การศึกษาและพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีต ผสมด้วยเศษยางธรรมชาติป่น

Development of Hot Mixes of Asphaltic Concrete with Rubber Scrap Natural

กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ

วีระเทพ ชนินทรเทพ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นี้นำเสนอคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการปูผิวทางจราจร โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ (Scrap Natural Rubber) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อเลือกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ที่ดีที่สุด นำไปผสมกับมวลรวมเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลติกคอนกรีต โดยผลการทดสอบ พบว่า การผสมเศษยางพาราธรรมชาติ ในอัตราส่วน ร้อยละ 7 ลงในยางแอสฟัลต์ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานดีที่สุด และเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า ค่า Marshall stability มีค่าเพิ่มขึ้น โดยแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมเศษยางพาราธรรมชาติทำให้ค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณ ร้อยละ 13.53 เมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลติกคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมของเศษยางพาราธรรมชาติ

คำสำคัญ: คุณสมบัติแอสฟัลต์/ แอสฟัลต์ปรับปรุงคุณภาพ/เศษยางพาราธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Abstract

This research presents the engineering properties of asphalt (AC 60/70) modified with different ratios of scrap natural rubber. Then select the best properties of the binder to mix asphaltic concrete. From laboratory testing results, with adding 7% scrap natural rubber into mixtures for the best results. The properties of asphaltic concrete can be improved by adding 7% scrap natural rubber. For asphaltic concrete, Marshall Stability increased with adding scrap natural rubber into asphalt. Moreover, the stiffness modulus of asphaltic concrete can be improved 13.53 compared to AC 60/70.

Keywords: Properties of asphalt, Asphalt Modified, Scrap Natural Rubber

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความรู้ที่ได้รับการประสิทธิ์ ประสาทจากคณาจารย์และการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งคณะผู้วิจัยจะขอกล่าว ณ ที่นี้เพื่อเป็นการระลึกด้วยความเคารพและความขอบคุณ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อการทดสอบวัสดุต่าง ๆ ในงานวิจัย จนส่งผลให้งานวิจัยดังกล่าวประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนึ่ง คณะผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ ให้แก่เหล่าคณาจารย์ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น คณะวิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 3

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 3

1.5 สมมุติฐานของการศึกษา 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 คำจำกัดความของแอสฟัลต์ (Asphalt) และประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน . 5

2.2 ประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร 6

2.3 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดยางแอสฟัลต์) 8

2.4 งานวิจัยการพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยรีไซเคิล หรือ ยางพาราธรรมชาติ 10

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 22

3.1 แนวทางทดสอบและวิเคราะห์วัสดุปูผิวทาง 23

3.2 รายละเอียดและวิธีการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการ 28

บทที่ 4 ผลการศึกษา 36

4.1 การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมเศษยางพาราธรรมชาติ 36

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน 38

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต 46

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต 48

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 50

5.1 วัสดุเชื่อมประสาน 50

5.2 แอสฟัลติกคอนกรีต 51

ประวัติย่อผู้วิจัย 52

บรรณานุกรม 53

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ของแอสฟัลต์ 5
ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบวิธีการตัดยางรถยนต์ทั้ง 2 วิธี (Reschner, 2549) 13
ตารางที่ 2-3 สมบัติของแอสฟัลต์ (AC 60/70) ผสมน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง 18
ตารางที่ 2-4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน 20
ตารางที่ 3-1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) 24
ตารางที่ 3-2 การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอลฟัสติกคอนกรีต 24
ตารางที่ 3-3 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านวิศวกรรมในแต่ละการทดสอบ 25
ตารางที่ 3-4 รายละเอียดความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิศวกรรม 26
ตารางที่ 4-1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder) 36
ตารางที่ 4-2 จำนวนตัวอย่างการทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต 37
ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน 45
ตารางที่ 4-4 ขนาดคละของวัสดุมวลรวม 46
ตารางที่ 4-5 การตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบ 47
ตารางที่ 4-6 การตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด 47
ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล โพรงอากาศ (4% Air Void) 48

สารบัญภาพประกอบ

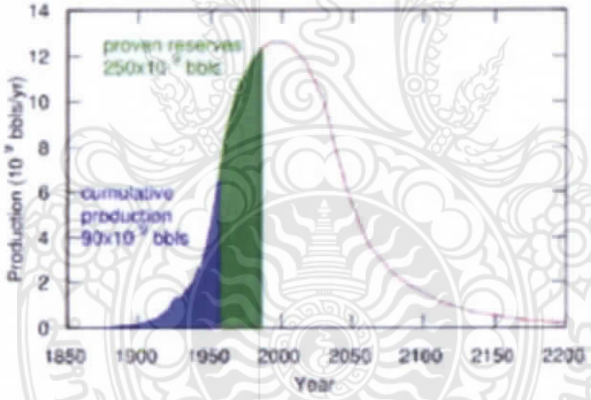
หน้า

รูปที่ 1-1 ปริมาณน้ำมันจากการสำรวจตามรายงาน Peak - Oil Report 1
รูปที่ 1-2 เศษยางพาราธรรมชาติที่นำมาใช้ในงานวิจัย 2
รูปที่ 2-1 หลักการผลิต Emulsified Asphalts 7
รูปที่ 2-2 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดยางแอสฟัลต์) 9
รูปที่ 2-3 การตัดที่อุณหภูมิปกติ (Reschner, 2549) 12
รูปที่ 2-4 การตัดที่อุณหภูมิเย็นจัด (Reschner, 2549) 13
รูปที่ 2-5 การผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลติกคอนกรีตแบบเปียก (Reschner, 2549) 14
รูปที่ 2-6 ตัวอย่างเครื่อง และแบบทางวิศวกรรมเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพาราชนิดน้ำยางข้นแบบเคลื่อนที่ได้ (ณพรัตน์ พิชิตพลชัย และคณะ) 16
รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 22
รูปที่ 3-2 ตัวอย่างเศษยางพาราธรรมชาติและแอสฟัลต์ ชนิด AC 60/70 23
รูปที่ 3-3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน 28
รูปที่ 3-4 เครื่องทดสอบแบบถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ 29
รูปที่ 3-5 เครื่องทดสอบเพนิเทรชันในภาชนะย้ายตัวอย่างนอกอ่างควบคุมอุณหภูมิ 30
รูปที่ 3-6 เครื่องทดสอบ Rolling Thin Film Oven 31
รูปที่ 3-7 เครื่องทดสอบ Pressure Aging Vessel Test 32
รูปที่ 3-8 เครื่องทดสอบ Rotational Viscosity Test 32
รูปที่ 3-9 เครื่องดึงชิ้นทดสอบ 33
รูปที่ 3-10 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM) 34
รูปที่ 3-11 อุปกรณ์การทดสอบ Marshall Test 35
รูปที่ 4-1 การผสมวัสดุเชื่อมประสานกับเศษยางพาราธรรมชาติ 37
รูปที่ 4-2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening point) 38
รูปที่ 4-3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และจุดติดไฟ (Fine Point) 39
รูปที่ 4-4 ค่าเพนิเทรชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข็มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที 40
รูปที่ 4-5 ค่าความยืดของวัสดุ (ซม.) 41
รูปที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO) . 42
รูปที่ 4-7 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 °C 43
รูปที่ 4-8 ผลการทดสอบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร ที่อุณหภูมิ 13 ° C 44
รูปที่ 4-9 ผลทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM) 49

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการก่อสร้าง และการบูรณะปรับปรุงสภาพสายทางถือเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาประเทศไทยในด้านการคมนาคมขนส่งทั้งการขนส่งคน และการขนส่งสินค้า เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ โดยความเสียหายที่เกิดกับสายทางที่เปิดให้ใช้งานมาในระยะหนึ่งตามอายุไขของการใช้งาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุง ซ่อมแซม หรือก่อสร้างใหม่ให้มีสภาพการใช้งานที่ดีอยู่เสมอ ส่วนผสมในการผลิตแอสฟัลต์เพื่อปูผิวทางในปัจจุบันจะมีการใช้ Bitumen เป็นองค์ประกอบหลักในการเพิ่มการเกาะตัวของแอสฟัลต์และให้ความหนืด (Viscosity) ของแอสฟัลต์ สำหรับการใช้งานในการก่อสร้างทาง Bitumen เป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งในปัจจุบันราคาน้ำมันมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่จากการสำรวจโดยรวมมีการลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตามรายงาน Peak - Oil Report ที่มีการเผยแพร่อย่างแพร่หลายได้มีการคาดการณ์ว่าระดับน้ำมันในโลกจะอยู่ในจุดสูงสุดในช่วงมี พ.ศ. 2553 (ค.ศ.2010) และหลังจากนั้นจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระดับทรัพยากรน้ำมันดิบในโลกจะหมดลงในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ.2050) ดังแสดงในรูปที่ 1-1



ที่มา : Hubbert, Marion King (June 1956)

รูปที่ 1-1 ปริมาณน้ำมันจากการสำรวจตามรายงาน Peak - Oil Report

ซึ่งในการพัฒนาวัสดุ และระบบต่าง ๆ ในมุมมองของการพัฒนาอย่างยั่งยืนจำเป็นที่จะต้องหาทางเลือกอื่นในการลดสัดส่วนการใช้วัสดุ Bitumen ในองค์ประกอบของสารยึดเหนี่ยว (Binder) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเริ่มพัฒนาการใช้ยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) เข้ามาเป็นวัสดุทดแทนในส่วนของการใช้ Bitumen โดยที่งานวิจัยของกรมทางหลวง (ปี พ.ศ.2555) และ กรมทางหลวงชนบท (ปี พ.ศ. 2556) เป็นการพัฒนาส่วนผสมในรูปแบบ Rubberized Mix ซึ่งจะเป็นการใช้ยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) ชนิดข้นเหลว เป็นส่วนผสมในรูปแบบการผสมแบบเปียก (Wet – Mix) หรือผสมร่วมโดยตรงกับวัสดุเชื่อมประสานในขั้นตอนการผสม แอสฟัลต์โดยประโยชน์ของการใช้ยางพาราธรรมชาตินอกเหนือจากการลด

สัดส่วนการใช้ Bitumen แล้วยังเป็นการเพิ่มคุณภาพผิวทางในด้านการลดระดับของร่องล้อ (Rutting) หรือการทรุดตัวของผิวทาง และเพิ่มความทนทานของผิวทางต่ออุณหภูมิที่สูง ซึ่งเป็นลักษณะการพัฒนาผิวทางในรูปแบบที่มีคุณภาพเหนือกว่าผิวทางแบบปกติ (High - Performance Pavement) การใช้ยางพาราธรรมชาติเป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์ยังส่งผลประโยชน์ในเชิงสิ่งแวดล้อม เช่น การลดมลภาวะทางเสียงตามผิวทาง และลดปริมาณการใช้ Bitumen ซึ่งเป็นสารที่สกัดจากน้ำมันดิบ

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่เป็นจุดด้อยยางพาราธรรมชาติ คือ อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสภาพให้อยู่ในสถานะของเหลว (Liquid State) สำหรับการผสมนั้นมีค่าที่สูงกว่า Bitumen โดยอาจจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นในการทำ Mixed Asphalt ดังนั้นโครงการศึกษานี้จะทำการทดสอบประเมินประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ทั้งในเชิงวิศวกรรมในการปรับใช้การผลิต Mixed Asphalt โดยที่ใช้ เศษยางพาราธรรมชาติแทนที่ Bitumen Binder ในสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากมีงานวิจัยที่นำน้ำยางข้นผสมกับแอสฟัลต์ในสัดส่วนที่เหมาะสม (ประมาณร้อยละ 5) ซึ่งในกระบวนการผสมกับแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิสูง พบว่าวัสดุเชื่อมประสานมีการเกิดฟองพวยพุ่งในขั้นตอนการผสมซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ผสมได้ เนื่องจากในน้ำยางข้นมีส่วนผสมของแอมโมเนียเข้มข้น และน้ำมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนสารจะทำปฏิกิริยาให้เกิดฟองได้ อีกทั้งการนำเศษยางพาราที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากผลผลิตยาง เป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของตัววัสดุ และอาจช่วยพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุปูผิวทางได้ในอนาคต โดยทางผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมระหว่าง Asphalt AC 60/70 กับ Rubberized Asphalt (AC 60/70 + เศษยางพาราธรรมชาติ) โดยอ้างอิงผลการทดสอบและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เป็นสากล เช่น ASTM มอก. เป็นต้น

รูปที่ 1-2 เศษยางพาราธรรมชาติที่นำมาใช้ในงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสาน และระบุสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผสมวัสดุปูผิวทาง

2) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมระหว่าง Asphalt AC60/70 กับ วัสดุเชื่อมประสาน (AC60/70 + เศษยางพาราธรรมชาติ) และเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เป็นสากล เช่น ASTM มอก. เป็นต้น

3) เพื่อพัฒนามาตรฐานสำหรับส่วนผสม และกระบวนการในการผลิต Rubberized Asphalt ที่เหมาะสมสำหรับถนนของประเทศไทย โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรม

4) เพื่อเป็นแนวทางและข้อมูลสำหรับงานวิจัยต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เพื่อความชัดเจนของงานวิจัยผู้วิจัยจึงได้มีการระบุขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

1) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย แอสฟัลต์ ชนิด AC 60/70 เศษยางพาราธรรมชาติ

2) การทดสอบวัสดุต่าง ๆ ทุกกระบวนการ ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) ทั้งสิ้น

3) การทดสอบและวิเคราะห์ผลทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ของเศษยางพาราธรรมชาติ กับแอสฟัลต์ ชนิด AC 60/70 โดยอ้างอิงมาตรฐานสากลในปัจจุบัน เช่น ASTM AASHTO และ มอก.

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการในการวิจัยโดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสืบค้น ทบทวนเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปูผิวทางโดยมี Asphalt เป็นส่วนผสมในปัจจุบันของกรรมวิธีต่าง ๆ ทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ ซึ่งเน้นที่การผลิต Rubberized Asphalt ที่ใช้ส่วนผสมในรูปแบบ ยางพาราธรรมชาติ

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบตัวอย่างของสัดส่วนระหว่าง แอสฟัลต์ กับ เศษยางพาราธรรมชาติ (Rubber Scrap Natural: RSN) ในแต่ละสัดส่วน เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการเพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพของวัสดุปูผิวทางได้แก่

- ประสิทธิภาพเชิงกายภาพ (Physical Strength)
- ความทนทานในการใช้งาน (Durability and Fatigue Resistance)
- ความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง (Workability)

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของสัดส่วนระหว่างแอสฟัลต์กับเศษยางพาราธรรมชาติ (Rubber Scrap Natural: RSN) เพื่อสรุปเป็นข้อเสนอแนะในการระบุมาตรฐานการผสมที่เหมาะสมในการปูผิวทาง

ขั้นตอนที่ 4 การสรุปผลการศึกษา

1.5 สมมุติฐานของการศึกษา

การผสมเศษยางพาราธรรมชาติลงในแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมในวัสดุเชื่อมประสาน และแอสฟัลติกคอนกรีต โดยสามารถยืดอายุการใช้งานของถนนได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพิ่มความคงทนต่อผิวทาง ส่งผลให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงทาง

2) ลดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดการปล่อยควันฝุ่นละออง และกลิ่นจากการปูผิวทาง เป็นต้น

3) เพิ่มประสิทธิภาพต่อคุณสมบัติของผิวทาง เช่น มีการเกาะตัวที่ดี ง่ายต่อการขนส่งทางไกล เพื่อใช้ซ่อมแซมผิวทางในที่ห่างไกล ไม่ส่งผลกระทบต่อรอยแตกเดิม

4) การนำเศษยางพาราที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากผลผลิตยาง เป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของตัววัสดุ

5) จุดด้อยของการใช้น้ำยางข้น คือ ต้องรักษาคุณสมบัติของเหลวของวัสดุ ซึ่งในการผสมจริงหน้างานการขนส่งและรักษาคุณสมบัติทำได้ยากกว่าการใช้เศษยางพาราป่นที่เป็นของแข็งการขนส่งจึงทำได้ง่ายและสะดวกกว่า

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความของแอสฟัลต์ (Asphalt) และประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน

แอสฟัลต์ คือ วัสดุประสานสีน้ำตาลเข้มถึงดำ สภาพแข็งหรือกึ่งแข็ง เมื่อวิเคราะห์ทางกายภาพแอสฟัลต์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

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

โดย Asphaltenes จะห่อหุ้ม Asphaltic Resins แล้วแขวนลอยอยู่ในส่วนของ Oily Constituents ซึ่งส่วนประกอบของ Asphaltenes และ Asphaltic Resins เป็นสมบัติที่แท้จริงของยางมะตอย คือ เหนียวและยืดหยุ่นได้ที่อุณหภูมิปกติ มีความหนาแน่น 1.01 - 1.04 และมีองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ของแอสฟัลต์

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

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

คุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์ที่ทำให้เป็นที่นิยมในการเลือกมาใช้งานต่าง ๆ ได้แก่

- สมบัติในการยึดและประสาน (Cementing)
- สมบัติการป้องกันน้ำซึม (Water Proofing)
- สมบัติที่เปลี่ยนเป็นของเหลวหรืออ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อถูกความเย็น (Thermoplastic)
- สมบัติในการทนกรดและด่างอ่อน ๆ

จากสมบัติดังกล่าว ทำให้สามารถนำแอสฟัลต์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย โดยเฉพาะนำมาใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะวัสดุต่าง ๆ ในการทำผิวจราจร นอกจากนี้ ยังใช้แอสฟัลต์ในการลาดคลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำ สระน้ำ ผิวหน้าเขื่อนดินเพื่อป้องกันน้ำซึม และยังใช้ในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ทำสีกันสนิม กระดาษกันซึม กระเบื้องยางปูพื้น เคลือบภายในท่อน้ำ เป็นต้น

2.2 ประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร

2.2.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ การนำไปใช้งานต้องต้มให้เหลวโดยใช้อุณหภูมิ 200° - 300°F และแบ่งเป็นเกรดต่าง ๆ 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 ค่าเพนิเทรชันเท่ากับ 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 เพื่อให้สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานและสภาพดินฟ้า อากาศของแต่ละพื้นที่ เช่น ประเทศไทยเป็นเขตภูมิอากาศร้อน ควรใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ค่อนข้างต่ำ คือ 60/70 แต่ในประเทศหนาวอาจต้องใช้ถึงเกรด 120/150 หรือสูงกว่า
- Blown Grade คือ แอสฟัลต์ที่ได้จากการนำเอาแอสฟัลต์ ชนิด Penetration Grade ไปเป่าลม ใส่ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250° - 300°C ซึ่งทำให้สมบัติทางด้านความแข็งและการทนความร้อนของยางดีขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของ Asphaltene ในเนื้อยางสูงขึ้น ได้แก่ R.85/25 R.85/40 R.115/15 R.135/10 R.155/7 เช่น R.85/25 หมายถึง
  - R : Rubbery หมายถึงมีคุณสมบัติบางส่วนใกล้เคียงยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติ
  - 85 : ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ (Softening Point) หน่วยเป็น °C วัด โดยใช้เครื่องมือ Ring and Ball Test (แอสฟัลต์ชนิดนี้อ่อนตัวในช่วงอุณหภูมิ 80-90° C)
  - 25 : ค่าเพนิเทรชัน
- Hard Grade คือ ยางที่ได้จากการนำแอสฟัลต์ ชนิด Penetration Grade ไปกลั่นต่อภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิสูง ทำให้ได้แอสฟัลต์ที่มีความแข็งมากขึ้น ได้แก่ H 80/90 หมายถึง
  - H : Hard
  - 80/90 : ค่าจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 80 - 90 ° C แต่ค่าเพนิเทรชันของแอสฟัลต์ ชนิดนี้ไม่ได้แสดงไว้ โดยจะอยู่ในช่วง 6 - 12 เท่านั้น

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

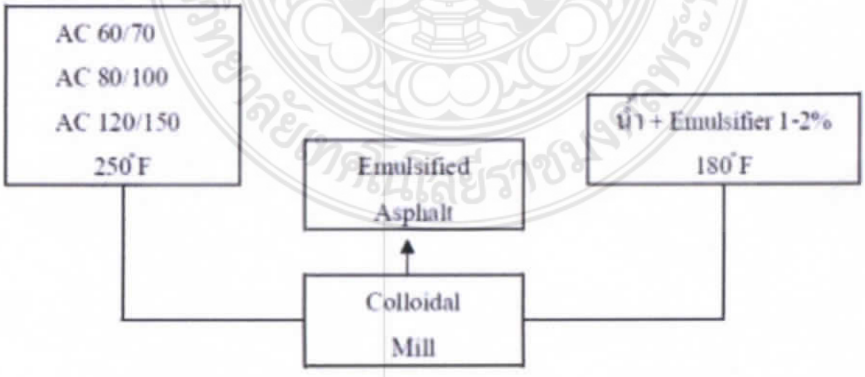
2.2.2 แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid Asphalt)

แอสฟัลต์ชนิดเหลว แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- Cutback Asphalts เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ ไปละลายในตัวทำละลาย (Solvents) ซึ่ง ได้แก่ น้ำมัน ต่าง ๆ เช่น Neptha (Gasoline) Kerosine และ Diesel Oil น้ำมันที่ใช้เป็นสารละลายนี้ เรียกรวมว่า Dituent หรือ Culter Stock แอสฟัลต์ชนิดนี้มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา และจะข้นหรือเหลวขึ้นกับชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ Culter Stock ตลอดจนสัดส่วนระหว่างแอสฟัลต์ กับ Culter Stock การใช้งานแอสฟัลต์ชนิดนี้ เมื่อทำการบดอัดแล้วจะปล่อยทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหยไป จะเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์ทำหน้าที่ประสานวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน Cutback Asphalt แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามชนิดตัวทำละลาย คือ

  1) ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Curing : RC) ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหย เร็ว ได้แก่ Neptha (Gasoline) แอสฟัลต์ชนิดนี้แข็งตัวเร็ว ส่วนมากใช้กับงาน Surface treatment
  2) ชนิดแข็งตัวปานกลาง (Medium Curing, MC) ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลาง ได้แก่ Kerosine จะมีการแข็งตัวช้ากว่าชนิด RC การใช้งานต้อง ใช้เวลาในการบ่มตัวนาน (Curing) ส่วนมากใช้กับงาน Prime Coat Tack Coat เพื่อให้ MC มี โอกาสซึมลงไปใต้ผิว Base Course ได้มาก
  3) 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 ผลิตได้โดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 250°C ผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170°C โดยมีสารเคมีช่วยในการให้อนุภาคของแอสฟัลต์กระจายตัวซึ่งเรียกว่า Emulsifier ผสมอยู่ น้ำและแอสฟัลต์ถูกตีด้วยเครื่อง Colloidal Mill ทำให้แอสฟัลต์แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กกระจายอยู่ในน้ำ



ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

รูปที่ 2-1 หลักการผลิต Emulsified Asphalts

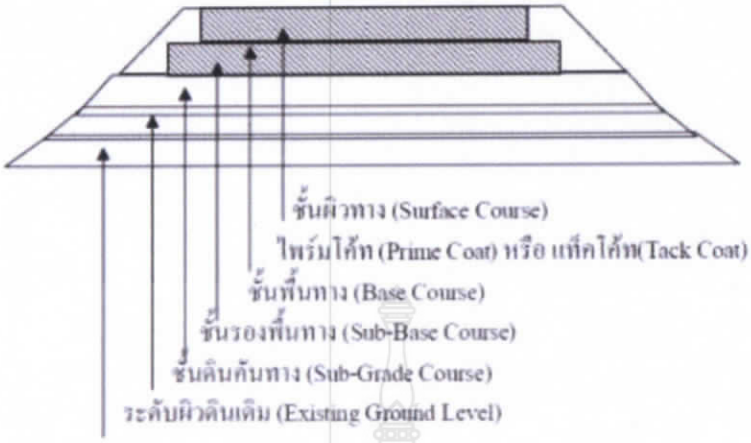
Emulsifier เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของ Emulsion Asphalt ตามชนิดของประจุ คือ ชนิดประจุไฟฟ้า ลบ (Anionic) ประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) และชนิดที่เป็นกลาง (Nonionic) แต่ในการก่อสร้างใช้ชนิดประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ ส่วนในงานสร้างถนนนิยมใช้ Cationic Emulsified Asphalt มากกว่า Anionic Emulsified Asphalt เนื่องจากหินที่ใช้ในการก่อสร้างมีผิวที่เป็นประจุลบ ซึ่งตรงข้ามกับ Asphalt Particle ของ Cationic Emulsified Asphalt การใช้งานแอสฟัลต์ชนิดนี้ นำไปใช้ในงานประเภท Penetration Macadam Surface Treatment Prime Coat Track Coat และ Seal Coat เป็นต้น

เนื่องจากแอสฟัลต์ชนิด นี้มีน้ำเป็นส่วนผสม สามารถนำไปใช้งานโดยผสมกับส่วนอื่นที่เป็นน้ำได้ และยังสามารถทำงานในขณะที่วัสดุอื่นๆ เปียกน้ำได้ (Anionic Emulsified Asphalt จะใช้ Emulsifier เป็นพวก Fatty Acid ซึ่งทำให้อนุภาค แอสฟัลต์แสดงประจุไฟฟ้าเป็นประจุลบ ส่วน Cationic Emulsified Asphalt จะใช้ Emulsifier เป็นพวก Fatty Amines ซึ่งทำให้อนุภาคแอสฟัลต์มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก)

2.3 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดยางแอสฟัลต์)

ปัจจุบันโครงสร้างของถนนลาดยางแอสฟัลต์ ในประเทศไทยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- ชั้นผิวทาง (Surface Course) คือ ชั้นบนสุดของทางที่เป็นผิวจราจร มี 3 แบบ คือ
  - Asphaltic Concrete (Hot-mix Asphalt)
  - Surface Treatment
  - Penetration Macadum
- ไพร์มโค้ท (Prime Coat) คือ ส่วนของแอสฟัลต์เหลวที่ราดบนผิวทางเพื่อยึดเหนี่ยวเชื่อมผิวทาง
- ชั้นพื้นทาง (Base Course) คือ ชั้นส่วนวัสดุที่มีคุณสมบัติดี เช่น หินโม่ หรือกรวดโม่ ซึ่งมีขนาดคละกันสม่ำเสมอจากขนาดใหญ่มาหาเล็ก หรือเป็น Asphaltic Concrete แบบเดียวกับ ผิวทางก็ได้ โดยบดทับแน่นบนชั้นรองพื้นทาง
- ชั้นรองพื้นทาง (Sub - Base Course) คือ ชั้นส่วนวัสดุรองใต้พื้นทาง โดยทั่วไปมักจะเป็นลูกรังหรือส่วนของดินที่มีคุณสมบัติดี บดอัดแน่นบนชั้นดินคันทาง (Sub - Grade Course)
- ชั้นดินคันทาง (Sub - Grade Course) คือ วัสดุที่ดี เสริมและบดอัดแน่นบนผิวดินเดิม (Existing Ground Level) มีแนวและระดับตามที่ออกแบบ
- ไหล่ทาง (Shoulder) คือ ส่วนที่เสริมด้านท้ายริมสุดของผิวทางและพื้นทางทั้งสองข้างให้แน่นและได้ระดับเท่าผิวทาง วัสดุที่ใช้เหมือนรองพื้นทาง



รูปที่ 2-2 โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดยางแอสฟัลต์)

ในปัจจุบันการสร้างถนนลาดยางแอสฟัลต์ส่วนใหญ่ผิวทางจะเป็นแบบ Asphaltic Concrete (Hot-Mix Asphalt) ซึ่งเป็นวัสดุผสมที่ได้จากการผสมมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่หลอมเหลว แบบผสมร้อน (Hot - Mix) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด ส่วนมากต้องผสมที่โรงงานผสม

- 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
- การเตรียมการก่อสร้างแอสฟัลติกคอนกรีต
  - รองพื้นทาง พื้นทาง ไหล่ทางต้องเรียบสม่ำเสมอได้มาตรฐาน
  - ทำ Prime Coat หรือในบางกรณีอาจต้องทำ Tack Coat ด้วย มวลรวมก่อนผสมต้องทำให้ร้อน 163 ± 8°C และแอสฟัลต์ก่อนผสมต้องทำให้ร้อน 159 ± 8°C ผสมเสร็จแล้ว ก่อนนำออกจากโรงงานผสมต้องมีอุณหภูมิ 121- 168°C

นอกจากนี้ ปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกในปัจจุบันสูงขึ้นมาก ทำให้ถนนที่ทำด้วยแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เกิดปัญหาในเรื่องผิวทางชำรุดเสียหายเร็วกว่าปกติ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาสูงขึ้นมาก โดยลักษณะความเสียหายที่พบเป็นดังนี้

- ผิวทางเยิ้ม (Bleeding) เป็นปรากฏการณ์ที่แอสฟัลต์ในผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต ไหลขึ้นมารวมกันที่ผิวหน้าเมื่อแดดร้อน แอสฟัลต์จะไหลเยิ้ม ทำให้ผิวทางลื่น เกิดเนื่องจากแอสฟัลต์ มีค่าความหนืดต่ำ (Low Viscosity) และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) เร็วมาก
- ผิวทางเกิดร่องล้อ (Rutting) เป็นปรากฏการณ์ที่ผิวทางของแอสฟัลต์ซีเมนต์ยุบตัวเป็นร่องตามแนวล้อที่รถแล่นทับ ส่วนมากเกิดหลังจากที่ผิวทางเยิ้มทำให้ผิวทางไม่มั่นคงแข็งแรง พอ จึงเกิดการยุบตัวและขาดคุณสมบัติการยืดหยุ่น (Elastic) ทำให้เกิดการยุบตัวแล้วไม่ กลับคืน

- ผิวทางแตกร้าว (Crack) มีสาเหตุจากผิวทางมีสภาพแข็งเปราะขาดความยืดหยุ่น เมื่อมีน้ำหนักรถกระทำซ้ำ ๆ (Repeated Load) ผิวทางจะล้า (Fatigue) ทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่เรียกกันว่า Fatigue Crack
- ผิวทางมีผิวหน้าหลุด (Reveling) เป็นปรากฏการณ์ที่ผิวทางสึกกร่อน เพราะวัสดุส่วนละเอียดที่ผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกแรงเฉือนจากล้อรถตะกุยจนหลุดออก ทำให้ผิวทางมีลักษณะหยาบขรุขระ

ดังนั้นการแก้ไขปัญหาผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชำรุด โดยเฉพาะในถนนที่มีปริมาณการจราจร และปริมาณรถบรรทุกสูงจะต้องปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซึ่งเป็นตัวประสานให้มีสมบัติดังนี้

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

2.4 งานวิจัยการพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยรีไซเคิล หรือยางพาราธรรมชาติ

การทบทวนงานวิจัยที่พัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยยางรีไซเคิล หรือยางพาราธรรมชาติ

2.4.1 การใช้ชิ้นส่วนยางรถยนต์ในการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์

1) กระบวนการผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลต์

ยางธรรมชาติเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ ดังนั้นยางธรรมชาติจึงสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อย่างไรก็ดีการย่อยสลายทางชีวภาพดังกล่าวไม่จัดว่าเป็นการรีไซเคิลเพราะกระบวนการดังกล่าวต้องใช้เวลานานมาก โดยปกติ “ความสามารถในการรีไซเคิลได้” จะหมายถึงกระบวนการที่สั้นกว่าที่จะนำไปสู่การได้กลับคืนมาของส่วนประกอบดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์หรือการนำผลิตภัณฑ์กลับมาประยุกต์ใช้ใหม่ (Reuse) ในงานอื่นหลังจากที่ผลิตภัณฑ์นั้นหมดอายุการใช้งานในครั้งแรกไปแล้ว โดยธรรมชาติแล้ว ยางธรรมชาติสามารถเกิดการย่อยสลายได้เอง แต่ว่าในการใช้งานจริงๆ นั้น ยางธรรมชาติจะต้องถูกนำไปผสมกับสารเคมีต่างๆ ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปและอบให้ยางคงรูปด้วยกระบวนการวัลคาไนเซชัน ดังนั้น โมเลกุลของยางในผลิตภัณฑ์จึงถูกเชื่อมโยงกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ซึ่งการเกิดโครงสร้างดังกล่าวจะส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการรีไซเคิลของยางธรรมชาติ ในอดีตที่ผ่านมาได้มีความพยายามที่จะรีไซเคิลยางกันมาก เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของยางล้อรถเก่าถูกพิจารณาให้เป็นปัญหาสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นี่เป็นเหตุผลว่าทำไมในสหภาพยุโรปจึงไม่อนุญาตที่ให้ทิ้งยางล้อเก่าอีกต่อไปโดยเริ่มตั้งแต่ พ.ศ. 2546 เป็นต้นไป นโยบายนี้ได้ทำให้ผู้คนให้ความสนใจเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากองค์ประกอบหลักของยางล้อคือ ยางธรรมชาติ ดังนั้นการนำยางธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่จึงกลายเป็นประเด็นหลักที่ผู้คนให้ความสนใจ โดยทั่วไปการนำผลิตภัณฑ์ยางที่วัลคาไนเซชันแล้วมารีไซเคิลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

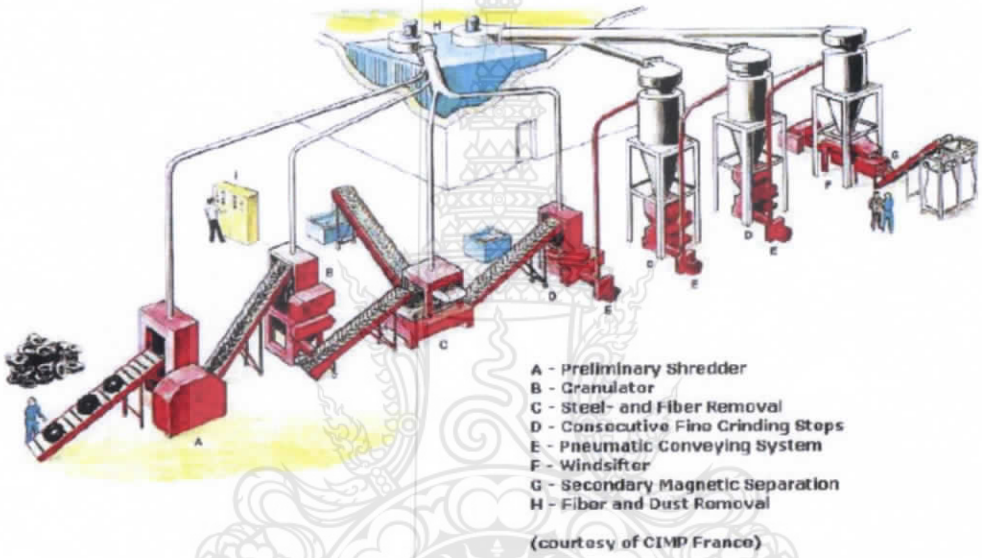
- *การนำผลิตภัณฑ์หรือบางส่วนของผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ เช่น การหล่อดอกยางใหม่*
- การรีเคลมหลังจากการบดผลิตภัณฑ์
- การย่อยสลายผลิตภัณฑ์
- การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการเผาไหม้เพื่อให้ได้พลังงานกลับคืนมา

หลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษากันอย่างจริงจังเกี่ยวกับการรีไซเคิลยางด้วยวิธีต่าง ๆ จึงส่งผลให้ปัญหาต่าง ๆ ทุเลาลงไปมาก อย่างไรก็ตามกระบวนการที่มีการพัฒนาขึ้นมานั้นเกือบทุกกระบวนการล้วนประสบกับปัญหาอื่น ๆ ตามมา เช่น ปัญหาในเรื่องของการนำไปสู่เชิงพาณิชย์ (ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีไซเคิลยังไม่สามารถแข่งขันได้กับวัสดุใหม่) และ/หรือปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เป็นที่ชัดเจนว่าการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่เป็นเพียงการเลื่อนปัญหาออกไปในอนาคตเท่านั้นเอง เพราะว่าสุดท้ายแล้วคุณภาพที่เลวร้ายจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ ส่วนการนำผลิตภัณฑ์ยางไปเผานั้นถือเป็นทางแก้ปัญหาขั้นสุดท้าย ซึ่งอาจจะถูกพิจารณาว่าเป็นการสูญเสียวัสดุที่มีค่าไป จากมุมมองนี้แน่นอนว่าในกรณีของยางธรรมชาติเป็นสิ่งที่น่าสงสัยมาก ทำไมผู้คนจึงเห็นว่าการเผาไหม้ของน้ำมันพืชและเอทานอลซึ่งได้มาจากอ้อย (เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์) จึง "เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม" แต่การเผาไม้ของยางธรรมชาติซึ่งก็ถือเป็นผลิตภัณฑ์จากพืชเช่นกันกลับเป็นสิ่งที่น่ารังเกียจ สถานการณ์ที่แปลกอันหนึ่งก็คือก่อนที่ผลิตภัณฑ์ยางนั้นจะถูกนำมาเผาเพื่อให้กลายเป็นแหล่งพลังงาน ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นส่วนใหญ่จะผ่านการใช้งานมาอย่างยาวนานและคุ้มค่าแล้ว

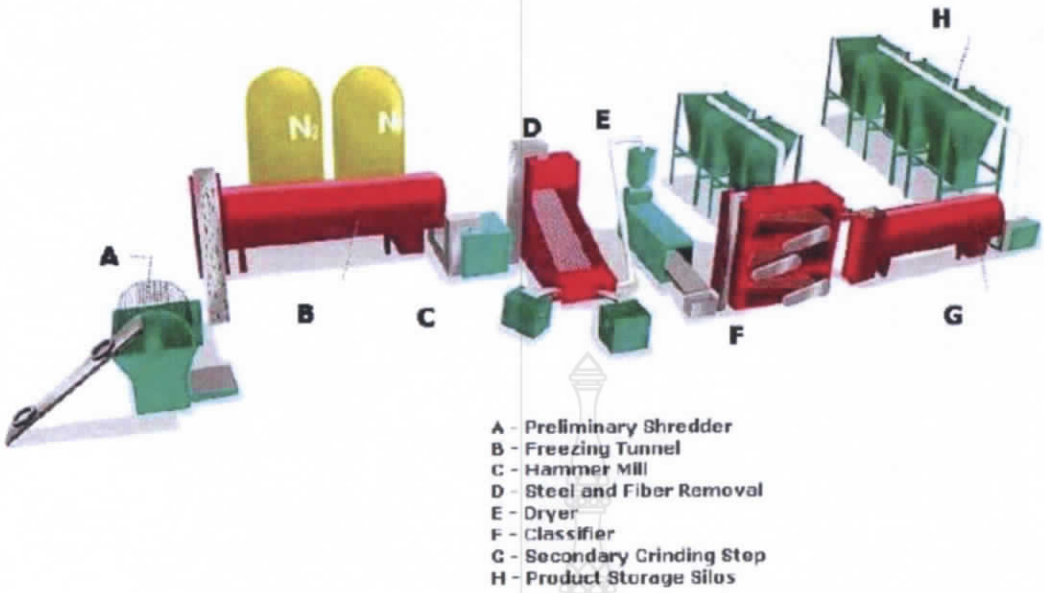
ดังนั้นจึงดูเหมือนว่าสำหรับเวลานี้เราต้องเลือกวิธีใหม่ 2 วิธี คือ การรีเคลมและการย่อยสลาย การรีเคลมนั้นจะเริ่มต้นด้วยการนำผลิตภัณฑ์ไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการผ่านยางเข้าไปในใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วสูงหรืออาจใช้วิธีการทุบให้ละเอียด ต่อมาก็จะเติมสารที่ทำให้นิ่ม (Softeners) และสารเคมีที่ช่วยในการรีเคลม (Reclaiming Chemicals) ลงไปจากนั้นก็ให้ความร้อน หลังจากขั้นตอนการรีเคลม โครงสร้างร่างแห 3 มิติของยางจะถูกทำลายและยางก็จะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง สามารถไหลและถูกวัลคาไนเซชันใหม่ได้อีกการย่อยสลายเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ยางกลับไปสู่สารประกอบพื้นฐานได้อย่างสมบูรณ์โดยวิธีการย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) การทำให้เป็นแก๊ส (Gasification) หรือการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) กระบวนการนี้จะย่อยผลิตภัณฑ์ยางให้เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เขม่าดำและสารตัวเติม ฯลฯ ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการต่าง ๆ ขึ้นมามากมายสำหรับการรีเคลมหรือการย่อยสลาย บางกระบวนการค่อนข้างที่จะเก่า คือ มีวิธีการแบบง่ายๆ ส่วนกระบวนการที่ใหม่นั้นก็มักจะมีวิธีการที่ซับซ้อน ซึ่งกระบวนการใหม่ล่าสุดเท่าที่ทราบ คือ กระบวนการที่ได้รับการจดสิทธิบัตรเมื่อปี พ.ศ. 2542 อย่างไรก็ตาม กระบวนการที่พัฒนาขึ้นมาทั้งหมดนี้ล้วนแล้วแต่มีปัญหาเฉพาะตัวทั้งสิ้น บางกระบวนการก็ประสบปัญหาความแปรปรวนของยางในแต่ละแบ็ทช์ที่นำมาใช้ บางกระบวนการก็ประสบกับปัญหาของเสียที่เกิดจากกระบวนการ หรือบางกระบวนการก็ประสบกับปัญหาสิ่งแวดล้อม หรือปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยเนื่องจากมีการใช้สารเคมีที่เป็นพิษรวมถึงอันตรายจากไฟไหม้เป็นต้น แม้ว่ายางธรรมชาติจะสามารถนำมารีไซเคิลได้ง่ายกว่ายางสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรมองข้ามความยุ่งยากที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนของการรีไซเคิลถ้าทำในระดับสเกลที่ใหญ่ เป็นที่ทราบกันดีว่ายางรีเคลมมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่ายางใหม่ ดังนั้น การนำยางรีเคลมไปผสมกับยางใหม่จึงน่าจะเป็นทางแก้ปัญหาที่ดี ที่ยังคงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่ไม่แตกต่างไปจากเดิมมากนัก ด้วยเหตุนี้ยางรีเคลมจึงกลายเป็นสารเติมแต่งที่มีคุณค่าต่อยางคอมพาวด์ การย่อยสลายผลิตภัณฑ์ยางทำให้ได้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางได้อีกครั้งหรืออาจนำไปใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย

การนำยางที่ใช้แล้วไปใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุปูผิวทางที่เหมาะสมจะต้องผ่านกระบวนการป่นยางให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อนที่จะใช้ในการผสมกับ Bitumen โดยในปัจจุบันมีกระบวนการในการป่นยางเก่าอยู่หลากหลายกรรมวิธี เช่น การตัดที่อุณหภูมิปกติ และการตัดที่อุณหภูมิเย็นจัด ซึ่งในแต่ละกรรมวิธีจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดของผงยาง ความสะอาด และคุณสมบัติบางอย่าง เป็นต้น

ในปัจจุบันประเทศไทยมีเทคโนโลยีการตัดยางอยู่ 2 วิธี คือ การตัดที่อุณหภูมิปกติ (Ambient) และการตัดที่อุณหภูมิเย็นจัด (Cryogenic) โดยจะทำให้ยางเย็นลงที่อุณหภูมิ -80° C ดังแสดงขั้นตอนการตัดชิ้นยางในรูปที่ 2-3 การลดอุณหภูมิทำให้สามารถตัดยางได้ง่ายและไม่สิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง 2 กระบวนการ ดังตารางที่ 2-2 ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 2-3 การตัดที่อุณหภูมิปกติ (Reschner, 2549)



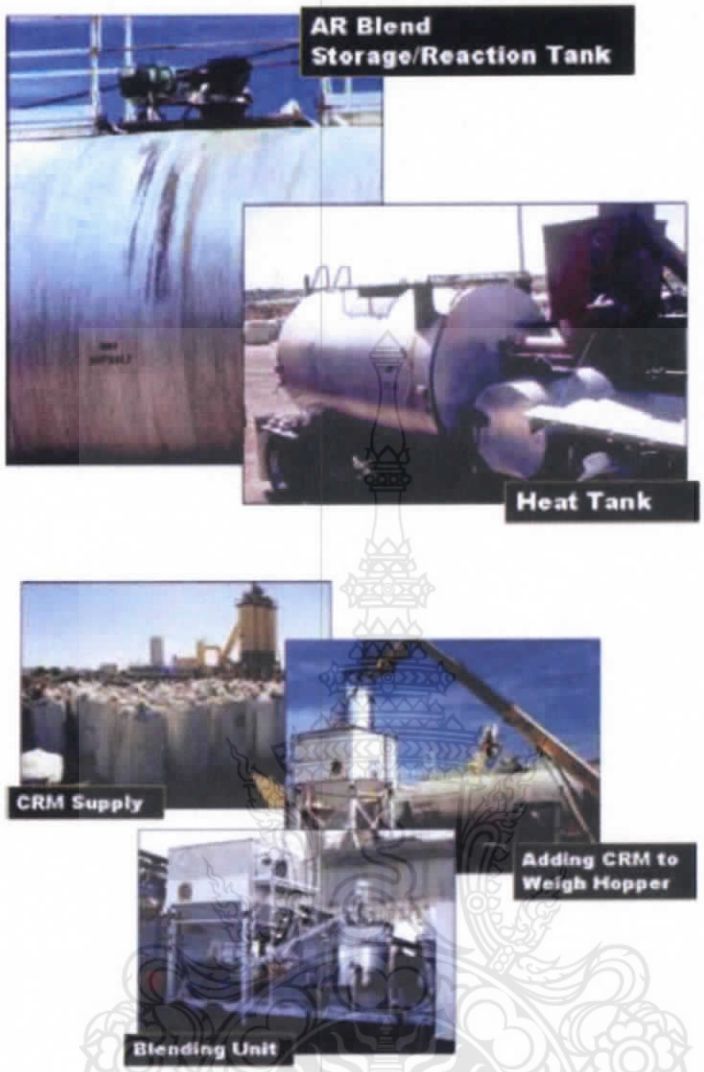
รูปที่ 2-4 การตัดที่อุณหภูมิเย็นจัด (Reschner, 2549)

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบวิธีการตัดยางรถยนต์ทั้ง 2 วิธี (Reschner, 2549)

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

ปัจจุบันโรงงานขนาดใหญ่ในประเทศไทยที่นำยางรถยนต์เก่ามารีไซเคิล คือ โรงงานในกลุ่มของบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด ซึ่งใช้กระบวนการตัดยางแบบอุณหภูมิปกติ มีกำลังผลิต 400 ตันต่อเดือน นับเป็นโรงงานที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชีย (พ.ศ.2556) โดยยางรถยนต์ทั้งหมดเป็นยางรถบรรทุกขนาดใหญ่เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณเพียงพอในการนำมาเป็นส่วนผสมของวัสดุปูผิวทางในอนาคตได้

ซึ่งการผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลติกคอนกรีตมีวิธีการผสมอยู่ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการผสมแบบเปียก เป็นวิธีที่ผสมผงยางรถยนต์ลงในแอสฟัลต์ที่ร้อน 200 - 230°C และทิ้งไว้ในอุณหภูมิสูง 160-210°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนผสม โดยหลังจากผสมเสร็จจะต้องมีความหนืดและคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสมในการใช้ และกระบวนการผสมแบบแห้ง เป็นการแทนที่วัสดุมวลรวมด้วยผงยางรถยนต์ด้วยปริมาณร้อยละ 1 - 3 ของมวลรวมละเอียด โดยมวลรวมที่ใช้จะเป็นลักษณะ Gap Grade



รูปที่ 2-5 การผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลติกคอนกรีตแบบเปียก (Reschner, 2549)

2) การทบทวนงานวิจัย

Dhalaan และ Noureldin (พ.ศ.2535) ได้ศึกษาถึงการนำโพลิเมอร์มาปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อลดการเสียสถานภาพของผิวทางที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศซาอุดิอาระเบีย โดยใช้โพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ พอลิเอทีลีน (Polyethylene) ร้อยละ 7 ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เรียกว่า โนโวฟัลต์ (Novophalt) และใช้สไตรีนบิวตะไดอีนโพลิเมอร์ (Styrene Butadiene Polymer) 5% ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า Strelf จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า โพลิเมอร์ช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทำให้ค่าเพนิเทรชันลดลง ค่าความหนืด (Viscosity) และจุดอ่อนตัว (Softening Point) สูงขึ้น และจากผลการศึกษาภาคสนามพบว่า ผิวทางที่ปูด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยโพลิเมอร์แล้วจะเสียสภาพเนื่องจากการเกิดร่องล้อ (Rutting) น้อยมาก

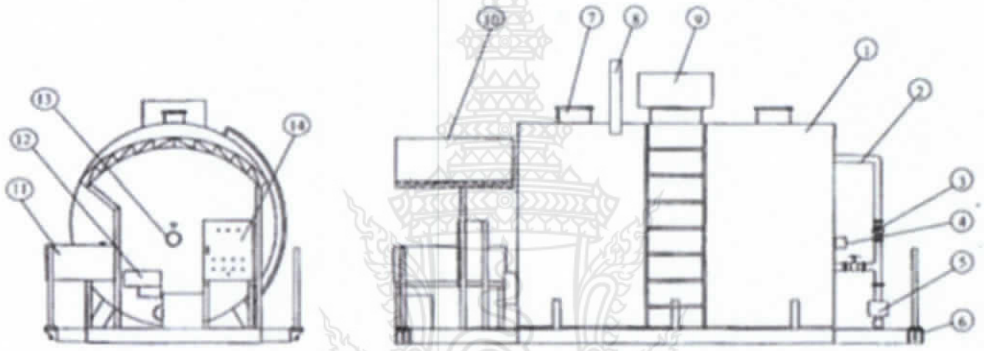
Shell Chemical Company (พ.ศ.2535) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำยางซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งมาปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC-5 ซึ่งมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60-70 โดยใช้ชื่อแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้ว่า Kraton Rubber จากการศึกษาพบว่ายางที่นำมาใช้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ดังนี้

- เพิ่มความสามารถในการดัดงอที่อุณหภูมิต่ำ
- เพิ่มความต้านทานต่อการไหลและการเสียรูปที่อุณหภูมิสูง
- เพิ่มค่าโมดูลัสแข็งแกร่งที่อุณหภูมิสูง
- ปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึง
- ปรับปรุงความสามารถในการเกาะยึดกับมวลรวม
- เพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอที่ผิวทาง
- ลดความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- เพิ่มความยืดหยุ่น

2.4.2 การใช้ยางพาราธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์

1) กระบวนการผสมยางในแอสฟัลต์

ในปัจจุบันศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา สามารถผสมยางพารากับแอสฟัลต์ได้สองแบบคือ 1) การใช้น้ำยาง และ 2) การใช้ยางแผ่น โดยการใช้น้ำยางจะผสมน้ำยางในเครื่องผสมดังแสดงในรูปที่ 2-6 ซึ่งการผสมจะเติมน้ำยางลงไปทีละน้อย เพื่อเป็นการลดอัตราการเกิดไอน้ำ โดยการเติมน้ำยางลงในแอสฟัลต์จะต้องต่อท่อลงไปให้จมอยู่ในชั้นแอสฟัลต์ และปล่อยน้ำยางภายใต้แอสฟัลต์ร้อน โดยมีขนาดของถังผสม คือ 5 ตัน มีอัตราการผลิตได้ 20 ตันต่อวัน หลังจากนั้นจะนำแอสฟัลต์ที่มีการผสมน้ำยางแล้วใส่ในถังบรรจุเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการผสมกับวัสดุมวลรวมต่อไป ทั้งนี้เครื่องผสมน้ำยางกับแอสฟัลต์ดังกล่าวมาข้างต้นสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยใช้รถบรรทุกหกล้อ



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างเครื่อง และแบบทางวิศวกรรมเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพาราชนิดน้ำยางข้นแบบเคลื่อนที่ได้ (ณพรัตน์ พิชิตพลชัย และคณะ)

จากรูปที่ 2-6 ส่วนประกอบของเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพาราชนิดน้ำยางข้นแบบเคลื่อนที่ได้ประกอบไปด้วย

1) ถังผสม
2) ท่อส่งแอสฟัลต์
3) วาล์วควบคุมการไหล
4) ช่องเก็บตัวอย่าง
5) ปั้มจ่ายแอสฟัลต์
6) ชุดไฮโดรลิคสำหรับยกเครื่องผสม ขึ้น-ลง รถบรรทุก
7) ช่องระบายไอแอสฟัลต์
8) ชุดใบพัดกวน
9) ชุดเติมน้ำยางพารา
10) หลังคา
11) ถังน้ำมัน เครื่องพ่นไฟ
12) เครื่องพ่นไฟสำหรับให้ความร้อน

13) เทอร์โมมิเตอร์

14) ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนการผสม โดยการเคลื่อนย้ายเครื่องผสมขึ้น/ลง รถบรรทุก และช่วยระบบไฟฟ้ากับแหล่งไฟ พร้อมทั้งต่อระบบน้ำยางและท่อส่งแอสฟัลต์ ให้ความร้อนกับเครื่องที่ 150 °C ผสมโดยเติมน้ำยางพาราในอัตรา 25 ลิตรต่อนาที กวนผสม 20 นาที และนำไปใช้งานในการปูถนนแบบผสมร้อน

1) การทบทวนงานวิจัย

ชิต ทัศนกุล และคณะ (พ.ศ.2500) ทดลองทำยาง Master batch ผสม ระหว่างยางพาราชั้นต่ำกับแอสฟัลต์ในอัตรา 1: 1 ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง โดยบดยางธรรมชาติให้นิ่ม ก่อนเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงผสมแอสฟัลต์ จากนั้น รีดเป็นแผ่นไว้ใช้งาน ต้มแอสฟัลต์ให้ละลาย (มีอุณหภูมิไม่เกิน 190°C) แล้วเติมยาง Master Batch ลงในแอสฟัลต์ โดยให้แอสฟัลต์ผสมที่ได้มี ยางพาราผสมอยู่ในอัตรา 5% ของแอสฟัลต์ทั้งหมด จากนั้นนำแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ผสมได้ลาดถนนสายหาดใหญ่ - สงขลา (ส่วนที่ตรงหลักกิโลเมตรที่ 16) เป็นระยะทาง 100 เมตร โดยได้รับความร่วมมือ จากแขวงการทางสงขลา พบว่า ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางพารามีมวลสารเกาะกันดี ผิวถนนไม่เยิ้มเหนียวและได้ทดลองซ้ำอีกครั้งในปี พ.ศ.2505 โดยลาดถนนสายหาดใหญ่ - สงขลา (ส่วนที่ถนนโค้ง) ที่ หลักกิโลเมตร 10+800 – 11+000 เป็นระยะทาง 200 เมตร ซึ่งได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับครั้งแรก และจากเก็บข้อมูลเพิ่มในปี พ.ศ.2510 พบว่า ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติยังไม่มีการซ่อมแซม แต่ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ธรรมดามีการซ่อมแซมแล้ว 1 ครั้ง

Fernando และ Nodara (พ.ศ.2512) ได้ทดลองปรับปรุงสมบัติแอสฟัลต์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ คือ น้ำ ยางสด น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ และหางน้ำยาง อัตรา 2 - 4% ในแอสฟัลต์ AC 80/100 แบบ Hot - Mix Asphalt โดยการพ่นน้ำยางธรรมชาติลงในยางมะตอยที่มีอุณหภูมิ 300 - 325 °F และมีการคนตลอดเวลา พบว่า แอสฟัลต์แข็งขึ้น (ค่าเพนิเทรชัน ลดลง) จุดอ่อนตัวสูงขึ้น แต่ค่าการยืดดึง (Dustility) ลดลง ต่อมา Nair และคณะ (พ.ศ.2541) ได้ทดลองปรับปรุงคุณสมบัติยางมะตอย โดยใช้ยางแผ่นรมควันที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง โดยละลายยางแผ่นใน Fluxing Oil เพื่อทำให้อยู่ในรูป สารละลาย (Liquid Natural Rubber, LNR) แล้วนำไปผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2 ชนิด คือ Penetration Grade และ Blown Grade โดยผสมแบบ Hot - Mix Asphalt พบว่า เมื่อเติม LNR ทำให้ค่าการยืดดึงลดลง แต่จุดอ่อนตัวสูงขึ้น

วิสุทธิ์ (พ.ศ.2543) ได้รายงานว่าสถาบันวิจัยยางอินเดียได้เริ่มทดลองใช้น้ำยางสดผสมแอสฟัลต์ร้อยละ 2 ราดถนนระหว่างเมืองทรีวานดรัมและโคตายัม โดยลาดถนนเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับ ถนนราดแอสฟัลต์ธรรมดา ปรากฏว่า ถนนราดแอสฟัลต์ต้องซ่อมผิวถนนใหม่ในอีก 5 ปีต่อมา และใน ปีที่ 10 ก็ซ่อมครั้งที่ 2 ในขณะที่ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติร้อยละ 2 ยังมีสภาพดีจนถึงปีที่ 14 และได้มีการขยายผลไปทั่วประเทศ ซึ่งจากข้อมูลหลายการทดลองสรุปได้ว่าการผสมยางธรรมชาติยืดอายุถนนได้อย่างน้อยร้อยละ 50 โดยค่าใช้จ่ายในการราดผิวถนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 16 เมื่อผสมยางธรรมชาติร้อยละ 2 กับแอสฟัลต์

ในปีงบประมาณ พ.ศ.2543 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทราได้รับงบประมาณในการซ่อมแซมผิวถนนภายในศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จึงได้ดำเนินการทดลองราดถนนโดยใช้แอสฟัลต์ผสมกับน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (เนื่องจากถ้าใช้น้ำยางสดต้มผสมกับแอสฟัลต์ ทำให้เกิดฟองมากอาจทำให้เกิดอันตรายขณะต้มผสม) อัตราร้อยละ 2.5 และน้ำมันก๊าดอัตราร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับการซ่อมผิวถนนด้วยแอสฟัลต์ปกติ ซึ่งส่วนอุตสาหกรรมยางได้ทดลองผสมตัวอย่างแอสฟัลต์ AC 60/70 กับน้ำยางข้นอัตราร้อยละ 2 เปรียบเทียบ

กับการเติมน้ำมันก๊าดเพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์อัตราร้อยละ 3 และร้อยละ 5 ผลจากการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการของกรมทางหลวง

ตารางที่ 2-3 สมบัติของแอสฟัลต์ (AC 60/70) ผสมน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง

สมบัติ	วิธีการ			Spec. AC60/70
	น้ำยางข้น 2%	น้ำยาง 2% น้ำมันก๊าด 3%	น้ำยาง 2% น้ำมันก๊าด 5%	
เพนิเทรชั่น	54	53	92	60 – 70
จุดวาบไฟ	316	318	243	ไม่น้อยกว่า 232
การยืดคืน (25 °C, อัตรา 5 ซม./นาที)	27	32	84	ไม่น้อยกว่า 100
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน	99.72	99.80	99.86	ไม่น้อยกว่า 99.0
กากที่เหลือจากการอบ				
น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน ร้อยละ	0.07	0.05	0.7	ไม่เกิน 0.8
เพนิเทรชั่น (ร้อยละของเพนิเทรชั่นเดิม)	66.7	67.0	64.1	ไม่น้อยกว่า 54
การยืดคืน (25 °C, อัตรา 5 ซม./นาที)	35	38	74	ไม่น้อยกว่า 50

จากผลการทดลองเห็นได้ว่า แอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางข้นร้อยละ 2 โดยไม่ผสมน้ำมันก๊าด และแอสฟัลต์ผสมน้ำยางข้นร้อยละ 2 และน้ำมันก๊าดร้อยละ 3 มีค่าเพนิเทรชันต่ำลง คือ แอสฟัลต์แข็งขึ้น แต่การยืดดึงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อาจเป็นผลมาจากการผสมกันของโมเลกุลยางกับแอสฟัลต์ยังไม่ดี พอซึ่งถ้าปรับปรุงเทคนิควิธีการผสมให้ดีขึ้นก็อาจสามารถปรับปรุงสมบัติการยืดดึงให้สูงขึ้นได้ นอกจากนี้ ยังได้เก็บตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมในเตาต้มผสมแอสฟัลต์กับยางพาราก่อนที่จะราดถนนเพื่อส่งให้กรมทางหลวงวิเคราะห์ผล แต่สังเกตเห็นว่ายางที่ผสมกับแอสฟัลต์ยังไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำตัวอย่างมาต้มต่อในห้องปฏิบัติการอีกประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วส่งตัวอย่างให้กรมทางหลวงวิเคราะห์ผล พบว่า ทุกคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของมาตรฐานของ AC ยกเว้นค่าเพนิเทรชัน ที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่ง อาจเป็นผลจากน้ำมันก๊าดที่ใส่เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ ดังนั้น ถ้าใช้น้ำยางผสมแอสฟัลต์ เพื่อใช้ ในการสร้างถนนแบบ Hot Mix Asphalt ควรปรับปรุงเครื่องผสมยางกับแอสฟัลต์ให้เหมาะสม

2.4.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัย

จากการดำเนินการศึกษางานวิจัยนี้ได้มีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งมาตรฐาน เทคโนโลยี และกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุปูผิวทางในอุณหภูมิต่ำกว่าปกติโดยใช้ส่วนผสมจาก Recycled Rubber หรือ ยางพาราธรรมชาติ เพื่อเสนอแนะสัดส่วนที่เหมาะสมและดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพ รวมทั้งเพื่อให้ผลการศึกษาพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วย Recycled Rubber หรือ ยางพาราธรรมชาติสามารถผลักดันไปสู่การปฏิบัติในอนาคตได้จริง จึงได้มีการศึกษาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมร่วมด้วย โดยจากผลการทดสอบยางแอสฟัลต์ปรับปรุงด้วยการใช้ยางพาราและชิ้นยางรถยนต์ในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปผลการศึกษาในด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมได้ดังต่อไปนี้

- **วัสดุเชื่อมประสาน**

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถจำแนกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานได้ดังนี้

- วัสดุเชื่อมประสานมีความแข็งมากยิ่งขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยางและยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่แข็งมากที่สุดที่อัตราส่วนน้ำยางข้นร้อยละ 5 และอัตราส่วนยางรีไซเคิลร้อยละ 5
- วัสดุเชื่อมประสานมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น เมื่อมีการผสมยางรีไซเคิลและยางพาราธรรมชาติลงไป โดยวัสดุเชื่อมประสานที่ให้ค่าจุดอ่อนตัวที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนน้ำยางข้นร้อยละ 11 และอัตราส่วนยางรีไซเคิลร้อยละ 11 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 และร้อยละ10 ตามลำดับเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ทำให้ช่วยลดปัญหาการอ่อนตัวและไหลเยิ้มของผิวทางได้
- วัสดุเชื่อมประสานมีจุดวาบไฟที่สูงขึ้น เมื่อมีการผสมยางพาราธรรมชาติลงไป อย่างไรก็ตามจุดวาบไฟมีค่าต่ำลงในกรณีที่ผสมยางรีไซเคิลลงไป แต่ยังไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ASTM D946 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่ให้ค่าจุดวาบไฟที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนน้ำยางข้นร้อยละ 5 และอัตราส่วนยางรีไซเคิลร้อยละ 5
- วัสดุเชื่อมประสานมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยาง และยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ทำให้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมให้สูงขึ้น ช่วยลดการหลุดลอกของมวลรวมได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดจากหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) พบว่า วัสดุเชื่อมประสานที่ทำการผสมยางรีไซเคิล และน้ำยางข้น มีความหนืดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่เกิน 3 Pa.S เกือบทั้งหมด ยกเว้นวัสดุเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของน้ำยางข้นร้อยละ 7 ร้อยละ 9 และร้อยละ 11
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการผสมน้ำยาง และยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 สามารถช่วยลดภาวะการเกิด Aging ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้โดยพิจารณาจากผลการทดสอบต่างๆ ที่ผ่านการอบด้วยกรรมวิธี Rolling Thin Film Oven
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการผสมน้ำยาง และยางรีไซเคิล ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 มีแนวโน้มของความแข็งแกร่ง (Stiffness) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (Permanent deformation) เพิ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนในการผสมเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดจากหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด
- เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2-4 พบว่า วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิลในอัตราร้อยละ 11 และส่วนผสมของน้ำยางข้นในอัตราร้อยละ 5 มีความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลจากผลการทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานนั้น ยังสามารถใช้อัตราส่วนแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกินร้อยละ 7 จึงได้นำข้อมูลจากการทดสอบวัสดุมาวิเคราะห์ และจัดทำกราฟแสดงแนวโน้มของผลการทดสอบดังกล่าว ซึ่งอัตราส่วนแอสฟัลต์ผสมยางพาราร้อยละ 6 มีค่าไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐาน (3 Pa.S) จึงได้พิจารณาเลือกใช้อัตราส่วนของน้ำยางข้นที่ดีที่สุดเป็นร้อยละ 6 โดยพบว่าตัวอย่าง

แอสฟัลติกคอนกรีตดังกล่าวนั้น สามารถผสมและยึดเกาะได้ในขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลติกคอนกรีตแบบผสมอุ่น

ตารางที่ 2-4 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	NRA7%, 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	-

จากตารางที่ 2-4 พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผสมวัสดุเชื่อมประสานที่ร้อยละ 6 สำหรับน้ำยางข้น และ ร้อยละ 11 สำหรับยางรีไซเคิลป่น

- **แอสฟัลติกคอนกรีตผสมที่อุณหภูมิ 140 -150 °C**
  - เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มียางรีไซเคิลมีค่ามากกว่าส่วนผสมที่มีน้ำยางข้น และแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ตามลำดับนั้นแสดงว่าการผสมยางทั้ง 2 ประเภทช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่าการผสมยางทั้ง 2 ประเภทช่วยลดการเสียรูปของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักมากระทำได้
  - เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนด ของกรมทางหลวงชนบท (มทช.(ท)607) พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ
  - เมื่อผสมน้ำยางข้นร้อยละ 6 และยางรีไซเคิลร้อยละ 11 ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณร้อยละ 12.67 ในส่วนของการเพิ่มน้ำยางข้น และประมาณร้อยละ 14.60 เมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา
  - เมื่อผสมน้ำยางข้นร้อยละ 6 และยางรีไซเคิลร้อยละ 11 ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติค่าความต้านทานของการเกิดร่องล้อ (Rutting resistance)

ประมาณร้อยละ 22 ในส่วนของการเพิ่มน้ำยางข้น และประมาณร้อยละ 18 ในกรณีผสมยางรีไซเคิล เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา

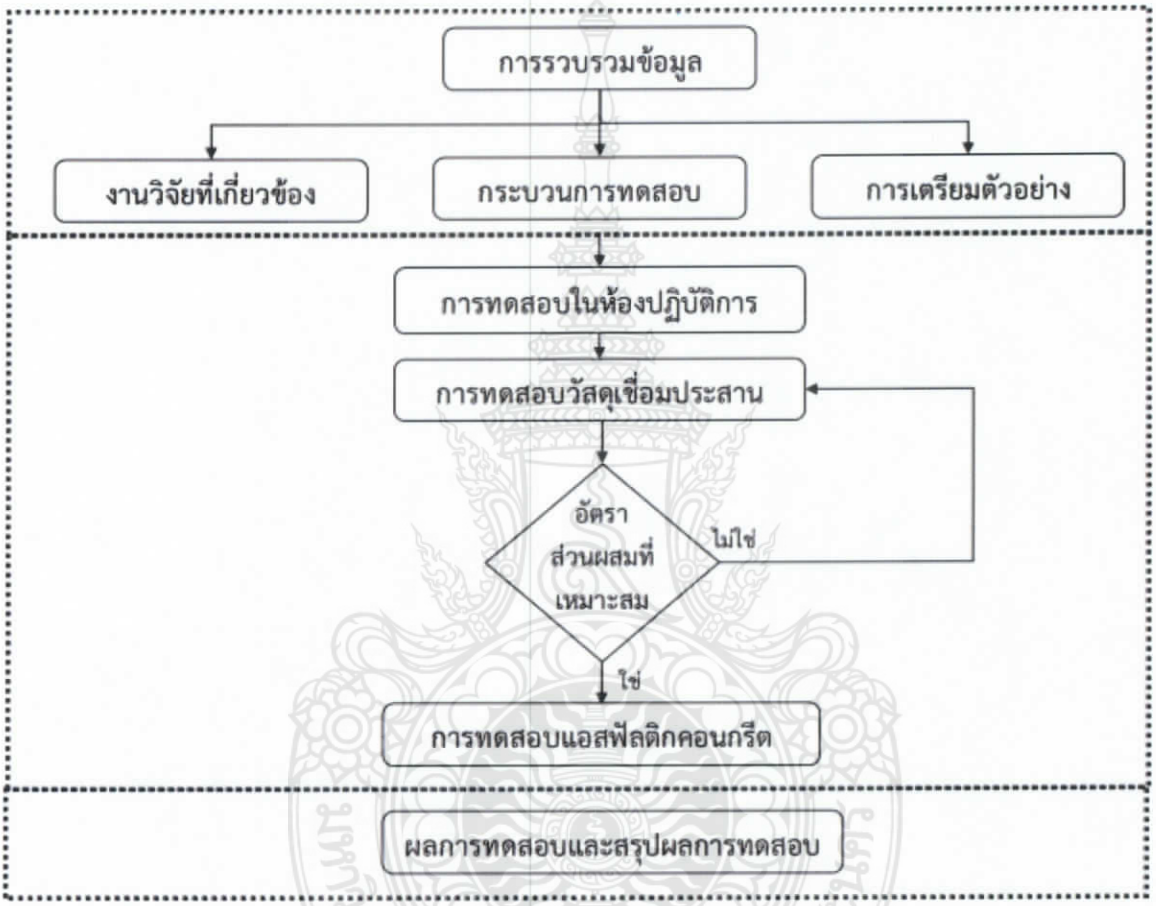
- สำหรับแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยางข้นร้อยละ 6 สามารถยืดอายุการใช้งานได้ 2.06 เท่าและ 1.59 เท่าในกรณีผสมยางรีไซเคิลร้อยละ 11 เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา

- **แอสฟัลติกคอนกรีตผสมที่อุณหภูมิ 130 °C โดยใส่สารผสมเพิ่ม**
  - การผสมแอสฟัลติกคอนกรีตแบบอุ่น (Warm Mixed) ของวัสดุปูผิวทางที่มีส่วนประกอบของยางรีไซเคิลร้อยละ 11 (CRA 11%) และน้ำยางข้นร้อยละ 6 (NRA 6%) ในห้องปฏิบัติการนั้น สามารถลดอุณหภูมิในการผสมได้ประมาณ 20 °C กล่าวคือ ใช้อุณหภูมิในการผสมระหว่าง 140 - 150 °C ซึ่งการลดอุณหภูมิให้มากกว่านี้จะทำให้วัสดุเชื่อมประสานและมวลรวมไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งการลดอุณหภูมิลงให้มากกว่านี้จำเป็นต้องมีการใส่สารผสมเพิ่ม เพื่อให้สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถก่อสร้างหน้างานได้
  - การใส่สารผสมเพิ่ม Advera ในสัดส่วนร้อยละ 0.25 ของปริมาณแอสฟัลติกคอนกรีตทั้งหมด ช่วยลดอุณหภูมิในการผสมลงเหลือ 130 °C หรือน้อยกว่าได้ ซึ่งในปัจจุบันการผสมจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงประมาณ 160 °C -180 °C เพื่อผสมและบดอัดวัสดุปูผิวทางให้ได้มาตรฐาน ทั้งนี้การใส่สารผสมเพิ่มดังกล่าวยังสามารถช่วยลดพลังงานในขั้นตอนการผลิตและปริมาณควันเสียจากการปูผิวทาง

เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) และ ค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่า แอสฟัลติกคอนกรีตทั้งผสมยางรีไซเคิลและน้ำยางข้น มีค่าผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทำงานวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนของการผสมวัสดุเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ชนิด 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 และเปรียบเทียบคุณสมบัติในเชิงวิศวกรรมของวัสดุปูผิวทางชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยมวล) ที่แตกต่างกัน โดยประกอบไปด้วย

1) กลุ่มตัวอย่างที่ 1 แอสฟัลต์ ชนิด AC 60/70
2) กลุ่มตัวอย่างที่ 2 แอสฟัลต์ ชนิด AC 60/70 ผสมเศษยางพาราธรรมชาติในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างเศษยางพาราธรรมชาติและแอสฟัลต์ ชนิด AC 60/70

3.1.2 การแบ่งการทดสอบ

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

1) การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ตามมาตรฐานที่เป็นสากล โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเลือกวัสดุเชื่อมประสานที่มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ดีที่สุด หรือเหมาะสมต่อการนำไปผสมกับมวลรวมมากที่สุด เพื่อนำไปใช้ทดสอบในขั้นตอนที่ 2 โดยแสดงการทดสอบต่าง ๆ 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	Rotational Viscosity Test	ASTM D 4402
7	Ductility of Bituminous Materials Test	ASTM D 113-86

2) การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต ตามมาตรฐานที่เป็นสากล โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของแอสฟัลติกคอนกรีตในแต่ละตัวอย่างที่ได้ผลจากขั้นตอนที่ 1 เพื่อสรุปสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดในการผสมวัสดุปูผิวทาง โดยแสดงการทดสอบต่าง ๆ ในขั้นตอนดังกล่าวดังนี้

ตารางที่ 3-2 การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอลฟัสติกคอนกรีต

ลำดับ	การทดสอบ	มาตรฐาน
1	Marshall Test	ASTM D 6926 ASTM D 6927
2	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	BS EN 12697-26:2004

3.1.3 แนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ แบ่งออกเป็น 9 การทดสอบ ซึ่งการทดสอบเหล่านี้ สามารถนำผลการทดสอบมาใช้วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ประสิทธิภาพเชิงกายภาพ (Physical Strength) ความทนทานในการใช้งาน (Durability And Fatigue Resistance) และความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง (Workability) ดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านวิศวกรรมในแต่ละการทดสอบ

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	Rotational Viscosity Test	/		/
7	Ductility of Bituminous Materials Test	/		
8	Marshall Test	/		/
9	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	/	/	

จากตารางที่ 3-3 พบว่า การทดสอบทั้งหมดสามารถใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงกายภาพได้ทั้งหมด เช่น ความแข็งแกร่ง (Stiffness) ความหนืด (Viscosity) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความอ่อนตัว (Softening) เสถียรภาพ (Stability) เป็นต้น

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

การวิเคราะห์ความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์ในส่วนดังกล่าว จะพิจารณาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการผสมวัสดุปูผิวทาง โดยวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืด (Viscosity) ความง่ายในการผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิศวกรรม

ลำดับ	การทดสอบ	รายละเอียด	การแสดงความสัมพันธ์	
1	Penetration Test	เปรียบเทียบค่าเพนิเทรชัน ดูแนวโน้มเพิ่ม-ลด เพื่อดูความแข็งของแอสฟัลต์ และเปรียบเทียบค่าว่าสูงเกินเกณฑ์ของแอสฟัลต์เกรด 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)	เปรียบเทียบค่าเพนิเทรชันที่ผ่านการอบกับค่าเพนิเทรชันก่อนการอบ โดยดูค่า Retain Penetration เพื่อนำไปพิจารณาการเกิด Aging ส่งผลให้วัสดุมีสภาพแข็งเปราะ เสี่ยงต่อการแตกร้าวภายหลัง และเสี่ยงต่อการยึดเกาะกับมวลรวม	Percent of material	Retain Penetation
5	Pressure Aging Vessel Test	เพิ่มความร้อนและแรงกดดัน เพื่อจำลองสภาพที่จะเกิดขึ้นจริงในช่วงเวลา 7-10 ปี โดยพิจารณาการเกิด Aging	Percent of material	Retain Penetation
6	Rotational Viscosity Test	การหาค่าความหนืด โดยวัดที่ อุณหภูมิ 135 °C และ 165 °C	Percent of material	Brookfield Viscosity (cP)
7	Ductility of Bituminous Materials Test	เพื่อทดสอบหาความยืดของวัสดุบิทูเมน	Ductility	

ลำดับ	การทดสอบ	รายละเอียด	การแสดงความสัมพันธ์
8	Marshall Test	เพื่อหาปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม (Optimum Binder Content)	
9	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	เปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัว เพื่อใช้ในการประเมินความยืดหยุ่นในการต้านการแตกร้าว	Resilient Modulus (Mpa)

3.2 รายละเอียดและวิธีการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการ

ทีมวิจัยได้กำหนดและแบ่งการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการออกเป็น 9 การทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 Softening Points Test

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยที่มีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 30 °C ถึง 157 °C โดยใช้เครื่องทดสอบห่วงและลูกกลม (Ring and Ball Apparatus) ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น (30 °C ถึง 157 °C) กลีเซอรีน (80 °C ถึง 157 °C) หรือเอทิลีนไกลคอล (30 °C ถึง 110 °C)

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

รูปที่ 3-3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน

3.2.2 Flash Point Test

วิธีการทดลองนี้เป็นการจุดวาบไฟ (Flash Point) และจุดติดไฟ (Fine Point) โดยวิธีคลีฟแลนด์ Open Cup ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและของเหลวทุกชนิด ยกเว้นน้ำมันเชื้อเพลิง และสารอื่นที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 79°C ภายใต้สภาวะของการทดลอง จุดติดไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่เปลวไฟทำให้ไอระเหยเหนือผิวตัวอย่างติดไฟ และลุกไหม้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 5 วินาที

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

รูปที่ 3-4 เครื่องทดสอบแบบถ้วยเปิดคลีฟแลนด์

3.2.3 Penetration Test

เป็นการวัดความข้นเหลว (Consistency) ของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็ง (Solid) หรือกึ่งแข็ง (Semisolid) โดยค่าเพนิเทรชันนี้ คือ ระยะทางในหน่วย 0.1 มิลลิเมตร ที่เข็มมาตรฐานแทรกตัวลงในตัวอย่างตามแนวดิ่ง ภายใต้น้ำหนัก เวลา และอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งมีวิธีวัดค่าเพนิเทรชันโดยระยะที่เข็มมาตรฐานหนัก 100 กรัม จมลงไปในแอสฟัลต์ในระยะเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง 77 °F (25 °C)

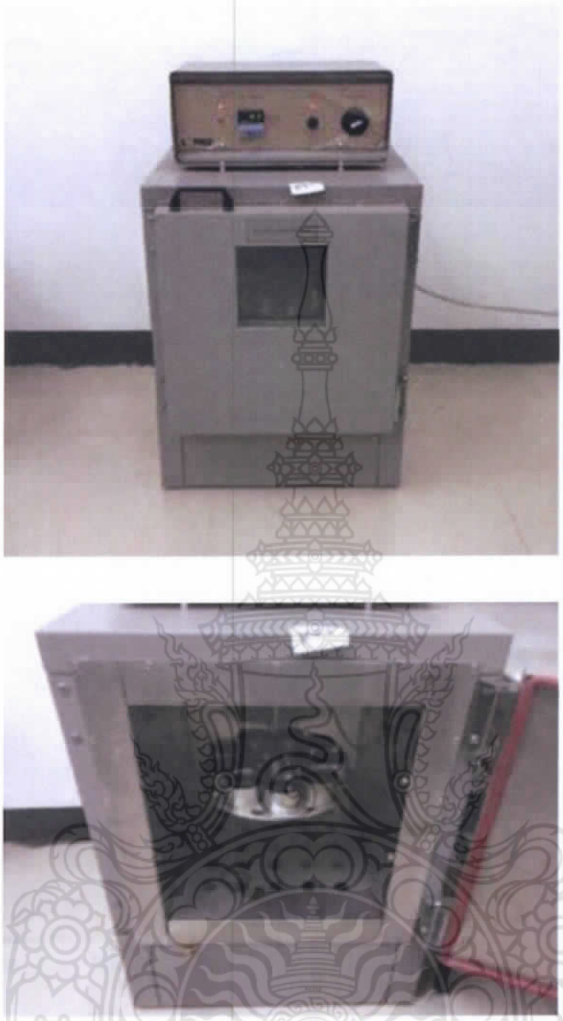
เอกสารอ้างอิง ASTM D 5 : Standard Test Method for Penetration of Bitumen Materials

รูปที่ 3-5 เครื่องทดสอบเพนิเทรชันในภาชนะย้ายตัวอย่างนอกอ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.2.4 Rolling Thin Film Oven Test

เป็นวิธีการที่มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบถึงความเปลี่ยนแปลงใน Consistency ของแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนที่มีสภาพอุณหภูมิและระยะเวลาใกล้เคียงกับแอสฟัลต์ได้รับในขณะที่นำไปใช้งาน การทดสอบทำได้โดยนำตัวอย่างแอสฟัลต์จำนวน 30 มิลลิลิตรใส่ลงในจานก้นเรียบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.5 นิ้ว ลึก 3.8 นิ้ว โดยใส่แอสฟัลต์หนาประมาณ 1.8 นิ้ว แล้วนำถาดบรรจุแอสฟัลต์นี้เข้าตั้งบนชั้นที่หมุนได้รอบตัว ซึ่งหมุนประมาณ 5-6 รอบต่อนาที โดยอยู่ในตู้อบซึ่งมีอากาศถ่ายเทได้ (Ventilated Oven) ดังรูปที่ 3-6 โดยให้มีอุณหภูมิ 325 °F (163 °C) เป็นเวลา 85 นาที จากนั้นก็นำเอาตัวอย่างของแอสฟัลต์มาหา 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 เครื่องทดสอบ Rolling Thin Film Oven

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 ตัวอย่างจะถูกเก็บไว้ใช้สำหรับการทดสอบอื่นๆ ต่อไป

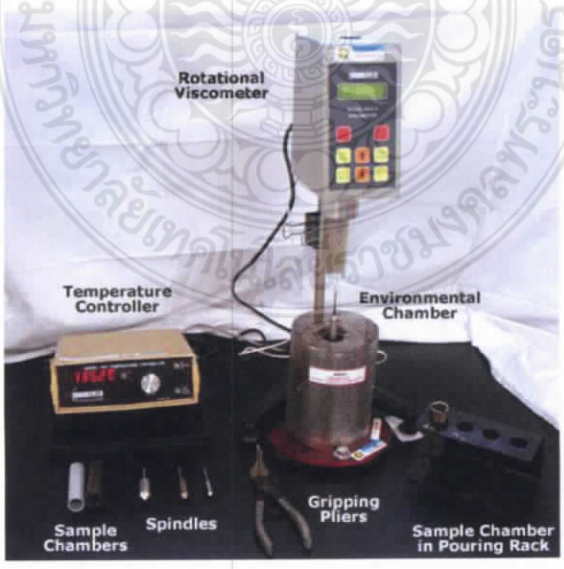
เอกสารอ้างอิง AASHTO R 28 : Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)

รูปที่ 3-7 เครื่องทดสอบ Pressure Aging Vessel Test

3.2.6 Rotational Viscosity Test

เป็นการทดสอบวัดคุณสมบัติความหนืดของยางแอสฟัลต์ที่สภาพอุณหภูมิสูงเพื่อให้แน่ใจว่ายางแอสฟัลต์ที่ใช้นั้นเหลวพอที่จะถูกปั๊มตามท่อ 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 3-8 เครื่องทดสอบ Rotational Viscosity Test

3.2.7 Ductility of Bituminous Materials Test

เป็นการทดสอบโดยการวัดคุณสมบัติของการดึงของวัสดุบิทูเมนและอาจใช้วัดความดึงตามข้อกำหนดที่ต้องการ โดยการนำแอสฟัลต์ที่หล่อในแบบมาตรฐานแบบบริเคท แล้วทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยการดึงให้อีกส่วนยืดออกจากกันในอัตรา 5 เซนติเมตรต่อนาที จนกระทั่งวัสดุแอสฟัลต์ขาดออกจากกัน ความยาวที่วัดได้มีหน่วยเป็นเซนติเมตรถือว่าเป็นความสามารถในการยืดตัว

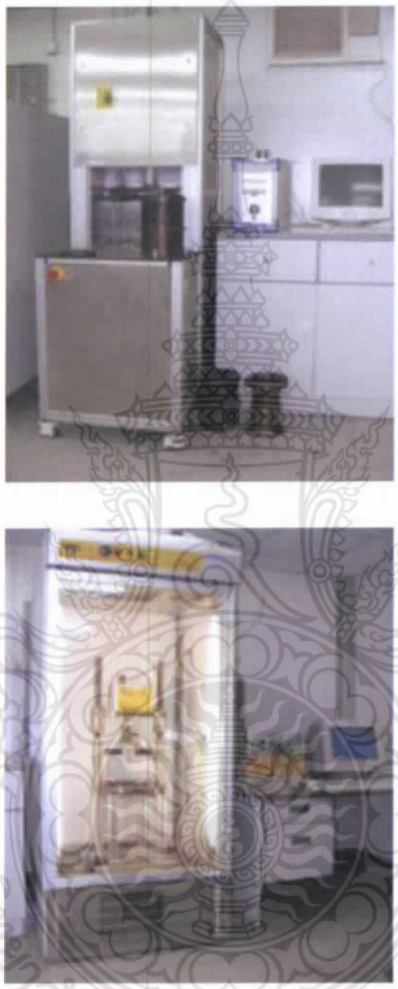
เอกสารอ้างอิง ASTM D 113-86 : Ductility of Bituminous Materials

รูปที่ 3-9 เครื่องดึงชิ้นทดสอบ

3.2.8 Indirect Tensile Stiffness Modulus Test

การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุผสมแอสฟัลต์ จะมีการให้น้ำหนักเป็นแบบกระทำซ้ำ (Repeated Load) ในรูปแบบ Haversine Wave ทุก 3 วินาที ซึ่งน้ำหนักที่กระทำก้อนตัวอย่าง 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)

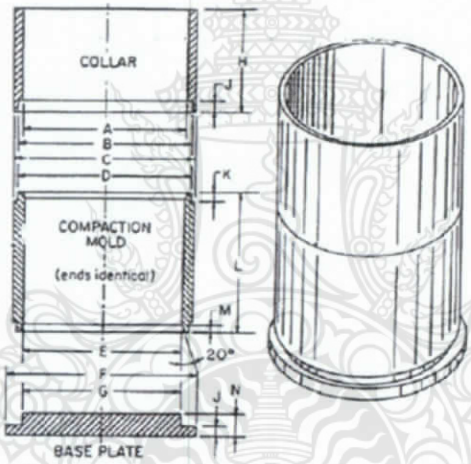
3.2.9 Marshall Test

การทดลองนี้จะทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตตามวิธีมาร์แชล (Marshall Method) และทำการผสมแอสฟัลติกคอนกรีตจากการผสมร้อนระหว่างวัสดุมวลรวม (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 musing Marshall Apparatus

วิธีการทดสอบนี้เป็นการวัดความต้านทานการไหลของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก ที่ได้จากการเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีต โดยใช้เครื่องมือมาร์แชล

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



รูปที่ 3-11 อุปกรณ์การทดสอบ Marshall Test

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมเศษยางพาราธรรมชาติ

การเตรียมวัสดุเชื่อมประสานในการศึกษาดังกล่าว ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทาง คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเกรด AC 60-70 โดยนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ข้างต้นมาผสมกับเศษยางพาราธรรมชาติในรูปแบบยางป่น โดยการผสมได้ทดลองผสมเศษยางพาราธรรมชาติปริมาณเริ่มต้นที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักรวม จากนั้นได้ผสมเศษยางพาราธรรมชาติเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 7 และร้อยละ 9

4.1.1 จำนวนตัวอย่าง

จำนวนตัวอย่างการทดสอบวัสดุปูทางในห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวอย่างการทดสอบละ 3 ตัวอย่าง โดยมี 2 ขั้นตอนในการทดสอบ ซึ่งในขั้นตอนที่ 1 จะดำเนินการเปรียบเทียบผลการทดสอบของวัสดุเชื่อมประสานที่ได้กับค่ามาตรฐานต่าง ๆ และจะคัดเลือกค่าที่ดีที่สุดอันดับแรกไปดำเนินการทดสอบในขั้นตอนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต โดยจำนวนทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการแสดงในตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder)

ลำดับ	การทดสอบ	วัสดุเชื่อมประสาน				รวม
		AC 60/70	AC + เศษยางพาราธรรมชาติ			
			5	7	9	
1	Penetration Test	3	3	3	3	15
2	Softening Point Test	3	3	3	3	15
3	Flash point Test	3	3	3	3	15
4	Rolling Thin Film Oven Test (RFOT)	3	3	3	3	15
5	Pressure Aging Vessel Test	3	3	3	3	15
6	Rotational Viscosity Test (165 °C)	3	3	3	3	15
7	Ductility of Bituminous Materials Test	3	3	3	3	15
รวมทั้งหมด						105

ตารางที่ 4-2 จำนวนตัวอย่างการทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต

ลำดับ	การทดสอบ	Material		รวม
		AC 60/70	AC + ยางแผ่นรมควัน	
1	Marshall Test	9	9	18
2	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)	3	3	6
รวมทั้งหมด				24

4.1.1 การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมเศษยางพาราธรรมชาติ

การเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการนำเศษยางพาราธรรมชาติมา ป่น หรือ ตัด ให้มีขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้น ชั่งน้ำหนักของเศษยางพาราธรรมชาติ 300 กรัม และ ชั่งน้ำหนักของ แอสฟัลต์ 300 กรัม จากนั้นนำเศษยางพาราธรรมชาติใส่หม้อต้ม และนำแอสฟัลต์ ที่ผ่านการอุ่นแล้วมาผสมกัน โดยที่น้ำหนักของเศษยางพาราธรรมชาติ และ แอสฟัลต์ มีอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้ง่ายต่อการหลอมรวมกัน จากนั้นนำมาต้มให้ผสมกัน โดยใช้เครื่องผสมเวลาประมาณ 1-1.30 ชม. เพื่อให้เศษยางพาราธรรมชาติและแอสฟัลต์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

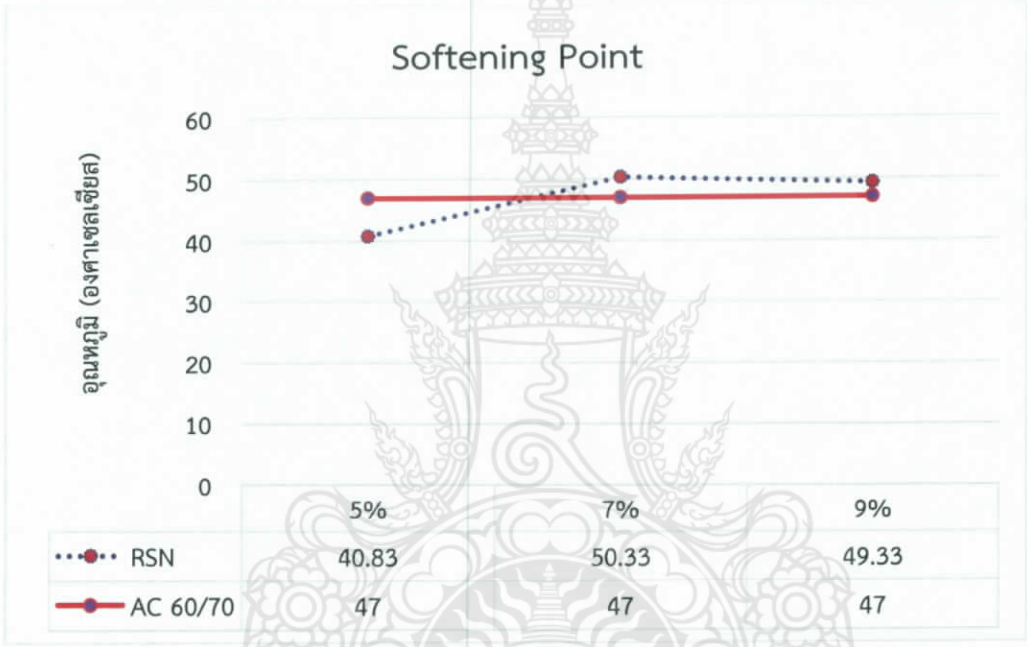
รูปที่ 4-1 การผสมวัสดุเชื่อมประสานกับเศษยางพาราธรรมชาติ

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน

วัสดุเชื่อมประสาน (Binders) ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ (1) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 (2) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมเศษยางพาราธรรมชาติ (Rubber Scrap Natural: RSN) โดยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ สามารถสรุปผลการทดสอบได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)

จุดอ่อนตัวเป็นคุณสมบัติที่ใช้วัดอุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลวที่วัสดุเชื่อมประสานมีการอ่อนตัว เนื่องจาก เมื่อวัสดุเชื่อมประสานได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความเหนียวหนืดและความอ่อนตัวที่ลดน้อยลง

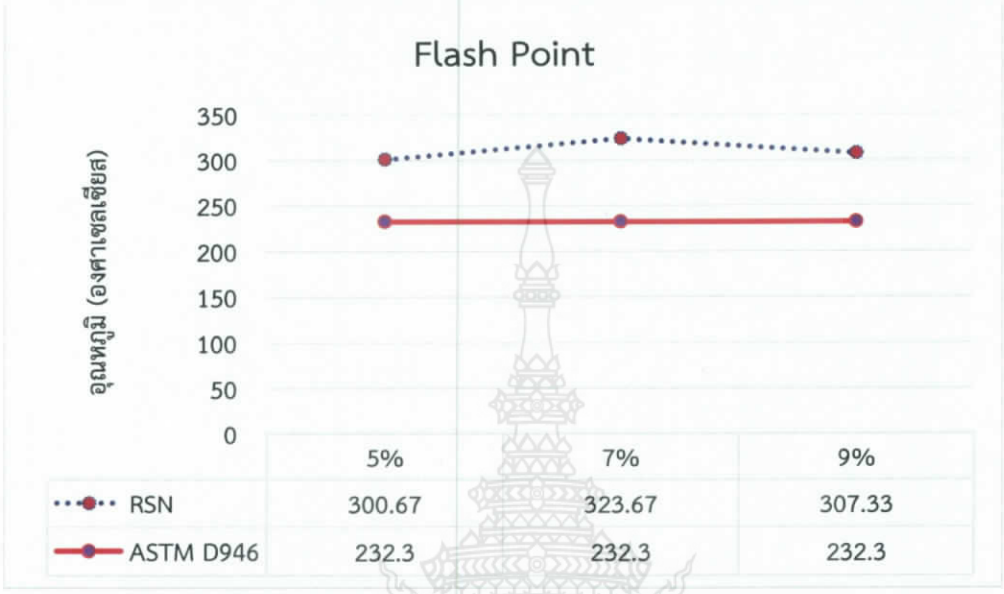


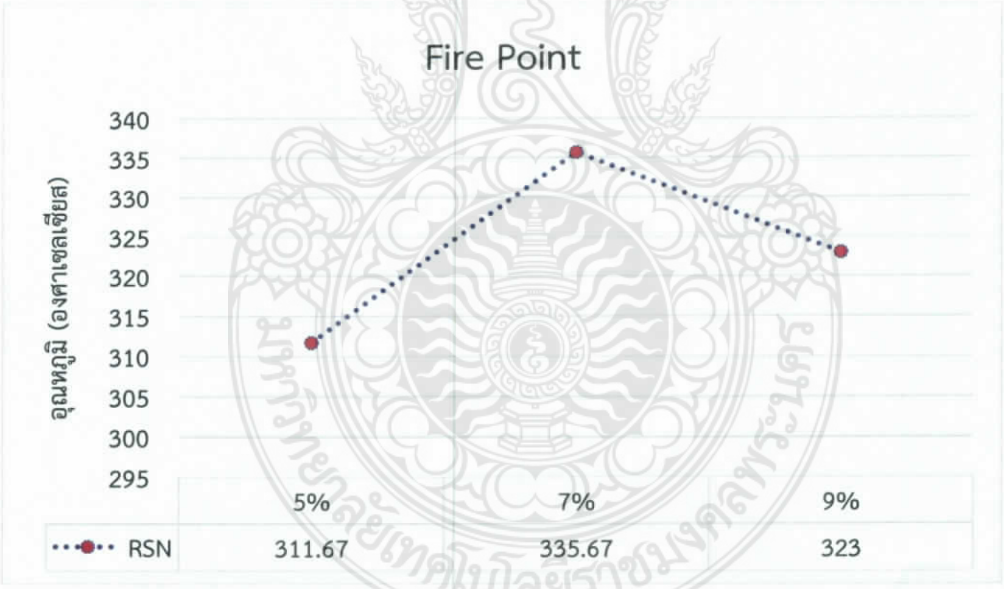
รูปที่ 4-2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening point)

เมื่อมีการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน พบว่า แนวโน้มของจุดอ่อนตัว (Softening Point) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งค่าจุดอ่อนตัวที่สูงขึ้นจะสามารถช่วยให้วัสดุเชื่อมประสานมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดการไหลเยิ้ม (Bleeding) ของส่วนผสมได้เมื่อนำไปใช้ผสมกับมวลรวมเพื่อนำไปปูผิวทาง โดยในปริมาณเศษยางพาราธรรมชาติที่ดีที่สุด คือ ส่วนผสมร้อยละ 7 จะมีจุดอ่อนตัวสูงกว่าทั้ง Ac 60/70 และสัดส่วนอื่นๆ ทั้งหมด

4.2.2 การทดลองจุดวาบไฟ (Flash Point) และจุดติดไฟ (Fire Point)

การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิ (°C) ที่วัสดุเชื่อมประสานจะเกิดประกายไฟและติดไฟ เมื่อได้รับความร้อนที่มากขึ้น



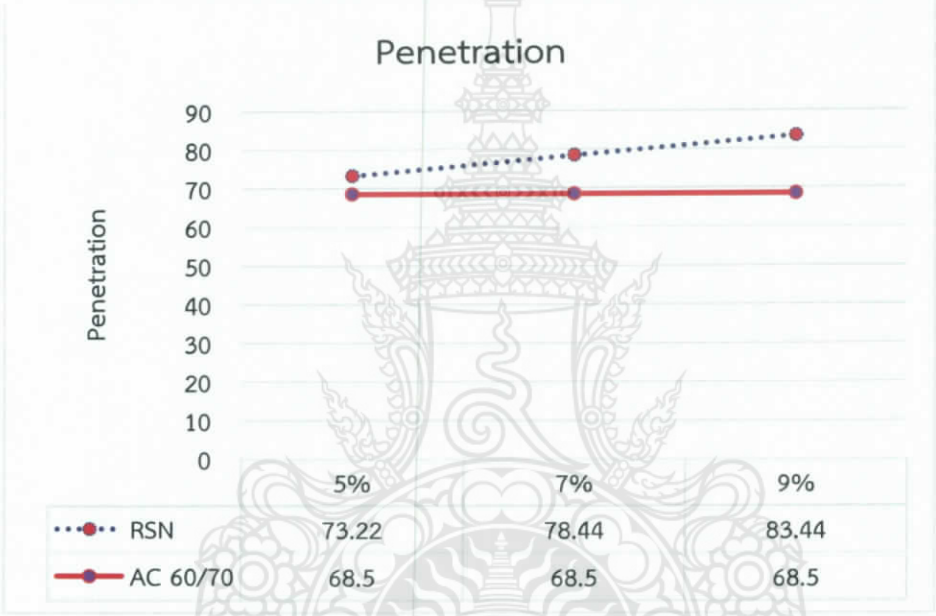


รูปที่ 4-3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และจุดติดไฟ (Fine Point)

เมื่อมีการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน พบว่า แนวโน้มของจุดวาบไฟ (Flash Point) มีค่าสูงกว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ทั้งหมด เช่นเดียวกับจุดติดไฟ (Fire Point) กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเศษยางพาราธรรมชาติสามารถช่วยให้วัสดุเชื่อมประสานสามารถทนการติดไฟได้ดีขึ้น โดยในปริมาณเศษยางพาราธรรมชาติที่ดีที่สุด คือ ส่วนผสมร้อยละ 7

4.2.3 การทดสอบ Penetration (Penetration Test)

เป็นการวัดความข้นเหลว (Consistency) ของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็ง (Solid) หรือกึ่งแข็ง (Semisolid) โดยค่าเพนิเทรชันจะบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่มและความแข็งของวัสดุเชื่อมประสาน

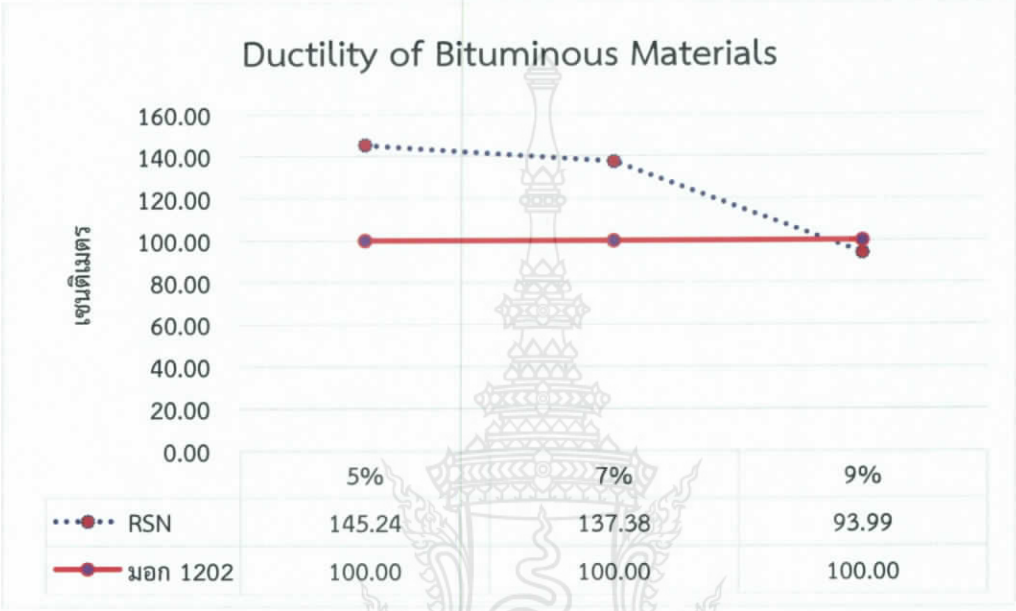


รูปที่ 4-4 ค่าเพนิเทรชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข็มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที

เมื่อมีการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าเพนิเทรชันมีแนวโน้มที่สูงขึ้นและมากกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเศษยางพาราธรรมชาติ ส่งผลให้เนื้อวัสดุเชื่อมประสานมีความอ่อนนุ่มขึ้น

4.2.4 Ductility of Bituminous Materials Test

เป็นการทดสอบโดยการวัดคุณสมบัติของการดึงของวัสดุบิทูเมนและอาจใช้วัดความดึงตามข้อกำหนดที่ต้องการ โดยการนำแอสฟัลต์ที่หล่อในแบบมาตรฐานแบบบริเคท แล้วทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยการดึงให้อีกส่วนยืดออกจากกันในอัตรา 5 เซนติเมตรต่อนาที จนกระทั่งวัสดุแอสฟัลต์ขาดออกจากกัน ความยาวที่วัดได้มีหน่วยเป็นเซนติเมตรถือว่าเป็นความสามารถในการยืดตัว

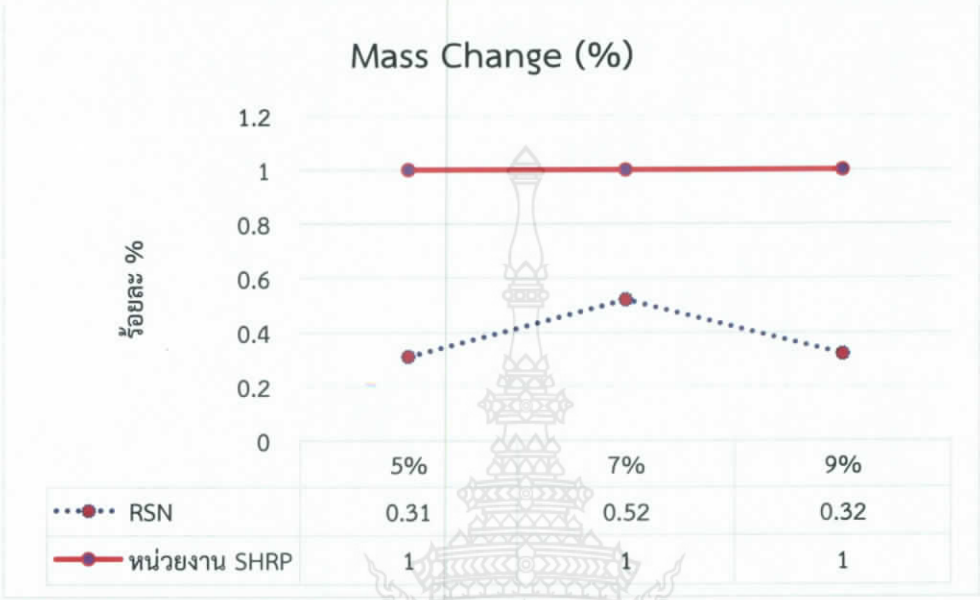


รูปที่ 4-5 ค่าความยืดของวัสดุ (ซม.)

เมื่อมีการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าการยืดตัวลดน้อยลงตามสัดส่วนเศษยางธรรมชาติที่สูงขึ้น โดยจากมาตรฐาน มอก. พบว่าสัดส่วนร้อยละ 5 และร้อยละ 7 ผ่านมาตรฐาน ส่วนร้อยละ 9 ไม่ผ่านมาตรฐาน

4.2.5 การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

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

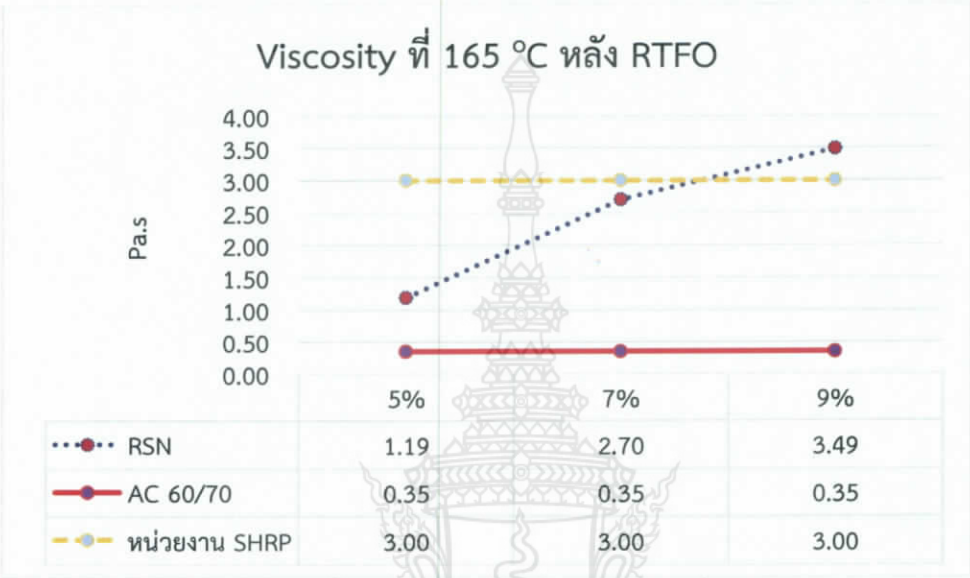


รูปที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

จากการทดสอบพบว่า วัสดุเชื่อมประสานที่มีการระเหยหลังผ่านการอบด้วย กระบวนการ Rolling Thin Film Oven Test คือ วัสดุเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมในสัดส่วนร้อยละ 5 มีการสูญเสียมวลหลังจากการอบไปน้อยที่สุด ซึ่งจากข้อกำหนดของระบบซุปเปอร์เพฟ (Super Pave) นั้น ยอมให้มวลที่สูญหายมีค่าได้ไม่เกินร้อยละ 1 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่มียางผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

4.2.6 การทดสอบความหนืด (Rotational Viscosity Test)

โดยทั่วไปเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดของวัสดุเชื่อมประสานจะพิจารณาที่ อุณหภูมิ 165 °C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำวัสดุเชื่อมประสานมาผสมกับกับวัสดุมวลรวม เพื่อนำไปปูผิวทาง ซึ่งการศึกษาคุณสมบัติของความหนืดจะสามารถช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการเกาะตัวของวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวม

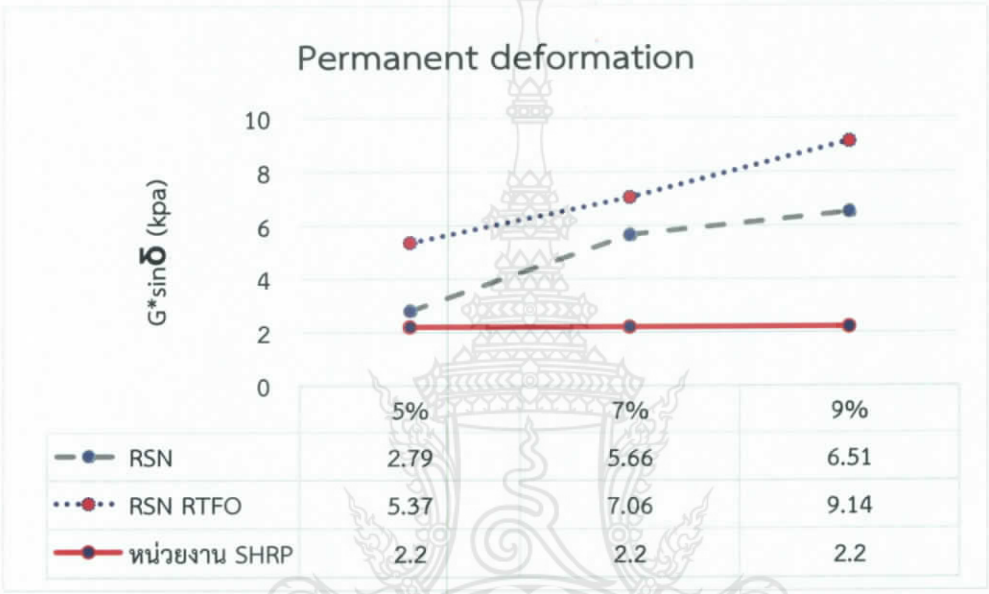


รูปที่ 4-7 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 °C

เมื่อมีการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน แนวโน้มของค่าความหนืด ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามสัดส่วนร้อยละที่มากขึ้น โดยมาตรฐานจากหน่วยงาน The Strategic Highway Research Program : SHRP กำหนดให้ค่าความ ไม่มากกว่า 3 (Pa.S) ดังนั้น สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ ส่วนผสมร้อยละ 7

4.2.7 การทดสอบ Pressure Aging Vessel

เป็นการทดสอบที่เลียนแบบการเสื่อมสภาพตามอายุที่ให้บริการของแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบ RTFO มาใช้ทดสอบในการทดสอบดังกล่าว เพื่อเปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่น ความแข็งแกร่ง และความต้านทานจากการยุบตัวถาวร ระหว่างผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานจากหน่วยงาน The Strategic Highway Research Program : SHRP (ค่า G*sinδ ของวัสดุที่เร่งอายุด้วยความดันแบบ PAV ให้มีค่าต่างๆน้อยกว่า 5,000 kPa ที่อุณหภูมิทดสอบ) ทดสอบ โดยการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานที่อุณหภูมิ ช่วงตั้งแต่ 4 °C ถึง 20 °C



	5%	7%	9%
RSN	2.79	5.66	6.51
RSN RTFO	5.37	7.06	9.14
หน่วยงาน SHRP	2.2	2.2	2.2

รูปที่ 4-8 ผลการทดสอบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร ที่อุณหภูมิ 13 ° C

เมื่อมีการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ในอัตราร้อยละที่แตกต่างกัน แนวโน้มของการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร (Permanent Deformation) เพิ่มสูงขึ้นในอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นย่อมส่งผลให้ ค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) และค่าความแข็งแกร่ง (Stiffness) สูงขึ้นเมื่อใช้เศษยางพาราธรรมชาติในแอสฟัลต์

หน่วยงาน SHRP ได้มีการกำหนดค่าในการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุเชื่อมประสาน โดยค่าการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร (G*sinδ) ที่อุณหภูมิทดสอบให้มีค่าต่างๆที่ไม่มากกว่า 5,000 kPa หลังการเร่งอายุ พบว่า วัสดุเชื่อมประสานทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์ทั้งหมด

4.2.8 สรุปผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสาน (Binders Test)

จากผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานสามารถนำคุณสมบัติต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ใช้กันอย่างเป็นสากล 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
1	จุดวาบไฟ (Flash Point)	มากกว่า 232.3 (°C)	ASTM D946
2	ความหนืด (Viscosity)	ไม่มากกว่า 3 (Pa.S)	หน่วยงาน SHRP
3	มวลที่เปลี่ยนแปลง	ไม่มากกว่า 1%	หน่วยงาน SHRP
4	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร	มากกว่า 1.0 (kPa)	หน่วยงาน SHRP
5	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร หลัง RTFO	มากกว่า 2.2 (kPa)	หน่วยงาน SHRP
6	ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร หลังPAV	ไม่มากกว่า 5,000 (kPa)	หน่วยงาน SHRP

ตารางที่ 4.3 พบว่า การผสมวัสดุเชื่อมประสานด้วยเศษยางพาราธรรมชาติ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านวิศวกรรม เช่น ทางด้านกายภาพ (Physical Strength) ความทนทานในการใช้งาน (Durability and Fatigue Resistance) ความสะดวกในการใช้งานในการก่อสร้าง (Workability) โดยคุณสมบัติที่เพิ่มขึ้น อาทิเช่น ความแข็งแกร่ง (Stiffness) ความหนืด (Viscosity) ความยืดหยุ่น (Elasticity)) ความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร โดยประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้ สามารถนำไปผสมกับวัสดุมวลรวมเพื่อใช้ปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าการปูผิวทางในปัจจุบันที่นิยมปูผิวทางด้วย AC 60/70

จากการนำผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสาน มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อเลือกวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสมมากที่สุดในการนำไปผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

วัสดุเชื่อมประสานชนิด แอสฟัลต์ AC 60-70 ผสมกับเศษยางพาราธรรมชาติ ในสัดส่วนร้อยละ 5 ร้อยละ 7 และร้อยละ 9 มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ใกล้เคียงกัน โดยจากการทดสอบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส พบว่า ในสัดส่วนร้อยละ 9 ไม่ผ่านมาตรฐาน ส่งผลให้ทางผู้วิจัยจึงเลือกวัสดุเชื่อมประสานที่มีอัตราส่วนผสมของเศษยางพาราธรรมชาติ ร้อยละ 7 มาผสมเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตต่อไป

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต

วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการศึกษาของโครงการนี้ได้มีการจัดเตรียมให้มีขนาดคละ (Gradation) ตามข้อกำหนดสำหรับชั้นผิวทางตามมาตรฐานแอสฟัลติกคอนกรีตโดยทั่วไป ซึ่งในประเทศไทยมักจะใช้วัสดุมวลรวมมีขนาด 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 4-4 ขนาดคละของวัสดุมวลรวม

Size	(mm.)	12.5
	(inch)	(1/2)
Layer		Wearing Course
Sieve size		Passing,%
mm.	in	
37.500	(1 1/2)	
25.000	(1)	
19.000	(3/4)	100
12.500	(1/2)	80-100
9.500	(3/8)	-
4.750	Number 4	44-74
2.360	Number 8	28-58
1.180	Number 16	-
0.600	Number 30	-
0.300	Number 50	5-21
0.150	Number 100	
0.075	Number 200	2-10

โดยทั้งวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่นำมาผสมในสัดส่วนที่ต้องการ จะได้รับการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังระบุไว้ในตารางที่ 4-6 และ 4-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-5 การตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบ

ลำดับ	Test	standard
1	Specific Gravity	ASTM C127
2	Los Angeles Abrasion	ASTM C131
3	Soundness	AASHTO T104
4	Coating	AASHTO T182

ตารางที่ 4-6 การตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด

ลำดับ	Test	standard
1	Specific Gravity	ASTM C128
2	Sand equivalent	AASHTO T176
3	Soundness	AASHTO T104

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต

4.4.1 การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุเชื่อมประสาน (%Binder by Weight of Aggregate) โดย Department of Transportation and Development (DOTD) แห่งมลรัฐ Louisiana ได้แนะนำวิธีการเลือกปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เหมาะสม โดยให้พิจารณาเลือกปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ร้อยละของช่องว่างหรือโพรงอากาศ (% Air Void) ของค่ากึ่งกลางที่กำหนด คือ %Air Voids จะต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 3-5 (ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ร้อยละ 4)

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล โพรงอากาศ (4% Air Void)

รายละเอียด Properties at %Air Void = 3-4 %	ส่วนผสมแอสฟัสต์คอนกรีต						มทช.(ท)607
	AC 60/70			AC 60/71 + Rubber Scrap Natural: RSN			Wearing (12.5 mm)
%Binder	5	5.5	6	6	6.5	7	-
Marshall Stability (KN)	9.46	10.88	11.67	9.36	11.88	14.21	Min 8 (KN)
Marshall Flow (0.25 mm)	11.15	14.67	13.16	11.22	14.71	14.85	8-16 mm
% VMA	15	14.4	14.1	15.24	15.88	16.11	Min 8-14

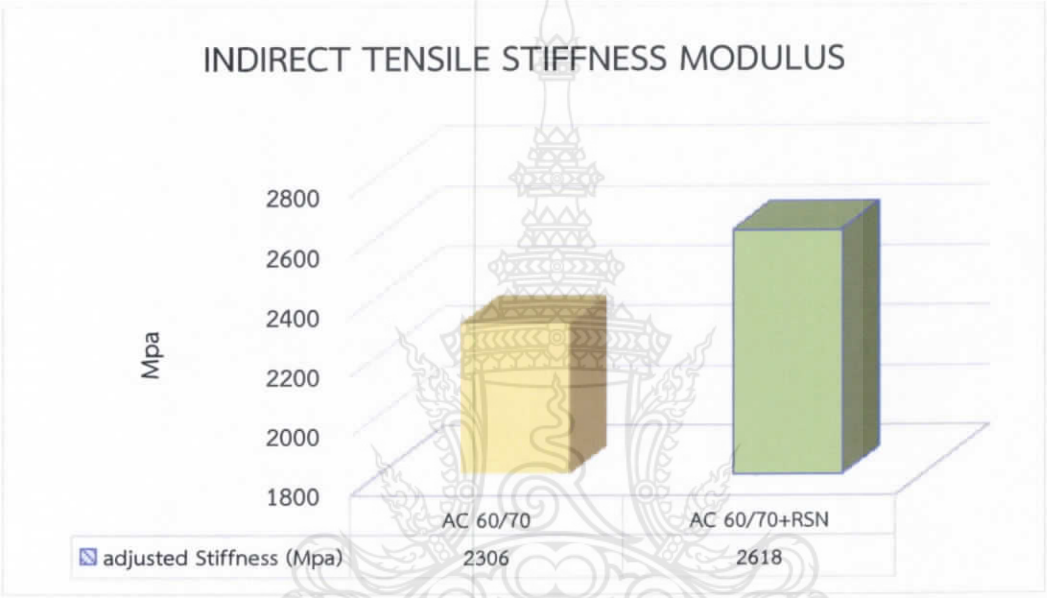
หมายเหตุ : (1) การทดสอบเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอน กรีต ให้ดำเนินการตาม มทช.(ท)607 : มาตรฐานการทดสอบแอสฟัลติก คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (2) การออกแบบไหล่ทางแอสฟัลติกคอนกรีตใช้มวลรวมขนาด 12.5 มิลลิเมตร

โดยส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเศษยางพาราธรรมชาติ กับมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท (มทช.(ท)607) พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ

และเมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มีส่วนผสมของเศษยางพาราธรรมชาติ มีค่ามากกว่าส่วนผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ซึ่งแสดงว่าการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ ช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่า การผสมเศษยางพาราธรรมชาติ ช่วยลดการเสียรูปของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักมากระทำ

4.4.2 การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

การทดสอบดังกล่าว เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ในช่วงอุณหภูมิ 30 °C เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติความยืดหยุ่น ของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต เมื่อผสมเศษยางพาราธรรมชาติลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณ 13.53% ใน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า ส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดามีคุณสมบัติยืดหยุ่นดีเพียงพออยู่แล้ว แต่หากได้รับการปรับปรุงโดยการผสมเศษยางพาราธรรมชาติลงไป สามารถช่วยให้ แอสฟัลติกคอนกรีตดังกล่าวมีความยืดหยุ่นเพียงพอเพื่อต้านทานต่อการแตกร้าวได้ และสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4-9 ผลทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเศษยางพาราธรรมชาติ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 วัสดุเชื่อมประสาน

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถจำแนกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานได้ดังนี้

- แนวโน้มของจุดอ่อนตัว (Softening Point) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งค่าจุดอ่อนตัวที่สูงขึ้นจะสามารถช่วยให้วัสดุเชื่อมประสานมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดการไหลเยิ้ม (Bleeding) ของส่วนผสมได้เมื่อนำไปใช้ผสมกับมวลรวมเพื่อนำไปปูผิวทาง โดยในปริมาณเศษยางพาราธรรมชาติที่ดีที่สุด คือ ส่วนผสมร้อยละ 7 จะมีจุดอ่อนตัวสูงกว่าทั้ง AC 60/70 และสัดส่วนอื่นๆทั้งหมด
- ค่า Penetration มีแนวโน้มที่สูงขึ้นและมากกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเศษยางพาราธรรมชาติ ส่งผลให้เนื้อวัสดุเชื่อมประสานมีความอ่อนนุ่มขึ้น
- ค่าการยืดตัวลดน้อยลงตามสัดส่วนเศษยางธรรมชาติที่สูงขึ้น โดยจากมาตรฐาน มอก. พบว่า สัดส่วน ร้อยละ 5 และร้อยละ 7 ผ่านมาตรฐาน ส่วนร้อยละ 9 ไม่ผ่านมาตรฐาน
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการระเหยหลังผ่านการอบด้วย กระบวนการ Rolling Thin Film Oven Test คือ วัสดุเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมในสัดส่วนร้อยละ 5 มีการสูญเสียมวลหลังจากการอบไปน้อยที่สุด ซึ่งจากข้อกำหนดของระบบซุปเปอร์เพฟ (Super Pave) นั้น ยอมให้มวลที่สูญหายมีค่าได้ไม่เกินร้อยละ 1 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่มียางผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด
- แนวโน้มของค่าความหนืด ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามสัดส่วนร้อยละที่มากขึ้น โดยมาตรฐานจากหน่วยงาน The Strategic Highway Research Program : SHRP กำหนดให้ค่าความ ไม่มากกว่า 3 (Pa.S) ดังนั้น สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ส่วนผสมร้อยละ 7
- แนวโน้มของการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร (Permanent Deformation) เพิ่มสูงขึ้นในอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นย่อมส่งผลให้ ค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) และค่าความแข็งแกร่ง (Stiffness) สูงขึ้นเมื่อใช้เศษยางพาราธรรมชาติในแอสฟัลต์

5.2 แอสฟัลติกคอนกรีต

- เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มีส่วนผสมของเศษยางพาราธรรมชาติ มีค่ามากกว่าส่วนผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ซึ่งแสดงว่าการผสมเศษยางพาราธรรมชาติ ช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่า การผสมเศษยางพาราธรรมชาติ ช่วยลดการเสียรูปของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักมากระทำ
- เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนด ของกรมทางหลวงชนบท (มทช.(ท)607) และกรมทางหลวง พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ
- เมื่อผสมเศษยางพาราธรรมชาติลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณร้อยละ 13.53 เมื่อเปรียบเทียบกับ AC 60/70

บรรณานุกรม

- ชยธันว์ พรหมศร, "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์และวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารโพลิเมอร์," รายงานฉบับที่ วพ.166, ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง , กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ, 2541AUSTROADS, 1994, Road Safety Audit, Sydney, AUSTROADS, 100p.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, พิภัณฑ์ คูหิรัญ และชยธันว์ พรหมศร. "ข้อแนะนำเพื่อปรับปรุงการออกแบบวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับถนนที่มีปริมาณจราจรสูง," ในรายงานการสัมมนาวิศวกรรมการทาง ครั้งที่ 1, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ, 2544.
- นราชัย ตันติวรวิทย์, "ลักษณะสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดากับที่ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมยางธรรมชาติเป็นสารผสมเพิ่ม," วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2546.
- วราภรณ์ ขจรไชยกุล, "การผลิตยางธรรมชาติ," กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง, สถาบันวิจัยยางสงขลา, กรมวิชาการเกษตร, 2531.
- Fernando, M.J. and Nadarajah, M., "Use of Natural Rubber Latex in Road Construction," Journal of Rubber Research Institute of Malaya.,Vol.22, No.5, 1969, pp. 430-440.
- Thompson, P.D., "The Use of Natural Rubber in Road Surfacing," Road Research Laboratory, Technology Bulletin No.9, 1964.

ประวัติย่อผู้วิจัย

1) **ประวัติคณะผู้วิจัย**

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Krit Jedwanna

2. รหัสประจำตัวประชาชน 3 9305 00344 49 0

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

4. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมหมายเลขโทรศัพท์และโทรสารและ 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 (กำลังศึกษาอยู่)	วศ.ด. สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยด้านการจราจรและขนส่ง

ผู้ตรวจสอบความปลอดภัยทางถนน

ผู้เชี่ยวชาญด้านการวางแผนการจราจรและขนส่ง

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่า เป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัยเป็นต้น

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : 1) ปัญหาความปลอดภัยบริเวณทางโค้งอันตรายในประเทศไทย

2) ลักษณะการชนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุของรถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่ระหว่างจังหวัดประเภทรุนแรง

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วชื่อ : ชื่อเผลงานวิจัย 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, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ 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, โรงแรมรีเจ้นท์ ชะอำ, 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

2) ประวัติคณะผู้วิจัยร่วม

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) วีระเทพ ชนินทรเทพ

(ภาษาอังกฤษ) Mr.Weerathep Chanihtornthep

2. รหัสประจำตัวประชาชน 1 9299 00020 19 7

3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมหมายเลขโทรศัพท์และโทรสารและ E-mail

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ : 085-839-6921

E-mail: ch.weerathep@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

-	พ.ศ.2549	ปริญญาตรี	วศ.บ. สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
-	พ.ศ.2553	ปริญญาโท	วศ.ม. สาขาวิศวกรรมโยธา (ขนส่ง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
-	พ.ศ.2556-ปัจจุบัน	ปริญญาเอก (กำลังศึกษาอยู่)	วศ.ด. สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยด้านการจราจรและขนส่ง

ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมทาง

ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านสถิติ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่า เป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัยเป็นต้น

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย (ไม่มี)

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : (ไม่มี)

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วชื่อ : ชื่อเผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

การศึกษาจัดทำแผนแม่บท และออกแบบเชิงความคิดเพื่อการพัฒนาพื้นที่บริเวณย่านสถานีกรุงเทพ

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

โครงการพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วย Recycled Rubber หรือยางพาราธรรมชาติ

แหล่งทุน : กรมทางหลวงชนบท

สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

โครงการพัฒนาพื้นที่ในเขตทางพิเศษและแบบเบื้องต้นอาคารศูนย์บริหารทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

แหล่งทุน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

ผลงานตีพิมพ์ : วีระเทพ ชนินทรเทพ,2553 “การบริหารจัดการจุดจอดรถแท็กซี่ กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี Management of Taxi Ranks: A Case study of KMUTT”, การประชุมวิชาการขนส่งและจราจรแห่งชาติ ครั้งที่ 7