



การศึกษาและพัฒนาวัสดุผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยยางป่นรีไซเคิล
Development of Hot Mixes of Asphaltic Concrete with Recycled Rubber

กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ
วีระเทพ ชนินทรเทพ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายจ่ายประจำงบประมาณ พ.ศ.2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การศึกษาและพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยยางป่นรีไซเคิล
Development of Hot Mixes of Asphaltic Concrete with Recycled Rubber

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการปูผิวทางจราจร โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมยางรถยนต์เก่า (crumb rubber) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อเลือกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ที่ดีที่สุด นำไปผสมกับมวลรวมเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลติกคอนกรีต โดยผลการทดสอบ พบว่า การผสมยางรถยนต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 11 ลงในยางแอสฟัลต์ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานดีที่สุด และเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลติกคอนกรีต พบว่า ค่า Marshall stability มีค่าเพิ่มขึ้นและค่า Marshall Flow ลดลง โดยแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางรถยนต์เก่า มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากขึ้น 18 % เมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70 และมีความต้านทานการความล้ามาก 1.59 เท่า เมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/7

คำสำคัญ: คุณสมบัติแอสฟัลต์/ แอสฟัลต์ปรับปรุงคุณภาพ/ยางรถยนต์

Abstract

This paper present the engineering properties of asphalt (AC 60/70) modified with different ratios of crumb rubber. Then select the best properties of the binder to mix asphaltic concrete. From laboratory testing results, with adding 11% crumb rubber into mixtures for the best results. The properties of asphaltic concrete can be improved by adding 11% crumb rubber. For asphaltic concrete, Marshall Stability increased and flow decreased with adding crumb rubber into asphalt. Comparing to ordinary asphaltic concrete (AC 60/70), the rutting resistance was increased 18% for crumb rubber modified asphalt, respectively. Moreover, the fatigue resistance of crumb rubber modified asphalt improved to be 1.59 times compared to AC 60/70.

Keywords: Asphalt Modified, , Crumb Rubber

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย เพราะได้รับความร่วมมือช่วยเหลือและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยนี้ อาทิครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจในการทำงาน ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ใช้งบประมาณสนับสนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนด้านอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบ ขอขอบคุณ Dr.Yuhong Wang คณะวิศวกรรมศาสตร์ The Hong Kong Polytechnic University ที่คอยให้คำชี้แนะด้านวัสดุพิวทาง และแลกเปลี่ยนข้อมูลการทดสอบ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักน้อยสำหรับผู้ที่สนใจในการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสาน หรืองานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก	
กิตติกรรมประกาศ	ข	
สารบัญ	ค	
บัญชีตาราง	จ	
บัญชีภาพประกอบ	ฉ	
บทที่ 1	บทนำ	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3	สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4	ขอบเขตการวิจัย	3
1.5	ขั้นตอนของการศึกษา	3
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1	คำจำกัดความของ Asphalt และประเภทของ Asphalt ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน	4
2.2	โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดแอสฟัลต์)	7
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต วัสดุปูผิวทางที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิล (Crumb Rubber Asphalt (CRA)	9
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	17
3.1	แนวทางทดสอบและวิเคราะห์วัสดุปูผิวทาง	18
3.1.1	การแบ่งการกลุ่มตัวอย่างการทดสอบ	18
3.1.2	การแบ่งการทดสอบ	18
3.1.3	แนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ	20
3.2	รายละเอียดและวิธีการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการ	23
3.2.1	Softening Points Test	23
3.2.2	Flash Point Test	23
3.2.3	Penetration Test	24
3.2.4	Rolling Thin Film Oven Test	24
3.2.5	Pressure Aging Vessel Test	25
3.2.6	Dynamic Shear Theology Test	26
3.2.7	Rotational Viscosity Test	27
3.2.8	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test	28
3.2.9	Wheel Tracking Test	29
3.2.10	Marshall Test	30
3.2.11	Indirect Tensile Fatigue Test	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.1	การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมยางรีไซเคิล.....	32
4.1.1	จำนวนตัวอย่าง	32
4.1.2	การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมยางรีไซเคิล	33
4.2	ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน	34
4.2.1	การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test).....	34
4.2.2	การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point Test).....	35
4.2.3	การทดสอบ Penetration (Penetration Test).....	35
4.2.4	การทดสอบความหนืด (Rotational Viscosity Test).....	36
4.2.5	การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO).....	37
4.2.6	การทดสอบ Dynamic Shear Theology	38
4.2.7	การทดสอบ Pressure Aging Vessel.....	39
4.2.8	สรุปผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสาน (Binders Test).....	40
4.3	ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต	41
4.3.1	การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล.....	41
4.3.2	การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM).....	41
4.3.3	ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT)	42
4.4	การศึกษาด้านการเงินเบื้องต้น.....	43
4.4.1	สมมติฐานในการศึกษา.....	43
4.4.2	ผลการศึกษา	43
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษา	45
5.1	วัสดุเชื่อมประสาน	45
5.2	แอสฟัลติกคอนกรีต	46
5.3	การพิจารณาด้านการเงินเบื้องต้น	46
เอกสารอ้างอิง		47
ภาคผนวก บทความวิชาการ		48
ประวัติย่อผู้วิจัย.....		59

บัญชีตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ของ Asphalt	4
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบวิธีการตัดยางรถยนต์ทั้ง 2 วิธี.....	12
ตารางที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test).....	19
ตารางที่ 3.2 การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต	19
ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆทางด้านวิศวกรรมในแต่ละการทดสอบ.....	20
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดความสัมพันธ์ต่างๆในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิศวกรรม.....	21
ตารางที่ 4.1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder).....	32
ตารางที่ 4.2 จำนวนตัวอย่างการทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต	33
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน	40
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล	41
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT) ที่อุณหภูมิ 60° C.....	42
ตารางที่ 4.6 ความทนทานและสัดส่วนผสมยางรีไซเคิล.....	43
ตารางที่ 4.7 ราคาของวัสดุผสมใน Rubberized Asphalt	44
ตารางที่ 4.8 ตารางค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางตลอด 20 ปี	44



บัญชีภาพประกอบ

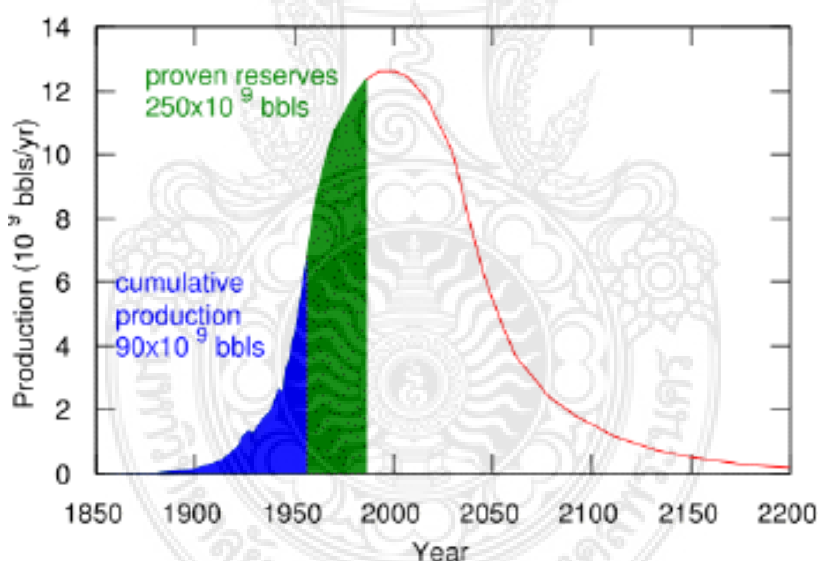
หน้า

รูปที่ 1.1 ปริมาณน้ำมันจากการสำรวจตามรายงาน Peak - Oil Report	1
รูปที่ 2.1 หลักการผลิต Emulsified Asphalts	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดแอสฟัลต์).....	7
รูปที่ 2.3 การตัดที่อุณหภูมิปกติ	11
รูปที่ 2.4 การตัดที่อุณหภูมิเย็นจัด.....	11
รูปที่ 2.5 การผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลติกคอนกรีตแบบเปียก	13
รูปที่ 2.6 การนำแอสฟัลต์ผสมยางรีไซเคิลปูผิวทาง บริเวณ Eco Park ที่ประเทศฮ่องกง.....	14
รูปที่ 2.7 การนำยางรีไซเคิล มาใช้ผสมยางมะตอยในการปูผิวทาง ที่ฮ่องกง	16
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	17
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างยางรีไซเคิลปน และแอสฟัลต์ ชนิด AC60/70 ตามลำดับ	18
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การทดสอบ Softening Points	23
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์การทดสอบ Flashing Point.....	24
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การทดสอบ Penetration.....	24
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test	25
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดสอบ Pressure Aging Vessel Test	26
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดสอบ Dynamic Shear Theology Test.....	27
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์การทดสอบ Rotational Viscosity Test	28
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM).....	29
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์การทดสอบ Wheel Tracking Test.....	29
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์การทดสอบ Marshall Test	30
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT).....	31
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ผสมวัสดุเชื่อมประสาน	33
รูปที่ 4.2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point).....	34
รูปที่ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point).....	35
รูปที่ 4.4 Penetration ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข้มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที	35
รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส.....	36
รูปที่ 4.6 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส.....	36
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)..	37
รูปที่ 4.8 ค่า % Retain Penetration ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO).....	37
รูปที่ 4.9 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)	38
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสานทั้งก่อนและหลัง RTFO..	39
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร ที่อุณหภูมิ 13 ° C	39
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืบตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต.....	42

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการก่อสร้าง และการบูรณะปรับปรุงสภาพสายทางถือเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาประเทศไทยในด้านการคมนาคมขนส่งทั้งการขนส่งคน และการขนส่งสินค้า เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ โดยความเสียหายที่เกิดกับสายทางที่เปิดให้ใช้งานมาในระยะหนึ่งตามอายุไขของการใช้งาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุง ซ่อมแซม หรือก่อสร้างใหม่ให้มีสภาพการใช้งานที่ดีอยู่เสมอ ส่วนผสมในการผลิต Mixed Asphalt ในปัจจุบันจะมีการใช้ Bitumen เป็นองค์ประกอบหลักในการเพิ่มการเกาะตัวของ Mixed Asphalt และให้ความหนืด (Viscosity) ของ Mixed Asphalt สำหรับการใช้งานในการก่อสร้างทาง Bitumen เป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งในปัจจุบันราคาน้ำมันมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่จากการสำรวจโดยรวมมีการลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตามรายงาน Peak - Oil Report ที่มีการเผยแพร่อย่างแพร่หลายได้มีการคาดการณ์ว่าระดับน้ำมันในโลกจะอยู่ในจุดสูงสุดในช่วงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ.2010) และหลังจากนั้นจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระดับทรัพยากรน้ำมันดิบในโลกจะหมดลงในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ.2050) ดังแสดงในรูปที่ 1



ที่มา : Hubbert, Marion King (June 1956)

รูปที่ 1.1 ปริมาณน้ำมันจากการสำรวจตามรายงาน Peak - Oil Report

ซึ่งในการพัฒนาวัสดุ และระบบต่างๆในมุมมองของการพัฒนาอย่างยั่งยืนจำเป็นที่จะต้องหาทางเลือกอื่นในการลดสัดส่วนการใช้วัสดุ Bitumen ในองค์ประกอบของสารยึดเหนี่ยว (Binder) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเริ่มพัฒนาการใช้ยางรถยนต์ที่ได้จากการ Recycle (Recycled Rubber) เข้ามาเป็นวัสดุทดแทนในส่วนของการใช้ Bitumen โดยที่งานวิจัยในด้านดังกล่าวเป็นการพัฒนาส่วนผสมในรูปแบบ Rubberized Mix ซึ่งจะเป็นการใช้ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ให้เป็นผงยางในขนาดที่เหมาะสม

(ขนาดเดียวกับ Filler Material) เป็นส่วนผสมในรูปแบบ Wet - Mix หรือผสมรวมโดยตรงกับวัสดุประสานในขั้นตอนการผสม Mixed Asphalt โดยประโยชน์ของการใช้ Recycled Rubber นอกเหนือจากการลดสัดส่วนการใช้ Bitumen แล้วยังเป็นการเพิ่มคุณภาพผิวทางในด้านการลดระดับของร่องล้อ (Rutting) หรือการหลุดตัวของผิวทาง และเพิ่มความทนทานของผิวทางต่ออุณหภูมิที่สูง ซึ่งเป็นลักษณะการพัฒนาผิวทางในรูปแบบที่มีคุณภาพเหนือกว่าผิวทางแบบปกติ (High - Performance Pavement) การใช้ Recycled Rubber เป็นส่วนผสมใน Mixed Asphalt ยังส่งผลประโยชน์ในเชิงสิ่งแวดล้อม เช่น การลดมลภาวะทางเสียงตามผิวทาง และลดปริมาณการใช้ Bitumen ซึ่งเป็นสารที่สกัดจากน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่เป็นจุดด้อยของ Recycled Rubber คือ อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสภาพให้อยู่ในสถานะของเหลว (Liquid State) สำหรับการผสมนั้นมีค่าที่สูงกว่า Bitumen โดยอาจจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นในการทำ Mixed Asphalt ดังนั้นโครงการศึกษานี้จะทำการทดสอบ ประเมินประสิทธิภาพ และความเป็นไปได้ทั้งในเชิงวิศวกรรม ในการปรับใช้การผลิต Mixed Asphalt โดยที่ใช้ Recycled Rubber แทนที่ Bitumen Binder ในสัดส่วนที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และพัฒนาการใช้ Rubberized Mix โดยใช้วัสดุผสมยางรีไซเคิลที่ได้มีการดำเนินการ ทั้งใน และต่างประเทศ รวมถึงการศึกษา
- 2) เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของ Rubberized Asphalt และระบุสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผสม และผลิต Rubberized Asphalt โดยพิจารณาจากสภาพอากาศ และสภาพการใช้งานในเมืองไทย และวัสดุที่มีอยู่ในประเทศ
- 3) เพื่อพัฒนามาตรฐานสำหรับส่วนผสม และกระบวนการในการผลิต Rubberized Asphalt ที่เหมาะสมสำหรับถนนของประเทศไทย โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรม และการเงินเบื้องต้น
- 4) เพื่อเป็นแนวทางและข้อมูลสำหรับงานวิจัยต่อไป

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การผสมยางรีไซเคิลลงในแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 สามารถช่วยให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานและแอสฟัลต์คอกกรีต มีคุณภาพสูงขึ้นหากใช้ในอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะ ซึ่งสามารถยืดอายุการใช้งานของถนนได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

เพื่อความชัดเจนของงานวิจัยผู้วิจัยจึงได้มีการระบุขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

- 1) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย แอสฟัลต์ ชนิด AC60/70, ยางรีไซเคิลชนิดป่นขนาด 40 เมตร
- 2) การทดสอบวัสดุต่างๆทุกกระบวนการ ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทั้งสิ้น
- 3) การทดสอบและวิเคราะห์ผลทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนผสมต่างๆของรีไซเคิล กับ แอสฟัลต์ ชนิด AC60/70 โดยอ้างอิงมาตรฐานสากลในปัจจุบัน เช่น ASTM, AASHTO และ มอก.

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการในการวิจัยโดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบตัวอย่างของวัสดุส่วนระหว่าง ยางมะตอย (Asphalt) กับ ยางรีไซเคิล (Recycled Rubber) ในแต่ละสัดส่วน เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ของวัสดุส่วนระหว่าง ยางมะตอย(Asphalt) กับ ยางรีไซเคิล (Recycled Rubber) เพื่อสรุปเป็นข้อเสนอแนะในการระบุ มาตรฐานการผสมที่เหมาะสมในการปูถนน

ขั้นตอนที่ 4 นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ในขั้นตอนที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางการเงินเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลการศึกษา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพิ่มความคงทนต่อผิวทาง ส่งผลให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงทาง
- 2) ลดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดการปล่อยควันฝุ่นละออง และกลิ่นจากการปูผิวทาง เป็นต้น
- 3) เพิ่มประสิทธิภาพต่อคุณสมบัติของผิวทาง เช่น มีการเกาะตัวที่ดี ง่ายต่อการขนส่งทางไกล เพื่อใช้ซ่อมแซมผิวทางในที่ห่างไกล ไม่ส่งผลกระทบต่อรอยแตกเดิม

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความของ Asphalt และประเภทของ Asphalt ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน

1) คำจำกัดความของ Asphalt

แอสฟัลต์ คือ วัสดุประสานสีน้ำตาลเข้มถึงดำ สภาพแข็งหรือกึ่งแข็ง เมื่อวิเคราะห์ทางกายภาพ แอสฟัลต์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

- Asphaltenes เป็นผงสีน้ำตาลเกือบดำ สลายตัวเมื่อถูกความร้อนไม่ละลายใน n - Heptane
- Asphaltic Rasins เป็นของแข็งสีน้ำตาลแก่ เพราะ จะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนโดยละลายได้เมื่อให้อุณหภูมิสูง 200°F และสามารถละลายได้ใน n - Heptane
- Oily Constituents มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลแกมแดง

โดย Asphaltenes จะห่อหุ้ม Asphaltic Rasins แล้วแขวนลอยอยู่ในส่วนของ Oily Constituents ซึ่งส่วนประกอบของ Asphaltenes และ Asphaltic Rasins เป็นสมบัติที่แท้จริงของยางมะตอย คือ เหนียวและยืดหยุ่นได้ที่อุณหภูมิปกติ มีความหนาแน่น 1.01-1.04 และมีองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ของ Asphalt

ธาตุ	สัดส่วน (%)
C	82 - 88
H	8 - 11
S	0 - 6
N	0 - 1
O	0 - 1.5

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

คุณสมบัติที่สำคัญของ Asphalt ที่ทำให้เป็นที่นิยมในการเลือกมาใช้งานต่างๆ ได้แก่

- สมบัติในการยึดและประสาน (cementing)
- สมบัติการป้องกันน้ำซึม (water proofing)
- สมบัติที่เปลี่ยนเป็นของเหลวหรืออ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อถูกความเย็น (thermoplastic)
- สมบัติในการทนกรดและด่างอ่อน ๆ

จากสมบัติดังกล่าว ทำให้สามารถนำแอสฟัลต์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย โดยเฉพาะ นำมาใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะวัสดุต่างๆ ในการทำผิวจราจร นอกจากนี้ ยังใช้แอสฟัลต์ในการลาด คลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำ สระน้ำ ผิวหน้าเขื่อนดินเพื่อป้องกันน้ำซึม และยังใช้ในวงการ อุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ทำสีกันสนิม กระดาษกันซึม กระเบื้องยางปูพื้น เคลือบภายในท่อน้ำ เป็นต้น

2) ประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร

- แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ การนำไปใช้งานต้องต้มให้เหลวโดยใช้อุณหภูมิ 200° - 300°F และแบ่งเป็นเกรดต่างๆ ตามค่าเพนิเทรชัน (penetration) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ คือ จำนวนหน่วยของระยะ (1 หน่วย = 0.1 มิลลิเมตร) ที่เข็ม มาตรฐานซึ่งถูกกดด้วยน้ำหนัก 100 กรัม จมลงในแอสฟัลต์เป็นเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิ 77°F (25°C) เช่น เข็มจมลงไป 10 มิลลิเมตร ค่า เพนิเทรชันเท่ากับ 10/0.1 หรือเท่ากับ 100

แอสฟัลต์ซีเมนต์แบ่งได้ 3 ชนิด ตามผู้ผลิต คือ Penetration Grade, Blown Grade และ Hard Grade

- Penetration Grade เป็นยางที่ได้จากการกลั่นน้ำมันโดยตรง มีเกรดมาตรฐาน 5 เกรด คือ 40/50 60/70 80/100 120/150 และ 200/300 เพื่อให้สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานและสภาพดินฟ้าอากาศของแต่ละพื้นที่ เช่น ประเทศไทยเป็นเขตภูมิอากาศร้อน ควรใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ค่อนข้างต่ำ คือ 60/70 แต่ในประเทศหนาวอาจต้องใช้ถึงเกรด 120/150 หรือสูงกว่า

- Blown Grade คือ แอสฟัลต์ที่ได้จากการนำเอาแอสฟัลต์ ชนิด Penetration Grade ไปเป่าลม ใส่ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250° - 300°C ซึ่งทำให้สมบัติทางด้านความแข็งและการทนความร้อนของยาง ดีขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของ Asphaltene ในเนื้ออย่างสูงขึ้น ได้แก่ R.85/25 R.85/40 R.115/15 R.135/10 R.155/7 เช่น R.85/25 หมายถึง

- R : Rubbery หมายถึงมีสมบัติบางส่วนใกล้เคียงยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติ
- 85 : ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ (softening point) หน่วยเป็น ° C วัด โดยใช้เครื่องมือ Ring and Ball Test (แอสฟัลต์ชนิดนี้อ่อนตัว ในช่วงอุณหภูมิ 80-90° C)
- 25 : ค่าเพนิเทรชัน

- Hard Grade คือ ยางที่ได้จากการนำแอสฟัลต์ ชนิด Penetration Grade ไปกลั่นต่อภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิสูง ทำให้ได้ แอสฟัลต์ที่มีความแข็งมากขึ้น ได้แก่ H 80/90 หมายถึง

- H : Hard
- 80/90 : ค่าจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 80 - 90 ° C แต่ค่าเพนิเทรชัน ของแอสฟัลต์ ชนิดนี้ไม่ได้แสดงไว้ โดยจะอยู่ในช่วง 6 - 12 เท่านั้น

ในการทำผิวจราจรด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ ต้องทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ อยู่ในสภาพของเหลวด้วยความร้อน แล้วจึงผสมกับวัสดุมวลรวม (หิน ทราย กรวด ฯลฯ) ก่อนการบดอัด ซึ่งเมื่อปล่อยให้เย็นลง แอสฟัลต์ซีเมนต์จะเคลือบวัสดุมวลรวม และจับตัวเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความแข็งแรงและทนทานขึ้น

- แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid Asphalt)

แอสฟัลต์ชนิดเหลว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- Cutback Asphalts เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ ไปละลายในตัวทำละลาย (solvents) ซึ่ง ได้แก่ น้ำมัน ต่างๆ เช่น Naphtha (Gasoline) Kerosine และ Diesel Oil น้ำมันที่ใช้เป็นสารละลายนี้ เรียกรวมว่า Diluent หรือ Culter Stock แอสฟัลต์ชนิดนี้มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา และจะข้นหรือเหลวขึ้นกับ ชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ Culter Stock ตลอดจนสัดส่วนระหว่างแอสฟัลต์ กับ Culter Stock การใช้ งานแอสฟัลต์ชนิดนี้ เมื่อทำการบดอัดแล้วจะปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยไป จะเหลือแต่แอสฟัลต์

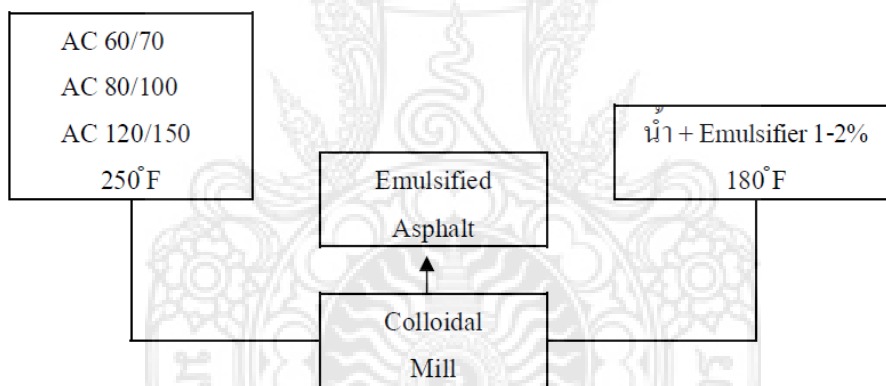
ซีเมนต์ ทำหน้าที่ประสานวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน Cutback Asphalt แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามชนิด ตัวทำละลาย คือ

ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Curing, RC) ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว ได้แก่ Neptha (Gasoline) แอสฟัลต์ชนิดนี้แข็งตัวเร็ว ส่วนมากใช้กับงาน Surface treatment

ชนิดแข็งตัวปานกลาง (Medium Curing, MC) ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลาง ได้แก่ Kerosine จะมีการแข็งตัวช้ากว่าชนิด RC การใช้งานต้อง ใช้เวลาในการบ่มตัวนาน (Curing) ส่วนมากใช้กับงาน Prime Coat Tack Coat เพื่อให้ MC มี โอกาสซึมลงไปใต้ผิว Base Course ได้มาก

ชนิดแข็งตัวช้า (Slow Curing, SC) ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ กับน้ำมันที่ระเหยช้า ได้แก่ Diesel Fuel Oil หรืออาจผลิตได้จากการกลั่นโดยตรง มักนิยม เรียกว่า Road Oils ส่วนมากใช้ทำ Road Mix หรือใช้ในงานซ่อม (patching) แต่ไม่นิยมใช้ในประเทศไทย

- Emulsified Asphalts คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ถูกตีให้แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ (colloidal particles) โดยกระจายอยู่ในน้ำที่มี Emulsifier ผสมอยู่เล็กน้อย Emulsified Asphalts ผลิตได้โดยใช้ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 250°C ผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170°C โดยมีสารเคมีช่วยในการให้อนุภาคของ แอสฟัลต์กระจายตัวซึ่งเรียกว่า Emulsifier ผสมอยู่ น้ำและแอสฟัลต์ถูกตีด้วยเครื่อง Colloidal Mill ทำให้แอสฟัลต์แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

รูปที่ 2.1 หลักการผลิต Emulsified Asphalts

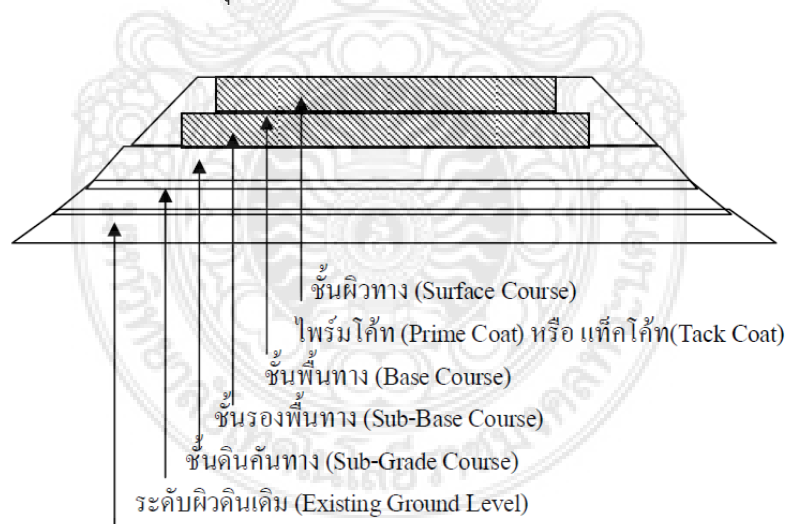
Emulsifier เป็นตัวกำหนดสมบัติของ Emulsion Asphalt ตามชนิดของประจุ คือชนิดประจุไฟฟ้าลบ (Anionic) ประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) และชนิดที่เป็นกลาง (Nonionic) แต่ในการก่อสร้างใช้ชนิด ประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ ส่วนในงานสร้างถนนนิยมใช้ Cationic Emulsified Asphalt มากกว่า Anionic Emulsified Asphalt เนื่องจากหินที่ใช้ในการก่อสร้างมีผิวที่เป็นประจุลบ ซึ่งตรงข้ามกับ Asphalt particle ของ Cationic Emulsified Asphalt การใช้งานแอสฟัลต์ชนิดนี้ นำไปใช้ในงานประเภท Penetration Macadam Surface Treatment Prime Coat Track Coat และ Seal Coat เป็นต้น เนื่องจากแอสฟัลต์ชนิด นี้มีน้ำเป็นส่วนผสม สามารถนำไปใช้งานโดยผสมกับส่วนอื่นที่เป็นน้ำได้ และยัง สามารถทำงานในขณะที่ วัสดุอื่นๆ เปียกน้ำได้ (Anionic Emulsified Asphalt จะใช้ Emulsifier เป็นพวก

Fatty acid ซึ่งทำให้อนุภาค แอสฟัลต์แสดงประจุไฟฟ้าเป็นประจุลบ ส่วน Cationic Emulsified Asphalt จะใช้ Emulsifier เป็นพวก Fatty Amines ซึ่งทำให้อนุภาคแอสฟัลต์มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก)

2.2 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดแอสฟัลต์)

ปัจจุบันโครงสร้างของถนนลาดยางแอสฟัลต์ ในประเทศไทยประกอบด้วยชั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- ชั้นผิวทาง (Surface Course) คือ ชั้นบนสุดของทางที่เป็นผิวจราจร มี 3 แบบ คือ
 - Asphaltic Concrete (Hot-mix Asphalt)
 - Surface Treatment
 - Penetration Macadam
- ไพรม์โค้ท (Prime Coat) คือ ส่วนของแอสฟัลต์เหลวที่ราดบนผิวทางเพื่อยึดเหนี่ยวเชื่อมผิวทาง
- ชั้นพื้นทาง (Base Course) คือ ชั้นส่วนวัสดุที่มีคุณสมบัติ เช่น หินไม่ หรือกรวดไม่ ซึ่งมี ขนาดคละกัสนสม่ำเสมอจากขนาดใหญ่มาหาเล็ก หรือเป็น Asphaltic Concrete แบบเดียวกับ ผิวทางก็ได้ โดยบดทับแน่นบนชั้นรองพื้นทาง
- ชั้นรองพื้นทาง (Sub - Base Course) คือ ชั้นส่วนวัสดุรองใต้พื้นทาง โดยทั่วไปมักจะเป็น ลูกรีงหรือส่วนของดินที่มีคุณสมบัติ บดอัดแน่นบนชั้นดินคั่นทาง (Sub - Grade Course)
- ชั้นดินคั่นทาง (Sub - Grade Course) คือ วัสดุที่ดี เสริมและบดอัดแน่นบนผิวดินเดิม (Existing Ground Level) มีแนวและระดับตามที่ออกแบบ
- ไหล่ทาง (Shoulder) คือ ส่วนที่เสริมด้านท้ายริมสุดของผิวทางและพื้นทางทั้งสองข้างให้ แน่น และได้ระดับเท่าผิวทาง วัสดุที่ใช้เหมือนรองพื้นทาง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดแอสฟัลต์)

ในปัจจุบันการสร้างถนนลาดแอสฟัลต์ส่วนใหญ่ผิวทางจะเป็นแบบ Asphaltic Concrete (Hot-Mix Asphalt) ซึ่งเป็นวัสดุผสมที่ได้จากการผสมมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่หลอมเหลว แบบผสมร้อน (Hot - Mix) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด ส่วนมากต้องผสมที่ โรงงานผสม

- มวลรวม ประกอบด้วยวัสดุ 3 ชนิด
 - มวลหยาบ คือ หินย่อยหรือวัสดุอื่นที่แข็งและคงทน
 - มวลละเอียด คือ หินฝุ่นหรือทราย
 - วัสดุผสมแทรก ใช้ในกรณีที่ผสมมวลหยาบและมวลละเอียดแล้ว ส่วนละเอียดในมวลรวมยังไม่พอ วัสดุผสมแทรกอาจเป็น Stone Dust, Portland Cement, Silica Cement, Hydrated Lime และอื่น ๆ
- แอสฟัลต์ ส่วนใหญ่ใช้ AC 60/70 ปริมาณ 3 - 8% แล้วแต่ชนิดงาน
- การเตรียมการก่อสร้าง Asphaltic Concrete
 - รองพื้นทาง พื้นทาง ไหล่ทางต้องเรียบสม่ำเสมอได้มาตรฐาน
 - ทำ Prime Coat หรือในบางกรณีอาจต้องทำ Tack Coat ด้วย มวลรวมก่อนผสมต้องทำให้ร้อน $163 \pm 8^{\circ}\text{C}$ และแอสฟัลต์ก่อนผสมต้องทำให้ร้อน $159 \pm 8^{\circ}\text{C}$ ผสมเสร็จแล้ว ก่อนนำออกจากโรงงานผสมต้องมีอุณหภูมิ 121- 168 $^{\circ}\text{C}$

นอกจากนี้ ปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกในปัจจุบันสูงขึ้นมาก ทำให้ถนนที่ทำ ด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต เกิดปัญหาในเรื่องผิวทางชำรุดเสียหายเร็วกว่าปกติ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการ ซ่อมแซมและบำรุงรักษาสูงขึ้นมาก โดยลักษณะความเสียหายที่พบเป็นดังนี้

- ผิวทางเยิ้ม (Bleeding) เป็นปรากฏการณ์ที่แอสฟัลต์ในผิวทาง Asphalt Concrete ไหลขึ้นมา รวมกันที่ผิวหน้าเมื่อแดดร้อน แอสฟัลต์จะไหลเยิ้ม ทำให้ผิวทางลื่น เกิดเนื่องจากแอสฟัลต์ มีค่าความหนืดต่ำ (Low Viscosity) และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) เร็วมาก
- ผิวทางเกิดร่องล้อ (Rutting) เป็นปรากฏการณ์ที่ผิวทางของแอสฟัลต์ซีเมนต์ยุบตัวเป็นร่อง ตามแนวล้อที่รถแล่นทับ ส่วนมากเกิดหลังจากที่ผิวทางเยิ้มทำให้ผิวทางไม่มั่นคงแข็งแรง พอ จึงเกิดการยุบตัวและขาดคุณสมบัติการยืดหยุ่น (Elastic) ทำให้เกิดการยุบตัวแล้วไม่ กลับคืน
- ผิวทางแตกร้าว (Crack) มีสาเหตุจากผิวทางมีสภาพแข็งเปราะขาดความยืดหยุ่น เมื่อมี น้ำหนัก รถกระทำซ้ำ ๆ (Repeated Load) ผิวทางจะล้า (Fatigue) ทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่เรียก กันว่า Fatigue Crack
- ผิวทางมีผิวหน้าหลุด (Reveling) เป็นปรากฏการณ์ที่ผิวทางสึกกร่อน เพราะวัสดุส่วน ละเอียดที่ผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกแรงเฉือนจากล้อรถตะกุกตะกวยจนหลุดออก ทำให้ผิว ทางมีลักษณะ หยาบขรุขระ

ดังนั้น การแก้ไขปัญหาผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ซำร์ด โดยเฉพาะในถนนที่มีปริมาณการจราจร และปริมาณรถบรรทุกสูง จะต้องปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซึ่งเป็นตัวประสานให้มีสมบัติดังนี้

- เพิ่มความหนืด (Viscosity)
- ลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Susceptibility)
- เพิ่มจุดอ่อนตัว (Softening Point)
- เพิ่มความยืดหยุ่น (Elasticity)
- เพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)
- เพิ่ม Ageing Resistance

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต วัสดุผิวทางที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิล (Crumb Rubber Asphalt (CRA)

การทบทวนในหัวข้อดังกล่าวจะประกอบไปด้วย การทบทวนเทคโนโลยีการรีไซเคิลยาง กระบวนการตัดยางในปัจจุบันที่นิยมใช้ และทบทวนมาตรฐานของการผสมชั้นยางรถยนต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เทคโนโลยีการรีไซเคิลยาง

ยางธรรมชาติเป็นผลผลิตจากธรรมชาติดังนั้นยางธรรมชาติจึงสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามการย่อยสลายทางชีวภาพดังกล่าวไม่จัดว่าเป็นการรีไซเคิลเพราะกระบวนการดังกล่าวต้องใช้เวลานานมาก โดยปกติ “ความสามารถในการรีไซเคิลได้” จะหมายถึงกระบวนการที่สั้นกว่าที่จะนำไปสู่การได้กลับคืนมาของส่วนประกอบดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์หรือการนำผลิตภัณฑ์กลับมาประยุกต์ใช้ใหม่ (reuse) ในงานอื่นหลังจากที่ผลิตภัณฑ์นั้นหมดอายุการใช้งานในครั้งแรกไปแล้ว โดยธรรมชาติแล้ว ยางธรรมชาติสามารถเกิดการย่อยสลายได้เอง แต่ในการใช้งานจริงๆ นั้น ยางธรรมชาติจะต้องถูกนำไปผสมกับสารเคมีต่างๆ ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปและอบให้ยางคงรูปด้วยกระบวนการวัลคาไนเซชัน ดังนั้น โมเลกุลของยางในผลิตภัณฑ์จึงถูกเชื่อมโยงกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ซึ่งการเกิดโครงสร้างดังกล่าวจะส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการรีไซเคิลของยางธรรมชาติ ในอดีตที่ผ่านมาได้มีความพยายามที่จะรีไซเคิลยางกันมาก เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของยางล้อรถเก่าถูกพิจารณาให้เป็นปัญหาสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นี่เป็นเหตุผลว่าทำไมในสหภาพยุโรปจึงมีอนุญาติให้ทั้งยางล้อเก่าอีกต่อไปโดยเริ่มตั้งแต่ พ.ศ. 2546 เป็นต้นไป นโยบายนี้ได้ทำให้ผู้คนให้ความสนใจเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากองค์ประกอบหลักของยางล้อคือยางธรรมชาติ ดังนั้นการนำยางธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่จึงกลายเป็นประเด็นหลักที่ผู้คนให้ความสนใจ โดยทั่วไปการนำผลิตภัณฑ์ยางที่วัลคาไนส์แล้วมารีไซเคิลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- การนำผลิตภัณฑ์หรือบางส่วนของผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ เช่น การหล่อดอกยางใหม่
- การรีเคลมหลังจากการบดผลิตภัณฑ์
- การย่อยสลายผลิตภัณฑ์
- การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการเผาไหม้เพื่อให้ได้พลังงานกลับคืนมา

หลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษากันอย่างจริงจังเกี่ยวกับการรีไซเคิลยางด้วยวิธีต่างๆ จึงส่งผลให้ปัญหาต่างๆ หลุดลงไปมาก อย่างไรก็ตามกระบวนการที่มีการพัฒนาขึ้นมานั้นเกือบทุกกระบวนการล้วนประสบกับปัญหาอื่นๆ ตามมา เช่น ปัญหาในเรื่องของการนำไปสู่เชิงพาณิชย์ (ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีไซเคิลยังไม่สามารถแข่งขันได้กับวัสดุใหม่) และ/หรือปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เป็นที่ชัดเจนว่าการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้

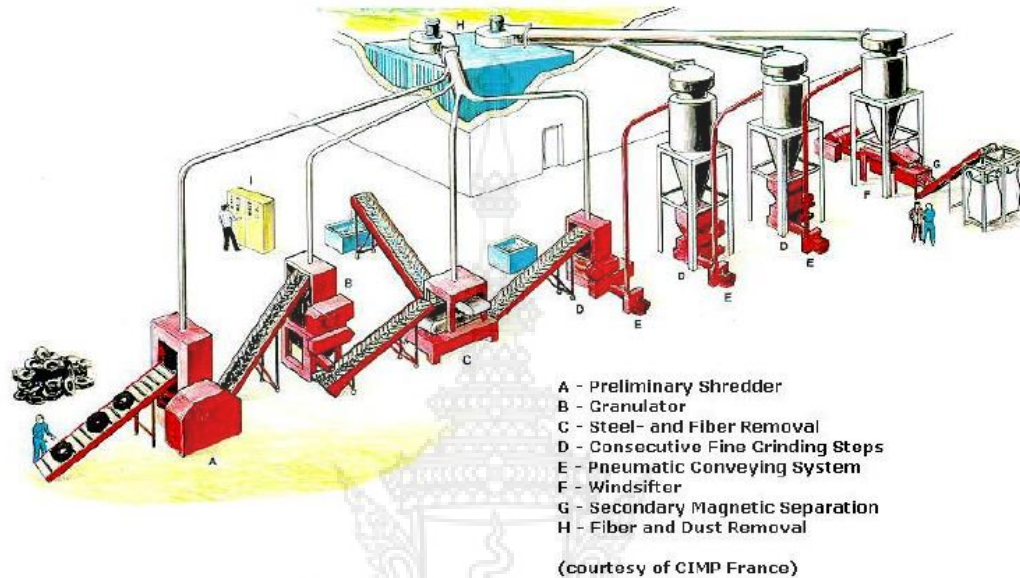
ใหม่เป็นเพียงการเลื่อนปัญหาออกไปในอนาคตเท่านั้นเอง เพราะว่าสุดท้ายแล้วคุณภาพที่เลวร้ายจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ ส่วนการนำผลิตภัณฑ์ยางไปเผาไหม้ถือเป็นทางแก้ปัญหาลำบากซึ่งอาจจะถูกพิจารณาว่าเป็นการสูญเสียวัสดุที่มีค่าไป จากมุมมองนี้แน่นอนว่าในกรณีของยางธรรมชาติเป็นสิ่งที่น่าสงสัยมาก ทำให้ผู้คนจึงเห็นว่าการเผาไหม้ของน้ำมันพืชและเอทานอลซึ่งได้มาจากอ้อย (เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์) จึง “เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม” แต่การเผาไหม้ของยางธรรมชาติซึ่งก็คือเป็นผลิตภัณฑ์จากพืชเช่นกันกลับเป็นสิ่งที่น่ารังเกียจ สถานการณ์ที่แปลกอันหนึ่งก็คือก่อนที่ผลิตภัณฑ์ยางนั้นจะถูกนำมาเผาเพื่อให้กลายเป็นแหล่งพลังงาน ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นส่วนใหญ่จะผ่านการใช้งานมาอย่างยาวนานและคุ้มค่าแล้ว

ดังนั้นจึงดูเหมือนว่าสำหรับเวลานี้เราต้องเลือกวิธีใหม่ 2 วิธี คือ การรีเคลมและการย่อยสลาย การรีเคลมนั้นจะเริ่มต้นด้วยการนำผลิตภัณฑ์ไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการผ่านยางเข้าไปในใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วสูงหรืออาจใช้วิธีการทุบให้ละเอียด ต่อมาก็จะเติมสารที่ทำให้นิ่ม (softeners) และสารเคมีที่ช่วยในการรีเคลม (reclaiming chemicals) ลงไปจากนั้นก็ให้ความร้อน หลังจากขั้นตอนการรีเคลม โครงสร้างร่างแห 3 มิติของยางจะถูกทำลายและยางก็จะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง สามารถไหลและถูกวัลคาไนซ์ใหม่ได้อีกการย่อยสลายเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ยางกลับไปสู่สารประกอบพื้นฐานได้อย่างสมบูรณ์โดยวิธีการย่อยสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) การทำให้เป็นแก๊ส (gasification) หรือการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) กระบวนการนี้จะย่อยผลิตภัณฑ์ยางให้เป็นส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เขม่าดำและสารตัวเติม ฯลฯ ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการต่างๆ ขึ้นมามากมายสำหรับการรีเคลมหรือการย่อยสลาย บางกระบวนการค่อนข้างที่จะเก่า คือ มีวิธีการแบบง่ายๆ ส่วนกระบวนการที่ใหม่นั้นก็จะมีวิธีการที่ซับซ้อน ซึ่งกระบวนการใหม่ล่าสุดเท่าที่ทราบคือกระบวนการที่ได้รับการจดสิทธิบัตรเมื่อปี พ.ศ. 2542 อย่างไรก็ตาม กระบวนการที่พัฒนาขึ้นมาทั้งหมดนี้ล้วนแล้วแต่มีปัญหาเฉพาะตัวทั้งสิ้น บางกระบวนการก็ประสบปัญหาความแปรปรวนของยางในแต่ละแบทช์ที่นำมาใช้ บางกระบวนการก็ประสบกับปัญหาของเสียที่เกิดจากกระบวนการ หรือบางกระบวนการก็ประสบกับปัญหาสิ่งแวดล้อม หรือปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยเนื่องจากมีการใช้สารเคมีที่เป็นพิษรวมถึงอันตรายจากไฟไหม้ เป็นต้น แม้ว่ายางธรรมชาติจะสามารถนำรีไซเคิลได้ง่ายกว่ายางสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรมองข้ามความยุ่งยากที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนของการรีไซเคิลถ้าทำในระดับสเกลที่ใหญ่ เป็นที่ทราบกันดีว่ายางรีเคลมมีสมบัติที่ด้อยกว่ายางใหม่ ดังนั้น การนำยางรีเคลมไปผสมกับยางใหม่จึงน่าจะเป็นทางแก้ปัญหาคำที่ดี ที่ยังคงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่ไม่แตกต่างไปจากเดิมมากนัก ด้วยเหตุนี้ยางรีเคลมจึงกลายเป็นสารเติมแต่งที่มีคุณค่าต่อยางคอมปาวด์ การย่อยสลายผลิตภัณฑ์ยางทำให้ได้องค์ประกอบต่างๆ ที่สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางได้อีกครั้งหรืออาจนำไปใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย

ซึ่งการนำยางที่ใช้แล้ว ไปใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุผิวทางที่เหมาะสมจะต้องผ่านกระบวนการป่นยางให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อนที่จะใช้ในการผสมกับ Bitumen โดยในปัจจุบันมีกระบวนการในการป่นยางเก่าอยู่หลากหลายกรรมวิธี เช่น Ambient Grinding และ Cryogenic Tire Gridding ซึ่งในแต่ละกรรมวิธีจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดของผงยาง ความสะอาด ละคุณสมบัติบางอย่าง เป็นต้น ทางที่ปรึกษาจะทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการป่นยาง เพื่อนำเสนอต่อกรมทางหลวงชนบทให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งานของส่วนผสมวัสดุผิวทางต่อไป

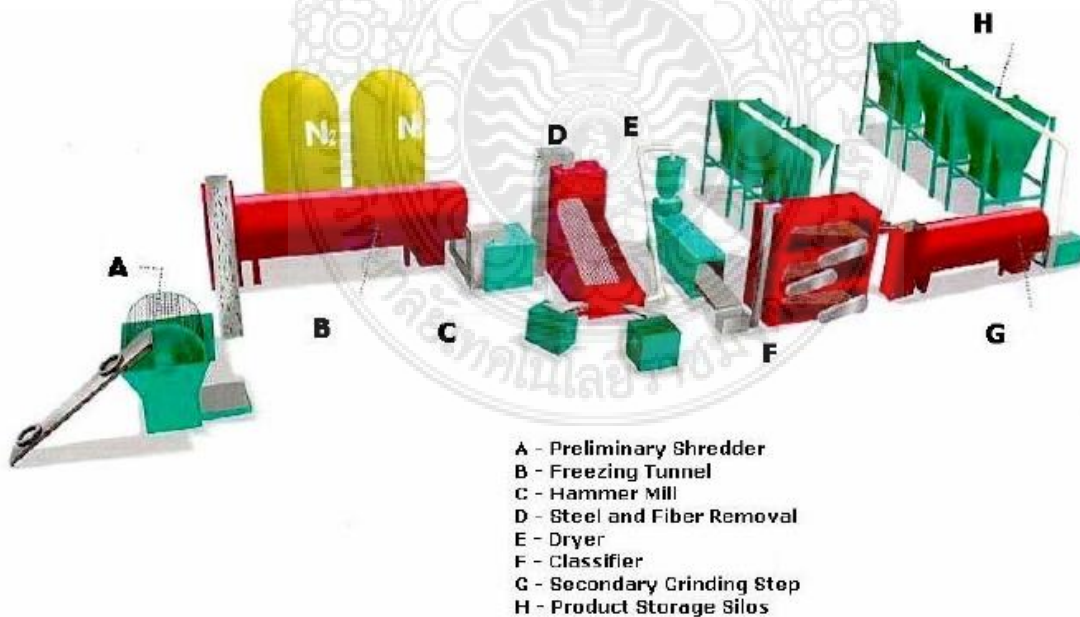
2) เทคโนโลยีการตัดยางรถยนต์

ในปัจจุบันประเทศไทยมีเทคโนโลยีการตัดยางอยู่ 2 วิธี คือ การตัดที่อุณหภูมิปกติ (Ambient) และ การตัดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic) โดยจะทำให้ยางเย็นลงที่อุณหภูมิ -80°C . ดังแสดงขั้นตอนการตัดขึ้นยางในรูปที่ 2.3 การลดอุณหภูมิทำให้สามารถตัดยางได้ง่ายและไม่สิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง 2 กระบวนการ ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์



ที่มา : Reschner, 2549

รูปที่ 2.3 การตัดที่อุณหภูมิปกติ



ที่มา : Reschner, 2549

รูปที่ 2.4 การตัดที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบวิธีการตัดยางรถยนต์ทั้ง 2 วิธี

Parameter	Ambient	Cryogenic
Operating Temperature	ambient, max. 120° C	below - 80° C
Size Reduction Principle	cutting, tearing, shearing	braking cryogenically embrittled rubber pieces
Particle Morphology	spongy and rough, high specific surface	even and smooth, low specific surface
Particle Size Distribution	relatively narrow particle size distribution, only limited size reduction per grinding step	wide particle size distribution (ranging 10 mm to 0.2 mm) in just one processing step
Maintenance cost	higher	lower
Electricity Consumption	higher	lower
LN2 Consumption	N/A	0.5 – 1.0 kgLN2 per kg tire input

ที่มา : Reschner, 2549

ปัจจุบันโรงงานขนาดใหญ่ในประเทศไทยที่นำยางรถยนต์เก่ามารีไซเคิล คือ โรงงานในกลุ่มของบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนากิจ จำกัด ซึ่งใช้กระบวนการตัดยางแบบอนุกรมปกติ มีกำลังผลิต 400 ตันต่อเดือน นับเป็นโรงงานที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชีย โดยยางรถยนต์ทั้งหมดเป็นยางรถบรรทุกขนาดใหญ่เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณเพียงพอในการนำมาเป็นส่วนผสมของวัสดุปูผิวทางในอนาคตได้

● **มาตรฐานการผสมขึ้นยางรถยนต์**

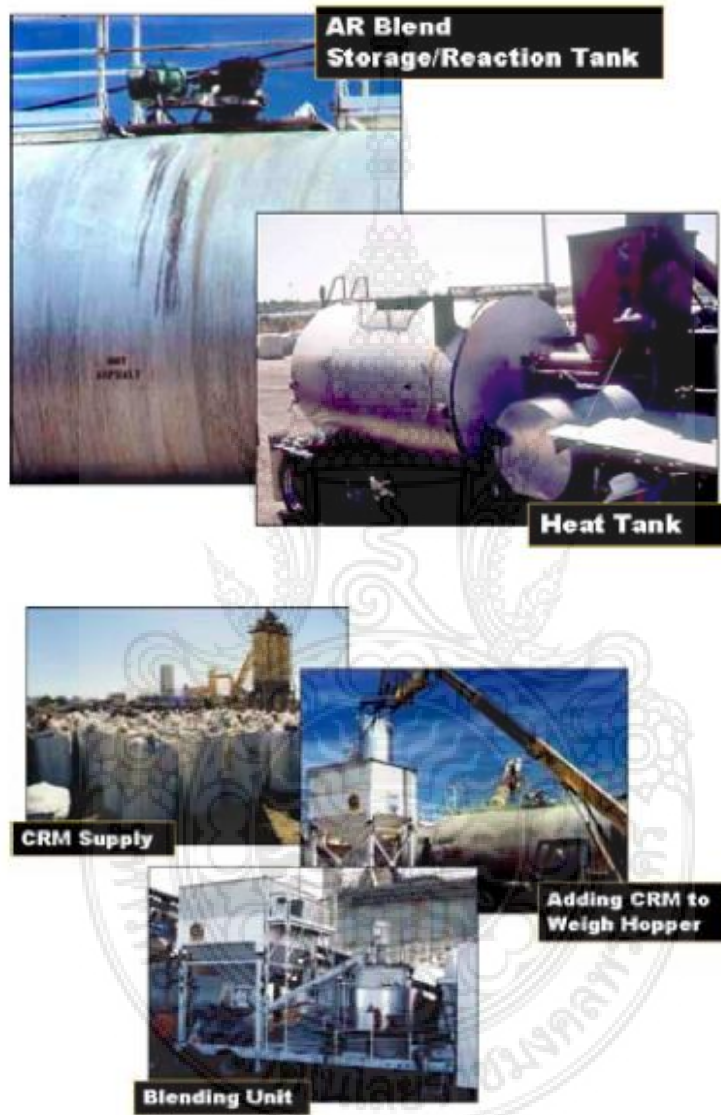
จากการทบทวนมาตรฐาน D6114/6114M 09 ของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้กำหนดมาตรฐานผงบดดังนี้

- ผงบดที่ใช้ในการผสมจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 0.75 % โดยน้ำหนัก
- ต้องไม่มีส่วนผสมของเหล็กปน ปริมาณเส้นใยจะต้องไม่เกิน 0.5 % โดยหน่วยน้ำหนัก
- ต้องไม่มีชิ้นยางที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม.
- กำหนดคุณสมบัติของยางไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของแอสฟัลต์ผสมยางรถยนต์ (D6114/6114M 09)

Binder Designation ^A		Type I	Type II	Type III
Apparent Viscosity, 175°C [347°F]: Pa·s [cP]	min	1.5 [1500]	1.5 [1500]	1.5 [1500]
Modified Test Method D2196 , Method A, (see 5.4) ^{B,C} Pa·s [cP]	max	5.0 [5000]	5.0 [5000]	5.0 [5000]
Penetration, 25°C [77°F] 100g, 5 s:	min	25	25	50
units (Test Method D5)	max	75	75	100
Penetration, 4°C [39°F], 200g, 60 s:	min	10	15	25
units (Test Method D5)				
Softening Point: °C [°F]	min	57	54	52
(Test Method D36)		[135]	[130]	[125]
Resilience, 25°C [77°F]: %	min	25	20	10
(Test Method D5329)				
Flash Point: °C [°F]	min	232	232	232
(Test Method D92)		[450]	[450]	[450]
Thin-Film Oven Test Residue (Test Method D1754) ^D
Penetration Retention, 4°C [39.2°F]: % of original (Test Method D5)	min	75	75	75

ซึ่งการผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลติกคอนกรีตมีวิธีการผสมอยู่ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการผสมแบบเปียก เป็นวิธีที่ผสมผงยางรถยนต์ลงในแอสฟัลต์ที่ร้อน 400-450° F และทิ้งไว้ในอุณหภูมิสูง 325-425° F เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนผสม โดยหลังจากผสมเสร็จจะต้องมีความหนืดและคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสมในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และกระบวนการผสมแบบแห้ง เป็นการแทนที่วัสดุรวมด้วยผงยางรถยนต์ด้วยปริมาณ 1-3% ของมวลรวมละเอียด โดยมวลรวมที่ใช้จะเป็นลักษณะ Gap grade

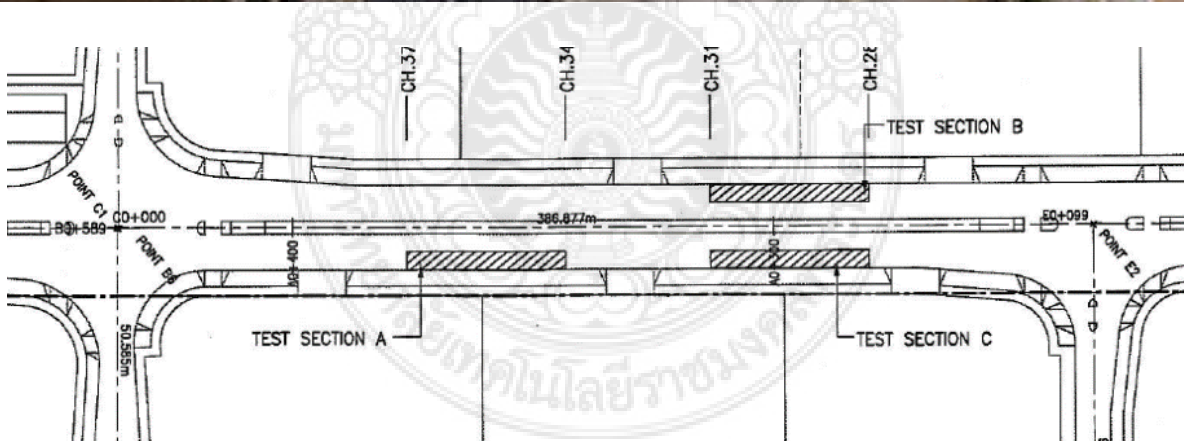


รูปที่ 2.5 การผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลติกคอนกรีตแบบเปียก

3) การนำยางรีไซเคิลผสมแอสฟัลต์มาใช้ในการปูผิวทางที่ประเทศฮ่องกง

จากการทบทวนตัวอย่างการดำเนินการจริงในต่างประเทศ พบว่า ประเทศฮ่องกง ได้มีการศึกษาพัฒนาการใช้ยางรีไซเคิลผสมแอสฟัลต์เพื่อการปูผิวทางในปี พ.ศ.2549 โดยหน่วยงาน Hong Kong Road Research Laboratory (HKRRL) ได้ศึกษาและนำผงยางรีไซเคิลจากยางรถยนต์หรือ crumb rubber มาผสมกับแอสฟัลต์ และดำเนินการทดลองปูผิวทาง บริเวณ Eco Park ดังแสดงในรูปที่ 2.2-6 ในปริมาณสัดส่วนร้อยละ

ละ 10 ซึ่ง crumb rubber ที่นำมาผสมนั้นจะมีขนาดที่แตกต่างกัน เช่น 0.15 มม., 0.30 มม. และ 0.60 มม. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติ และประสิทธิภาพของวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งพบว่า วัสดุประสานที่มีส่วนผสมของ crumb rubber มีคุณสมบัติที่ดีกว่า แอสฟัลต์ เกรด AC 20 และ AC 70 ดังแสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานดังกล่าวในตารางที่ 2.4



ลักษณะการปูผิวทาง

1. อุณหภูมิของยางแอสฟัลต์ก่อนที่จะมีการบดอัดอย่างน้อย 160°C .
2. บดอัดเสร็จก่อนที่อุณหภูมิวัสดุลดลงถึง 110°C .
3. Section A เป็นการปูผิวทางแบบเดิม (AC 70)
Section B และ C เป็นการปูผิวทางโดยมี Crumb Rubber เป็นส่วนผสม

รูปที่ 2.6 การนำแอสฟัลต์ผสมยางรีไซเคิลปูผิวทาง บริเวณ Eco Park ที่ประเทศฮ่องกง

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน

Item	Eco Park Material	Arizona Requirement		
		A	B	C
Softening Point (°C)	50.5	≥ 46	≥ 44	≥ 43
Penetration (25°C, 5s, 100g) (0.1mm)	66	60-80		
Ductility (cm)	> 100	> 100	> 100	> 100
Rotational Viscosity range in Pa•sec, 177°C	3.353	1.5-4.0	1.5-4.0	1.5-4.0
Penetration, 4°C, 200 g, 60 s, 0.1mm	20.1	≥10	≥15	≥25
Softening Point, °C	68.6	≥57	≥54	≥52
Resilience, 25 °C, %	46.5	≥30	≥25	≥15
		Design limits		
Bitumen content of mix, Pb (%)	7.3	-		
Air Void Content, VIM (%)	4.9	4.5-6.5		
Voids in Mineral Aggregate, VMA (%)	20.2	≥ 19		
Marshall Stability (kN)	7.7	-		
Flow (mm)	4.4	-		
Lime Content, % by weight of mix	1	-		

ผลการวิจัยสามารถสรุปประโยชน์ที่ได้จากการผสม Crumb Rubber กับแอสฟัลต์ออกเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ

1. ผลต่อวัสดุเชื่อมประสาน เช่น ความคงทนของผิวทางดีขึ้น มีการเกาะตัวของวัสดุเชื่อมประสานที่ดีขึ้น และมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น
2. ผลต่อสังคม เช่น ลดปริมาณการกำจัดขยะ Crumb Rubber, ลดมลภาวะ, ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาถนน

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า วัสดุผิวทางที่มีส่วนผสมของ Crumb Rubber มีความถี่ในการซ่อมบำรุงอยู่ที่ 7.6 ปี ส่วนผิวทางที่ปูด้วย AC 70 มีความถี่ในการซ่อมบำรุงประมาณ 5 ปี



(a) Placement of AR Mixture



(b) Compaction of AR Pavement

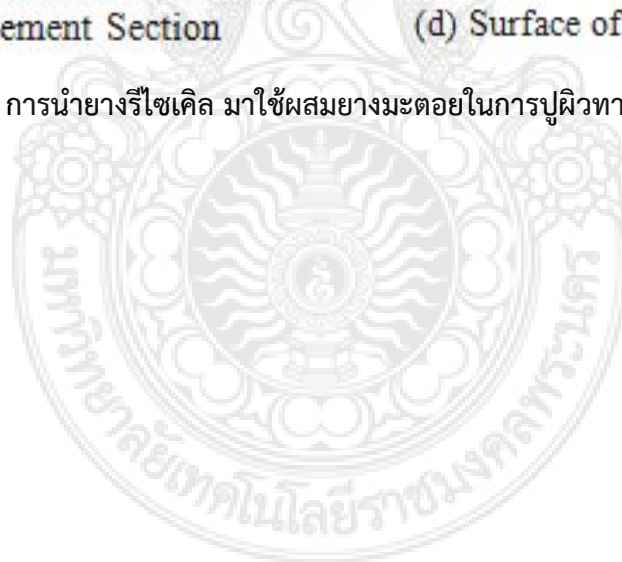


(c) AR Pavement Section



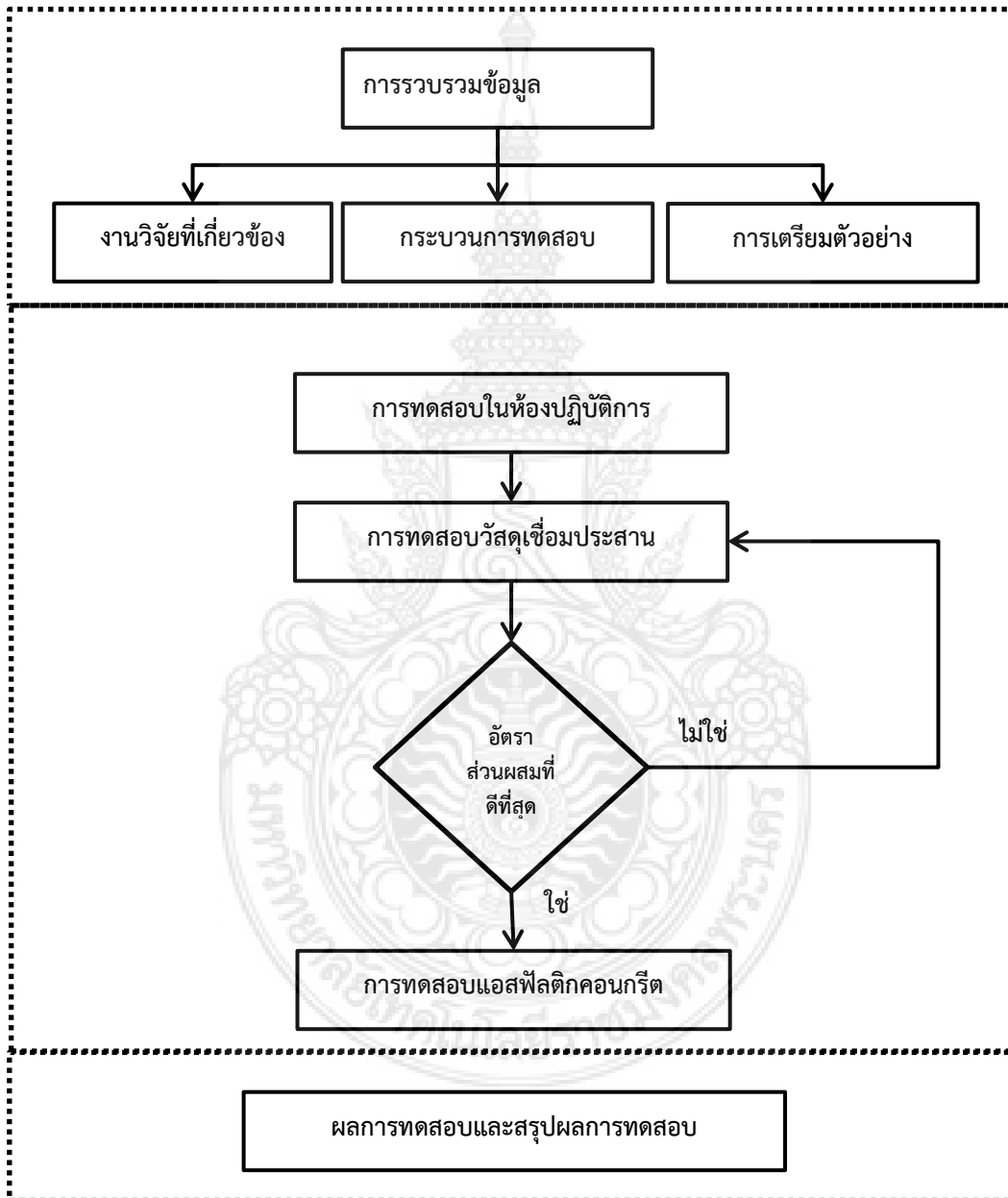
(d) Surface of AR Pavement

รูปที่ 2.7 การนำยางรีไซเคิล มาใช้ผสมยางมะตอยในการปูผิวทาง ที่ฮ่องกง



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทำงานวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนของการผสมวัสดุยางรีไซเคิลกับแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่เหมาะสมมากที่สุด ทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาและทดสอบจากวัสดุในห้องปฏิบัติการ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวทางทดสอบและวิเคราะห์วัสดุปูผิวทาง

แนวทางและขอบเขตกระบวนการทดสอบวัสดุปูผิวทาง ประกอบไปด้วยขั้นตอนการศึกษาที่มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การแบ่งการกลุ่มตัวอย่างการทดสอบ

การแบ่งการกลุ่มตัวอย่างการทดสอบออกเป็น 2 กลุ่มหลัก โดยนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบคุณสมบัติในเชิงวิศวกรรมของวัสดุปูผิวทางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยมวล) ที่แตกต่างกัน โดยประกอบไปด้วย

- 1) กลุ่มตัวอย่างที่ 1 แอสฟัลต์ ชนิด AC60/70
- 2) กลุ่มตัวอย่างที่ 2 แอสฟัลต์ ชนิด AC60/70 ผสม ยางรีไซเคิลชนิดปน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างยางรีไซเคิลปน และแอสฟัลต์ ชนิด AC60/70 ตามลำดับ

3.1.2 การแบ่งการทดสอบ

การทดสอบในโครงการนี้ ประกอบไปด้วยการทดสอบหลัก คือ การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) และ การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต (Mix Test)

1. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ตามมาตรฐานที่เป็นสากล โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเลือกวัสดุเชื่อมประสานที่มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ดีที่สุด หรือเหมาะสมต่อการนำไปผสมกับมวลรวมมากที่สุด เพื่อนำไปใช้ทดสอบในขั้นตอนที่ 2 โดยแสดงการทดสอบต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test)

ลำดับ	การทดสอบ	มาตรฐาน
1	Penetration Test	ASTM D 5
2	Softening Point Test	ASTM D 36
3	Flash point Test	ASTM D 92
4	Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)	ASTM D 2872
5	Pressure Aging Vessel Test	AASHTO R 28
6	Dynamic Shear Theology Test	AASHTO T 315
7	Rotational Viscosity Test	ASTM D 4402

2. การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต ตามมาตรฐานที่เป็นสากล โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลติกคอนกรีตในแต่ละตัวอย่างที่ได้ผลจากขั้นตอนที่ 1 เพื่อสรุปสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดในการผสมวัสดุผิวทาง โดยแสดงการทดสอบต่างๆ ในขั้นตอนดังกล่าว ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต

ลำดับ	การทดสอบ	มาตรฐาน
1	Marshall Test	ASTM D 6926 ASTM D 6927
2	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	BS EN 12697-26:2004
3	Wheel Tracking Test	AASHTO TP 63
4	Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)	BS DD ABF:1995

3.1.3 แนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ แบ่งออกเป็น 11 การทดสอบ ซึ่งการทดสอบเหล่านี้ สามารถนำผลการทดสอบมาใช้วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพเชิงกายภาพ (Physical Strength) ความทนทานในการใช้งาน (Durability And Fatigue Resistance) และความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง (Workability) ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆทางด้านวิศวกรรมในแต่ละการทดสอบ

ลำดับ	การทดสอบ	คุณสมบัติต่างๆ		
		ประสิทธิภาพเชิงกายภาพ (Physical Strength)	ความทนทานในการใช้งาน (Durability and Fatigue Resistance)	ความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง (Workability)
1	Penetration Test	/		
2	Softening Point Test	/		
3	Flash point Test	/		
4	Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)	/		
5	Pressure Aging Vessel Test	/	/	
6	Dynamic Shear Theology Test	/	/	
7	Rotational Viscosity Test	/		/
8	Marshall Test	/		/
9	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	/	/	
10	Wheel Tracking Test	/	/	
11	Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)	/	/	

จากตารางที่ 3.3 พบว่า การทดสอบทั้งหมดสามารถใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงกายภาพได้ทั้งหมด เช่น ความแข็งแรง (Stiffness) ความหนืด (Viscosity) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความอ่อนตัว (Softening) เสถียรภาพ (Stability) เป็นต้น

การวิเคราะห์ความทนทานในการใช้งาน เช่น คุณสมบัติค่าโมดูลัสคืบตัว (Stiffness Modulus) ความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue) ความต้านทานในการเกิดร่องล้อ (Rutting) ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร สภาพความคงทนในอนาคต

การวิเคราะห์ความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์ในส่วนดังกล่าว จะพิจารณาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการผสมวัสดุปูผิวทาง โดยวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืด (Viscosity) ความง่ายในการผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดความสัมพันธ์ต่างๆในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิศวกรรม

ลำดับ	การทดสอบ	รายละเอียด	การแสดงความสัมพันธ์	
1	Penetration Test	เปรียบเทียบค่า penetration ดูแนวโน้ม เพิ่ม-ลด เพื่อดูความแข็งของแอสฟัลต์และเปรียบเทียบค่าว่าสูงเกินเกณฑ์ของแอสฟัลต์เกรด AC 60-70 หรือไม่	Percent of material	Penetration Index
2	Softening Point Test	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ (°C) เพื่อดูความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูป (Deformation) ที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น และป้องกันการเกิดการไหลเยิ้ม (Bleeding)	Percent of material	Temperature
3	Flash point Test	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ (°C) ของจุดวาบไฟและติดไฟ เพื่อดูความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุเชื่อมประสานโดยพิจารณาโอกาสติดไฟได้ง่ายของวัสดุ	Percent of material	Temperature
4	Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)	เปรียบเทียบค่า penetration ที่ผ่านการอบและกับค่า penetration ก่อนการอบ โดยดูค่า Retain Penetration เพื่อนำไปพิจารณาการเกิด Aging ส่งผลให้วัสดุมีสภาพแข็งเปราะ เสี่ยงต่อการแตกร้าวภายหลัง และเสี่ยงต่อการยึดเกาะกับมวลรวม	Percent of material	Retain Penetration
5	Pressure Aging Vessel Test	เพิ่มความร้อนและแรงกดดัน เพื่อจำลองสภาพที่จะเกิดขึ้นจริงในช่วงเวลา 7-10 ปี โดยพิจารณาการเกิด Aging	Percent of material	Retain Penetration
6	Dynamic Shear Theology Test	โดยวิเคราะห์ค่า Complex Shear Modulus (G^*) และ Phase Angle (δ) เพื่อตรวจวัดค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) และ ความยืดหยุ่น (Elasticity)	Temperature	Complex Shear Modulus (G^*) and Phase Angle (δ)
7	Rotational Viscosity Test	การหาค่าความหนืด โดยวัดที่ อุณหภูมิ 135 °C และ 165 °C	Percent of material	Brookfield Viscosity (cP)
8	Marshall Test	เพื่อหาปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม (Optimum Binder Content)		

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดความสัมพันธ์ต่างๆในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิศวกรรม (ต่อ)

ลำดับ	การทดสอบ	รายละเอียด	การแสดงความสัมพันธ์
9	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	เปรียบเทียบค่าโมดูลัสคั้นตัว เพื่อใช้ในการประเมินความยืดหยุ่นในการต้านต่อการแตกร้าว	Resilient Modulus (Mpa)
10	Wheel Tracking Test	เปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักแบบกระทำซ้ำ (Fatigue) โดยดูแนวโน้มของค่าความล้า ในแต่ละส่วนผสม นั่นคือสามารถตรวจสอบค่าความยืดหยุ่นของแอสฟัลต์ได้	Rutting
11	Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)	การเปรียบเทียบสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค้น (Stress level) และจำนวนรอบก่อนเกิดความเสียหาย (No. of cycles to failure)	Fatigue

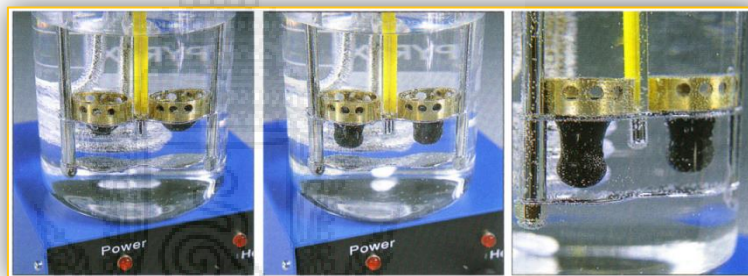
3.2 รายละเอียดและวิธีการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการ

ที่ปรึกษาได้กำหนดและแบ่งการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการออกเป็น 11 การทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 Softening Points Test

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยที่มีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 30 ถึง 157 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องทดสอบห่วงและลูกกลม (Ring and Ball Apparatus) ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น (30 ถึง 157 องศาเซลเซียส) กลีเซอริน (80 ถึง 157 องศาเซลเซียส) หรือเอทิลีนไกลคอล (30 ถึง 110 องศาเซลเซียส)

เอกสารอ้างอิง ASTM D 36 : Standard Test Method for Softening points of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)

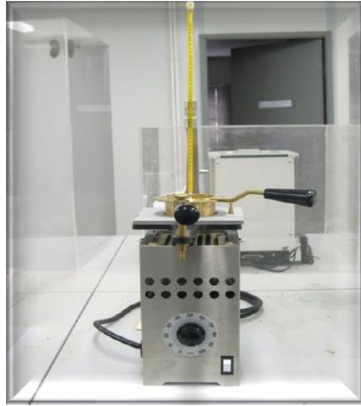


รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การทดสอบ Softening Points

3.2.2 Flash Point Test

วิธีการทดลองนี้เป็นการจุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) โดยวิธี Cleveland open cup ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและของเหลวทุกชนิด ยกเว้นน้ำมันเชื้อเพลิง และสารอื่นที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 79°C ภายใต้สภาวะของการทดลอง จุดติดไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดที่เปลวไฟทำให้ไอระเหยเหนือผิวตัวอย่างติดไฟ และลุกไหม้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 5 วินาที

เอกสารอ้างอิง ASIM D 92 : Standard Test Method for Flash and FIRE POINTS by Cleveland Open Cup Tester



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์การทดสอบ Flashing Point

3.2.3 Penetration Test

เป็นการวัดความข้นเหลว (Consistency) ของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็ง (Solid) หรือกึ่งแข็ง (Semisolid) โดยค่า Penetration นี้คือระยะทางในหน่วย 0.1 มิลลิเมตร ที่เข็มมาตรฐานแทรกตัวลงในตัวอย่างตามแนวตั้ง ภายใต้ได้น้ำหนัก เวลา และอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งมีวิธีวัด ค่า Penetration โดยระยะที่เข็มมาตรฐานหนัก 100 กรัม จมลงไปนแอสฟัลต์ในระยะเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง 77 °F (25 °C)

เอกสารอ้างอิง ASTM D 5 : Standard Test Method for Penetration of Bitumen Materials



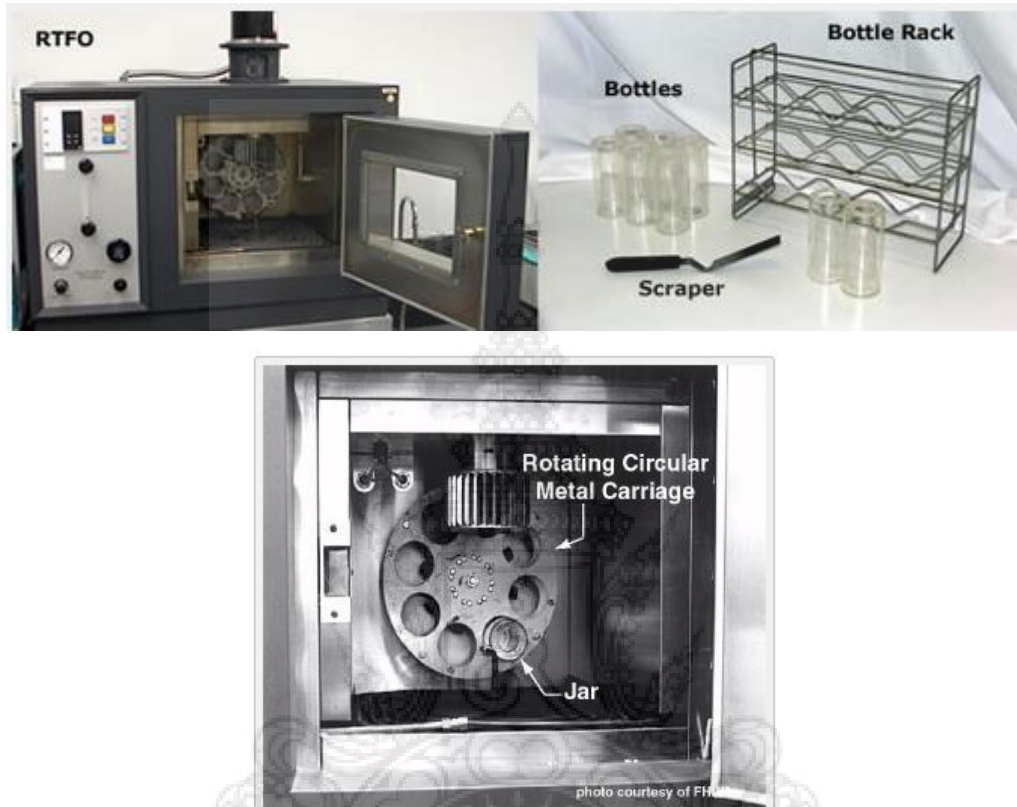
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การทดสอบ Penetration

3.2.4 Rolling Thin Film Oven Test

เป็นวิธีการที่มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบถึงความเปลี่ยนแปลงใน Consistency ของแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนที่มีสภาพอุณหภูมิและระยะเวลาใกล้เคียงกับแอสฟัลต์ได้รับในขณะที่น่าไปใช้งาน การทดสอบทำได้โดยนำตัวอย่างแอสฟัลต์จำนวน 30 มิลลิลิตรใส่ลงในจานก้นเรียบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.5 นิ้ว ลึก 3/8 นิ้ว โดยใส่แอสฟัลต์หนาประมาณ 1/8 นิ้ว แล้วนำภาดบรรจุแอสฟัลต์นี้เข้าตั้งบนชั้นที่หมุนได้รอบตัว ซึ่งหมุนประมาณ 5-6 รอบต่อนาที โดยอยู่ในตู้อบซึ่งมีอากาศถ่ายเทได้ (Ventilated Oven) ดังรูปที่ 3.2-4 โดยให้มีอุณหภูมิ 325 °F (163 °C) เป็นเวลา 85 นาที จากนั้นก็นำเอา

ตัวอย่างของแอสฟัลต์มาหา Penetration เพื่อเปรียบเทียบกับ Penetration ของแอสฟัลต์ก่อนอบโดยคิดเป็นร้อยละ โดยวิเคราะห์จากปริมาณของสารที่ระเหย จากการอบ

เอกสารอ้างอิง AASHTO T 240 and ASTM D 2872 : Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)

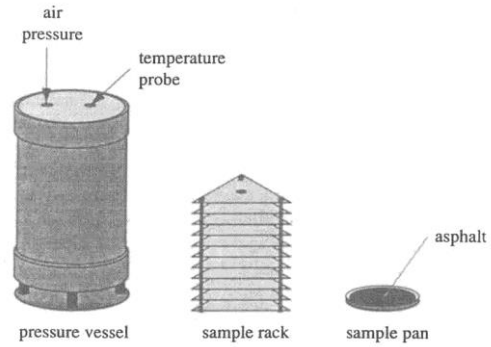


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test

3.2.5 Pressure Aging Vessel Test

เป็นการจำลองสภาพยางแอสฟัลต์ในการใช้งานจริง โดยผ่านกระบวนการเพิ่มความร้อนและแรงกดดัน เพื่อจำลองสภาพที่จะเกิดขึ้นจริงในช่วงเวลา 7-10 ปี ซึ่งตัวอย่างแอสฟัลต์จะผ่านการทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) หรือ Thin Film Oven Test (TFOT) ก่อนจึงนำตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ถูก Aging ปริมาณ 50 กรัม มาใส่ในเครื่องมือ Pressure Aging Vessel เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิประมาณ 90 °C ,100 °C หรือ 110 °C และตั้งความดันอากาศที่ 2.10 MPa หรือ 20.7 atmospheres หลังจากนั้นก็ค่อยๆ ลดอุณหภูมิและความดันลง ตัวอย่างก็จะถูกเก็บไว้สำหรับการทดสอบอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง AASHTO R 28 : Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)

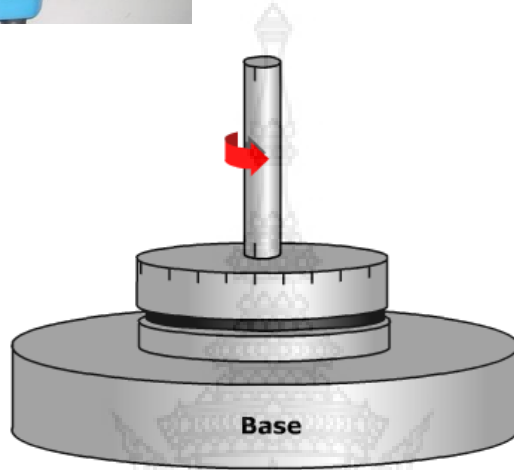
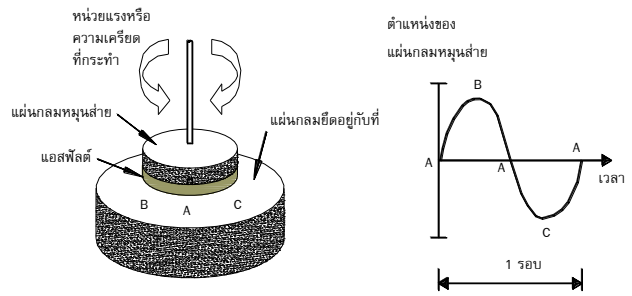


รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดสอบ Pressure Aging Vessel Test

3.2.6 Dynamic Shear Theology Test

เป็นการทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติความหนืดและความยืดหยุ่นของยางแอสฟัลต์ โดยการบิดเฉือนตัวอย่างแอสฟัลต์รูปแผ่นวงกลมบางๆ ขนาดเล็กกลับไปกลับมาซ้ำๆ กัน ระบบเครื่องมือจะบันทึกแรงบิดและมุมบิดตลอดเวลาการทดสอบ (10 rad/s) และวิเคราะห์คำนวณข้อมูลเพื่อหาผลลัพธ์เป็น Complex Shear Modulus และ Phase Angle ของตัวอย่างนั้น การทดสอบยางแอสฟัลต์หนึ่งๆ จะกระทำที่อุณหภูมิมาตรฐานคงที่ 2 อุณหภูมิ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ตามอุณหภูมิ โดยวิเคราะห์ค่า Complex Shear Modulus (G^*) และ Phase Angle (δ) จากการทดสอบ DSR นั้น สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของส่วนผสมในด้าน Fatigue Cracking และ Rutting ได้

เอกสารอ้างอิง AASHTO T 315 : Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)

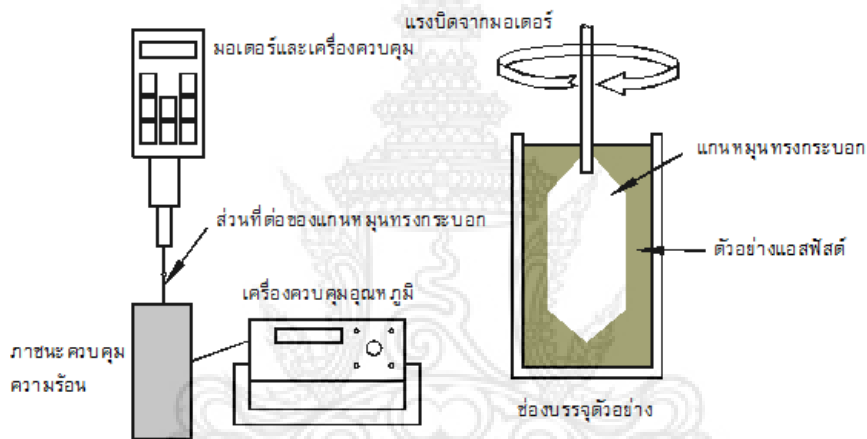


รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดสอบ Dynamic Shear Theology Test

3.2.7 Rotational Viscosity Test

เป็นการทดสอบวัดคุณสมบัติความหนืดของยางแอสฟัลต์ที่สภาพอุณหภูมิสูงเพื่อให้แน่ใจว่ายางแอสฟัลต์ที่ใช้ในนั้นเหลวพอที่จะถูกบีบตามท่อ และฉีดผสมกับมวลรวมได้ การทดสอบนี้อาศัยชุดเครื่องมือ Brookfield Viscometer กระทำโดยปั่นแท่งโลหะมาตรฐาน (Spindle) ด้วยความเร็ว 20 รอบต่อนาที ในอ่างยางแอสฟัลต์ที่ถูกควบคุมอุณหภูมิ 275 °F หรือ 135 °C ข้อมูลแรงบิดจะถูกบันทึกและใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์โดยอัตโนมัติโดยชุดเครื่องมือ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่า Viscosity ของแอสฟัลต์ มีหน่วยเป็น centipedes (cp) หรืออาจใช้หน่วย Pa.s โดยที่ 1000 cp = 1 pa.s.

เอกสารอ้างอิง AASHTO T 316 and ASTM D 4402 : Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์การทดสอบ Rotational Viscosity Test

3.2.8 Indirect Tensile Stiffness Modulus Test

การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคั้นตัวของวัสดุผสมแอสฟัลต์ จะมีการให้น้ำหนักเป็นแบบกระทำซ้ำ (Repeated Load) ในรูปแบบ Haversine Wave ทุก 3 วินาทีซึ่งน้ำหนักที่กระทำก่อนตัวอย่าง 0.248 วินาที และเวลาพัก 2.752 วินาที โดยให้น้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดการขยายตัวในแนวราบเท่ากับ 5 ไมโครเมตร

เอกสารอ้างอิง BS EN 12697-26:2004 : Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt Stiffness



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

3.2.9 Wheel Tracking Test

การทดสอบโดยใช้ล้อ (Wheel Tracking Test) เพื่อวัดการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์ขณะที่ได้รับความชื้นและได้รับน้ำหนักบรรทุกทุกจำลอง โดยใช้เครื่อง Wheel Tracker ทำการทดสอบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของแต่ละสัดส่วนการผสม

เอกสารอ้างอิง AASHTO TP 63: Determining Rutting Susceptibility of Asphalt Paving Mixtures Using the Asphalt Pavement



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์การทดสอบ Wheel Tracking Test

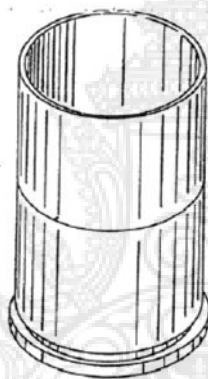
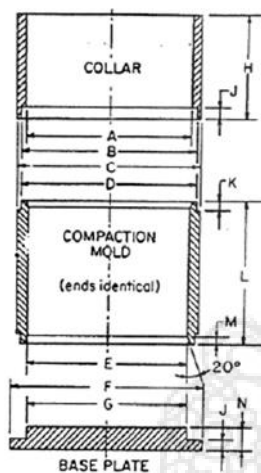
3.2.10 Marshall Test

การทดลองนี้จะทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตตามวิธีมาร์แชล (Marshall Method) และทำการผสมแอสฟัลติกคอนกรีตจากการผสมร่อนระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด เพื่อหาคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ ที่ใช้เป็นผิวทาง เพื่อคำนวณหาค่า Bulk Specific gravity :V.M.A., Air Void, Void filled with Bitumen :V.F.B

เอกสารอ้างอิง ASTM D 6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens using Marshall Apparatus

วิธีการทดสอบนี้เป็นการวัดความต้านทานการไหลของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก ที่ได้จากการเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีต โดยใช้เครื่องมือมาร์แชล

เอกสารอ้างอิง ASTM D 6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์การทดสอบ Marshall Test

3.2.11 Indirect Tensile Fatigue Test

เป็นการทดสอบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของแอสฟัลติกคอนกรีต โดยการจำลองสภาวะรับน้ำหนักที่กระทำซ้ำ และทำการเก็บข้อมูลค่า Load pulse ของวัตถุตัวอย่างก่อนเสียรูปจากแรงกระทำ โดยทำการควบคุมแรงกระทำ (Target Stress(KPa)) ที่ 300-600 kPa

เอกสารอ้างอิง BS DD ABF,1995 : Method for the Determination of Fatigue Characteristics of Bituminous Mixtures Using Indirect Tensile Fatigue



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)



บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเตรียมวัสดุแอสฟัลต์ติกซีเมนต์ที่ผสมยางรีไซเคิล

การเตรียมวัสดุเชื่อมประสานในการศึกษาดังกล่าว ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทาง คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเกรด AC 60-70 โดยนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ข้างต้นมาผสมกับยางรีไซเคิลรูปแบบของยางในปริมาณสัดส่วนต่างๆ เป็นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางรีไซเคิล (Crumb Rubber Asphalt (CRA) โดยการผสมได้ทดลองผสมยางรีไซเคิลในปริมาณเริ่มต้นที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักรวม จากนั้นได้ผสมยางรีไซเคิลเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 7 ร้อยละ 9 และร้อยละ 11

4.1.1 จำนวนตัวอย่าง

จำนวนตัวอย่างการทดสอบวัสดุปูทางในห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวอย่างการทดสอบละ 3 ตัวอย่าง โดยมี 2 ขั้นตอนในการทดสอบ ซึ่งในขั้นตอนที่ 1 จะดำเนินการเปรียบเทียบผลการทดสอบของวัสดุเชื่อมประสานที่ได้กับค่ามาตรฐานต่างๆ และจะคัดเลือกค่าที่ดีที่สุดอันดับแรกไปดำเนินการทดสอบในขั้นตอนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยแผนการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder)

ลำดับ	การทดสอบ	วัสดุเชื่อมประสาน					รวม
		AC 60-70	AC + ยางรีไซเคิล				
			5	7	9	11	
1	Penetration Test	3	3	3	3	3	15
2	Softening Point Test	3	3	3	3	3	15
3	Flash point Test	3	3	3	3	3	15
4	Rolling Thin Film Oven Test (RFOT)	3	3	3	3	3	15
5	Pressure Aging Vessel Test	3	3	3	3	3	15
6	Dynamic Shear Theology Test (ก่อนอบ)	3	3	3	3	3	15
	Dynamic Shear Theology Test (หลังอบ)	3	3	3	3	3	15
7	Rotational Viscosity Test (135 °C)	3	3	3	3	3	15
	Rotational Viscosity Test (165 °C)	3	3	3	3	3	15
รวมทั้งหมด							135

ตารางที่ 4.2 จำนวนตัวอย่างการทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต

ลำดับ	การทดสอบ	material		รวม
		AC 60-70	AC + ยางรีไซเคิล	
1	Marshall Test	3	3	6
2	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	3	3	6
3	Wheel tracking Test	3	3	6
4	Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)	3	3	6
รวมทั้งหมด				24

4.1.2 การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมยางรีไซเคิล

วิธีการผสมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมยางรีไซเคิล

1) การผสมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมยางรีไซเคิลควรผสมในภาชนะที่สามารถทนความร้อนได้สูง (Hot Plate) คือ เกิน 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากการผสมวัสดุดังกล่าวต้องผสมในอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติมาก เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมประมาณ 150-180 องศาเซลเซียส

2) จากนั้นทำการผสมวัสดุโดยอาศัยเครื่องมือผสมที่มีแรงเฉือนสูง (High Shear Rate Mechanical Mixer)แสดงในรูปที่ 4.1 ทำการกวนส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อใช้กวนและเขี่ยอนุภาคของส่วนผสมต่างๆ เป็นระยะเวลา 45 นาที



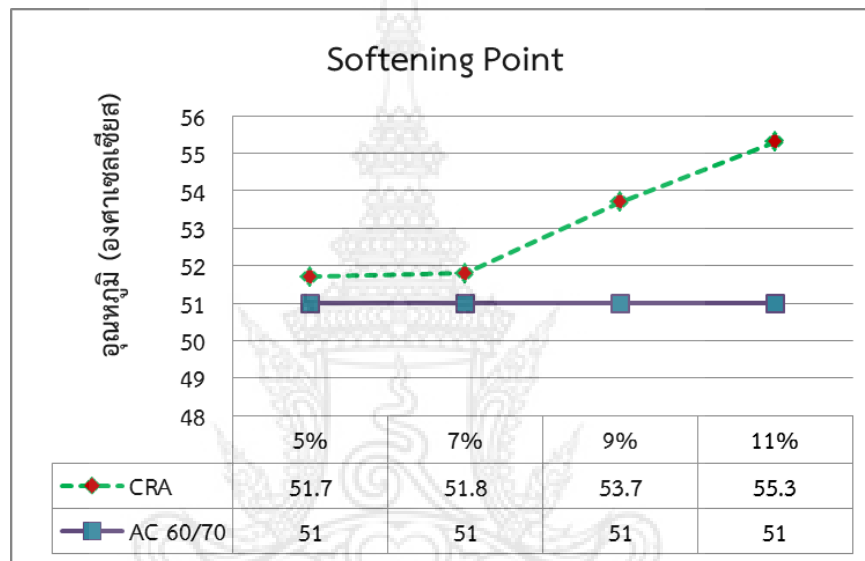
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ผสมวัสดุเชื่อมประสาน

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน

วัสดุเชื่อมประสาน (Binders) ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ (1) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 (2) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางรีไซเคิล (crumb rubber modified asphalt) โดยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ สามารถสรุปผลการทดสอบได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)

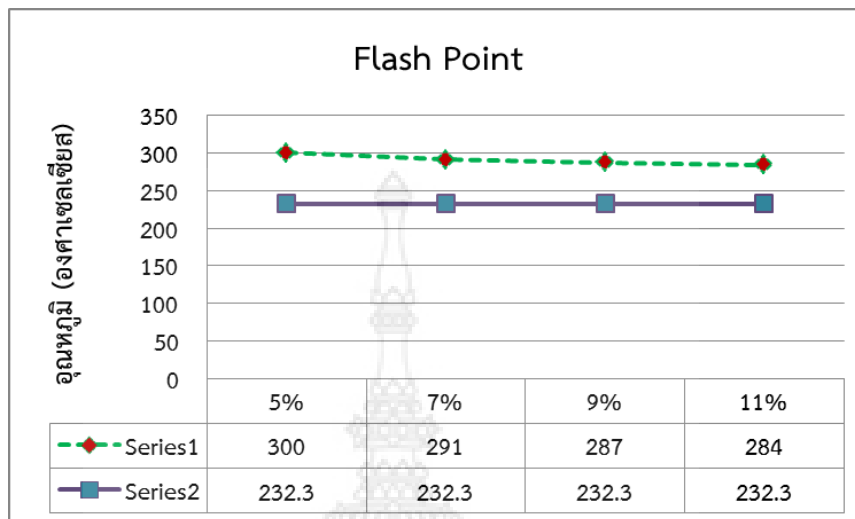
จุดอ่อนตัวเป็นคุณสมบัติที่ใช้วัดอุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลวที่วัสดุเชื่อมประสานมีการอ่อนตัวเนื่องจาก เมื่อวัสดุเชื่อมประสานได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความเหนียวหนืดและความอ่อนตัวที่ลดน้อยลง



รูปที่ 4.2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point)

4.2.2 การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

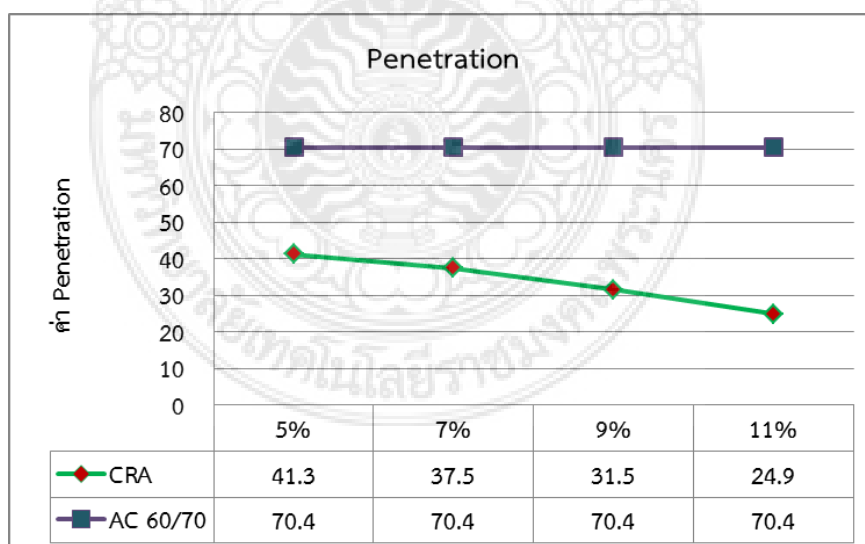
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิ (° C) ที่วัสดุเชื่อมประสานจะเกิดประกายไฟ เมื่อได้รับความร้อนที่มากขึ้น



รูปที่ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point)

4.2.3 การทดสอบ Penetration (Penetration Test)

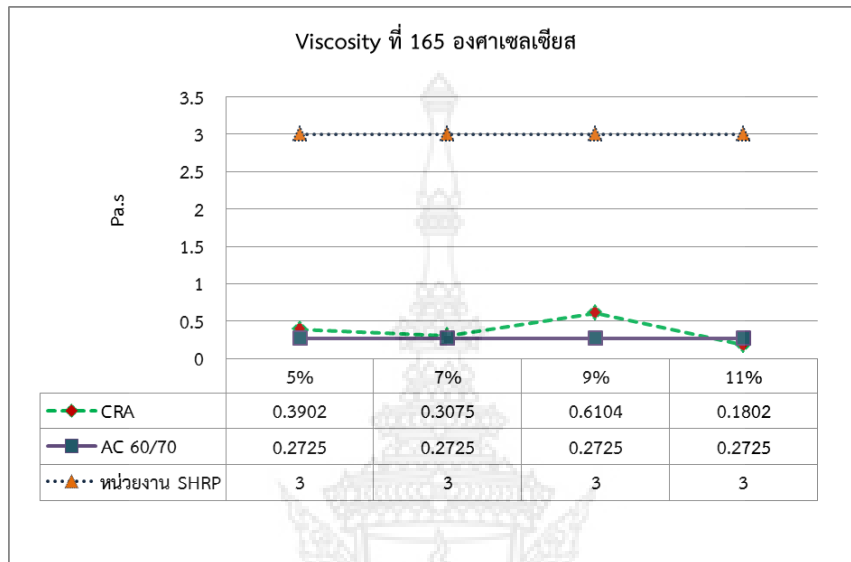
เป็นการวัดความข้นเหลว (Consistency) ของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็ง (Solid) หรือกึ่งแข็ง (Semisolid) โดยค่า Penetration จะบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่ม และความแข็งของวัสดุเชื่อมประสาน



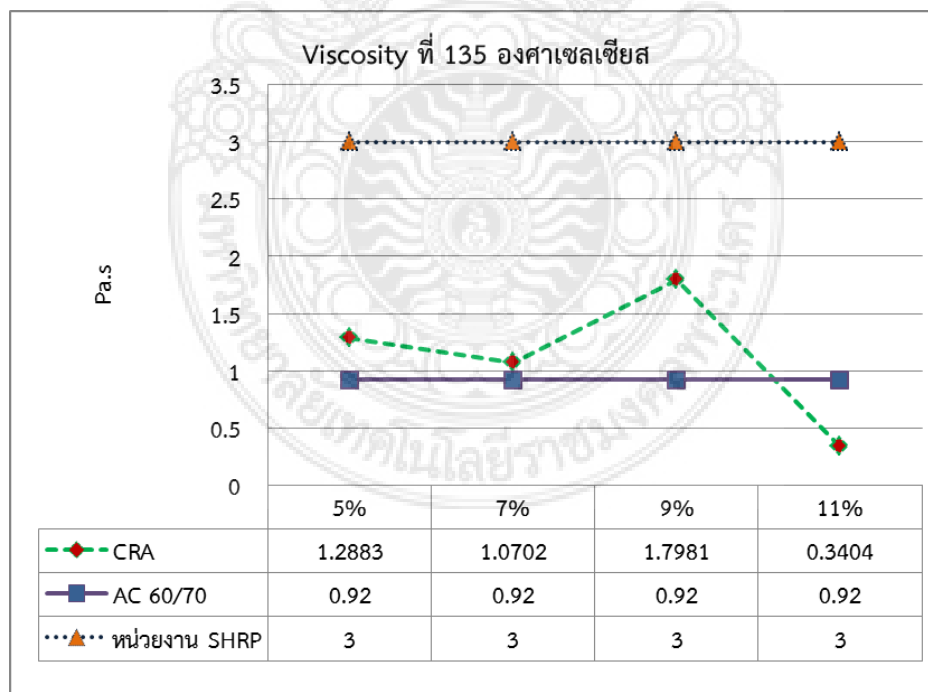
รูปที่ 4.4 Penetration ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข้มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที

4.2.4 การทดสอบความหนืด (Rotational Viscosity Test)

โดยทั่วไปเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดของวัสดุเชื่อมประสานจะพิจารณาที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ 165 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำวัสดุเชื่อมประสานมาผสมกับกับวัสดุมวลรวม เพื่อนำไปปูผิวทาง ซึ่งการศึกษาคุณสมบัติของความหนืดจะสามารถช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการเกาะตัวของวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวม



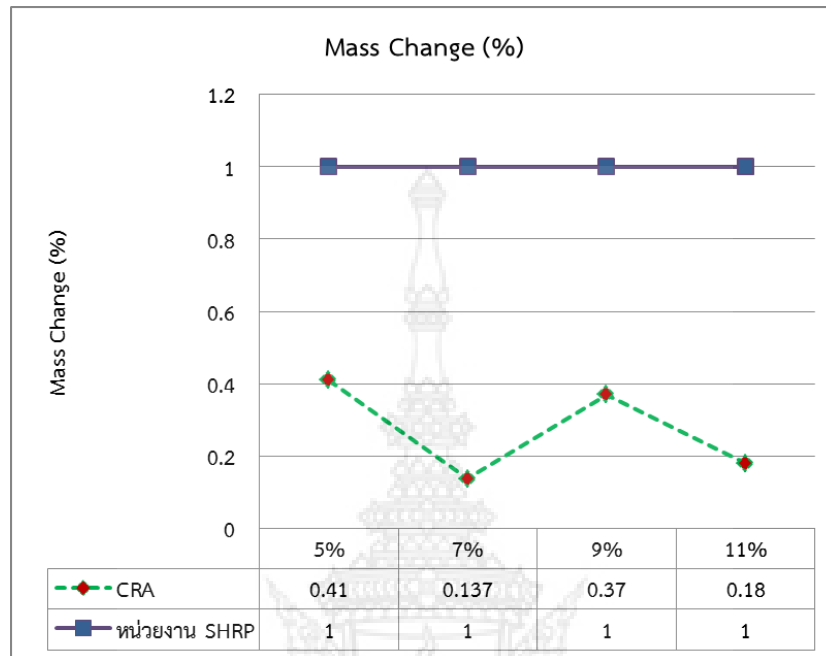
รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส



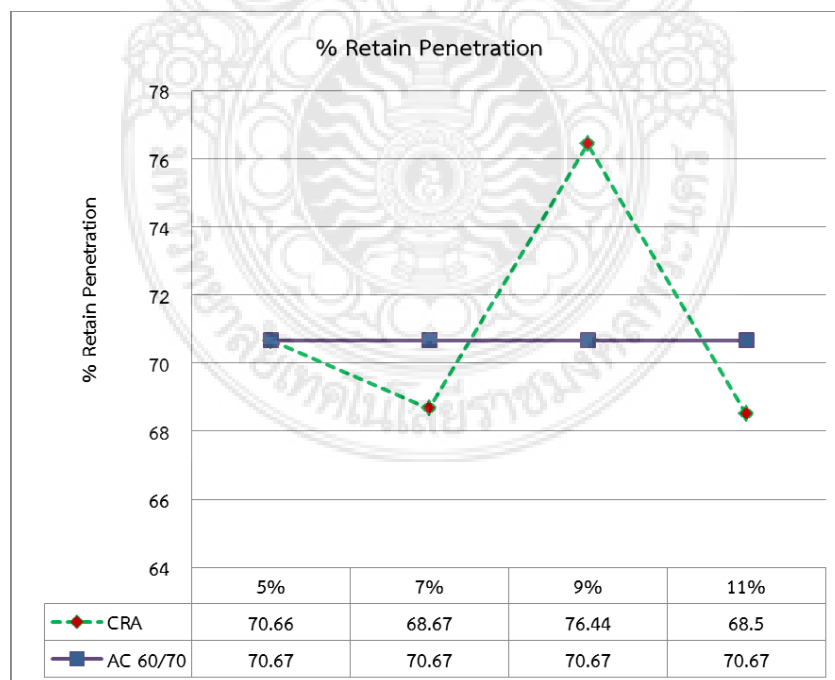
รูปที่ 4.6 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

4.2.5 การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

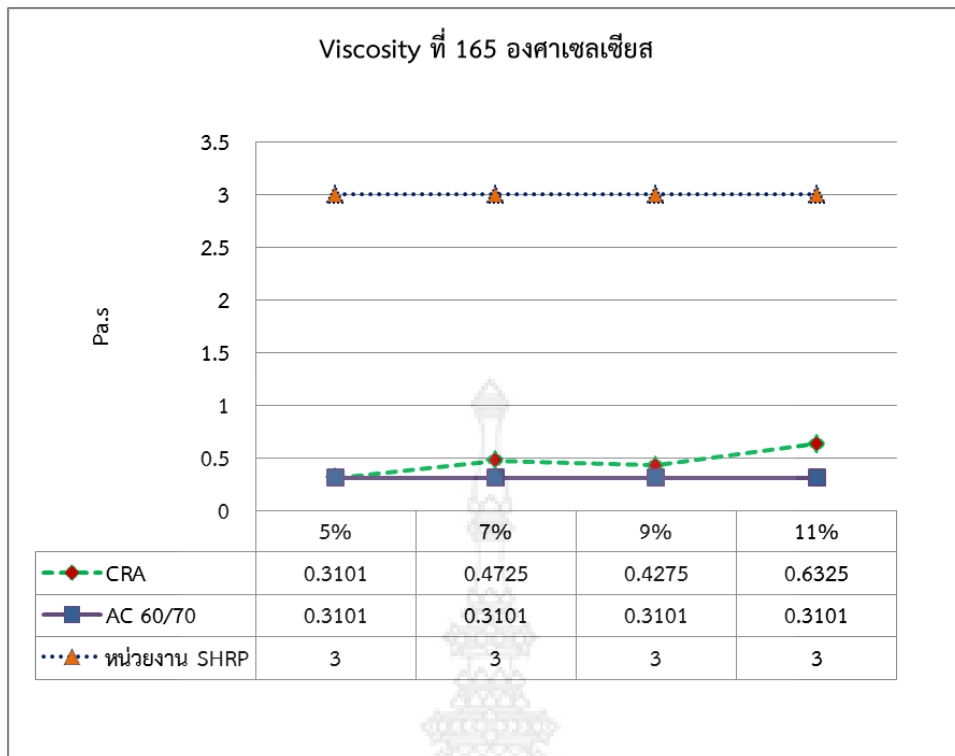
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานหลังจากผ่านกระบวนการการอบโดยให้อุณหภูมิที่ 325°F (163 °C) เป็นระยะเวลา 85 นาที



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)



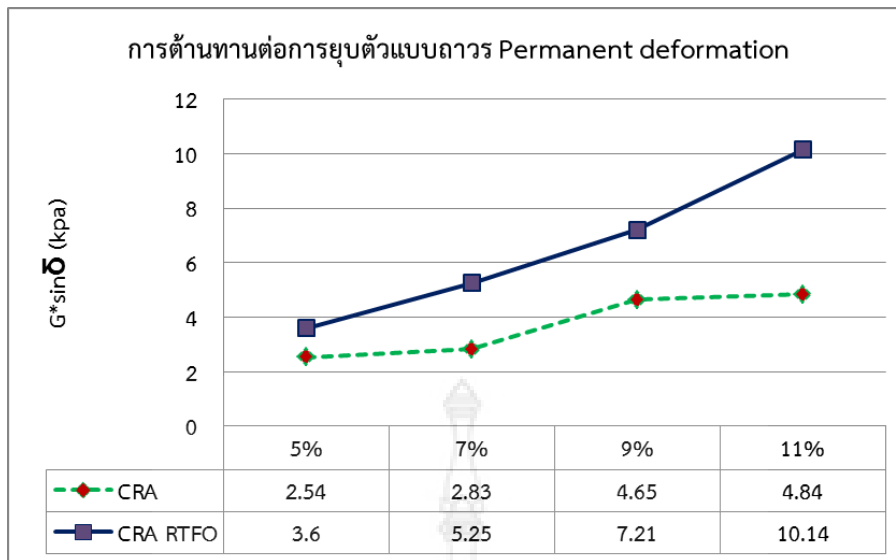
รูปที่ 4.8 ค่า % Retain Penetration ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)



รูปที่ 4.9 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส
ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

4.2.6 การทดสอบ Dynamic Shear Theology

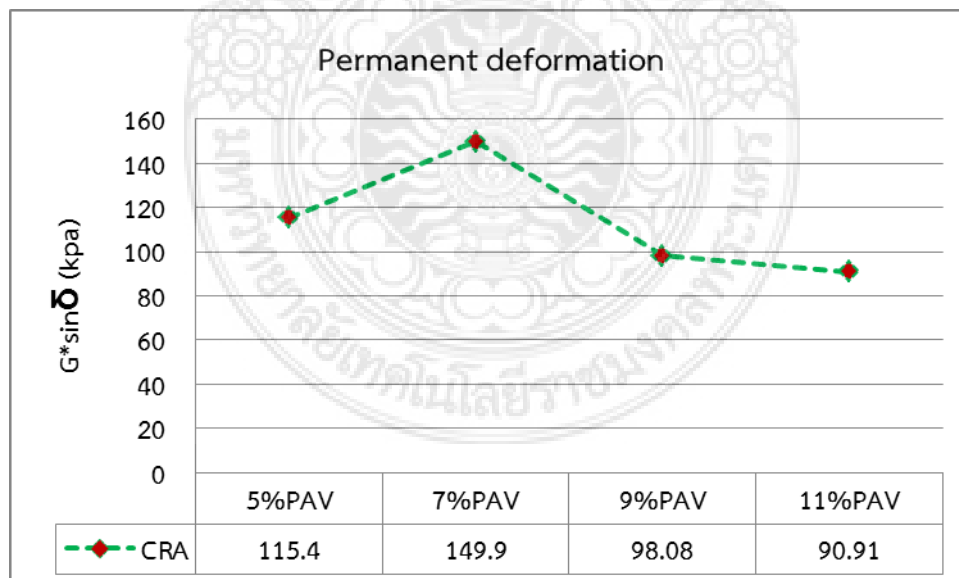
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสาน โดยหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ระบุมาตรฐานให้ใช้ค่า G^* (stiffness) และ δ (Phase Angle) คือ การเปลี่ยนรูปร่างถาวรให้ควบคุมโดยการ $G^* \sin \delta$ ที่อุณหภูมิทดสอบให้มีค่าต่างๆที่มากกว่า 1.0 kPa ก่อนการเร่งอายุ และ 2.2 kPa หลังการเร่งอายุในเตาอบแบบ RTFO ส่วนการแตกร้าวเนื่องจากความล้าให้ควบคุมการจำกัดค่า $G^* \sin \delta$ ของวัสดุที่เร่งอายุด้วยความดันแบบ PAV ให้มีค่าต่างๆน้อยกว่า 5,000 kPa ที่อุณหภูมิทดสอบ โดยการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานที่อุณหภูมิ ช่วงตั้งแต่ 46 °C (116 °F) ถึง 85 °C (180 °F)



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสานทั้งก่อนและหลัง RTFO

4.2.7 การทดสอบ Pressure Aging Vessel

เป็นการทดสอบที่เลียนแบบการเสื่อมสภาพตามอายุที่ให้บริการของแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบ RTFO มาใช้ทดสอบในการทดสอบดังกล่าว เพื่อเปรียบเทียบค่า ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความต้านทานจากการยุบตัวถาวร ระหว่างผลการทดสอบ กับ ค่ามาตรฐานจากหน่วยงาน SHRP (ค่า $G^* \sin \delta$ ของวัสดุที่เร่งอายุด้วยความดันแบบ PAV ให้มีค่าต่างๆ น้อยกว่า 5,000 kPa ที่อุณหภูมิทดสอบ) ทดสอบ โดยการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานที่อุณหภูมิ ช่วงตั้งแต่ 4 °C ถึง 20 °C



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร ที่อุณหภูมิ 13 °C

4.2.8 สรุปผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสาน (Binders Test)

จากผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานสามารถนำคุณสมบัติต่างๆมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ใช้กันอย่างเป็นสากล เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM), The Strategic Highway Research Program (SHRP), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน

ลำดับ	การพิจารณาคุณสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	ข้อกำหนด	มาตรฐานอ้างอิง	ส่วนผลสมที่ไม่ผ่าน
1	จุดอ่อนตัว (Softening Point)	มากกว่า AC60/70	ASTM D 36	-
2	จุดวาบไฟ (Flash Point)	มากกว่า 232.3 (°C)	ASTM D946	-
3	ความหนืด (Viscosity)	ไม่มากกว่า 3 (Pa.S)	หน่วยงาน SHRP	-
4	% Retain Penetration	มากกว่า 54 (°C)	AASHTO T 179	-
5	มวลที่เปลี่ยนแปลง	ไม่มากกว่า 1%	หน่วยงาน SHRP	-
6	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร	มากกว่า 1.0 (kPa)	หน่วยงาน SHRP	-
7	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร หลัง RTFO	มากกว่า 2.2 (kPa)	หน่วยงาน SHRP	-
8	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร หลัง PAV	ไม่มากกว่า 5,000 (kPa)	หน่วยงาน SHRP	-

จากตารางและผลการทดสอบสามารถสรุปสัดส่วนร้อยละที่เหมาะสมคือวัสดุเชื่อมประสานชนิดแอสฟัลต์ AC 60-70 ผสมกับยางรีไซเคิลที่ร้อยละ 11

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต

4.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุเชื่อมประสาน (%Binder by Weight of Aggregate) โดยกำหนดมาตรฐานค่าร้อยละของปริมาณช่องว่างอากาศ (%Air Void) ให้อยู่ในช่วง 2-4%

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

รายละเอียด Properties at %Air Void = 3-4 %	ส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต						มทข.(ท) 607
	AC 60/70			AC 60/70 + Crumb Rubber			Wearing (12.5 mm)
%Binder	5	5.5	6	6	6.5	7	-
Marshall Stability (KN)	9.46	10.8 8	11.6 7	13.32	14.45	15.01	Min 8 (KN)
Marshall Flow (0.25 mm)	11.1 5	14.6 7	13.1 6	9.52	15.92	12.72	8-16
% VMA	15	14.4	14.1	17.1	16.1	16.9	Min 8 14

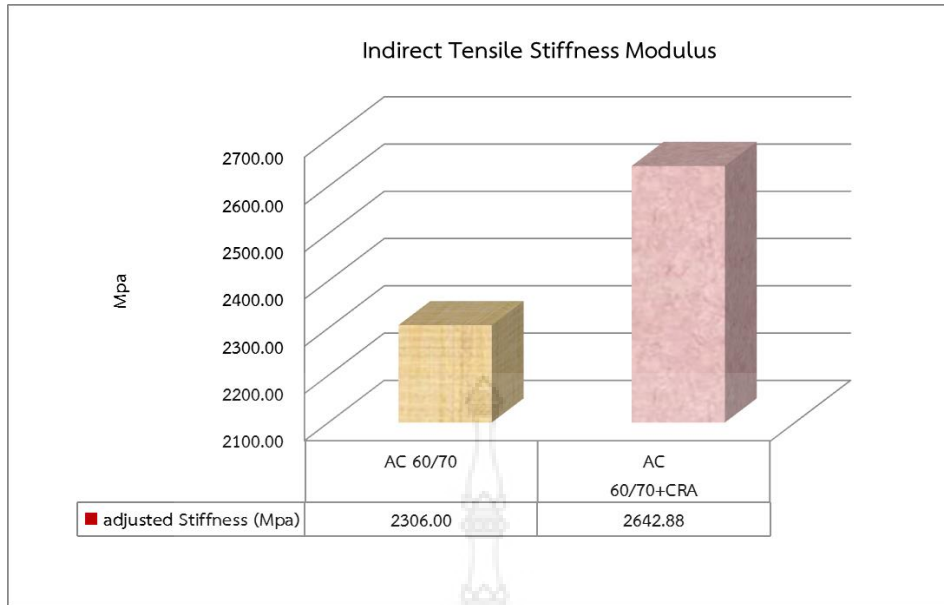
หมายเหตุ : (1) การทดสอบเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตให้ดำเนินการตาม มทข.(ท)607 : มาตรฐานการทดสอบแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล (2) การออกแบบไหล่ทางแอสฟัลติกคอนกรีตใช้มวลรวมขนาด 12.5 มิลลิเมตร

โดยส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิล กับมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท (มทข.(ท)607) พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ และเมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มียางรีไซเคิลมีค่ามากกว่าส่วนผสมแอสฟัลติกซีเมนต์ธรรมดา ซึ่งแสดงว่าการผสมยางรีไซเคิลช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่า การผสมยางรีไซเคิล ช่วยลดการเสีรูปร่างของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักรถกระทำ

4.3.2 การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

การทดสอบดังกล่าว เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ในช่วงอุณหภูมิ 30 °C เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติความยืดหยุ่น ของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต

เมื่อผสมยางรีไซเคิล ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณ 14.60% ในกรณีผสมยางรีไซเคิล ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ธรรมดามีคุณสมบัติยืดหยุ่นดีเพียงพออยู่แล้ว แต่หากได้รับการปรับปรุงโดยการผสมยางรีไซเคิลลงไป สามารถช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตดังกล่าวมีความยืดหยุ่นเพียงพอเพื่อดำเนินงานต่อการแตกร้าวได้ และสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบค่าโมดูลัสคินตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

4.3.3 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT)

การทดสอบดังกล่าวเป็นการหาความต้านทานในการเกิดร่องล้อ (Rutting resistance) ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 45 นาที (ตามมาตรฐาน BS 598:Part110:1998) โดยนำผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา และยางรีไซเคิล

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT) ที่อุณหภูมิ 60° C

Binder Type	Rutting Rate	Rut Depth
	(mm/hr)	(mm)
Crumb Rubber (11%)	0.59	1.6
AC 60/70	0.72	2

แอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางรีไซเคิล 11% (CRA11%) มีความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 18 ตามลำดับเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70

4.4 การศึกษาด้านการเงินเบื้องต้น

4.4.1 สมมติฐานในการศึกษา

- พื้นที่ศึกษา: ถนนที่ใช้ในการศึกษาเป็นถนน 2 ช่องจราจร ความกว้าง 3.25 เมตร/ช่อง และไหล่ทาง 1.5 เมตร
- อายุโครงการ (Project Life): เนื่องจากการกำหนดให้ผิวทางทั้งสามทางเลือกมีความหนาเท่ากันคือ 5 เซนติเมตร ถนนที่มีผิวทางผสมยางรีไซเคิลจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด (ทนทานกว่าผิวทางแอสฟัลต์ 1.6 เท่า) จึงกำหนดให้ผิวทางผสมยางรีไซเคิล มีอายุการใช้งานนานกว่าผิวทางแอสฟัลต์ 1.6 เท่า และให้โครงการมีอายุที่ใช้ในการประเมินเท่ากับ 20 ปี
- สัดส่วนของผิวทางเสียหายที่ต้องได้รับการซ่อมบำรุงเป็นประจำทุกปี กำหนดให้เป็นร้อยละ 5 ของผิวทางทั้งหมด และผิวทางที่ต้อง Overlay เมื่อถนนหมดอายุการใช้งานจะแบ่งการวิเคราะห์โดยผิวทางที่ต้องได้รับการ Overlay คิดเป็นร้อยละ 25 ของผิวทางทั้งหมด

4.4.2 ผลการศึกษา

1) ค่าก่อสร้างและค่าซ่อมบำรุงถนนตลอดอายุการใช้งาน

การศึกษาได้ใช้ถนนที่มีผิวทางแบบแอสฟัลต์ (AC) เป็นหลักในการอ้างอิง จากนั้นใช้ถนนที่มีผิวทาง Rubberized Asphalt มาทำการเปรียบเทียบ โดยถนนแอสฟัลต์มีอายุการใช้งานจริงเพียง 5 ปี จากนั้นจะทำการปรับปรุงผิวทางใหม่ (Overlay) ส่วนการซ่อมบำรุงจะทำการเป็นประจำทุกๆปี ดังนั้น ถนนที่ผิวทางทำจากวัสดุผสมยางรีไซเคิลที่มีความทนทานการผิวทางแบบแอสฟัลต์ 1.6 เท่า จะมีอายุการใช้งานจริงประมาณ 10 ปี ซึ่งนั่นหมายความว่า ตลอดอายุโครงการ 20 ปี ถนนที่มีผิวทางแอสฟัลต์ต้องมีการปรับผิวทางเป็นจำนวนถึง 4 ครั้ง แต่ถนนที่มีผิวทางทำจากวัสดุผสมยางรีไซเคิลมีการปรับผิวทางเป็นจำนวนเพียง 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.6 ความทนทานและสัดส่วนผสมยางรีไซเคิล

รายการ	คุณสมบัติของผิวทางประเภทต่างๆ	
	ผิวทางแอสฟัลต์	ผิวทางยางรีไซเคิล
อายุการใช้งาน (ปี)	5	7.5
การซ่อมบำรุง	ทุกๆ 1 ปี	ทุกๆ 1.5 ปี
น้ำหนักแอสฟัลต์ (กก./ตร.ม.)	6	5.34
น้ำหนักยางรถเก่า (กก./ตร.ม.)	0	0.66

ตารางที่ 4.7 ราคาของวัสดุผสมใน Rubberized Asphalt

วัสดุ	ราคาต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)
แอสฟัลต์ซีเมนต์	48.33
ยางรถยนต์รีไซเคิล	25

หมายเหตุ: คำนวณจากข้อมูลของกรมฯ พบที่ระบุว่า ผิวทางแอสฟัลต์ 1 ตร.ม. หน้า 5 ซม. มีแอสฟัลต์ผสมอยู่ 5% จะมีน้ำหนักแอสฟัลต์ 6 กก. และมีต้นทุนแอสฟัลต์ 290 บาท/ตร.ม.

ตารางที่ 4.8 ตารางค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางตลอด 20 ปี

ปีที่	ค่าใช้จ่าย					
	AC 60/70			AC 60/70 + ยางรีไซเคิล 11%		
	ค่าก่อสร้าง	บำรุงรายปี	ซ่อมแซม	ค่าก่อสร้าง	บำรุงรายปี	ซ่อมแซม
0	2,899,800.00	-	-	1,653,978.00	-	-
1	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
2	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
3	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
4	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
5	-	-	724,950.00	-	82,698.90	-
6	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
7	-	144,990.00	-	-	-	165,397.80
8	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
9	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
10	-	-	724,950.00	-	82,698.90	-
11	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
12	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
13	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
14	-	144,990.00	-	-	-	165,397.80
15	-	-	724,950.00	-	82,698.90	-
16	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
17	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
18	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
19	-	144,990.00	-	-	82,698.90	-
20	-	-	724,950.00	-	-	165,397.80
รวม	2,899,800.00	2,319,840.00	2,899,800.00	1,653,978.00	1,405,881.30	496,193.40
	8,119,440.00			3,556,052.70		

เมื่อพิจารณาช่วงถนน 1 กิโลเมตร (10,000 ตร.ม.) พบว่า การใช้ยางรีไซเคิล 11% สามารถช่วยลดต้นทุนตลอดช่วงเวลา 20 ปี ได้ถึง 4,563,387.3บาท/กม. ดังนั้น การใช้วัสดุทดแทนนอกจากช่วยยืดอายุของถนนแล้ว เมื่อพิจารณาในระยะยาวมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยกว่าการปูผิวทางด้วยแอสฟัลต์ค่อนข้างมาก

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิล (Crumb Rubber) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 วัสดุเชื่อมประสาน

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถจำแนกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานได้ดังนี้

- วัสดุเชื่อมประสานมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อมีการผสมยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่แข็งแรงมากที่สุดที่อัตราส่วนยางรีไซเคิลร้อยละ 5 วัสดุเชื่อมประสานมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น เมื่อมีการผสมยางรีไซเคิลลงไป โดยวัสดุเชื่อมประสานที่ให้ค่าจุดอ่อนตัวที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนยางรีไซเคิล 11 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 ตามลำดับเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ทำให้ช่วยลดปัญหาการอ่อนตัวและไหลเยิ้มของผิวทางได้
- วัสดุเชื่อมประสานมีจุดวาบไฟที่ต่ำลงในกรณีที่มีผสมยางรีไซเคิลลงไป แต่ยังไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ASTM D946 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่ให้ค่าจุดวาบไฟที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนยางรีไซเคิล ร้อยละ 5
- วัสดุเชื่อมประสานมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการผสมยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ทำให้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมให้สูงขึ้น ช่วยลดการหลุดลอกของมวลรวมได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดจากหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) พบว่า วัสดุเชื่อมประสานที่ทำการผสมยางขึ้น มีความหนืดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่เกิน 3 Pa.S เกือบทั้งหมด
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการผสมยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 สามารถช่วยลดภาวะการเกิด Aging ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้โดยพิจารณาจากผลการทดสอบต่างๆ ที่ผ่านการอบด้วยกรรมวิธี Thin Film Oven
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการผสมยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 มีแนวโน้มของความแข็งแรง (Stiffness) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (Permanent deformation) เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนในการผสมเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดจากหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด
- เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.3 (การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน) พบว่า วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิลในอัตราร้อยละ 11 มีความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ดีที่สุด ในการนำมาทำวัสดุผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต โดยทำการผสมแบบร้อน

5.2 แอสฟัลติกคอนกรีต

- เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มียางรีไซเคิลมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา นั้นแสดงว่าการผสมยางรีไซเคิล ช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่าการผสมยางรีไซเคิลช่วยลดการเสีรูปของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักรถทำได้
- เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนด ของกรมทางหลวงชนบท (มทช.(ท) 607) และกรมทางหลวงพบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ
- เมื่อผสมยางรีไซเคิล ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้นประมาณ 14.60% เมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา
- เมื่อผสมยางรีไซเคิล ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติค่าความต้านทานของการเกิดร่องล้อ (Rutting resistance) ประมาณ 15-20% ในกรณีผสมยางรีไซเคิล เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา
- สำหรับแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิลในอัตราส่วนร้อยละ 11 พบว่า สามารถยืดอายุการใช้งานของถนน 1.6 เท่าใน เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา

5.3 การพิจารณาด้านการเงินเบื้องต้น

- เมื่อพิจารณาช่วงถนน 1 กิโลเมตร (10,000 ตร.ม.) พบว่า การใช้ยางรีไซเคิล 11% สามารถช่วยลดต้นทุนตลอดช่วงเวลา 20 ปี ได้ประมาณ 4,563,387.3 บาท/กม.

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และ จรัสศรี พันธุ์ไม้, “การใช้ยางธรรมชาติผสมยางแอสฟัลต์ในการทำถนน”, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพารา, พ.ศ.2544
- [2] Palit, S., K. Reddy, and B. Pandey, Laboratory Evaluation of Crumb Rubber Modified Asphalt Mixes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2004. 16(1): p. 45-53.
- [3] Mull, M.A., K. Stuart, and A. Yehia, Fracture resistance characterization of chemically modified crumb rubber asphalt pavement. *Journal of Materials Science*, 2002. 37(3): p. 557-566.
- [4] Zanzotto, L. and G. Kennepohl, Development of Rubber and Asphalt Binders by Depolymerization and Devulcanization of Scrap Tires in Asphalt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1996. 1530(-1): p. 51-58.
- [5] Nouredin., Rejuvenator Diffusion in Binder Film For Hot-Mix Recycled Asphalt Pavement. *Transportation Research Board* ISSN: 0361-1981
- [6] Shell Chemical Company



การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ผสม ด้วยยางพาราและผงยางรถยนต์ใช้แล้ว

Engineering Properties of Asphalt Concrete (AC 60/70) Modified with Natural Rubber and Crumb Rubber

นายภุชงค์ เจ็ตวรณะ¹ และ นายวีระเทพ ชนินทรเทพ²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กทม.

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการปูผิวทางจราจร โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ (Natural rubber) และยางรถยนต์เก่า (crumb rubber) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อเลือกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ที่ดีที่สุดนำไปผสมกับมวลรวมเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยผลการทดสอบพบว่า การผสมยางพาราในอัตราส่วน ร้อยละ 6 และผงยางรถยนต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 11 ลงในยางแอสฟัลต์ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานดีที่สุด และเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า ค่า Marshall stability มีค่าเพิ่มขึ้นและค่า Marshall Flow ลดลง โดยแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพาราธรรมชาติ และยางรถยนต์เก่า มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากขึ้น 22 % และ 18 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70 แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพาราธรรมชาติและยางรถยนต์เก่า มีความต้านทานการความล้ามากขึ้น 2.06 และ 1.59 เท่า ตามลำดับเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70

คำสำคัญ: คุณสมบัติแอสฟัลต์/ แอสฟัลต์ปรับปรุงคุณภาพ/ น้ำยางพารา/ ยางรถยนต์

Abstract

This paper present the engineering properties of asphalt (AC 60/70) modified with different ratios of natural rubber and crumb rubber. Then select the best properties of the binder to mix asphaltic concrete. From laboratory testing results, with adding 6% natural rubber and 11% crumb rubber into mixtures for the best results. The properties of asphaltic concrete can be improved by adding 6% natural rubber and 11% crumb rubber. For asphaltic concrete, Marshall Stability increased and flow decreased with adding crumb and natural rubber into asphalt. Comparing to ordinary asphaltic concrete (AC 60/70), the rutting resistance was increased 22 and 18% for natural rubber and crumb rubber modified asphalt, respectively. Moreover, the fatigue resistance of natural rubber and crumb rubber modified asphalt improved to be 2.06 and 1.59 times compared to AC 60/70.

Keywords: Asphalt Modified, Natural Rubber, Crumb Rubber

1. คำนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันการก่อสร้าง และการบูรณะปรับปรุงสภาพสายทางถือเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาประเทศไทยในด้านการคมนาคมขนส่งทั้งการขนส่งคน และการขนส่งสินค้า เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ โดยความเสียหายที่เกิดกับสายทางที่เปิดให้ใช้งานมาในระยะหนึ่งตามอายุไซของการใช้งาน ซึ่งหน่วยงานที่ดูแลถนนมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุง ซ่อมแซม หรือก่อสร้างใหม่ให้มีสภาพการใช้งานที่ดีอยู่เสมอ ส่วนผสมในการผลิต Mixed Asphalt ในปัจจุบันมีการใช้ Bitumen เป็นองค์ประกอบหลักในการเพิ่มการเกาะตัวของ Mixed Asphalt และให้ความหนืด (Viscosity) ของ Mixed Asphalt สำหรับการใช้งานในการก่อสร้างทาง Bitumen เป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งในปัจจุบันราคาน้ำมันมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่จากการสำรวจโดยรวมมีการลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตามรายงาน Peak - Oil Report ที่มีการเผยแพร่อย่างแพร่หลายได้มีการคาดการณ์ว่าระดับน้ำมันในโลกจะอยู่ในจุดสูงสุดในช่วงปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ.2010) และหลังจากนั้นจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระดับทรัพยากรน้ำมันดิบในโลกจะหมดลงในปี พ.ศ. 2593

ซึ่งในการพัฒนาวัสดุ และระบบต่างๆในมุมมองของการพัฒนาอย่างยั่งยืนจำเป็นที่จะต้องหาทางเลือกอื่นในการลดสัดส่วนการใช้วัสดุ Bitumen ในองค์ประกอบของสารยึดเหนี่ยว (Binder) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมา [1-4] ได้มีการเริ่มพัฒนาการใช้ยางรถยนต์ที่ได้จากการรีไซเคิล (Recycled Rubber) และยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) เข้ามาเป็นวัสดุทดแทนในส่วนของการใช้ Bitumen โดยที่งานวิจัยในด้านดังกล่าวเป็นการพัฒนาส่วนผสมในรูปแบบ Rubberized Mix ซึ่งเป็นการใช้ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ให้เป็นผงยางในขนาดที่เหมาะสม (ขนาดเดียวกับ Filler Material) หรือยางพาราธรรมชาติ เป็นส่วนผสมในรูปแบบ Wet - Mix หรือผสมรวมโดยตรงกับวัสดุประสานในขั้นตอนการผสม Mixed Asphalt โดยประโยชน์ของการใช้ยางรีไซเคิลหรือยางพาราธรรมชาตินอกเหนือจากการลดสัดส่วนการใช้ Bitumen แล้วยังเป็นการเพิ่มคุณภาพผิวทางในด้านการลดระดับของร่องล้อ (Rutting) หรือการทรุดตัวของผิวทาง และเพิ่มความทนทานของผิวทางต่ออุณหภูมิที่สูง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ทบทวนงานวิจัย บทความ และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาโดยใช้วัสดุยางพาราธรรมชาติหรือยางรีไซเคิล ผสมกับแอสฟัลต์

1.2.2 เพื่อศึกษารวมวิธีที่เหมาะสมในการผสมวัสดุผิวทางโดยใช้ส่วนผสมยางรีไซเคิลหรือยางพาราธรรมชาติ

1.2.3 เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder) พร้อมทั้งระบุสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผสม

1.2.4 เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตมีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพาราธรรมชาติและยางรีไซเคิล

2. ทบทวนงานวิจัย บทความ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยของวัสดุผิวทางที่ใช้ส่วนผสมในรูปแบบยางรีไซเคิล

Dhalaan และ Nouredin, 2535 (5) ได้ศึกษาถึงการนำโพลิเมอร์มาปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อลดการเสียหายสภาพของผิวทางที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศซาอุดีอาระเบีย โดยใช้โพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ โพลีเอทิลีน (polyethylene) 7% ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า โนวอพัลต์ (Novophalt) และใช้สไตรีนบิวทาดิอีนโพลิเมอร์ (Styrene Butadiene Polymer) 5% ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า Strelf จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า โพลิเมอร์ช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทำให้ค่า Penetration ลดลง ค่าความหนืด (Viscosity) และจุดอ่อนตัว (Softening point) สูงขึ้น และจากผลการศึกษาภาคสนามพบว่า ผิวทางที่ปูด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยโพลิเมอร์แล้วจะเสียหายเนื่องจากการเกิดร่องล้อ (Rutting) น้อยมาก

2.2 งานวิจัยของวัสดุผิวทางที่ใช้ส่วนผสมในรูปแบบยางพาราธรรมชาติ

Fernando และ Nodara ,2512 (7) ได้ทดลองปรับปรุงสมบัติแอสฟัลต์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ คือ น้ำ ยางสด น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ และทางน้ำยาง อัตรา 2 - 4% ในแอสฟัลต์ AC 80/100 แบบ Hot - Mix Asphalt โดยการพ่นน้ำยางธรรมชาติลงในยาง มะตอยที่มีอุณหภูมิ 300 - 325 F และมีการคนตลอดเวลา พบว่า แอสฟัลต์แข็งขึ้น (ค่าเพนิเทรชัน ลดลง) จุดอ่อนตัวสูงขึ้น แต่ค่าการยืดดึง (ductility) ลดลง

สถาบันวิจัยยางร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษา ปรับปรุงสมบัติของแอสฟัลต์โดยใช้ร่วมกับยางธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมแอสฟัลต์กับน้ำยางที่ผ่านมา เกิดปัญหาเรื่องฟองและมีกลิ่นเหม็นมากในขณะต้ม จึงได้ทำการทดลองผสมยางแผ่น รถมควันอัตราต่างๆ กับแอสฟัลต์ โดยนำยางแผ่น รถมควันมาบดเป็นเวลานาน 10 นาที แล้วต้มผสมกับ แอสฟัลต์ (AC 60/70) ในอัตรา 4%,5%,6% และ 7 % พบว่าคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานผ่านมาตรฐานต่างๆ โดยทำการทดสอบ ค่าเพนิเทรชัน จุดวาบไฟ การยืดดึง น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน และการละลายในไตรคลอโรเอทิลีน

3. วิธีการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยการศึกษาหลัก 2 ขั้นตอนคือ การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) และการทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต (Mix Test) โดยมีกระบวนการดังนี้

3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ตามมาตรฐานที่เป็นสากล โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเลือกวัสดุเชื่อมประสานที่มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ดีที่สุด หรือเหมาะสมต่อการนำไปผสมกับมวลรวม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test)

ลำดับ	การทดสอบ	มาตรฐาน
1	Penetration Test	ASTM D 5
2	Softening Point Test	ASTM D 36
3	Flash point Test	ASTM D 92
4	Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)	ASTM D 2872
5	Pressure Aging Vessel Test	AASHTO R 28
6	Dynamic Shear Theology Test	AASHTO T 315
7	Rotational Viscosity Test	ASTM D 4402

3.2 การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีตตามมาตรฐานที่เป็นสากล โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลติกคอนกรีตในแต่ละตัวอย่างที่ได้ผลจากขั้นตอนที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต

ลำดับ	การทดสอบ	มาตรฐาน
1	Marshall Test	ASTM D 6926 ASTM D 6927
2	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	BS EN 12697-26:2004
3	Wheel Tracking Test	AASHTO TP 63
4	Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)	BS DD ABF:1995

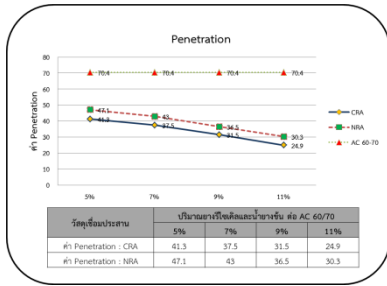
4. ผลการทดสอบ

4.1 คุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binders)

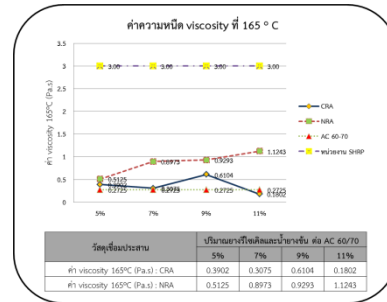
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binders) ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ (1) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 (2) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางรีไซเคิล (Crumb Rubber Modified Asphalt : CRA) และ (3) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt : NRA) โดยทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ สามารถสรุปผลการทดสอบได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การทดสอบ Penetration (Penetration Test)

เป็นการวัดความข้นเหลว (Consistency) ของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็ง (Solid) หรือกึ่งแข็ง (Semisolid) โดยค่า Penetration จะบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่ม และความแข็งของวัสดุเชื่อมประสาน

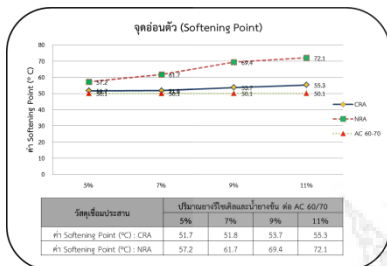


รูปที่ 4.1 Penetration ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข้มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที

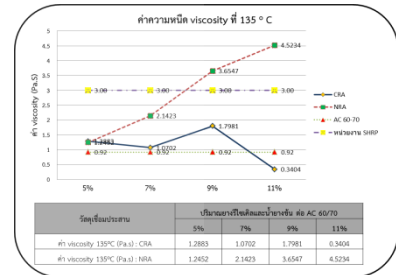


รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส

4.1.2 การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
จุดอ่อนตัวเป็นคุณสมบัติที่ใช้วัดอุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลวที่วัสดุเชื่อมประสานมีการอ่อนตัว เนื่องจาก เมื่อวัสดุเชื่อมประสานได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความเหนียวหนืดและความอ่อนตัวที่ลดน้อยลง



รูปที่ 4.2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening point)

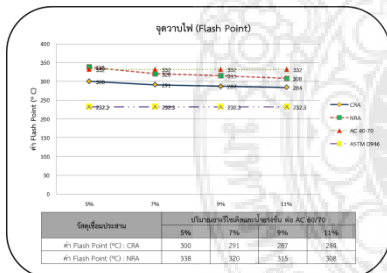


รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

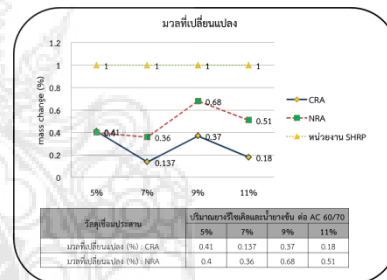
4.1.5 การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานหลังจากผ่านกระบวนการการอบโดยให้อุณหภูมิที่ 325°F (163 °C) เป็นระยะเวลา 85 นาที

4.1.3 การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point Test)
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิ (°C) ที่วัสดุเชื่อมประสานจะเกิดประกายไฟ เมื่อได้รับความร้อนที่มากขึ้น

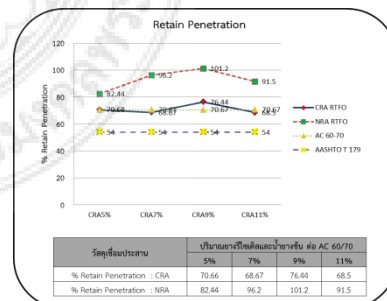


รูปที่ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point)

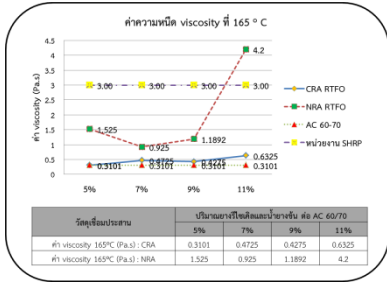


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

4.1.4 การทดสอบความหนืด (Rotational Viscosity Test)
โดยทั่วไปเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดของวัสดุเชื่อมประสานจะพิจารณาที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ 165 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำวัสดุเชื่อมประสานมาผสมกับบิวต์สตูมวอลรวม เพื่อนำไปสู่วิถีทาง ซึ่งการศึกษาคุณสมบัติของความหนืดจะสามารถช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการเกาะตัวของวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวม

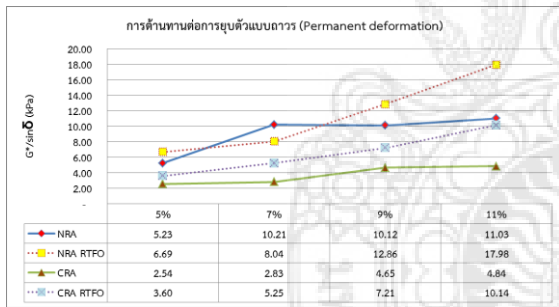


รูปที่ 4.7 ค่า % Retain Penetration ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)



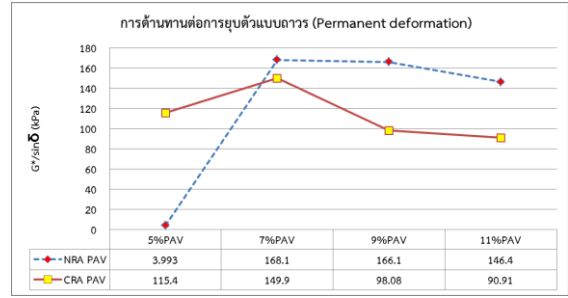
รูปที่ 4.8 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

4.1.6 การทดสอบ Dynamic Shear Theology การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสาน โดยหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ระบุมาตรฐานให้ใช้ค่า G^* (stiffness) และ δ (Phase Angle) คือ การเปลี่ยนรูปอย่างถาวรให้ควบคุมโดยการ $G^* \sin \delta$ ที่อุณหภูมิทดสอบให้มีค่าต่างๆที่มากกว่า 1.0 kPa ก่อนการเร่งอายุ และ 2.2 kPa หลังการเร่งอายุในเตาอบแบบ RTFO ส่วนการแตกร้าเนื่องจากความล้าให้ควบคุมการจำกัดค่า $G^* \sin \delta$ ของวัสดุที่เร่งอายุด้วยความดันแบบ PAV ให้มีค่าต่างๆน้อยกว่า 5,000 kPa ที่อุณหภูมิทดสอบ โดยการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานที่อุณหภูมิ ช่วงตั้งแต่ 46 °C (116 °F) ถึง 85 °C (180 °F)



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสานทั้งก่อนและหลัง RTFO

4.1.7 การทดสอบ Pressure Aging Vessel เป็นการทดสอบที่เลียนแบบการเสื่อมสภาพตามอายุที่ให้บริการของแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบ RTFO มาใช้ทดสอบในการทดสอบดังกล่าว เพื่อเปรียบเทียบค่า ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความต้านทานจากการยุบตัวถาวร ระหว่างผลการทดสอบ กับ ค่ามาตรฐานจากหน่วยงาน SHRP (ค่า $G^* \sin \delta$ ของวัสดุที่เร่งอายุด้วยความดันแบบ PAV ให้มีค่าต่างๆน้อยกว่า 5,000 kPa ที่อุณหภูมิทดสอบ) ทดสอบ โดยการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานที่อุณหภูมิ ช่วงตั้งแต่ 4 °C ถึง 20 °C



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรที่อุณหภูมิ 13 °C

4.1.8 สรุปผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสาน (Binders Test) จากผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานสามารถนำคุณสมบัติต่างๆมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ใช้กันอย่างเป็นสากล เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM), The Strategic Highway Research Program (SHRP), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน

ลำดับ	การพิจารณาคุณสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	ข้อกำหนด	มาตรฐานอ้างอิง	ส่วนผสมที่ไม่ผ่าน
1	จุดอ่อนตัว (Softening Point)	มากกว่า AC60/70	ASTM D 36	-
2	จุดวาบไฟ (Flash Point)	มากกว่า 232.3 (°C)	ASTM D946	-
3	ความหนืด (Viscosity)	ไม่มากกว่า 3 (Pa.S)	หน่วยงาน SHRP	NRA 7% 9% 11%
4	% Retain Penetration	มากกว่า 54 (°C)	AASHTO T 179	-
5	มวลที่เปลี่ยนแปลง	ไม่มากกว่า 1%	หน่วยงาน SHRP	-
6	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร	มากกว่า 1.0 (kPa)	หน่วยงาน SHRP	-
7	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร หลัง RTFO	มากกว่า 2.2 (kPa)	หน่วยงาน SHRP	-
8	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร หลัง PAV	ไม่มากกว่า 5,000 (kPa)	หน่วยงาน SHRP	-

จากตารางและผลการทดสอบสามารถสรุปสัดส่วนร้อยละที่เหมาะสมคือวัสดุเชื่อมประสานชนิด แอสฟัลต์ AC 60-70 ผสมกับยางรีไซเคิลที่ร้อยละ 11 และวัสดุเชื่อมประสานชนิด แอสฟัลต์ AC60-70 ผสมกับบิตูเมนในและอัตราส่วนที่ร้อยละ 6 (พิจารณาปัจจัยความเหมาะสมและความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับผลการทดสอบ)

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต

4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุเชื่อมประสาน (%Binder by Weight of Aggregate) โดยกำหนดมาตรฐานค่าร้อยละของปริมาณช่องว่างอากาศ (%Air Void) ให้อยู่ในช่วง 2-4%

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

รายละเอียด Properties at % Air Void = 3.5-4.5%	ส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต									ข้อกำหนด มทข.(ท)607 Wearing (12.5 mm)
	AC 60-70			AC 60-70 + Natural Rubber			AC 60-70 + Crumb Rubber			
% Binder Content	5	5.5	6	6	6.5	7	6	6.5	7	-
Marshall Stability (kN)	9.46	10.88	11.67	11.01	12.74	13.47	13.32	14.45	15.01	Min 8 (kN)
Marshall Flow (0.25 min.)	11.15	14.67	13.16	8.88	10.51	15.48	9.52	15.92	12.72	8-16
% VMA	15	14.4	14.1	15.8	16.2	16.1	17.1	16.1	16.9	Min 14

หมายเหตุ : (1) การทดสอบเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ให้ดำเนินการตาม มทข.(ท)607 : มาตรฐานการทดสอบแอสฟัลติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (2) การออกแบบไหล่ทางแอสฟัลติกคอนกรีต ใช้มวลรวมขนาด 12.5 มิลลิเมตร

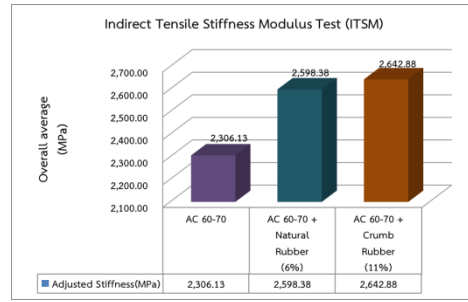
โดยส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิลและยางพาราธรรมชาติ กับมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท (มทข.(ท)607) พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ

และเมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มียางรีไซเคิลมีค่ามากกว่าส่วนผสมที่มีน้ำยางข้น และแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการผสมยางทั้ง 2 ประเภทช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่า การผสมยางทั้ง 2 ประเภทช่วยลดการเสียรูปของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักกระทำได้ จากค่าการไหลที่ต่ำกว่าวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา

4.2.2 การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

การทดสอบดังกล่าว เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ในช่วงอุณหภูมิ 30 °C เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติความยืดหยุ่น ของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต

เมื่อผสมน้ำยางข้น และยางรีไซเคิล ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณ 12.67% ในส่วนของการเพิ่มน้ำยางข้น และประมาณ 14.60% ในกรณีผสมยางรีไซเคิล ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า ส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดามีคุณสมบัติยืดหยุ่นดีเพียงพออยู่แล้ว แต่หากได้รับการปรับปรุงโดยการผสมน้ำยางข้นหรือยางรีไซเคิลลงไป สามารถช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตดังกล่าวมีความยืดหยุ่นเพียงพอเพื่อต้านทานต่อการแตกร้าวได้ และสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

4.2.3 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT)

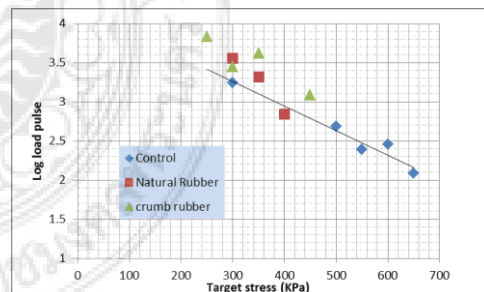
การทดสอบดังกล่าวเป็นการหาความต้านทานในการเกิดร่องล้อ (Rutting resistance) ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 45 นาที (ตามมาตรฐาน BS 598:Part10:1998) โดยนำผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา น้ำยางข้น และยางรีไซเคิล

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT) ที่อุณหภูมิ 60° C

Binder Type	Rutting Rate	Rut Depth
	(mm/hr)	(mm)
Crumb Rubber (11%)	0.59	1.6
AC 60/70	0.72	2
Natural Rubber (6%)	0.56	1.22

4.2.4 ผลการทดสอบ Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)

การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของแอสฟัลติกคอนกรีต โดยการจำลองสภาวะรับน้ำหนักที่กระทำซ้ำ และทำการเก็บข้อมูลค่า Load pulse ของวัสดุตัวอย่างก่อนเสียรูปจากแรงกระทำ



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)

จากผลการทดสอบ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า Load pulse ที่แรงกระทำซ้ำ 300 kPa ของวัสดุตัวอย่าง ทั้ง 3 ประเภท ประกอบไปด้วย

- 1) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 ปกติ ค่า load pulse เท่ากับ 1,752
- 2) แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมน้ำยางข้น ค่า load pulse เท่ากับ 3,604
- 3) แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางรีไซเคิล ค่า load pulse เท่ากับ 2,782 ซึ่งค่า load pulse สามารถนำไปใช้ในเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของอายุการใช้งานของวัสดุผิวทางได้ โดยผลการวิเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์

AC60/70 ปกติ พบว่า สำหรับแอสฟัลติก คอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 6% (NRA) สามารถยืดอายุการใช้งานได้ประมาณ 2.06 เท่าของ AC60/70 ปกติ และแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิล 11% (CRA) สามารถยืดอายุการใช้งานได้ 1.59 เท่าของ AC60/70 ปกติ

5. สรุป

การผสมยางพาราและผงยางรถยนต์ลงในยางแอสฟัลต์จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานพัฒนาขึ้น คือมีสติเฟนมากขึ้นและมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

การผสมยางพาราและผงยางรถยนต์ลงในยางแอสฟัลต์เพื่อผสมกับมวลรวมทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยค่า Marshall stability มีค่าเพิ่มขึ้นและค่าการไหลลดลง

แอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพารา 6% (NRA6%) และยางผง 11% (CRA11%) มีความต้านทานการเกิดร่องล่อมากขึ้น 22 % และ 18 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70

แอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพารา 6% (NRA6%) และยางผง 11% (CRA11%) มีความต้านทานความล้ามากขึ้น 2.06 และ 1.59 เท่า ตามลำดับเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70

6. ข้อเสนอแนะ

การผสมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางชั้น และยางรีไซเคิลควรผสมในภาชนะที่สามารถทนความร้อนได้สูง (Hot Plate) คือ เกิน 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากการผสมวัสดุดังกล่าวต้องผสมในอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติมาก เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน

การผสมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางชั้น ควรผสมในภาชนะปิดเนื่องจากในการผสมมีการแตกฟองของน้ำยางชั้น ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังในการผสม

การนำยางประเภทต่างๆมาผสมกับแอสฟัลต์ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ด้านอุตสาหกรรมและความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไป เนื่องจาก ในการผสมเพื่อปูถนนต้องใช้เครื่องจักรในการผสม และค่าใช้จ่ายของยางพาราธรรมชาติต่อโลกก็มีค่ามากกว่ายางมะตอย อาจส่งผลต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และ จรัสศรี พันธุ์ไม้, “การใช้ยางธรรมชาติผสมยางแอสฟัลต์ในการทำถนน”, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพารา, พ.ศ.2544
- [2] Palit, S., K. Reddy, and B. Pandey, Laboratory Evaluation of Crumb Rubber Modified Asphalt Mixes. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004. 16(1): p. 45-53.
- [3] Mull, M.A., K. Stuart, and A. Yehia, Fracture resistance characterization of chemically modified crumb rubber asphalt pavement. Journal of Materials Science, 2002. 37(3): p. 557-566.
- [4] Zanzotto, L. and G. Kennepohl, Development of Rubber and Asphalt Binders by Depolymerization and Devulcanization of Scrap Tires in Asphalt. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1996. 1530(-1): p. 51-58.
- [5] Noureldin., Rejuvenator Diffusion in Binder Film For Hot-Mix Recycled Asphalt Pavement. Transportation Research Board ISSN: 0361-1981
- [6] Shell Chemical Company

The Study of Engineering Properties of Asphalt (AC 60/70) Modified with Natural Rubber and Crumb Rubber

Krit Jedwanna¹ and Weerathep Chanintornthep²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

Abstract

This paper presents the engineering properties of asphalt (AC 60/70) when modified with different ratios of natural rubber and crumb rubber in order to select the best properties of the binder to mix asphaltic concrete. During laboratory testing, it was found that the properties of asphaltic concrete can be improved by adding 6% natural rubber and 11% crumb rubber. For asphaltic concrete, Marshall Stability increased and flow decreased with the addition of crumb and natural rubber into asphalt. Comparing this to ordinary asphaltic concrete (AC 60/70), the rutting resistance was increased by 22% and 18% for natural rubber and crumb rubber modified asphalt, respectively. Moreover, the fatigue resistance of natural rubber and crumb rubber modified asphalt improved by x2.06 and x1.59 compared to standard AC 60/70.

Keywords: Asphalt Modified, Natural Rubber, Crumb Rubber

1. Introduction

1.1 Rationale

Nowadays, construction and renovation of roads are part of developing the Thai transportation network in terms of people and goods in order to support business expansion and increased stability. The organizations that are responsible for the roads need to repair existing damage or reconstruct the roads to a good condition. Materials such as mixed asphalt contain Bitumen as the main component which increases the agglomerate and viscosity of mixed asphalt. Bitumen used road construction is product of petroleum distillation. The price of petroleum is increasing continuously whilst the amount of oil is decreasing. According to Peak-Oil Report, it is expected that the level of global fuel will be at its peak in 2010 and after that it will decrease and run out globally in 2050.

In order to develop materials in a sustainable way, there must be an alternative in order to reduce the use of Bitumen as the binder. In the

previous studies [1-4], there has been a development in using crumb rubber from recycled and natural rubbers as material alternatives to Bitumen. The studies also concern a rubberized mix produced from used crumb rubber which is synthesized to rubber powder (to the same size as filler material) or natural rubber used in the wet-mix process and mixed with the binder in the asphalt mixing process. The advantages of using recycled or natural rubber are reduced Bitumen use and increased quality of the surface, thus reducing the level of rutting or deterioration while increasing durability towards high temperatures.

1.2 Objectives

- 1.2.1 To review the research studies, articles, and documents relating to the study of the mixture of natural or recycled rubber with asphalt
- 1.2.2 To review the appropriate processes of mixing the materials that contain recycled or natural rubber
- 1.2.3 To test the engineering properties of the binder and to identify the appropriate proportion of mixture
- 1.2.4 To test the engineering properties of asphaltic concrete materials that are improved by adding natural rubber or recycled rubber

2. Literature Review

2.1 The Study of Concrete Surface with Recycled Rubber Mixture

Dhalaan and Noureldin (1992) studied how a polymer was used to improve the properties of asphaltic cement in order to reduce deterioration of the road surface resulting from high temperatures, which was the problem in Saudi Arabia. Two types of polymer (7% of polyethylene mixed with asphaltic cement, Novophalt, and 5% of Styrene Butadiene Polymer mixed with asphaltic cement, Strelf, were used. According to the results, it was found that a polymer helped improve the properties of asphaltic cement, reduced penetration value, and increased viscosity, and softening point. In addition, according to the field

experiment, the surface coated with asphaltic concrete received only minor damage from rutting.

2.2 The Research Study of Concrete Surface with Natural Rubber

Mixture

Fernando and Nodara (1969) tried to improve the asphaltic properties by using natural rubber latex which consisted of water, rubber, thick latex with high ammonia, thick latex with low ammonia, and latex tailings with 2-4% proportion in hot-mix asphalt 80/100. The latex was sprayed on the asphalt at 300-325 degree Fahrenheit while constantly stirring. It was found that asphalt became harder (the penetration value decreased) and softening point increased while ductility decreased.

The Rubber Research Institute of Thailand, in association with King Mongkut's Institute of Technology - Ladkrabang, studied the improvement of asphaltic properties mixed with certain types of natural rubber. Since mixing asphalt with latex from the previous experiments resulted in bubbles and a bad smell in the boiling process, the researchers tried to mix ribbed smoked sheet rubber with asphalt by crushing the sheet rubber for 10 minutes and boiling it with asphalt (AC 60/70) in proportions of 4%, 5%, 6%, and 7%. As a result, the properties of binder met the standards for penetration value, flash point, elasticity, weight lost when heated, and dissolution in Trichloroethylene when tested.

3. Procedures

There were two main procedures in this study: Binder Test and Mix Test.

3.1 The Binder Test was based on international standards and aimed to select a binder material with the best or most appropriate engineering properties suitable for total mass mixture as illustrated in Table 3.1.

Table 3.1 Binder Test

No.	Test	Standard
1	Penetration Test	ASTM D 5
2	Softening Point Test	ASTM D 36
3	Flash point Test	ASTM D 92
4	Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)	ASTM D 2872
5	Pressure Aging Vessel Test	AASHTO R 28
6	Dynamic Shear Theology Test	AASHTO T 315
7	Rotational Viscosity Test	ASTM D 4402

3.2 The Asphaltic Concrete Test was based on international standards and aimed to compare asphaltic concrete properties in each sample obtained from the previous procedure as illustrated in Table 3.2.

Table 3.2 Analysis of Asphaltic Concrete Properties

No.	Test	Standard
1	Marshall Test	ASTM D 6926 ASTM D 6927
2	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	BS EN 12697-26:2004
3	Wheel Tracking Test	AASHTO TP 63
4	Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)	BS DD ABF:1995

4. Results

4.1 Binder Properties

In this section, three types of binder properties will be discussed: (1) Asphaltic Cement Grade AC 60-70 (2) Crumb Rubber Modified Asphalt (CRA) and (3) Natural Rubber Modified Asphalt (NRA). According to the property tests, it can be concluded as follows:

4.1.1 Penetration Test

The consistency of solid and semi-solid asphalt was tested. Penetration indicated the softness and solidity of the binder.

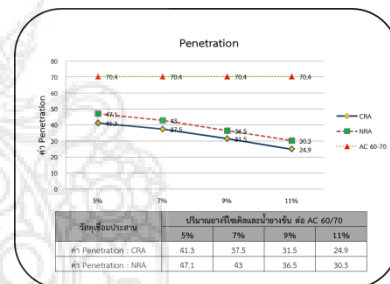


Figure 4.1 The result of penetration testing

4.1.2 Softening Point Test

The Softening point is a property that measures the melting point of the binder as it is heated. As the binder was heated, it reduced in elasticity and softness.

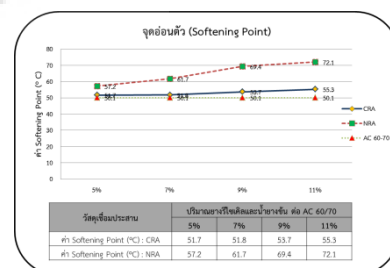


Figure 4.2 The Result of Softening Point Test

4.1.3 Flash Point Test

This test aimed to establish the temperature at which the heated binder would ignite.

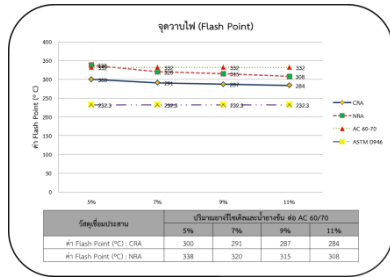


Figure 4.3 The Result of Flash Point Test

4.1.4 Rotational Viscosity Test

In a general rotational viscosity test, 135 degrees Celsius and 165 degrees Celsius were considered since they were the appropriate temperature for mixing the binder to the total mass materials. The viscosity could indicate the efficiency in agglomeration of the binder and the total mass materials.

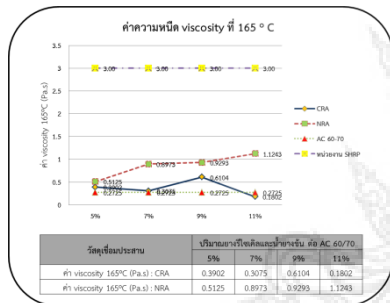


Figure 4.4 The Result of RVT at 165°C

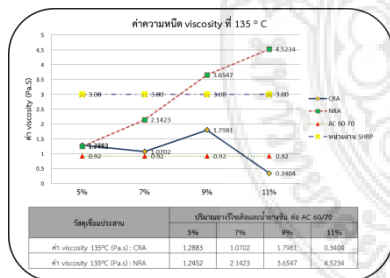


Figure 4.5 The Result of RVT at 135°C

4.1.5 Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

After roasting the binder at 325 °F (163 °C) for 85 minutes, RTFO was conducted.

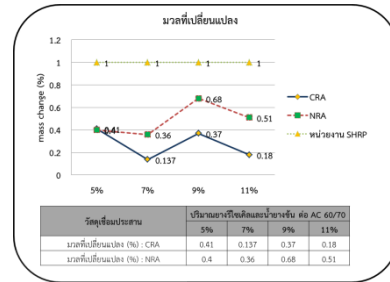


Figure 4.6 %Mass Loss of Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

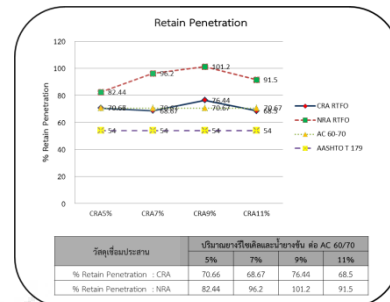


Figure 4.7 % Retain Penetration of Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

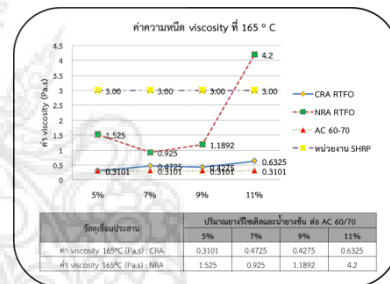


Figure 4.8 The Result of Rolling Thin Film Oven Test (RTFO) at 165°C

4.1.6 Dynamic Shear Theology

This test aimed to compare the properties in terms of elasticity, hardness, and durability against permanent deformation of the binder. The Strategic Highway Research Program (SHRP), an American organization, set the measures using G^* (stiffness) and δ (phase angle). Permanent deformation was governed by $G^*/\sin\delta$ at the test temperature with more than 1.0 kPa before aging and 2.2 kPa after aging in RTFO. Concrete fracture resulting from fatigue was governed by $G^*/\sin\delta$ of the material aged with PAV pressure lower than 5,000 kPa at the test temperature. This test was appropriate for the operation between 46 °C (116 °F) and 85 °C (180 °F).

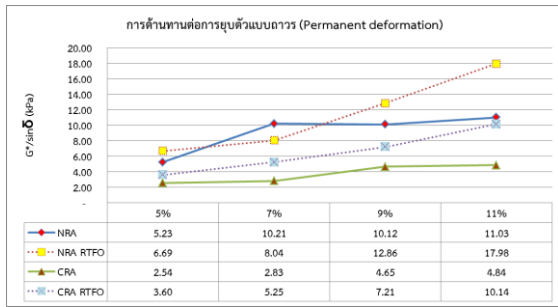


Figure 4.9 Compare The Permanent deformation

4.1.7 Pressure Aging Vessel Test

This test imitated the deterioration of asphalt cement by testing a sample from RTFO. It aimed to compare the elasticity, strength, and durability against permanent deformation between the test and standard value set by SHRP ($G^*/\sin\delta$ of the material aged by PAV pressure lower than 5,000 kPa at the test temperature). This test was suitable for operation at 4 °C to 20 °C.

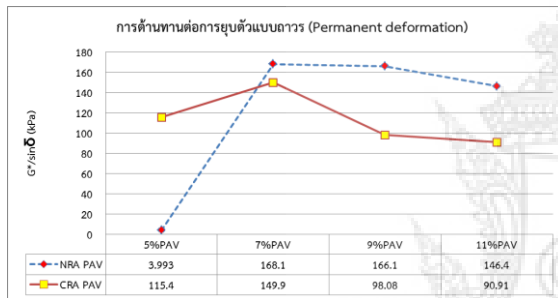


Figure 4.10 The Result of Pressure Aging Vessel Test at 13 °C

4.1.8 Summary of test results binder

According to the binder test, properties were compared to the international standards, such as the American Society for Testing and Materials (ASTM), The Strategic Highway Research Program (SHRP), and the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Table 4.1 Compare the Properties of Difference Mixture

No.	properties	Condition	Standard	Mixture that fail
1	(Softening Point	> AC60/70	ASTM D 36	-
2	Flash Point	> 232.3 (°C)	ASTM D946	-
3	Viscosity	≤ 3 (Pa.S)	SHRP	NRA 7% 9% 11%
4	% Retain Penetration	> 54 (°C)	AASHTO T 179	-
5	% Mass Loss	$\leq 1\%$	SHRP	-
6	Permanent	> 1.0 (kPa)	SHRP	-

	deformation			
7	Permanent deformation (RTFO)	> 2.2 (kPa)	SHRP	-
8	Permanent deformation (PAV)	$\leq 5,000$ (kPa)	SHRP	-

According to the table and the results, it can be concluded that the appropriate proportion of binder AC 60-70 mixed with recycled rubber was 11 percent and that of binder AC 60-70 mixed with thick latex was 6 percent (considering the appropriate factors and economic values with the results).

4.2 Asphaltic Concrete Property Test

4.2.1 The asphaltic concrete property test was based on the method implemented by Marshall. The Percentage of Air Void was determined to be in the range of 2-4%.

Table 4.2 The Result of Marshall test

Properties at % Air Void = 3.5-4.5%	Mix Asphalt							Standard of DRR Wearing (12.5 mm)		
	AC 60-70		AC 60-70 + Natural Rubber			AC 60-70 + Crumb Rubber				
% Binder Content	5	5.5	6	6	6.5	7	6	6.5	7	-
Marshall Stability (kN)	9.46	10.88	11.67	11.01	12.74	13.47	13.32	14.45	15.01	Min 8.000
Marshall Flow (0.25 mm)	11.15	14.67	13.16	8.88	10.51	15.48	9.52	15.92	12.72	8-16
% VMA	15	14.4	14.1	15.8	16.2	16.1	17.1	16.1	16.9	Min 14

Note: (1). This test follows the standards of asphaltic concrete using Marshall's method, (2) hard shoulder design using asphaltic concrete using 12.5 mm density.

The ingredients of asphaltic concrete had properties as shown in Table 4.2. When comparing the asphaltic concrete mixed with recycled and natural rubber based on the standards set by Department of Rural Roads (DRR), it was found that all of the ingredients met the standards.

Considering Marshall Stability, it was found that the stability of recycled rubber was greater than that of ingredients mixed with thick latex and that of normal asphaltic cement respectively. In other words, the mixture of these two types of rubber improved the strength of asphaltic concrete. Considering Marshall Flow, it was found that these two types of rubber mixture helped reduce deformation of asphaltic concrete when subject to load at a level which was lower than normal asphaltic cement.

4.2.2 Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

This test aimed to find the value of the modulus of asphaltic concrete at 30 °C in order to analyze the elastic property.

When mixing thick latex and recycled rubber in asphaltic concrete, the modulus of asphaltic concrete became 12.67% greater for the thick latex and 14.60% greater for the recycled rubber. Therefore, asphaltic concrete mixed with normal asphalt cement had a good elastic property. If more thick latex or recycled rubber was added, it would improve the elastic property well enough to prevent fracturing.

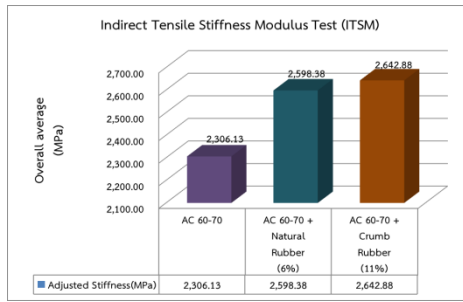


Figure 4.11 Average of resilience modulus

4.2.3 Wheel Tracking Test (WTT)

This test aimed to establish rutting resistance and was conducted at 60 °C for 45 minutes (based on BS 598 Standards: Part110:1998). The properties of asphaltic concrete with normal asphalt cement, thick latex, and recycled rubber were compared.

Table 4.3 The result of Wheel Tracking Test (WTT) at 60° C

Binder Type	Rutting Rate	Rut Depth
	(mm/hr)	(mm)
Crumb Rubber (11%)	0.59	1.6
AC 60/70	0.72	2
Natural Rubber (6%)	0.56	1.22

4.2.4 Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)

This test was crucial for comparing the lifetime of asphaltic concrete by simulating conditions with repeated weight and load pulse, the data for which were collected before the sample was deformed.

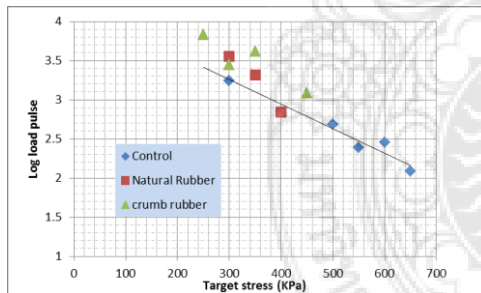


Figure 4.12 The Result of Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)

According to the results, when comparing the load pulse value at 300 kPa of the 3 sample materials:

- 1) The load pulse value of normal AC 60/70 was 1,752
- 2) The load pulse value of asphalt cement mixed with thick latex was 3,604
- 3) The load pulse value of asphalt cement mixed with recycled rubber was 2,782

The load pulse value can be used to compare the increasing rate of life span of concrete. According to the results, it was found that asphaltic concrete with 6% of NRA could lengthen the lifetime by 2.06 times

greater than normal AC 60/70 and asphaltic concrete with 11% of CRA could lengthen the lifetime by 1.59 times greater than normal AC 60/70.

5. Conclusion

The mixture of rubber and crumb rubber into asphalt before mixing with the total mass improved engineering properties in which Marshall stability increased while flow decreased.

NRA 6% and CRA 11% generated 22% and 18% rutting resistance respectively compared to AC 60/70

NRA 6% and CRA 11% generated 2.06 and 1.59 times respectively the fatigue resistance compared to AC 60/70.

6. Suggestion

The mixture of asphaltic cement, thick latex, and recycled rubber should be done in a hot plate container that can bear temperatures over 200 degrees Celsius since the materials are supposed to be mixed at a very high temperature.

The mixture of asphaltic cement and thick latex should be done in a closed container since there are breaking bubbles that require caution.

The mixture of certain types of rubber and asphalt requires the joint study of industrial and economic possibilities since the mixture of concrete is done by machine and the cost of rubber per kilogram is more expensive than tarmac.

References

- [1] Nopparat Wichitchonchai and Jaratsri Panmai, "The Use of Natural Rubber Mix Asphalt To Build a Road", Supporting Documents Rubber Conference, 2001.
- [2] Palit, S., K. Reddy, and B. Pandey, Laboratory Evaluation of Crumb Rubber Modified Asphalt Mixes. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004. 16(1): p. 45-53.
- [3] Mull M.A., K. Stuart, and A. Yehia, Fracture Resistance Characterization of Chemically Modified Crumb Rubber Asphalt Pavement. Journal of Materials Science, 2002. 37(3): p. 557-566.
- [4] Zanzotto, L. and G. Kennepohl, Development of Rubber and Asphalt Binders by Depolymerization and Devulcanization of Scrap Tires in Asphalt. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1996. 1530(-1): p. 51-58.
- [5] Noureldin, Rejuvenator Diffusion in Binder Film For Hot-Mix Recycled Asphalt Pavement. Transportation Research Board ISSN: 0361-1981
- [6] Shell Chemical Company

ประวัติย่อผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Krit Jedwanna
2. รหัสประจำตัวประชาชน 3 9305 00344 49 0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมหมายเลขโทรศัพท์และโทรสารและ E-mail
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะวิศวกรรมศาสตร์
เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
โทรศัพท์ : 02-2829009-15 ต่อ 490, 128 Fax : 02-2829009 ต่อ 128
(ฝ่ายวิชาการ) E-mail: Jedwanna@yahoo.com
5. ประวัติการศึกษา
พ.ศ.2541 ปริญญาตรี วศ.บ. สาขาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2545 ปริญญาโท วศ.ม. สาขาวิศวกรรมโยธา (ขนส่ง)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ.2551-ปัจจุบัน ปริญญาเอก วศ.ด. สาขาวิศวกรรมโยธา
(กำลังศึกษาอยู่) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา
ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยด้านการจราจรและขนส่ง
ผู้ตรวจสอบความปลอดภัยทางถนน
ผู้เชี่ยวชาญด้านการวางแผนการจราจรและขนส่ง
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่า เป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้
ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัยเป็นต้น
7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : 1) ปัญหาความปลอดภัยบริเวณทางโค้งอันตรายในประเทศไทย
2) ลักษณะการชนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุของรถ
โดยสารประจำทางขนาดใหญ่ระหว่างจังหวัดประเภทรุนแรง
7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วชื่อ : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
7.2.1 ปัญหาความปลอดภัยทางถนนของทางหลวงชนบท
แหล่งทุน : กรมทางหลวงชนบท
สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย
ผลงานตีพิมพ์ : กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ ธวัชชัย เหล่าศิริหงษ์ทอง และกิตติศักดิ์ ดวงปั้น,
2548, "ปัญหาความปลอดภัยทางถนนของทางหลวงชนบท", การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, 2-4 พฤษภาคม, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี
จอมเทียน, จ.ชลบุรี, หน้า TRP-101 ถึง TRP-106.

7.2.2 ปัญหาความปลอดภัยบริเวณทางโค้งอันตรายในประเทศไทย

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สถานภาพ : หัวหน้าโครงการวิจัย

ผลงานตีพิมพ์ : กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ และธวัชชัย เหล่าศิริหงษ์ทอง, 2547, "ปัญหาความปลอดภัยบริเวณทางโค้งอันตรายในประเทศไทย", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 (NCCE9), 19-21 พฤษภาคม, โรงแรมริเจนท์ ซะอำ, จ.เพชรบุรี, หน้า TRP-182 ถึง TRP-187

7.2.3 ลักษณะการชนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุของรถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่ระหว่างจังหวัดประเภทรุนแรง

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สถานภาพ : หัวหน้าโครงการวิจัย

ผลงานตีพิมพ์ : กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ และกิตติศักดิ์ ดวงปั้น, 2554, "การสืบสวนสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุเชิงลึก: กรณีศึกษาอุบัติเหตุรถบัส 2 ชั้น พลิกคว่ำบนถนนเพชรเกษม จ.ประจวบคีรีขันธ์", การประชุมวิชาการระดับชาติ มทร.พระนครครั้งที่ 1 วันที่ 23-24 สิงหาคม 2554



ประวัติคณะผู้วิจัยร่วม

- ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) วีระเทพ ชนินทรเทพ
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Weerathep Chanihtornthep
- รหัสประจำตัวประชาชน 1 9299 00020 19 7
- ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมหมายเลขโทรศัพท์และโทรสารและ E-mail
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ : 085-839-6921
E-mail: ch.weerathep@gmail.com
- ประวัติการศึกษา
พ.ศ.2549 ปริญญาตรี วศ.บ. สาขาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ.2553 ปริญญาโท วศ.ม. สาขาวิศวกรรมโยธา (ขนส่ง)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยด้านการจราจรและขนส่ง
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมทาง
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านสถิติ
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านเศรษฐศาสตร์
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่า เป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้
ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัยเป็นต้น
7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย (ไม่มี)
7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : (ไม่มี)
7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วชื่อ : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
การศึกษาจัดทำแผนแม่บท และออกแบบเชิงความคิดเพื่อการพัฒนาพื้นที่บริเวณย่าน
สถานีกรุงเทพ
แหล่งทุน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย
งานบริการที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบราคากลาง โครงการระบบรถไฟชานเมือง (สายสีแดง)
ช่วงบางซื่อ – รังสิต
แหล่งทุน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

โครงการว่าจ้างที่ปรึกษาประเมินราคาสินทรัพย์ถาวรของการรถไฟแห่งประเทศไทย
ประเภททางรถไฟ และสะพาน

แหล่งทุน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

โครงการเพิ่มประสิทธิภาพระบบตรวจสอบสภาพผิวทางอัตโนมัติ

แหล่งทุน : กรมทางหลวงชนบท

สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

