหินร้อน (Hot Bin)

ตารางที่ 7 ปริมาณการใช้หินร้อนในงานวิจัย

Hot Bin	ปริมาณหินร้อนที่ใช้ (กิโลกรัม)
1 (หินฝุ่น)	200
2 (หิน 3/8 นิ้ว)	150
2 (หิน 1/2 นิ้ว)	150
4 (หิน 3/4 นิ้ว)	150
รวม	650 กิโลกรัม (0.65 ตัน)

หมายเหตุ หินร้อน (Hot Bin) คือ หินที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง จากเตาเผา เพื่อขจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ อาทิเช่น เศษซากพืชซากสัตว์ หรือเศษดิน

2. แอสฟัลต์ AC 60/70

ในการทดสอบนี้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70 จากบริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน) เป็นแอสฟัลต์หรือยางมะตอยที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาผิวทาง มีคุณสมบัติมาตรฐานดังนี้ มก851/2542 , ทล.-ก. 401/2532 และ ASTM D 946 ข้อควรระวังในการเก็บรักษา หลีกเลี่ยงจากประกายไฟ อุณหภูมิที่ใช้ในการจัดเก็บแอสฟัลต์ซีเมนต์ในถังเก็บไม่ควรสูงกว่า 150 °C เพราะอาจทำให้แอสฟัลต์เสื่อมคุณภาพได้ ถังเก็บต้องสะอาดแห้ง ไม่ปนเปื้อนน้ำ เพราะอาจทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เปลี่ยนไปหรืออาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ควรแยกถังเก็บออกจากกัน โดยมีชื่อและชนิด บ่งบอกไว้อย่างชัดเจน การจัดเก็บและการขนถ่ายให้สวมหมวกนิรภัยพร้อมหน้ากากกันกระเด็น ปกป้องแขนกันความร้อน และถุงมือหนัง เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน

สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ทั้งหมด 30 กิโลกรัม

3. ยางแห้งผสมแอสฟัลต์ (Masterbatch:MB)

ในการทดสอบนี้ใช้ยางแห้งผสมแอสฟัลต์หรือที่เรียกว่า “ Masterbatch ” จาก กรมวิชาการเกษตร โดยคำศัพท์ด้านเทคโนโลยียาง คำว่า Masterbatch หมายถึง ของผสมระหว่าง ยางและสารเคมีต่างๆ ที่รู้ปริมาณที่แน่นอนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมการผสมชั้นตอนสุดท้ายในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ มาสเตอร์แบทอาจใช้เพื่อความสะดวกในการผลิตหรือเพื่อเพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์หรือทั้งสองอย่าง เช่น ใช้ในกรณีที่สารเคมีกระจายในยางได้ไม่ดีหรือในกรณีที่มีการใช้สารเคมีนั้นน้อยมาก อาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้ง่าย ถ้าสารเคมีฟุ้งกระจายหายไป

ความหมายของ Masterbatch ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ หมายถึง การนำยางแห้งที่ผ่านกระบวนการผลิตอย่างง่าย ได้แก่ ยางแผ่นรมควันผสมเข้ากับแอสฟัลต์ โดยใช้วิธีบดอัดผสมกับแอสฟัลต์ในอัตราส่วน 1 :1 เป็น Masterbatch นั้นเอง เพื่อให้ง่ายต่อขั้นตอนการผสมระหว่างยางพาราธรรมชาติกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งมีปัญหาในขั้นตอนการผสม อาทิเช่น การที่จุดเดือดของน้ำยางพาราธรรมชาติกับแอสฟัลต์ซีเมนต์มีความแตกต่างกัน ทำให้เกิดฟองขึ้นที่ผิวหน้า (Foaming) หลังจากนั้นทำให้เกิดความดัน (Pressure) ฟุ้งขึ้นมา สาเหตุนี้เองที่เมื่อทำการผสมยางพาราธรรมชาติเข้ากับแอสฟัลต์ จึงหันไปใช้ Masterbatch แทนนั่นเอง

สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ปริมาณแผ่นยางมาสเตอร์แบททั้งหมด 5 กิโลกรัม

4. สาร Advera WMA

ในการทดสอบนี้ ใช้สาร Advera WMA จากบริษัท พีคิว คอร์ปอเรชั่น (PQ Corporation) โดยจะใช้สัดส่วนผสมอยู่ที่ร้อยละ 0.15 , 0.20 และ 0.25 ของวัสดุมวลรวม

สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้สาร Advera WMA ทั้งหมด 3 กิโลกรัม

วิธีการ

วิธีการทดลอง จะดำเนินการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยเริ่มจากการทดสอบวัสดุมวลรวม แล้วจึงทดสอบหาสัดส่วนของส่วนผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยวิธีมาร์แชลล์ เมื่อได้สัดส่วนแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช่แล้ว นำสัดส่วนดังกล่าวไปปรับใช้กับพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลทางวิศวกรรม โดยวิธีมาร์แชลล์ ทั้งผสมร้อนและผสมอุ่น ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบ โดยสังเขปดังนี้ หรือตามตารางที่ 10

1. การทดสอบวัสดุมวลรวม

การเตรียมวัสดุมวลรวม ต้องทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

1.1 สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว ดินตะกอน หรืออินทรีย์วัตถุผสม หรือปะปนอยู่ และจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์ที่จะทำให้คุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ

การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยเครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว หรือแยกด้วยวิธีการแบ่งสีในกรณีที่เป็นมวลละเอียด

1.2 การทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบโดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง” ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2517

ก่อนทำการทดลองหาขนาดคละของเม็ดวัสดุทุกครั้ง ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทั้งแบบล้างและแบบไม่ล้าง ต้องนำวัสดุไปอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เพื่อไล่ความชื้นอย่างน้อย 6 ชั่วโมง ทุกครั้ง หลังจากอบแล้ว นำมาวางทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง รอจนกว่าตัวอย่างจะเย็นลง จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบ

คำนวณหาขนาดเม็ดของวัสดุได้ดังสมการ (1)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ด้านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{R}{T} \times 100 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } R &= \text{มวลของตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาดนั้น} \\ T &= \text{มวลของตัวอย่างทั้งหมด} \end{aligned}$$

1.3 การทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดละเอียดโดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517

1.3.1 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

(1) หามวลที่ค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงมวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกันแล้ว หักออกจากมวลของตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

(2) หามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องมวลที่ค้าง (Mass Retained) ขึ้นไป เอามวลของช่อง Mass Retained บน Pan เป็นช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมมวลของ Mass Retained กับมวลช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) เป็นมวลของช่อง Mass Passing ของตะแกรงถัดขึ้นไป ดำเนินการแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นไปเรื่อย ๆ จนถึงมวล Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะเท่ากับมวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง

(3) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing) ได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ (กรัม)}}{\text{มวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดลอง (กรัม)}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.2 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

(1) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

- หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกัน แล้วหักออกจาก

มวลของตัวอย่างที่อบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ที่ค้ำบน Pan

- หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด เช่นเดียวกับหามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด

- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม โดยใช้สูตร การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม

(2) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง ต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เช่นเดียวกับ การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4

(3) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ได้ดังสมการ (3)

$$\text{เปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{X \times Y}{100} \quad (3)$$

เมื่อ X = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)
 Y = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ในการทดลองพวกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

1.4 การทดลองหาค่าดัชนีความแบน ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 210/2518

คำนวณหาดรชนีความแบนได้ดังสมการ (4)

$$\text{ดรชนีความแบน (FI)} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างทุกขนาดที่ลอดผ่านช่องวัดความหนา} \times \text{มวลของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้ำ}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้ำช่องวัดความหนาทุกช่องมีหน่วยเป็นกรัม}} \times 100$$

$$= \frac{X}{X + Y} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุกช่องมีหน่วยเป็นกรัม
 Y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้ำช่องวัดความหนาทุกช่องมีหน่วยเป็นกรัม

1.5 การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล.-ท. 211/2518

คำนวณหาตรรกษีความยาวได้ดังสมการ (5)

$$\text{ตรรกษีความยาว (EI)} = \frac{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้างช่องวัดความยาวมวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้าง}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้างช่องวัดความยาวมวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้าง}} \times 100$$

$$= \frac{Y}{X + Y} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

Y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

1.6 การทดสอบหาค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องขัดสี (Los Angeles Abrasion) ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล.-ท. 202/2515

ในส่วนของ การทดสอบนี้ เลือกใช้เกรด B จำนวน Abrasive Charge 11 ลูก มวลรวม 5000+10 กรัม จำนวนรอบ 500 รอบ

1.6.1 การคำนวณ ดังสมการ (6)

$$\text{ความสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ M_1 = มวลตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ

M_2 = มวลที่ค้างบนตะแกรง #12

1.7 การทดสอบหาค่ามวลผสมเทียบทราย (Sand Equivalent) ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล.-ท. 203/2515

สำหรับการทดสอบ Sand Equivalent นั้น งานวิจัยนี้ได้แบ่งทำการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการทดสอบหินร้อน (Hot Bin 1) เพื่อตรวจสอบความเป็นดินเหนียวของวัสดุว่าเกินมาตรฐานหรือไม่ ส่วนที่สอง การทดสอบมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และการทดสอบนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการเขย่าด้วยมือทั้งหมด

ค่า Sand Equivalent (SE) หาได้ดังสมการ (7)

$$SE = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \quad (7)$$

ถ้า SE ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มทั้งหมด เช่น SE ได้เท่ากับ 41.25 ให้ใช้ค่า SE เป็น 42 เป็นต้น

1.8 การทดสอบหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยการใช้โซเดียมซัลเฟต ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531

สำหรับการทดลองนี้ ผู้วิจัยใช้สารโซเดียมซัลเฟตในการทดลองเช่นตัวอย่าง

การเตรียมวัสดุเม็ดละเอียด ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 100 กรัม ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเตรียมวัสดุเม็ดละเอียด

ตัวอย่าง	ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)		มวลเป็นกรัม
	ผ่าน	ค้าง	
1	0.60 (เบอร์ 30)	0.30 (เบอร์ 50)	100
2	1.18 (เบอร์ 16)	0.60 (เบอร์ 30)	100
3	2.36 (เบอร์ 8)	1.18 (เบอร์ 16)	100
4	4.75 (เบอร์ 4)	2.36 (เบอร์ 8)	100
5	9.5 (3/8")	4.75 (เบอร์ 4)	100

การเตรียมวัสดุเม็ดหยาบ ทั้งหมด 1 ตัวอย่าง 1000 กรัม ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเตรียมวัสดุเม็ดหยาบ

ขนาดที่ใช้ทดลอง (มิลลิเมตร)	ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)		มวลเป็นกรัม
	ผ่าน	ค้าง	
19.0 (3/4") - 9.5 (3/8")			1000±10
ประกอบด้วย	12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	330±5
	19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	670±10

1.8.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Examination)

- คำนวณหามวลที่หายไปหลังจากการทดลอง คือ การหาค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Actual Loss)

$$\text{Actual Loss} = \text{Mass of Test Fraction Before Test} - \text{Mass of Test Fraction After Test} \quad (8)$$

- คำนวณหา Actual Percentage Loss

$$\text{Actual \% Loss} = \frac{\text{Actual Loss}}{\text{Mass of Test Fraction Before Test}} \times 100 \quad (9)$$

- คำนวณหา Weighted Percentage Loss

$$\text{Weighted \% Loss} = \frac{\text{Actual \% Loss} \times \text{Retained of Original Sample}}{100} \quad (10)$$

- คำนวณหา Total Percentage Loss

$$\text{Total \% Loss} = \text{ผลบวกของ Weighted \% Loss} \quad (11)$$

ตารางที่ 10 มาตรฐานที่ใช้ทดสอบวัสดุมวลรวม (DOH Standard)

	มาตรฐานการทดสอบ วัสดุมวลรวม	DOH Standard	มาตรฐาน
1	Gradation of Aggregate	DH-T 204/2516	ตามตารางที่ 2
		DH-T 205/2517	ตามตารางที่ 2
2	Specific Gravity	DH-T 207/2517	-
		DH-T 209/2518	-
3	Water & Asphalt Absorption	DH-T 414/2547	-
4	Flakiness & Elongation Index	DH-T 210/2518	<30
		DH-T 211/2518	<30
5	Abrasive of Coarse (Los Angeles)	DH-T 202/2515	<40
6	Sand Equivalent	DH-T 203/2515	>50
7	Soundness	DH-T 213/2531	<9

2. การวิเคราะห์ส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

ในการออกแบบ วิเคราะห์ส่วนผสมที่บดอัดแล้ว ทำการทดสอบก่อนตัวอย่างทั้งหมด 15 ก้อน

2.1 ขั้นตอนการวัดและการคำนวณค่าต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ช่องว่าง มีดังต่อไปนี้

ก. ทำการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517 และของมวลรวมละเอียด ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 208/2518

ข. คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมทุกชนิดที่ผสมกันในส่วนผสม

ค. ทำการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดของส่วนผสมที่ยังไม่ได้บดอัด (Loose Paving Mixture) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 414/2547

ง. ทำการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของส่วนผสมที่บดอัดแล้ว ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517

จ. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพของมวลรวม

ฉ. คำนวณหาค่าการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม

ช. คำนวณหาค่าแอสฟัลต์ประสิทธิภาพของส่วนผสม

ซ. คำนวณหาค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

ฅ. คำนวณหาค่าร้อยละของช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

2.2 ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวม

มวลรวมที่ใช้ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยที่งานวิจัยฉบับนี้ไม่มีการใส่วัสดุอัดแทรกใด ๆ ดังนั้นจึงประกอบด้วย มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ประเภทนี้มีค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมทั้งหมดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (12)

$$G_{SB} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (12)$$

เมื่อ G_{SB} คือ ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนสำหรับมวลรวมทั้งหมด
 P_1, P_2, P_n คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวมสำหรับมวลรวมแต่ละชนิด
 G_1, G_2, G_n คือ ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมสำหรับมวลรวมแต่ละชนิด

2.3 ความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวม

เมื่อยึดหลักการของค่าความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (G_{MM}) ค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวม (G_{SE}) จะหาจากส่วนที่เป็นช่องว่างทั้งหมดในอนุภาคของมวลรวมทั้งหลาย โดยยกเว้นส่วนที่ดูดซึมแอสฟัลต์เข้าไป ค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวมคำนวณได้จากสมการดังสมการที่ (13)

$$G_{SE} = \frac{P_{MM} - P_B}{\frac{P_{MM}}{G_{MM}} - \frac{P_B}{G_B}} \quad (13)$$

เมื่อ G_{SE} คือ ความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวม
 G_{MM} คือ ความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่มีช่องว่างอากาศ
 P_{MM} คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ยังไม่ได้บดอัด ซึ่งมีค่า เท่ากับ 100
 P_B คือ ปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสม
 G_B คือ ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์

ข้อสังเกต โดยปกติค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวมแต่ละชนิดควรมีค่าอยู่ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนและค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ ของมวลรวมชนิดนั้น ๆ ถ้าหากว่าไม่เป็นไปตามนี้ค่าที่ได้น่าจะเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง ควรแก้ไขการคำนวณจากการหาค่าความ

ถ่วงจำเพาะสูงสุดของส่วนผสม และตรวจสอบส่วนประกอบของส่วนผสมในเทอมของมวลรวมและแอสฟัลต์อีกเพื่อหาแหล่งที่มาของความผิดพลาด

ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (G_{SA}) ของมวลรวมทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสูตร เช่นเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมทั้งหมด โดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของมวลรวมแต่ละชนิดที่อยู่ในส่วนผสมนั้นมาใช้ในการคำนวณ

2.4 ความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ค่าต่างกัน

ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งกำหนดมวลรวมมาให้จะต้องหาค่าความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุด (G_{MM}) ที่แต่ละปริมาณแอสฟัลต์ด้วย เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ สำหรับปริมาณแอสฟัลต์แต่ละค่า ความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดสำหรับปริมาณแอสฟัลต์แต่ละค่า การทดสอบจะถูกต้องที่สุดเมื่อส่วนผสมมีส่วนประกอบปริมาณแอสฟัลต์ใกล้เคียงมากที่สุดกับปริมาณแอสฟัลต์ที่ออกแบบไว้ ถ้าจะให้ได้ผลดีควรทำการทดลองซ้ำสองหรือสามครั้ง

หลังจากที่คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวมจากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดแต่ละค่า ตามวิธีการในหัวข้อที่ 2.3 และได้ผลค่าเฉลี่ยของค่า G_{SE} แล้วก็จะสามารถหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดสำหรับปริมาณแอสฟัลต์ค่าต่าง ๆ ได้ โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวมจะมีค่าคงที่ เนื่องจากปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้มากนัก สมการที่ใช้มีดังสมการที่ (14)

$$G_{MM} = \frac{P_{MM}}{\frac{P_S}{G_{SE}} + \frac{P_B}{G_B}} \quad (14)$$

เมื่อ	G_{MM}	คือ ความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดของส่วนผสมที่ไม่มีช่องว่างอากาศ
	P_{MM}	คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมที่ยังไม่ได้บดอัด มีค่าเท่ากับ 100
	P_S	คือ ค่าร้อยละของมวลรวมโดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด
	P_B	คือ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด
	G_{SE}	คือ ความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวม
	G_B	คือ ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์

2.5 การดูดซึมแอสฟัลต์

การดูดซึมแอสฟัลต์มักจะนิยมแสดงเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวมมากกว่าที่จะแสดงเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสม การหาค่าการดูดซึมแอสฟัลต์ (P_{BA}) ใช้สมการดังสมการที่ (15)

$$P_{BA} = 100 G_B \frac{G_{SE} - G_{SB}}{G_{SB} G_{SE}} \quad (15)$$

เมื่อ P_{BA} คือ แอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวม
 G_{SE} คือ ความถ่วงจำเพาะประสิทธิผลของมวลรวม
 G_{SB} คือ ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวม
 G_B คือ ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์

2.6 แอสฟัลต์ประสิทธิผลของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล (P_{BE}) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต คือค่าปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดในส่วนผสมที่ออกด้วยปริมาณแอสฟัลต์ที่สูญเสียจากการดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม จึงเป็นปริมาณแอสฟัลต์ส่วนที่ยังคงเคลือบอยู่บนผิววนอกของอนุภาคของมวลรวม และเป็นปริมาณแอสฟัลต์ส่วนที่มีประสิทธิภาพสำหรับส่วนผสม ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ (16)

$$P_{BE} = P_B - P_S \frac{P_{BA}}{100} \quad (16)$$

เมื่อ P_{BE} คือ ปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด
 P_B คือ ปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมด เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด
 P_{BA} คือ แอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวม
 P_S คือ ปริมาณมวลรวม เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด

2.7 ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) หมายถึง ช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละอนุภาคของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งรวมทั้งช่องว่างอากาศและปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล โดยแสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสม การคำนวณหาค่า VMA ยึดถือหลักการคำนวณจากค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวม และแสดงเป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งก้อนของส่วนผสมที่บดอัดแล้ว ดังนั้นค่า VMA จึงหาได้จากการนำค่าปริมาตรทั้งก้อนของส่วนผสมที่

บดอัดแล้วลบลด้วยค่าปริมาตรของมวลรวม ที่หากจากความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวม ในที่นี้จะแสดงการคำนวณให้ดูทั้ง 2 วิธีที่กำหนดค่าร้อยละของส่วนผสมแต่ละแบบ

วิธีที่ 1 ถ้าส่วนผสมของส่วนผสมคำนวณหาจากค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ดังสมการที่ (17)

$$VMA = 100 - \frac{G_{MB} P_s}{G_{SB}} \quad (17)$$

เมื่อ VMA คือ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม เป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

G_{SB} คือ ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมทุกชนิด

G_{MB} คือ ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

P_s คือ ปริมาณมวลรวม เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสม

วิธีที่ 2 ถ้าส่วนผสมของส่วนผสมคำนวณหาจากค่าร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวม ดังสมการที่ (18)

$$VMA = 100 - 100 \left(\frac{G_{MB}}{G_{SB}} \right) \left(\frac{100}{100 + P_B} \right) \quad (18)$$

เมื่อ P_B คือ ปริมาณแอสฟัลต์ เป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวม

2.8 ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

ช่องว่างอากาศ (AV) ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว จะประกอบด้วยช่องว่างเล็ก ๆ ที่มีอากาศบรรจุ ซึ่งเป็นช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์แล้ว ค่าร้อยละของปริมาตรของช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (19)

$$AV = 100 \left(\frac{G_{MM} - G_{MB}}{G_{MM}} \right) \quad (19)$$

เมื่อ AV คือ ช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว เป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

G_{MM} คือ ความถ่วงจำเพาะค่าสูงสุดของส่วนผสมตามที่คำนวณหาได้ใน

หัวข้อที่ 4.7 หรือได้จากการทดสอบโดยตรงตามวิธี ASTM D2041

G_{MB} คือ ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

2.9 ค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว

ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) หมายถึง ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) ซึ่งถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่ที่ผิวนอกของอนุภาคของมวลรวม จึงไม่รวมปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม การหาค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ดังสมการที่ (20)

$$VFA = 100 \left(\frac{VMA - AV}{VMA} \right) \quad (20)$$

เมื่อ VFA คือ ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เป็นค่าร้อยละของ VMA
 VMA คือ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม เป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งหมด
 AV คือ ช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่บดอัดแล้ว เป็นค่าร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

3. การเตรียมตัวอย่างพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ (PAC)

การผสมยาง Masterbatch ให้เข้ากับแอสฟัลต์ AC 60/70 โดยจะทำการเตรียมวัสดุ AC 60/70 ใส่ในกระป๋อง (Pan) จากนั้นทำการผสมเข้ากับ Masterbatch ในสัดส่วน 3% , 5% , 6% และ 7 % ตามลำดับ โดยการให้ความร้อน แล้วทำการคนตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) โดยมีอุณหภูมิผสมประมาณ 200 °C โดยการผสมดูได้ตามตารางที่ 11 และเมื่อผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จะถูกเรียกว่า “พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์” (Para Asphalt Cement : PAC)

ตารางที่ 11 สัดส่วนผสม Masterbatch ในแต่ละกระป๋อง

Sample (gm)	Natural Rub. (%)	Asphalt AC 60/70 (gm)	Masterbatch AC:PR = 1:1 (gm)
Pan 1.1	3.00	1074.0	34.3
Pan 1.2		1473.0	47.0
Pan 1.3		1612.3	51.5
Pan 1.4		963.3	30.7
Pan 2.1	4.00	1204.0	52.3
Pan 2.2		1066.7	46.4
Pan 2.3		1660.0	72.2
Pan 2.4		801.9	34.9
Pan 3.1	5.00	1228.8	68.3
Pan 3.2		985.0	54.7
Pan 3.3		921.7	51.2
Pan 3.4		614.6	34.1
Pan 4.0	6.00	1153.6	78.7
Pan 5.0	7.00	1204.7	98.1

หมายเหตุ การผสม Masterbatch ให้เข้ากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ต้องระวังเรื่องส่วนผสมในวัสดุ Masterbatch ซึ่งมีแอสฟัลต์ซีเมนต์อยู่ในอัตราส่วน 1 :1 อาทิเช่น ต้องการผสมยางพาราธรรมชาติให้ได้ 3% นั้นหมายความว่า ต้องผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ในกระป๋อง 94% แล้วเพิ่ม Masterbatch อีก 6% ซึ่งในตัววัสดุ Masterbatch เองจะมี แอสฟัลต์ซีเมนต์ต่อยางพาราธรรมชาติ 3:3 ดังนั้นส่วนผสมที่ได้ จึงเป็น 94%+3%+3% เท่ากับ 100% โดยมียางพาราธรรมชาติอยู่ 3% นั้นเอง

ตัวอย่างการคำนวณกระป๋อง (Pan) 1.1 ใช้ร้อยละยางพาราธรรมชาติ (%NR) 3.00 น้ำหนัก AC60/70 ไม่รวมน้ำหนักกระป๋อง เท่ากับ 1074.0 กรัม การคำนวณการใส่ Masterbatch โดยการเทียบไตรยางค์ ได้ดังสมการที่ (21)

$$MB = \frac{(\text{Mass of AC 60-70}) \times (\%NR)}{100 - (2 \times (\%NR))} \quad (21)$$

$$MB = \frac{1074 \times 3.00}{100 - (2 \times 3.00)} = 34.3 \text{ gm}$$

4. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยกระบวนการผสมร้อน โดยวิธี มาร์แชลล์

หลังจากทำการผสม MB เข้ากับ AC60/70 กลายเป็นพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ หรือ PAC ในสัดส่วนยางพาราธรรมชาติ ที่ร้อยละ 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ

การทดลองใช้ตัวอย่างทั้งหมด 65 ก้อนตัวอย่าง การทดสอบเป็นไป ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ทล.-ท. 604/2517 และตรวจสอบวิเคราะห์ผลตามมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532

5. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยกระบวนการผสมอุ่น โดยวิธี มาร์แชลล์

การผสมอุ่นโดยใช้สารผสมเพิ่ม ชนิด Advera WMA วัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ เป็น PAC ใน สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3, 4, และ 5 ตามลำดับ ตามตารางที่ 12

ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ 3 ปัจจัย ได้แก่

ก. การเพิ่มและลด สาร Advera WMA จำนวนสาร Advera ที่ใช้ คือ ร้อยละ 0.15 , 0.20 และ 0.25 โดยวัสดุรวมรวม ตามลำดับ

ข. การเพิ่มและลด อุณหภูมิในการผสมและบดอัด อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมและบดอัด คือ 120 และ 130 °C

ค. การลดวัสดุเชื่อมประสาน วัสดุเชื่อมประสานพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ คือ ร้อยละ 4.4 และ 4.7 โดยวัสดุรวมรวม

ตารางที่ 12 การทดสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ของ PAC ด้วยกระบวนการผสมอุ่น โดยวิธีการทดสอบ Marshall

Test	Advera	PAC	Tem. (°C)
	% by Mass Agg.	% by Mass Agg.	Com. & Mixed
1	0.25	4.7	130
2	0.20	4.7	130
3	0.20	4.7	120
4	0.15	4.7	120
5	0.20	4.4	120
6	0.25	4.4	120
7	0.25	4.4	130

สถานที่ทดลองและระยะเวลาในการทดลอง

1. สถานที่ทดลอง

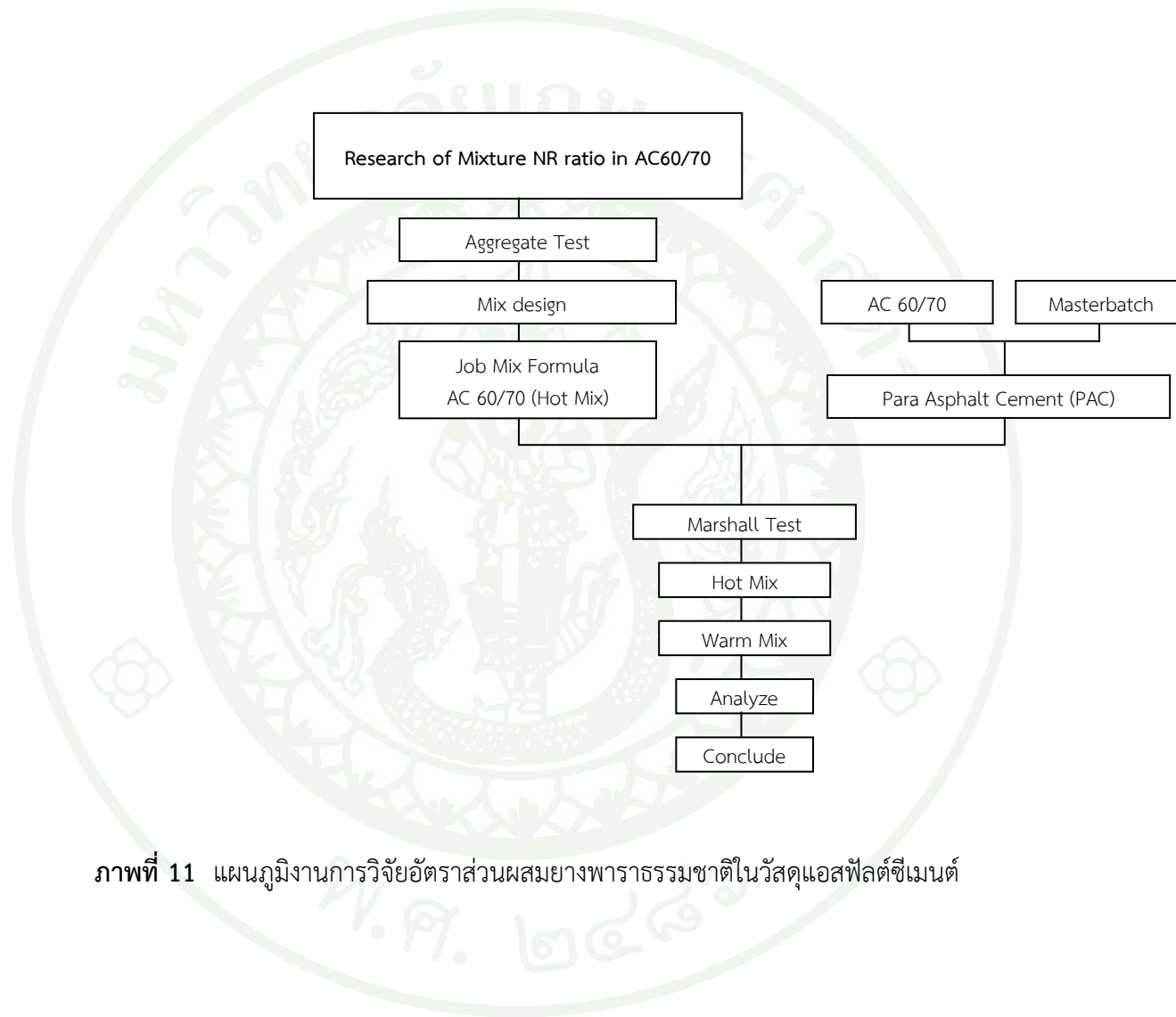
ห้องปฏิบัติการแอสฟัลต์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน รวมถึง
ห้องปฏิบัติการงานวัสดุแอสฟัลต์ สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท

2. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2556 ถึง มกราคม 2557

แผนภูมิงานวิจัย

แผนภูมิงานวิจัยอัตราส่วนยางพาราธรรมชาติ โดยอธิบายถึงขั้นตอนการทำงานทั้งหมด จนถึง
สรุปผล ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แผนภูมิงานการวิจัยอัตราส่วนผสมยางพาราธรรมชาติในวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

ผลและวิจารณ์

1. คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

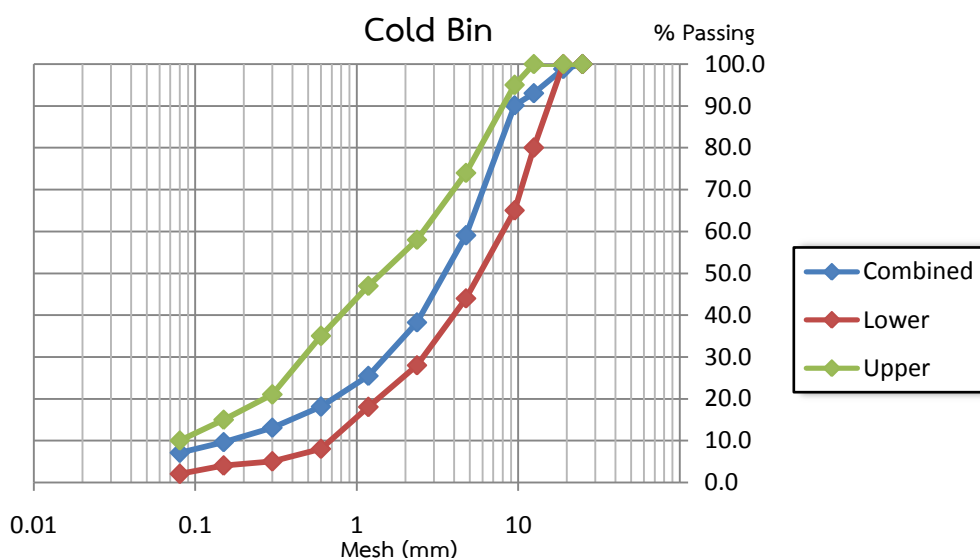
1.1 ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง

การหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมทั้งชนิดเม็ดละเอียดและเม็ดหยาบ โดยผ่านตะแกรง จากขนาดใหญ่ถึงขนาดเล็ก ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516 และ ทล.-ท. 205/2517 แล้วทำการออกแบบสัดส่วนผสม ตามตารางที่ 2 มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 สำหรับชั้นผิวทาง Wearing Coarse โดยมีมวลรวมขนาดใหญ่ที่สุด 1/2 นิ้ว (12.5 มิลลิเมตร)

ใช้สัดส่วนผสม Cold Bin คือ CB1:CB2:CB3 เท่ากับ 65:24:11 ตามภาพที่ 12 และตารางที่ 13

ใช้สัดส่วนผสม Hot Bin คือ HB1:HB2:HB3:HB4 เท่ากับ 55:25:10:10 ตามภาพที่ 13 และตารางที่ 14

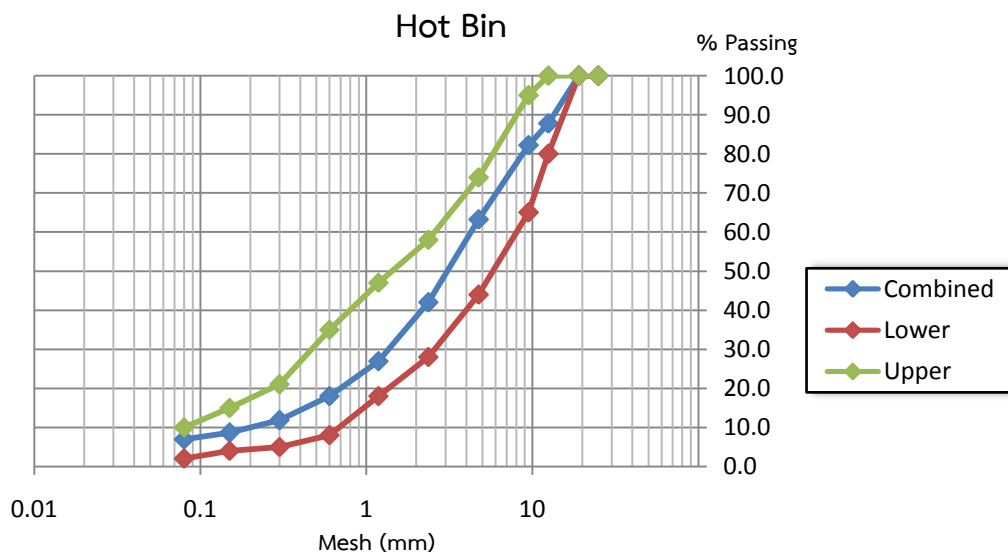
สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้เฉพาะสัดส่วนผสมของหินร้อน (Hot Bin) ในการออกแบบ และทำการหาสัดส่วนผสมของหินเย็น (Cold Bin) เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการเลือกใช้หินฝุ่น ที่ใช้มากกว่า 50 จะเห็นว่าในการออกแบบหินเย็น ใช้หินฝุ่นหรือหินเบอร์ 1 เท่ากับร้อยละ 65 นั้นแสดงว่าสอดคล้องกับการออกแบบหินร้อน นั่นคือ หินร้อนใช้หินฝุ่น เท่ากับร้อยละ 55



ภาพที่ 12 การออกแบบขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง ของหินเย็น (Cold Bin)

ตารางที่ 13 ขนาดคละของมวลรวมร่อนผ่านตะแกรง ของหินเย็น (Cold Bin)

Sieve Sizes (inch)	Sieve Sizes (mm)	Filler	Sand	% Passing				Combined	Tolerance	
				Bin 1 65	Bin 2 24	Bin 3 11	Bin 4		Lower Limit	Upper Limit
1 1/2"	37.5			100	100	100	100	100	100	
1"	25			100	100	100	100.0	100	100	
3/4"	19			100	100	89.4	98.8	100	100	
1/2"	12.5			100	100	37.0	93.1	80	100	
3/8"	9.5			100	100	10.4	90.1	65	95	
#4	4.75			87.6	8.7	0.3	59.0	44	74	
#8	2.36			58.3	1.5		38.3	28	58	
#16	1.18			38.7	1.3		25.5	18	47	
#30	0.6			27.3	1.3		18.1	8	35	
#50	0.3			20.1			13.1	5	21	
#100	0.15			14.8			9.6	4	15	
#200	0.08			10.9			7.1	2	10	



ภาพที่ 13 การออกแบบขนาดคละของมวลรวมร่อนผ่านตะแกรง ของหินร้อน (Hot Bin)

ตารางที่ 14 ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง ของหินร้อน (Hot Bin)

Sieve Sizes (inch)	Sieve Sizes (mm)	Filler	Sand	% Passing					Tolerance	
				Bin 1 55	Bin 2 25	Bin 3 10	Bin 4 10	Combined	Lower Limit	Upper Limit
1"	25			100	100	100	100	100.0	100	100
3/4"	19			100	100	100	100	100.0	100	100
1/2"	12.5			100	100	72.4	5.4	87.8	80	100
3/8"	9.5			100	100	21.3	1.2	82.2	65	95
#4	4.75			100	32.2	1.3	0.2	63.2	44	74
#8	2.36			76.1	0.6	0.1	0.0	42.0	28	58
#16	1.18			48.9	0.2	0.0		26.9	18	47
#30	0.6			32.8	0.0			18.0	8	35
#50	0.3			21.5				11.8	5	21
#100	0.15			15.7				8.6	4	15
#200	0.08			12.7				7.0	2	10

1.2 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

1.2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวม ทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด แบบ Bulk (Bulk Specific Gravity) แบบ Apparent (Apparent Specific Gravity) และค่าปริมาณของน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อมวลรวม ทดลองตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517 และ ทล.-ท. 209/2518 ได้ค่าการ Blend ส่วนผสม ดังนี้ ความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวม เท่ากับ 2.693 gm/ml ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ เท่ากับ 2.739 gm/ml ค่าความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพ เท่ากับ 2.709 gm/ml ตามตารางที่ 15

1.2.2 ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

ค่าดัชนีความแบนของวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยหามวลของวัสดุที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า 3/5 เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดลอง ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 210/2518 ได้ค่าการ Blend ส่วนผสม เท่ากับ 30 ตามตารางที่ 15 ซึ่งผ่านมาตรฐาน คือไม่มากกว่า 30

1.2.3 ค่าดัชนีความยาว (Elongation)

ค่าดัชนีความยาวของวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยหามวลของวัสดุที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดลอง ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 211/2518 ได้ค่าการ Blend ส่วนผสม เท่ากับ 15 ตามตารางที่ 15 ซึ่งผ่านมาตรฐาน คือไม่มากกว่า 30

1.2.4 ค่าความสึกหรอ

ค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion จำนวน Abrasive Charge ที่ใช้ในการทดลอง 11 ลูก เลือกเกรดการทดลอง เกรด B ผลที่ได้เท่ากับ ร้อยละ 20 ตามตารางที่ 15 ซึ่งผ่านมาตรฐาน คือไม่มากกว่าร้อยละ 40

1.2.5 ค่าทรายสมมูล (Sand Equivalent)

ค่า Sand Equivalent ทดลองตรวจสอบสัดส่วนระหว่างฝุ่น หรือวัสดุประเภท ดินเหนียวกับวัสดุเม็ดหยาบพวกกรวดหรือทราย โดยทำการทดลอง ทั้งมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และ หินร้อนเบอร์ 1 (Hot Bin 1) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 203/2515 ผลที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ มวลรวมละเอียดเท่ากับร้อยละ 69 และ หินร้อนเบอร์ 1 เท่ากับร้อยละ 77 ตามตารางที่ 15 ซึ่งผ่านมาตรฐาน คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

1.2.6 ค่าความคงทน (Soundness)

ค่าความคงทน ทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานต่อการแตกแยกของมวลรวมในสารละลายอิมิตัว ในการทดลองนี้ใช้สารละลายอิมิตัวโซเดียมซัลเฟต โดยทำการทดลองทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล. -ท. 213/2531 ผลที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ มวลรวมหยาบ เท่ากับร้อยละ 1.0 และมวลรวมละเอียด เท่ากับร้อยละ 2.7 ตามตารางที่ 15 ซึ่งผ่านมาตรฐาน คือไม่มากกว่าร้อยละ 9.0

1.2.7 ค่าการดูดซึมน้ำมันแอสฟัลต์ของมวลรวม (Asphalt Absorption)

ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำมันแอสฟัลต์ เป็นการทดลองหาปริมาณการดูดซึมน้ำมันแอสฟัลต์ของมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์ ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 414/2517 ผลที่ได้เท่ากับร้อยละ 0.22 ตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

Description	Cm	Hot Bin						Total
		Bin 1 Passing #200	Bin 1 Retained #200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 3	
Mix Proportion (%)		-	-	55	25	10	10	100
Bulk Specific Gravity		-	2.641	2.652	2.751	2.743	2.736	2.693
Apparent Specific Gravity		2.729	2.697	2.701	2.793	2.779	2.774	2.739
Effective Specific Gravity		-	-	-	-	-	-	2.709
Water Absorption (%)		-	0.79	-	0.56	0.48	0.51	-
Flakiness Index (%)					41	25	15	30
Elongation Index (%)					17	19	10	15
Asphalt Absorption (%)								0.22
Los Angeles Abrasion (%)		Aggregate 3/4" = 20.0						
Soundness (% WT.Loss)		Aggregate 3/4" = 1.0 , Fine Aggregate = 2.7						
Sand Equivalent (%)		Fine Aggregate = 69 , Sand = - , Hot Bin 1 = 77						

2. การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall (HMA)

การทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall โดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60/70 เพื่อออกแบบเปอร์เซ็นต์ยาง AC ที่เหมาะสม โดยต้องมีช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 4.0 ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517 ผลการทดลองการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต แบ่งได้ดังนี้ หรือ ตามตารางที่ 16

- 2.1 วัสดุเชื่อมประสานร้อยละ 4.7 โดยมวลรวม
- 2.2 ค่าความหนาแน่น เท่ากับ 2.417 gm/ml
- 2.3 ค่าช่องว่างอากาศ ร้อยละ 3.9
- 2.4 ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(VMA) ร้อยละ 14.4
- 2.5 ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(VFB) ร้อยละ 73
- 2.6 ค่าความเสถียรภาพ เท่ากับ 2270 Lbs
- 2.7 ค่าการไหล 9.6 หน่วยเป็น 1/100 in
- 2.8 ค่าเสถียรภาพต่อค่าการไหล เท่ากับ 236 Lbs/0.01 in
- 2.9 ค่าดัชนีความแข็งแรง เท่ากับ ร้อยละ 77.2

ตารางที่ 16 การออกแบบเปอร์เซ็นต์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ด้วยวิธีมาร์แชลล์

	Design	MIXTURE	Tolerance
Asphalt Content (AC 60/70)	(% by Mass of Aggregate)	4.7	4.4 - 5.0
Marshall Density	gm./ml.	2.417	-
Marshall Air Voids	%	3.9	3 - 5
Voids in Mineral Aggregate	%	14.4	>14
Voids Field with Bitumen	%	73	65 - 75
Marshall Stability	lbs	2270	>1800
Marshall Flow	0.01 in	9.6	8 - 16
Marshall Stability / Marshall Flow	Lbs/0.01 in	236	>160
Strength Index	%	77.2	>75

3. การทดสอบอัตราส่วนผสมยางพาราธรรมชาติ โดยวิธี Marshall (HMA)

การทดสอบพาราแอสฟัลต์คอนกรีต กระบวนการผสมร้อน โดยใช้วัสดุเชื่อมประสานที่มีสัดส่วนผสมของยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 , 4 , 5 , 6 และ 7 ตามลำดับ หรือเรียกว่า พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยใช้ PAC ที่ร้อยละ 4.7 ผลที่ได้แบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

3.1 ผลค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติที่มากขึ้น โดยค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 7.0 โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.440 gm/ml ตามตารางที่ 17

3.2 ผลค่าความเสถียรภาพของก้อนตัวอย่าง มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อใช้สัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติที่มากขึ้น โดยสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 5 มีค่าเสถียรภาพสูงกว่ามาตรฐาน คือมากกว่า 1800 Lbs และสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3.0 ให้ค่าเสถียรภาพมากที่สุด เท่ากับ 2317 Lbs ตามตารางที่ 17

3.3 ผลค่าการไหลของก้อนตัวอย่าง มีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในมาตรฐานทุกสัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติ โดยที่สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 7.0 ให้ค่าการไหลมากที่สุด เท่ากับ 9 ตามตารางที่ 17

3.4 ผลร้อยละช่องว่างในอากาศ มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อใช้สัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติที่มากขึ้น แต่ก็อยู่ในมาตรฐานทุกสัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติ โดยที่สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 5.0 ให้ค่าร้อยละช่องว่างในอากาศดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 4.3 ตามตารางที่ 17

3.5 ผลร้อยละช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(VMA) มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อใช้สัดส่วน ร้อยละยางพาราธรรมชาติที่มากขึ้น โดยสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 5 มีค่า VMA สูงกว่ามาตรฐาน และสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3.0 ให้ผลที่มากกว่าสัดส่วนอื่น คือ ร้อยละ 14.6 ตามตารางที่ 17

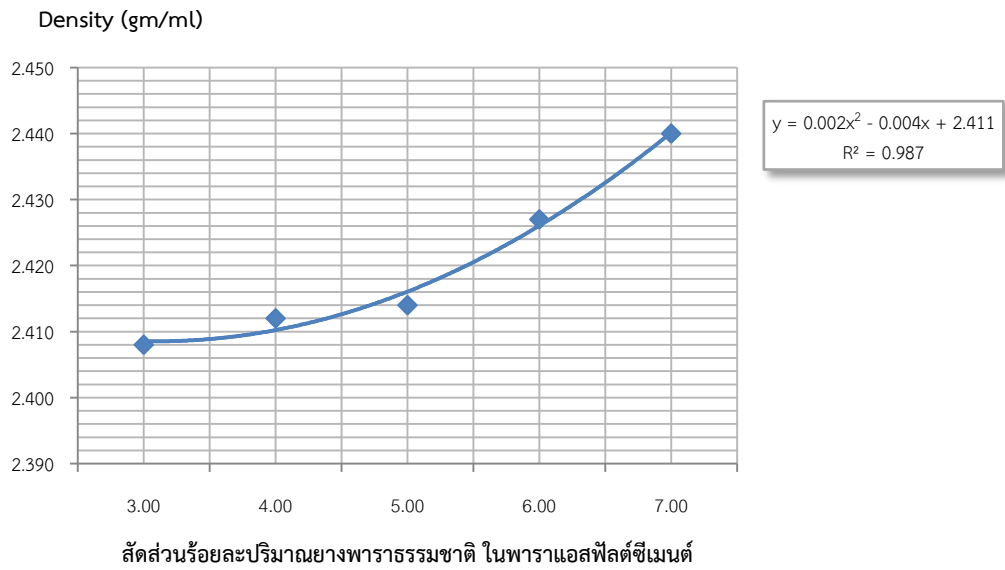
3.6 ผลร้อยละช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFB) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนร้อยละ ยางพาราธรรมชาติที่มากขึ้น โดยสัดส่วนอื่นอยู่ในช่วงมาตรฐานทั้งหมด ยกเว้นสัดส่วนยางพารา ธรรมชาติที่ร้อยละ 7.0 ให้ค่าสูงเกินมาตรฐาน เท่ากับ ร้อยละ 75.6 ตาม ตารางที่ 17

3.7 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง ทุกร้อยละสัดส่วนยางพาราธรรมชาติผ่าน มาตรฐานการทดสอบ คือผ่านร้อยละ 75 โดยที่สูงสุดที่สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 5.0 ให้ผล การทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรงมากกว่าสัดส่วน คือเท่ากับร้อยละ 84 ตามตารางที่ 18

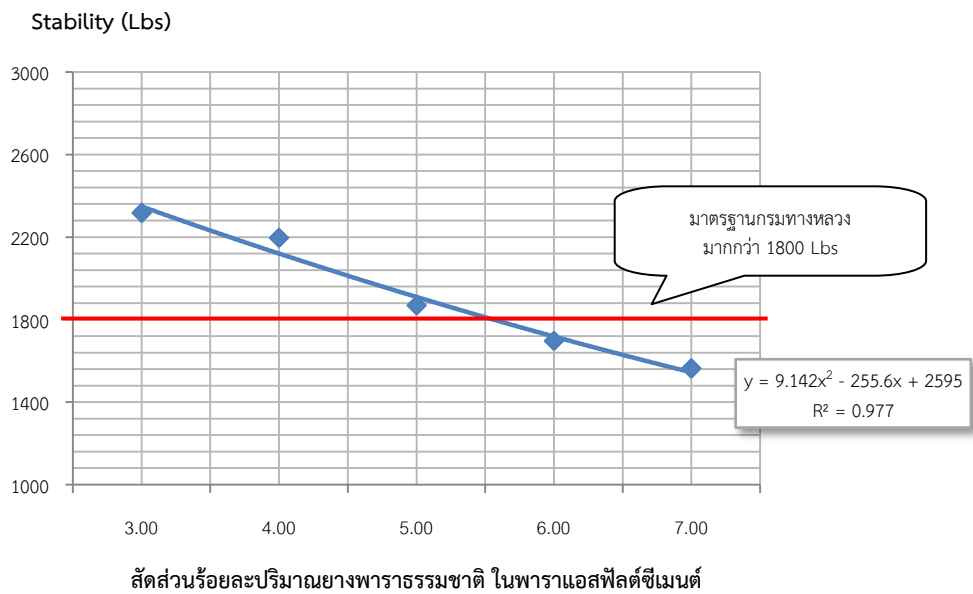
ตารางที่ 17 การทดสอบก้อนตัวอย่าง “มาร์แชลล์” ของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

% NR	Density (gm/ml)	Stability (Lbs)	Flow (0.01 in)	Air Voids %	V.M.A. %	V.F.B. %
3.0	2.408	2317 **	8 **	4.5 **	14.6 **	69.2 **
4.0	2.412	2197 **	8 **	4.4 **	14.5 **	69.7 **
5.0	2.414	1869 **	8 **	4.3 **	14.4 **	70.1 **
6.0	2.427	1697	8 **	3.7 **	13.9	73.4 **
7.0	2.440	1563	9 **	3.3 **	13.5	75.6
Standard	-	>1800	8-16	3-5	>14	65-75

หมายเหตุ ** ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

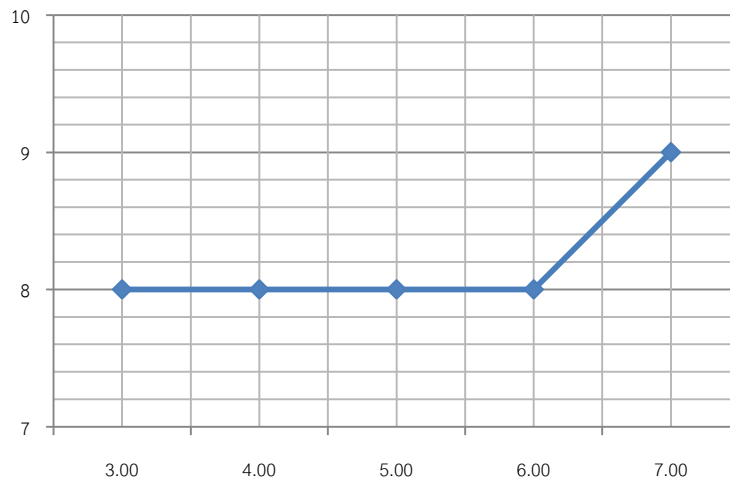


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าความเสถียรภาพ

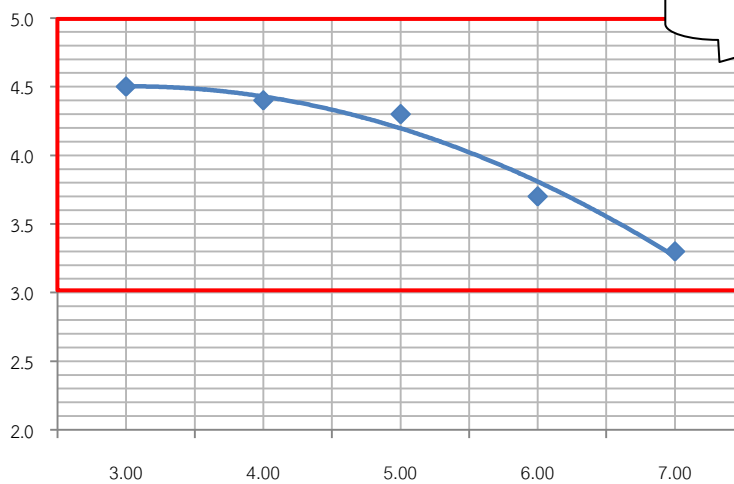
Flows (0.01 in)



สัดส่วนร้อยละปริมาณยางพาราธรรมชาติ ในพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าการไหล

Air Voids (%)

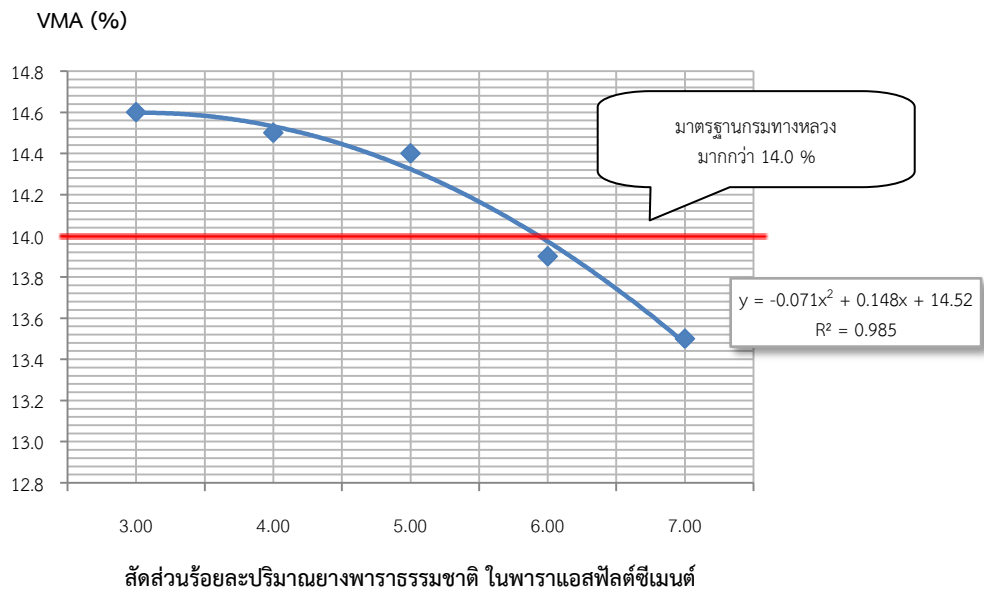
มาตรฐานกรมทางหลวง
อยู่ในช่วง 3-5 %

$$y = -0.078x^2 + 0.161x + 4.42$$

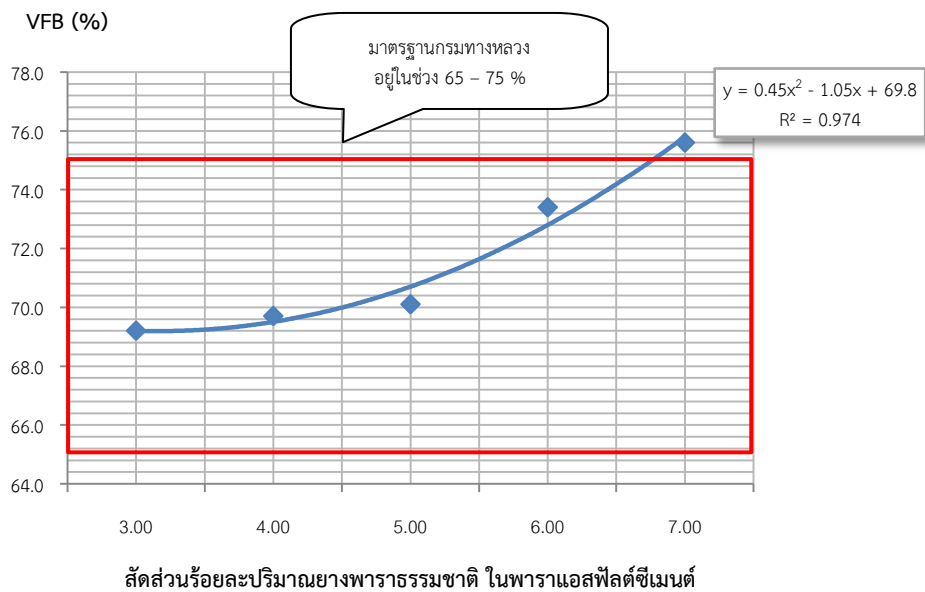
$$R^2 = 0.977$$

สัดส่วนร้อยละปริมาณยางพาราธรรมชาติ ในพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าช่องว่างในอากาศ



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่า VMA

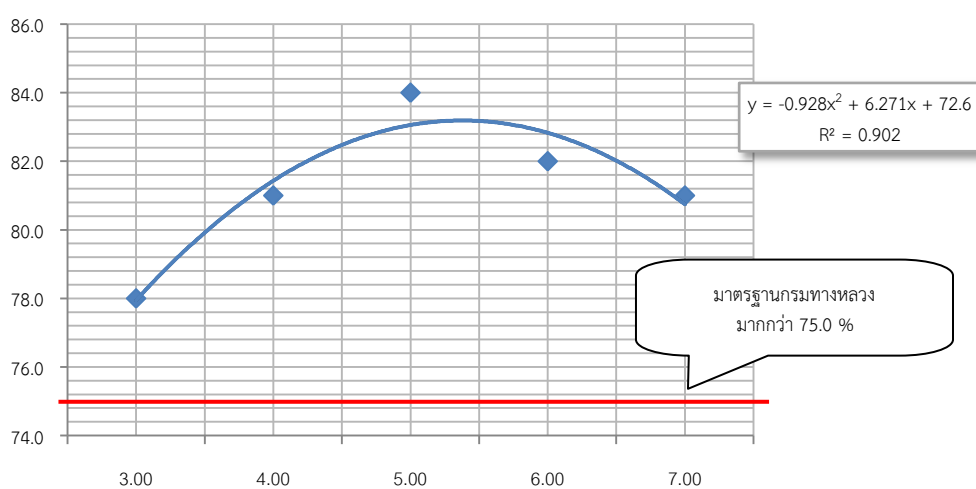


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่า VFB

ตารางที่ 18 การทดสอบดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

% Natural Rubber	3.00%	4.00%	5.00%	6.00%	7.00%	มาตรฐาน กรมทางหลวง
Soaked	2961	2333	2542	2207	2328	
Unsoaked	3812	2898	3018	2700	2879	
% Strength Index	78%	81%	84%	82%	81%	> 75 %

Strength Index (%)



สัดส่วนร้อยละปริมาณยางพาราธรรมชาติ ในพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณยางพาราธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าดัชนีความแข็งแรง

4. การทดสอบอัตราส่วนผสมยางพาราธรรมชาติ โดยวิธี Marshall (WMA)

การผสมปูนโดยใช้สารผสมเพิ่ม Advera WMA วัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ เป็น PAC ในสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3, 4, และ 5 ตามลำดับ สาเหตุที่ไม่ใช้ยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 6 และ 7 เพราะว่าการทดสอบการผสมร้อนให้ผลว่า การเติมยางพาราธรรมชาติอยู่ในช่วง ร้อยละ 3 ถึง ร้อยละ 5 ให้ผลอยู่ในมาตรฐาน ทั้งนี้ ร้อยละ 6 และ 7 มีค่าเสถียรภาพต่ำกว่ามาตรฐาน คือ ต่ำกว่า 1800 Lbs จึงไม่นำร้อยละทั้งสองนี้มาพิจารณาในกระบวนการผสมปูน

ในงานวิจัยนี้ มีผลการทดสอบตามตารางที่ 19 ถึงตารางที่ 24 โดย การผสมปูนเริ่ม ทำการทดสอบครั้งที่หนึ่ง โดยใช้ สาร Advera ที่ร้อยละ 0.25 โดยมวลรวม อุณหภูมิ ผสมและบดอัดที่ 130 °C ร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 4.7 โดยมวลรวม ผลปรากฏว่า มีค่าความเสถียรภาพเฉลี่ยทั้ง 3 สัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติเป็น 1923 Lbs ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 2.462 gm/ml จะเห็นว่า

ถึงแม้ค่าความเสถียรภาพจะผ่านมาตรฐาน แต่ค่าความหนาแน่นที่ได้มากเกินไป ส่งผลให้ช่องว่างในอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.37 ซึ่งไม่อยู่ในมาตรฐาน คือ ไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 3 ถึง 5

เมื่อการทดสอบครั้งแรก ให้ค่าช่องว่างที่ต่ำเกินไป จึงหาทางเพิ่มช่องว่าง เพื่อให้อยู่ในมาตรฐาน โดยสันนิษฐานว่าการใส่ Advera มาก ทำให้ก้อนตัวอย่างบดอัดได้แน่นมากตามไปด้วย การทดสอบที่สองจึงทดสอบลด สาร Advera ลงเหลือร้อยละ 0.20 โดยมวลรวม อุณหภูมิผสมและบดอัดที่ 130 °C ร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 4.7 โดยมวลรวม ผลปรากฏว่า ค่าเสถียรภาพเฉลี่ยเท่ากับ 2095 Lbs และค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 2.456 gm/ml ซึ่งจะเห็นว่าค่าความเสถียรภาพของการใช้ที่ร้อยละ 0.20 มีค่ามากกว่าร้อยละ 0.25 และ ค่าความหนาแน่นก็ลดลงตามข้อสันนิษฐาน ส่งผลให้ช่องว่างอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.57 ซึ่งยังคงไม่ผ่านมาตรฐานเช่นเดิม

ผลการทดสอบครั้งที่สอง ให้ผลช่องว่างที่ได้สูงขึ้นมาร้อยละ +0.20 นั้นแสดงว่าการลด สาร Advera ลง ยังเพิ่มช่องว่างในอากาศได้ไม่มากนัก อาจมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง จึงสันนิษฐานต่อว่า ถ้าหากลดอุณหภูมิ เพื่อให้ก้อนตัวอย่างบดอัดได้ยากขึ้น เนื่องจากความหนืดที่มากขึ้น การทดสอบที่สาม จึงทำการลดอุณหภูมิการผสมและการบดอัดเหลือ 120 °C สาร Advera ร้อยละ 0.20 ร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 4.7 โดยมวลรวม ผลปรากฏว่า ค่าความเสถียรภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1666 Lbs และค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 2.446 gm/ml ค่าช่องว่างในอากาศเฉลี่ยมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.97 ซึ่งยังไม่อยู่ในช่วงมาตรฐานร้อยละ 3-5 และค่าเสถียรภาพต่ำกว่ามาตรฐาน คือ 1800 Lbs นั้นเอง

ทำการวิเคราะห์ย้อนกลับไปดูผลการทดสอบแรก และการทดสอบที่สอง จะเห็นว่าถ้าหากลด สาร Advera ลงเหลือร้อยละ 0.20 ส่งผลให้ค่าความเสถียรภาพมากขึ้น จึงได้สันนิษฐานในการทดสอบครั้งที่สี่ ว่าถ้าหากลดสาร Advera ลงเหลือร้อยละ 0.15 ค่าเสถียรภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกหรือไม่ และเพื่อเป็นการตรวจสอบปริมาณสาร Advera ที่ใช้ต่ำที่สุดควรเป็นเท่าไรอีกด้วย การทดสอบครั้งที่สี่จึงทำการลด Advera เหลือร้อยละ 0.15 อุณหภูมิที่ 120 °C ร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 4.7 โดยมวลรวม ผลปรากฏว่า ค่าเสถียรภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1632 Lbs ซึ่งจะเห็นว่า ค่าเสถียรภาพที่ร้อยละ 0.20 มีค่ามากกว่า นั้นแสดงว่าการสันนิษฐานที่คาดว่าค่าเสถียรภาพจะสูงขึ้นนั้นไม่เป็นจริง แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ Advera ที่ร้อยละ 0.15 เป็นไปไม่ได้ ส่วนค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.442 gm/ml ค่าช่องว่างอากาศเฉลี่ยจึงมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.17 ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานร้อยละ 3-5 ก็จริง แต่มีจุดที่น่าสนใจอีกว่า ระหว่างขั้นตอนการผสมโดยใช้ Advera ที่ร้อยละ 0.15 ใช้เวลาการผสมที่นานกว่า การใช้ Advera ที่ร้อยละ 0.20 นั้นหมายความว่า PAC เริ่มจะทำการเซทด้วยความหนืดมีมากขึ้น จึงทำให้การผสมผสมวนเคลือบผิววัสดุไม่ได้เต็มที่ ส่งผลให้ใช้เวลาในการผสมนานขึ้นนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบทั้ง 4 ครั้ง โดยเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวง ให้ผลว่า ถ้าหากค่าความเสถียรภาพผ่าน ค่าช่องว่างในอากาศจะไม่ผ่าน และถ้าช่องว่างในอากาศผ่าน ค่าเสถียรภาพจะไม่ผ่าน ดังนั้น จึงทำการสันนิษฐานปัจจัยตัวสุดท้ายในการทดสอบครั้งที่ห้า คือ การลดวัสดุเชื่อมประสาน หรือ ปริมาณร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์จาก 4.7 ลดให้เหลือ 4.4 โดยมวลรวม

เพื่อป้องกันช่องว่างอากาศไม่ผ่านมาตรฐาน เพราะจากการทำวิจัยมานั้นสังเกตได้ว่าเมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสานน้อยลง ช่องว่างในอากาศก็จะมากขึ้น แต่หากลดปริมาณวัสดุเชื่อมประสานลง จะส่งผลต่อค่าความเสถียรภาพ ผู้วิจัยจึงแก้ไขปัญหานี้โดยการเพิ่มสาร Advera ร้อยละ 0.20 อุณหภูมิผสมและบดอัด 120 °C ผลปรากฏว่า ค่าความเสถียรภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1491 Lbs และค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.427 gm/ml ค่าช่องว่างอากาศเฉลี่ยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.17 ถือว่าเป็นค่าช่องว่างในอากาศที่เหมาะสมมาก เพราะมีค่าใกล้เคียงกึ่งกลางของมาตรฐานมากที่สุด คือ ร้อยละ 4.0 แต่ถึงแม้ว่าช่องว่างในอากาศจะเหมาะสมมากก็ตาม ค่าเสถียรภาพกลับต่ำลงกว่ามาตรฐาน ถึง -309 Lbs นั้นแสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่ห้ายังล้มเหลว เช่นเดิม

การสันนิษฐานการทดสอบที่ห้า ผู้วิจัยคิดว่าสามารถควบคุมช่องว่างในอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานได้แล้ว ส่วนค่าความเสถียรภาพยังไม่สามารถทำให้ผ่านมาตรฐานได้ จากการทดสอบที่ห้าใช้ Advera ร้อยละที่ 0.20 อาจทำให้ขั้นตอนการผสมเกิดความหนืดมากเกินไป และระหว่างการบดอัด อาจทำการบดอัดไม่เข้าเนื่องจากวัสดุเริ่มเซตตัวแล้ว ในการทดสอบครั้งที่หก จึงได้ทำการเพิ่มสาร Advera อีกครั้ง ให้เป็นร้อยละ 0.25 ปริมาณร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ 4.4 โดยมวลรวม อุณหภูมิผสมและบดอัด 120 °C ผลปรากฏว่า ค่าเสถียรภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1212 Lbs ซึ่งค่าเสถียรภาพต่ำกว่าใช้สาร Advera ที่ร้อยละ 0.25 เท่ากับ -279 Lbs นั้นเพราะว่า อุณหภูมิในห้องทดสอบลดต่ำลงเหลือ 25 °C จากปกติ 28 °C อุณหภูมิตกไป -3 °C ตามตารางที่ 20 และเมื่อดูจากค่าความสูงเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างการทดสอบที่หก จะเท่ากับ 65.34 mm จากตารางที่ 19 และจากการทดสอบที่ห้าเท่ากับ 65.07 mm ซึ่งต่างกันอยู่ -0.27 cm หรือ -2.7 mm อีกทั้งเมื่อพิจารณาช่องว่างในอากาศของการทดสอบที่ห้าและหก จะเห็นว่าการทดสอบที่หกมีช่องว่างในอากาศเฉลี่ยมากกว่า ถึงร้อยละ +0.30 และนั่นก็เป็นอีกเหตุผลที่ยืนยันเพิ่มเติมอีกว่า การบดอัดนั้น บดอัดได้ไม่แน่น หรือบดอัดไม่เข้านั่นเอง

การทดสอบที่ห้าและหก สามารถบ่งบอกได้อีกว่า PAC มีการดูดและคายความร้อนได้รวดเร็วมาก การที่จะทำให้บดอัดเข้านั้น ควรใช้ที่ อุณหภูมิ 130 °C เหมาะกว่า การสันนิษฐานสุดท้ายคาดว่า ถ้าหากอุณหภูมิมีผลต่อการทดสอบ และอุณหภูมิที่ดีที่สุดคือ 130 °C การทดสอบที่เจ็ดจึงใช้อุณหภูมิผสมและบดอัดที่ 130 °C และด้วยเหตุที่ลด PAC เหลือที่ร้อยละ 4.4 จึงยังคงใช้ Advera ที่ร้อยละ 0.25 เหมือนเดิม ผลที่ได้ปรากฏว่า ค่าความเสถียรภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1461 Lbs ซึ่งก็ยังคงต่ำกว่ามาตรฐาน 1800 Lbs เช่นเดิม ถึงแม้จะสูงกว่าการทดสอบที่หกตามที่สันนิษฐานไว้ และค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.425 gm/ml ซึ่งช่องว่างอากาศเฉลี่ยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.23

จากการทดสอบทั้ง 7 การทดสอบ โดยมีปัจจัยสำคัญที่ใช้ 3 ปัจจัย คือ ปริมาณร้อยละสาร Advera อุณหภูมิในการผสมและบดอัด และปริมาณร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ ผลการทดสอบโดยรวมบ่งบอกว่าผู้วิจัยต้องการให้ค่าเสถียรภาพและค่าช่องว่างในอากาศ เป็นไปตามมาตรฐาน คือค่าเสถียรมากกว่า 1800 Lbs และค่าช่องว่างอากาศอยู่ในช่วงร้อยละ 3-5 โดยการทดสอบแรก เห็นว่าค่าเสถียรภาพผ่านมาตรฐาน แต่ค่าช่องว่างในอากาศมีน้อยเกินไปจนไม่ผ่านมาตรฐาน จึงทำการทดสอบต่อเนื่องกันมาจนถึงการทดสอบที่เจ็ดเพื่อต้องการทำให้ช่องว่างในอากาศ

นี้เพิ่มขึ้นจนผ่านมาตรฐาน แต่ผลที่ได้คือ ช่องว่างในอากาศเพิ่มขึ้นจนผ่านมาตรฐานจริง แต่ค่าเสถียรภาพกลับลดต่ำลงจนไม่ผ่านมาตรฐาน

ผลการทดสอบยังบ่งบอกได้อีกว่า

4.1 ปริมาณการใช้สาร Advera WMA

ผลร้อยละช่องว่างในอากาศ (Air Voids) มีแนวโน้มน้อยลงเมื่อใช้ร้อยละ Advera WMA ที่มากขึ้น โดยการทดสอบครั้งที่ 4 ผ่านมาตรฐาน คืออยู่ในช่วงร้อยละ 3-5 ตามภาพที่ 21 และผลค่าความเสถียรภาพ (Stability) มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อใช้ร้อยละ Advera WMA ที่มากขึ้น โดยการทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ผ่านมาตรฐาน คือมากกว่า 1800 Lbs ตามภาพที่ 22

4.2 อุณหภูมิที่ใช้ผสมและบดอัด

ผลร้อยละช่องว่างในอากาศ (Air Voids) มีแนวโน้มน้อยลงเมื่อใช้อุณหภูมิที่มากขึ้น โดยการทดสอบครั้งที่ 4 , 5 , 6 และ 7 ผ่านมาตรฐาน ตามภาพที่ 23 และผลค่าความเสถียรภาพ (Stability) มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยการทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ผ่านมาตรฐาน ตามภาพที่ 24

4.3 ปริมาณการใช้ PAC

ผลร้อยละช่องว่างในอากาศ (Air Voids) มีแนวโน้มน้อยลงเมื่อใช้ร้อยละ Advera WMA ที่มากขึ้น โดยการทดสอบครั้งที่ 4 , 5 , 6 และ 7 ผ่านมาตรฐาน ตามภาพที่ 25 และผลค่าความเสถียรภาพ (Stability) มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อใช้ร้อยละ Advera WMA ที่มากขึ้น โดยการทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ผ่านมาตรฐาน ตามภาพที่ 26

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3.00 %

Test	Advera	% PAC by Mass	Tem (°C) Com. % Mix	Density gm/ml	Stability Lbs	3.00%			
	% by Mass Agg.					Flow 0.01 in	Air Voids %	VMA %	VFB %
1	0.25	4.7	130	2.467	1982 **	8 **	2.2	12.5	82.4
2	0.20	4.7	130	2.461	2047 **	8 **	2.4	12.7	81.1
3	0.20	4.7	120	2.458	1732	9 **	2.5	12.8	80.5
4	0.15	4.7	120	2.438	1644	9 **	3.3 **	13.5	75.6
5	0.20	4.4	120	2.430	1670	8 **	4.1 **	13.6	69.9 **
6	0.25	4.4	120	2.421	1218	8 **	4.4 **	13.9	68.3 **
7	0.25	4.4	130	2.427	1518	8 **	4.2 **	13.7	69.3 **
Standard				-	>1800	8-16	3-5	>14.0	65-75

หมายเหตุ ** ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 4.00 %

Test	Advera	% PAC by Mass	Tem (°C) Com. % Mix	Density gm/ml	Stability Lbs	4.00%			
	% by Mass Agg.					Flow 0.01 in	Air Voids %	VMA %	VFB %
1	0.25	4.7	130	2.468	1954 **	8 **	2.1	12.5	83.2
2	0.20	4.7	130	2.462	2151 **	9 **	2.4	12.7	81.1
3	0.20	4.7	120	2.445	1644	8 **	3.0 **	13.3	77.4
4	0.15	4.7	120	2.444	1612	9 **	3.0 **	13.3	77.4
5	0.20	4.4	120	2.424	1304	8 **	4.3 **	13.8	68.8 **
6	0.25	4.4	120	2.418	1304	9 **	4.5 **	14.0 **	67.9 **
7	0.25	4.4	130	2.423	1459	7	4.3 **	13.8	68.8 **
Standard				-	>1800	8-16	3-5	>14.0	65-75

หมายเหตุ ** ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 5.00 %

Test	Advera		Tem (°C) Com. % Mix	Density gm/ml	Stability Lbs	5.00%		VMA %	VFB %
	% by Mass Agg.	% PAC by Mass				Flow 0.01 in	Air Voids %		
1	0.25	4.7	130	2.451	1831 **	9 **	2.8	13.1	78.6
2	0.20	4.7	130	2.447	2086 **	9 **	2.9	13.2	78.0
3	0.20	4.7	120	2.435	1624	9 **	3.4 **	13.6	75.0
4	0.15	4.7	120	2.443	1639	9 **	3.2 **	13.4	76.1
5	0.20	4.4	120	2.429	1498	9 **	4.1 **	13.6	69.9 **
6	0.25	4.4	120	2.417	1114	8 **	4.5 **	14.0 **	67.9 **
7	0.25	4.4	130	2.426	1407	8 **	4.2 **	13.7	69.3 **
	Standard			-	>1800	8-16	3-5	>14.0	65-75

หมายเหตุ ** ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของการทดสอบผสมอ่อน (PAC)

Test	Advera		Tem (°C) Com. % Mix	Density gm/ml	Stability Lbs	Average		VMA %	VFB %
	% by Mass Agg.	% PAC by Mass				Flow 0.01 in	Air Voids %		
1	0.25	4.7	130	2.462	1923 **	8 **	2.37	12.7	81.4
2	0.20	4.7	130	2.456	2095 **	9 **	2.57	12.9	80.1
3	0.20	4.7	120	2.446	1666	9 **	2.97	13.2	77.6
4	0.15	4.7	120	2.442	1632	9 **	3.17 **	13.4	76.4
5	0.20	4.4	120	2.427	1491	8 **	4.17 **	13.7	69.5 **
6	0.25	4.4	120	2.419	1282	8 **	4.47 **	14.0 **	68.0 **
7	0.25	4.4	130	2.425	1461	7	4.23 **	13.7	69.2 **
	Standard			-	>1800	8-16	3-5	>14	65-75

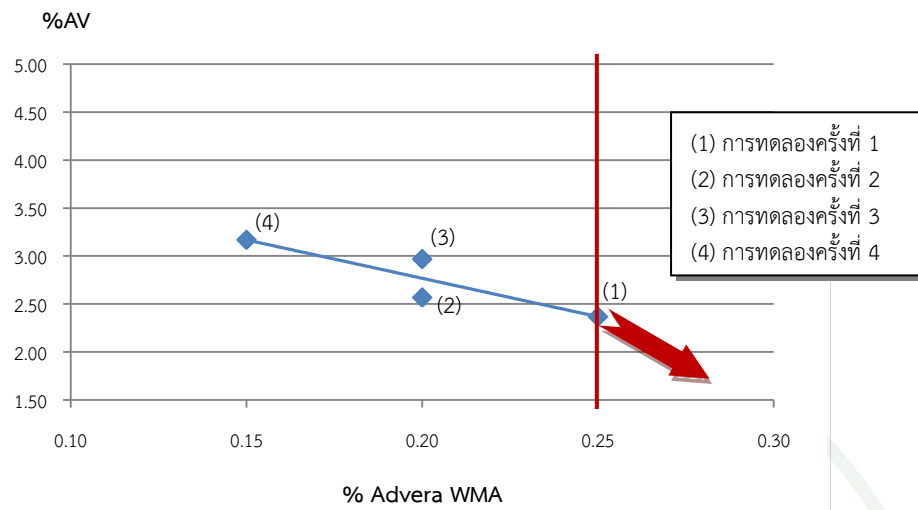
หมายเหตุ ** ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

ตารางที่ 23 ผลเฉลี่ยความสูงของก้อนตัวอย่าง แต่ละสัดส่วนยางพาราธรรมชาติ

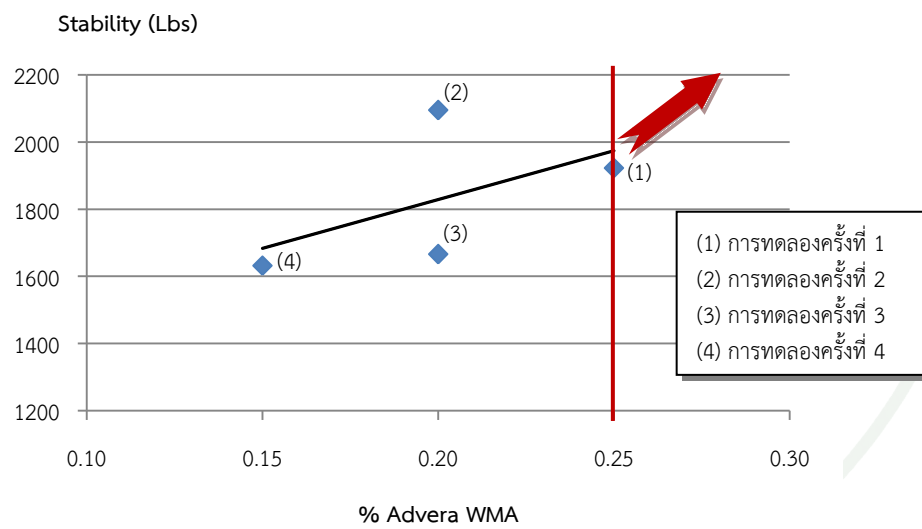
Test	Advera % by Mass Agg.	% PAC by Mass	Tem (°C) Com. % Mix	Height of Sample			Average
				3%	4%	5%	
1	0.25	4.7	130	64.28	64.41	64.44	64.38
2	0.20	4.7	130	65.62	64.19	64.24	64.68
3	0.20	4.7	120	64.49	65.06	65.12	64.89
4	0.15	4.7	120	64.72	64.61	64.89	64.74
5	0.20	4.4	120	64.85	65.38	64.97	65.07
6	0.25	4.4	120	65.88	64.99	65.15	65.34
7	0.25	4.4	130	65.01	64.96	64.84	64.94

ตารางที่ 24 จำนวนก้อนตัวอย่างและอุณหภูมิประจำวันของการบดอัดก้อนตัวอย่าง ขณะเวลา 11.00 น. ของวัน

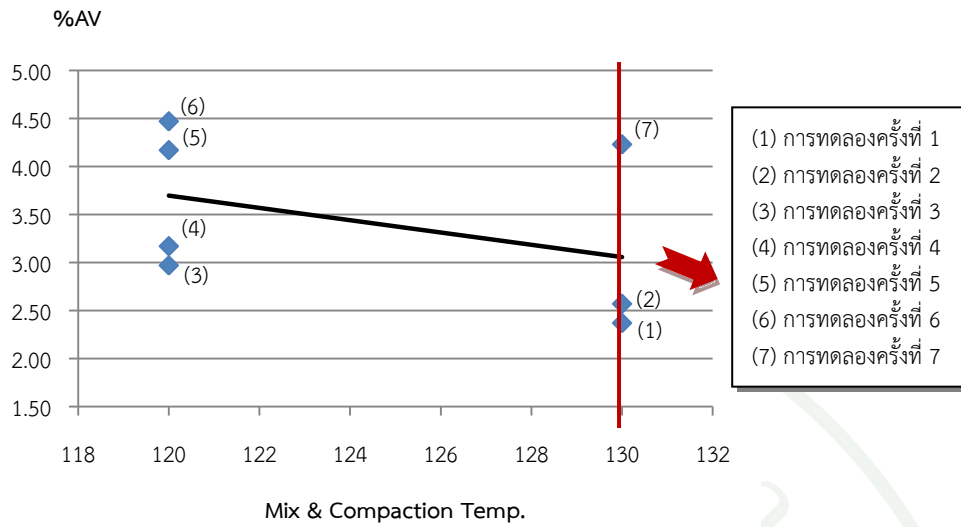
Test	Advera % by Mass Agg.	% PAC by Mass	Tem (°C) Com. % Mix	No. Sample (Tem. Of Day, °C)		
				3.00%	4.00%	5.00%
1	0.25	4.7	130	10 (28)	10 (28)	5 (28)
2	0.20	4.7	130	5 (28)	10 (28)	5 (28)
3	0.20	4.7	120	10 (28)	5 (28)	10 (28)
4	0.15	4.7	120	5 (28)	5 (28)	5 (28)
5	0.20	4.4	120	5 (28)	5 (28)	5 (28)
6	0.25	4.4	120	5 (25)	5 (25)	5 (25)
7	0.25	4.4	130	5 (25)	5 (25)	5 (25)



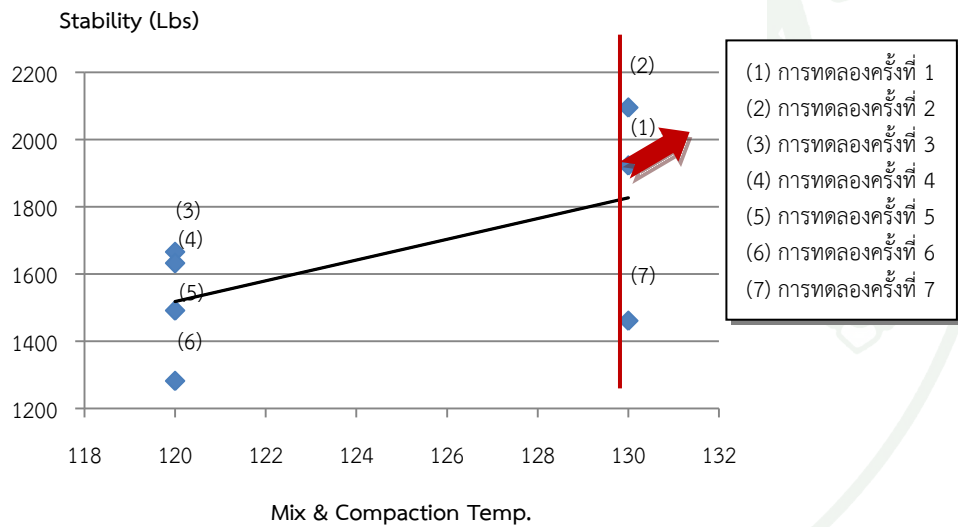
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Advera กับ %AV ของการผสมอ่อน



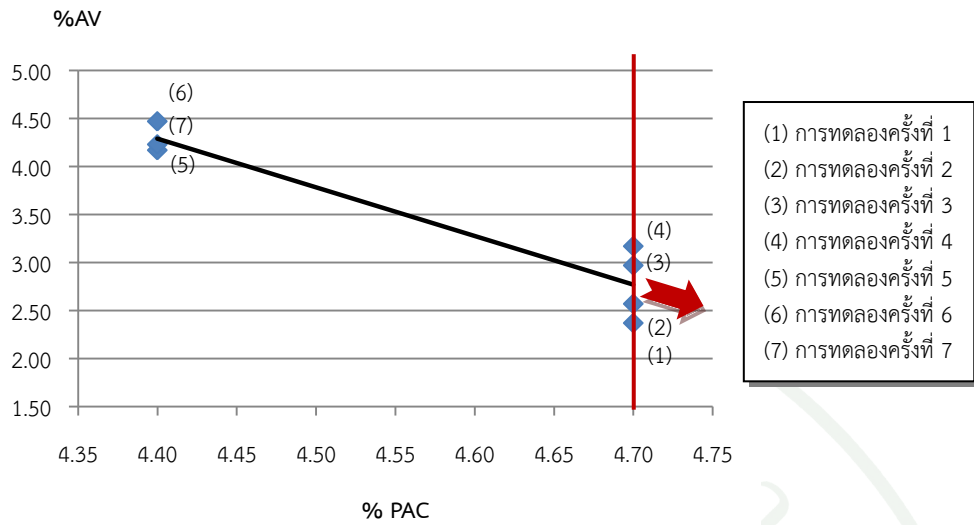
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Advera WMA กับ Stability ของการผสมอ่อน



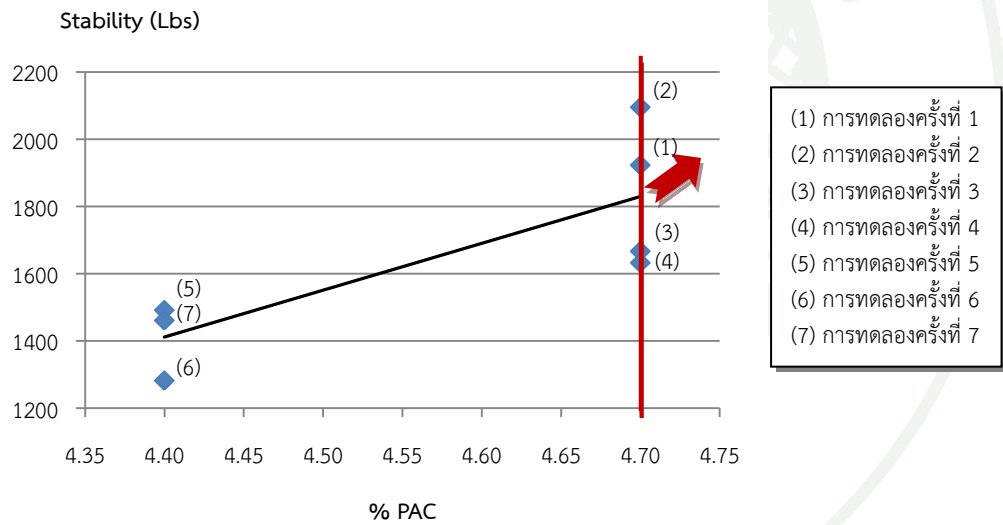
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่าง %AV กับ Mix & Compaction Temp. ของการผสมปูน



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Stability กับ Mix & Compaction Temp. ของการผสมปูน



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง %PAC กับ %AV ของการผสมปูน



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่าง %PAC กับ Stability ของการผสมปูน

5. จากการวิเคราะห์ในส่วนของการผสมอุ่น ให้เหตุผลเพิ่มเติมนอกเหนือจาก 3 ปัจจัยที่ผู้วิจัยใช้พิจารณาอีก คือ

5.1 การคายน้ำของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ของการผสมร้อนและการผสมอุ่น นั่นคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการผสมร้อน หรือใช้อุณหภูมิประมาณ 145 °C ทำให้พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์มีการคายน้ำที่มากกว่าการผสมอุ่นที่ใช้อุณหภูมิ 120-130 °C ดังนั้นการผสมร้อนทำให้น้ำออกจากเนื้อวัสดุ ส่งผลให้ค่ายึดเหนี่ยวของวัสดุดีขึ้น และเมื่อน้ำน้อยค่าความแน่นก็จะน้อยตามไปด้วย ถ้าพิจารณาในส่วนของการผสมอุ่นที่ใช้ความร้อนต่ำกว่า น้ำซึ่งอยู่ในตัววัสดุพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์จะทำการคายน้ำได้น้อยกว่าส่งผลให้ค่าเสถียรภาพที่ได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานและค่าความหนาแน่นสูงมาก เพราะน้ำไม่คายออกจากตัววัสดุพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์

5.2 การดูดซึมน้ำของการทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density) โดยใช้สูตรที่ว่า น้ำหนักในอากาศต่อน้ำหนักอิมตัวแห้งลบกับน้ำหนักในน้ำ ซึ่งน้ำหนักอิมตัวแห้งมีค่าเป็นที่น่าสังเกต คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่อิมตัวแห้งของกระบวนการผสมอุ่นนั้น มีค่าน้ำหนักมากกว่าซึ่งน้ำหนักในอากาศ อยู่ประมาณ 2-4 กรัม ในส่วนของการใช้ PAC ที่ร้อยละ 4.7 และประมาณ 3-6 กรัม ในส่วนของการใช้ PAC ที่ร้อยละ 4.4 นั้นเป็นเพราะในตัววัสดุพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์มีน้ำอยู่ น้ำที่อยู่ภายนอกจึงซึมเข้าสู่โมเลกุลของวัสดุพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ นั่นเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำหนักของวัสดุในสภาวะอิมตัวแห้งมีมากกว่าปกติ นั่นอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในเรื่องการคำนวณช่องว่างในอากาศได้นั่นเอง

สรุป

สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของการใช้ยางพาราธรรมชาติผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 หรือเรียกว่า พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยใช้ร้อยละสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ 3 , 4 , 5 , 6 และ 7 ทั้งนี้ทำการทดสอบ ด้วยกระบวนการผสมร้อน และการผสมอุ่น โดยที่การผสมอุ่นใช้สารผสมเพิ่มที่เรียกว่า Advera WMA ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ในกระบวนการผสมร้อน ร้อยละสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่เหมาะสม คือ 3 ถึง 5 โดยค่าเสถียรภาพ ค่าดัชนีความแข็งแรง และค่าการไหลอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์ยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 ให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

2. ในกระบวนการผสมอุ่น ผลการทดสอบมาร์แชลล์ วัสดุเชื่อมประสานเป็นพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยการทดสอบนี้ เลือกใช้ร้อยละสัดส่วนยางพาราธรรมชาติที่ 3 , 4 และ 5 โดยแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทั้งนี้การทดสอบใช้สาร Advera ที่ร้อยละ 0.15 , 0.20 และ 0.25 โดยมวบรวม พบว่า การใช้สาร Advera ที่ร้อยละ 0.20 โดยมวบรวม ส่งผลให้ได้ค่าความเสถียรภาพมากที่สุด แต่ในทางตรงกันข้าม ถึงแม้ว่าจะได้ค่าเสถียรภาพและความหนาแน่นที่มากขึ้น แต่ก็ส่งผลให้ช่องว่างอากาศลดต่ำลงจนไม่ผ่านมาตรฐาน

3. ในกระบวนการผสมอุ่น ผลการทดสอบมาร์แชลล์ วัสดุเชื่อมประสานเป็นพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ การทดลองใช้อุณหภูมิที่ 120 และ 130 °C ในการบดอัดและการผสม พบว่า อุณหภูมิการบดอัดและการผสม มีผลต่อก่อนตัวอย่าง โดยเมื่อใช้อุณหภูมิ 130 °C จะทำให้ค่าเสถียรภาพมากกว่าการบดอัดที่อุณหภูมิ 120 °C แต่ช่องว่างในอากาศมีน้อยเกินไป ส่งผลให้ไม่ผ่านมาตรฐาน และการบดอัดที่อุณหภูมิ 120 °C มีผลให้ช่องว่างในอากาศอยู่ในมาตรฐาน แต่ค่าเสถียรภาพต่ำกว่ามาตรฐาน

4. ในกระบวนการผสมอุ่น ผลการทดสอบมาร์แชลล์ วัสดุเชื่อมประสานเป็นพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ การทดลองใช้ ร้อยละพาราแอสฟัลต์แอสฟัลต์ที่ 4.7 โดยมวบรวม พบว่าผลการทดลองที่ได้มีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าแบบผสมร้อน แต่ยังผ่านมาตรฐาน โดยที่ ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นอย่างมาก จนช่องว่างอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน จึงได้ทำการทดลองลดร้อยละพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ลงให้เหลือ 4.4 โดยมวบรวม ผลที่ได้ คือความหนาแน่นลดต่ำลง ช่องว่างอากาศเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่ค่าความเสถียรภาพกลับต่ำกว่ามาตรฐานอย่างมาก

โดยสรุปแล้ว การประยุกต์ใช้ยางพาราธรรมชาติในงานถนน เมื่อใช้ยางพาราที่อยู่ในรูปแผ่นยางมาสเตอร์แบท เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการผสมร้อน มากกว่าการผสมอุ่น เพราะการผสมอุ่น ถึงแม้ว่าค่าเสถียรภาพจะเป็นไปตามมาตรฐาน แต่ค่าช่องว่างในอากาศมีมากเกินไป ถึงแม้จะทดสอบในหลาย ๆ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจนสามารถลดช่องว่างในอากาศได้แล้วนั้น แต่ในทางตรงกันข้ามค่าเสถียรภาพกลับต่ำกว่ามาตรฐานอย่างมาก แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการทดสอบในกระบวนการผสมอุ่นโดยใช้สาร Advera WMA นั้นไม่เหมาะกับพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในสัดส่วนร้อยละยางพาราธรรมชาติที่ 3 ถึง 5 โดยใช้เป็นแผ่นยางมาสเตอร์แบท

ข้อเสนอแนะ

1. อุณหภูมิในการผสมระหว่างยางพาราธรรมชาติที่อยู่ในรูปมาสเตอร์แบทกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ สำหรับงานวิจัยนี้ อุณหภูมิที่ใช้สูงสุด 200 °C โดยไม่ได้แบ่งอุณหภูมิออกมาเป็นช่วง ๆ เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมหรือการสูญเสียคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ อาทิเช่น แบ่งอุณหภูมิการผสมเป็น 3 ช่วง คือ อุณหภูมิผสมที่ 160 , 180 และ 200 °C ตามลำดับ ทั้งนี้ต้องระวังเรื่องระยะเวลาการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย
2. คุณสมบัติของแผ่นยางมาสเตอร์แบทอาจยังไม่มีประสิทธิภาพ ควรลองทำการทดสอบโดยใช้ยางพาราชั้นผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยในขั้นตอนการผสมควรผสมในถังขนาดใหญ่ มีการควบคุมอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม จากนั้นควรทำการทดสอบใช้ในกระบวนการผสมอู่ แล้วทำการเปรียบเทียบกับการใช้แผ่นยางมาสเตอร์แบท
3. การที่ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นที่สูงมากจนทำให้ค่าเสถียรภาพสูงมากตามไปด้วย ไม่ได้เป็นผลดีต่อการออกแบบถนน เพราะเป็นสาเหตุให้เกิดการยุบตัวแล้วไม่คืนตัวกลับ หรือที่เรียกว่าปัญหาบ่อลื้อ
4. ควรมีการศึกษาถึงผลกระทบในด้านเศรษฐกิจราคายางพาราที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้ไปใช้งานได้จริง และช่วยชาวสวนเกษตรกรยางพาราได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- นฤตล นวลนิ่ม. 2545. การศึกษาคุณสมบัติของผิวทางแบบสเลอรี่ซีล โดยใช้แอสฟัลต์อิมัลชันที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางชั้นธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, จรัสศรี พันธุ์ไม้, พลชิต บัวแก้ว, นิโรจน์ รอดสม และ วิชัย โอภาณุกุล. 2551. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางในงานสร้างทาง. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลการเกษตร ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยยาง และ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, ฉะเชิงเทรา.
- ชยธันว์ พรหมศร. 2553. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่สามารถระบายน้ำได้. รายงาน ฉบับที่ วพ.213 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- ก่อโชค จันทรวงกูร. 2555. การใช้ยางพาราในงานวิศวกรรมทาง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. 2555. เทคโนโลยียาง. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.
- สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 2544. ราคายางวันนี้. สำนักตลาดกลางยางพารา หาดใหญ่, สงขลา.
- สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง. 2539. มาตรฐานงานทาง, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง. 2539. มาตรฐานวิธีการทดสอบ, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- Fernando, and M.J. Nadara, M. 1969. Use of natural rubber latex in road construction. J. Rubb. Res.Inst. Malaya, 22(5) : 430-440.
- Takallou, H.B.(1987), Use of Rubber-Modified Asphalt Pavements in cold regions, Prepared for Workshop on Paving in Cold Areas, Ottawa Ontario

N.R.Nair, N.M.Mathew, S.Thomus, P.Chatterjee and M.A.Siddiqui, 1998. **Physical and Rheological characteristics of liquid natural rubber modified bitumen.** Journal of Applied Polymer Science, 68 : 53-61,

Sak Kongsuwan. 2003. **Rubber Asphalt Composition and Application in road Pavement.** Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering (RSID4), Bangkok.

S.Nuha Mashaan, Asim Hassan Ali, Mohamed Rehan Karim and Marhrez Abdelaziz. 2011. **An overview of crumb rubber modified asphalt.** Center for Transportation Research. Faculty of Engineering. University of Malaya. Kuala Lumpur 50603, Malaysia.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลการทดลองโดยละเอียด

1) ผลการทดสอบวัสดุมวลรวม

ตารางผนวกที่ ก1 ขนาดละเอียดของมวลรวมร่อนผ่านตะแกรง Cold Bin 1 (ฝุ่น)

Sieve Size	Cold Bin 1		
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %
1"	0	1000	100
3/4"	0	1000	100
1/2"	0	1000	100
3/8"	0	1000	100
#4	124.46	875.54	87.6
#8	292.40	583.14	58.3
#16	196.16	386.98	38.7
#30	113.59	273.39	27.3
#50	72.18	201.21	20.1
#100	53.26	147.95	14.8
#200	39.43	108.52	10.9

ตารางผนวกที่ ก2 ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Cold Bin 2 (3/8")

Sieve Size	Cold Bin 2		
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %
1"	0	1000	100
3/4"	0	1000	100
1/2"	0	1000	100
3/8"	0	1000	100
#4	913.34	86.7	8.7
#8	71.51	15.2	1.5
#16	1.74	13.4	1.3
#30	0.17	13.2	1.3

ตารางผนวกที่ ก3 ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Cold Bin 3 (3/4")

Sieve Size	Cold Bin 3		
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %
1"	0	5000	100
3/4"	532	4468	89.4
1/2"	2618	1850	37.0
3/8"	1330	520	10.4
#4	504	16	0.3

ตารางผนวกที่ ก4 ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Hot Bin 1 (ฝุ่น)

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average
	Retained	Passing	Passing	Retained	Passing	Passing	%
	gm.	gm.	%	gm.	gm.	%	Passing
3/4"	0	1000	100	0	1000	100	100
1/2"	0	1000	100	0	1000	100	100
3/8"	0	1000	100	0	1000	100	100
#4	0	1000	100	0	1000	100	100
#8	266.49	733.51	73.4	212.21	787.79	78.8	76.1
#16	279.46	454.05	45.4	264.83	522.96	52.3	48.9
#30	156.10	297.95	29.8	165.82	357.14	35.7	32.8
#50	104.64	193.31	19.3	120.20	236.94	23.7	21.5
#100	52.95	140.36	14.0	63.76	173.18	17.3	15.7
#200	27.15	113.21	11.3	32.91	140.27	14.0	12.7

ตารางผนวกที่ ก5 ขนาดคละของมวลรวมร้อนผ่านตะแกรง Hot Bin 2 (3/8")

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average
	Retained	Passing	Passing	Retained	Passing	Passing	%
	gm.	gm.	%	gm.	gm.	%	Passing
3/4"	0	1000	100	0	1000	100	100
1/2"	0	1000	100	0	1000	100	100
3/8"	0	1000	100	0	1000	100	100
#4	665.88	334.12	33.4	690.90	309.10	30.9	32.2
#8	326.94	7.18	0.7	304.40	4.70	0.5	0.6
#16	4.55	2.63	0.3	2.69	2.01	0.2	0.2

ตารางผนวกที่ ก6 ขนาดคละของมวลรวมร่อนผ่านตะแกรง Hot Bin 3 (1/2")

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average
	Retained	Passing	Passing	Retained	Passing	Passing	%
	gm.	gm.	%	gm.	gm.	%	Passing
3/4"	0	1000	100	0	1000	100	100.00
1/2"	241.8	758.2	75.8	310.3	689.7	69.0	72.4
3/8"	522.4	235.8	23.6	500.1	189.6	19.0	21.3
#4	222.4	13.4	1.3	176.5	13.1	1.3	1.3
#8	12.8	0.6	0.1	12.5	0.6	0.1	0.1

ตารางผนวกที่ ก7 ขนาดคละของมวลรวมร่อนผ่านตะแกรง Hot Bin 4 (3/4")

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average
	Retained	Passing	Passing	Retained	Passing	Passing	%
	gm.	gm.	%	gm.	gm.	%	Passing
3/4"	0	4500	100	0	4500	100	100
1/2"	4296	204	4.53	4222	278	6.18	5.4
3/8"	154	50	1.11	220	58	1.29	1.2
#4	40	10	0.22	50	8	0.18	0.2

ตารางผนวกที่ ก8 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 2 , 3 และ 4

Sample	Mass of Aggregate (gm.)			G _B	G _A	% Absorption	
	In Oven	In Saturate	Immersed	$\frac{A}{B - C}$	$\frac{A}{A - C}$	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	
	Dry	Surface Dry	in Water				
	(A)	(B)	(C)				
Bin 2	Sample 1	1075.77	1081.91	690.70	2.750	2.794	0.57
	Sample 2	1372.11	1379.65	880.80	2.751	2.793	0.55
	Total	2447.88	2461.56	1571.50	2.750	2.793	0.56
Bin 3	Sample 1	1046.06	1051.16	669.37	2.740	2.777	0.49
	Sample 2	1350.82	1357.11	864.73	2.743	2.779	0.47
	Total	2396.88	2408.27	1534.10	2.742	2.778	0.48
Bin 4	Sample 1	1214.89	1221.16	777.30	2.737	2.776	0.52
	Sample 2	1397.76	1404.74	893.89	2.736	2.774	0.50
	Total	2612.65	2625.90	1671.19	2.737	2.775	0.51

ตารางผนวกที่ ก9 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 1 (หินฝุ่น)
 ค้างตะแกรงเบอร์ 200 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Wt.Pycnometer + SSD Sample , gm	=	692.59		
Wt.Pycnometer , gm	=	191.84	Volume 500 at 27°C	
Wt.SSD Sample (A) , gm	=	500.75		
Wt. Dry Sample (B) , gm	=	496.68		
<hr/>				
Determination No.		1	2	3
Temperature (t)	°C	64	60	55
Density of Water (dt)	gm/ml	0.9811	0.9832	0.9857
Wt.Pycnometer + Water +Sample (W ₁)	gm	997.96	998.76	999.51
Wt.Pycnometer + Water W ₂)	gm	682.39	683.44	684.69
Apparent Specific Gravity				
GB (t°C)	$\frac{B \times dt}{\bar{A} + W_2 - W_1}$	2.631	2.634	2.633
GB (30°C)	$\frac{G_B(t^\circ C)}{0.9957}$	2.643	2.645	2.644
Bulk Specific Gravity (Oven-Dry Bassis)				
GA (t°C)	$\frac{B \times dt}{B + W_2 - W_1}$	2.691	2.693	2.692
GA (30°C)	$\frac{G_A(t^\circ C)}{0.9957}$	2.702	2.704	2.704

ตารางผนวกที่ ก10 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 1 (หินฝุ่น)
 ค้างตะแกรงเบอร์ 200 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Wt.Pycnometer + SSD Sample , gm	=	658.44	
Wt.Pycnometer , gm	=	157.84	Volume 500 at 20°C
Wt.SSD Sample (A) , gm	=	500.6	
Wt. Dry Sample (B) , gm	=	496.87	

Determination No.		1	2	3
Temperature (t)	°C	64	60	54
Density of Water (dt)	gm/ml	0.9811	0.9832	0.9862
Wt.Pycnometer + Water +Sample (W ₁)	gm	963.17	964.05	965.12
Wt.Pycnometer + Water W ₂)	gm	648.39	649.44	650.94
Apparent Specific Gravity				
G _B (t°C)	$= \frac{B \times dt}{A + W_2 - W_1}$	2.623	2.627	2.629
G _B (30°C)	$= \frac{G_B (t^\circ C)}{0.9957}$	2.635	2.638	2.640
Bulk Specific Gravity (Oven-Dry Bassis)				
G _A (t°C)	$= \frac{B \times dt}{B + W_2 - W_1}$	2.677	2.680	2.682
G _A (30°C)	$= \frac{G_A (t^\circ C)}{0.9957}$	2.689	2.692	2.694

ตารางผนวกที่ ก11 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและการดูดซึมน้ำ Hot Bin 1 (หินฝุ่น)
ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Wt.Pycnometer + SSD Sample , gm	=	311.9		
Wt.Pycnometer , gm	=	191.84	Volume 500 at 27°C	
Wt.SSD Sample (A) , gm	=	120.06		
Wt. Dry Sample (B) , gm	=	117.98		
<hr/>				
Determination No.		1	2	3
Temperature (t)	°C	55	50	45
Density of Water (dt)	gm/ml	0.9857	0.9881	0.9902
Wt.Pycnometer + Water +Sample (W ₁)	gm	759.87	760.99	761.88
Wt.Pycnometer + Water W ₂)	gm	684.69	685.89	686.94
Apparent Specific Gravity				
GB (t°C)	$= \frac{B \times dt}{A + W_2 - W_1}$	-	-	-
GB (30°C)	$= \frac{G_B(t^\circ C)}{0.9957}$	-	-	-
Bulk Specific Gravity (Oven-Dry Basis)				
GA (t°C)	$= \frac{B \times dt}{\bar{B} + W_2 - W_1}$	2.717	2.719	2.714
GA (30°C)	$= \frac{G_A(t^\circ C)}{0.9957}$	2.729	2.730	2.726

ตารางผนวกที่ ก12 ดัชนีความแบน Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Flakiness Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	0	0	0	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	0	0	0	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	393.58	271.65	665.23	
	Total	393.58	271.65	665.23	40.8

ตารางผนวกที่ ก13 ดัชนีความแบน Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Flakiness Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	0	0	0	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	0	0	0	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	411.96	278.39	690.35	
	Total	411.96	278.39	690.35	40.3

ตารางผนวกที่ ก14 ดัชนีความแบน Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Flakiness Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	129.65	112.18	241.83	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	415.18	107.41	522.59	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	160.44	62.01	222.45	
	รวม	705.27	281.6	986.87	28.5

ตารางผนวกที่ ก15 ดัชนีความแบน Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Flakiness Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	229.64	80.62	310.26	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	416.09	83.84	499.93	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	124.68	52.04	176.72	
	รวม	770.41	216.5	986.91	21.9

ตารางผนวกที่ ก16 ดัชนีความแบน Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Flakiness Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	3745.88	551.42	4297.30	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	130.48	24.16	154.64	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	21.67	19.45	41.12	
	รวม	3898.03	595.03	4493.06	13.2

ตารางผนวกที่ ก17 ดัชนีความแบน Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Flakiness Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	3551.3	671.03	4222.33	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	177.34	42.91	220.25	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	37.44	13.43	50.87	
	รวม	3766.08	727.37	4493.45	16.2

ตารางผนวกที่ 18 ดัชนีความยาว Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Elongation Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	0	0	0	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	0	0	0	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	105.15	560.2	665.35	
	Total	105.15	560.2	665.35	15.8

ตารางผนวกที่ ก19 ดัชนีความยาว Hot Bin 2 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Elongation Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	0	0	0	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	0	0	0	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	119.46	571.09	690.55	
	Total	119.46	571.09	690.55	17.3

ตารางผนวกที่ ก20 ดัชนีความยาว Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Elongation Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	0	241.85	241.85	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	107.10	415.36	522.46	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	98.20	124.20	222.40	
	Total	205.3	781.41	986.71	20.8

ตารางผนวกที่ ก21 ดัชนีความยาว Hot Bin 3 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Elongation Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	12.22	298.03	310.25	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	82.52	417.65	500.17	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	69.5	106.92	176.42	
	Total	164.24	822.6	986.84	16.6

ตารางผนวกที่ ก22 ดัชนีความยาว Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

Elongation Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	453.91	3842.86	4296.77	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	54.86	99.80	154.66	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	8.42	32.67	41.09	
	Total	517.19	3975.33	4492.52	11.5

ตารางผนวกที่ ก23 ดัชนีความยาว Hot Bin 4 ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

Elongation Index					
Sieve Size	Width of	Mass	Mass	Total	Flakiness
U.S. Standard	Slot Sieve	Retained	Passing	Mass	Index
Square Opening		X	Y	X+Y	
(mm.)	(mm.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	%
25.40-19.05 [1" - 3/4"]	13.34 [0.525"]	0	0	0	
19.05-12.70 [3/4"-1/2"]	9.53 [0.375"]	373.81	3848.45	4222.26	
12.70-9.52 [1/2"-3/8"]	6.68 [0.263"]	88.94	131.26	131.26	
9.52 - 4.76 [3/8"-#4]	4.20 [0.169"]	19.80	31.07	50.87	
	Total	393.61	4010.78	4404.39	8.9

ตารางผนวกที่ ก24 การหาค่าสึกหรอด้วยเครื่องขัดสี Los Angeles ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 1

เกรดการทดสอบ Los Angeles เกรด B จำนวนรอบ 500 รอบ

จำนวนลูกตุ้ม 11 ลูก น้ำหนักลูกตุ้มเฉลี่ย 414.36 กรัม/ลูก

	Sieve Size		Accumulative	
	Passing	Retained on	Weight of Sample	
	3/4"	1/2"	2500	gm.
	1/2"	3/8"	2500	gm.
Original weight of sample (W1)			5000	gm.
Final weight of sample (W2)			4012	gm.
Loss (W1 - W2)			988	gm.
Percent of wear	$\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100$		19.8	%

ตารางผนวกที่ ก25 การหาค่าสึกหรอด้วยเครื่องขัดสี Los Angeles ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 2

เกรดการทดสอบ Los Angeles เกรด B จำนวนรอบ 500 รอบ

จำนวนลูกตุ้ม 11 ลูก น้ำหนักลูกตุ้มเฉลี่ย 414.36 กรัม/ลูก

	Sieve Size		Accumulative	
	Passing	Retained on	Weight of Sample	
	3/4"	1/2"	2500	gm.
	1/2"	3/8"	2500	gm.
Original weight of sample (W1)			5000	gm.
Final weight of sample (W2)			4016	gm.
Loss (W1 - W2)			984	gm.
Percent of wear	$\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100$		19.7	%

ตารางผนวกที่ ก26 การทดสอบทรายผสมมูล ของ Fine Aggregate

Number	Sand Reading	Clay Reading	SE = Sand / Clay	SE
Sample 1	3.4	5.0	68.0	68
Sample 2	3.5	5.2	67.3	68
Sample 3	3.7	5.4	68.5	69
Sample 4	3.8	5.3	71.7	72

ตารางผนวกที่ ก27 การทดสอบทรายผสมมูล ของ Hot Bin 1 (ฝุ่น)

Number	Sand Reading	Clay Reading	SE = Sand / Clay	SE
Sample 1	4.1	5.2	78.8	79
Sample 2	3.9	5.2	75.0	75
Sample 3	4.0	5.3	75.5	76
Sample 4	4.0	5.1	78.4	79

ตารางผนวกที่ ก28 การทดลองหาการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม

Description	Unit	Trial 1	Trial 2
% AC. By weight of Aggregate	%	6.00	6.00
% AC. By weight of total mix	[X] %	5.66	5.66
Weight of flask in water	[A] gm.	291.58	291.58
Weight of flask in air	[B] gm.	527.34	527.33
Weight of flask + sample in air	[C] gm.	1026.84	1112.39
Weight of sample in air	[D] gm.	499.50	585.06
Weight of flask + sample in water after evacuation	[E] gm.	589.45	640.42
Theoretical Maximum Specific Gravity (G_m)			
$G_m = \frac{D}{A + D - E}$		2.477	2.477
Average Theoretical Maximum Specific Gravity			2.477
Virtual Specific Gravity (G_v)			
$G_v = \frac{100 - X}{\frac{100}{G_m} - \frac{X}{G_{ac}}}$			2.709
Bulk Specific Gravity of Mix Aggregate (G_{ag})			2.693
Specific Gravity of Asphalt Cement (G_{ac})			1.02
Asphalt Lost by Absorption			
$G_{ac} = \frac{100 \times (G_v - G_{ag}) \times G_{ac}}{G_v \times G_{ag}}$	%		0.22

ตารางผนวกที่ ก29 Quantitative Examination for Fine Aggregate (Soundness Test)

No.	Sieve Size , mm (Number Sieve)	% Retained of Original Sample (1)	Mass of Test Fraction Before Test gm. (2)	Mass of Test Fraction After Test gm. (3)	Actual Loss gm (4) = (2) - (3)	Actual Loss % (5) = $\frac{(4)}{(2)} \times 100$	Weighted Loss % (6) = $\frac{(1) \times (5)}{100}$
1	9.5 - 4.75 (3/8" - #4)	5.2	105.22	104.39	0.83	0.79	0.04
2	4.75 - 2.35 (#4 - #8)	23.0	105.26	104.52	0.74	0.70	0.16
3	2.36 - 1.18 (#8 - #16)	25.0	105.72	100.78	4.94	4.67	1.17
4	1.18 - 0.60 (#16 - #30)	15.4	105.66	102.94	2.72	2.57	0.40
5	0.60 - 0.30 (#30 - #50)	10.5	104.98	101.90	3.08	2.93	0.31
	Minus 4.75	20.8	-	-		2.93	0.61
	Total	100.0			Total % Loss		2.7

ตารางผนวกที่ ก30 Quantitative Examination for Coarse Aggregate (Soundness Test)

Sieve Size , mm (Number Sieve)	% Retained of Original Sample (1)	Mass of Test Fraction Before Test gm. (2)	Mass of Test Fraction After Test gm. (3)	Actual Loss gm (4) = (2) - (3)	Actual Loss % (5) = $\frac{(4)}{(2)} \times 100$	Weighted Loss % (6) = $\frac{(1) \times (5)}{100}$
19.0 - 9.5 (3/4" - 3/8")	95.0	1001.75	990.95	10.8	1.08	1.02
				Total % Loss		1.0

2. ผลการทดสอบก้อนตัวอย่าง ด้วยกระบวนการผสมร้อน โดยวิธีมาร์แชลล์ และการทดสอบ Strength Index ใช้วัสดุเชื่อมประสานเป็น AC 60/70

ตารางผนวกที่ ก31 ผลการทดสอบ Mixed Marshall โดย AC 60/70, HMA (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass) Pen. Grade AC. 60/70
 Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693 Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02
 Compaction , number of blows each end = 75 Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

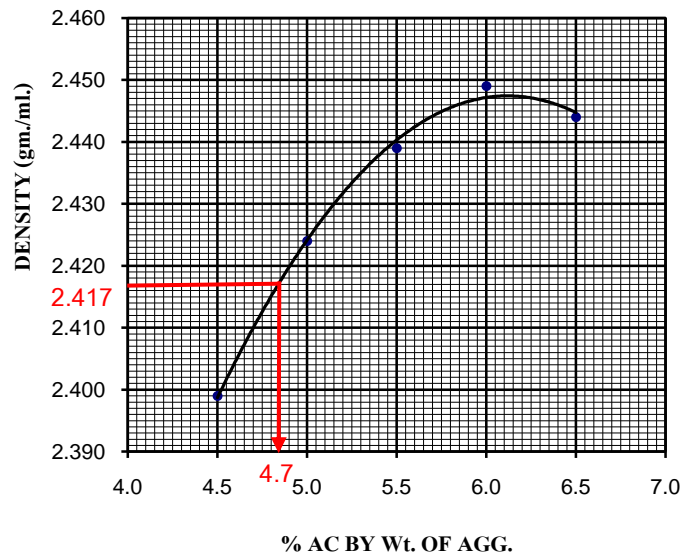
No. of Specimen		1	2	3	1	2	3
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.5			5.0	
% AC by Mass of Mix	(b)		4.31			4.76	
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]			4.10			4.55	
Specimen Height	(mm)	64.0	64.4	64.6	64.1	64.8	64.6
DENSITY							
Mass in Air , gm	(e)	1239.1	1240.1	1244.2	1246.8	1254.6	1259.6
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1243.3	1244.4	1247.2	1247.6	1256.0	1260.8
Mass in Water , gm	(g)	726.7	728.0	727.9	732.8	739.3	740.9
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	516.54	516.4	519.4	514.8	516.7	519.9
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.399	2.401	2.396	2.422	2.428	2.423
Average Density			2.399			2.424	
VOIDS ANALYSIS							
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB		9.6			10.8	
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB		85.2			85.7	
VMA %	(l) = 100-(k)		14.8			14.3	
Air Voids	(m) = (l)-(j)		5.2			3.5	
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)		64.9			75.5	
STABILITY							
Meas	Lbs	2201	2158	2244	2367	2419	2324
Adjust	Lbs	2173	2110	2182	2331	2340	2260
Average Stability			2155			2311	
FLOW							
Meas	1/100 "	9	9	9	10	10	9
Average Flows			9			10	

ตารางผนวกที่ ก32 ผลการทดสอบ Mixed Marshall โดย AC 60/70, HMA (2)

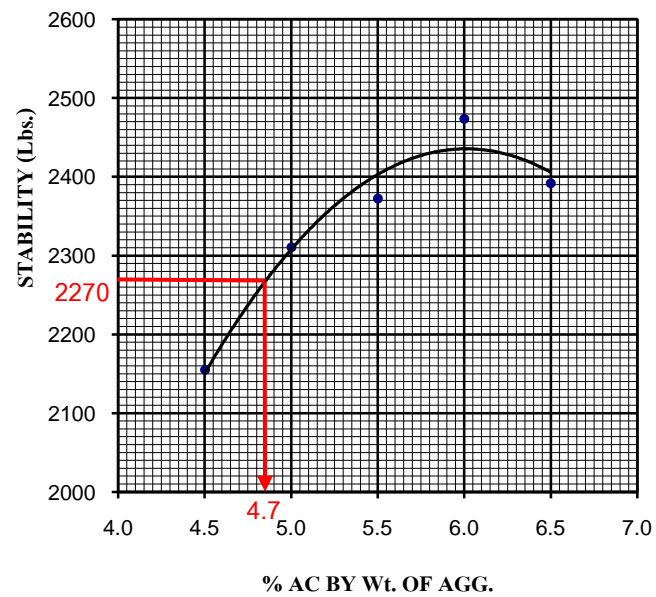
No. of Specimen		1	2	3	1	2	3
% AC by Mass of Agg.	(a)		5.5			6.0	
% AC by Mass of Mix	(b)		5.21			5.66	
%Eff. AC by Mass of Mix							
(c) = $b - [x(100-b) / 100]$			5.00			5.45	
Specimen Height	(mm)	65.5	64.4	64.6	63.3	64.0	64.6
DENSITY							
Mass in Air , gm	(e)	1259.7	1251.0	1252.5	1264.1	1260.4	1261.3
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1260.7	1251.5	1253.4	1264.4	1260.8	1261.6
Mass in Water , gm	(g)	744.5	738.7	739.5	749.7	743.9	747.4
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	516.17	512.8	513.87	514.75	516.88	514.17
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.440	2.439	2.437	2.456	2.438	2.453
Average Density			2.439			2.449	
VOIDS ANALYSIS							
Volume AC % Total	(j) = (c)×(i)/GB		12.0			13.1	
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/GSB			85.8			85.8	
VMA %	(l) = 100-(k)		14.2			14.2	
Air Voids	(m) = (l)-(j)		2.2			1.1	
VFB %	(n) = 100×(j)/(l)		84.5			92.3	
STABILITY							
Meas	Lbs	2457	2471	2429	2490	2514	2504
Adjust	Lbs	2340	2416	2362	2503	2483	2436
Average Stability			2373			2474	
FLOW							
Meas	1/100 "	10	11	11	11	12	12
Average Flows			11			12	

ตารางผนวกที่ ก33 ผลการทดสอบ Mixed Marshall โดย AC 60/70, HMA (3)

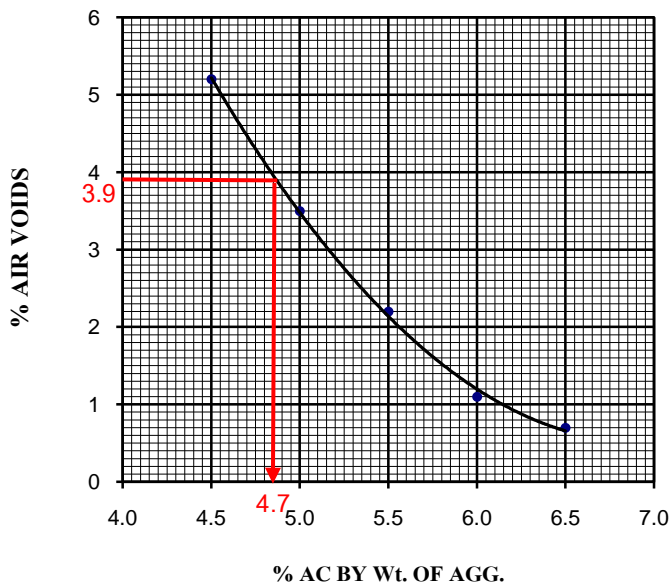
		No. of Specimen	1	2	3
% AC by Mass of Agg.	(a)			6.5	
% AC by Mass of Mix	(b)			6.10	
%Eff. AC by Mass of Mix					
(c) = $b - [x(100-b) / 100]$				5.90	
Specimen Height	(mm)		64.3	64.5	64.5
DENSITY					
Mass in Air , gm	(e)		1267.7	1259.8	1262.9
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)		1268.0	1260.3	1263.2
Mass in Water , gm	(g)		749.3	743.9	747.2
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)		518.74	516.34	516.07
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)		2.444	2.440	2.447
Average Density				2.444	
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	(j) = (c)×(i)/GB			14.1	
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			85.2	
VMA %	(l) = 100-(k)			14.8	
Air Voids	(m) = (l)-(j)			0.7	
VFB %	(n) = 100×(j)/(l)			95.3	
STABILITY					
Meas	Lbs		2448	2467	2433
Adjust	Lbs		2399	2405	2372
Average Stability				2392	
FLOW					
Meas	1/100 "		14	14	13
Average Flows				14	



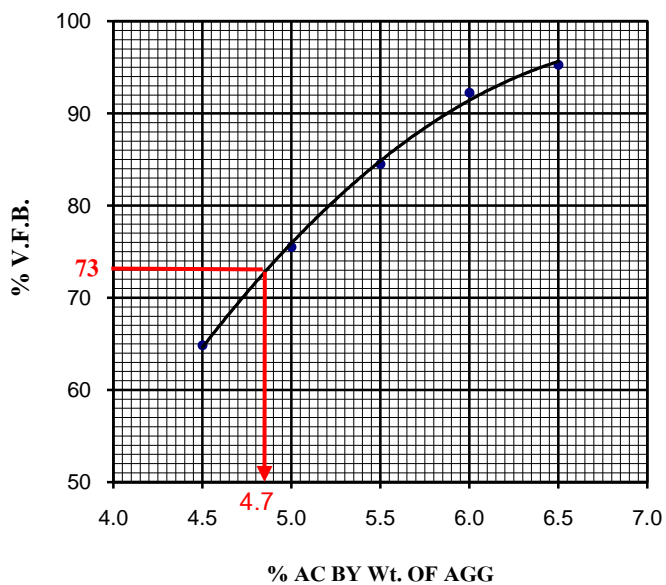
ภาพผนวกที่ ก1 กราฟความสัมพันธ์ของ Density กับ %AC



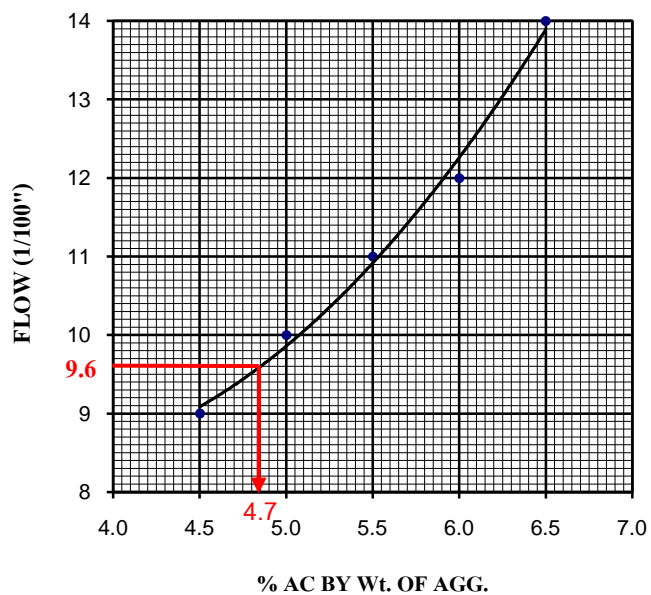
ภาพผนวกที่ ก2 กราฟความสัมพันธ์ของ Stability กับ %AC



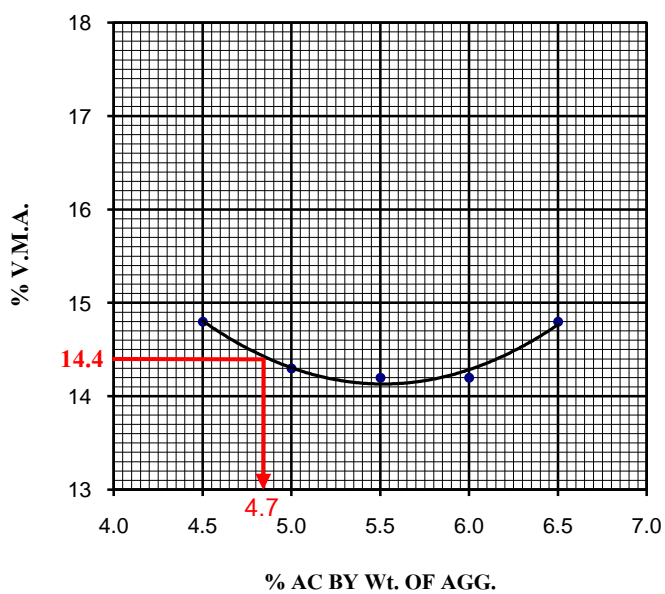
ภาพผนวกที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ของ %Air Voids กับ %AC



ภาพผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ของ %V.M.A. กับ %AC



ภาพผนวกที่ ก5 กราฟความสัมพันธ์ของ Flow กับ %AC



ภาพผนวกที่ ก6 กราฟความสัมพันธ์ของ %V.M.A. กับ %AC

ตารางผนวกที่ ก34 ตารางผลการทดลองค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสม
แอสฟัลต์คอนกรีต, HMA (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass) Pen. Grade AC. 60/70
Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693 Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02
Compaction, Double Plungers 20.7 MPa (3000 psi) Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

No. of Specimen	Soaked Sample			
	1	2	3	4
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7	
% AC by Mass of Mix (b)			4.49	
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b - [x(100-b) / 100]$			4.28	
Specimen Height (mm)	64.0	64.6	65.2	64.2
DENSITY				
Mass in Air, gm (e)	1252.5	1248.7	1254.2	1244.8
Mass Sat. Surface Dry, gm (f)	1264.0	1262.2	1267.4	1255.7
Mass in Water, gm (g)	727.6	726.7	727.6	722.1
Bulk Volume, ml (h) = (f) - (g)	536.4	535.5	539.8	533.6
Bulk Density, gm/ml (i) = (e)/(h)	2.335	2.332	2.323	2.333
Average Density			2.331	
VOIDS ANALYSIS				
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/ G_B			9.8	
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/ G_{SB}			82.7	
VMA % (l) = 100-(k)			17.3	
Air Voids (m) = (l)-(j)			7.5	
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			56.6	
STABILITY				
Meas Lbs	3292	3344	3225	3377
Adjust Lbs	3251	3252	3090	3318
Average Stability			3198	
FLOW				
Meas 1/100 "	16	16	15	16
Average Flows			16	

ตารางผนวกที่ ก35 ตารางผลการทดลองค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสม
แอสฟัลต์คอนกรีต, HMA (2)

No. of Specimen	Unsoaked Sample			
	1	2	3	4
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7	
% AC by Mass of Mix (b)			4.49	
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b - [x(100-b) / 100]$			4.28	
Specimen Height (mm)	63.8	65.3	64.3	64.5
DENSITY				
Mass in Air , gm (e)	1252.1	1249.4	1252.2	1251.7
Mass Sat. Surface Dry , gm (f)	1263.9	1265.0	1262.8	1262.3
Mass in Water , gm (g)	725.6	723.7	729.2	730.1
Bulk Volume , ml (h) = (f) - (g)	538.8	541.3	533.6	532.2
Bulk Density , gm/ml (i) = (e)/(h)	2.326	2.308	2.347	2.352
Average Density			2.333	
VOIDS ANALYSIS				
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/G _B			9.8	
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/G _{SB}			82.7	
VMA % (l) = 100-(k)			17.3	
Air Voids (m) = (l)-(j)			7.5	
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			56.6	
STABILITY				
Meas Lbs	4193	4264	4245	4278
Adjust Lbs	4162	4078	4160	4171
Average Stability			4143	
FLOW				
Meas 1/100 "	10	11	11	9
Average Flows			10	

3. ผลการทดสอบก้อนตัวอย่าง ด้วยกระบวนการผสมร้อน โดยวิธีมาร์แชลล์ และการทดสอบ Strength Index ใช้วัสดุเชื่อมประสานเป็น PAC

ตารางผนวกที่ ก36 ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass) Pen. Grade = Para AC

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of ParaAC (G_p) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

		Natural Rubber at 3.00%				
No. of Specimen		1	2	3	4	5
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	64.4	64.7	64.3	65.3	64.5
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1244.2	1241.7	1243.9	1251.9	1242.7
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1247.4	1245.0	1245.5	1254.8	1245.1
Mass in Water , gm	(g)	731.0	730.1	731.1	731.7	728.9
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	516.38	514.9	514.3	523.1	516.1
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.409	2.412	2.418	2.393	2.408
Average Density				2.408		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			10.1		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			85.4		
VMA %	(l) = 100-(k)			14.6		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.5		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			69.2		
STABILITY						
Meas	Lbs	2538	2618	2153	2329	2286
Adjust	Lbs	2481	2540	2110	2227	2229
Average Stability				2317		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	8	8	8	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก37 ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (2)

No. of Specimen	Natural Rubber at 4.00%				
	6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7		
% AC by Mass of Mix (b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]			4.28		
Specimen Height (mm)	65.0	64.0	64.1	65.3	65.1
DENSITY					
Mass in Air , gm (e)	1250.2	1239.7	1245.9	1253.0	1244.0
Mass Sat. Surface Dry , gm (f)	1252.3	1242.7	1248.0	1256.3	1246.4
Mass in Water , gm (g)	733.3	730.3	733.8	732.7	731.8
Bulk Volume , ml (h) = (f) - (g)	518.95	512.5	514.2	523.6	514.6
Bulk Density , gm/ml (i) = (e)/(h)	2.409	2.419	2.423	2.393	2.418
Average Density			2.412		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/G _B			10.1		
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/G _{SB}			85.5		
VMA % (l) = 100-(k)			14.5		
Air Voids (m) = (l)-(j)			4.4		
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			69.7		
STABILITY					
Meas Lbs	2334	2376	2087	2362	2163
Adjust Lbs	2246	2347	2056	2259	2076
Average Stability			2197		
FLOW					
Meas 1/100 "	8	8	9	8	8
Average Flows			8		

ตารางผนวกที่ ก38 ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (3)

No. of Specimen	Natural Rubber at 5.00%				
	11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7		
% AC by Mass of Mix (b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]			4.28		
Specimen Height (mm)	64.9	65.0	64.5	64.0	64.7
DENSITY					
Mass in Air , gm (e)	1248.3	1244.0	1241.1	1240.9	1242.6
Mass Sat. Surface Dry , gm (f)	1251.0	1248.1	1246.5	1245.4	1248.0
Mass in Water , gm (g)	737.6	731.1	731.6	731.1	732.0
Bulk Volume , ml (h) = (f) - (g)	513.46	517.0	514.9	514.3	516.0
Bulk Density , gm/ml (i) = (e)/(h)	2.431	2.406	2.411	2.413	2.408
Average Density			2.414		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/G _B			10.1		
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/G _{SB}			85.6		
VMA % (l) = 100-(k)			14.4		
Air Voids (m) = (l)-(j)			4.3		
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			70.1		
STABILITY					
Meas Lbs	1997	2073	1945	1760	1845
Adjust Lbs	1927	1995	1896	1738	1790
Average Stability			1869		
FLOW					
Meas 1/100 "	8	8	9	8	9
Average Flows			8		

ตารางผนวกที่ ก39 ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (4)

No. of Specimen	Natural Rubber at 6.00%				
	16	17	18	19	20
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7		
% AC by Mass of Mix (b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b - [x(100-b) / 100]$			4.28		
Specimen Height (mm)	65.1	65.1	64.1	64.4	63.4
DENSITY					
Mass in Air , gm (e)	1243.6	1235.5	1251.9	1244.4	1250.5
Mass Sat. Surface Dry , gm (f)	1248.0	1240.3	1255.2	1248.1	1252.0
Mass in Water , gm (g)	731.3	730.8	740.1	736.7	739.2
Bulk Volume , ml (h) = (f) - (g)	516.68	509.4	515.1	511.5	512.7
Bulk Density , gm/ml (i) = (e)/(h)	2.407	2.425	2.431	2.433	2.439
Average Density			2.427		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/G _B			10.2		
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/G _{SB}			86.1		
VMA % (l) = 100-(k)			13.9		
Air Voids (m) = (l)-(j)			3.7		
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			73.4		
STABILITY					
Meas Lbs	1750	1731	1845	1670	1689
Adjust Lbs	1680	1662	1817	1632	1693
Average Stability			1697		
FLOW					
Meas 1/100 "	8	8	9	9	8
Average Flows			8		

ตารางผนวกที่ ก40 ผลการทดสอบ Mixed Marshall กระบวนการผสมร้อน ของ PAC (5)

No. of Specimen	Natural Rubber at 7.00%				
	21	22	23	24	25
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7		
% AC by Mass of Mix (b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b - [x(100-b) / 100]$			4.28		
Specimen Height (mm)	64.5	64.9	64.3	65.2	64.1
DENSITY					
Mass in Air , gm (e)	1243.8	1251.3	1242.8	1250.5	1241.2
Mass Sat. Surface Dry , gm (f)	1245.8	1253.0	1244.6	1253.4	1243.1
Mass in Water , gm (g)	734.1	739.4	736.7	739.2	737.5
Bulk Volume , ml (h) = (f) - (g)	511.68	513.6	507.9	514.2	505.6
Bulk Density , gm/ml (i) = (e)/(h)	2.431	2.436	2.447	2.432	2.455
Average Density			2.440		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/G _B			10.2		
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/G _{SB}			86.5		
VMA % (l) = 100-(k)			13.5		
Air Voids (m) = (l)-(j)			3.3		
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			75.6		
STABILITY					
Meas Lbs	1893	1608	1594	1418	1518
Adjust Lbs	1845	1552	1562	1359	1495
Average Stability			1563		
FLOW					
Meas 1/100 "	8	10	9	8	8
Average Flows			9		

ตารางผนวกที่ ก41 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อน
ของ PAC (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass) Pen. Grade PAC.
Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693 Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02
Compaction , Double Plungers 20.7 MPa (3000 psi) Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

		Natural Rubber at 7.00%							
		Soaked Sample				Unsoaked Sample			
No. of Specimen		1	2	3	4	5	6	7	8
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.7					4.7	
% AC by Mass of Mix	(b)		4.49					4.49	
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b - [x(100-b) / 100]$			4.28					4.28	
Specimen Height	(mm)	65.0	65.0	64.6	65.8	65.1	65.2	64.9	65.1
DENSITY									
Mass in Air , gm	(e)	1248.4	1251.3	1243.7	1253.1	1253.3	1250.0	1248.4	1249.9
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1254.4	1256.8	1250.8	1259.9	1261.5	1255.0	1254.1	1257.1
Mass in Water , gm	(g)	725.1	728.3	725.6	732.7	732.0	727.6	728.9	728.1
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	529.3	528.5	525.2	527.2	529.5	527.4	525.2	529.1
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.359	2.368	2.368	2.377	2.367	2.370	2.377	2.363
Average Density			2.368				2.369		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total (j) = $(c) \times (i) / G_B$			9.9				9.9		
Volume Agg. % Total (k) = $[100 - (b)](i) / G_{SB}$			84.0				84.0		
VMA % (l) = $100 - (k)$			16.0				16.0		
Air Voids (m) = $(l) - (j)$			6.1				6.1		
VFB % (n) = $100 \times (j) / (l)$			61.9				61.9		
STABILITY									
Meas	Lbs	2467	2443	2324	2367	2960	2903	3173	2950
Adjust	Lbs	2374	2351	2260	2241	2841	2781	3062	2832
Average Stability			2328				2879		
FLOW									
Meas	1/100 "	21	19	18	18	16	16	15	17
Average Flows			19				16		

ตารางผนวกที่ ก42 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อน
ของ PAC (2)

		Natural Rubber at 6.00%							
		Soaked Sample				Unsoaked Sample			
No. of Specimen		9	10	11	12	13	14	15	16
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.7				4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)		4.49				4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b - [x(100-b) / 100]$		4.28				4.28		
Specimen Height	(mm)	66.0	66.1	65.7	66.4	65.0	65.5	65.9	66.1
DENSITY									
Mass in Air , gm	(e)	1235.0	1255.6	1245.5	1252.5	1251.3	1246.8	1251.3	1253.7
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1242.8	1263.0	1253.8	1260.1	1257.6	1253.4	1259.8	1262.4
Mass in Water , gm	(g)	717.0	732.8	725.2	727.8	728.1	727.0	728.7	729.1
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	525.8	530.2	528.6	532.3	529.5	526.4	531.1	533.2
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.349	2.368	2.356	2.353	2.363	2.368	2.356	2.351
Average Density			2.357				2.360		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB		9.9				9.9		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB		83.6				83.7		
VMA %	(l) = 100-(k)		16.4				16.3		
Air Voids	(m) = (l)-(j)		6.5				6.4		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)		60.4				60.7		
STABILITY									
Meas	Lbs	2253	2538	2220	2196	2836	2813	2822	2893
Adjust	Lbs	2125	2389	2106	2055	2730	2679	2667	2724
Average Stability			2207				2700		
FLOW									
Meas	1/100 "	20	19	17	17	15	14	15	15
Average Flows			19				15		

ตารางผนวกที่ ก43 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อน
ของ PAC (3)

		Natural Rubber at 5.00%							
		Soaked Sample				Unsoaked Sample			
No. of Specimen		17	18	19	20	21	22	23	24
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.7				4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)		4.49				4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b - [x(100-b) / 100]$		4.28				4.28		
Specimen Height	(mm)	64.5	64.2	65.3	64.3	64.4	65.1	64.8	64.8
DENSITY									
Mass in Air , gm	(e)	1249.0	1246.5	1251.3	1251.3	1247.8	1254.6	1251.0	1254.4
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1257.7	1253.8	1261.5	1257.8	1254.2	1260.4	1256.9	1259.5
Mass in Water , gm	(g)	737.3	733.3	739.7	736.0	735.9	737.9	735.0	737.3
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	520.4	520.6	521.8	521.8	518.4	522.5	521.9	522.3
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.400	2.395	2.398	2.398	2.407	2.401	2.397	2.402
Average Density			2.398				2.402		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB		10.1				10.1		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB		85.0				85.2		
VMA %	(l) = 100-(k)		15.0				14.8		
Air Voids	(m) = (l)-(j)		4.9				4.7		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)		67.3				68.2		
STABILITY									
Meas	Lbs	2751	2405	2699	2604	3064	3173	3164	3069
Adjust	Lbs	2682	2363	2581	2552	2995	3046	3064	2969
Average Stability			2542				3018		
FLOW									
Meas	1/100 "	16	17	16	18	13	13	14	14
Average Flows			16				15		

ตารางผนวกที่ ก44 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อน
ของ PAC (4)

		Natural Rubber at 4.00%							
		Soaked Sample				Unsoaked Sample			
No. of Specimen		25	26	27	28	29	30	31	32
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.7				4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)		4.49				4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b - [x(100-b) / 100]$		4.28				4.28		
Specimen Height	(mm)	65.3	64.4	64.7	64.4	64.3	65.0	64.4	64.4
DENSITY									
Mass in Air , gm	(e)	1254.8	1245.4	1246.7	1251.2	1247.5	1255.2	1249.9	1247.9
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1261.0	1252.8	1253.0	1258.7	1254.8	1260.3	1255.9	1254.0
Mass in Water , gm	(g)	738.4	734.6	732.0	736.7	734.5	736.6	736.4	734.9
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	522.6	518.2	521.0	522.0	520.2	523.7	519.5	519.1
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.401	2.403	2.393	2.397	2.398	2.397	2.406	2.404
Average Density			2.398				2.401		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total	(j) = $(c) \times (i) / GB$		10.1				10.1		
Volume Agg. % Total	(k) = $[100 - (b)](i) / GSB$		85.0				85.2		
VMA %	(l) = $100 - (k)$		15.0				14.8		
Air Voids	(m) = $(l) - (j)$		4.9				4.7		
VFB %	(n) = $100 \times (j) / (l)$		67.3				68.2		
STABILITY									
Meas	Lbs	2452	2319	2462	2300	2860	3102	3045	2893
Adjust	Lbs	2345	2267	2388	2249	2803	2986	2977	2828
Average Stability			2333				2898		
FLOW									
Meas	1/100 "	18	19	18	18	15	16	14	14
Average Flows			18				15		

ตารางผนวกที่ ก45 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) กระบวนการผสมร้อน
ของ PAC (5)

		Natural Rubber at 3.00%							
		Soaked Sample				Unsoaked Sample			
No. of Specimen		33	34	35	36	37	38	39	40
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.7				4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)		4.49				4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b - [x(100-b) / 100]$		4.28				4.28		
Specimen Height	(mm)	64.1	63.8	64.7	64.1	64.7	64.9	64.3	65.5
DENSITY									
Mass in Air , gm	(e)	1245.2	1249.4	1248.7	1246.3	1254.1	1252.3	1252.6	1255.6
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1252.3	1255.7	1254.6	1252.0	1259.4	1257.8	1257.5	1261.1
Mass in Water , gm	(g)	734.0	737.1	736.5	732.6	739.3	736.4	736.7	739.8
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	518.3	518.6	518.2	519.4	520.1	521.4	520.8	521.3
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.403	2.409	2.410	2.399	2.411	2.402	2.405	2.409
Average Density			2.405				2.407		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB		10.1				10.1		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB		85.3				85.4		
VMA %	(l) = 100-(k)		14.7				14.6		
Air Voids	(m) = (l)-(j)		4.6				4.5		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)		68.7				69.2		
STABILITY									
Meas	Lbs	3093	2931	3017	3074	3894	4051	3790	4041
Adjust	Lbs	3046	2909	2926	3028	3777	3909	3714	3849
Average Stability			2961				3812		
FLOW									
Meas	1/100 "	17	17	16	17	14	14	15	15
Average Flows			17				15		

4. ผลการทดสอบก้อนตัวอย่าง ด้วยกระบวนการผสมอุ่น โดยวิธีมาร์แชลล์ ใช้วัสดุเชื่อมประสาน เป็น PAC

ตารางผนวกที่ ก46 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C

ตารางผนวกที่ ก46 (ต่อ)

		Natural Rubber at 3.00%									
No. of Specimen		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg.	(a)						4.7				
% AC by Mass of Mix	(b)						4.49				
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]							4.28				
Specimen Height	(mm)	64.8	65.3	64.0	63.4	64.2	64.7	63.5	64.1	64.8	64.0
DENSITY											
Mass in Air , gm	(e)	1256.2	1248.5	1255.4	1252.9	1244.2	1255.5	1250.4	1248.4	1250.2	1249.1
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1258.2	1252.2	1257.2	1254.4	1247.1	1256.7	1252.9	1250.2	1252.5	1251.2
Mass in Water , gm	(g)	749.3	740.4	750.6	753.1	738.2	752.7	746.5	742.3	744.1	743.7
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	509.0	511.8	506.6	501.3	508.9	504.0	506.5	507.9	508.4	507.5
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.468	2.439	2.478	2.499	2.445	2.491	2.469	2.458	2.459	2.461
Average Density						2.467					
VOIDS ANALYSIS											
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB						10.3				
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB						87.5				
VMA %	(l) = 100-(k)						12.5				
Air Voids	(m) = (l)-(j)						2.2				
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)						82.4				
STABILITY											
Meas	Lbs	1883	1888	1997	2300	1945	2315	2168	1859	1926	1921
Adjust	Lbs	1822	1805	1972	2306	1911	2245	2168	1831	1863	1897
Average Stability						1982					
FLOW											
Meas	1/100 "	8	7	7	9	8	8	8	8	8	9
Average Flows						8					

ตารางผนวกที่ ก47 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (2)

		Natural Rubber at 4.00%									
No. of Specimen		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
% AC by Mass of Agg.	(a)					4.7					
% AC by Mass of Mix	(b)					4.49					
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]						4.28					
Specimen Height	(mm)	65.0	64.7	65.2	64.9	64.0	63.8	64.7	63.6	64.6	63.6
DENSITY											
Mass in Air , gm	(e)	1252.3	1253.7	1247.7	1255.9	1244.6	1254.4	1252.3	1249.6	1255.8	1245.9
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1253.4	1255.2	1251.6	1258.6	1247.1	1255.8	1254.9	1251.9	1257.2	1247.6
Mass in Water , gm	(g)	744.5	748.9	745.0	746.7	744.7	752.4	744.6	747.5	746.9	741.9
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	508.9	506.3	506.6	511.9	502.4	503.4	510.3	504.4	510.3	505.7
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.461	2.476	2.463	2.453	2.477	2.492	2.454	2.477	2.461	2.464
Average Density						2.468					
VOIDS ANALYSIS											
Volume AC % Total	(j) = (c)×(i)/GB					10.4					
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB					87.5					
VMA %	(l) = 100-(k)					12.5					
Air Voids	(m) = (l)-(j)					2.1					
VFB %	(n) = 100×(j)/(l)					83.2					
STABILITY											
Meas	Lbs	1954	2130	1641	1750	2139	2082	2153	2082	2092	1959
Adjust	Lbs	1881	2066	1572	1689	2112	2067	2089	2077	2034	1954
Average Stability						1954					
FLOW											
Meas	1/100 "	8	9	8	8	7	7	8	8	9	8
Average Flows						8					

ตารางผนวกที่ ก48 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (3)

		Natural Rubber at 5.00%				
No. of Specimen		21	22	23	24	25
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	64.1	64.9	64.3	64.6	64.3
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1250.2	1252.6	1248.7	1249.4	1249.6
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1253.1	1255.9	1251.0	1252.3	1253.0
Mass in Water , gm	(g)	746.3	742.1	741.7	743.2	742.1
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	506.8	513.8	509.3	509.1	510.9
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.467	2.438	2.452	2.454	2.446
Average Density				2.451		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			10.3		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.9		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.1		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			2.8		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			78.6		
STABILITY						
Meas	Lbs	1698	1746	1902	2040	1992
Adjust	Lbs	1673	1684	1864	1984	1952
Average Stability				1831		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	9	8	9
Average Flows				9		

ตารางผนวกที่ ก49 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C

		Natural Rubber at 3.00%				
No. of Specimen		1	2	3	4	5
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	65.1	65.9	65.1	66.3	65.7
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1245.9	1248.0	1254.6	1250.4	1249.3
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1247.3	1251.5	1255.5	1254.7	1251.5
Mass in Water , gm	(g)	744.5	742.6	747.5	742.5	744.3
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	502.8	508.9	508.0	512.1	507.1
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.478	2.453	2.470	2.442	2.463
Average Density				2.461		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)×(i)/GB			10.3		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			87.3		
VMA %	(l) = 100-(k)			12.7		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			2.4		
VFB %	(n) = 100×(j)/(l)			81.1		
STABILITY						
Meas	Lbs	2011	2139	2376	1897	2343
Adjust	Lbs	1931	2022	2281	1779	2223
Average Stability				2047		
FLOW						
Meas	1/100 "	8	8	9	8	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก50 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (2)

		Natural Rubber at 4.00%									
No. of Specimen		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg.	(a)					4.7					
% AC by Mass of Mix	(b)					4.49					
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]						4.28					
Specimen Height	(mm)	64.8	63.5	63.9	64.7	65.2	63.9	63.0	64.4	64.1	64.3
DENSITY											
Mass in Air , gm	(e)	1245.5	1251.5	1251.6	1251.1	1255.0	1249.1	1247.9	1251.9	1247.8	1249.8
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1248.7	1252.4	1253.6	1252.8	1256.8	1249.9	1248.7	1253.9	1249.0	1251.3
Mass in Water , gm	(g)	740.5	744.8	744.7	744.3	745.3	742.1	743.0	746.9	742.6	744.3
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	508.2	507.6	508.9	508.5	511.5	507.8	505.8	507.0	506.4	507.0
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.451	2.466	2.459	2.460	2.454	2.460	2.467	2.469	2.464	2.465
Average Density						2.462					
VOIDS ANALYSIS											
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB					10.3					
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB					87.3					
VMA %	(l) = 100-(k)					12.7					
Air Voids	(m) = (l)-(j)					2.4					
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)					81.1					
STABILITY											
Meas	Lbs	1987	2467	2210	2258	2054	2329	2471	2021	2153	1907
Adjust	Lbs	1923	2467	2188	2190	1968	2306	2502	1975	2121	1869
Average Stability						2151					
FLOW											
Meas	1/100 "	10	9	8	9	9	9	8	9	7	9
Average Flows						9					

ตารางผนวกที่ ก51 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (3)

No. of Specimen	Natural Rubber at 5.00%				
	16	17	18	19	20
% AC by Mass of Agg. (a)			4.7		
% AC by Mass of Mix (b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]			4.28		
Specimen Height (mm)	64.0	64.2	64.0	64.5	64.6
DENSITY					
Mass in Air , gm (e)	1247.2	1253.3	1250.3	1250.3	1248.5
Mass Sat. Surface Dry , gm (f)	1248.4	1254.7	1252.4	1252.3	1250.4
Mass in Water , gm (g)	739.9	740.9	742.4	740.0	741.0
Bulk Volume , ml (h) = (f) - (g)	508.6	513.9	510.1	512.3	509.4
Bulk Density , gm/ml (i) = (e)/(h)	2.452	2.439	2.451	2.441	2.451
Average Density			2.447		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total (j) = (c)x(i)/GB			10.3		
Volume Agg.%Total (k)=[100-(b)](i)/GSB			86.8		
VMA % (l) = 100-(k)			13.2		
Air Voids (m) = (l)-(j)			2.9		
VFB % (n) = 100x(j)/(l)			78.0		
STABILITY					
Meas Lbs	2343	2296	1859	2134	1997
Adjust Lbs	2314	2256	1836	2081	1942
Average Stability			2086		
FLOW					
Meas 1/100 "	9	9	8	9	8
Average Flows			9		

ตารางผนวกที่ ก52 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

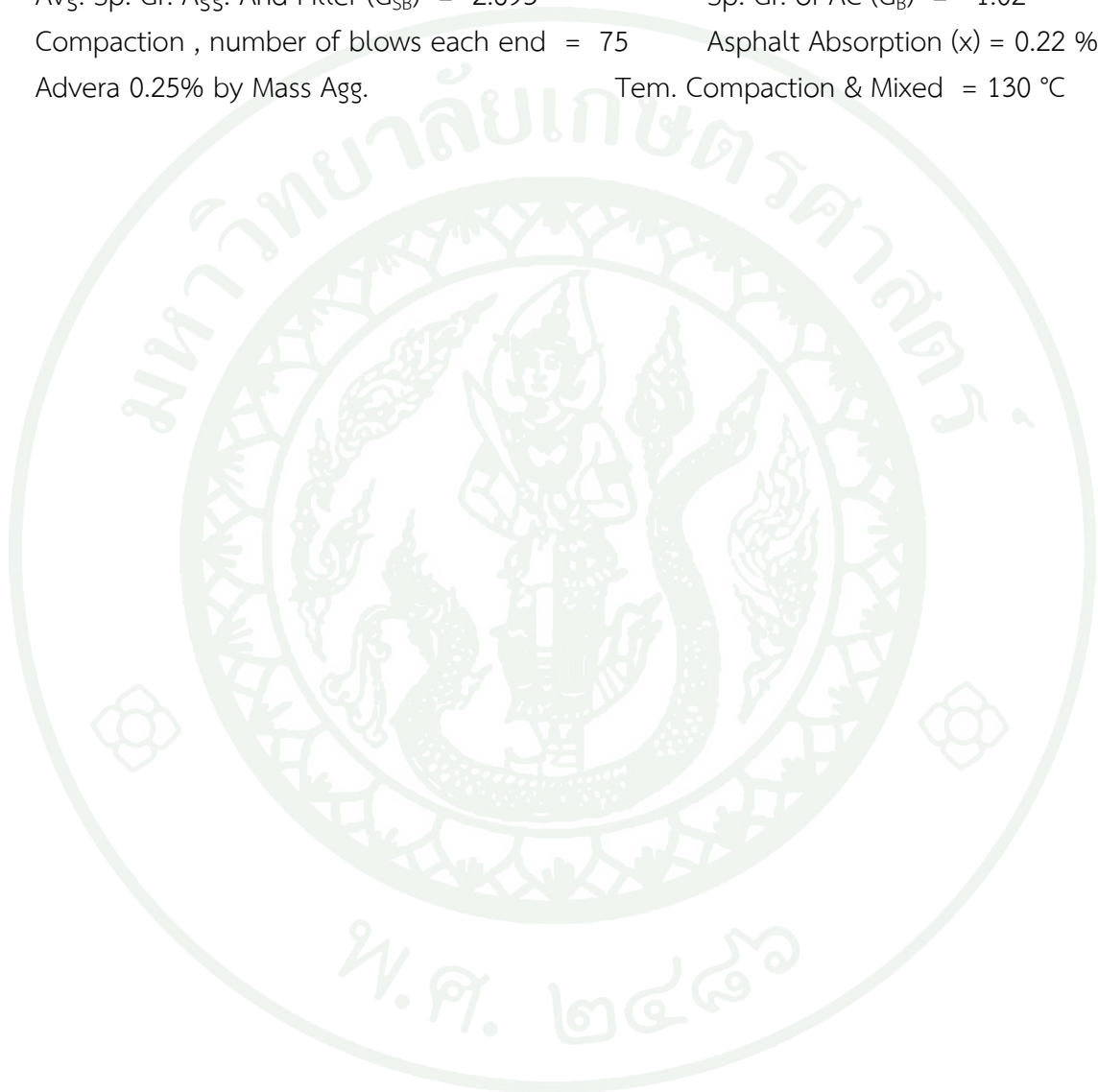
Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C



ตารางผนวกที่ ก52 (ต่อ)

		Natural Rubber at 3.00%									
No. of Specimen		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg.	(a)					4.7					
% AC by Mass of Mix	(b)					4.49					
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]						4.28					
Specimen Height	(mm)	63.9	65.2	64.6	64.6	64.3	65.5	63.6	64.6	64.9	63.7
DENSITY											
Mass in Air , gm	(e)	1241.3	1260.5	1245.6	1253.6	1251.2	1250.2	1238.5	1253.0	1255.1	1243.7
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1242.5	1262.3	1247.1	1255.3	1253.1	1254.0	1239.8	1256.5	1257.3	1245.5
Mass in Water , gm	(g)	738.1	747.8	743.0	745.5	745.3	741.8	738.1	743.4	746.4	741.1
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	504.4	514.5	504.1	509.8	507.7	512.2	501.7	513.1	510.9	504.4
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.461	2.450	2.471	2.459	2.464	2.441	2.468	2.442	2.457	2.466
Average Density						2.458					
VOIDS ANALYSIS											
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB					10.3					
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB					87.2					
VMA %	(l) = 100-(k)					12.8					
Air Voids	(m) = (l)-(j)					2.5					
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)					80.5					
STABILITY											
Meas	Lbs	1840	1760	1864	1869	1874	1546	1940	1561	1727	1760
Adjust	Lbs	1822	1686	1813	1817	1836	1473	1935	1518	1666	1751
Average Stability						1732					
FLOW											
Meas	1/100 "	10	9	9	9	10	9	10	9	9	9
Average Flows						9					

ตารางผนวกที่ ก53 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)

		Natural Rubber at 4.00%				
No. of Specimen		11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	65.9	63.4	65.0	65.3	65.7
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1250.2	1250.5	1253.9	1252.6	1245.6
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1255.3	1252.9	1256.9	1256.2	1247.9
Mass in Water , gm	(g)	736.2	748.1	743.6	749.0	735.2
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	519.1	504.8	513.3	507.3	512.7
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.408	2.477	2.443	2.469	2.429
Average Density				2.445		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			10.3		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.7		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.3		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			3.0		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			77.4		
STABILITY						
Meas	Lbs	1807	1840	1499	1802	1580
Adjust	Lbs	1708	1845	1443	1724	1499
Average Stability				1644		
FLOW						
Meas	1/100 "	8	8	8	8	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก54 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. , PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)

		Natural Rubber at 5.00%										
No. of Specimen		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
% AC by Mass of Agg.	(a)					4.7						
% AC by Mass of Mix	(b)					4.49						
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]						4.28						
Specimen Height	(mm)	64.6	64.1	65.8	66.0	66.2	64.7	65.2	64.7	65.2	64.8	
DENSITY												
Mass in Air , gm	(e)	1244.9	1244.8	1240.6	1245.3	1250.6	1242.2	1252.0	1249.5	1251.6	1249.9	
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1247.6	1246.7	1246.8	1251.2	1256.0	1245.3	1255.7	1253.0	1255.6	1251.8	
Mass in Water , gm	(g)	738.9	739.4	730.9	733.5	736.1	737.6	744.2	741.4	742.6	742.2	
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	508.7	507.3	515.8	517.7	519.9	507.7	511.5	511.6	512.9	509.6	
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.447	2.454	2.405	2.405	2.405	2.447	2.448	2.442	2.440	2.453	
Average Density						2.435						
VOIDS ANALYSIS												
Volume AC % Total	(j) = (c)×(i)/GB						10.2					
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB						86.4					
VMA %	(l) = 100-(k)						13.6					
Air Voids	(m) = (l)-(j)						3.4					
VFB %	(n) = 100×(j)/(l)						75.0					
STABILITY												
Meas	Lbs	1802	1878	1708	1717	1328	1670	1727	1674	1641	1736	
Adjust	Lbs	1753	1850	1617	1619	1248	1620	1654	1624	1572	1680	
Average Stability						1624						
FLOW												
Meas	1/100 "	9	9	9	9	10	10	9	10	10	9	
Average Flows						9						

ตารางผนวกที่ ก55 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.15% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C

		Natural Rubber at 3.00%				
No. of Specimen		1	2	3	4	5
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	64.3	65.0	64.4	65.6	64.4
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1240.8	1248.1	1248.5	1254.3	1244.8
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1243.7	1251.8	1252.7	1258.7	1249.2
Mass in Water , gm	(g)	736.8	739.3	744.1	742.4	735.8
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	506.9	512.6	508.6	516.4	513.5
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.448	2.435	2.455	2.429	2.424
Average Density				2.438		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			10.2		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.5		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.5		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			3.3		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			75.6		
STABILITY						
Meas	Lbs	1949	1655	1812	1617	1442
Adjust	Lbs	1910	1593	1771	1538	1410
Average Stability				1644		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	8	9	8
Average Flows				9		

ตารางผนวกที่ ก56 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.15% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)

		Natural Rubber at 4.00%				
No. of Specimen		6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	63.5	65.6	64.6	65.4	64.0
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1243.5	1251.4	1249.7	1255.5	1248.1
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1246.2	1257.6	1252.3	1260.0	1250.9
Mass in Water , gm	(g)	742.5	740.9	741.7	742.7	741.9
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	503.7	516.7	510.6	517.3	508.9
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.469	2.422	2.448	2.427	2.452
Average Density				2.444		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			10.3		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.7		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.3		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			30.		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			77.4		
STABILITY						
Meas	Lbs	1651	1442	1783	1504	1893
Adjust	Lbs	1651	1371	1734	1435	1869
Average Stability				1612		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	8	9	9
Average Flows				9		

ตารางผนวกที่ ก57 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.15% by Mass Agg. ,
PAC 4.7% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)

		Natural Rubber at 5.00%				
No. of Specimen		11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.7		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.49		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.28		
Specimen Height	(mm)	65.0	65.8	65.6	64.2	63.9
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1255.6	1251.9	1249.6	1242.8	1252.5
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1257.5	1255.6	1254.0	1244.7	1254.4
Mass in Water , gm	(g)	745.4	739.9	739.3	738.0	744.6
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	512.1	515.6	514.7	506.7	509.9
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.452	2.428	2.428	2.453	2.456
Average Density				2.443		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			10.2		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.6		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.4		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			3.2		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			76.1		
STABILITY						
Meas	Lbs	1798	1470	1565	1831	1802
Adjust	Lbs	1730	1392	1488	1799	1784
Average Stability				1639		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	9	9	9
Average Flows				9		

ตารางผนวกที่ ก58 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C

		Natural Rubber at 3.00%				
No. of Specimen		1	2	3	4	5
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	64.6	64.9	64.6	64.9	65.3
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1243.1	1248.4	1240.1	1250.1	1246.2
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1248.4	1254.4	1246.0	1257.0	1252.8
Mass in Water , gm	(g)	738.4	741.5	737.3	742.5	735.7
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	510.02	512.9	508.7	514.6	517.1
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.437	2.434	2.438	2.430	2.410
Average Density				2.430		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.4		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.6		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.1		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			69.9		
STABILITY						
Meas	Lbs	1964	1485	1565	2040	1589
Adjust	Lbs	1910	1433	1522	1968	1520
Average Stability				1670		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	8	8	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก59 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)

No. of Specimen		Natural Rubber at 4.00%				
		6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	66.0	65.5	65.1	65.9	64.5
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1243.3	1251.0	1246.5	1245.3	1251.1
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1251.5	1257.1	1252.9	1254.4	1255.3
Mass in Water , gm	(g)	735.5	741.0	737.3	739.3	744.6
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	516.0	516.1	515.7	515.1	510.7
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.410	2.424	2.417	2.417	2.450
Average Density				2.424		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.2		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.8		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.3		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			68.8		
STABILITY						
Meas	Lbs	1437	1395	1399	1067	1523
Adjust	Lbs	1355	1328	1343	1009	1485
Average Stability				1304		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	8	7	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก60 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.20% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)

No. of Specimen		Natural Rubber at 5.00%				
		11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	64.5	64.9	65.2	65.4	64.8
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1247.5	1249.5	1251.7	1248.4	1246.1
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1252.2	1253.1	1255.9	1252.6	1250.9
Mass in Water , gm	(g)	737.0	738.8	738.5	741.0	739.1
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	515.2	514.3	517.4	511.7	511.8
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.421	2.430	2.419	2.440	2.435
Average Density				2.429		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.4		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.6		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.1		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			69.9		
STABILITY						
Meas	Lbs	1480	1556	1679	1428	1584
Adjust	Lbs	1443	1517	1637	1363	1533
Average Stability				1498		
FLOW						
Meas	1/100 "	8	9	9	8	9
Average Flows				9		

ตารางผนวกที่ ก61 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C

		Natural Rubber at 3.00%				
No. of Specimen		1	2	3	4	5
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	65.7	65.9	65.7	66.2	65.9
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1245.2	1242.4	1248.0	1249.2	1246.8
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1251.4	1249.1	1250.5	1252.7	1249.6
Mass in Water , gm	(g)	735.8	734.1	737.5	736.0	736.2
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	515.6	515.0	513.0	516.7	513.4
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.415	2.412	2.433	2.418	2.428
Average Density				2.421		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)×(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.1		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.9		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.1		
VFB %	(n) = 100×(j)/(l)			68.3		
STABILITY						
Meas	Lbs	1404	1044	1418	1276	1300
Adjust	Lbs	1332	986	1346	1199	1228
Average Stability				1218		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	7	8	8	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก62 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (2)

		Natural Rubber at 4.00%				
No. of Specimen		6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	64.4	65.9	64.8	65.5	64.5
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1249.6	1238.2	1246.9	1243.9	1248.0
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1252.9	1247.4	1252.3	1252.8	1252.0
Mass in Water , gm	(g)	739.7	731.7	738.8	737.5	734.5
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	513.3	515.7	513.5	515.3	517.5
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.435	2.401	2.428	2.414	2.412
Average Density				2.418		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.0		
VMA %	(l) = 100-(k)			14.0		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.5		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			67.9		
STABILITY						
Meas	Lbs	1679	1186	1281	1044	1565
Adjust	Lbs	1641	1121	1239	994	1526
Average Stability				1304		
FLOW						
Meas	1/100 "	9	9	8	9	9
Average Flows				9		

ตารางผนวกที่ ก63 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 120 °C (3)

		Natural Rubber at 5.00%				
No. of Specimen		11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	65.5	63.7	65.0	65.8	65.8
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1249.2	1247.6	1245.2	1245.4	1246.8
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1254.5	1250.6	1248.7	1250.7	1250.7
Mass in Water , gm	(g)	734.6	734.9	735.1	733.9	737.0
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	519.9	515.7	513.6	516.8	513.7
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.431	2.462	2.444	2.414	2.427
Average Density				2.417		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.0		
VMA %	(l) = 100-(k)			14.0		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.5		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			67.9		
STABILITY						
Meas	Lbs	1281	1371	1651	1186	1395
Adjust	Lbs	1220	1364	1589	1123	1320
Average Stability				1323		
FLOW						
Meas	1/100 "	8	10	8	6	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก64 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (1)

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 55:25:10:10 (By Mass)

Pen. Grade PAC. (Para + AC 60/70)

Avg. Sp. Gr. Agg. And Filler (G_{SB}) = 2.693

Sp. Gr. of AC (G_B) = 1.02

Compaction , number of blows each end = 75

Asphalt Absorption (x) = 0.22 %

Advera 0.25% by Mass Agg.

Tem. Compaction & Mixed = 130 °C

		Natural Rubber at 3.00%				
No. of Specimen		1	2	3	4	5
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	64.9	65.4	64.4	65.0	65.4
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1247.7	1247.9	1247.3	1248.5	1247.3
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1252.3	1254.5	1252.6	1254.3	1251.8
Mass in Water , gm	(g)	735.6	737.4	740.3	740.6	741.0
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	516.7	517.1	512.3	513.7	510.8
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.415	2.413	2.435	2.430	2.442
Average Density				2.427		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.3		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.7		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.2		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			69.3		
STABILITY						
Meas	Lbs	1608	1698	1518	1385	1703
Adjust	Lbs	1528	1621	1484	1333	1625
Average Stability				1518		
FLOW						
Meas	1/100 "	8	7	7	8	8
Average Flows				8		

ตารางผนวกที่ ก65 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (2)

		Natural Rubber at 4.00%				
No. of Specimen		6	7	8	9	10
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	65.3	64.9	64.7	65.0	64.9
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1246.2	1247.3	1247.9	1247.2	1244.2
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1251.6	1250.7	1253.7	1253.8	1254.1
Mass in Water , gm	(g)	736.0	738.4	740.4	736.8	739.5
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	515.6	512.3	513.3	517.0	514.6
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.417	2.435	2.431	2.412	2.418
Average Density				2.423		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.2		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.8		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.3		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			68.8		
STABILITY						
Meas	Lbs	1376	1404	1489	1546	1755
Adjust	Lbs	1315	1355	1445	1488	1694
Average Stability				1459		
FLOW						
Meas	1/100 "	8	7	7	6	6
Average Flows				7		

ตารางผนวกที่ ก66 ผลการทดสอบ Mixed Marshall, WMA, Advera 0.25% by Mass Agg. ,
PAC 4.4% , Tem. Com & Mixed at 130 °C (3)

		Natural Rubber at 5.00%				
No. of Specimen		11	12	13	14	15
% AC by Mass of Agg.	(a)			4.4		
% AC by Mass of Mix	(b)			4.21		
%Eff. AC by Mass of Mix (c) = b - [x(100-b) / 100]				4.00		
Specimen Height	(mm)	65.5	64.9	64.5	65.1	64.2
DENSITY						
Mass in Air , gm	(e)	1248.8	1250.9	1249.9	1246.7	1249.6
Mass Sat. Surface Dry , gm	(f)	1253.3	1254.2	1252.8	1252.1	1253.2
Mass in Water , gm	(g)	736.8	740.3	737.8	738.2	738.2
Bulk Volume , ml	(h) = (f) - (g)	516.4	513.9	515.0	513.9	515.0
Bulk Density , gm/ml	(i) = (e)/(h)	2.418	2.434	2.427	2.426	2.426
Average Density				2.426		
VOIDS ANALYSIS						
Volume AC % Total	(j) = (c)x(i)/GB			9.5		
Volume Agg.%Total	(k)=[100-(b)](i)/GSB			86.3		
VMA %	(l) = 100-(k)			13.7		
Air Voids	(m) = (l)-(j)			4.2		
VFB %	(n) = 100x(j)/(l)			69.3		
STABILITY						
Meas	Lbs	1233	1651	1556	1494	1338
Adjust	Lbs	1175	1593	1517	1434	1314
Average Stability				1407		
FLOW						
Meas	1/100 "	7	9	8	8	7
Average Flows				8		



วัสดุมวลรวม (Aggregate)

1. วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง ทล.-ท. 204/2516 (เทียบเท่า AASHTO T 27-70)

1.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 27-70 และ T 37-70 เพื่อหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ถึงขนาดเล็ก มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง

1.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย

1. ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง
2. เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียด 0.2 % ของตัวอย่างทั้งหมด
3. เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่าง ๆ
4. แปรงลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน สำหรับทำความสะอาดตะแกรง
5. เตาอบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธีแบ่งสี่ หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วตาม ตารางผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 สำหรับหินย่อย

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง ต่อมวลรวม	ตัวอย่างมีมวล ไม่น้อยกว่า (กิโลกรัม)
4.75 มิลลิเมตร (#4)	90 - 100	0.5
9.5 มิลลิเมตร (3/4")	90 - 100	1.0
12.5 มิลลิเมตร (1/2")	90 - 100	2.0
19.0 มิลลิเมตร (3/4")	90 - 100	5.0
25.0 มิลลิเมตร (1")	90 - 100	10.0
37.5 มิลลิเมตร (1 1/2")	90 - 100	15.0
50 มิลลิเมตร (2")	90 - 100	20.0
63 มิลลิเมตร (2 1/2")	90 - 100	25.0
75 มิลลิเมตร (3")	90 - 100	30.0
90 มิลลิเมตร (3 1/2")	90 - 100	35.0

การทดลอง

1. ถ้ามีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่หรือส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแตกให้หมด ตากหรืออบตัวอย่างให้ผิวแห้ง (Surface Dry) ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C
2. นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาที ไม่เกิน 1 % ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ต้องไม่ซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรง เส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) ถ้าตัวอย่างค้างตะแกรงเกินกว่าที่กำหนดให้แบ่งตัวอย่างทดลองสองครั้ง หรือเพิ่มตะแกรงขนาดใหญ่กว่าตะแกรงที่ค้างเกินเข้าไปอีกขนาดหนึ่ง นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

1.3 การคำนวณ

คำนวณหาขนาดเม็ดของวัสดุได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{R}{T} \times 100$$

เมื่อ R = มวลของตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาดนั้น
 T = มวลของตัวอย่างทั้งหมด

1.4 ข้อควรระวัง

1. การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1 ½ เท่าของก้อน
โตที่สุด
2. ตรวจสอบตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้

2. วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ทล.-ท. 205/2517 (เทียบเท่า AASHTO T 27-70)

2.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ สำหรับหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการทดสอบนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 27-70

2.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย

1. ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ตามต้องการ พร้อมเครื่องเขย่าตะแกรง
2. เครื่องชั่ง สามารถชั่งให้ได้ละเอียดถึง 0.2% ของตัวอย่างทั้งหมด

3. เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 °C
4. เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่าง ๆ
5. แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน
6. ภาชนะสำหรับใช้แช่และล้างตัวอย่างด้วยมือ หรือ
7. ภาชนะล้างตัวอย่างชนิดใช้เครื่องเขย่า (ความจุประมาณ 8000 มิลลิลิตร)

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำยาสำหรับใช้ล้างส่วนละเอียด เตรียมได้จากการละลายผลึก Sodium Hexametaphosphate Buffered With Sodium Carbonate (NaPO_3)₆ 45.7 กรัม ในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนผสมกันให้ทั่วจนไม่มีเม็ดผลึกเหลืออยู่ ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ ใช้น้ำยานี้ 125 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 875 มิลลิลิตร เป็นน้ำยาสำหรับล้างส่วนละเอียดประมาณ 1,000 มิลลิลิตร อาจจะผสมไว้ที่ละมาก ๆ หรือทดลองครั้งหนึ่งก็ผสมครั้งหนึ่ง ครั้งละ 1,000 มิลลิเมตร ต่อวัสดุทดลองหนึ่งตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างอาจจะเป็นดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธี Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตาม ตารางผนวกที่ ข1 หรือ ตารางผนวกที่ ข2

ตารางผนวกที่ ข2 สำหรับ Soil Aggregate

สำหรับ Soil Aggregate		
ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม	ปริมาณตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)	90 - 100	0.5
9.50 มิลลิเมตร (3/8")	90 - 100	1.0
12.5 มิลลิเมตร (1/2")	90 - 100	2.0
19.0 มิลลิเมตร (3/4")	90 - 100	5.0
ใหญ่กว่า 25.0 มิลลิเมตร (1")	90 - 100	10.0

การทดลอง

1. ทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

(1) ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อน แยกจากกันให้หมด แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ มวลตัวอย่างแห้ง หรือจะหา ความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เท น้ำหรือน้ำยาลงไปในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเขย่าประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระดกออกจากภาชนะ ถ้าไม่ใช่เครื่องเขย่าควรแช่น้ำไว้ในภาชนะ สำหรับล้างตัวอย่างด้วยมือ นานประมาณ 3-4 ชั่วโมง เทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มาก ควรใช้ตะแกรงเบอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ซ้อนไว้ข้างบน เพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) อีกต่อไป เทตัวอย่างลงในภาชนะ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

(2) นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวตั้งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่ง ตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่นเกิน 1 % ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่า นานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้ว ถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ต้องมีตัวอย่างค้ำตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1,000 ตาราง มิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) นำ ตัวอย่างที่ค้ำแต่ละขนาดไปชั่ง

2. การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) อาจทำได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1

(1) ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่ หรือมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่ และส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนหลุดออกจากกันให้หมด โดยใช้ค้อนยางทุบ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เพื่อแยกส่วนที่ค้างและผ่านตะแกรง ถ้าตัวอย่างมีมากให้แบ่งทำหลาย ๆ ครั้ง

(2) นำส่วนที่ค้างตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ซึ่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ

(3) นำส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ซึ่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดหรือแยกตัวอย่างเพียงบางส่วนดำเนินการทดลองตามการทดลองที่ 1 ทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

วิธีที่ 2

นำตัวอย่างทั้งหมดไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ซึ่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่าง เพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปดำเนินการทดลองตามการทดลองที่ 1 ทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ถ้ามีขนาดก้อนใหญ่มากควรจัดตะแกรงที่จะล้างให้มีขนาดต่าง ๆ ลดหลั่นกัน

2.3 การคำนวณ

1. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

(4) หามวลที่ค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยซึ่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงมวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกันแล้วหักออกจากมวลของตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

(5) หามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของ ช่องมวลที่ค้าง (Mass Retained) ขึ้นไป เอามวลของช่อง Mass Retained บน Pan เป็นช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมมวลของ Mass Retained กับมวลช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) เป็นมวลของช่อง Mass Passing ของตะแกรงถัด ขึ้นไป ดำเนินการแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นไปเรื่อย ๆ จนถึงมวล Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะ เท่ากับมวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง

(6) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing) ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ (กรัม)}}{\text{มวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดลอง (กรัม)}} \times 100$$

2. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

(4) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

- หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยซึ่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละ ตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกัน แล้วหักออกจากมวล ของตัวอย่างที่อบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ที่ค้างบน Pan

- หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด เช่นเดียวกับหามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด

- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม โดยใช้สูตร การคำนวณหา เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม

(5) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง ต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่ง มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เช่นเดียวกับ การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาด เล็กกว่าเบอร์ 4

(6) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{X \times Y}{100}$$

เมื่อ

X = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

Y = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ในการทดลองพาวด์วัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

2.4 ข้อควรระวัง

1. การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องให้เครื่องที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ $1\frac{1}{2}$ เท่า ของก้อนโตที่สุด
2. ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่
3. ควรตรวจสอบตะแกรงอยู่เสมอ โดยเฉพาะเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร)

3. วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ทล.-ท. 207/2517 (เทียบเท่า AASHTO T 85-70)

3.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก AASHTO 85-70 และ Calif.206-C เป็นการหาความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ของวัสดุขนาดเม็ดโตกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) แบบ Bulk (Bulk Specific Gravity) แบบ Apparent (Apparent Specific Gravity) และการหาปริมาณของน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ (Water Absorption)

3.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งแบบ Balance สามารถชั่งได้อย่างน้อย 5,000 กรัม และอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม

2. ตะกร้าลวดตาข่าย (Wire Mesh Basket) เป็นตะแกรงมีช่องขนาด 2.00-3.00 มิลลิเมตร ตะกร้าต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะบรรจุวัสดุ 5,000 กรัมได้ คือ มีขนาดประมาณ 200 มิลลิเมตร × 200 มิลลิเมตร × 120 มิลลิเมตร หรือจะทำเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 200 มิลลิเมตร และสูงประมาณ 300 มิลลิเมตร มีขนาดบรรจุประมาณ 4,000 – 7,000 มิลลิกรัม หรืออาจจะใช้แบบที่เป็นสาแหรกแทนก็ได้

3. ถัง (Container) เป็นถังใส่น้ำที่เหล็ยมลुकบาทค์หรือทรงกระบอกก็ได้ แต่ต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเอาตะกร้าลวดตาข่าย หรือสาแหรกใส่เพื่อทำการชั่งในน้ำได้ และต้องมีรูอยู่ตอนบนเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่อยู่ตลอดเวลา

4. ชามอ่าง เป็นภาชนะใหญ่พอที่จะแช่วัสดุประมาณ 5,000 กรัม โดยให้วัสดุจมในน้ำหมดทุกก้อน

5. ผ้าซับน้ำ มีขนาดใหญ่พอกับปริมาณของตัวอย่างที่ใช้

6. เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 °C

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างวัสดุทั้งหมดมาทำการแบ่งโดยวิธี Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) นำตัวอย่างที่แบ่งแล้วมาร้อนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงหนักประมาณ 5,000 กรัม มาทดลอง

การทดลอง

1. นำวัสดุที่เตรียมได้ มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ปล่ยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปแช่ลงในน้ำเป็นเวลาประมาณ 15 ± 4 ชั่วโมง

2. เอาวัสดุขึ้นจากน้ำ วางบนผ้าซับน้ำแล้วคลึง เช็ดวัสดุด้วยผ้าซับน้ำ สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ จะใช้ผ้าเช็ดที่ละก้อนก็ได้ จนกระทั่งชั้นบาง ๆ ของน้ำ (Visible Film) ที่เคลือบผิววัสดุ ออกหมดแล้วรีบทำการชั่งวัสดุทันที ถึงแม้จะเห็นว่าผิววัสดุยังชื้น (Damp) อยู่ก็ตาม การชั่งให้ชั่งละเอียดถึง 0.5 กรัม มวลที่ได้เป็นมวลของวัสดุ Saturated Surface Dry ในอากาศ (B)
3. นำวัสดุด้านบน ไปชั่งในน้ำโดยใช้ตะกร้าลวดตาข่ายหรือสาแหรง มวลที่ได้เป็นมวลวัสดุในน้ำ (C)
4. นำวัสดุไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วชั่งหามวล มวลที่ได้เป็นมวลวัสดุอบแห้งในอากาศ (A)

3.3 การคำนวณ

ค่า ถ.พ. ต่าง ๆ หาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Bulk Specific Gravity (Oven-Dry Basis)} &= \frac{A}{B-C} \\
 2. \text{ Bulk Specific Gravity (Saturated Surface - Dry Basis)} &= \frac{B}{B-C} \\
 3. \text{ Apparent Specific Gravity} &= \frac{A}{A-C} \\
 4. \text{ Water Absorption} &= \frac{B-A}{A} \times 100
 \end{aligned}$$

เมื่อ A = มวลของวัสดุอบแห้งในอากาศ มีหน่วยเป็นกรัม
 B = มวลของวัสดุ Saturated Surface Dry มีหน่วยเป็นกรัม
 C = มวลของวัสดุในน้ำ มีหน่วยเป็นกรัม

การคำนวณค่าของ ถ.พ. ให้ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่งและค่า Absorption ให้ใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.4 ข้อควรระวัง

1. การทำการทดลองต้องทำให้รวดเร็ว เพื่อป้องกันเรื่องการระเหยของน้ำในการหามวลของวัสดุ Saturated Surface-Dry

2. การชั่งในน้ำ ถ้ามีฟองอากาศเกาะอยู่ตามผิววัสดุ ให้เขย่าตะกร้าลวดตาข่าย ขณะที่ทำการจุ่มตะกร้าลงในน้ำ

3. ระวังวัสดุเม็ดเล็ก ๆ ซึ่งอาจจะติดอยู่กับช่องของตะกร้าลวดตาข่าย ระหว่างการชั่งหามวลของวัสดุในน้ำ

4. วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด ทล.-ท. 209/2518 (เทียบเท่า AASHTO T 84)

4.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก AASHTO T 84 เป็นการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียดขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และกาหาปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ

4.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องชั่ง เป็นแบบ Balance หรือ Scale ก็ได้ ที่สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งต้องมีความไว (Sensitive) 0.1 กรัม เมื่อชั่งมวลในช่วงที่ใช้การทดลองต้องได้ความละเอียดไม่เกิด 0.1 เปอร์เซ็นต์ของมวลที่ใช้ เมื่อทดลองชั่งมวลที่แตกต่างกัน 100 กรัม ในช่วงใด ๆ ก็ตาม ความละเอียดของมวลที่ทดลองได้จะต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.1 กรัม

2. Pycnometer เป็นขวดแก้วแบบ Flask หรืออย่างอื่นที่เหมาะสม ซึ่งสามารถใส่วัสดุละเอียดเข้าไปทดลองได้ง่าย และวัดปริมาตรได้ไม่แตกต่างกัน ± 0.1 มิลลิลิตร ความจุของขวดถึงขีดที่บอกปริมาตร ต้องมีขนาดอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ทดลอง เช่น Flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ก็มีขนาดพอเหมาะที่จะใช้กับตัวอย่างปริมาตรไม่เกิน 250 มิลลิลิตร (หนักประมาณ 500 กรัม)

3. แบบ เป็นแบบโลหะรูปกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตอนบน 38 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่าง 89 มิลลิเมตร (3.5 นิ้ว) และมีความสูง 74 มิลลิเมตร (2.9 นิ้ว) ความหนาของแบบโลหะต้องหนาอย่างน้อยประมาณ 0.9 มิลลิเมตร (20 Gage)

4. โลหะกระทง เป็นโลหะหนัก 340 ± 15 กรัม ($12 \pm 1/2$ ออนซ์) ผิวหน้าด้านที่ใช้กระทงทุบเป็นรูปวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ± 3 มิลลิเมตร ($1 \pm 1/8$ นิ้ว)

การเตรียมตัวอย่าง

1. ทำการแบ่งตัวอย่างทั้งหมดโดยแบ่งสี่หรือใช้ที่แบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) นำตัวอย่างที่แบ่งแล้วประมาณ 1,000 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ แล้วปล่อยให้เย็นพอเอามือจับได้

2. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลาประมาณ 15 ± 4 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำมาแผ่กระจายบนภาชนะผิวราบเรียบ แล้วค่อย ๆ เกลี่ยไปมา เพื่อให้ตัวอย่างค่อย ๆ แห้ง

4. ทำการเกลี่ยตัวอย่างให้แห้ง ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตัวอย่างวัสดุเกือบจะอยู่ในสภาพที่เคลื่อนไหวได้ง่าย (Free Flowing Condition) โดยเอาด้านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าอยู่ด้านล่าง

5. นำตัวอย่างใส่ลงในแบบอย่างหลวม ๆ จนเต็ม ซึ่งแบบนี้ตั้งอยู่บนผิวที่ไม่มีการดูดซึม โดยเอาด้านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าอยู่ด้านล่าง

6. ทำการกระทุ้งตัวอย่างเบา ๆ 25 ครั้ง ด้วยโลหะกระทุ้ง แล้วค่อย ๆ ยกแบบขึ้นตรง ๆ

ถ้าตัวอย่างยังคงมีรูปลักษณะตามแบบ แสดงว่ายังคงมีน้ำที่ผิววัสดุอยู่ ให้ทำการตามข้อ 3 ถึง 6 ด้านบนซ้ำใหม่ จนกระทั่งเมื่อยกแบบออก ตัวอย่างวัสดุเริ่มละลาย แสดงว่า ตัวอย่างวัสดุที่กำลังเตรียมอยู่นี้อยู่ในสภาวะ Saturated Surface-dry

หมายเหตุ

(1) การหา ถ.พ. และการดูดซึมน้ำของวัสดุ ถ้านำไปใช้ในงานผสมซีเมนต์คอนกรีต ซึ่งใช้วัสดุ Aggregate ในสภาพที่เปียก ไม่จำเป็นต้องอบให้แห้ง และถ้าวัสดุถูกเก็บให้เปียกชื้นอยู่ตลอดเวลา ไม่จำเป็นต้องนำไปแช่น้ำ แต่ค่าของ Saturated Surface-Dry และค่าการดูดซึมของวัสดุที่ไม่ได้อบให้แห้งก่อนแช่น้ำ อาจมีค่าสูงกว่าวัสดุที่ทำการทดลองตามปกติ

(2) การทดลองกระทุ้งตัวอย่างเบา ๆ 25 ครั้ง ถ้าปรากฏว่าครั้งแรกที่เริ่มทำเมื่อยกแบบออก ตัวอย่างวัสดุก็เริ่มละลายแล้วแสดงว่าตัวอย่างนี้แห้งเกินกว่าสภาพ Saturated Surface-Dry ให้ทำการพรมน้ำลงไปอีกเล็กน้อยคลุกให้ทั่ว และทิ้งไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดประมาณ 30 นาที จึงค่อยเริ่มทำการทดลองใหม่ตามปกติ

การทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้ว หนัก 500 กรัม ใส่ลงใน Pycnometer แล้วเติมน้ำลงไปจนได้ปริมาตรประมาณ 450 มิลลิลิตร ทำการไล่อากาศจนหมด โดยการเขย่าและหมุนขวด Pycnometer กลับไปกลับมา เติมน้ำลงไปจนถึงขีดที่บอกปริมาตร

ทำการหามวลทั้งหมดของขวด ตัวอย่างวัสดุและน้ำ โดยการชั่ง (เป็น C) หรือใช้สูตรตามหมายเหตุข้อ 2 และบันทึกมวลนี้และมวลอื่น ๆ ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

หมายเหตุ

(1) มวลตัวอย่าง อาจจะใช้ไม่ถึง 500 กรัมก็ได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 50 กรัม และสูตรต้องแก้เลข 500 ให้เป็นไปตามมวลที่ใช้

(2) การหาปริมาตรของน้ำที่ใส่ลงในขวด Pycnometer อาจทำการหาปริมาตรโดยการใช้ Buret ที่มีความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร และมวลของขวด Pycnometer + มวลของวัสดุ + มวลน้ำ (เป็น C) สามารถหาได้จากสูตร

$$C = t V_a + 500 + m \quad (\text{กรัม})$$

$$\text{เมื่อ } C = \text{มวลของ Pycnometer} + \text{มวลของวัสดุ} + \text{มวลของน้ำหนักมีหน่วยเป็นกรัม}$$

$$t = \text{ถ.พ. ของน้ำที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง (ดู ตารางผนวกที่ ๓)}$$

$$V_a = \text{ปริมาตรของน้ำที่ใส่เข้าไปในขวด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร}$$

$$m = \text{มวลของ Pycnometer มีหน่วยเป็นกรัม}$$

2. นำตัวอย่างวัสดุออกจาก Pycnometer ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา $\frac{1}{2} - 1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง จึงทำการชั่ง (เป็น A)

3. ทำการหามวลของ Pycnometer ที่มีน้ำจนถึงขีดบอกปริมาตรโดยการชั่งหรือใช้สูตรตามหมายเหตุข้างล่างนี้ (เป็น B)

หมายเหตุ

ถ้าใช้ขวดปริมาตรแบบ Flask และได้เทียบมาตรฐานจนมีความละเอียดถึง ± 0.15 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20°C แล้ว มวลของขวด + มวลของน้ำ (เป็น B) หาได้จากสูตร

$$B = tV + m$$

เมื่อ B = มวลของขวด + มวลของน้ำ มีหน่วยเป็นกรัม

t = ถ.พ. ของน้ำที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง (ดู ตารางผนวกที่ ข3)

V = ปริมาตรภายในของขวด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร (ที่อุณหภูมิ 20°C)

m = มวลของ Pycnometer มีหน่วยเป็นกรัม

4.3 การคำนวณ

1. คำนวณหา ถ.พ. แบบ Bulk ตามสูตรดังนี้

$$\text{Bulk sp. gr. (Oven Dry Basis)} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

$$\text{Bulk sp. gr. (Saturated Surface-Dry Basis)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

2. คำนวณหา ถ.พ. แบบ Apparent ตามสูตรดังนี้

$$\text{Apparent sp. gr.} = \frac{A}{B + A - C}$$

3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่วัสดุดูดซึม ตามสูตรดังนี้

$$\text{Absorption} = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

- เมื่อ A = มวลของวัสดุอบแห้งในอากาศ (กรัม)
- B = มวลของ Pycnometer + มวลของน้ำ (กรัม)
- C = มวลของ Pycnometer + มวลของวัสดุน้ำ +
มวลของน้ำ (กรัม)

การคำนวณมีหน่วยค่าของ ถ.พ. ให้ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และค่า Absorption ให้ใช้
ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

ตารางผนวกที่ ข3 ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

ความถ่วงจำเพาะของน้ำ (t) (Specific Gravity of water)										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9465	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.969	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

5. วิธีการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) ทล.-ท. 210/2518 (เทียบเท่า BS 812 : 1967)

5.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีการหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยหามวลของวัสดุที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า $3/5$ เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุ นั้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดสอบ วิธีการทดสอบนี้ได้ปรับปรุงมาจาก BS.812

5.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย

1. ช่องวัดความหนา (Thickness Gauge or Slot Sieve) ประกอบด้วยช่องขนาด ต่าง ๆ หลายขนาด แต่ละช่องมีตัวเลขกำกับอยู่ 2 ตัว ตัวเลขมากหมายถึงส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้นผ่าน ส่วนตัวเลขน้อยเป็นส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้น ๆ ค้างอยู่
2. เครื่องเขย่าตะแกรงพร้อมด้วยตะแกรงขนาดต่าง ๆ (ตามวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท. 204/2516)
3. ภาชนะสำหรับใส่วัสดุ
4. เครื่องแบ่งตัวอย่าง
5. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างวัสดุเม็ดหยาบทั้งหมดมาคลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วทำการแบ่งโดยใช้เครื่อง แบ่งตัวอย่าง
2. ถ้าวัสดุเม็ดหยาบชื้นหรือเปียก ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C จนแห้ง แล้วปล่อยให้เย็นก่อนทำการทดสอบ
3. ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบเป็นวัสดุชนิดขนาดเดี่ยว (Single Size) ให้เตรียมตัวอย่างไว้ไม่น้อยกว่า 200 ก้อน

4. ในกรณีที่ วัสดุเม็ดหยาบมีอยู่หลายขนาดปนกัน ให้ทำการร่อนด้วยเครื่องเขย่าผ่าน ตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ปริมาณของวัสดุเม็ดหยาบที่ใช้ร่อน ผ่านตะแกรงต่าง ๆ ให้ใช้ตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (การ ทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516)

5. นำวัสดุเม็ดหยาบขนาดต่าง ๆ ที่ร่อนแล้วไปชั่ง แล้วแยกเก็บไว้เพื่อทำการทดลอง สำหรับวัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้ทิ้งไป

การทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ค้ำบนแต่ละตะแกรงที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง มาทดลองลอดผ่านช่อง วัดความหนา โดยใช้ส่วนที่แบนที่สุดลอดผ่านตรงช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตะแกรงที่ค้ำนั้นทีละก้อน ให้ ทำทุก ๆ ขนาดของวัสดุ

2. นำส่วนที่ค้ำและส่วนที่ผ่านช่องวัดความหนาของวัสดุแต่ละขนาดไปชั่ง แล้วบันทึกไว้

5.3 การคำนวณ

คำนวณหาอัตราความแบนได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ดรรชนีความแบน (FI)} &= \frac{\text{มวลของตัวอย่างทุกขนาดที่ลอดผ่านช่องวัดความหนามวลของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้ำ}}{\text{มวลของตัวอย่างส่วนที่ค้ำ}} \times 100 \\ &= \frac{X}{X + Y} \times 100 \end{aligned}$$

เมื่อ X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุก ช่องมีหน่วยเป็นกรัม

Y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้ำช่องวัดความหนาทุกช่องมี หน่วยเป็นกรัม

5.4 ข้อควรระวัง

การทดลองวัสดุผ่านช่องวัดความหนา ห้ามไม่ให้กดวัสดุเพื่อบังคับให้วัสดุผ่านช่อง

6. วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) ทล.-ท. 211/2518 (เทียบเท่า BS 812 : 1967)

6.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีการหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยหามวลของวัสดุที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุ นั้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดลอง วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก BS 812 : 1967

6.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. ช่องวัดความยาว (Length Gauge) ประกอบด้วยช่องขนาดต่าง ๆ หลายขนาดแต่ละช่องมีตัวเลขกำกับอยู่ 2 ตัว ตัวเลขมากหมายถึงส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้นผ่าน ตัวเลขน้อยเป็นส่วน ของตะแกรงที่วัสดุนั้น ๆ ค้างอยู่
2. เครื่องเขย่าตะแกรงพร้อมด้วยตะแกรงขนาดต่าง ๆ (ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516)
3. ภาชนะสำหรับใส่วัสดุ
4. เครื่องแบ่งตัวอย่าง
5. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างวัสดุเม็ดหยาบทั้งหมดมาคลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วทำการแบ่งโดยใช้เครื่อง แบ่งตัวอย่าง
2. ถ้าวัสดุเม็ดหยาบชื้นหรือเปียก ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C จนแห้งแล้วปล่อยให้ วัสดุให้เย็นก่อนทำการทดลอง
3. ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบเป็นวัสดุชนิดขนาดเดี่ยว (Single Size) ให้เตรียมตัวอย่างไว้ไม่ น้อยกว่า 200 ก้อน

4. ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบมีอยู่หลายขนาดปนกัน ให้ทำการร่อนด้วยเครื่องเขย่าผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ปริมาณของวัสดุเม็ดหยาบใช้ร่อนผ่านตะแกรงต่าง ๆ ให้ใช้ตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (การทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516)

5. นำวัสดุเม็ดหยาบขนาดต่าง ๆ ที่ร่อนแล้วไปชั่ง แล้วแยกเก็บไว้เพื่อทำการทดลองสำหรับวัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้ทิ้งไป

การทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ค้ำบนแต่ละตะแกรง มาทดลองลอดผ่านช่องวัดความยาวโดยใช้ส่วนที่ยาวที่สุดลอดผ่านตรงช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตะแกรงที่ค้ำนั้นที่ละก้อน ให้ทำทุก ๆ ขนาดของวัสดุ

2. นำส่วนที่ค้ำและส่วนที่ผ่านช่องวัดความยาวของวัสดุแต่ละขนาดไปชั่ง แล้วบันทึกไว้

6.3 การคำนวณ

คำนวณหาตรรชนีความยาวได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ตรรชนีความยาว (EI)} &= \frac{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้ำช่องวัดความยาวมวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ผ่าน}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้ำช่องวัดความยาวมวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ผ่าน}} \times 100 \\ &= \frac{Y}{X + Y} \times 100 \end{aligned}$$

เมื่อ X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

Y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้ำช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

6.4 ข้อควรระวัง

1. การทดลองสอดวัสดุผ่านช่องวัดความยาว ห้ามไม่ให้ใช้แรงดันเพื่อบังคับให้วัสดุผ่านช่อง

2. การทดลองสอดวัสดุผ่านช่องวัดความยาวทุกครั้ง ต้องให้แกนตามความยาวของวัสดุขนานกับด้านยาวของช่อง ห้ามไม่ให้เอียงวัสดุเพื่อลอดผ่านช่อง

7. วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ทล.-ท. 202/2515 (เทียบเท่า ASTM : 131 และ C 535)

7.1 ขอบข่าย

การทดลองนี้เพื่อหาค่าความสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวดและ Coarse Aggregates อื่น ๆ การทดลองนี้ดัดแปลงมาจาก ASTM. Designations : C 131-69 และ C 535-69

7.2 วิธีทำ

เครื่องมือ

1. เครื่อง Los Angeles Abrasion มีลักษณะและขนาดตาม ภาพผนวกที่ ข1 ประกอบด้วยเหล็กทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 711 ± 5 มิลลิเมตร (28 ± 0.2 นิ้ว) ความยาวภายใน 508 ± 5 มิลลิเมตร (20 ± 0.2 นิ้ว) เหล็กทรงกระบอกนี้ติดอยู่กับเพลลาและหมุนรอบแกนได้ในแนวนอน มีช่องสำหรับใส่วัสดุฝาเหล็กปิด เมื่อปิดแล้วต้องมีลักษณะผิวด้านในเหมือนกับผิวทรงกระบอกและเสมอกัน ไม่ทำให้ลูกเหล็กทรงกลมซึ่งเป็น Abrasive Charge สะดุดเวลาผ่านรอยต่อ มีเหล็กขวางสูง 89 ± 2 มิลลิเมตร (3.5 ± 0.1 นิ้ว) ยาว 508 ± 2 มิลลิเมตร (20 ± 0.2 นิ้ว) ติดแน่นด้านในเหล็กทรงกระบอกความสูงของเหล็กทรงกระบอกหมุนจากเหล็กขวางถึงช่องสำหรับใส่วัสดุไม่น้อยกว่า 1,270 มิลลิเมตร (50 นิ้ว)

หมายเหตุ

เหล็กขวางควรมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ติดอยู่กับผนังของเหล็กทรงกระบอก หรือ อาจใช้เหล็กฉากแทนโดยติดที่ริมฝาเหล็กปิดช่องใส่วัสดุ ให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปตามทิศทางที่ หมุน

2. ตะแกรงสำหรับหาขนาดของ Coarse Aggregate ใช้ตะแกรงมีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยม จัตุรัสขนาด 75.0 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) , 63.0 มิลลิเมตร (2 ½ นิ้ว) , 50.0 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) , 37.5 มิลลิเมตร (1½ นิ้ว) , 25.0 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) , 19.0 มิลลิเมตร (¾ นิ้ว) , 12.5 มิลลิเมตร (½ นิ้ว) , 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) , 6.3 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว) , #4 (4.75 มิลลิเมตร) , #8 (2.36 มิลลิเมตร) , #12 (1.70 มิลลิเมตร)

3. Abrasive Charge เป็นลูกเหล็กทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 46.8 มิลลิเมตร (1 27/32 นิ้ว) แต่ละลูกมีมวลระหว่าง 390-445 กรัม จำนวน Abrasive Charge ขึ้นอยู่กับ Grading ของตัวอย่าง Grading ของตัวอย่างกำหนดไว้ใน ตารางผนวกที่ ข4

ตารางผนวกที่ ข4 จำนวน Abrasive Charge

Grading	จำนวน Abrasive Charge ที่ใช้ในการทดลองแต่ละ Grading	
	Abrasive Charge (ลูก)	มวลรวม (กรัม)
A	12	5000±25
B	11	4,584±25
C	8	3,330±20
D	6	2,500±15
E	12	5,000±25
F	12	5,000±25
G	12	5,000±25

4. เครื่องซังซึ่งสามารถซังได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

การเตรียมตัวอย่าง

1. ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียว เช่น กรวดทราย หินโม้ ให้ตากตัวอย่างจนแห้ง หรืออบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C แล้วทำการแยกตัวอย่าง ตาม ตารางผนวกที่ ข4
2. ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปน หรือมีส่วนละเอียดติดเป็นก้อนใหญ่แน่น ให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ออกทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C แล้วทำการแยกตัวอย่าง ตาม ตารางผนวกที่ ข4
3. นำตัวอย่างไปแยกขนาดตาม Grading ใน ตารางผนวกที่ ข5 ถ้าเข้าได้หลาย Grading ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

การทดลอง

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ Abrasive Charge ตามจำนวนลูกในภาพผนวกที่ ข4 ใส่เข้าไปในเครื่อง Los Angeles หมุนเครื่องด้วยความเร็วที่ 30 – 33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนรอบ ตามตารางผนวกที่ 58 เมื่อหมุนได้ครบตามกำหนดแล้ว ให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่อง ล้างส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ออกทิ้ง นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาอบที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C จะได้มวลคงที่ จึงชั่งหามวลตัวอย่างที่เหลือ

ตารางผนวกที่ ข5 การเลือกเกรดที่จะทำสอบ Los Angeles

ขนาดตะแกรง (มม.)		มวล (กรัม) และ Grading ของตัวอย่าง						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
75.0	63.0	-	-	-	-	2500+50	-	-
63.0	50.0	-	-	-	-	2500+50	-	-
50.0	37.5	-	-	-	-	5000+50	5000+50	-
37.5	25.0	1250+25	-	-	-	-	5000+25	5000+25
25.0	19.0	1250+25	-	-	-	-	-	-
19.0	12.5	1250+10	2500+50	-	-	-	-	-
12.5	9.5	1250+10	2500+50	-	-	-	-	-
9.5	6.3	-	-	2500+50	-	-	-	-
6.3	4.75	-	-	2500+50	-	-	-	-
4.75	2.36	-	-	-	5000+10	-	-	-
มวลตัวอย่างรวม		5000+10	5000+10	5000+10	5000+10	10000+100		
จำนวนรอบ			500				1000	

7.3 การคำนวณ

$$\text{ความสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

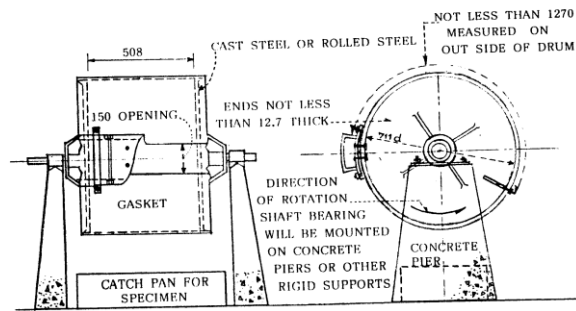
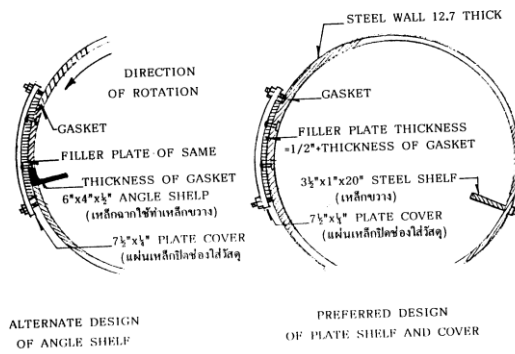
เมื่อ M_1 = มวลตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

M_2 = มวลที่ค้างบนตะแกรง #12

7.4 ข้อควรระวัง

1. ให้ทำการซั้ Abrasive Charge แต่ละลูกอย่างน้อย 1 ครั้ง ทุก ๆ 6 เดือน เพื่อตรวจสอบให้มวลรวมเป็นตามมาตรฐาน

2. ในกรณีที่เหล็กขวางใช้เหล็กฉากตีตรึมแผ่นเหล็กปิดช่องใส่วัสดุ การปิดต้องให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปในทิศทางที่เครื่องหมุน



รูปที่ 1 เครื่อง LOS ANGELES

ฉล็ดเป็นฉล็ดแบบ (นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น)

ภาพผนวกที่ ข1 เครื่อง Los Angeles

พ.ศ. ๒๕๖๖

8. วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent ทล.-ท. 203/2515 (เทียบเท่า AASHTO T 176)

8.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 176-70 เป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่น หรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับวัสดุเม็ดหยาบพวกกรวดหรือทราย

8.2 วิธีทำ

เครื่องมือ

1. เครื่องมือทดลองประกอบด้วยกระบอกตวงพลาสติกซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 31.75 มิลลิเมตร (1 ¼ นิ้ว) สูง 431.80 มิลลิเมตร (17 นิ้ว) และมีขีดวัด 318 มิลลิเมตร (15 นิ้ว) แบ่งเป็น 15 ส่วน ส่วนละ 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) แต่ละส่วนแบ่งออกเป็น 10 ช่อง
2. Irrigator Tube
3. Weighted Foot Assembly ซึ่งประกอบด้วย Sand Reading Indicator ติดอยู่กับแกนห่างจากตัว Foot 254 มิลลิเมตร (10 นิ้ว)
4. Siphon Assembly ประกอบด้วยขวดกลมซึ่งบรรจุสารละลาย Calcium Chloride 3.80 ลิตร (1 แกลลอน) ให้ขวดกลมวางสูงจากโต๊ะที่ทำการทดลอง Sand Equivalent 914 ± 25 มิลลิเมตร (3 ฟุต \pm 1 นิ้ว)
5. กระบอตวง (Measuring Can) ขนาด 85 ± 5 มิลลิลิตร (3 ออนซ์)
6. กรวยปากกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางตรงปากกรวยขนาดประมาณ 100 มิลลิเมตร
7. นาฬิกาจับเวลา
8. เครื่องเขย่ากล (Mechanical Shaker) มีประสิทธิภาพเขย่าได้ 175 ± 2 รอบต่อนาที และระยะทางเขย่าเท่ากับ 203 ± 1 มิลลิเมตร (8 ± 0.004 นิ้ว) หรืออาจใช้เครื่องเขย่ามือ (Manual Shaker) ก็ได้ ดังแสดง ในภาพผนวกที่ ข2 และ ภาพผนวกที่ ข3 ตามลำดับ

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

1. Stock Solution สารละลาย Calcium Chloride เตรียมได้จาก Anhydrous Calcium Chloride 454 กรัม , USP Glycerine 2,050 กรัม และ Formaldehyde 47 กรัม ละลาย Calcium Chloride ในน้ำกลั่น 1,900 มิลลิลิตร (1/2 แกลลอน) แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองแบบ Rapid Filtering Filter Paper หรือ Whatman No. 12 เติม Glycerine และ Formaldehyde ในสารละลาย ผสมกันจนเข้ากันดี เติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนได้สารละลาย 3.80 ลิตร (1 แกลลอน)

2. Working Solution เตรียมได้จากการนำเอาสารละลายในข้อ 1 ด้านบน มาเติม กระจกบด (88±5 มิลลิลิตร) เติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลาย 3.80 ลิตร (1 แกลลอน)

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างตากแห้ง (Air – Dry Sample) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร) มา 1 กระจกบด (85±5 มิลลิลิตร) โดยวิธี Quartering หรือใช้ Riffle Splitter อย่างใดอย่างหนึ่งควร เคาะกระจกบดกับพื้นแข็ง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างบรรจุในกระจกบดมากที่สุด ใช้ที่ปาดดินปากวัสดุที่ขอบบน ของกระจกบดให้ตัวอย่างเต็มกระจกบด

การทดลอง

1. เติมน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ ลงไปในกระจกบดพลาสติกให้สูง 4 ±0.1 นิ้ว (4 ±0.1 นิ้ว) โดยผ่าน Irrigator Tube วางกรวยปากกลมบนปากกระจกบด แล้วเทตัวอย่างจากกระจกบด ลงไปในกระจกบด ไล่ฟองอากาศโดยใช้ก้นกระจกบดกระทบกับฝ่ามือจนตัวอย่างเปียกโดยทั้ง ถึงกัน

2. ปล่อยให้วัสดุตัวอย่างแห้งทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนเป็นเวลา 10 ±1 นาที แล้วอุดกระจกบด ด้วยจุกยาง พลิกกระจกบดคว่ำไปมาพร้อมทั้งเขย่า เพื่อป้องกันมิให้วัสดุตกค้างอยู่ที่ก้นกระจกบด

3. การเขย่ากระจกบดสามารถทำได้ 3 วิธี ด้วยกัน คือ

(1) เขย่าด้วยเครื่องเขย่ากล โดยวางกระจกบดพลาสติกซึ่งอุดด้วยจุกยางอยู่ใน แนวนราบ และอยู่ในลักษณะติดแน่นกับเครื่องเขย่า ตั้งเวลาให้เครื่องเขย่ากลนี้เขย่าเป็นเวลา 45 ±1 วินาที

(2) เครื่องเขย่ามือ โดยยึดกระบอกตวงพลาสติกซึ่งอุดด้วยจุกยางเข้ากับเครื่องโดยใช้สปริงยึด 3 ตัว ตั้งเครื่องนับครั้งเขย่าให้เริ่มที่ศูนย์ ดันเหล็กโยกกระบอกตวงไปในแนวนอนด้านข้างจนกระทั่งปลายเข็มชี้ที่เครื่องหมายกำหนดระยะทางการเขย่าซึ่งติดอยู่บนกระดาด้านหลังเครื่องโยกแล้วจึงปล่อยมือให้เหล็กโยกเขย่ากระบอกตวงโดยอิสระ และอาจใช้ปลายนิ้วมือโยกช่วย เพื่อให้การเขย่าเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ และเคลื่อนในแนวด้านข้างตามระยะที่กำหนดไว้ การเขย่าที่ถูกต้องสมบูรณ์ คือ การโยกที่เมื่อครบรอบครั้งหนึ่ง ๆ แล้ว ปลายเข็มชี้จะอยู่ภายในขีดความกว้างของเครื่องหมายกำหนดระยะทาง ดังแสดงใน ภาพผนวกที่ ข3 ให้เขย่าเช่นนี้ 100 รอบ

(3) ใช้มือเขย่า โดยจับกระบอกตวงด้วยฝ่ามือทั้งสองข้างในแนวราบ ให้ระยะทางเขย่าในแนวราบนี้ยาว 228 ± 25 มิลลิเมตร (9 ± 1 นิ้ว) และให้เขย่า 90 รอบ ในเวลาประมาณ 30 วินาที ดังแสดงใน ภาพผนวกที่ ข3 (การนับจำนวนรอบให้นับจากจุดเริ่มต้นเขย่าไปแล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกเป็น 1 รอบ)

4. หลังจากเขย่าโดยวิธีการต่าง ๆ แล้ว นำกระบอกตวงพลาสติกตั้งบนโต๊ะ เอาจุกออก หย่อนปลาย Irrigator Tube ลงไปในกระบอกตวง เปิดให้สารละลายในขวดผ่านออกไปล้างวัสดุที่ติดอยู่ข้าง ๆ กระบอกตวงนั้น จากขอบบนลงไปค่อย ๆ หมุนและดัน Irrigator Tube ผ่านชั้นวัสดุเม็ดหยาบลงไปจนถึงก้นกระบอก วัสดุเม็ดละเอียดจะลอยตัวขึ้นมาเป็นของผสมอยู่เหนือพวกเม็ดหยาบ เมื่อของผสมมีระดับที่ขีด 15 ส่วน (15 นิ้ว) ค่อย ๆ ยก Irrigator Tube ขึ้น แต่ยังไม่ปล่อยให้สารละลายไหลออกเรื่อย ๆ จนเมื่อยก Irrigator Tube ออกจากกระบอกตวง ระดับของผสมในกระบอกตวงต้องอยู่ที่ระดับขีดที่ 15 ส่วน (15 นิ้ว)

5. ปล่อยกระบอกตวงทิ้งไว้โดยไม่ให้ถูกรบกวนอีก 20 นาที นับเวลาหลังจากเอา Irrigator Tube ออก จะเห็นดินเหนียวลอยอยู่โดยแยกเป็นชั้นอย่างชัดเจน อ่านค่าระดับชั้นบนสุดของดินเหนียวบนกระบอกตวงเป็นค่า “Clay Reading” ถ้าในระยะเวลา 20 นาที ดินเหนียวยังตกตะกอนไม่หมด โดยยังไม่เห็นเป็นชั้นแยกกันอย่างชัดเจน ให้ยึดเวลาออกไปแต่ไม่ควรเกิน 30 นาที ถ้าเวลามากกว่า 30 นาที ยังไม่มีการแยกเห็นได้ชัดเจน ให้ทำการทดลองใหม่ โดยใช้อีก 3 ตัวอย่าง และใช้ค่า “Clay Reading” ของตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาตกตะกอนที่สั้นที่สุด

6. หาค่า “Sand Reading” ได้จากการนำเอา Weighted Foot Assembly ค่อย ๆ หย่อลงในกระบอกตวง ไปวางบนวัสดุหยาบหรือทราย อ่านค่าบนกระบอกตวงระดับบนสุดของ Indicator แล้วลบด้วย 10 จะได้ค่า “Sand Reading”

7. ค่าของ “Clay Reading” และ “Sand Reading” ให้ใช้ทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่งเท่านั้น ในกรณีที่อ่านทศนิยมได้มากกว่า 1 ตำแหน่ง ให้ปัดไปด้านมากจนเหลือทศนิยม 1 ตำแหน่ง เช่น อ่านได้ 3.22 ให้ใช้ 3.3 เป็นต้น

8.3 การคำนวณ

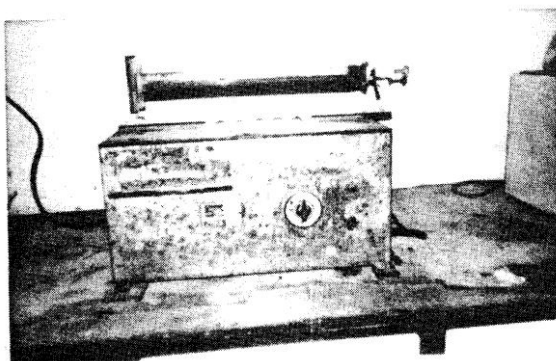
ค่า Sand Equivalent (SE) หาได้จากสูตร

$$SE = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100$$

ถ้า SE ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มทั้งหมด เช่น SE ได้เท่ากับ 41.25 ให้ใช้ค่า SE เป็น 42 เป็นต้น

8.4 ข้อควรระวัง

1. สถานที่ใช้ในการทดลองต้องเป็นที่ซึ่งปราศจากการสั่นสะเทือน ซึ่งจะทำให้อัตราการตกตะกอนผิดไป
2. ไม่ควรวางกระบอกลงพลาสติกในแสงแดด
3. ระวังมิให้ทรายหรือดินไปอุดตันที่ปลายของ Irrigator Tube



ภาพผนวกที่ ข2 Mechanical Shaker



ภาพผนวกที่ ข3 Manual Shaker

9. วิธีการทดสอบหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยใช้โซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต ทล.-ท. 213/2531 (เทียบเท่า AASHTO T 104 หรือ ASTM C 88)

9.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานต่อการแตกแยกของมวลรวมในสารละลายอิมิตัว โซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการช่วยพิจารณาความคงทนของมวลรวมที่ถูกกระทำโดยสภาพดินฟ้าอากาศ โดยเฉพาะมวลรวมที่ได้จากแหล่งที่มีข้อมูลในการทนต่อกระบวนการถูกทำลายทางธรรมชาติมีไม่เพียงพอ วิธีการทดสอบโดยใช้สารละลายอิมิตัวแต่ละชนิดดังกล่าว จะให้ผลทดลองมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้น ในการกำหนดค่าความคงทน จะต้องระบุชนิดของสารละลายและจำนวนรอบของการทดลองอย่างชัดเจน

9.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. ตะแกรง ช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านของตะแกรงจะต้องสอดคล้องกับ ASTM E 11 หรือเทียบเท่า โดยมีขนาดต่าง ๆ ตาม ตารางผนวกที่ ข6

ตารางผนวกที่ ข6 ขนาดตะแกรงที่ใช้

ขนาดตะแกรงที่ใช้ มิลลิเมตร	
มวลรวมเม็ดละเอียด	มวลรวมเม็ดหยาบ
0.150 (เบอร์ 100)	8.0 (5/16") 9.5 (3/8")
0.30 (เบอร์ 50)	12.5 (1/2") 16.0 (5/8")
0.60 (เบอร์ 30)	19.0 (3/4") 25.0 (1")
1.18 (เบอร์ 16)	31.5 (1 1/4") 37.5 (1 1/4")
2.36 (เบอร์ 8)	50 (2") 63 (2 1/2")
4.00 (เบอร์ 5)	ขนาดโตกว่านี้ให้ใช้ตะแกรง ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทีละ 1/2"
4.75 (เบอร์ 4)	

2. ภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่างมวลรวมแห้งลงในสารละลาย จะต้องมีรูพรุนเพียงพอ เพื่อให้สารละลายไหลเข้าได้สะดวก และสามารถระบายออกได้โดยที่ไม่ทำให้มวลรวมสูญหาย ภาชนะบรรจุตัวอย่างอาจใช้ตะกร้าที่ทำจากลวดตาข่าย หรือตะแกรงที่มีช่องเปิดที่เหมาะสมได้

3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ใช้ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ตลอดเวลาที่แช่อยู่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต

4. ตาชั่ง

(1) สำหรับมวลรวมละเอียด ตาชั่งต้องชั่งได้ไม่น้อยกว่า 500 กรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

(2) สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบ ตาชั่งต้องชั่งได้ไม่น้อยกว่า 5000 กรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

5. เตาอบต้องสามารถให้ความร้อนได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C และอัตราการระเหยในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว จะต้องไม่น้อยกว่า 25 กรัมต่อชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งตลอดช่วงเวลานี้ประตูของเตาอบจะต้องปิดสนิท อัตราการระเหยดังกล่าวสามารถหาได้จากการระเหยของน้ำที่บรรจุในถ้วยแก้วทนความร้อนทรงเตี้ย (Griffin low-form Beakers) ขนาด 1 ลิตร จำนวนของน้ำ 500 กรัม อุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส แล้วนำถ้วยแก้วที่บรรจุน้ำวางไว้ทุกมุมและตรงกลางของทุกชั้นของเตาอบ ให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิคงที่ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ติดต่อกัน ค่าการระเหยหาได้จากค่าเฉลี่ยของน้ำที่หายไปในทุกจุด และขณะทดลองหาค่าการระเหยนี้ภายในเตาอบ จะต้องมีเฉพาะถ้วยแก้วบรรจุน้ำอยู่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

6. เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ ต้องเป็นเครื่องมือที่เหมาะสม ทำจากแก้วอย่างดี เช่น ไฮโดรมิเตอร์ มีความเที่ยงตรงแม่นยำ สามารถอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายได้ละเอียดถึง 0.001

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลองโซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟตอย่างหนึ่ง ใด ให้มีปริมาตรอย่างน้อย 5 เท่าของปริมาตรของตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง

2. สารละลายโซเดียมซัลเฟต เตรียมสารละลายอิ่มตัวได้จากการละลายเกลือโซเดียมซัลเฟต เกรด USP หรือเทียบเท่า ในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ $25-30$ °C เพิ่มจำนวนของเกลือผง (Na_2SO_4) หรือเกลือผลึก ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ให้พอเพียงจนแน่ใจว่าสารละลายไม่เพียงแต่จะอิ่มตัวเท่านั้นแต่จะต้องตกผลึกส่วนเกินให้เห็นด้วย เมื่อพร้อมที่จะใช้ในการทดลองคนให้เข้ากันขณะผสมเกลือลงไป และจะต้องหมั่นคนอยู่เสมอจนกว่าจะใช้งาน เพื่อป้องกันการระเหยและสิ่งสกปรกตกลงไป ให้ปิดฝาภาชนะบรรจุไว้ ทำสารละลายให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 21 ± 1 °C คนอีกครั้งหนึ่ง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ทดลอง หากมีผลึกเกลือปรากฏให้เห็นก่อนการใช้ในแต่ละครั้งต้องทำผลึกเกลือให้ตกคนให้ทั่ว แล้วจึงตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลาย ขณะใช้งานสารละลายจะต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะ $1.151 - 1.174$ สารละลายที่มีสีผิดไปจากเดิมให้นำทิ้งไป หรืออาจกรองแล้วตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะใหม่ก่อนนำมาใช้

สำหรับสารละลายโซเดียมซัลเฟต ถ้าใช้เกลือผง (Na_2SO_4) 215 กรัม หรือเกลือผลึก ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 700 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร แล้วจะอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 22 °C อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าสารละลายนี้จะอิ่มตัว แต่ก็อาจจะมียังไม่คงตัวเต็มที่ดังกล่าว คือ ยิ่งถ้าต้องการให้มีการตกผลึกส่วนเกินให้เห็นด้วยแล้ว ก็ควรเพิ่มการใช้เกลือผงเป็นไม่น้อยกว่า 350 กรัม หรือเพิ่มเกลือผลึกเป็นไม่น้อยกว่า 750 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร

โดยทั่วไปเกลือโซเดียมซัลเฟตชนิดผงที่มีอยู่ในท้องตลาด ซึ่งพอจะอนุโลมเรียกเป็นเกลือ ผง (Na_2SO_4) ได้นั้น สามารถใช้ทำสารละลายได้ดีที่สุด ทั้งยังประหยัดกว่าเกลือผงที่แท้จริงอีกด้วย ส่วนเกลือผลึก ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) นั้น เมื่อผสมกับน้ำจะทำให้สารละลายที่ได้เย็นตัวลงเร็วกว่าปกติ ทำให้การผสมให้เข้ากันเป็นไปได้ค่อนข้างยาก

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เตรียมสารละลายอิมิตัวได้จากการละลายเกลือ แมกนีเซียมซัลเฟต เกรด USP หรือ เทียบเท่าในน้ำที่อุณหภูมิ 25-30 °C เพิ่มจำนวนของเกลือผง (Mg SO_4) หรือเกลือผลึก ($\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ให้เพียงพอจนแน่ใจว่าสารละลายไม่เพียงแต่จะอิมิตัวเท่านั้น แต่จะต้องตกผลึกส่วนเกินให้เห็นด้วยเมื่อพร้อมที่จะใช้ในการทดลอง คนให้เข้ากันขณะผสมเกลือลงไป และจะต้องหมั่นคนอยู่เสมอจนกว่า จะใช้งานเพื่อป้องกันการระเหยและสิ่งสกปรกตกลงไปให้ปิดฝา ภาชนะบรรจุไว้ ทำสารละลายให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 21 ± 1 °C คนอีกครั้งหนึ่งแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิเป็น เวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ทดลอง หากมีผลึกเกลือปรากฏให้เห็นก่อนการใช้งานแต่ละครั้ง ต้องทำผลึกเกลือให้แตกคนให้ทั่ว แล้วจึงตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายขณะใช้งาน สารละลายจะต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.295-1.308 สารละลายที่มีสีผิดไปจากเดิมให้นำทิ้งไปหรือ ออกรองแล้วตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะใหม่ก่อนนำมาใช้

สำหรับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ถ้าใช้เกลือผง (Mg SO_4) 350 กรัม หรือเกลือผลึก ($\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 1230 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร แล้วจะอิมิตัวที่อุณหภูมิ 23 °C อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าสารละลายนี้จะอิมิตัว แต่ก็อาจจะยังไม่คงตัวเต็มที่นัก ซึ่งเกลือผงจะให้สารละลายที่คงตัว เต็มที่ดีกว่าเกลือผลึก กล่าวคือ ยิ่งถ้าต้องการให้มีการตกผลึกส่วนเกินให้เห็นด้วยแล้ว ก็ควรเพิ่มเกลือ ผลึกเป็นไม่น้อยกว่า 1,400 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร

การเตรียมตัวอย่าง

1. มวลรวมเม็ดละเอียด สำหรับมวลรวมเม็ดละเอียดที่จะนำมาใช้ในการทดลอง จะต้อง ผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ทั้งหมด นำมวลรวมเม็ดละเอียดดังกล่าวมาผ่าน ตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตาม ตารางผนวกที่ ข6 จากผลการทดลอง การแบ่งขนาดส่วนของมวลรวมเม็ด ละเอียดที่จะนำมาใช้ในการทดลองหาค่าความคงทน จะต้องมามีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป และมวล ที่ใช้ในการทดลอง แต่ละช่วงขนาดตามที่กำหนดไว้ใน ตารางผนวกที่ ข7 จะต้องไม่น้อยกว่า 100 กรัม

ตารางผนวกที่ ข7 ขนาดตะแกรงและมวลของมวลรวมเม็ดละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร		มวลเป็นกรัม
ผ่าน	ค้าง	
0.60 (เบอร์ 30)	0.30 (เบอร์ 50)	100
1.18 (เบอร์ 16)	0.60 (เบอร์ 30)	100
2.36 (เบอร์ 8)	1.18 (เบอร์ 16)	100
4.75 (เบอร์ 4)	2.36 (เบอร์ 8)	100
9.5 (3/8")	4.75 (เบอร์ 4)	100

2. มวลรวมเม็ดหยาบ สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบที่จะนำมาใช้ในการทดลองจะต้องร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ออกให้หมด นำมวลรวมเม็ดหยาบดังกล่าวมาร่อนผ่านตะแกรงต่าง ๆ ตาม ตารางผนวกที่ ข8 จากผลการทดลองการแบ่งขนาดส่วนของมวลรวมเม็ดหยาบที่จะนำมาใช้ในการทดลองหาค่าความคงทน จะต้องมึปริมาณในแต่ละช่วงขนาดที่ใช้ทดลองตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป และมวลที่ใช้ในการทดลองแต่ละช่วงขนาดตาม ตารางผนวกที่ ข8

3. เมื่อมวลรวมที่จะใช้ทดลองประกอบด้วยมวลรวมเม็ดละเอียด และมวลรวมเม็ดหยาบ โดยที่มีส่วนค้างตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) มากกว่าร้อยละ 10 โดยมวล และมีส่วนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) มากกว่าร้อยละ 10 โดยมวลแล้ว ให้แบ่งตัวอย่างออกเป็น ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) และทดลองตามวิธีการทดลองมวลรวมเม็ดหยาบกับส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ตามลำดับ การรายงานผลให้แยก รายงานค่าส่วนที่ไม่คงทนของส่วนละเอียดและส่วนหยาบ และรายงานร้อยละของส่วนละเอียดและส่วนหยาบที่มีอยู่ในมวลรวมทั้งหมดด้วย

ตารางผนวกที่ ข8 มวลของมวลรวมเม็ดหยาบที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดที่ใช้ทดลอง มิลลิเมตร	ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร		มวลเป็นกรัม
	ผ่าน	ค้าง	
9.5 (3/8") - 4.75 (เบอร์ 4)	9.5 (3/8")	4.75 (เบอร์ 4)	300±5
19.0 (3/4") - 9.5 (3/8")			1000±10
ประกอบด้วย	12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	330±5
	19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	670±10
37.5 (1 1/2") - 19.0 (3/4")			1500±50
ประกอบด้วย	25.0 (1")	19.0 (3/4")	500±30
	37.5 (1 1/2")	25.0 (1")	1000±50
63 (2 1/2") - 37.5 (1 1/2")			5000±300
ประกอบด้วย	50 (2")	37.5 (1 1/2")	2000±200
	63(2 1/2")	50 (2")	3000±300
ขนาดที่โตกว่าให้แบ่งเป็นช่วง ช่วงละ 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และใช้มวลในแต่ละช่วง			7000±1000

หมายเหตุ

1. ในกรณีของขนาดที่ใช้ทดลอง ประกอบด้วยมวลรวมเม็ดหยาบ 2 ช่วง แต่มวลของช่วงหนึ่งช่วงใดขาดหายไปบ้าง โดยมวลไม่เป็นไปตามที่กำหนดใน ตารางผนวกที่ ข8 ไม่ควรเอามวลของอีกขนาดหนึ่งมาทดแทนกัน ให้ดำเนินการขอตัวอย่างเพิ่มจนได้มวลตามที่กำหนด

2. ในกรณีของขนาดที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วงที่ ตารางผนวกที่ ข8 กำหนดว่า ประกอบด้วยมวลรวมเม็ดหยาบ 2 ช่วงแล้ว แต่ขนาดช่วงหนึ่งช่วงใดขาดหายไปหมด เช่น ในกรณีของวัสดุ Single Size อาจใช้มวลของขนาดที่มีอยู่มาทำการทดลองแทนโดยอนุโลม

การทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

(1) สำหรับมวลรวมละเอียดให้ล้างตัวอย่างบนตะแกรงขนาด 0.30 มิลลิเมตร (เบอร์ 50) อบจนมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 °C แยกขนาดของวัสดุ โดยใช้ตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตาม ตารางผนวกที่ ข7 เลือกตัวอย่างให้มีมวลเกินกว่า 100 กรัม บนแต่ละชั้นของตะแกรงไว้ทำการทดลอง

(โดยทั่วไปเตรียมไว้ประมาณ 110 กรัม) อย่านำวัสดุที่ติดค้างอยู่ระหว่างช่องตะแกรงมาทดลอง ซึ่งมวลของแต่ละตัวอย่างแยกจากกันให้ได้ตัวอย่างละ 105 ± 5 กรัม แยกบรรจุลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

(2) สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบให้ล้างตัวอย่าง แล้วอบจนมีมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C แยกขนาดของวัสดุโดยใช้ตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตาม ตารางผนวกที่ ข8 แยกซึ่งมวลของตัวอย่างที่ค้างอยู่บนแต่ละชั้นของตะแกรงให้ได้มวลตามที่กำหนดไว้ใน ตารางผนวกที่ ข8 และถ้าขนาดที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยมวลรวม 2 ช่วงแล้ว ให้รวมมวลกันให้ได้ตามที่กำหนดไว้จดบันทึกมวลที่ใช้ในการทดลอง และมวลของส่วนประกอบแต่ละขนาดด้วยสำหรับตัวอย่างของวัสดุที่มีขนาดโตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) จะต้องนับจำนวนก้อนในแต่ละขนาดที่ใช้ทดลองและจดบันทึกไว้ด้วย

2. การทดลอง

(1) แخذตัวอย่างลงในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 18 ชั่วโมง สารละลายจะต้องท่วมตัวอย่างอย่างน้อย 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ปิดฝาภาชนะบรรจุตัวอย่างที่กำลังทดลอง เพื่อลดการระเหยของสารละลายและป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่นตกลงไปในสารละลาย และตลอดระยะเวลาที่แช่ตัวอย่างทดลองจะต้องรักษาและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิ 21 ± 1 °C

(2) หลังจากแช่จนได้กำหนดเวลาแล้ว ให้นำตัวอย่างมวลรวมออกจากสารละลายปล่อยให้แห้งอีก 15 ± 5 นาที เพื่อให้สารละลายที่อาจมีติดค้างอยู่ตามเม็ดตัวอย่างไหลออกหมด แล้วนำไปเข้าเตาอบซึ่งได้ทำให้มีความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ที่ 110 ± 5 °C อยู่ก่อนแล้ว อบตัวอย่างที่อุณหภูมินั้นจนตัวอย่างมีมวลคงที่ สำหรับระยะเวลาในการอบจนมีมวลคงที่นั้นให้ใช้เวลาที่ได้จากการทดลอง โดยเอาตัวอย่างบรรจุจนเต็มเตาอบที่มีอุณหภูมิคงที่ 110 ± 5 °C แล้วทำการตรวจสอบมวลที่หายไปของตัวอย่างโดยนำออกมาชั่งทั้งที่ยังร้อนอยู่ หลังจากอบไปแล้วทุกช่วง 2-4 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบหลาย ๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าได้มวลที่คงที่แล้ว เวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นอยู่กับสภาพของตัวอย่างและตำแหน่งที่วาง การพิจารณาว่ามวลคงที่คิดไว้เมื่อมวลมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ร้อยละ 0.1 ในช่วง 4 ชั่วโมง ของการอบ และเมื่อตัวอย่างมีมวลคงที่แล้วให้ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วดำเนินการตามข้อ (1)

หมายเหตุ

เวลาที่ใช้ในการอบเพื่อให้มวลของตัวอย่างคงที่จะต้องพิจารณาหลาย ๆ ด้าน ประสิทธิภาพของการอบจะลดลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนรอบในการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากเกลือที่ติดที่ผิวของตัวอย่างและอาจจะเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวที่แตกของตัวอย่าง ขนาดที่แตกต่างกันของเม็ดตัวอย่างก็ทำให้เวลาในการแห้งของตัวอย่างต่างกันออกไป ตัวอย่างเม็ดเล็กจะแห้งช้ากว่า เนื่องจาก

พื้นที่ผิวที่มากกว่าและช่องว่างระหว่างเม็ดมีจำกัดกว่า แต่ผลต่าง ๆ เหล่านี้ อาจเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากรูปร่างและขนาดของภาชนะบรรจุ

(3) ให้ทำการทดลองซ้ำโดยการแช่แล้วนำไปอบให้แห้ง จนกระทั่งครบ 5 รอบ หรือตามรอบที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของการใช้งานของวัสดุนั้น ๆ

ในกรณีที่ทำการทดลองครบวันหยุด ให้ทิ้งตัวอย่างที่อบแห้งและมีมวลคงที่แล้วที่อุณหภูมิห้องและให้เริ่มทำการทดลองต่อไปในวันเปิดทำการ

(4) หลังจากการทดลองรอบสุดท้ายเสร็จสิ้นและทิ้งตัวอย่างจนเย็นลงที่อุณหภูมิห้องแล้ว ให้ล้างตัวอย่างด้วยน้ำจนปราศจากสารละลายไฮเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งจะทดลองให้เห็นได้ว่าสะอาดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากน้ำที่ล้างผสมแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) วิธีการล้างให้ล้างตัวอย่างในภาชนะด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 43 ± 6 °C ให้น้ำไหลเข้าตอนล่างของภาชนะและปล่อยให้ น้ำล้นผ่านตัวอย่างจนสะอาด (โดยทั่วไปประมาณ 15 นาที) ในระหว่างการล้างตัวอย่างจะต้องไม่ถูก กระแทก หรือเสียดสีกันจนเกิดการแตกขึ้น

(5) หลังจากล้างตัวอย่างจะสะอาดแล้ว ให้นำตัวอย่างไปอบจนมีมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงสำหรับมวลรวมเม็ดละเอียดให้ใช้ ตะแกรงที่มวลรวมค้ำตาม ตารางผนวกที่ ข6 ร่อน สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบให้ใช้ตะแกรงตาม ตารางผนวกที่ ข9 ร่อน

วิธีการและช่วงเวลาของการร่อนมวลรวมเม็ดละเอียดพยายามให้ใกล้เคียงกับที่ใช้ใน ตอนร่อนเตรียมตัวอย่างทดลอง สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบให้ทำการร่อนด้วยมือ ความแรงของการ ร่อนให้พอแน่ใจว่า ตัวอย่างก้อนที่เล็กกว่าสามารถผ่านตะแกรงได้ โดยไม่มีการกระทำอื่นใดมาช่วย เสริมให้ผ่านตะแกรงหรือทำให้เกิดการแตก

ซึ่งมวลของตัวอย่างที่ค้ำอยู่บนแต่ละชั้นของตะแกรง บันทึกเปรียบเทียบกับมวลที่ซัง ไว้ก่อนแช่ในสารละลาย ค่าที่แตกต่างกัน คือ ค่าของส่วนที่ไม่คงทนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ให้ รายงานเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับมวลก่อนการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข9 ขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อนหาส่วนที่ไม่คงทนของมวลรวมเม็ดหยาบ

ขนาดที่ใช้ทดลอง มิลลิเมตร	ขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อน มิลลิเมตร
63 (2 1/2") - 37.5 (1 1/2")	3.15 (1 1/4")
37.5 (1 1/2") - 19.0 (3/4")	16.0 (5/8")
19.0 (3/4") - 9.5 (3/8")	8.0 (5/16")
9.5 (3/8") - 4.75 (เบอร์ 4)	4.0 (เบอร์ 5)

9.3 การคำนวณ

1. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Examination)

- คำนวณหามวลที่หายไปหลังจากการทดลอง คือ การหาค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Actual Loss)

$$\text{Actual Loss} = \text{Mass of Test Fraction Before Test} - \text{Mass of Test Fraction After Test}$$

- คำนวณหา Actual Percentage Loss

$$\text{Actual \% Loss} = \frac{\text{Actual Loss}}{\text{Mass of Test Fraction Before Test}} \times 100$$

- คำนวณหา Weighted Percentage Loss

$$\text{Weighted \% Loss} = \frac{\text{Actual \% Loss} \times \text{Retained of Original Sample}}{100}$$

- คำนวณหา Total Percentage Loss

$$\text{Total \% Loss} = \text{ผลบวกของ Weighted \% Loss}$$

2. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Examination)

- ให้นำตัวอย่างก้อนที่โตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ตามวิธีต่อไปนี้

(1) ให้แยกชิ้นส่วนของตัวอย่างเป็นกลุ่มตามสภาพการแตกที่เกิดขึ้น สภาพการแตกของตัวอย่างจากการทดสอบตามวิธีนี้ โดยทั่วไปพอจะแยกได้เป็น แยกแยก (Disintegration) หรือแยกออกจากกัน (Splitting) ยุ่ยสลายเป็นชิ้นเล็ก ๆ (Crumbing) เกิดรอยร้าว (Cracking) หลุดเป็นแผ่น ๆ (Flaking)

ขณะที่มีการตรวจสอบตัวอย่างก้อนที่โตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) อยู่ นั้น อาจจะต้องมีการตรวจสอบก้อนที่มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ลงมาบ้าง ทั้งนี้เพื่อจะได้รู้ถึงสภาพการแตกแยกที่อาจจะมีเพิ่มขึ้น

(2) นับชิ้นส่วนที่ถูกแยกออกในแต่ละกลุ่มที่มีการแตกเกิดขึ้น

(3) เปรอ์เซ็นต์ความไม่คงทนของแต่ละกลุ่มหาได้ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่คงทนของแต่ละกลุ่ม} = \frac{\text{จำนวนก้อนที่เปลี่ยนสภาพในแต่ละกลุ่มจำนวนก้อนทั้งหมดก่อนการทดลอง}}{\text{จำนวนก้อนทั้งหมดก่อนการทดลอง}} \times 100$$

10. วิธีการทดลองหาการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม ทล.-ท. 414/2547

10.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองหาปริมาณการดูดซึมแอสฟัลต์ (Asphalt Absorption) ของมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์

10.2 วิธีทำ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. ขวดกรอง (Filter Flask) ใช้สำหรับใส่ส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์ เป็นขวดแก้วผนังหนา มีความจุประมาณ 2,000 มิลลิลิตร ประกอบด้วยฝาปิดด้านบนเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าได้ในขณะทำการทดลอง รวมทั้งมีที่ติดตั้งเครื่องมือวัดความดันคงเหลือภายในขวด (Residual Pressure Manometer)

2. ชุดดักไอน้ำ (Water Vapor Trap) ประกอบด้วยชุดขวดกรองอย่างน้อย 2 ขวด แต่ละขวดมีความจุประมาณ 1,000 มิลลิลิตร

3. มาตรวัดสุญญากาศ (Vacuum Gauge) ใช้สำหรับวัดความดันอากาศ สามารถวัดความดันอากาศได้ตามกำหนด

4. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) สามารถดูดอากาศภายในขวดกรอง ให้มีค่าความดันไม่มากกว่า 4.0 กิโลพาสคัล (30 มิลลิเมตรปรอท)

5. Bleed Valve ใช้สำหรับเชื่อมต่อขวดกรองกับชุดดักไอน้ำ

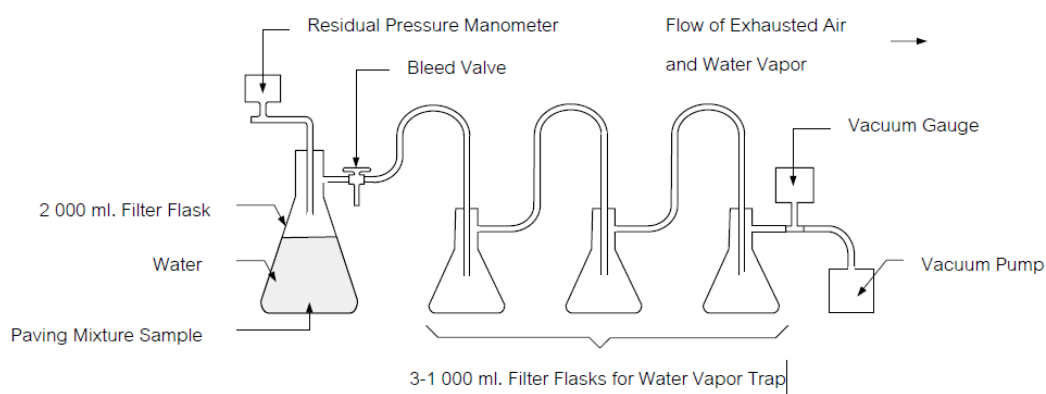
6. เครื่องชั่ง สามารถชั่งหามวลได้ถึง 5,000 กรัม มีความละเอียด 0.1 กรัม

7. เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 170 ± 5 °C

8. เทอร์โมมิเตอร์ สามารถวัดอุณหภูมิในช่วงใช้งานระหว่าง 20 –30 °C โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนได้ไม่มากกว่า 0.5 °C

9. อ่างน้ำปรับอุณหภูมิ (Water Bath) สามารถปรับอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 20 –30 °C โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนได้ไม่มากกว่า 1 °C และมีขนาดใหญ่พอที่จะแขวนขวดกรองให้จมอยู่ใต้น้ำได้ทั้งหมด โดยขวดกรองจะต้องไม่สัมผัสกับส่วนใดส่วนหนึ่งของอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ

การต่อเชื่อมของเครื่องมือทดลอง มีการต่อเชื่อมกันตาม ภาพผนวกที่ ข4



ภาพผนวกที่ ข4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการดูดซึมแอสฟัลต์

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

1. น้ำสะอาด
2. ผ้าขนหนูสะอาด

การเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง 2 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างมีปริมาณตาม ตาราง
ผนวกที่ ข10

ตารางผนวกที่ ข10 ปริมาณตัวอย่างทดลอง

ขนาดระบุ (Nominal Size)		ปริมาณตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กรัม)
25.0 มิลลิเมตร	(1 นิ้ว) หรือใหญ่กว่า	1,250
19.0 มิลลิเมตร	(3/4 นิ้ว)	1,000
12.5 มิลลิเมตร	(1/2 นิ้ว)	750
9.5 มิลลิเมตร	(3/8 นิ้ว) หรือเล็กกว่า	500

2. นำมวลรวมที่เตรียมไว้ เข้าอบที่อุณหภูมิ 170 ± 5 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ให้ความร้อนแอสฟัลต์ซีเมนต์จนมีอุณหภูมิ 150 ± 1 °C
4. ผสมมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มีมากเพียงพอถึงจุด
อิ่มตัวที่ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์เคลือบผิวมวลรวมได้อย่างทั่วถึง
5. คลุกเคล้าตัวอย่างเป็นระยะ ๆ จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างให้แผ่ออก ปล่อยให้เย็นที่
อุณหภูมิห้อง
6. แยกส่วนผสมออกจากกันอย่างระมัดระวังด้วยมือ โดยไม่ให้วัสดุมวลรวมแตกหรือฟิล์ม
ยางแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวมวลรวมหลุดออก เฉพาะส่วนผสมที่มีมวลละเอียดเกาะติดกันต้องแยกให้มี
ขนาดเล็กกว่า 6 มิลลิเมตร หากส่วนผสมเกาะติดกันแน่นเกินกว่าที่จะแยกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ ได้ นำ
ส่วนผสมใส่ในภาชนะกันแบบให้ความร้อนจนสามารถแยกออกจากกันได้

วิธีการทดลอง

1. ชั่งขวดกรองเปล่าในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 25 °C จะได้มวลของขวดกรองเปล่าในน้ำ (A)
2. ชั่งขวดกรองเปล่าในอากาศ จะได้มวลของขวดกรองเปล่าในอากาศ (B)
3. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ขวดกรอง แล้วชั่งในอากาศ จะได้มวลของขวดกรองและตัวอย่าง (C) หักมวลของขวดกรองเปล่าในอากาศออกจะได้มวลของตัวอย่างในอากาศ (D)
4. เติมน้ำให้ท่วมตัวอย่าง โดยให้ระดับน้ำสูงจากตัวอย่างประมาณ 50 มิลลิเมตร
5. นำขวดกรองพร้อมตัวอย่างที่ใส่น้ำจนท่วม ประกอบเข้ากับชุดของปั๊มสุญญากาศ ตามภาพผนวกที่ ข4 เปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากขวดกรองให้มีค่าความดันไม่มากกว่า 4.0 กิโลพาสคัล (30 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 5–15 นาที ขณะดูดอากาศออกให้เขย่าขวดกรองหรือใช้มือตบเป็นระยะ ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด
6. ปรับความดันให้เท่ากับความดันบรรยากาศ นำขวดกรองที่บรรจุตัวอย่างแขวนในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 10 ± 1 นาที แล้วชั่งในน้ำจะได้มวลของขวดกรองและมวลของตัวอย่างในน้ำ
7. ทำการทดลองซ้ำในหัวข้อ 5 แล้ว 6 จนกว่าจะได้มวลคงที่ (E)
8. ดำเนินการทดลองอีก 1 ตัวอย่าง

10.3 การคำนวณ

1. การคำนวณหาความถ่วงจำเพาะสูงสุดตามทฤษฎี (Theoretical Maximum Specific Gravity ; G_m)

$$G_m = \frac{D}{A+D-E}$$

เมื่อ A = มวลของขวดกรองที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

D = มวลของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

E = มวลของขวดกรองและตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

2. การคำนวณหา Virtual Specific Gravity (G_v)

$$G_v = \frac{100 - X}{\frac{100}{G_m} - \frac{X}{G_{ac}}}$$

เมื่อ X = ปริมาณร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมผสม

G_{ac} = ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยปกติใช้ค่า 1.02

3. การคำนวณหาปริมาณการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม (A_{ac}) (Asphalt Absorption;

$$A_{ac} = \frac{100 \times (G_v - G_{ag}) \times G_{ac}}{G_v \times G_{ag}}$$

เมื่อ G_{ag} = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด (Bulk Specific Gravity Blend)

10.4 ข้อควรระวัง

1. การทดลองสำหรับมวลรวมที่มีรูพรุนมาก ๆ ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้ารูพรุนของมวลรวมถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่หมด อาจทำให้มวลรวมมีสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำขณะทำการทดลอง ดังนั้นหลังจากที่ทำการทดลอง และคำนวณแล้ว พบว่ามีค่าผิดปกติ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

รินน้ำออกจากขวดกรองบรรจุตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง ไม่ให้อุณหภูมิของมวลรวมขนาดเล็กหายไป โดยรินน้ำออกผ่านผ้าขนหนูและมีภาชนะวางรองรับอีกที นำตัวอย่างมารวมกันทั้งหมด แผลตัวอย่างออกและใช้พัดลมเป่า ทำการชั่งมวลทุก ๆ 15 นาที หากค่ามวลที่หายไป ถ้าน้อยกว่าร้อยละ 0.05 แสดงว่า ตัวอย่างอยู่ในสภาพผิวแห้ง ทำการคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดตามทฤษฎี (G_m) โดยใช้ค่ามวลของตัวอย่างผิวแห้งที่ได้หลังจากการทดลอง แทนค่ามวลของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (D) ในสมการ

2. ชุดดักไอน้ำจะช่วยดักเอาละอองน้ำที่เกิดขึ้นจากขบวนการบรรจุตัวอย่างระหว่างการดูดอากาศออก อาจมีละอองน้ำส่วนหนึ่งที่ยังดักออกไม่หมด ทำให้น้ำมันในปั๊มสูญญากาศปนเปื้อน เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการดูดอากาศลดลงได้ จึงควรมีการบำรุงรักษา ตรวจสอบระดับน้ำมันและเปลี่ยนถ่ายน้ำมันในปั๊มสูญญากาศตามระยะเวลา

3. ในการซังมวลของขบวนการเปล่าในน้ำ ให้ระมัดระวังไม่ให้มีส่วนตกค้างในขบวนการ

4. ระหว่างการซังมวลในน้ำ ต้องไม่ให้ขบวนการสัมผัสกับส่วนใดส่วนหนึ่งของอ่างน้ำ ปรับอุณหภูมิ

แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

11. มาตรฐาน แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot Mix Asphalt) ทล.ม. 408/2532

แอสฟัลต์คอนกรีต คือ วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่โรงงานผสม (Asphalt Concrete Mixing Plant) โดยการควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการก่อสร้าง งานบูรณะ และงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับบนชั้นทางใด ๆ ที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ถูกต้องตามแนวระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ

วัสดุที่จะนำมาใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย มวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์

11.1 มวลรวม

มวลรวมประกอบด้วยมวลหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลละเอียด (Fine Aggregate) กรณีที่มวลละเอียดมีส่วนละเอียดไม่พอ หรือต้องการปรับปรุงคุณภาพและความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้

ขนาดคละ (Gradation) ของมวลรวมให้เป็นไปตาม ตารางผนวกที่ ข11

11.1.1 มวลหยาบ หมายถึง ส่วนที่ค้ำตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) เป็นหินย่อย (Crushed Rock) หรือวัสดุอื่นใดที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ ต้องเป็นวัสดุที่แข็งและคงทน (Hard and Durable) สะอาด ปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใด ๆ ที่อาจทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของมวลหยาบไว้เป็นอย่างอื่น มวลหยาบต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ ข11 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร (นิ้ว)	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19.0 (3/4)	25.0 (1)
สำหรับชั้นทาง		Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course
ความหนา	มิลลิเมตร	25-35	40-70	40-80	70-100
ขนาดตะแกรง	มิลลิเมตร (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
37.5	(1 1/2)				100
25.0	(1)			100	90-100
19.0	(3/4)		100	90-100	-
12.5	(1/2)	100	80-100	-	56-80
9.5	(3/8)	90-100	-	56-80	-
4.75	(เบอร์ 4)	55-85	44-74	35-65	29-59
2.36	(เบอร์ 8)	32-67	28-58	23-49	19-45
1.18	(เบอร์ 16)	-	-	-	-
0.600	(เบอร์ 30)	-	-	-	-
0.300	(เบอร์ 50)	7-23	5-21	5-19	5-17
0.150	(เบอร์ 100)	-	-	-	-
0.075	(เบอร์ 200)	2-10	2-10	2-8	1-7
ปริมาณแอสฟัลต์ ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0-8.0	3.0-7.0	3.0-6.5	3.0-6.0

หมายเหตุ กรมทางหลวงอาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้แตกต่างจาก ตารางผนวกที่ ข11 ก็ได้ ทั้งนี้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ต้องมีคุณสมบัติและความแข็งแรงถูกต้องตาม ตารางผนวกที่ ข12

ตารางผนวกที่ ข12 Specification for Asphalt Cement

Properties		Penetration Grade					
		60-70		70-80		80-100	
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max
Penetration at 25 °C (77 °F),100 g,5 s	0.1 mm	60	70	70	80	80	100
Flash point (Cleveland open cup)	degree °C (°F)	232	-	232	-	232	-
		(450)	-	(450)	-	(450)	-
Ductility at 25 °C (77 °F),5 cm per min	cm	100	-	100	-	100	-
Solubility in Trichloroethylene	percent	99.0	-	99.0	-	99.0	-
Thin-film over test,3.2 mm.,163 °C (325 °F),5 hour							
Loss on heating	percent	-	0.8	-	0.9	-	1.0
Penetration of residue	percent of original	54	-	52	-	50	-
Ductility of residue at 25 °C (77 °F),5 cm per min	cm	50	-	62	-	75	-
Loss on heating,162 °C (325 °F),5 hour	percent	-	0.8	-	0.9	-	1.0

(1) เมื่อทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 “วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate” โดยเครื่อง Los Angeles Abrasion” ความสึกหรอต้องไม่เกินร้อยละ 40

(2) เมื่อทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้ไซเคียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ต้องไม่เกินร้อยละ 9

(3) เมื่อทดสอบตามวิธีการทดลอง AASHTO T 182-84 “Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixture” ผิวของมวลหยาบต้องมีแอสฟัลต์เคลือบไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

11.1.2 มวลละเอียด หมายถึง ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) เป็นหินฝุ่นหรือทรายที่สะอาด ปราศจากสิ่งสกปรกหรือวัสดุอื่นไม่พึงประสงค์ใด ๆ ปะปนอยู่ ซึ่งอาจทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของมวลละเอียดไว้เป็นอย่างอื่น มวลละเอียดต้องมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

(1) เมื่อทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 203/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent” ต้องมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

(2) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ต้องไม่เกินร้อยละ 9

11.1.3 วัสดุผสมแทรก ใช้ผสมเพิ่มในกรณีเมื่อผสมมวลหยาบกับมวลละเอียดเป็นมวลรวมแล้ว ส่วนละเอียดในมวลยังมีไม่พอ หรือใช้ผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต วัสดุผสมแทรกอาจเป็น Stone Dust , Portland Cement , Silica Cement , Hydrated Lime หรือวัสดุอื่นใดที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้

วัสดุผสมแทรกต้องแห้ง ไม่จับกันเป็นก้อน เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ต้องมีขนาดคละตาม ตารางผนวกที่ ข13

ตารางผนวกที่ ข13 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
0.600 (เบอร์ 30)	100
0.300 (เบอร์ 50)	75 - 100
0.075 (เบอร์ 200)	55 - 100

ในกรณีที่กรมทางหลวงเห็นว่าวัสดุที่มีขนาดคละแตกต่างไปจาก ตารางผนวกที่ ข13 แต่เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผสมแทรกด้วย จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้น ก็ อาจอนุมัติให้ใช้วัสดุนั้นเป็นวัสดุผสมแทรกได้

11.2 แอสฟัลต์

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุชนิดของแอสฟัลต์ไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement”

การใช้แอสฟัลต์อื่น ๆ หรือแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารใด ๆ นอกเหนือจากนี้ ต้องมีคุณภาพเท่าหรือดีกว่า ทั้งนี้ต้องผ่านการทดสอบคุณภาพและพิจารณาความเหมาะสม รวมทั้งต้องได้รับอนุญาตให้ใช้ได้จากกรมทางหลวงเป็นกรณีไป

ปริมาณการใช้แอสฟัลต์โดยประมาณ ให้เป็นไปตาม ตารางผนวกที่ ข11

12. วิธีการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธี Marshall ทล.-ท. 604/2517 (เทียบเท่า ASTM D 1559)

12.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เพื่อหาคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้เป็นผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

12.2 วิธีทำ

เครื่องมือที่ทำการทดลองประกอบด้วย

1. กะละมังเคลือบ หรือภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 เซนติเมตร สำหรับใส่วัสดุ Aggregate
2. ภาชนะโลหะมีขอบสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของขอบประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับใช้ผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์
3. เตาอบที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 250 °C สำหรับอบ Aggregate
4. เตาแบบ Hot Plate ที่สามารถให้อุณหภูมิได้สูงถึง 200 °C สำหรับให้ความร้อนแอสฟัลต์และเครื่องมือที่ใช้ในการบดทับ
5. หม้อโลหะสำหรับใส่แอสฟัลต์เพื่อให้ความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตร
6. เครื่องใช้ผสมวัสดุ Aggregate กับยางแอสฟัลต์
7. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดมีก้านเป็นโลหะ สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250 °C
8. เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 5 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 1 กรัม สำหรับชั่งวัสดุ Aggregate และยางแอสฟัลต์
9. เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 2 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับชั่งวัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่บดทับแล้ว

10. อ่างต้มน้ำ (Boiling Water Bath) มีตะแกรงลวดสำหรับวางวัสดุแอสฟัลต์ติก คอนกรีตที่บดทับแล้ว สามารถควบคุมอุณหภูมิตามต้องการได้

11. แท่นรอง (Compaction Pedestal) ประกอบด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20 × 20 × 45 เซนติเมตร (8 × 8 × 18 นิ้ว) มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30 × 30 × 2.5 เซนติเมตร (12 × 12 × 1 นิ้ว) ติดอยู่ที่ขอบบนของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแห้ง 0.65-0.80 กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร (ประมาณ 42-48 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้ ดัง ภาพผนวก ที่ ข5

12. แบบสำหรับบดทับ (Compaction Mold) ประกอบด้วยแผ่นฐาน (Base Plate) แบบ (Mold) และปลอก (Collar Extension Mold) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) สูง 7.62 เซนติเมตร (3 นิ้ว) ดัง ภาพผนวกที่ ข5

13. ค้อน (Compaction Rammer) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.842 เซนติเมตร (3.875 นิ้ว) ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่งเหล็กหนัก 4.54 กิโลกรัม (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะที่ทำการบดทับให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว) ดัง ภาพผนวกที่ ข5

14. ที่จับแบบ (Mold Holder) ใช้บังคับให้แบบสำหรับบดทับอยู่กับที่ในขณะที่ทำการ บดทับ ดัง ภาพผนวกที่ ข5

15. เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder)

16. ถุงมือกันความร้อนชนิดใยหิน (Asbestos)

17. ถุงมือกันความร้อนชนิดหนังหรือยาง สำหรับหยิบตัวอย่างที่แช่ในน้ำ

18. เครื่องทดสอบ Marshall (Marshall Testing Machine) ใช้สำหรับทดสอบหาค่า Stability เป็นเครื่องกดที่สามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลกรัม (6,000 ปอนด์) เป็นแบบ จุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนจุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที (ประมาณ 2 นิ้วต่อนาที) เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านค่าแรงกดหรือ เครื่องกดอื่นใดที่มีคุณสมบัติเท่าๆ ดัง ภาพผนวกที่ ข6

19. แบบทดสอบ Stability (Stability Mold) สำหรับใส่ตัวอย่างทดสอบหาค่า Stability ดัง ภาพผนวกที่ ข6

20. เครื่องวัด Flow (Flow Meter) สำหรับทดลองหาค่า Flow ของตัวอย่างระหว่าง
กดอ่านค่าได้เป็น 1/10 มิลลิเมตร ดัง ภาพผนวกที่ ข6

การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุ Aggregate มาดำเนินการดังนี้

1. ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบโดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่าน
ตะแกรงแบบไม่ล้าง” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516
2. ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดละเอียดโดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่าน
ตะแกรงแบบล้าง” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517
3. การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบโดย “วิธีการทดลองหาค่าความ
ถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517
4. ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียดโดย “วิธีการทดลองหาค่าความ
ถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 208/2518
5. หาอัตราส่วนผสมของวัสดุ Aggregate เมื่อรวมกันแล้วได้ขนาดตามที่ต้องการ
(Blending)
6. นำวัสดุ Aggregate ตามอัตราส่วนที่ได้ หนัก 1,200 กรัม (เมื่อบดทับแล้วตัวอย่างจะ
หนาประมาณ 6.35 เซนติเมตร (2.5 นิ้ว)) ใส่ในกะละมังเคลือบไปอบในเตาอบให้ได้อุณหภูมิสูงถึง
160±5 °C
7. นำแบบสำหรับบดทับและค้อนไปวางบน Hot Plate ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 90-150
°C
8. นำวัสดุแอสฟัลต์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์มีค่า
Viscosity เท่ากับ 85±10 Second Saybolt Furol (สำหรับแอสฟัลต์ AC 80-100) ต้องให้ความร้อน
ถึง 145±5 °C)

การทดลอง

1. นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุ Aggregate ออกจากเตาอบ แล้วเทวัสดุลงในภาชนะ
โลหะสำหรับผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์ ใช้เกรียงผสมให้วัสดุ Aggregate แต่ละขนาดคละกัน
ให้ทั่ว ทั้งไว้ให้อุณหภูมิของ Aggregate ลดลงถึง 145±5 °C

2. นำภาชนะโลหะที่ได้ ขึ้นตั้งบน Hot Plate ใช้เกรียงผสมวัสดุ Aggregate และ แอสฟัลต์ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด โดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามให้แอสฟัลต์เคลือบวัสดุทุกเม็ด

3. นำแบบสำหรับบดทับ มาประกอบเข้าที่

4. เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่างข้างใน แบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลงที่ อุณหภูมิเมื่อแอสฟัลต์มี Viscosity เท่ากับ 140 ± 15 Second Saybolt Fural (สำหรับแอสฟัลต์ AC 80-100 ให้ทิ้งตัวอย่างไว้จนอุณหภูมิลดลงถึง 140 ± 15 °C)

5. วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้ น้ำหนักกดลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับการออกแบบซึ่งแบ่งออกเป็น

ก. แอสฟัลต์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Light Traffic และ Medium Traffic จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้ง

ข. แอสฟัลต์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Heavy Traffic และ Very Heavy Traffic จำนวนครั้งใช้ 75 ครั้ง

6. เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบ เอาด้านล่างขึ้น ด้านบน แล้วทำการบดทับเช่นเดียวกับข้อ 5

7. ทิ้งตัวอย่างที่บดทับเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลง มากกว่า 60 °C จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศ ธรรมดาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทดลองขั้นต่อไป

8. ในปริมาณของการผสมโดยใช้แอสฟัลต์เปอร์เซ็นต์อันหนึ่งอันใด ให้เตรียมตัวอย่าง อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลต์อย่างน้อย 5 ค่า และค่าต่างกัน 0.5%

9. ทำการทดลองหาความแน่นของตัวอย่างโดย

ก. นำตัวอย่างไปชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (d)

ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้น เช็ดตัวอย่าง ให้ผิวแห้ง ชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (d_1)

ค. นำตัวอย่างจากข้อ ข. ไปชั่งน้ำหนักในน้ำ (c)

10. ทำการทดลองหาค่า Stability และ Flow

ก. นำตัวอย่างที่เสร็จจากการทดลองตามข้อ 9 แล้วไปแช่น้ำที่มีอุณหภูมิ $60 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างต้มน้ำ

ข. เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากอ่างต้มน้ำ เช็ดให้ผิวตัวอย่างแห้งแล้วนำไปใส่ในแบบทดลอง Stability เพื่อไปกวดหาค่า Stability และค่า Flow

ค. นำแบบทดลอง Stability ที่ได้จากข้อ ข ไปวางบนเครื่องทดลอง Marshall ให้แบบทดลอง Stability อยู่ใต้ท่อนกด (Piston) ซึ่งติดกับ Proving Ring สำหรับอ่านน้ำหนักกด

ง. เดินเครื่องให้แบบทดลอง Stability เคลื่อนไปสัมผัสกับท่อนกดจนกระทั่งเข็มของ Dial Gauge ที่ติดกับ Proving Ring ชยับตัว หยุดเครื่องทำการตั้งเข็มของ Dial Gauge ที่เลข 0

จ. นำเครื่องวัด Flow ไปวางบนแกนที่ใช้สำหรับทดลองหาค่า Flow ซึ่งติดกับแบบทดลอง Stability ตั้งเข็ม Dial Gauge ของเครื่องวัด Flow ให้อยู่ที่เลข 0 ใช้มือจับเครื่องวัด Flow ให้นิ่งอยู่กับที่

ฉ. เดินเครื่องให้กวดเพื่อทดลองหาค่า Stability โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กวดจาก Proving Ring เป็นค่าที่อ่านได้ (measured) ซึ่งต้องแก้ไข (Adjust) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35 เซนติเมตร (2.5 นิ้ว) ตาม ตารางผนวกที่ ข14 และตารางผนวกที่ ข15

ช. ขณะที่ทำการทดลองหาค่า Stability เข็ม Dial Guage ของเครื่องวัด Flow จะเคลื่อนที่ อ่านค่า Flow จาก Dial Gauge ที่น้ำหนักกวดสูงสุด

12.3 การคำนวณ

คำนวณหาค่า Bulk Specific Gravity , V.M.A. (Voids in Mineral Aggregate) Air Void และ V.F.B. (Voids Filled with Bitumen) ดังนี้

1. คำนวณค่า Effective Asphalt Cement by Weight of Mix (b)

$$\begin{array}{l} \text{สูตร} \quad b_1 = b - \frac{x(100-b)}{100} \\ \text{เมื่อ} \quad b = \quad \% \text{ Asphalt Cement by Weight of Mix} \end{array}$$

$$X = \text{Asphalt Lost by Absorption} \\ (1 \text{ kg. of AC}/100 \text{ kg. of Agg.})$$

2. คำนวณหา Bulk Specific Gravity of Specimen (g)

$$\text{สูตร } g = \frac{d}{d-e}$$

เมื่อ d = Weight of Specimen in Air (gm)

d_1 = Weight of Specimen at Saturated Surface Dry Condition (gm)

e = Weight of Saturated Specimen immersed in water

3. คำนวณหา Percent Total Volume of Effective Asphalt Cement ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว (i)

$$\text{สูตร } i = \frac{b_1 g}{G_{ag}}$$

เมื่อ G_{ag} = Bulk Specific Gravity of Asphalt Cement

4. คำนวณหา Percent Total Value of Aggregate ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว (j)

$$\text{สูตร } j = \frac{100-b}{G_{ac}} \quad g$$

เมื่อ G_{ac} = Bulk Specific Gravity of Blended Agg.

5. คำนวณหา Percent Air Voids ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว

$$\text{สูตร } \text{Air Voids} = 100 - i - j$$

6. คำนวณหา V.M.A. (Voids in mineral Aggregate)

$$\text{สูตร } V.M.A. = 100 - j$$

7. คำนวณหา V.F.B. (Voids filled with bitumen)

$$\text{สูตร } V.F.B. = 100 \frac{i}{j}$$

8. นำค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปเขียน Curves แสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

- ความสัมพันธ์ระหว่าง Stability กับ % Asphalt Cement by Weight of Aggregate
- ความสัมพันธ์ระหว่าง Flow กับ % Asphalt Cement by Weight of Aggregate
- ความสัมพันธ์ระหว่าง Bulk Density of Total Mix กับ % Asphalt Cement by Weight of Aggregate
- ความสัมพันธ์ระหว่าง % Air Voids กับ % Asphalt Cement by Weight of Aggregate
- ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.M.A. กับ % Asphalt Cement by Weight of Aggregate
- ความสัมพันธ์ % V.F.B. กับ % Asphalt Cement by Weight of Aggregate

12.4 ข้อควรระวัง

1. อุณหภูมิของวัสดุผสม ต้องถูกต้อง ดังนี้

- ถ้าต่ำกว่าให้เพิ่มความร้อนได้ตามที่กำหนด
- ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าให้ทิ้งไว้ให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด

2. เวลาทำการทดลองในการผสม ต้องไม่เกิน 40 วินาที เพื่อกันมิให้อุณหภูมิของตัวอย่างต่ำกว่าที่ต้องการ

ตารางผนวกที่ ข14 Stability Correlation Ration (1)

ปริมาตรของตัวอย่าง (cm ³)	ความหนาของตัวอย่าง (ประมาณ) (cm)	Correlation Ratios ตัวปรับแก้
200 - 213	2.54	5.56
214 - 225	2.70	5.00
226 - 237	2.85	4.55
238 - 250	3.01	4.17
251 - 264	3.18	3.85
265 - 276	3.33	3.57
277 - 289	3.49	3.33
290 - 301	3.65	3.03
302 - 316	3.81	2.78
307 - 328	3.97	2.50
329 - 340	4.13	2.27
341 - 353	4.29	2.08
354 - 367	4.45	1.92
354 - 379	4.60	1.79
380 - 392	4.76	1.67
393 - 405	4.92	1.56
406 - 420	5.08	1.47
421 - 431	5.24	1.39
432 - 443	5.40	1.32
444 - 456	5.56	1.25

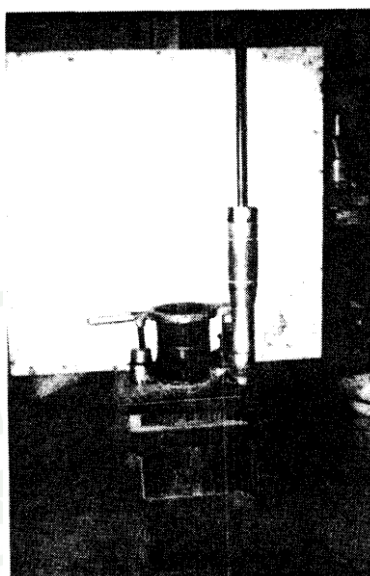
ตารางผนวกที่ ข15 Stability Correlation Ration (2)

ปริมาณของตัวอย่าง	ความหนาของตัวอย่าง (ประมาณ)	Correlation Ratios
457 - 470	5.71	1.19
471 - 482	5.87	1.14
483 - 495	6.03	1.09
496 - 508	6.19	1.04
509 - 522	6.35	1.00
523 - 535	6.51	0.96
536 - 546	6.67	0.93
547 - 559	6.83	0.89
560 - 573	6.98	0.86
574 - 585	7.14	0.83
586 - 598	7.30	0.81
599 - 610	7.46	0.78
611 - 625	7.62	0.76

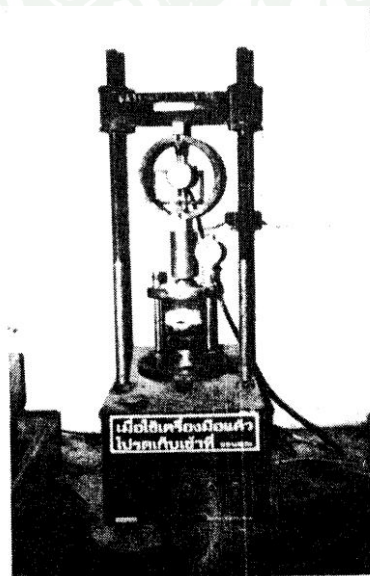
หมายเหตุ

1. ค่า Stability ที่อ่านได้ คูณด้วย Correlation Ratio สำหรับความหนาหรือปริมาตรของตัวอย่าง คือ ค่าที่ได้แก้ไขสำหรับตัวอย่างมาตรฐานหนา 6.35 เซนติเมตร (2 ½ นิ้ว) (Adjust Stability)

2. ความเกี่ยวข้องระหว่างความหนาและปริมาตรตามตารางข้างบนนี้ ใช้สำหรับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว)



ภาพผนวกที่ ข5 แท่นรอง , แบบสำหรับบดทับ , ที่จับแบบและค้อนที่ใช้บดทับ



ภาพผนวกที่ ข6 เครื่องทดลองวิธี Marshall , แบบทดลอง และเครื่องวัด Flow

13. วิธีการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ทล.-ท. 413/2544

13.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานต่อการหลุดลอกของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Hot-Mix Asphalt) โดยการคำนวณหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) เป็นร้อยละระหว่างค่า Marshall Stability ของก้อนตัวอย่างที่แช่ในสารละลายเกลือแองก (Soaked Sample) เปรียบเทียบกับก้อนตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ในสารละลายเกลือแองก (Unsoaked Sample)

13.2 วิธีทำ

เครื่องมือ

1. ภาชนะโลหะทนความร้อน เช่น กะละมังเคลือบ หรืออื่น ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 230 มิลลิเมตร สูงประมาณ 50 มิลลิเมตร
2. ภาชนะโลหะทนความร้อนกันลม เช่น กะละมังสเตนเลสหรืออื่น ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 250 มิลลิเมตร สูงประมาณ 100 มิลลิเมตร
3. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 60 ± 1 °C และสามารถปรับอุณหภูมิได้ถึง 250 °C
4. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
5. ช้อนตักตัวอย่างมวลรวม (Scoop)
6. กาบหรือหม้อต้มแอสฟัลต์ซีเมนต์ ความจุประมาณ 2000 มิลลิเมตร
7. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดก้านโลหะสามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250 °C
8. เครื่องชั่งซึ่งสามารถชั่งหามวลได้ถึง 5000 กรัม มีความละเอียด 1 กรัม
9. เครื่องชั่งซึ่งสามารถชั่งหามวลได้ถึง 2610 กรัม มีความละเอียด 0.1 กรัม
10. เกรียงผสมปลายมน (Mixing Spoon or Trowel)

11. มีดปาดขนาดใหญ่ (Spatula)
12. เครื่องผสม และภาชนะผสม (Mechanical Mixer and Pan) ใช้ในกรณีเตรียม ส่วนผสมด้วยเครื่องผสม
13. แบบโลหะรูปทรงกระบอกสำหรับเตรียมตัวอย่าง (Compaction Mold) มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 127.0 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)
14. เครื่องบดอัดตัวอย่าง (Compression Machine) ใช้สำหรับเตรียมก่อนตัวอย่าง ทดสอบ (Marshall Sample) ในสภาพ Double Plungers ต้องเป็นเครื่องที่มีกำลังอย่างต่ำ 500 กิโลนิวตัน (ประมาณ 50 เมตริกตัน) หรือเป็นเครื่องทดลองที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเครื่องมือทดลอง หาค่าแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก และรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ตาม ทล.-ท. 302
15. แท่งอัดแรง ทำด้วยเหล็กเนื้อแข็งแบ่งเป็น 2 ชั้นส่วน คือ ชั้นส่วนบนและชั้นส่วน ล่าง
 - ชั้นส่วนบนมีรูปทรงเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 98.4 มิลลิเมตร (3 7/8 นิ้ว) สูง 150.8 มิลลิเมตร (5 5/16 นิ้ว) หรืออาจปรับแต่งให้เป็นรูปทรงอื่น เช่น ทรง Drum Bell เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน แต่ต้องมีความแข็งแรงพอเพียงสำหรับการบดอัด ตัวอย่าง โดยมีขนาดรูปทรงตามที่ระบุข้างต้น
 - ชั้นส่วนล่างมีรูปทรงเป็นแท่งทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 98.4 มิลลิเมตร (3 7/8 นิ้ว) สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)
16. แท่งเหล็กทรงแบบ ขนาดประมาณ 25 มิลลิเมตร × 25 มิลลิเมตร × 75 มิลลิเมตร
17. ถูมือกันความร้อน
18. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 60 ± 1 °C
19. หม้อสุญญากาศ (Vacuum Cell) ชนิดแก้วโปร่งใส สามารถทนความดันในหม้อได้ ไม่น้อยกว่า 76 มิลลิเมตรปรอท
20. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) มารลดความดันในหม้อสุญญากาศได้ถึง 76 มิลลิเมตรปรอท

21. เครื่องทดสอบ Marshall (Marshall Machine) ใช้สำหรับทดสอบหาค่า Stability เป็นเครื่องกดที่ให้แรงกดได้ไม่น้อยกว่า 3.7 กิโลนิวตัน (ประมาณ 8000 ปอนด์) เป็นแบบจุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ฐานหรือแท่นกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 มิลลิเมตร ต่อนาที (ประมาณ 2 นิ้ว ต่อนาที)

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

1. สารละลายเกลือแกง (Sodium Chloride Solution) เข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำวัสดุรวมรวม (Aggregate) ประมาณ 1200 กรัมต่อตัวอย่าง หรือปริมาณที่ทำดาร์บอัดแล้วได้ความสูงของก้อนตัวอย่างประมาณ 63.5 มิลลิเมตร ($2\frac{1}{2}$ นิ้ว) มีขนาดคละและปริมาณตามอัตราส่วนซึ่งผ่านการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” จำนวน 10 ตัวอย่าง ใส่ในภาชนะโลหะทนความร้อนเพื่ออบในตู้อบให้ได้อุณหภูมิถึง $170\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. นำแบบโลหะ และแท่งอัดแรงวางบนแผ่นความร้อนที่มีอุณหภูมิระหว่าง $95\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$

3. ให้ความร้อนแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่จะใช้ผสมจนมีค่าความหนืด (Viscosity) เท่ากับ 170 ± 20 เซนติสโตกส์ (แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ให้มีอุณหภูมิ $159\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

การทดลอง

1. นำตัวอย่างวัสดุรวมรวมออกจากตู้อบ แล้วเทวัสดุรวมลงในภาชนะโลหะทนความร้อนก้นมน ใช้เกรียงผสมให้วัสดุรวมแต่ละขนาดคละกันให้ทั่ว ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของวัสดุรวมลดลงถึง $163\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. เติมแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเตรียมไว้ ตามปริมาณที่ออกแบบลงในตัวอย่าง แล้วใช้เกรียงผสมวัสดุรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยวางภาชนะโลหะทนความร้อนก้นมนบนแผ่นความร้อนทำการผสมส่วนผสมให้เข้ากันโดยเร็ว ปกติใช้เวลาประมาณ 1 นาที

3. นำแบบโลหะและแท่งอัดแรงชิ้นส่วนล่าง มาประกอบเข้ากับเครื่องบดอัดตัวอย่าง ใช้แท่งเหล็กทรงแบบวางรองไว้ใต้แบบโลหะ โดยแนบกับแท่งอัดแรงชิ้นส่วนล่างทั้ง 2 ด้าน

4. เทส่วนผสม ลงในแบบโลหะที่ประกอบแล้ว ใช้มีดปาดขนาดใหญ่ แซะส่วนผสมรอบๆ ซิดด้านในแบบ 15 ครั้ง และแซะตรงกลางส่วนผสมอีก 10 ครั้ง แต่ส่วนบนของส่วนผสมให้โค้งมน ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของส่วนผสมลดลงจนมีอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีค่าความหนืดเท่ากับ 280 ± 30 เซนติสโตกส์ (แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ให้อุณหภูมิ 150 ± 5 °C)

5. ประกอบแท่งอัดแรงขึ้นส่วนลงในแบบ เปิดเครื่องบดอัดตัวอย่างเพื่ออัดส่วนผสมจนเกิดค่าแรงอัด 1.0 เมกะพาสคัล (150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) จึงหยุดเพื่อตั้งแท่งเหล็กทรงแบบออกให้เครื่องบดอัดตัวอย่างอัดส่วนผสมในสภาพ Double Plungers อย่างต่อเรื่องจนเกิดค่าแรงอัด 20.7 เมกะพาสคัล (3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และค้างแรงอัดนี้ไว้ 2 นาที จึงค่อยคลายแรงอัดออก

6. ปลอยตัวอย่างให้เย็นลงตามอุณหภูมิห้องแล้วจึงดันตัวอย่างออกจากแบบโลหะ นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 60 ± 1 °C ในตู้อบเป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำมาผึ่งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องทดลอง แล้วนำตัวอย่างไปหาค่า Bulk Density ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Marshall”

7. แบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละอย่างน้อย 3 ก้อน ให้แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ย Bulk Density เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ตัวอย่างแต่ละก้อนจะต้องมีค่า Bulk Density แตกต่างกันไม่เกิน 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตรของค่าเฉลี่ย

8. ตัวอย่างกลุ่มที่ 1 นำไปแช่ในสารละลายเกลือแกงความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ในหม้อสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง โดยดูดอากาศออกให้อยู่ในสภาพสุญญากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาแช่ในสารละลายเกลือแกงความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 ± 1 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปทดลองหาค่า Stability และ Flow ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Marshall” เรียกตัวอย่างกลุ่มนี้ว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายเกลือแกง

9. ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ให้นำไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 25 ± 1 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงทดลองหาค่า Stability และ Flow ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Marshall” เรียกตัวอย่างกลุ่มนี้ว่าตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ในสารละลายเกลือแกง

13.3 การคำนวณ

1. การคำนวณหาค่า Bulk Density , VMA (Voids in Mineral Aggregate) , Air Voids และ VFA (Voids Filled with Asphalt) เช่นเดียวกับการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์กรีตโดยวิธี Marshall”

2. คำนวณค่า Strength Index ดังนี้

$$\text{Strength Index} = \frac{\text{Stability of Soaked Sample}}{\text{Stability of Unsoaked Sample}} \times 100$$





ภาคผนวก ค

ข้อกำหนดพิเศษสำหรับงาน Warm-Mix Asphalt

ข้อกำหนดพิเศษสำหรับงาน Warm-Mix Asphalt

1. บทนำ

Warm-Mix Asphalt (WMA) เป็นเทคโนโลยีสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งใช้อุณหภูมิทั้งในขั้นตอนการผลิตและการบดทับแอสฟัลต์คอนกรีตต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ (Hot-Mix Asphalt) อย่างน้อย 20°C กระบวนการลดอุณหภูมินี้สามารถลดพลังงานเชื้อเพลิง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งกลิ่น คาว และไอเสีย ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์และขอบข่าย

ข้อกำหนดพิเศษนี้ใช้สำหรับการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานก่อสร้าง WMA ทั้งนี้ให้ดำเนินการตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)” โดยอนุโลม และให้แก้ไขเพิ่มเติมรายละเอียดต่าง ๆ ตามข้อกำหนดพิเศษนี้

3. วัสดุ

3.1 มวลรวม

ขนาดคละ (Gradation) ของมวลรวมให้เป็นไปตาม ตารางผนวกที่ ค1 ของข้อกำหนดพิเศษนี้

3.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ ในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ให้เลือกใช้

3.2.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่มีคุณภาพ มอก. 851-2532 “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง” ผสมกับสารผสมเพิ่มในข้อ 3.3.1 ณ โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดที่ใช้เป็นส่วนผสมของ WMA ที่ผลิตจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์โดยวิธีเติมสารผสมเพิ่มเพื่อลดความหนืดลงในแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่มีคุณภาพตาม มอก. 851-2532 “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง”

ในการเลือกใช้แอสฟัลต์ชนิดใด ๆ ก็ตาม ผู้รับจ้างต้องเสนอวิธีการใช้งานและขั้นตอนการทำงานให้สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบได้พิจารณาและเห็นชอบก่อนนำมาใช้

วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ตามข้อ 3.2.1 และ ข้อ 3.2.2 จะต้องผ่านการทดสอบตามวิธีการทดสอบ ASTM D 2489-02 “Standard for Estimating Degree of Particle Coating of

Bituminous – Aggregate Mixture” ก่อนทำการผลิตส่วนผสม WMA โดยมีเกณฑ์กำหนดดังนี้ ชั้นผิวทางต้องมีค่า Percent of Coated Particles ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

3.3 สารผสมเพิ่ม

3.3.1 สารผสมเพิ่มที่เติมที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ สารจำพวก Organic Additives, Chemical Additive หรือ Water-Bearing Additives จะต้องมีความสมบัติสามารถทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 6070 ใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 อย่างน้อย 20 °C

3.3.2 สารผสมเพิ่มที่เติมลงในแอสฟัลต์ซีเมนต์จากโรงงานผลิตแอสฟัลต์ จะต้องมีความสมบัติสามารถทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 มีความหนืดลดลงและใช้งานได้ที่อุณหภูมิลดลงผสมต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 อย่างน้อย 20 °C

ในการเลือกใช้สารผสมเพิ่มชนิดใด ๆ ก็ตาม ผู้รับจ้างต้องเสนอชนิดสารผสมเพิ่ม วิธีการผสมสารผสมเพิ่มในแอสฟัลต์ซีเมนต์ หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผลิตมาเพื่อใช้ในงาน WMA และเอกสารประกอบของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ให้สำนักวิศวกรรมและตรวจสอบได้พิจารณาและเห็นชอบก่อนนำมาใช้

ตารางผนวกที่ ค1 ขนาดคละของมวลรวม ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ และปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร (นิ้ว)	12.5 (1/2)
ความหนา สำหรับชั้นผิวทาง ขนาดตะแกรง	มิลลิเมตร (นิ้ว)	40 - 70 Wearing Course ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
25.0	(1)	100
19.0	(3/4)	100
12.5	(1/2)	80 - 100
9.5	(3/8)	-
4.75	(เบอร์ 4)	44 - 74
2.36	(เบอร์ 8)	28 - 58
1.18	(เบอร์ 16)	-
0.600	(เบอร์ 30)	-
0.300	(เบอร์ 50)	5 - 21
0.150	(เบอร์ 100)	-
0.075	(เบอร์ 200)	2 - 10
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		3.0 - 7.0
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดที่ใช้เป็นส่วนผสมของ WMA ที่ผลิต จากโรงงานผลิตแอสฟัลต์ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		3.0 - 7.0
ปริมาณสารผสมเพิ่ม		ตามข้อแนะนำของผู้ผลิต

หมายเหตุ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบอาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวม ปริมาณ
แอสฟัลต์ซีเมนต์ และปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใช้แตกต่างจากตารางที่ ค1 ก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้
WMA ที่ได้ต้องมีคุณสมบัติและความแข็งแรงถูกต้องตาม ตารางผนวกที่ ค2

ตารางผนวกที่ ค2 ข้อกำหนดในการออกแบบ WMA

ชั้นผิวทาง		Wearing Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร (นิ้ว)	12.5 (1/2)
ความหนา	มิลลิเมตร	40 - 70
Blows		75
Stability	N (lb)	Min Min (8006 (1800))
Flows 0.25 mm (0.01 in.)		8 - 16
Percent Air Voids		3 - 5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA)		Min 14
Stability / Flow		Min 712 (160)
	N / 0.25 mm (lb / 0.01 in.)	
Percent Strength Index		Min 75

หมายเหตุ

(1) การทดลองเพื่อออกแบบส่วนผสม WMA ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” โดยลดอุณหภูมิในการเตรียมก้อนตัวอย่างทุกขั้นตอนลงอย่างน้อย 20 °C หรือตามความเหมาะสม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

(2) การทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 413 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต” โดยลดอุณหภูมิในการเตรียมก้อนตัวอย่างทุกขั้นตอนลงอย่างน้อย 20 °C หรือตามความเหมาะสม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

4 คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุที่จะใช้ทำ WMA

คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุที่จะใช้ทำ WMA ขนาดละเอียด ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ ปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใช้โดยประมาณ ให้เป็นไปตาม ตารางผนวกที่ ค1 ของข้อกำหนดพิเศษนี้

5 ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสม WMA

ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสม WMA ให้เป็นไปตามตารางผนวกที่ ค2 ของข้อกำหนดพิเศษนี้

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบเป็นผู้ตรวจสอบเอกสารการออกแบบ หรือทำการออกแบบส่วนผสม WMA พร้อมทั้งพิจารณากำหนดสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน (Job Mix Formula) ซึ่งมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (Tolerant Limit) ของวัสดุต่าง ๆ ตามตารางผนวกที่ ค3 ของข้อกำหนดพิเศษนี้

ตารางผนวกที่ ค3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่าง ๆ สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

วัสดุ	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ เปอร์เซ็นต์
1. มวลรวม	
1.1 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8) และขนาดใหญ่กว่า	± 5
1.2 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16) 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) และ 0.300 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)	± 4
1.3 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.150 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)	± 3
1.4 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200)	± 1
2. แอสฟัลต์ซีเมนต์	
2.1 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์	± 0.3

6 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมส่วนผสม WMA

ต้องมีถังเก็บแอสฟัลต์ (Storage Tank) ที่มีขนาดบรรจุไม่น้อยกว่า 30 ตัน พร้อมอุปกรณ์ให้ความร้อนประเภทที่ไม่มีเปลวไฟสัมผัสกับถังโดยตรง เช่น ท่อเวียนไอน้ำร้อนหรือน้ำมันร้อน (Steam/Oil Coil) หรือ ประเภทใช้ไฟฟ้า (Electricity) และต้องมีระบบทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ไหลเวียน (Circulating System) พร้อมกับอุปกรณ์ให้ความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อยู่ในระบบไหลเวียนให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนด

ในกรณีที่ใช้สารผสมเพิ่มตามข้อ 3.3.1 ต้องมีเครื่องกวนสารผสมเพิ่มกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ที่มีแกนติดใบกวนที่สามารถกวนให้สารผสมเพิ่มเข้ากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี

ในกรณีที่มีการเติมสารผสมเพิ่ม ณ จุดอื่นใด ต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถเติมสารผสมเพิ่มเข้ากับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามความเหมาะสม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

7 การก่อสร้าง

7.1 การควบคุมอุณหภูมิการผลิตส่วนผสม WMA

การควบคุมอุณหภูมิการผลิตของส่วนผสม WMA ให้เป็นไปตามข้อแนะนำการใช้งานผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิต หรือมีอุปกรณ์ตรงตามที่ระบุไว้ในสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน กรณีไม่ระบุเป็นอย่างอื่น ให้ใช้อุณหภูมิของวัสดุก่อนการผสมและอุณหภูมิของส่วนผสม WMA ดังต่อไปนี้

7.1.1 มวลรวม ก่อนการผสมต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ $143 \pm 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 1 โดยมวลของมวลรวม และเมื่อผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่โรงงานผสมจะต้องมีอุณหภูมิ $130 \pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือตามที่ระบุไว้ในสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

7.1.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ขณะเก็บในถังเก็บแอสฟัลต์ต้องมีอุณหภูมิไม่สูงกว่า $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ก่อนจะทำการผสมกับสารผสมเพิ่มจะต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิตามข้อแนะนำการใช้งานผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิต และก่อนจะทำการผสมกับมวลรวมที่โรงงานผสม จะต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ $139 \pm 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือตามที่ระบุไว้ในสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

7.1.3 ส่วนผสม WMA เมื่อผสมเสร็จ ก่อนนำออกจากโรงงานผสม จะต้องมียุณหภูมิอยู่ระหว่าง $100 - 145 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือตามที่ระบุไว้ในสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน ถ้ามีอุณหภูมิแตกต่างไปจากที่กำหนดห้ามนำส่วนผสม WMA ดังกล่าวไปใช้งาน

7.1.4 ผู้ควบคุมงานต้องทำการตรวจวัดและจดบันทึกอุณหภูมิในแต่ละขั้นตอนของการผลิต WMA ได้แก่ อุณหภูมิของมวลรวมที่ผ่านหม้อเผา อุณหภูมิของแอสฟัลต์ซีเมนต์ขณะก่อนผสมกับมวลรวมอุณหภูมิของส่วนผสม WMA ที่โรงงานผสม และอุณหภูมิของส่วนผสม WMA ที่อยู่ในรถบรรทุกอย่างสม่ำเสมอขณะปฏิบัติงาน โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิที่อ่านอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

7.1.5 การวัดอุณหภูมิของส่วนผสม WMA ที่อยู่ในรถบรรทุก ให้วัดจากรถบรรทุกทุกคันแล้วจดบันทึกอุณหภูมิไว้

7.2 การปูส่วนผสม WMA ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot – Mix Asphalt)” ทั้งนี้อุณหภูมิส่วนผสม WMA ขณะปูไม่ควรคลาดเคลื่อนไปจากอุณหภูมิเมื่อออกจากโรงงานผสมที่กำหนดตามข้อ 7.1.3 โดยอาจลดได้ 14 °C แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 100 °C ผู้ควบคุมงานต้องทำการตรวจวัดอุณหภูมิของส่วนผสม WMA ที่ปูแล้วเป็นระยะ ๆ หากพบว่าอุณหภูมิของส่วนผสม WMA ไม่ถูกต้อง ผู้ควบคุมงานต้องตรวจสอบหาสาเหตุและแก้ไขโดยทันที

7.3 การบดทับชั้นทาง Warm Mix Asphalt ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot – Mix Asphalt)” ทั้งนี้อุณหภูมิในการบดทับจะต้องอยู่ระหว่าง 100 – 130 °C การบดอัดขั้นต้น (Initial or Breakdown Rolling) การบดทับชั้นกลาง (Intermediate Rolling) และการบดทับขั้นสุดท้าย (Finish Rolling) ให้ดำเนินการโดยต่อเนื่องทันที



ภาคผนวก ง

ภาพเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องมือการทดลอง



ภาพผนวกที่ ง1 การเก็บหินตัวอย่าง (Hot Bin) จากโรงงาน



ภาพผนวกที่ ง2 ลักษณะของหิน Hot Bin ทั้ง 4 Bin



ภาพผนวกที่ ง3 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ ง4 ตัวอย่างแอสฟัลต์ AC 60-70



ภาพผนวกที่ ๖5 การหาความถ่วงจำเพาะของหิน 3/4" , 1/2" , 3/8"



ภาพผนวกที่ ๖6 อุปกรณ์ทดสอบ ดัชนีความแบน และดัชนีความยาว



ภาพผนวกที่ ง7 การเตรียมตัวอย่าง ทดสอบ Sand Equivalent



ภาพผนวกที่ ง8 สารละลาย Stock Solution สำหรับการทดสอบ Sand Equivalent



ภาพผนวกที่ ๙ อุปกรณ์ทดสอบ Sand Equivalent



ภาพผนวกที่ ๑๐ การรอตตะกอนของตัวอย่าง Sand Equivalent



ภาพผนวกที่ ง11 เครื่องทดสอบ Los Angeles



ภาพผนวกที่ ง12 การล้างหินหลังจากทดสอบ Los Angeles



ภาพผนวกที่ ง13 หินที่ล้าง และเข้าตู้อบเรียบร้อยแล้ว ของการทดสอบ Los Angeles



ภาพผนวกที่ ง14 ความแตกต่างระหว่างหินล้างกับยังไม่ได้ล้าง ของการทดสอบ Los Angeles



ภาพผนวกที่ ง15 หลังจากนำหินที่ล้างแล้วเข้าสู่ตูบ ของการทดสอบ Los Angeles



ภาพผนวกที่ ง16 การแช่ตัวอย่างหินผ่านตะแกรงเบอร์ 200



ภาพผนวกที่ ง17 การปล่อยให้หิน อยู่ในสภาวะอิมตัวผิวแห้ง ของหินฝุ่น ค้ำตะแกรงเบอร์ 4



ภาพผนวกที่ ง18 การปล่อยให้หิน อยู่ในสภาวะอิมตัวผิวแห้ง ของหินฝุ่น ผ่านตะแกรงเบอร์ 4



ภาพผนวกที่ ง19 การตรวจสอบหินฝุ่น ค้างตะแกรงเบอร์ 4 ว่าอยู่ในสถานะอิมพัลฟ์เวนท์



ภาพผนวกที่ ง20 การต้มหินฝุ่น เพื่อไล่ฟองอากาศ



ภาพผนวกที่ ง21 หลังกอบของหินฝุ่น ค้างตะแกรงเบอร์ 200



ภาพผนวกที่ ง22 หลังกอบของหินฝุ่น ผ่านตะแกรงเบอร์ 200



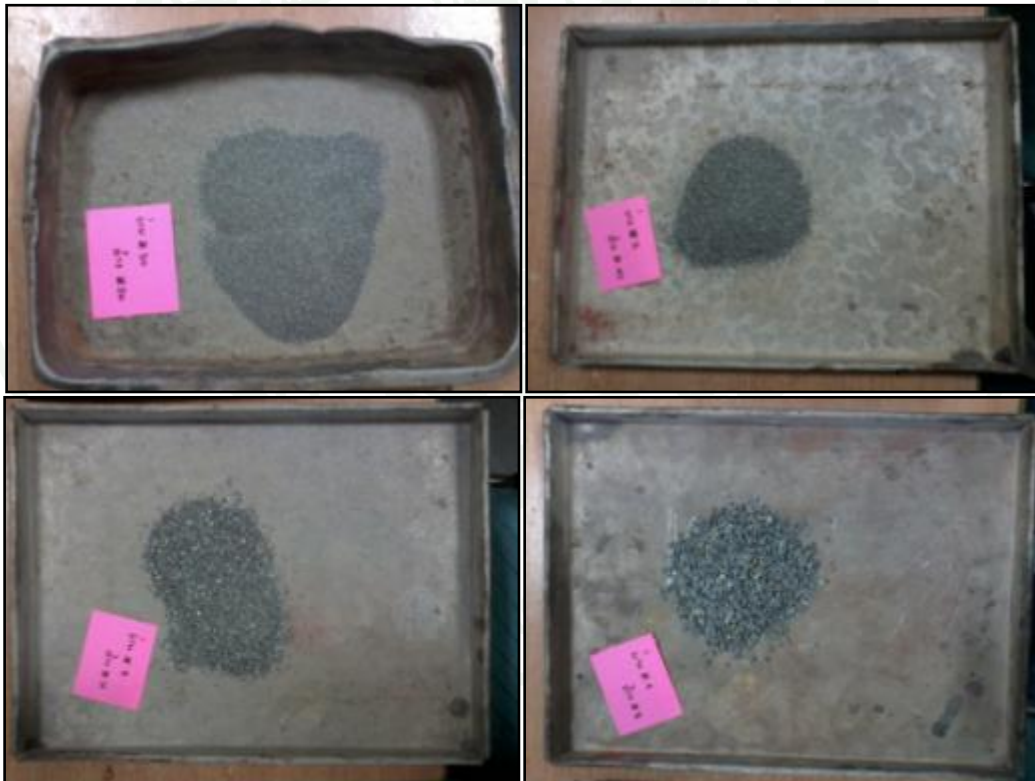
ภาพผนวกที่ ง23 ตะแกรงขนาดต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ ง24 ตะแกรงล้างหินฝุ่น



ภาพผนวกที่ ง25 วัสดุมวลหยาบ ที่จะทำการทดสอบ Soundness



ภาพผนวกที่ ง26 วัสดุมวลละเอียด ที่จะทำการทดสอบ Soundness ๑



ภาพผนวกที่ ง27 วัสดุมวลละเอียด ที่จะทำการทดสอบ Soundness ๒



ภาพผนวกที่ ง28 ครอบงำแช่ตัวอย่าง ของการทดสอบ Soundness



ภาพผนวกที่ ง29 การนำตัวอย่างมวลรวม ใส่ในอุปกรณ์แช่ ของ Soundness



ภาพผนวกที่ ง30 การนำมวลรวมหยาบแช่โซเดียมซัลเฟต ของการทดสอบ Soundness



ภาพผนวกที่ ง31 การนำมวลรวมละเอียดแซะโซเดียมซิลเฟต ของการทดสอบ Soundness



ภาพผนวกที่ ง32 การแช่ตัวอย่าง ด้วยสารละลายโซเดียมซิลเฟต



ภาพผนวกที่ ง33 การนำตัวอย่างเข้าตู้อบ ของการทดสอบ Soundness



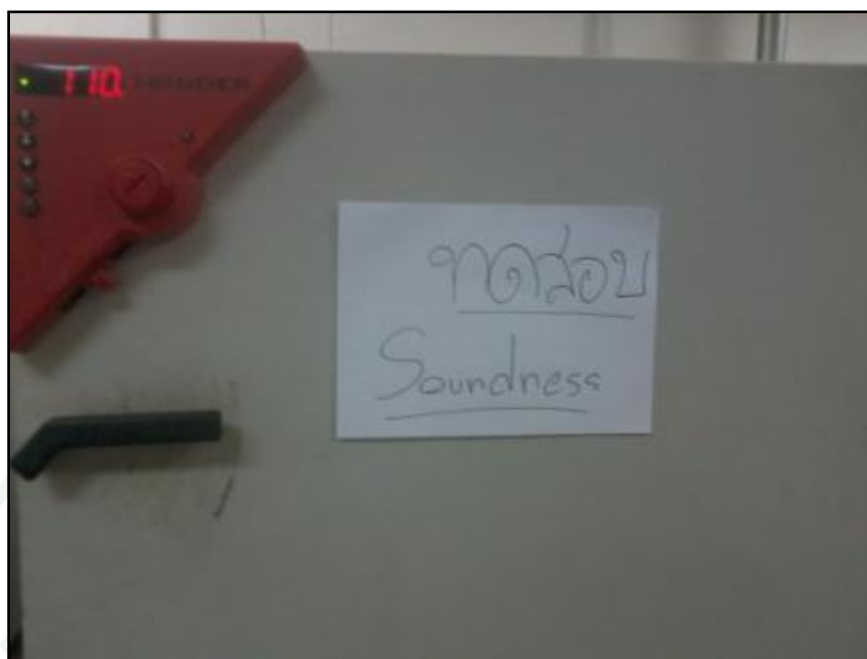
ภาพผนวกที่ ง34 ลักษณะสารละลายโซเดียมซิลเฟต หลังจากแช่แล้ว 5 รอบ



ภาพผนวกที่ ง35 การล้างตัวอย่าง หลังจากแฉะสารละลายโซเดียมซัลเฟต



ภาพผนวกที่ ง36 สารละลายโซเดียมซัลเฟต ใช้ในการทดสอบ Soundness



ภาพผนวกที่ ง37 ตู้บ ใช้เฉพาะการทดสอบ Soundness



ภาพผนวกที่ ง38 เครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล



ภาพผนวกที่ ง39 การวัดอุณหภูมิแอสฟัลต์ กระบวนการผสมร้อน



ภาพผนวกที่ ง40 การเตรียมวัสดุผสมรวม ตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้



ภาพผนวกที่ ๔๑ การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ Marshall



ภาพผนวกที่ ๔๒ ก้อนตัวอย่าง พาราแอสฟัลต์คอนกรีต ผสมร้อน



ภาพผนวกที่ ง43 แม่แรงแกะก้อนตัวอย่างออกจาก Mold



ภาพผนวกที่ ง44 เครื่องต้มตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที



ภาพผนวกที่ ง45 การชั่งน้ำหนักในอากาศ น้ำหนักในน้ำ และน้ำหนักสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง



ภาพผนวกที่ ง46 การทดสอบ Marshall เพื่อหา Stability และ Flow



ภาพผนวกที่ ๔๗ อุปกรณ์ทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๔๘ เครื่องกดก้อนตัวอย่าง การทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๔๙ การกดก้อนตัวอย่าง ทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๕๐ การเข้าเครื่องอบที่ 60 °C การทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๖51 การดูดก๊อันทัวอย่างด้วยเครื่อง Vacuum การทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๖52 การแช่ตัวอย่างไนโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๕3 การแช่ตัวอย่างในน้ำอุณหภูมิ 25 °C เวลา 1 ชั่วโมง
การทดสอบ Strength Index



ภาพผนวกที่ ๕4 ชิ้นส่วนตัวอย่าง Masterbatch



ภาพผนวกที่ ง55 ลักษณะก้อน Masterbatch ก่อนผสม และเมื่อผสมเข้ากันแล้ว



ภาพผนวกที่ ง56 อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม ประมาณ 200 °C



ภาพผนวกที่ ง57 การผสมตัวอย่าง Masterbatch ตามที่ออกแบบไว้



ภาพผนวกที่ ง58 สาร Advera WMA



ภาพผนวกที่ ง59 การผสม Advera ในพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์



ภาพผนวกที่ ง60 การผสมอุ่น อุณหภูมิผสมประมาณ 130 °C



ภาพผนวกที่ ง61 การผสมอุ่น อุณหภูมิผสมประมาณ 120 °C



ภาพผนวกที่ ง62 การผสมอุ่น โดยใช้สาร Advera



ภาพผนวกที่ ง63 ก้อนตัวอย่างพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยกระบวนการผสมอุ่น



ภาพผนวกที่ ง64 ภาพโดยรวมของวัสดุการทดสอบ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายกอบชัย เกิดจันทร์ตรง

เกิดวันที่ 25 กันยายน 2532

ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกร

สถานที่ทำงานปัจจุบัน กลุ่มปฐพีวิศวกรรม สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท

ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ

- Kopchai Kerdjantrong (2014), **The Study Mixed Ratio of Natural Rubber with Mechanical Properties Testing of Para Asphalt Concrete by Hot Mixed Asphalt (by Masterbatch 1:1)** , 19th National Convention on Civil Engineering 14-16 May 2014, Khon Kaen, THAILAND

ทุนการศึกษาที่ได้รับ - ปริญญาตรี ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา(พิเศษ2)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน (พ.ศ.2552)

- ปริญญาโท ได้รับทุนเรียนดี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

(พ.ศ.2555-2556)