โครงงาน

การศึกษาคุณสมบัติการไหลของยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกรีไซเคิล

Study of Rheological Properties of Recycled Plastic Modified Asphalt

โดย

B5327317 นายวีรพล วิสัชนาม

B5328079 นายธงชัย ดำรี

B5328345 นางสาวพิชญา พันวัน

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ณัฐภรณ์ เจริญธรรม

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 422464 Special Problems in Transportation Technology

ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(มีนาคม พ.ศ.2556)

นายวีรพล วิสัชนาม,นายธงชัย ดำรี,นางสาวพิชญา พันวัน : การศึกษาคุณสมบัติการไหลของยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกรีไซเคิล(Study of Rheological Properties of Recycled Plastic Modified Asphalt) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ณัฐภรณ์ เจริญธรรม

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกชนิด HDPE เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ และคุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกชนิด HDPE เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย (Styrene-Butadiene-Styrene, SBS) โดยการนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังนี้ Penetration Test, การทดสอบค่าความยืดหยุ่นกลับ(Elastic Recovery Test) ,Softening Point Test (Ring & Ball) , Brookfield Viscosity Test เพื่อหาสารผสมเพิ่มที่ดีและเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานจริงในอนาคต

การหาคุณสมบัติการไหล(Rheological Properties)ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย HDPE พบว่าสัดส่วนการผสมที่ดีอยู่ที่ 2-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ และยังไม่ดีพอเมื่อเทียบกับ PMA (แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย Styrene-Butadiene-Styrene, SBS) แต่ไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดเนื่องจากต้องนำไปผสมกับวัสดุมวลรวมเพื่อที่จะนำไปทดสอบและใช้งานจริงต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา .....

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา .....

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา .....

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2555

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษา การสนับสนุน ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ อาจารย์ ณัฐภรณ์ เจริญธรรม อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.อุทัย มีคำ ผู้ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์ อาจารย์ ดร.ศิรดล ศิริธร อาจารย์ ดร.ปาริชาติ พัฒนเมฆา อาจารย์ กาญจน์กรอง สุอังคะ และอาจารย์ ณัฐภรณ์ เจริญธรรม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษาและกรุณาตรวจสอบงานวิจัยฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้คณะจัดทำงานวิจัยมีความสำนึกในพระคุณของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงอาจารย์ ณัฐภรณ์ เจริญธรรม ที่ได้ถ่ายทอดวิทยาการต่างๆให้กับคณะจัดทำงานวิจัย และขอสำนึกในพระคุณของบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ได้ให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำงานวิจัย จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณความดีและคุณประโยชน์ของงานวิจัยฉบับนี้ ขอมอบให้เป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้มีพระคุณทุกท่านของคณะทำงานวิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการศึกษา	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene - PE)	6
2.2 ผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์	6
2.3 คุณสมบัติการไหล (Rheological Properties)	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	
3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ	13
3.2 วิธีการทำการทดสอบคุณสมบัติการไหล	20
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 ผลการทดสอบค่าเพนเนทเทรชัน (Penetration) ในห้องปฏิบัติการ	27
4.2 ผลการทดสอบค่าความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) ในห้องปฏิบัติการ	28
4.3 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point) ในห้องปฏิบัติการ	30
4.4 ผลการทดสอบค่าความหนืด (Brookfield Viscosity) ในห้องปฏิบัติการ	32
4.5 ผลการหาค่าความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ (Temperature Susceptibility)	33
4.6 ผลการหาค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปของวัสดุภายใต้แรงกระทำ(Stiffness)	34

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	39
5.2 ข้อสังเกต	42
5.3 ข้อเสนอแนะ	43
รายงานการอ้างอิง	44
ภาคผนวก	45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลการทดสอบค่าเพนเนทเทรชัน (Penetration) ในห้องปฏิบัติการ	27
3.2	ผลการทดสอบความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) ในห้องปฏิบัติการ	29
3.3	ผลการทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point) ในห้องปฏิบัติการ	30
5.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติการไหลของวัสดุทาง 3 ชนิด	41

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การทดสอบ Penetration ของแอสฟัลต์ซีเมนต์	7
2.2	ตัวอย่างการแบ่งเกรดของยาง	8
2.3	ยางมะตอยที่พร้อมจะนำไปทดสอบ	8
2.4	เครื่อง Brookfield เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Viscosity Test	9
2.5	เครื่องมือ Ring & Ball	10
2.6	Dynamic Shear Rheometer	10
2.7	Bending Beam Rheometer	10
2.8	Nomograph ของ Van de Poel's	11
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	12
3.2	การผสมยางมะตอยกับ Recycled HDPE	13
3.3	เริ่มผสมยางมะตอยกับสารผสมเพิ่ม โดยวัดอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที	14
3.4	การเทตัวอย่างใส่แบบหล่อ ของการทดสอบเพเนเทรชัน	20
3.5	ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกหลอมที่จุด Softening Point	22
3.6	การทดลอง Elastic Recovery	23
3.7	การหลอมตัวอย่าง โดยที่ขณะหลอมต้องคนไปด้วย	24
3.8	การเตรียมตัวอย่างการทดลอง Viscosity Test ด้วยเครื่อง Brookfield	25
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพนเนทเทรชัน(Penetration)กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive)	28
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)	29
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Softening Point ($^{\circ}$C) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)	31
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง Viscosity (cP) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)	32
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Penetration (PI) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)	33

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness (Pa) กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive) ที่ t=0.1 sec และ T=25°C	34
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness (Pa) กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive) ที่ t=0.1 sec และ T=60°C	36
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness (Pa) กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive) ที่ t=60 sec และ T=5°C	37
5.1	การเกิดการแยกตัวของสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE	42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

นับตั้งแต่สมัยโบราณ มนุษย์เริ่มมีการติดต่อสื่อสาร ค้าขาย เดินทางไปมาหาสู่กันจน เส้นทางที่ไปมาหาสู่กันนั้นถูกเรียกว่า “ถนน” เพื่อการคมนาคมขนส่ง เริ่มมีการพัฒนาจากอดีตมาสู่ยุคปัจจุบัน จากถนนที่เคยเป็นดิน ได้มีการนำหินมาจัดเรียงตัวกันเป็นชั้นเพื่อเพิ่มความคงทนและความแข็งแรงในการรับน้ำหนักบรรทุก ต่อมาในยุคคริสตวรรษ ที่ 80 จึงได้มีการพัฒนามาเป็นถนนคอนกรีต และถนนลาดยางมะตอย จวบจนถึงปัจจุบัน

ยางมะตอย หรือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ถูกนำมาใช้ในงานสร้างผิวทาง เนื่องจากมีความสามารถในการประสานยึดเกาะติดแน่นและกันน้ำซึม ทำหน้าที่เหมือนกาวยึดจับโครงสร้างถนนให้เกาะรวมตัวอยู่ด้วยกันอย่างเหนียวแน่น เป็นเหตุผลสำคัญที่อธิบายถึงความนิยมใช้ยางมะตอยในงานสร้างถนนได้เป็นอย่างดี **(วัชรินท์ วิทยกุล, 2551)** แม้ว่าจะมีวัสดุคอนกรีตเป็นอีกหนึ่งทางเลือกก็ตาม แต่การก่อสร้างและซ่อมบำรุงถนนประเภทคอนกรีตจะใช้ระยะเวลานานที่นานและขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่า จึงทำให้วัสดุยางมะตอยถูกใช้ในงานถนนกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

ยางมะตอย เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นปิโตเลียม จากการขุดเจาะน้ำมันดิบขึ้นมา โดยเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งรวมเรียกว่า บิทูเมน มีลักษณะเป็นของเหลวข้นและหนืด ยางมะตอยเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนที่หนักที่สุดที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ ใช้สำหรับทำถนน ลานจอดรถ วัสดุกันซึม ยางมะตอยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามแหล่งที่ได้มา คือ ยางมะตอยที่เกิดตามธรรมชาติ และยางมะตอยที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ หรือที่เรียกว่า “Topped Crude” โดยชนิดที่สองจะนิยมใช้กันมากเนื่องจากง่ายต่อการควบคุมคุณภาพ โดยยางมะตอยชนิดนี้จะมีลักษณะค่อนข้างเหลว เมื่อทำการแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออกไป จะได้ยางมะตอยที่มีความข้น เหลวหรือแข็ง แตกต่างกันไปตามความต้องการ

ยางมะตอยที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร มี 2 ชนิด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และยางมะตอยชนิดเหลว แอสฟัลต์ซีเมนต์มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งอ่อนที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ การนำไปใช้งาน จะต้องต้มให้เหลวโดยใช้อุณหภูมิ 200-300 องศาฟาเรนไฮน์ (93.33-

148.89องศาเซลเซียส) โดยสามารถจำแนกชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามกระบวนการผลิตได้ 3 ชนิด คือ

- Penetration Grade ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง
- Blown Grade ได้จากการนำเอา ยางมะตอยชนิดแรก ไปเป่าลมใส่ที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 250-300 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้แข็งและทนความร้อนได้ดีขึ้น
- Hard Grade ได้จากการนำเอายางมะตอยชนิดแรกไปกลั่นต่อภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้ได้ยางมะตอยที่มีความแข็งมากขึ้น

Penetration Grade แบ่งเกรดตามช่วงมาตรฐานออกได้เป็น 5 เกรด คือ 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, 200 -300 ในอดีตพบว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 เป็นที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างถนนมากที่สุด เนื่องจากเหมาะกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย **(กันยารัตน์ บุญทิม, 2553)**

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลกระทบกับการใช้ยางมะตอย AC 60 -70 ในประเทศไทย จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น โดยเฉพาะกลางวันในฤดูร้อน อีกทั้งวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีสีเทาดำ จึงสามารถดูดซับพลังงานความร้อนได้มาก จึงทำให้อุณหภูมิของถนนยิ่งเพิ่มสูงขึ้น เมื่อวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้รับความร้อน วัสดุจะอ่อนตัวทำให้ไม่สามารถหน้าที่ยึดประสานได้เต็มประสิทธิภาพ ส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจราจร ก่อให้เกิดความเสียหายกับผิวทางชนิดร่องล้อ (Rutting) ซึ่งเป็นการเสียหายที่พบมากในประเทศไทย ดังนั้นการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60-70 จึงไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน

วัสดุทางเลือกที่ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ได้แก่ Polymer Modified Asphalt (PMA) ซึ่งเป็นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม (Additive) จำพวกพอลิเมอร์ในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและการต้านทานการไหลที่อุณหภูมิสูง โดยสารพอลิเมอร์มีทั้งแบบธรรมชาติคือ ยางพารา และแบบสังเคราะห์ เช่น (Styrene-Butadiene-Styrene, SBS) และ (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) เป็นต้น **(บริษัท ทิปโก้ แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน), 2550)** ในประเทศไทยนิยมใช้ SBS เป็นสารผสมเพิ่ม แต่การใส่สารพอลิเมอร์ผสมเพิ่มเข้าไปจะทำให้ราคาค่าวัสดุก่อสร้างเพิ่มสูงตามไปด้วย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา จึงไม่มีงบประมาณมากพอที่จะดำเนินการก่อสร้างทางโดยใช้วัสดุ PMA หมดทั้งประเทศได้ จะเห็นก็แต่ถนนที่ถูกแบบเพื่อรองรับปริมาณจราจรสูงและความเร็วสูง เช่น ทางด่วน และ ถนนสายสำคัญๆ เท่านั้น เนื่องจากถนนประเภทนี้ต้องออกแบบให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เพราะถ้าเกิดความเสียหายบนผิวทางของถนนประเภทนี้ เมื่อมีการปิดถนนเพื่อซ่อมบำรุง

จะก่อให้เกิดความล่าช้า ส่งผลกระทบต่อการลดลงของระดับการให้บริการ (Level of Service, LOS) ของถนนอย่างรวดเร็ว

มีชัย และคณะ (2555) ได้มีแนวคิดในการนำพลาสติกรีไซเคิลชนิด High Density Polyethylene (HDPE) ที่มีความเหนียวและความแข็งแรงสูง โดยได้จากขวดน้ำสีขาวขุ่นที่มีอยู่ทั่วไป และราคาไม่แพง นำมารีไซเคิลใช้ผสมกับวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 เพื่อปรับปรุงคุณภาพ และนำไปผสมกับวัสดุมวลรวม (Aggregate) เพื่อศึกษาออกแบบหาส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล

ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุผสมแต่ละชนิด ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญในการพิจารณาคัดเลือกคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์ คือ คุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) เช่น เพนเนทเทรชัน (Penetration), ความยืดดึง (Ductility), ความหนืด (Viscosity), ความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) และ ความต้านทานของวัสดุต่อการเสียรูปภายใต้แรงกระทำ (Stiffness) เป็นต้น **(Robert, F. L. และคณะ, 1996)** การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นศึกษาคุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) ของวัสดุแอสฟัลต์เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกรีไซเคิลชนิด HDPE

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1). เพื่อศึกษาคุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกชนิด HDPE เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

2). เพื่อศึกษาคุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกชนิด HDPE เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย (Styrene-Butadiene-Styrene, SBS)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1). ในการเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกรีไซเคิล แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นชนิด AC 60-70 เนื่องจากเป็นยางแอสฟัลต์ที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในประเทศไทย

2). พลาสติกรีไซเคิลที่ใช้เป็นสารผสมเพิ่มจะเป็นพลาสติกรีไซเคิลชนิด High Density Polyetelene HDPE เนื่องจากมีความหนาแน่นสูง จึงมีความเหนียวและความแข็งแรงสูง

3). สารผสมเพิ่มพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติเป็นชนิด (Styrene-Butadiene-Styrene, SBS) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้ผลิต PMA กันแพร่หลายในประเทศไทย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1). ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2). ศึกษาหาชนิดพลาสติกและวิธีการที่เหมาะสม ที่จะสามารถนำพลาสติกมารีไซเคิลผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60-70

3). เตรียมตัวอย่างวัสดุผสม โดยการผสมพลาสติกรีไซเคิลชนิด HDPE และ สารพอลิเมอร์ ชนิด SBS เข้ากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60-70 ด้วยสัดส่วน 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนัก

4). ทำการทดสอบคุณสมบัติการไหลของวัสดุ ซึ่งประกอบด้วย Penetration Test, Ductility Test, Softening Point Test และ Viscosity Test ในห้องปฏิบัติการ

5). ศึกษาหาค่าความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) และค่าความต้านทานของวัสดุต่อการเสียรูปภายใต้แรงกระทำ (Stiffness) ของวัสดุแอสฟัลต์

6). สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1). ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติการไหล (Rheological Properties) ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกรีไซเคิลชนิด HDPE เปรียบเทียบกับ วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ และวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย SBS

2). การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพ ก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

2.1). ช่วยลดภาระในการกำจัดพลาสติกที่ใช้แล้วโดยนำมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ ลดปัญหาในการจัดหาพื้นที่สำหรับการฝังกลบ

2.2). ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารพอลิเมอร์ใหม่ เป็นการลดต้นทุนค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนน

2.3). ช่วยรัฐประหยัดเงินตรา เพราะเคมีภัณฑ์ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

2.4). ช่วยให้การจัดเก็บของเสียมีระเบียบ จนสามารถสร้างวัฒนธรรมใหม่ให้เกิดขึ้นในสังคมไทย

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการศึกษา

ขั้นการดำเนินงาน/สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) ศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2) ศึกษาหาชนิดพลาสติกและวิธีการที่เหมาะสม ที่จะสามารถนำพลาสติกมารีไซเคิลผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60-70												
3) นำเสนอโครงร่างการศึกษา												
4) เตรียมตัวอย่างวัสดุผสม												
5) ทำการทดสอบคุณสมบัติการไหลของวัสดุ ในห้องปฏิบัติการ												
6) ศึกษาหาค่า Temperature Susceptibility และค่า Stiffness ของวัสดุแอสฟัลต์												
7) สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา												
8) นำเสนอผลการศึกษา												

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene - PE)

พอลิเอทิลีน (Polyethylene - PE) เป็นสารที่ข้นขาวโปร่งแสงซึ่งได้จากเอทิลีน (CH2=CH2) พอลิเอทิลีนมีการผลิตขึ้นทั้งในรูปที่มีความหนาแน่นต่ำ กลาง และ สูง

1). พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.91 ถึง 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ LDPE มีแบ็กโบนคาร์บอนที่มีไซด์กรุ๊ปของคาร์บอนสี่ถึงหกอะตอมติดกับแบ็กโบนหลักอย่างสุ่มๆ LDPE มีการใช้อย่างกว้างขวาง เพราะว่าไม่แพง ยืดหยุ่นได้ ทนทานมากและทนต่อสารเคมี LDPE ถูกขึ้นรูปเป็นขวด หีบห่ออาหาร และของเล่น

2). พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.93–0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร MDPE สามารถผลิต โดยโครเมียมบางส่วน catalysts, Ziegler-Natta catalysts หรือ metallocene catalysts MDPE มีดีช็อกและปล่อยความต้านทานคุณสมบัติ นอกจากนี้เป็นรอยเว้าน้อย มีความสำคัญกว่า HDPE มีความต้านทานการถอดความเครียดดีกว่า HDPE, MDPE ตามปกติจะถูกใช้ในการทำ ท่อแก๊ส และ อุปกรณ์sacks ฟิล์มบรรจุภัณฑ์

3). พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.95 ถึง 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ HDPE จะมีแบ็กโบนคาร์บอนที่ยาวมาก แต่ไม่มีไซด์กรุ๊ป ผลก็คือ โมเลกุลเหล่านี้เชื่อมกันอย่างแน่นหนามากขึ้น HDPE แข็งแรงกว่า แข็งกว่า และโปร่งแสงน้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ HDPE ใช้ทำถุง ถังน้ำมันรถ หีบห่อและท่อน้ำ

2.2 ผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์

1). แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยมีการผลิตเป็นเกรดของความหนืดหรือประเภท หลายวิธี เช่น ใช้ความหนืด (Viscosity) ค่าความต้านทานการเจาะทะลุ (Penetration) เกรดของความหนืดที่ใช้กันมาก คือ AC-2.5 AC-5 AC-10 AC-20 และ AC-40 ซึ่งสอดคล้องกับเกรดของเพนิเทรชัน 200-

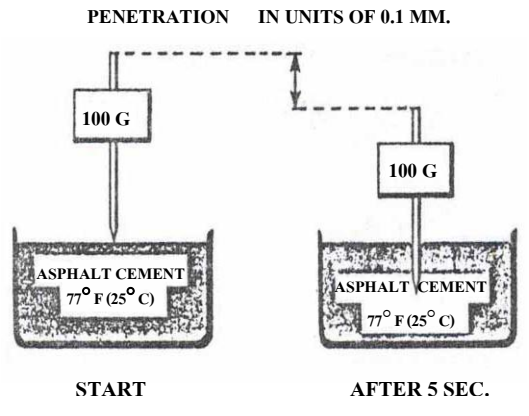
300 120-150 85-100 60-70 และ 40-50 ตามลำดับ การนำแอสฟัลต์ซีเมนต์มาใช้งานนั้น โดยการหลอมด้วยความร้อนก่อนที่จะนำไปผสมกับมวลรวมร้อน เมื่อเย็นตัวลงแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลวอยู่จะค่อยๆ เย็นตัวลงและค่อยๆ แข็งตัว จึงมีสถานะค่อยข้างแข็งที่อุณหภูมิปกติ

2). พอลิเมอร์ มอดิไฟด์ แอสฟัลต์ (Polymer Modify Asphalt) เป็นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม (Additive) จำพวกพอลิเมอร์มาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ตามสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้มีราคาแพง ในประเทศไทยเราจะใช้เฉพาะบางพื้นที่ ส่วนมากคือถนนที่ต้องรองรับปริมาณการจราจรสูง เช่น ทางด่วน เป็นต้น

2.3 คุณสมบัติการไหล (Rheological Properties)

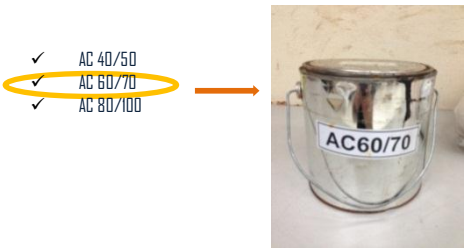
การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุผสมแต่ละชนิดเพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุที่นำมาใช้มีคุณภาพเหมาะสมกับการใช้งาน คุณสมบัติที่สำคัญในการคัดเลือกวัสดุแอสฟัลต์ คือ คุณสมบัติการไหล(Rheological Properties) ประกอบไปด้วยคุณสมบัติย่อย ดังนี้

1). Penetration Test (ASTM-D5, ทล.-ท.403/2518) คือ การวัดความข้นเหลว (Consistency) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยวิธีวัดระยะที่เข็มมาตรฐานหนัก 100 กรัม จมลงไปในแอสฟัลต์ในระยะเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิ 77°F (25°C)



รูปที่ 2.1: การทดสอบ Pentration ของแอสฟัลต์ซีเมนต์

Penetration Grade ใช้บอกความแข็งของยาง



รูปที่ 2.2 : ตัวอย่างการแบ่งเกรดของยาง

2). Elastic Recovery Test (ASTM D 5976) คือ การทดสอคุณสมบัติการหดตัวคืนรูปของวัสดุแอสฟัลต์ เพื่อหาค่าความยืดหยุ่นของยางแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 25 °C และค่าเปอร์เซ็นต์การคืนรูปหาได้จาก

$$\% \text{ Elastic Recovery} = \frac{E-X}{E} \times 100 \qquad (2.1)$$

โดยที่ E คือ Original Elongation (cm.)

X คือ Elongation After (cm.)

รูปที่ 2.3 : ยางมะตอยที่พร้อมจะนำไปทดสอบ(ซ้าย),เมื่อตัดตัวอย่างทดสอบแล้ว(ขวา)

3). Viscosity Test คือ การวัดความหนืด (Viscosity) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ในช่วงอุณหภูมิที่จะนำไปใช้งาน The Asphalt Institute กำหนดว่าควรวัดที่อุณหภูมิ 275 °F (135°C) (ASTM D4402/D4402M-12)

รูปที่ 2.4: เครื่อง Brookfield เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4). ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) สามารถวัดโดยใช้ค่า PI (Penetration Index)

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \tag{2.2}$$

$$A = \frac{\log Pen\ at\ T1 - log800}{T1 - TR\&B} \tag{2.3}$$

โดยที่

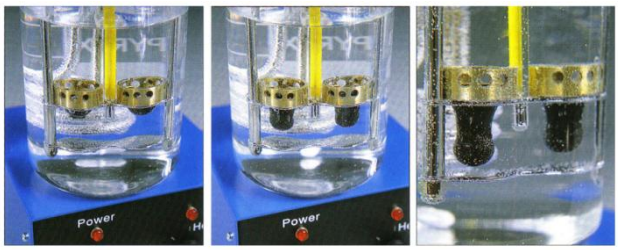
PI = Penetration Index

Pen at T = ค่าเพนิเทรชันของวัสดุแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิทดสอบ T

$T_{R\&B}$ = อุณหภูมิที่จุดอ่อนตัวของวัสดุที่ได้จากการทดสอบ Softening Point Test (Ring and Ball Test)

T = อุณหภูมิทดสอบเพนเนทเทรชั่น (25°C)

5). Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอย ที่มีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 30 ถึง 157 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องทดสอบห่วงและลูกกลม (Ring and Ball Apparatus) ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น (30-80 องศาเซลเซียส) กลีเซอรีน (80-157 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 2.5: เครื่องมือ Ring & Ball

6). ความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปของวัสดุ ภายใต้แรงกระทำ (Stiffness)

Direct Method **:** ทดสอบหาโดยตรง เช่นการใช้เครื่องทดสอบ Dynamic Shear Rheometer , Bending Beam Rheometer ซึ่งเครื่องมือทดสอบดังกล่าวหาใช้ได้ยาก ในประเทศไทยมีที่กรมทางหลวง บจ.Shell และทิปโก้ อีกทั้งเครื่องมือดังกล่าวต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการทำการทดสอบ

รูปที่ 2.6: Dynamic Shear Rheometer

รูปที่ 2.7: Bending Beam Rheometer

Indirect Method **:** การหาค่า Stiffness ทางอ้อมสามารถหาได้จาก Van de Poel's Nomograph

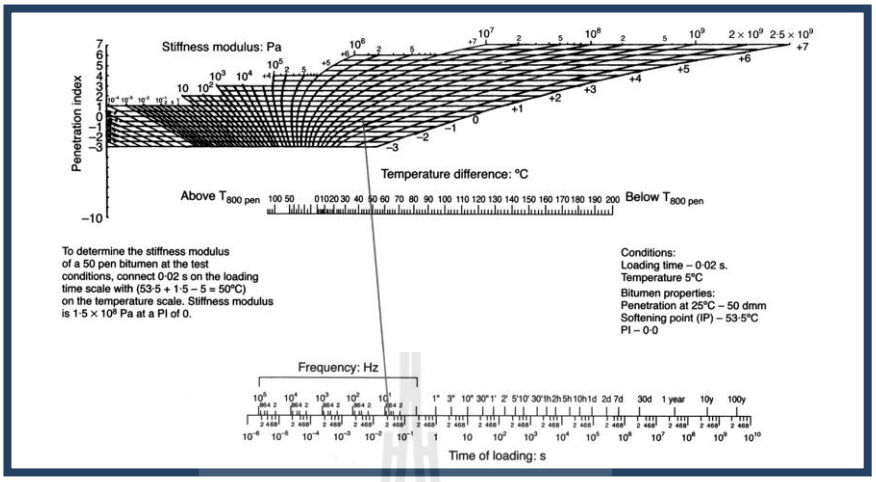
$$S(t,T) = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad (2.4)$$

โดยค่า Stiffness เป็นฟังก์ชันของ

1) อุณหภูมิถนน (Pavement Temperature)

2) ระยะเวลาที่น้ำหนักเพลากระทำ (Duration of Loading , t) ปกติในการออกแบบผิวทางจะใช้ t = 0.015 sec

Van de Poel's Nomograph



รูปที่ 2.8: Nomograph ของ Van de Poel's

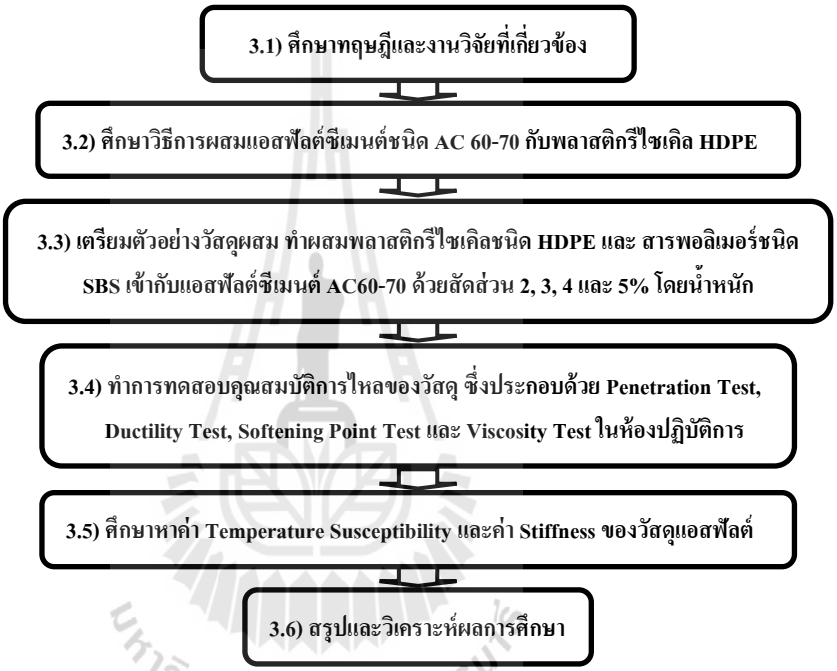
- Fatigue resistance คือ แรงที่กระทำซ้ำกับวัสดุที่อุณหภูมิปกติส่งผลให้เกิดความเสียหายที่พบบนถนนลาดยางมะตอยหรือถนนแอสฟัลต์เป็นไปในลักษณะรอยแตกร้าว ซึ่งจะพบมากในบริเวณที่มีการจราจรที่แออัดหรือตรงบริเวณที่มีแรงโหลดมากระทำเป็นประจำ

- Rutting Resistance คือ ผลเสียหายพบมากที่สุดที่พบบนถนนลาดยางมะตอยหรือถนนแอสฟัลต์ ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิที่สูง ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถนนลาดยางมะตอยหรือถนนแอสฟัลต์จะเกิดการอ่อนตัวเมื่อมีแรงโหลดมากระทำแล้วไม่เกิดการคืนตัวจึงทำให้เกิดร่องล้อบนพื้นถนน ซึ่งหาพบเห็นได้ไม่ยากในสภาพภูมิประเทศที่มีอากาศร้อน

- Low temperature cracking คือ ผลเสียหายพบมากที่สุดที่พบบนถนนลาดยางมะตอยหรือถนนแอสฟัลต์ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพอากาศที่มีความอุณหภูมิต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิลดลงถนนลาดยางมะตอยหรือถนนแอสฟัลต์จะเกิดการแข็งเปราะเมื่อมีแรงโหลดมากระทำจึงทำให้เกิดการแตกหักบนพื้นถนน ซึ่งหาพบเห็นได้ไม่ยากในสภาพภูมิประเทศที่มีอากาศหนาว

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

การศึกษาคุณสมบัติการไหลของยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุรีไซเคิล HDPE มีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.1

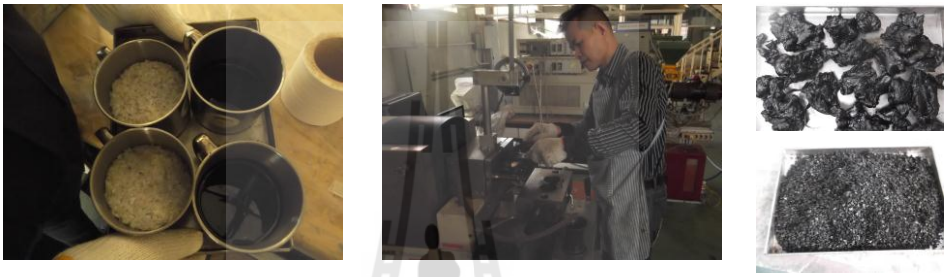


รูป 3.1: ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

3.1.1 ทำการศึกษาหาวิธีผสม HDPE

ทำการศึกษาหาวิธีการผสม สารผสมเพิ่ม(HDPE)ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยได้รับการช่วยเหลือ จาก ผศ.ดร. อุทัย มีคำ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ ทำการผสมด้วยเครื่อง Internal mixer ในสัดส่วนการผสมระหว่าง AC60/70 (50%) กับ HDPE (50%) ซึ่งใช้ AC60/70 ปริมาณ 300 กรัม และ HDPE ปริมาณ 300 กรัม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ AC60/70 + HDPE ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในการผสมปริมาณ 600 กรัม



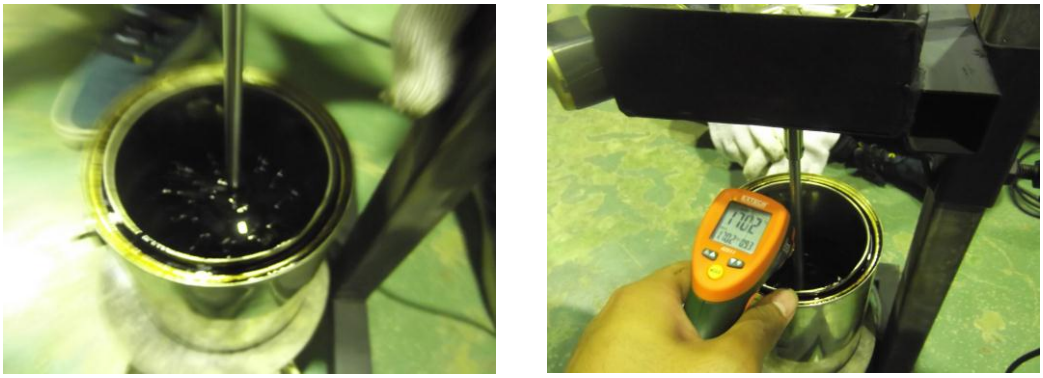
รูปที่ 3.2 : การผสมยางมะตอยกับ Recycled HDPE โดย ได้รับความช่วยเหลือ ผศ.ดร. อุทัย มีคำ

1). ทำการผสมระหว่าง AC60/70 กับ สารผสมเพิ่ม HDPE ผสมระหว่าง AC60/70 กับ HDPE ที่ 2%,3%,4%,5% ตามลำดับ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสม

1. AC60/70
2. HDPE ที่มาจากการผสมระหว่าง AC60/70 กับ HDPE สัดส่วน1:1
3. เตาให้ความร้อน
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องผสมโดยให้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที
6. แก้วสแตนเลสสำหรับเก็บตัวอย่าง
7. กระป๋องสแตนเลสสำหรับทำการผสม
8. กระดาษฟอยล์
9. เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.3 : เริ่มผสมยางมะตอยกับสารผสมเพิ่ม โดยวัดอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที

ขั้นตอนและวิธีการผสม

1.1). การผสมระหว่าง AC60/70 กับ HDPEที่ 2%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 539 กรัม
3. นำ HDPE ไปชั่งให้ได้นำหนัก 22 กรัม (เนื่องจาก 2% ของ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม

   มีค่าเท่ากับ 11 กรัม แต่ในสารตั้งต้นในการผสม AC60/70 กับ HDPE มีสัดส่วนเป็น1:1 จึงต้องคำนวณสัดส่วนของ AC60/70 ที่มีอยู่ใน HDPE แล้วด้วย)
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 539 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลสหลังจากนั้นเทสารผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่ได้จาก AC60/70 + HDPE ปริมาณ 22 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลส เช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง

9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

1.2). การผสมระหว่าง AC60/70 กับ HDPEที่ 3%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 533.5 กรัม
3. นำ HDPE ไปชั่งให้ได้นำหนัก 33 กรัม (เนื่องจาก 3% ของ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม
   มีค่าเท่ากับ 16.5 กรัม แต่ในสารตั้งต้นในการผสม AC60/70 กับ HDPE มีสัดส่วนเป็น1:1 จึงต้องคำนวณสัดส่วนของ AC60/70 ที่มีอยู่ใน HDPE แล้วด้วย)
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 533.5 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลส หลังจากนั้นเทสารผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่ได้จาก AC60/70 + HDPE ปริมาณ 33 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลส เช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

1.3). การผสมระหว่าง AC60/70 กับ HDPEที่ 4%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 528 กรัม

3. นำ HDPE ไปชั่งให้ได้นำหนัก 44 กรัม (เนื่องจาก 4% ของ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม มีค่าเท่ากับ 22 กรัม แต่ในสารตั้งต้นในการผสม AC60/70 กับ HDPE มีสัดส่วนเป็น1:1 จึงต้องคำนวณสัดส่วนของ AC60/70 ที่มีอยู่ใน HDPE แล้วด้วย)
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 528 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลสหลังจากนั้นเทสารผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่ได้จาก AC60/70 + HDPE ปริมาณ 44 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลส เช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

1.4). การผสมระหว่าง AC60/70 กับ HDPEที่ 5%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 522.5 กรัม
3. นำ HDPE ไปชั่งให้ได้นำหนัก 55 กรัม (เนื่องจาก 5% ของ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม มีค่าเท่ากับ 27.5 กรัม แต่ในสารตั้งต้นในการผสม AC60/70 กับ HDPE มีสัดส่วนเป็น1:1 จึงต้องคำนวณสัดส่วนของ AC60/70 ที่มีอยู่ใน HDPE แล้วด้วย)
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 522.5 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลสหลังจากนั้นเทสารผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่ได้จาก AC60/70 + HDPE ปริมาณ 55 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลส เช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง

7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

2). ทำการผสมระหว่าง AC60/70 กับ สารผสมเพิ่ม SBS ผสมระหว่าง AC60/70 กับ SBS ที่ 2%,3%,4%,5% ตามลำดับ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสม

1. AC60/70
2. สารผสมเพิ่ม SBS
3. เตาให้ความร้อน
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องผสมโดยให้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที
6. แก้วสแตนเลสสำหรับเก็บตัวอย่าง
7. กระป๋องสแตนเลสสำหรับทำการผสม
8. กระดาษฟอยล์

ขั้นตอนและวิธีการผสม

2.1). การผสมระหว่าง AC60/70 กับสารผสมเพิ่ม SBS ที่ 2%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 550 กรัม
3. นำสารผสมเพิ่ม SBS ไปชั่งให้ได้นำหนัก 11 กรัม
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลส หลังจากนั้นเทสารผสมเพิ่ม SBS ปริมาณ 11 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลสเช่นกัน

5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

2.2). การผสมระหว่าง AC60/70 กับสารผสมเพิ่ม SBS ที่ 3%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 550 กรัม
3. นำสารผสมเพิ่ม SBS ไปชั่งให้ได้นำหนัก 16.5 กรัม
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลส หลังจากนั้นเทสารผสมเพิ่ม SBS ปริมาณ 16.5 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลสเช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

2.3). การผสมระหว่าง AC60/70 กับสารผสมเพิ่ม SBS ที่ 4%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 550 กรัม
3. นำสารผสมเพิ่ม SBS ไปชั่งให้ได้นำหนัก 22 กรัม
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลส หลังจากนั้นเทสารผสมเพิ่ม SBS ปริมาณ 22 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลส เช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่ 4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที
8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

2.4). การผสมระหว่าง AC60/70 กับสารผสมเพิ่ม SBS ที่ 5%

1. ให้ความร้อนแก่ AC60/70 จนเกิดการหลอมตัว
2. นำ AC60/70 ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 550 กรัม
3. นำสารผสมเพิ่ม SBS ไปชั่งให้ได้นำหนัก 27.5 กรัม
4. นำ AC60/70 ปริมาณ 550 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสแตนเลสหลังจากนั้นเทสารผสมเพิ่ม SBS ปริมาณ 27.5 กรัม ลงในกระป๋องสแตนเลส เช่นกัน
5. นำกระป๋องที่เทตัวอย่างในขั้นตอนที่4 ตั้งบนเตาให้ความร้อน
6. ติดตั้งเครื่องผสมเข้ากับเตาให้ความร้อนและกระป๋องตัวอย่างโดยที่ให้ใบพัดอยู่ภายในกระป๋องและตัวใบพัดอยู่ระหว่างกลางของเนื้อยางทั้งด้านสูงและด้านกว้าง
7. เปิดเตาให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพร้อมกับเปิดเครื่องผสมโดยที่เครื่องผสมมีความเร็วในการหมุนของใบพัด 100 รอบต่อนาที

8. ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้อยู่ที่ 180-230 องศาเซลเซียส ห้ามไม่ให้ตัวอย่างการผสมมีควันเกิดขึ้นเพราะจะเกิดการออกซิไดซ์ ผสมจนตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง
9. เมื่อตัวอย่างเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทตัวอย่างใส่ในแก้วสแตนเลสที่เตรียมไว้รอให้ตัวอย่างเย็นตัวแล้วนำกระดาษฟอยล์ปิดฝาแก้วสแตนเลสที่เก็บตัวอย่างไว้ป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติต่อไป

3.2 วิธีทำการทดสอบคุณสมบัติการไหล

1). Penetration Test

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์
2. ภาชนะมาตรฐาน
3. เตาให้ความร้อน
4. ทัพพี
5. กระดาษชำระ
6. เครื่องมือทดสอบ Penetration
7. เข็มมาตรฐาน
8. Water Bath ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
9. เทอร์โมมิเตอร์
10. น้ำมันเอนกประสงค์ SONAX
11. โคมไฟ

รูปที่ 3.4 : ตัวอย่างการเทตัวอย่างใส่แบบหล่อ ของการทดสอบเพเนเทร
ั

วิธีการทดสอบ

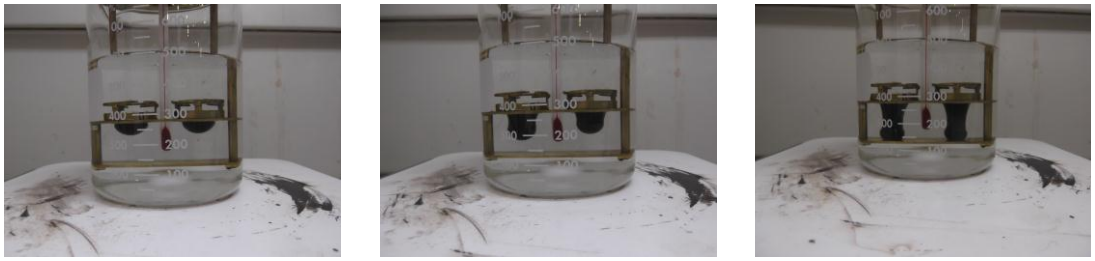
1. ตัวอย่างให้เหลวโดยใช้ความร้อนจนตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัว(Softening Point)
2. เทตัวอย่างลงในภาชนะมาตรฐาน ความลึกของตัวอย่างในภาชนะจะต้องมากกว่าความลึกที่คาดว่าเข็มจะแทรกลงไปอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร
3. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1-1.5 ชั่งโมง
4. นำตัวอย่างไปใส่ไว้ในน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่งโมง
5. นำเข็มมาตรฐานต่อกับเครื่อง Penetration
6. ปรับตำแหน่งของเข็มให้อยู่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่างพอดี ซึ่งอาจทำได้โดยปรับปลายเข็มให้สัมผัสกับเงาของตัวเข็มซึ่งเกิดจากการสะท้อนมาจากผิวหน้าของตัวอย่างเมื่อส่องไฟลงบนตัวอย่าง
7. ตั้งค่าหน้าปัดให้กด เซตศูนย์ แล้วกดปุ่มทดสอบ
8. แต่ละตัวอย่างให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยตำแหน่งของเข็มอยู่ห่างจากริมภาชนะไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร และจุดทดลองแต่ละจุดอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร หลังจากเปลี่ยนจุดการทดลองทุกครั้งให้ทำความสะอาดเข็มทดสอบทุกครั้ง
9. บันทึกค่าการทดลอง

2). Softening Point

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์
2. ทัพพี
3. เตาให้ความร้อน
4. กระดาษชำระ
5. น้ำยาล้างจาน
6. แผ่นเหล็กสำหรับวางแหวนทดสอบมาตรฐาน
7. เครื่องมือชุดทดสอบ Ring & Ball
8. Spatula
9. น้ำแข็ง
10. เทอร์โมมิเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 : ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกหลอมที่ จุด Softening Point

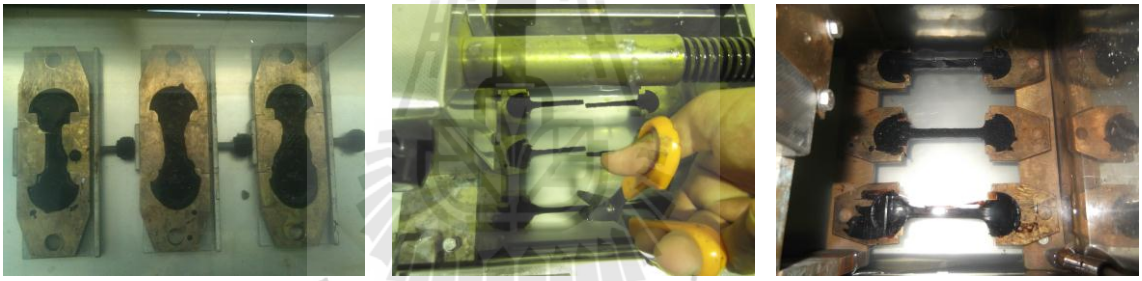
วิธีการทดสอบ

1. หลอมตัวอย่างไม่เกิน 2 ชั่งโมง เหนือจุดอ่อนตัว(Softening Point)
2. ทาน้ำยาล้างจานบางๆบนแผ่นเหล็กที่เตรียมไว้ แล้ววางวงแหวนทดสอบเอาไว้
3. เทแอสฟัลต์ลงในวงแหวนทดสอบมาตรฐาน
4. ทิ้งตัวอย่างให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที
5. ใช้ Spatula เผาไฟให้ร้อนพอประมาณ ปาดหน้าตัวอย่างให้เรียบเสมอแบบ
6. นำตัวอย่างไปล้างน้ำยาล้างจานออก
7. นำตัวอย่างไปประกอบเข้ากับชุดการทดลอง โดยที่ใส่ตัวอย่างลงไปในน้ำที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสอยู่ เป็นเวลา 15 นาที
8. เลือกของเหลวที่จะทำให้ตัวอย่างอ่อนตัว
   8.1. น้ำกลั่นที่มี softening points ระหว่าง 30 และ 80 องศาเซลเซียส
   8.2. USP glycerin มี softening points ตั้งแต่ 80 และ 157 องศาเซลเซียส
   8.3. ตัดสินใจเลือกใช้ของเหลว หากตัวอย่างมี softening points ที่ 80 องศาเซลเซียส ควรใช้น้ำและตัวอย่างอื่นๆ ที่มี softening points มากกว่า 80 องศาเซลเซียส ควรใช้ glycerin
9. ให้ความร้อนแก่ชุดการทดสอบ โดยเริ่มต้นให้อุณหภูมิตามการเลือกใช้ของเหลวที่จะทำตัวอย่างให้อ่อนตัว (ตามข้อ 1.)
10. ความร้อนแก่ชุดการทดสอบ ควรจะให้ความร้อนประมาณ 300 องศาเซลเซียส โดยที่ในเวลา 1 นาที ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส โดยเริ่มต้นให้ความร้อนตามชนิดของเหลวที่เลือกใช้
11. สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง
12. อ่านอุณหภูมิขณะที่ลูกบอลตกลงไปยังแผ่นรองทั้งสอง หาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของบอลทั้งสองลูก คือ จุด Softening Point

3). Elastic Recovery Test

อุปกรณ์ที่ใช้การทดสอบ

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์
2. ทัพพี
3. เตาให้ความร้อน
4. กระดาษชำระ
5. น้ำยาล้างจาน
6. แผ่นเหล็กสำหรับวางแบบหล่อชุดทดสอบมาตรฐาน
7. เครื่องมือชุดทดสอบ Elastic Recovery
8. Spatula
9. เทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.6 : การทดลอง Elastic Recovery

วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการผสมสารผสมเพิ่มมาให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อนจนเกิดการหลอมตัวห้ามเกิน2ชั่วโมงและไม่ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเกิน 110 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้เกิดการออกสิไดซ์เกิดขึ้นเพราะจะมีผลต่อผลการทดลอง
2. เตรียมแบบหล่อ พร้อมชโลมน้ำยาล้างจานบริเวณขอบแบบหล่อเพื่อไม่ให้ตัวอย่างติดแบบหล่อ บริเวณที่จะทำการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.7 : การหลอมตัวอย่าง ขณะที่หลอมต้องคนไปด้วย เพื่อไม่ให้ยางที่ก้นกระป๋องไหม้

3. เทตัวอย่างลงในแบบหล่อที่จะทำการทดสอบโดยค่อยๆเทลงไปในแบบหล่อโดยที่ขณะเทนั้นให้เทตามยาวของแบบหล่อโดยให้ตัวอย่างเต็มแบบหล่อ
4. ปล่อยให้ตัวอย่างที่เทลงในแบบหล่อเย็นตัวที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30-40 นาที
5. นำตัวอย่างที่จะทดสอบไปล้างน้ำสะอาดเพื่อล้างน้ำยาล้างจานออกแล้วนำตัวอย่างไปที่จะทำการทดสอบไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25±0.1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
6. ใช้ Spatula ตั้งบนเตาให้ความร้อนจน Spatula ร้อนพอประมาณ นำตัวอย่างที่แช่น้ำมาเช็ดน้ำที่ติดมาด้วยออกให้แห้ง ใช้ Spatula ปาดตัวอย่างให้ผิวหน้าของตัวอย่างเรียบเสมอกับแบบหล่อ
7. นำตัวอย่างที่ปาดด้วย Spatula แล้วไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25±0.1 องศาเซลเซียส อีก 85-90 นาที
8. หลังจากที่นำตัวอย่างแช่น้ำแล้วเป็นเวลา 85-90 นาที ที่อุณหภูมิ 25±0.1 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างไปประกอบกับเครื่องดึงที่มีอุณหภูมิ 25±0.1 องศาเซลเซียส
9. ทำการถอดปลอกด้านขอบของแบบหล่อ
10. ทำการทดสอบโดยการเริ่มเดินเครื่องดึงที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที ดึงจนเครื่องดึงเครื่องที่ได้ 10 เซนติเมตร แล้วหยุดเครื่องดึงพักไว้ 5 นาที
11. ใช้กรรไกรตัดตัวอย่างที่ยืดได้ 10 เซนติเมตร บริเวณตรงกลางของตัวอย่าง
12. ปล่อยให้ตัวอย่างเกิดการหดตัวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการอ่านค่าจากเครื่องดึงว่าตัวอย่างเกิดการหดตัวเป็นระยะเท่าไหร่เพื่อที่จะนำไปคำนวณต่อไป

4). Viscosity Test

อุปกรณ์ที่ใช้การทดสอบ

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์
2. ทัพพี
3. เตาให้ความร้อน
4. กระดาษชำระ
5. แท่นวางกระบอกตัวอย่างสำหรับการทดสอบ
6. เครื่องมือชุดทดสอบ Brookfield (ใช้หัวหมุนเบอร์21)
7. คีมหนีบปากจิ้งจกสำหรับคีบกระบอกทดสอบ

รูปที่ 3.8 : การเตรียมตัวอย่างการทดลอง Viscosity Test ด้วยเครื่อง Brook Field

วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการผสมสารผสมเพิ่มมาให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อนจนเกิดการหลอมตัวห้ามเกิน2ชั่วโมงและไม่ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเกิน 110 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้เกิดการออกสิไดซ์เกิดขึ้นเพราะจะมีผลต่อผลการทดลอง
2. นำตัวอย่างที่หลอมตัวแล้วเทลงในแบบหล่อให้มีน้ำ 8-10 กรัม
3. เซ็ตเครื่องทำการทดสอบ(Brookfield)โดยให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆปล่อยหัวหมุนเบอร์ 21 ลงไปในหลอดตัวอย่างจนจมมิด หลังจากนั้นให้เครื่องเริ่มทำงานกำหนดเครื่องให้หมุน 10 รอบต่อนาที

4. หลังจากนั้นให้สังเกตค่าความหนืด (Viscosity) บนหน้าจอเครื่องทดลอง (Brookfield) จนกว่าค่าความหนืด (Viscosity) จะคงที่
5. เมื่อค่าความหนืด (Viscosity) คงที่แล้วอ่านค่า Viscosity(cp) ,Shear Stress(D/cm²),Shear Rate(1/sec),Torque(%) จากเครื่องทดลอง (Brookfifld)
6. ถ้าค่าความหนืด (Viscosity) บนเครื่องทดลอง (Brookfield) ขึ้น Error ให้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับแล้วทำตามขั้นตอนที่ 3
7. เมื่อค่าความหนืด (Viscosity) คงที่ ณ.อุณหภูมิเริ่มต้นแล้ว ให้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละ10 องศาเซลเซียส แล้วทำตามขั้นตอนที่ 3-5 ต่อไปจนเพิ่มอุณหภูมิถึง 170 องศาเซลเซียส เป็นค่าความหนืด (Viscosity) สุดท้าย
8. นำค่าต่างๆที่ได้จากเครื่องทดลอง (Brookfield) ไปพล็อตกราฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษา

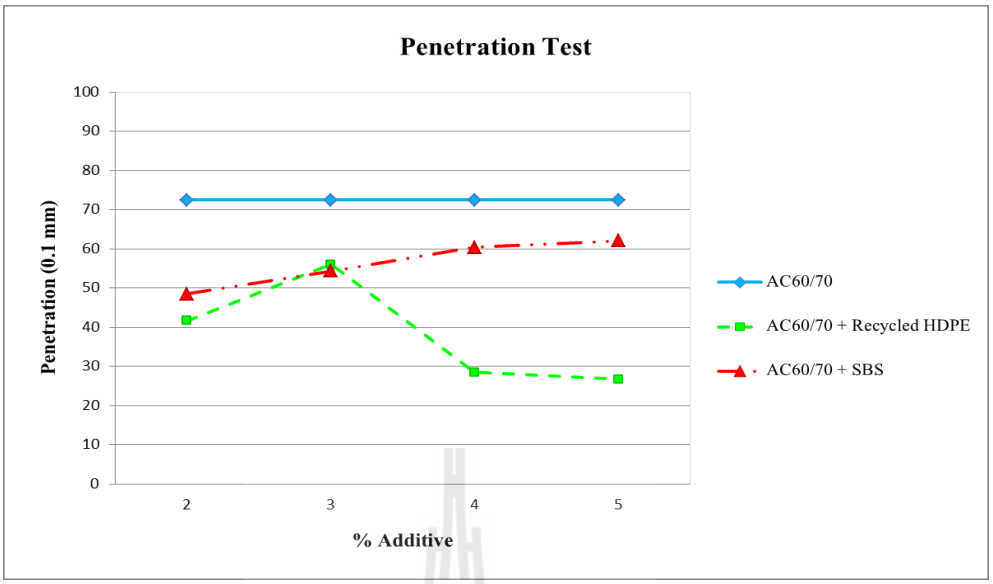
ในการดำเนินการศึกษาคุณสมบัติการไหลของวัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการทดสอบค่า Penetration ในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าเพนเนทเทรชันของวัสดุแอสฟัลต์ AC60/70, AC60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 : ผลการทดสอบค่า Penetration ในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าเพนเนทเทรชั่น เฉลี่ย (0.1 mm)
AC60/70	72.48
AC60/70 + 2% Recycled HDPE	41.67
AC60/70 + 3% Recycled HDPE	56.07
AC60/70 + 4% Recycled HDPE	28.50
AC60/70 + 5% Recycled HDPE	26.72
AC60/70 + 2% SBS	48.47
AC60/70 + 3% SBS	54.35
AC60/70 + 4% SBS	60.40
AC60/70 + 5% SBS	62.07



รูปที่ 4.1: ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพนเนทเทรชัน (Penetration)กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive)

จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่า Penetration ลดลง ซึ่งมีผลทำให้วัสดุมีความแข็งหรือความข้นหนืดเพิ่มขึ้น

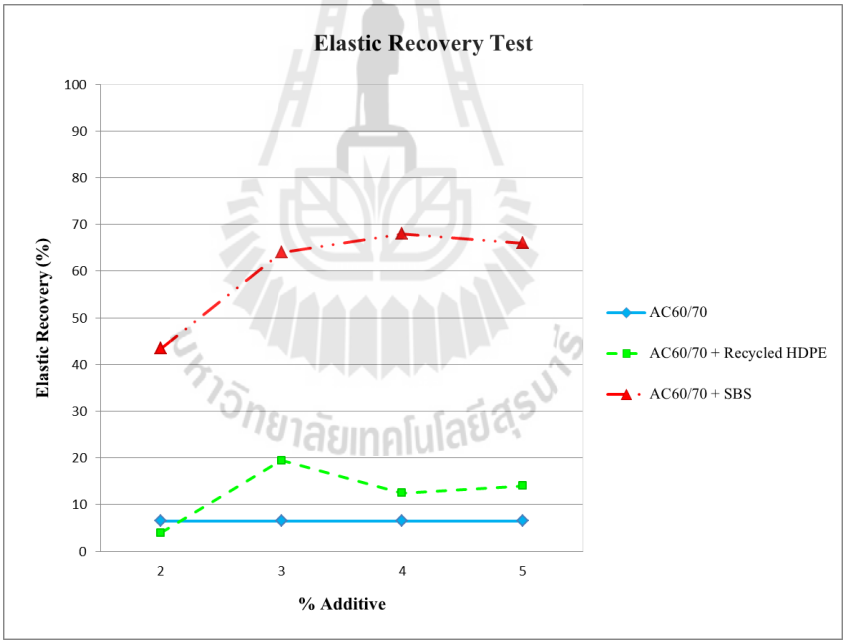
ในการใช้ปริมาณสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3% โดยน้ำหนัก ค่า Penetration จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนของสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE มากกว่า 3% โดยน้ำหนัก ขณะที่เมื่อใช้สารผสมเพิ่ม SBS ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่า Penetration ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.2 ผลการทดสอบค่าความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) ในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความยืดหยุ่นกลับของวัสดุแอสฟัลต์ AC60/70, AC60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 : ตารางแสดงผลการทดสอบความยืดหยุ่นกลับ Elastic Recovery ในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างทดสอบ	Elastic Recovery (%)
AC60/70	6.5
AC60/70 + 2% Recycled HDPE	4.0
AC60/70 + 3% Recycled HDPE	19.5
AC60/70 + 4% Recycled HDPE	12.5
AC60/70 + 5% Recycled HDPE	14.0
AC60/70 + 2% SBS	43.5
AC60/70 + 3% SBS	64.0
AC60/70 + 4% SBS	68.0
AC60/70 + 5% SBS	66.0



รูปที่ 4.2: ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)

ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่าร้อยละของ Elastic Recovery เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางแอสฟัลต์กับมวลรวมมากขึ้น ทำให้วัสดุผิวทางมีความแข็งแรงมากขึ้น

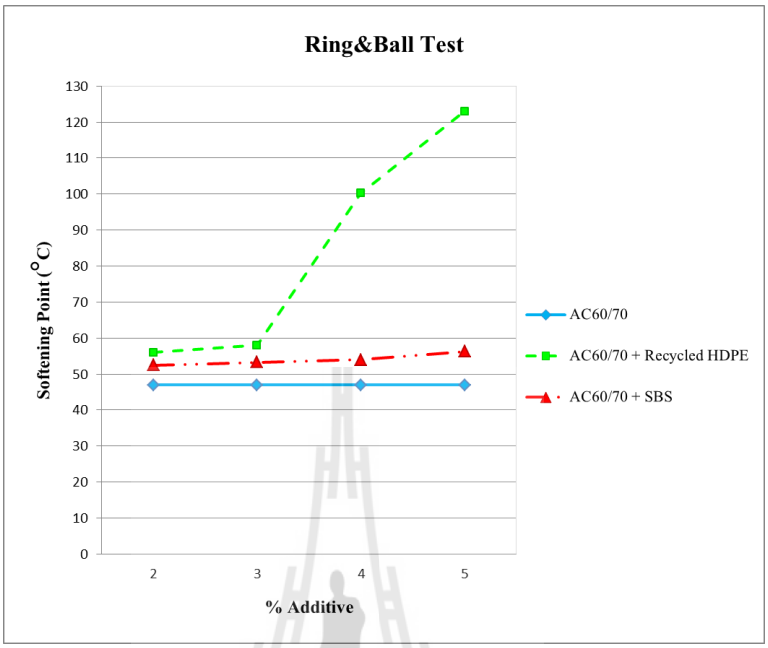
วัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE มีความยืดหยุ่นกลับน้อยกว่าวัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม SBS ประมาณ 4.5 เท่า โดยค่าร้อยละของความยืดหยุ่นกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3% โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE มากกว่า 3% โดยน้ำหนัก ขณะที่เมื่อใช้สารผสมเพิ่ม SBS ในปริมาณที่มากขึ้น ค่าร้อยละของ Elastic Recovery มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.3 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) ในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าจุดอ่อนตัวของวัสดุแอสฟัลต์ AC60/70, AC60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 : ตารางแสดงผลการทดสอบ จุดอ่อนตัว (Softening Point) ในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างทดสอบ	จุดอ่อนตัว ($^{\circ}C$)
AC60/70	47
AC60/70 + 2% Recycled HDPE	56
AC60/70 + 3% Recycled HDPE	58
AC60/70 + 4% Recycled HDPE	100.25
AC60/70 + 5% Recycled HDPE	123
AC60/70 + 2% SBS	52.5
AC60/70 + 3% SBS	53.25
AC60/70 + 4% SBS	54
AC60/70 + 5% SBS	56.25

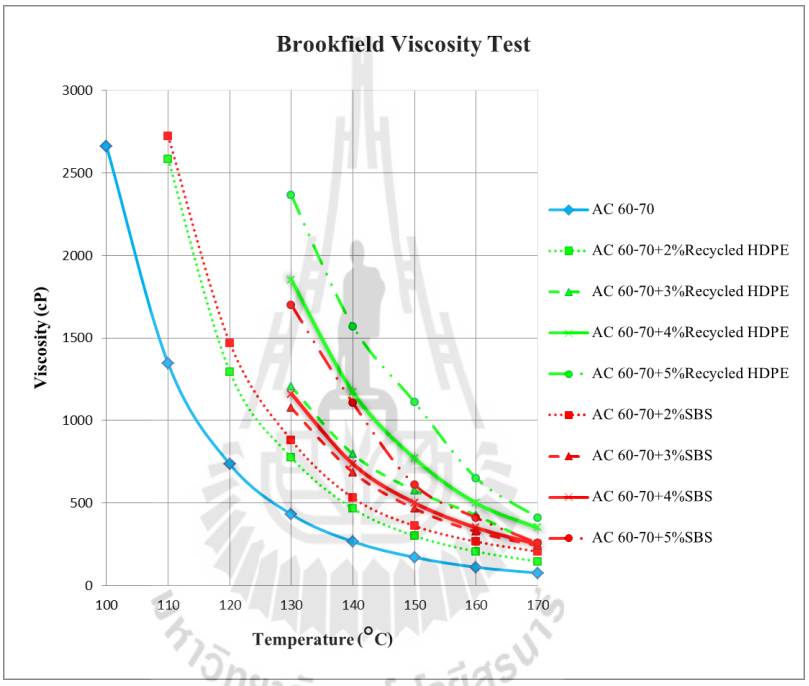


รูปที่ 4.3: ความสัมพันธ์ระหว่าง Softening Point (°C) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้จุดอ่อนตัวของวัสดุสูงขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งและหนืดเพิ่มขึ้น และที่การใช้ Recycled HDPE ผสมลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ด้วยปริมาณมากกว่า 3% โดยน้ำหนัก ส่งผลทำให้จุดอ่อนตัวเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 100°C ในขณะที่การใช้สารผสมเพิ่ม SBS ด้วยสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้จุดอ่อนตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

4.4 ผลการทดสอบค่าความหนืด (Brookfield Viscosity) ในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความหนืดของวัสดุแอสฟัลต์ AC60/70, AC60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4: ความสัมพันธ์ระหว่าง Viscosity (cP) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)

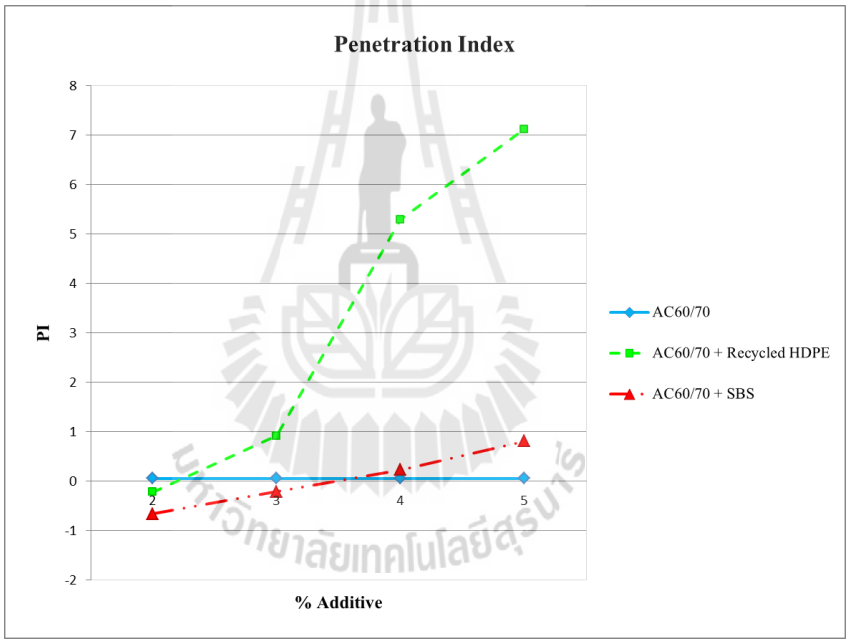
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่าความหนืด (Brookfield Viscosity) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความหนืด หรือความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น

การใช้ปริมาณสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3% โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าความหนืดใกล้เคียงกับการใช้สารผสมเพิ่ม SBS ที่ปริมาณสารผสมเพิ่มเท่ากัน และการใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มมากกว่า 3% โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุที่ใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE มีค่าความหนืดมากกว่าการใช้สารผสมเพิ่ม SBS ที่ปริมาณสารผสมเพิ่มเท่ากัน

4.5 ผลการศึกษา Temperature Susceptibility

จากการศึกษา Temperature Susceptibility ของวัสดุแอสฟัลต์ AC60/70, AC60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS โดยคำนวณหาค่า Penetration Index (PI) จากสมการที่ 2.2 ในบทที่ 2 ได้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ

ปกติ ค่า PI จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ค่า PI น้อย จะแสดงถึงความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) มาก ถ้าวัสดุมีค่า PI < -2 วัสดุจะมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิสูงมาก และค่า PI > +7 วัสดุจะมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิต่ำมาก (Shell Bitumen, 2003)



รูปที่ 4.5: ความสัมพันธ์ระหว่าง Penetration (PI) กับปริมาณของสารผสมเพิ่ม (%Additive)

จากตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 3.5 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่า PI เพิ่มขึ้น

การใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3% ค่า PI จะอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง +1 โดยการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ในปริมาณ 5% จะมีค่า PI มากกว่า + 7 นั่นคือวัสดุมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิต่ำมาก

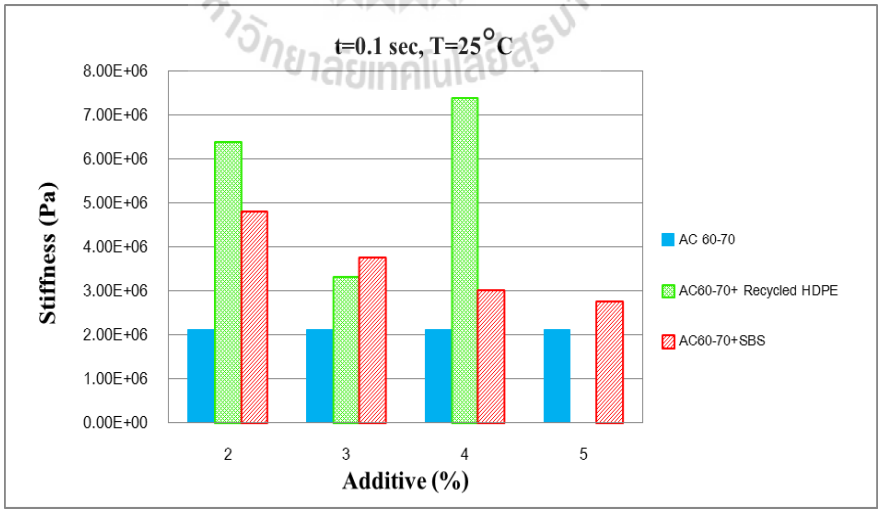
4.6 ผลการศึกษาหาค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปของวัสดุภายใต้แรงกระทำ (Stiffness)

การศึกษานี้ได้ศึกษาหาความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปของวัสดุภายใต้แรงกระทำ (Stiffness) โดยวิธีทางอ้อม จาก nomograph ของ Van der Poel จากรูปที่ 2.8 ในบทที่ 2 โดยค่า Stiffness เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิถนน (Pavement Temperature, T) และระยะเวลาที่แรงกระทำ (Duration of Loading, t) ซึ่งได้พิจารณาอุณหภูมิของผิวทางแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ 1) อุณหภูมิผิวทางใช้งานปกติ (25°C) 2) อุณหภูมิผิวทางสูง (60°C) และ 3) อุณหภูมิผิวทางต่ำ (5°C) โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

4.6.1 อุณหภูมิผิวทางใช้งานปกติ (25°C)

Freddy L. Roberts และคณะ (1996) ได้กล่าวว่า ถ้าวัสดุแอสฟัลต์มีค่า stiffness สูง ที่อุณหภูมิปกติ ผิวทางแอสฟัลต์ดังกล่าวจะมีความต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากการล้า (Fatigue Cracking) สูง และการทดสอบความต้านทานการล้า (Fatigue Resistance) ในห้องปฏิบัติการ จะเป็นการให้แรงกระทำซ้ำกับวัสดุ (Time of Loading = 0.1 sec หรือ 10 Hz) จนวัสดุเกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในการศึกษาหาค่า Stiffness โดยวิธีทางอ้อม เพื่อพิจารณาความต้านทานการล้า กำหนดให้ T เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และ t เท่ากับ 0.1 วินาที ได้ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6: ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness (Pa) กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive) ที่ t=0.1 sec และ T=25°C

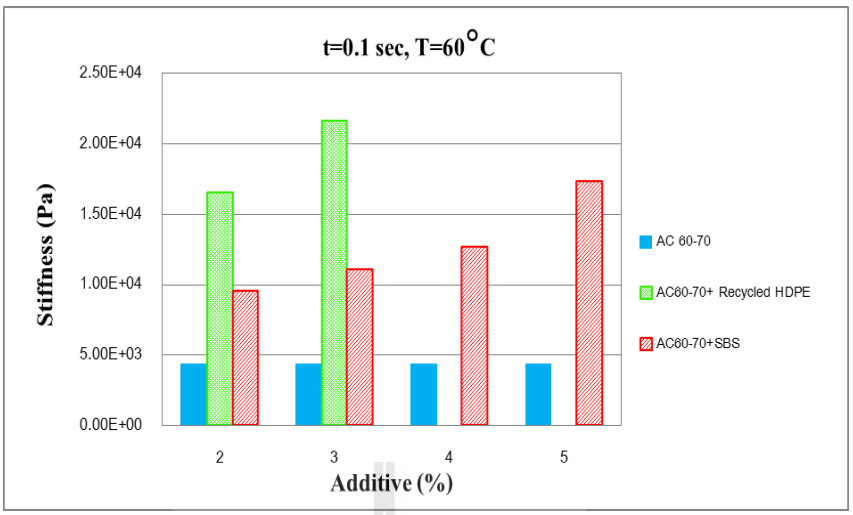
จากรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่า Stiffness ที่อุณหภูมิ 25°C เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความต้านทานการล้าได้ดีขึ้น โดยมีค่า Stiffness สูงสุดที่ปริมาณการผสม 2% อย่างไรก็ตามการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก จะได้ค่า PI มากกว่า +7 ซึ่งไม่สามารถหาค่า Stiffness จาก nomograph ของ Van der Poel ได้

เมื่อเปรียบเทียบค่า stiffness ของวัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE กับ สารผสมเพิ่ม SBS พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารผสมเพิ่ม 2% และ 4% วัสดุแอสฟัลต์ที่ถูกปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE จะมีค่า Stiffness สูงกว่า แต่การใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณ 3% จะได้ค่า Stiffness ต่ำกว่าการใช้สารผสมเพิ่ม SBS

4.6.2 อุณหภูมิถนนสูง (60 °C)

Freddy L. Roberts และคณะ (1996) ได้กล่าวว่า ถ้าวัสดุแอสฟัลต์มีค่า stiffness สูง ที่อุณหภูมิผิวทางสูง ผิวทางแอสฟัลต์ดังกล่าวจะมีความต้านทานการเกิดร่องล้อ (Rutting Resistance) สูง และการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อในห้องปฏิบัติการ จะเป็นการให้แรงกระทำซ้ำกับวัสดุ (Time of Loading = 0.1 sec หรือ 10 Hz) เพื่อหาค่าการยุบตัวถาวรของวัสดุที่อุณหภูมิสูง 60 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในการศึกษาหาค่า Stiffness โดยวิธีทางอ้อม เพื่อพิจารณาความต้านทานการเกิดร่องล้อ กำหนดให้ T เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ t เท่ากับ 0.1 วินาที ได้ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7: ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness (Pa) กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive) ที่ t=0.1 sec และ T=60°C

จากรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE และ SBS ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่า Stiffness ที่อุณหภูมิ 60°C เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีขึ้น โดยมีค่า Stiffness สูงสุดที่ปริมาณการผสม 3%

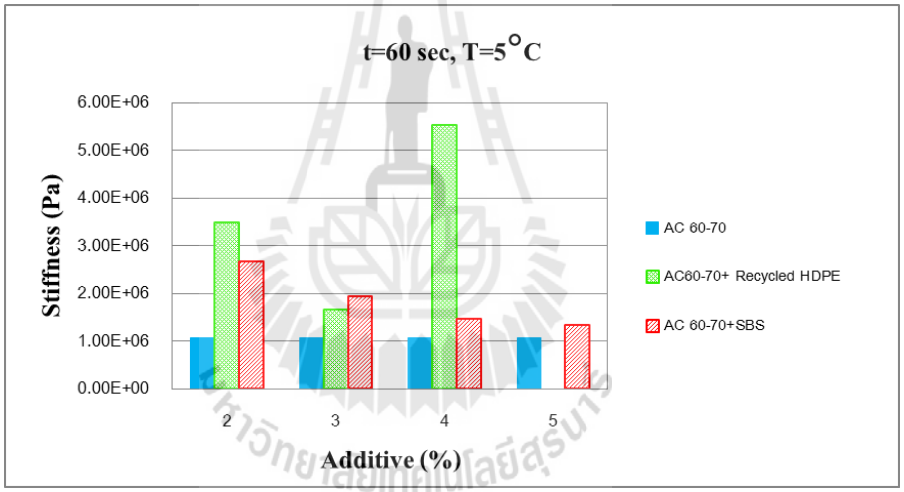
อย่างไรก็ตามการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ในปริมาณ 4% โดยน้ำหนัก จะได้ค่า Stiffness น้อยกว่า 1.0×10^{-10} Pa ซึ่งมีค่าน้อยมาก และการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก จะได้ค่า PI มากกว่า +7 ซึ่งไม่สามารถหาค่า Stiffness จาก nomograph ของ Van der Poel ได้

เมื่อเปรียบเทียบค่า stiffness ของวัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE กับ สารผสมเพิ่ม SBS พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มน้อยกว่า 3% วัสดุแอสฟัลต์ที่ถูกปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE จะมีค่า Stiffness สูงกว่าการใช้สารผสมเพิ่ม SBS

4.6.3 อุณหภูมิถนนต่ำ (5 °C)

Freddy L. Roberts และคณะ (1996) ได้กล่าวว่า ถ้าวัสดุแอสฟัลต์มีค่า stiffness สูง ที่อุณหภูมิผิวทางต่ำ ผิวทางแอสฟัลต์ดังกล่าวจะมีความแข็งเปราะ ง่ายต่อการเกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Cracking) และการทดสอบความต้านทานการแตกร้าวที่อุณหภูมิต่ำในห้องปฏิบัติการ จะเป็นการให้แรงกระทำซ้ำกับวัสดุ (Time of Loading = 60 sec) ที่อุณหภูมิสูง 60 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในการศึกษาหาค่า Stiffness โดยวิธีทางอ้อม เพื่อพิจารณาความต้านทานการเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ กำหนดให้ T เท่ากับ 5 องศาเซลเซียส และ t เท่ากับ 60 วินาที ได้ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8: ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness (Pa) กับปริมาณสารผสมเพิ่ม (%Additive) ที่ t=60 sec และ T=5°C

จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ลงในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ส่งผลทำให้ค่า Stiffness ที่อุณหภูมิ 5°C เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีโอกาสเกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิต่ำได้มากขึ้นโดยมีค่า Stiffness สูงสุดที่ปริมาณการผสม 4% อย่างไรก็ตามการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก จะได้ค่า PI มากกว่า +7 ซึ่งไม่สามารถหาค่า Stiffness จาก nomograph ของ Van der Poel ได้

สำหรับการใช้สารผสมเพิ่ม SBS เพื่อปรับปรุงคุณภาพ ทำให้วัสดุมีค่า Stiffness มากขึ้น แต่เนื่องจากวัสดุมีค่าร้อยละความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) สูงมาก ผิวทางจึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแอสฟัลต์และมวลรวมสูง วัสดุจึงมีความต้านทานการเกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิได้ดีมาก

เมื่อเปรียบเทียบค่า stiffness ของวัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE กับ สารผสมเพิ่ม SBS พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารผสมเพิ่ม 2% และ 4% วัสดุแอสฟัลต์ที่ถูกปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE จะมีค่า Stiffness สูงกว่า แต่การใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณ 3% จะได้ค่า Stiffness ต่ำกว่าการใช้สารผสมเพิ่ม SBS

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติการไหล *(Rheological Properties)* ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกชนิด HDPE และ แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติกชนิด SBS เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60-70 ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์การศึกษาได้ดังนี้

1). คุณสมบัติการไหลของการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ในการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ AC60/70

- เมื่อใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ด้วยปริมาณน้อยกว่า3% วัสดุมีค่า stiffness ที่สูงขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อ (Rutting) และความล้า (Fatigue) มากขึ้น แต่มีโอกาสเกิดการแตกร้าวที่อุณภูมิต่ำได้ง่ายขึ้น
- ค่าร้อยละของความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) มีค่าสูงขึ้น นั่นคือวัสดุจะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และมีค่ามากที่สุด (เพิ่มขึ้น 13%) เมื่อใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE เท่ากับ 3% โดยน้ำหนัก
- อีกทั้งค่า PI มีค่าสูงขึ้น เมื่อสัดส่วน Recycled HDPE เพิ่มสูงขึ้น นั่นคือ วัสดุมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มากนัก
- การใช้ Recycled HDPE มีผลทำให้ค่า Penetration ลดลง ในขณะที่จุดอ่อนตัว (Softening Point) และค่า Viscosity เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้วัสดุมีความแข็งและความหนืดมากขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงขึ้นในการหลอมวัสดุแอสฟัลต์เพื่อให้สามารถเหลวพอที่จะเคลือบวัสดุมวลรวมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งจะนำมาถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตที่สูงขึ้นตามไปด้วย

2). คุณสมบัติการไหลของการใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE เมื่อเปรียบเทียบกับ สารผสมเพิ่ม SBS

- การปรับปรุงคุณภาพ AC60/70 ด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE จะใช้ระยะเวลาในการผสมนานกว่าการใช้ SBS ประมาณ 2 เท่า
- การใช้สารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ทำให้ค่า Penetration ต่ำกว่า และมีจุดอ่อนตัว (Softening Point) และค่า Viscosity สูงกว่าการใช้สารผสมเพิ่ม SBS เมื่อใช้ในปริมาณที่เท่ากัน จึงทำให้ต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงกว่าและนานกว่าในการหลอมวัสดุแอสฟัลต์
- การใช้วัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ที่ปริมาณ 3% วัสดุจะมีค่า Stiffness ที่สูงกว่าวัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม SBS ที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปกติ ส่งผลให้วัสดุมีความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อและความล้าได้ดีกว่า
- ในขณะที่วัสดุแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย Recycled HDPE มีค่า stiffness ที่สูงกว่า SBS ที่อุณหภูมิต่ำ ส่งให้วัสดุมีโอกาสเกิดการแตกร้าวที่อุณหูมิต่ำได้ง่ายกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการไหลของวัสดุทาง 3 ชนิด โดยการจัดอันดับ กำหนดให้ หมายเลข 1 2 และ 3 วัสดุมีคุณสมบัติดี พอใช้ และปรับปรุง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติการไหลของวัสดุทาง 3 ชนิด

คุณสมบัติ	**ข้อดี**	**AC60/70**	**AC60/70 + Recycled HDPE**	**AC60/70 + SBS**
ใช้ระยะเวลาสั้นในการผสม (short mixing duration)	ประหยัดพลังงานในการผสม	1	3	2
ค่าเพนเนทเทรชันสูง (high penetration)	ประหยัดพลังงานในการผสม	1	3	2
ความยืดหยุ่นกลับสูง (high elastic recovery)	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางแอสฟัลต์และมวลรวมสูง	3	2	1
จุดอ่อนตัวต่ำ (low softening point)	ประหยัดพลังงานในการผสม	1	3	2
ความหนืดต่ำ (low viscosity)	ประหยัดพลังงานในการผสม	1	3	2
ความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิสูง (high PI)	คุณสมบัติไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูง	2	1	2
ความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิต่ำ (low PI)	คุณสมบัติไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำ	1	2	1
ค่า Stiffness สูงที่อุณหภูมิ 25°C	ความต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากการล้าของวัสดุ (high resistance to fatigue cracking)	3	1 (≤3%)	2
ค่า Stiffness สูงที่อุณหภูมิ 60°C	ความต้านทานการเกิดร่องล้อ (high rutting resistance)	3	1 (≤4%)	2
ค่า Stiffness ต่ำที่อุณหภูมิ 5°C	ความต้านทานการเกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิต่ำ (high resistance to low temperature cracking)	2	3	1 high elasticity
คะแนนรวมในการจัดอันดับ		18	22	17

5.2 ข้อสังเกต

- คุณสมบัติการไหลของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE มีการแปรปรวนค่อนข้างมาก เมื่อปริมาณสารผสมเพิ่มมากกว่า 3% ซึ่งอาจเกิดจากการที่ Recycled HDPE เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการแปรรูปและผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ทำให้มีวัสดุอื่นเจือปนได้ง่าย ส่งผลให้ยากต่อการควบคุมคุณภาพของวัสดุในการก่อสร้างถนน
- วัสดุแอสฟัลต์ AC60/70 ที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE จะมีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำ สังเกตจากหลังทำการผสมและทิ้งไว้เกิน 48 ชม. วัสดุผสมเพิ่มจะเกิดการแยกตัวจากแอสฟัลต์ AC60/70 แสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งอาจส่งผลให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

รูปที่ 5.1 การเกิดการแยกตัวของสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาถึงกระบวนการผสมที่เหมาะสม เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการเก็บรักษา (Storage Stability) หรือศึกษาถึงชนิดของสารให้ความคงตัว (stabilizer) ที่เหมาะสมกับวัสดุแอสฟัลต์
- ควรมีการศึกษาสัดส่วนสารผสมเพิ่ม Recycled HDPE ที่เหมาะสม (Optimum additive content) โดยพิจารณาถึงพฤติภาพต่างๆ ของถนน (Pavement Performance) เมื่อนำไปผสมกับมวลรวม (Aggregate) เพื่อผลิตเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต
- ควรมีการศึกษาถึงความคุ้มค่าในการนำวัสดุ Recycled HDPE มาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มแก่วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กาญจน์กรอง สุอังคะ. เอกสารประกอบการเรียน รายวิชา 422332 การทดสอบวัสดุการทาง Highway Material Testing. สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.(2555)

บริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน(PDF.) . บริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์จำกัด(มหาชน). 201: Rev 01/07.

ไพศาล นาคพิพัฒน์. พอลิเอทิลีน สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่ม 28. (Online) Available: URL://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php?q=%BE%CD%C5%D4%E2%BE%C3%E4%BE%C5%D5%B9+%28Polypropylene+%3A+PP%29&select=1#s5] accessed on December 10, 2009.

มีชัย และคณะ ,2555. ยางมะตอยจากการรีไซเคิลถุงพลาสติก.สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.(2555)

มิเชล ลองฟองก์. การใช้ยางมะตอยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยโพลิเมอร์(Polymer Modified Asphalt, PMA) ในประเทศฝรั่งเศส(PDF.). ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บมจ. ทิปโก้แอสฟัลต์

ภาษาอังกฤษ

Freddy L. Robert et al 1996. HOTMIX ASPHALT MATTERIALS, MIXTURE DESIGN AND CONTRUCTION., National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation Lanham, Maryland, Second Edition 1996.

HDPE Containers. High Density Polyethylene (HDPE) (Online) Available: WWW.HDPE-CONTAINERS.COM

Maryruth Belsey Priebe. How to Recycle HDPE (Plastic #2).(Online) Available: www.ecolife.com/recycling/plastic/how-to-recycle-hdpe-plastic-2.html.

Sady Abd Taih 2011. The Effect of Additives in Hot Asphalt Mixtures. Assist. Lecturer, Civil Engineering Department College of Engineering Al Mustansiriyah University Journal of Engineering and Development, Vol. 15, No. 3, September (2011).

Shell Bitumen 2003. The Shell Bitumen Handbook.Thomas Telford Ltd, 1 Heron Quary, London E14 4 JD.

Wikipedia, the Free Encyclopedia. High-Density Polyethylene.(Online)URL: en.wikipedia.org/wiki/HDPE

ภาคผนวก

1. ผลการทดสอบ Penetration Test

ตารางที่ 1 : ค่าเพเนเทรชันของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70, AC60/70 + HDPE และ AC60/70 + SBS

Test	Penetration # 1		Penetration # 2		Penetration # 3		Average
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 1	Specimen 2	
AC60/70	73.9	72.5	72.3	72.4	72.1	71.7	72.5
AC60/70 + HDPE(2%)	42.8	41	41.1	40.9	42.8	41.4	41.7
AC60/70 + HDPE(3%)	56.4	56.1	56.8	56.1	55.2	55.8	56.1
AC60/70 + HDPE(4%)	29.6	28.7	28.1	27	29.6	28	28.5
AC60/70 + HDPE(5%)	26.7	27	26.8	26.7	26.8	26.3	26.7
AC60/70 + SBS(2%)	48.6	48.9	48.2	48.9	48.5	47.7	48.4
AC60/70 + SBS(3%)	53.9	54.6	54.4	53.8	54.5	54.9	54.4
AC60/70 + SBS(4%)	60.9	60.7	60.2	60.2	60.2	60.2	60.4
AC60/70 + SBS(5%)	62.7	61.5	62.5	61.2	62	62.5	62.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. **ผลการทดสอบ Viscosity Test (Brookfield Apparatus)**

ตารางที่ 3 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70

AC 60-70				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100	2660	246.9	9.3	53.2
110	1345	125.6	9.3	26.8
120	735	68.4	9.3	14.7
130	430	39.5	9.3	8.5
140	265	24.6	9.3	5.3
150	170	15.8	9.3	3.4
160	110	10.2	9.3	2.2
170	75	6.98	9.3	1.5

ตารางที่ 4 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + HDPE (2%)

AC 60-70 (HDPE 2%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110	2585	239.5	9.3	52.4
120	1295	120.4	9.3	26.0
130	775	72.5	9.3	15.6
140	465	43.7	9.3	9.4
150	300	27.9	9.3	6.0
160	205	19.1	9.3	4.0
170	145	13.5	9.3	2.9

ตารางที่ 5 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + HDPE (3%)

AC 60-70 (HDPE 3%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110				
120				
130	1205	112.1	9.3	24.1
140	795	74.4	9.3	16.0
150	575	53.5	9.3	11.6
160	425	39.5	9.3	8.5
170	240	22.3	9.3	4.8

ตารางที่ 6 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + HDPE (4%)

AC 60-70 (HDPE 4%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110				
120				
130	1850	171.6	9.3	37.1
140	1170	108.3	9.3	23.3
150	770	71.6	9.3	15.2
160	500	46.5	9.3	10.1
170	350	33	9.3	7.1

ตารางที่ 7 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + HDPE (5%)

AC 60-70 (HDPE 5%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110				
120				
130	2365	219.5	9.3	47.6
140	1570	146.5	9.3	31.4
150	1110	103.2	9.3	22.2
160	650	60.5	9.3	12.9
170	410	38.6	9.3	8.4

ตารางที่ 8 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + SBS (2%)

AC 60-70 (SBS 2%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110	2725	253	9.3	54.6
120	1470	136.7	9.3	29.4
130	880	81.4	9.3	17.4
140	530	49.8	9.3	10.7
150	360	33.5	9.3	7.2
160	265	25.1	9.3	5.4
170	205	19.1	9.3	4.1

ตารางที่ 9 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + SBS (3%)

AC 60-70 (SBS 3%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110				
120				
130	1075	99.5	9.3	21.4
140	685	63.7	9.3	13.7
150	465	43.2	9.3	9.2
160	325	30.2	9.3	6.5
170	240	22.3	9.3	4.8

ตารางที่ 10 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + SBS (4%)

AC 60-70 (SBS 4%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110				
120				
130	1160	107.9	9.3	23.1
140	735	68.8	9.3	14.8
150	500	46.5	9.3	10.0
160	350	33	9.3	7.1
170	250	23.5	9.3	5.0

ตารางที่ 11 : ค่าความหนืดของ ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 + SBS (5%)

AC 60-70 (SBS 5%)				
Temperature	**Viscosity**	**Shear Stress**	**Shear Rate**	**Torque**
(°c)	**(cp)**	**(D/cm²)**	**(1/sec)**	**(%)**
100				
110				
120				
130	1700	158.6	9.3	33.9
140	1105	102.8	9.3	22.2
150	610	55.3	9.3	12.0
160	410	37.7	9.3	8.1
170	255	23.7	9.3	5.1

3. **Softening Point (Ring&Ball Apparatus)**

ตารางที่ 12 : ค่าคืนตัวกลับของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70, AC60/70 + HDPE และ AC60/70 + SBS

Test	**Temperature (°C)**		**Average**
	Specimen 1	**Specimen 2**	
AC60/70	47	47	47
AC60/70 + HDPE(2%)	56	56	56
AC60/70 + HDPE(3%)	58	58	58
AC60/70 + HDPE(4%)	100	100.5	100.3
AC60/70 + HDPE(5%)	123	123	123
AC60/70 + SBS(2%)	52	53	52.5
AC60/70 + SBS(3%)	53	53.5	53.3
AC60/70 + SBS(4%)	54	54	54
AC60/70 + SBS(5%)	56	56.5	56.3

4. **ผลการทดสอบ Penetration Index (PI)**

ตารางที่ 13 : ค่าคืนตัวกลับของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70, AC60/70 + HDPE และ AC60/70 + SBS

Test	Penetration @ 25 (°C)	Temp. Softening point(°C)	A	PI
AC60/70	72.483	47	0.047	-1.0982
AC60/70 + HDPE(2%)	41.667	56	0.041	-0.2275
AC60/70 + HDPE(3%)	56.067	58	0.035	0.9128
AC60/70 + HDPE(4%)	28.500	100.25	0.0193	5.2883
AC60/70 + HDPE(5%)	26.717	123	0.015	7.1114
AC60/70 + SBS(2%)	48.467	52.5	0.044	-0.6656
AC60/70 + SBS(3%)	54.350	53.25	0.041	-0.2187
AC60/70 + SBS(4%)	60.400	54	0.039	0.2229
AC60/70 + SBS(5%)	62.067	56.25	0.036	0.8055

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี