



การศึกษาและพัฒนาวัสดุผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยยางพาราธรรมชาติ  
Development of Hot Mixes of Asphaltic Concrete with Natural Rubber

กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ  
วีระเทพ ชนินทรเทพ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายจ่ายประจำงบประมาณ พ.ศ.2558  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## การศึกษาและพัฒนาวัสดุปูผิวทางแบบแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยยางพาราธรรมชาติ

### Development of Hot Mixes of Asphaltic Concrete with Natural Rubber

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการปูผิวทางจราจร โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ (Natural rubber) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อเลือกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test) ที่ดีที่สุด นำไปผสมกับมวลรวมเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลติกคอนกรีต โดยผลการทดสอบ พบว่า การผสมยางพาราในอัตราส่วน ร้อยละ 6 ลงในยางแอสฟัลต์ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานที่ดีที่สุด และเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลติกคอนกรีต พบว่า ค่า Marshall stability มีค่าเพิ่มขึ้นและค่า Marshall Flow ลดลง โดยแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพาราธรรมชาติ มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากขึ้น 22 % เมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70 และ มีความต้านทานการความล้ามากขึ้น 2.06 เมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ 60/70

คำสำคัญ: คุณสมบัติแอสฟัลต์/ แอสฟัลต์ปรับปรุงคุณภาพ/ น้ำยางพารา

#### Abstract

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

Keywords: Asphalt Modified, Natural 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	
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3	สมมุติฐานของการศึกษา .....	2
1.4	ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.5	ขั้นตอนของการศึกษา .....	3
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2</b>	<b>เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>4</b>
2.1	คำจำกัดความของ Asphalt และประเภทของ Asphalt ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน .....	4
2.2	โครงสร้างของงานสร้างทาง (ถนนลาดแอสฟัลต์) .....	7
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต วัสดุปูผิวทางที่มีส่วนผสมของยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) .....	9
2.4	การใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในการก่อสร้างถนนของสถาบันวิจัยยาง .....	11
2.5	การศึกษาและเยี่ยมชมกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา .....	14
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัย .....</b>	<b>18</b>
3.1	แนวทางทดสอบและวิเคราะห์วัสดุปูผิวทาง .....	19
3.1.1	การแบ่งการกลุ่มตัวอย่างการทดสอบ .....	19
3.1.2	การแบ่งการทดสอบ .....	19
3.1.3	แนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ .....	21
3.2	รายละเอียดและวิธีการทดสอบวัสดุปูผิวทางในห้องปฏิบัติการ .....	24
3.2.1	Softening Points Test .....	24
3.2.2	Flash Point Test .....	24
3.2.3	Penetration Test .....	25
3.2.4	Rolling Thin Film Oven Test .....	26
3.2.5	Pressure Aging Vessel Test .....	27
3.2.6	Dynamic Shear Theology Test .....	28
3.2.7	Rotational Viscosity Test .....	29
3.2.8	Indirect Tensile Stiffness Modulus Test .....	30
3.2.9	Wheel Tracking Test .....	31

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

	3.2.10 Marshall Test.....	31
	3.2.11 Indirect Tensile Fatigue Test.....	32
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>33</b>
4.1	การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางข้น .....	33
4.1.1	จำนวนตัวอย่าง .....	33
4.1.2	การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางข้น.....	34
4.2	ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน .....	35
4.2.1	การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test) .....	35
4.2.2	การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point Test).....	36
4.2.3	การทดสอบ Penetration (Penetration Test).....	36
4.2.4	การทดสอบความหนืด (Rotational Viscosity Test).....	37
4.2.5	การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO).....	38
4.2.6	การทดสอบ Dynamic Shear Theology .....	39
4.2.7	การทดสอบ Pressure Aging Vessel.....	40
4.2.8	สรุปผลการทดสอบวัสดุเชื่อมประสาน (Binders Test).....	41
4.3	ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต .....	42
4.3.1	การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล.....	42
4.3.2	การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM).....	42
4.3.3	ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT) .....	43
4.4	การศึกษาด้านการเงินเบื้องต้น.....	44
4.4.1	สมมติฐานในการศึกษา.....	44
4.4.2	ผลการศึกษา .....	44
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการศึกษา .....</b>	<b>46</b>
5.1	วัสดุเชื่อมประสาน .....	46
5.2	แอสฟัลติกคอนกรีต .....	47
5.3	การพิจารณาด้านการเงินเบื้องต้น .....	47
	<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>48</b>
	<b>ภาคผนวก บทความวิชาการ .....</b>	<b>49</b>
	<b>ประวัติย่อผู้วิจัย.....</b>	<b>60</b>

## บัญชีตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ของ Asphalt .....	4
ตารางที่ 2.2 สมบัติของแอสฟัลต์ (AC 60/70) ผสมน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง .....	10
ตารางที่ 2.3 สมบัติแอสฟัลต์ผสมยางพาราอัตราต่างๆ ตาม มอก. 851-2532.....	11
ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา .....	13
ตารางที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder Test).....	20
ตารางที่ 3.2 การทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต .....	20
ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆทางด้านวิศวกรรมในแต่ละการทดสอบ.....	21
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดความสัมพันธ์ต่างๆในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิศวกรรม .....	22
ตารางที่ 4.1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder).....	33
ตารางที่ 4.2 จำนวนตัวอย่างการทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต .....	34
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างจากผลการทดสอบและค่ามาตรฐาน .....	41
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล .....	42
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (WTT) ที่อุณหภูมิ 60° C.....	43
ตารางที่ 4.6 ความทนทานและสัดส่วนผสมยางธรรมชาติ .....	44
ตารางที่ 4.7 ราคาของวัสดุผสมใน Rubberized Asphalt .....	45
ตารางที่ 4.8 ตารางค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางตลอด 20 ปี .....	45

## 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 ขั้นตอนการผสมแอสฟัลต์ในการก่อสร้างถนน (ณพรัตน์ พิชาติพลชัย และคณะ).....	12
รูปที่ 2.4 เตาผสมแอสฟัลต์เข้ากับยางธรรมชาติ .....	12
รูปที่ 2.5 ผลการทดสอบบรยร่องล้อ.....	13
รูปที่ 2.6 เครื่องต้นแบบในการผสมยางแห้ง ที่มีขนาด 5 ตัน .....	14
รูปที่ 2.7 เครื่องต้นแบบผสมน้ำยางกับแอสฟัลต์ .....	15
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการผสมแอสฟัลต์กับยางพาราในการก่อสร้างถนน (ณพรัตน์ พิชาติพลชัย และคณะ) .....	15
รูปที่ 2.9 แบบทางวิศวกรรมเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพาราชนิดน้ำยางชั้นแบบเคลื่อนที่ได้ .....	16
รูปที่ 2.10 สภาพของผิวทางแอสฟัลต์ผสมยางพาราหลังจากเปิดใช้งานไปแล้ว 11 ปี.....	16
รูปที่ 2.11 ผิวทางแอสฟัลต์ผสมยางพาราในการก่อสร้างถนนใหม่ในบริเวณตำบลเขาหินซ้อน.....	17
รูปที่ 2.12 ถังผสม Master-batch กับแอสฟัลต์ .....	17
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	18
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างยางพาราธรรมชาติ และแอสฟัลต์ ชนิด AC60/70 ตามลำดับ .....	19
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การทดสอบ Softening Points .....	24
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์การทดสอบ Flashing Point.....	25
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การทดสอบ Penetration.....	25
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test .....	26
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดสอบ Pressure Aging Vessel Test.....	27
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดสอบ Dynamic Shear Theology Test.....	28
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์การทดสอบ Rotational Viscosity Test .....	29
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM).....	30
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์การทดสอบ Wheel Tracking Test.....	31
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์การทดสอบ Marshall Test .....	32
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์การทดสอบ Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT).....	32
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ผสมวัสดุเชื่อมประสาน .....	34
รูปที่ 4.2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) .....	35
รูปที่ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point).....	36
รูปที่ 4.4 Penetration ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข้มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที .....	36
รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส.....	37
รูปที่ 4.6 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส.....	37
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)..	38
รูปที่ 4.8 ค่า % Retain Penetration ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO).....	38

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO) .....	39
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสานทั้งก่อนและหลัง RTFO..	40
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร ที่อุณหภูมิ 13 ° C .....	40
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืบตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต.....	43

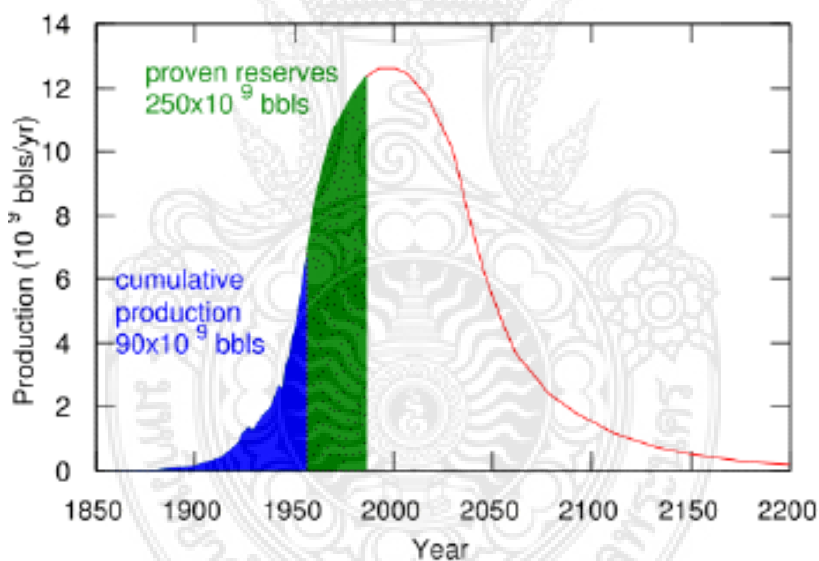




# บทที่ 1 บทนำ

## 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 1.1



ที่มา : Hubbert, Marion King (June 1956)

รูปที่ 1.1 ปริมาณน้ำมันจากการสำรวจตามรายงาน Peak - Oil Report

ซึ่งในการพัฒนาวัสดุ และระบบต่างๆ ในมุมมองของการพัฒนาอย่างยั่งยืนจำเป็นที่จะต้องหาทางเลือกอื่นในการลดสัดส่วนการใช้วัสดุ Bitumen ในองค์ประกอบของสารยึดเหนี่ยว (Binder) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเริ่มพัฒนาการใช้ยางรถยนต์ที่ได้จากการยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) เข้ามาเป็นวัสดุทดแทนในส่วนของการใช้ Bitumen โดยที่งานวิจัยในด้านดังกล่าวเป็นการพัฒนาส่วนผสมในรูปแบบ Rubberized Mix ซึ่งจะเป็นการใช้ยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) ชนิดชั้นเหลือง เป็นส่วนผสมในรูปแบบ Wet - Mix หรือผสมรวมโดยตรงกับวัสดุประสานในขั้นตอนการผสม Mixed Asphalt โดยประโยชน์

ของการใช้ ยางพาราธรรมชาตินอกเหนือจากการลดสัดส่วนการใช้ Bitumen แล้วยังเป็นการเพิ่มคุณภาพผิวทางในด้านการลดระดับของร่องล้อ (Rutting) หรือการทรุดตัวของผิวทาง และเพิ่มความทนทานของผิวทางต่ออุณหภูมิที่สูง ซึ่งเป็นลักษณะการพัฒนาผิวทางในรูปแบบที่มีคุณภาพเหนือกว่าผิวทางแบบปกติ (High - Performance Pavement) การใช้ ยางพาราธรรมชาติเป็นส่วนผสมใน Mixed Asphalt ยังส่งผลประโยชน์ในเชิงสิ่งแวดล้อม เช่น การลดมลภาวะทางเสียงตามผิวทาง และลดปริมาณการใช้ Bitumen ซึ่งเป็นสารที่สกัดจากน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่เป็นจุดด้อยของยางพาราธรรมชาติ คือ อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสภาพให้อยู่ในสถานะของเหลว (Liquid State) สำหรับการผสมนั้นมีค่าที่สูงกว่า Bitumen โดยอาจจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นในการทำ Mixed Asphalt ดังนั้นโครงการศึกษานี้จะทำการทดสอบประเมินประสิทธิภาพ และความเป็นไปได้ทั้งในเชิงวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ในการปรับใช้การผลิต Mixed Asphalt โดยที่ใช้ ยางพาราธรรมชาติแทนที่ Bitumen Binder ในสัดส่วนที่เหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และพัฒนาการใช้ Rubberized Mix โดยใช้วัสดุผสมยางพาราธรรมชาติ ที่ได้มีการดำเนินการ 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

การผสมยางพาราธรรมชาติลงในแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 สามารถช่วยให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานและแอสฟัลต์คอกอนกรีต มีคุณภาพสูงขึ้นหากใช้ในอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะ ซึ่งสามารถยื่นอายุการใช้งานของถนนได้

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

เพื่อความชัดเจนของงานวิจัยผู้วิจัยจึงได้มีการระบุขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

- 1) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย แอสฟัลต์ ชนิด AC60/70, น้ำยางพาราชั้นชนิดเหลวมีส่วนผสมของแอมโมเนียร้อยละ 40 และน้ำยางพาราร้อยละ 60
- 2) การทดสอบวัสดุต่างๆทุกกระบวนการ ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทั้งสิ้น
- 3) การทดสอบและวิเคราะห์ผลทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนผสมต่างๆ ของยางพาราชั้นกับ แอสฟัลต์ ชนิด AC60/70 โดยอ้างอิงมาตรฐานสากลในปัจจุบัน เช่น ASTM, AASHTO และ มอก.

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการในการวิจัยโดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**ขั้นตอนที่ 2** การทดสอบตัวอย่างของสัດส่วนระหว่าง ยางมะตอย (Asphalt) กับ ยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) ในแต่ละสัດส่วน เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆในห้องปฏิบัติการ

**ขั้นตอนที่ 3** การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ของสัດส่วนระหว่าง ยางมะตอย (Asphalt) กับ ยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) เพื่อสรุปเป็นข้อเสนอแนะในการระบุ มาตรฐานการผสมที่เหมาะสมในการปูถนน

**ขั้นตอนที่ 4** นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ในขั้นตอนที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางการเงินเบื้องต้น

**ขั้นตอนที่ 5** การสรุปผลการศึกษา

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพิ่มความคงทนต่อผิวทาง ส่งผลให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงทาง
- 2) ลดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดการปล่อยควัน ฝุ่น ละออง 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 เปราะ 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 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 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 ในเนื้อยางสูงขึ้น 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 หินทราย กรวด ฯลฯ) ก่อนการบดอัด ซึ่งเมื่อปล่อยให้เย็นลง แอสฟัลต์ซีเมนต์จะเคลือบวัสดุมวลรวม และจับตัวเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความแข็งแรงและทนทานขึ้น

### ● แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid Asphalt)

แอสฟัลต์ชนิดเหลว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

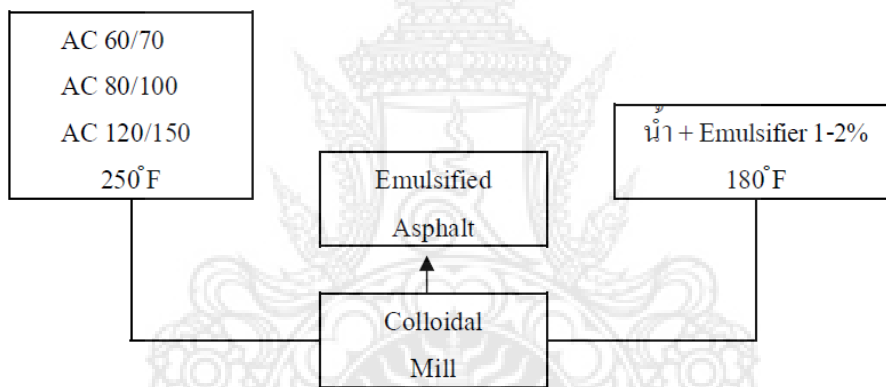
- Cutback Asphalts เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ ไปละลายในตัวทำละลาย (solvents) ซึ่ง ได้แก่ น้ำมัน ต่างๆ เช่น Neptha (Gasoline) Kerosine และ Diesel Oil น้ำมันที่ใช้เป็นสารละลายนี้ เรียกรวมว่า Dituent หรือ Culter Stock แอสฟัลต์ชนิดนี้มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา และจะข้นหรือเหลว ขึ้นกับ ชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ Culter Stock ตลอดจนสัดส่วนระหว่างแอสฟัลต์ กับ Culter Stock การใช้งานแอสฟัลต์ชนิดนี้ 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 ผลิตได้โดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 250°C ผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170°C โดยมีสารเคมีช่วยในการให้อนุภาคของ แอสฟัลต์กระจายตัวซึ่งเรียกว่า Emulsifier ผสมอยู่ น้ำและแอสฟัลต์ถูกตีด้วยเครื่อง Colloidal Mill ทำให้แอสฟัลต์แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 5



ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

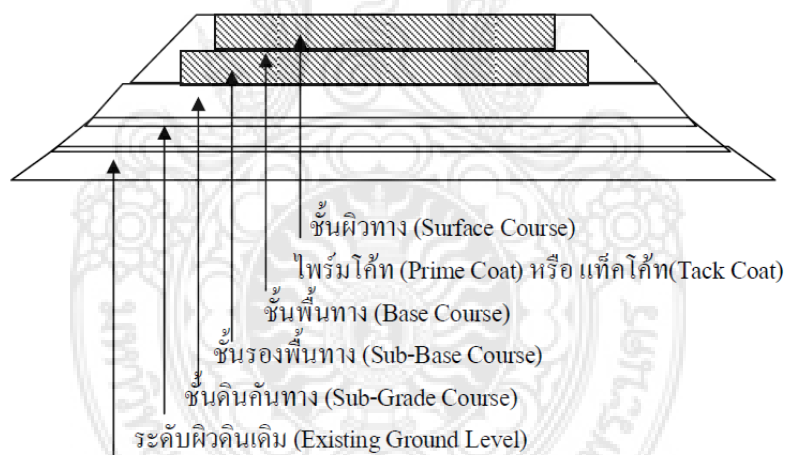
รูปที่ 2.1 หลักการผลิต Emulsified Asphalts

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 นำไปใช้งานประเภท Penetration Macadam Surface Treatment Prime Coat Tack 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 หินโม่ หรือกรวดโม่ ซึ่งมี ขนาดคละกัณสมำเสมอจากขนาดใหญ่มาหาเล็ก หรือเป็น Asphaltic Concrete แบบเดียวกับ ผิวทางก็ได้ โดยบดทับแน่นบนชั้นรองพื้นทาง
- ชั้นรองพื้นทาง (Sub - Base Course) คือ ชั้นส่วนวัสดุรองใต้พื้นทาง โดยทั่วไปมักจะเป็น ลูกกรัง หรือส่วนของดินที่มีคุณสมบัติ บดอัดแน่นบนชั้นดินคั่นทาง (Sub - Grade Course)
- ชั้นดินคั่นทาง (Sub - Grade Course) คือ วัสดุที่ดี เสริมและบดอัดแน่นบนผิวดินเดิม (Existing Ground Level) มีแนวและระดับตามทีออกแบบ
- 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 น้ำหนักรถกระทำซ้ำ ๆ (repeated load) ผิวทางจะล้า (fatigue) ทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่เรียก กันว่า fatigue crack
- ผิวทางมีผิวหน้าหลุด (reveling) เป็นปรากฏการณ์ที่ผิวทางสึกกร่อน เพราะวัสดุส่วน ละเอียดที่ผิวหน้าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกแรงเฉือนจากล้อรถตะกุกตะกักจนหลุดออก ทำให้ผิว ทางมีลักษณะ หยาบขรุขระ



ดังนั้น การแก้ไขปัญหาผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชำรุด โดยเฉพาะในถนนที่มีปริมาณการจราจร และปริมาณรถบรรทุกสูง จะต้องปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซึ่งเป็นตัวประสานให้มีสมบัติดังนี้

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

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต วัสดุผิวทางที่มีส่วนผสมของยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber)

### 1) งานวิจัยที่มีส่วนผสมของยางพาราธรรมชาติ

ชิต ทศนกุล และคณะ (2500) ทดลองทำยาง Master batch ผสม ระหว่างยางพาราชั้นต่ำกับแอสฟัลต์ในอัตรา 1: 1 ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง โดยบดยางธรรมชาติให้ نرم ก่อนเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงผสมแอสฟัลต์ จากนั้น รีดเป็นแผ่นไว้ใช้งาน ต้มแอสฟัลต์ให้ละลาย (มีอุณหภูมิไม่เกิน 190°C) แล้วเติมยาง Master batch ลงในแอสฟัลต์ โดยให้แอสฟัลต์ผสมที่ได้มี ยางพาราผสมอยู่ในอัตรา 5% ของแอสฟัลต์ทั้งหมด จากนั้นนำแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ผสมได้ราดถนน สายหาดใหญ่ - สงขลา (ส่วนที่ตรงหลักกิโลเมตรที่ 16) เป็นระยะทาง 100 เมตร โดยได้รับความร่วมมือ จากแขวงทางสงขลา พบว่า ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางพารามีมวลสารเกาะกันดี ผิวถนนไม่ เยิ้มเหนียวและได้ทดลองซ้ำอีกครั้งในปี 2505 โดยราดถนนสายหาดใหญ่ - สงขลา (ส่วนที่ถนนโค้ง) ที่ หลักกิโลเมตร 10.80 - 11.00 เป็นระยะทาง 200 เมตร ซึ่งได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับครั้งแรก และจากเก็บข้อมูลเพิ่มในปี 2510 พบว่า ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติยังไม่มีการ ซ่อมแซม แต่ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ธรรมดา มีการซ่อมแซมแล้ว 1 ครั้ง

Fernando และ Nodara (1969) ได้ทดลองปรับปรุงสมบัติแอสฟัลต์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ คือ น้ำ ยางสด น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ และหางน้ำยาง อัตรา 2 - 4% ในแอสฟัลต์ AC 80/100 แบบ Hot - Mix Asphalt โดยการพ่นน้ำยางธรรมชาติลงในยางมะตอยที่มีอุณหภูมิ 300 - 325 °F และมีการคนตลอดเวลา พบว่า แอสฟัลต์แข็งขึ้น (ค่าเพนิเทรชัน ลดลง) จุดอ่อนตัวสูงขึ้น แต่ค่าการยืดดึง (Ductility) ลดลง ต่อมา Nair และคณะ (1998) ได้ทดลองปรับปรุงสมบัติยางมะตอย 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 แต่ จุดอ่อนตัว สูงขึ้น

วิสุทธิ (2543) ได้รายงานว่สถาบันวิจัยยางอินเดียได้เริ่มทดลองใช้น้ำยางสดผสมแอสฟัลต์ 2% ราดถนนระหว่างเมืองทริวานดรัมและโคตายัม โดยราดถนนเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับ ถนนราดแอสฟัลต์ธรรมดา ปรากฏว่า ถนนราดแอสฟัลต์ต้องซ่อมผิวถนนใหม่ในอีก 5 ปีต่อมา และใน ปีที่ 10 ก็ซ่อมครั้งที่ 2 ในขณะที่ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติ 2% ยังมีสภาพดีจนถึงปีที่ 14 และได้มีการขยายผลไปทั่วประเทศ ซึ่งจากข้อมูลหลายการทดลองสรุปได้ว่าการผสมยางธรรมชาติยืดอายุถนนได้อย่างน้อย 50% โดยค่าใช้จ่ายในการราดผิวถนนเพิ่มขึ้น 16% เมื่อผสมยางธรรมชาติ 2% กับ แอสฟัลต์

ในปีงบประมาณ 2543 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทราได้รับงบประมาณในการซ่อมแซมผิวถนน ภายในศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จึงได้ดำเนินการทดลองลาดถนนโดยใช้แอสฟัลต์ผสมกับน้ำยางชั้นชนิด แอมโมเนียสูง (เนื่องจากถ้าใช้น้ำยางสดผสมกับแอสฟัลต์ ทำให้เกิดฟองมากอาจทำให้เกิดอันตรายขณะ ต้มผสม) อัตรา 2.5% และน้ำมันก๊าด อัตรา 3% เปรียบเทียบกับการซ่อมผิวถนนด้วยแอสฟัลต์ปกติ ซึ่ง ส่วนอุตสาหกรรมยาง ได้ทดลองผสมตัวอย่างแอสฟัลต์ AC 60/70 กับน้ำยางชั้นอัตรา 2% เปรียบเทียบ กับการเติมน้ำมันก๊าดเพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์อัตรา 3% และ 5% ผลจากการวิเคราะห์โดย ห้องปฏิบัติการของกรมทางหลวง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของแอสฟัลต์ (AC 60/70) ผสมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง

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

จากผลการทดลองเห็นได้ว่า แอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางชั้น 2% โดยไม่ผสมน้ำมันก๊าด และ แอสฟัลต์ผสมน้ำยางชั้น 2% และน้ำมันก๊าด 3% มีค่าเพนิเทรชันต่ำลง คือ แอสฟัลต์แข็งขึ้น แต่การยืด ดึงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อาจเป็นผลมาจากการผสมกันของโมเลกุลยางกับแอสฟัลต์ยังไม่ดี พอ ซึ่งถ้าปรับปรุงเทคนิควิธีการผสมให้ดีขึ้นก็อาจสามารถปรับปรุงสมบัติการยืดดึงให้สูงขึ้นได้ นอกจากนี้ ยังได้เก็บตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมในเตาต้มผสมแอสฟัลต์กับยางพารา ก่อนที่จะลาดถนนเพื่อ ส่งให้กรมทางหลวงวิเคราะห์ผล แต่สังเกตเห็นว่ายางที่ผสมกับแอสฟัลต์ยังไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำ ตัวอย่างมาต้มต่อในห้องปฏิบัติการอีกประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วส่งตัวอย่างให้กรมทางหลวงวิเคราะห์ผล พบว่า ทุกสมบัติผ่านข้อกำหนดของมาตรฐานของ AC ยกเว้นค่า เพนิเทรชัน ที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่ง อาจเป็นผลจากน้ำมันก๊าดที่ใส่เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ ดังนั้น ถ้าใช้น้ำยางผสมแอสฟัลต์ เพื่อใช้ ในการสร้างถนนแบบ Hot Mix Asphalt ควรปรับปรุงเครื่องผสมยางกับแอสฟัลต์ให้เหมาะสม

สถาบันวิจัยยางร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษา ปรับปรุงสมบัติของแอสฟัลต์โดยใช้ร่วมกับยางธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมแอสฟัลต์กับน้ำยางที่ผ่านมาก่อปัญหาเรื่องฟองและมีกลิ่นเหม็นมากในขณะต้ม จึงได้ทำการทดลองผสมยางแผ่น รถม้วนอัตราต่างๆ กับแอสฟัลต์ โดยนำยางแผ่นรถม้วนมาบดเป็นเวลานาน 10 นาที แล้วต้มผสมกับ แอสฟัลต์ (AC 60/70) ในอัตรา 4 5 6 และ 7 % แล้วทดสอบตามมาตรฐานของแอสฟัลต์ ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

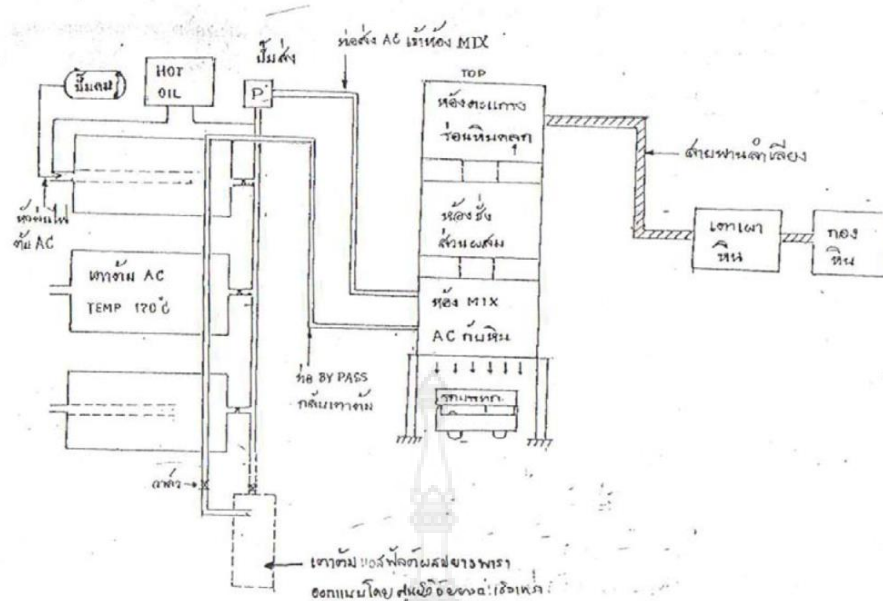
## ตารางที่ 2.3 สมบัติแอสฟัลต์ผสมยางพาราอัตราต่างๆ ตาม มอก. 851-2532

สมบัติตามข้อกำหนด มอก. 851-2532	ผสมยางพารา				AC 60/70 Spec. มอก. 851-2532
	4%	5%	6%	7%	
เพนิเทรชันที่อุณหภูมิ 25°C น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที	65	67	70	76	60-70
จุดความไฟ °C	313	307	310	304	232 min
การยืดดึง (ductility) ที่อุณหภูมิ 25° C อัตราเร่งเครื่องดึง 5 ชม./ นาที	> 100	> 100	> 100	70	100 min
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน ร้อยละ	99.96	99.96	99.95	99.96	99.0 min
<i>กากที่เหลือจากการอบ</i>					
น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน(ร้อยละ)	0.01	0.02	0.02	0.04	0.8 max.
เพนิเทรชันร้อยละ 2 ของเพนิเทรชันเดิม	73.8	77.2	77.6	79.3	54 min.
การยืดดึง (ductility)	> 50	> 50	>50	> 50	50 min.

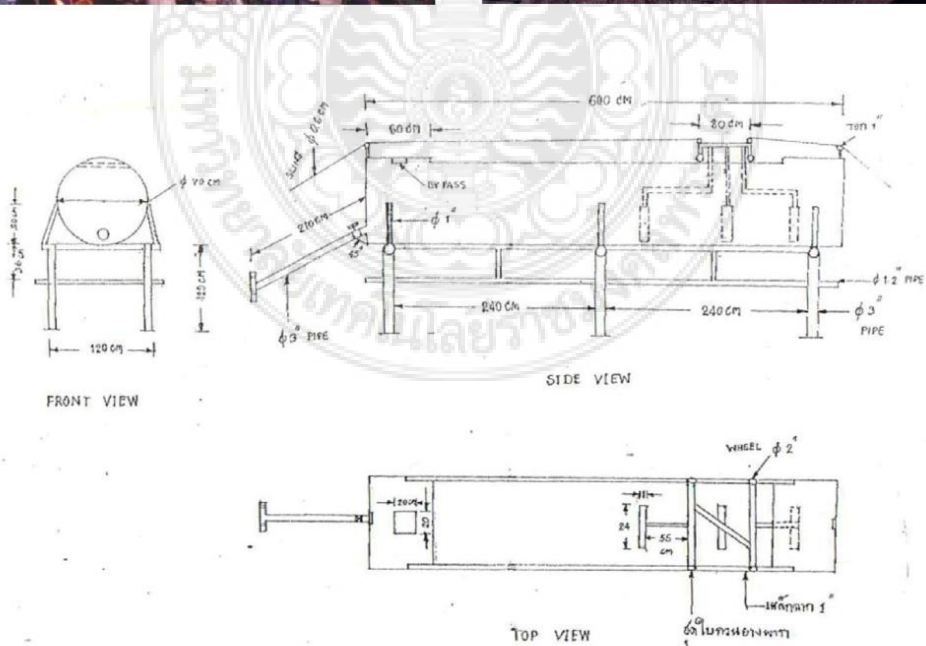
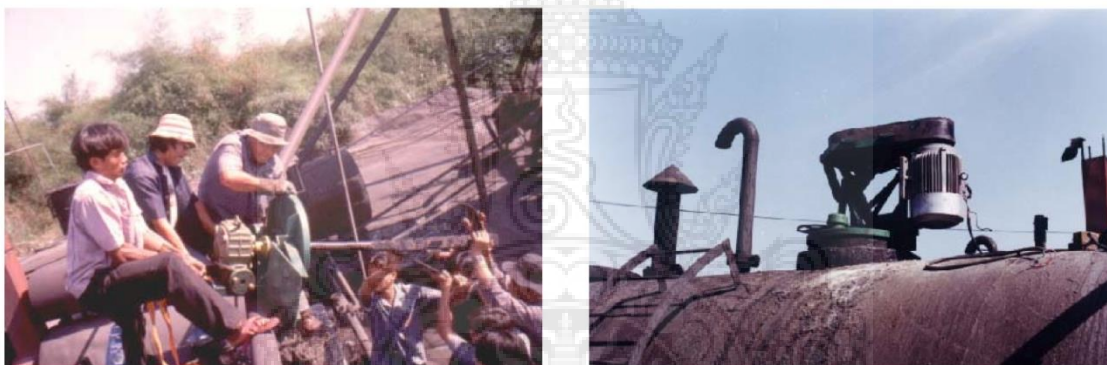
นอกจากการผสมแอสฟัลต์กับยางธรรมชาติเพื่อนำมาใช้สร้างถนนแบบ Hot - Mix Asphalt Concrete แล้ว ปัจจุบันมีการทดลองผลิตแอสฟัลต์ชนิดน้ำ ได้แก่ Modified Asphalt Emulsion โดยบริษัท ทิปโก้ แอสฟัลต์ จำกัด และสถาบันวิจัยยางร่วมกันปรับปรุงคุณภาพของยางมะตอยน้ำ (Asphalt Emulsion) และ ทดสอบหามาสมบัติต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล. - ก. 405/2535) พบว่า ยางมะตอยน้ำที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง 5.50% มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล. - ก. 405/2535 (ตารางที่ 8) ยางมะตอยน้ำที่ปรับปรุงสมบัติ (CSS - 1h EMA) มีสมบัติด้านค่าความยืดหยุ่นตัว หรือฟื้นกลับตัว (elastic recovery) ดีขึ้น คือ จะสามารถทำให้ยางมะตอยคืนรูปได้ดีหลังจาก การถูกกดทับจากการจราจร จึงเป็นการช่วยให้ลดการเกิดร่องล้อบนถนน ตลอดจนค่าจุดอ่อนตัวสูงขึ้น ซึ่ง ลดการเปลี่ยนแปลงผิวทาง เนื่องจากอุณหภูมิยางมะตอยน้ำสามารถนำไปใช้งานฉาบผิวทางถนนตามมาตรฐาน การฉาบผิวทางแบบไมโครซีลของกรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล. 412/2535

## 2.4 การใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในการก่อสร้างถนนของสถาบันวิจัยยาง

ณพรัตน์ พิษิตพลชัย และคณะ ได้ทดลองก่อสร้างถนนโดยใช้ยางพาราผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีตในการก่อสร้างถนน ในงานวิจัยนี้ได้ก่อสร้างเตาผสมแอสฟัลต์กับยางพาราขึ้นโดยใช้ร่วมกับขบวนการผลิตเดิมดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ในการผสมจะใช้น้ำยางชั้นที่ 5 เปอร์เซนต์ของเนื้อยางแห้งต่อน้ำหนักแอสฟัลต์ และยังได้ข้อสรุปที่ว่า การใช้น้ำยางชั้นในการผสมจะดีกว่าการใช้ยางแผ่นรมควันเพราะสามารถผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายกว่า แต่การเติมน้ำยางชั้นจะต้องเติมด้วยปริมาณน้อยๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟอง



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผสมแอสฟัลต์ในการก่อสร้างถนน (ณพรัตน์ พิษิตพลชัย และคณะ)



รูปที่ 2.4 เตาผสมแอสฟัลต์เข้ากับยางธรรมชาติ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ผสมกับยางพาราพบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตในทุกๆด้านดังแสดงในตารางที่ 4 และผลการทดสอบร่องล้อยังพบว่าแอสฟัลต์ผสมยางพาราจะมีร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตแบบปกติดังแสดงในรูปที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา

สมบัติ	อัตราส่วนยางพารา	
	0%	5%
Penetration ( 0.1mm.)	69	57
Softening point ( °C )	46.0	55.3
Penetration Index	-1.50	+ 0.41
Ductility ( cm. )	over 150	26
Torsional recovery (%)	2.8	21.1
Toughness ( Kg. cm. )	88.77	117.96
Tenacity ( Kg. cm. )	37.55	54.38
Viscosity		
at 135 °C (cp)	33.0	1365
at 165 °C (cp)	13.0	430



รูปที่ 2.5 ผลการทดสอบร่องล้อ

ในปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรยังได้พัฒนาการใช้ยางแท่งในการผสมแอสฟัลต์โดยสร้างเครื่องต้นแบบ ขนาด 5 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยก่อสร้างที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา



รูปที่ 2.6 เครื่องต้นแบบในการผสมยางแท่ง ที่มีขนาด 5 ตัน

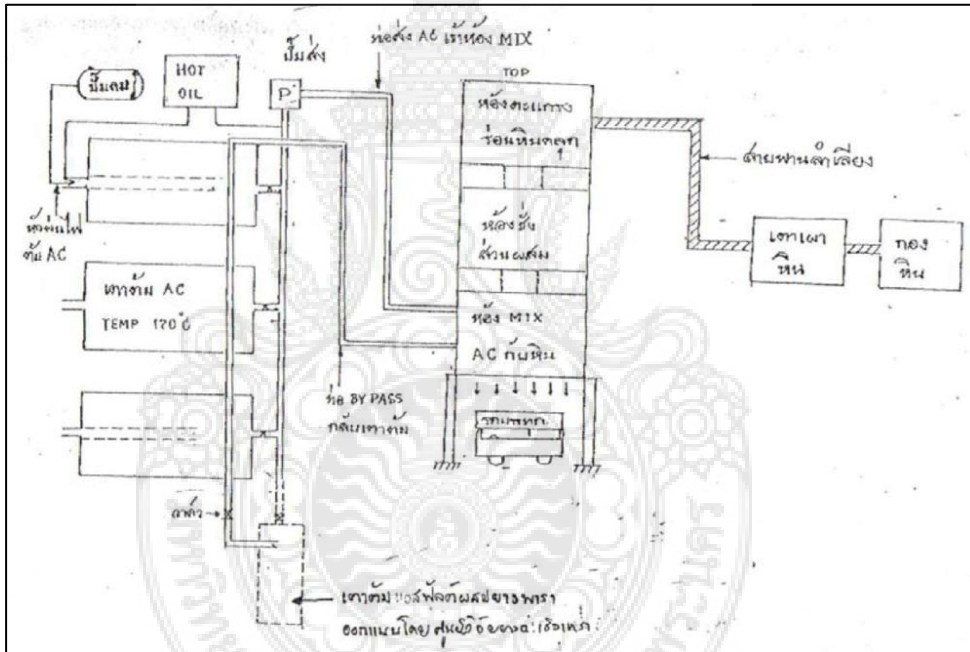
## 2.5 การศึกษาและเยี่ยมชมกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา

ขณะที่ปรึกษาได้เข้าเยี่ยมชมกระบวนการผลิตแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อเดือนสิงหาคม 2556 ที่ผ่านมามีได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

ในปัจจุบันศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา สามารถผสมยางพารากับแอสฟัลต์ได้สองแบบคือ 1) การใช้น้ำยาง และ 2) การใช้ยางแผ่น โดยการใช้ยางจะผสมน้ำยางในเครื่องผสมดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ซึ่งการผสมจะเติมน้ำยางลงไปทีละน้อย เพื่อเป็นการลดอัตราการเกิดไอน้ำ โดยการเติมน้ำยางลงในแอสฟัลต์จะต้องต่อท่อลงไปให้จมอยู่ในชั้นแอสฟัลต์ และปล่อยน้ำยางภายใต้แอสฟัลต์ร้อน โดยมีขนาดของถังผสม คือ 5 ตัน มีอัตราการผลิตได้ 20 ตัน/วัน หลังจากนั้นจะนำแอสฟัลต์ที่มีการผสมน้ำยางแล้วใส่ในถังบรรจุเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการผสมกับวัสดุมวลรวมต่อไป ทั้งนี้เครื่องผสมน้ำยางกับแอสฟัลต์ดังกล่าวมาข้างต้นสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยใช้รถบรรทุกหกล้อ

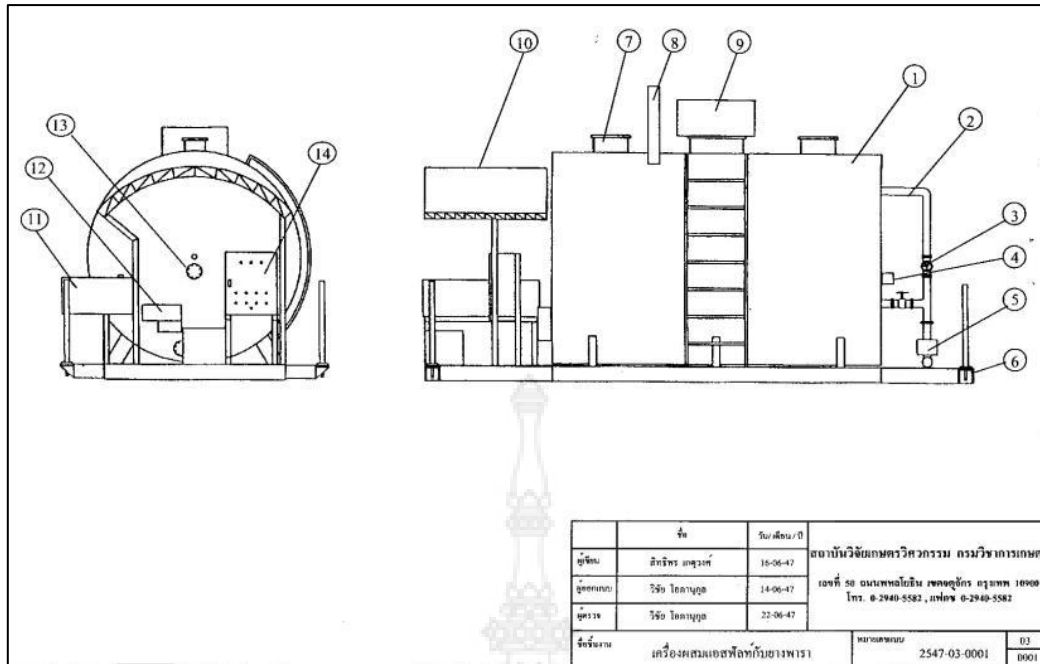


รูปที่ 2.7 เครื่องต้นแบบผสมน้ำยางกับแอสฟัลต์



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการผสมแอสฟัลต์กับยางพาราในการก่อสร้างถนน (ณพรัตน์ พิชิตพลชัย และคณะ)

โดยการออกแบบและสร้างเครื่องผสมนั้น สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรได้ทดลองสร้างแบบจำลองขนาดเล็กขึ้นมา เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ดำเนินการสร้าง ทดสอบ และพัฒนาปรับปรุงเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพาราที่สามารถนำไปใช้งานได้ ในสภาพการปฏิบัติงานสร้างถนนจริง ซึ่งการออกแบบ และสร้างเครื่องผสมมีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แบบทางวิศวกรรมเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพาราชนิดน้ำยางข้นแบบเคลื่อนที่ได้

จากการพัฒนาสร้างเครื่องผสมดังกล่าวได้นำไปสู่การสร้างผิวทางจริง ในครั้งแรกเมื่อเดือนมีนาคม 2545 สถาบันวิจัยยางร่วมกับแขวงทางหลวงฉะเชิงเทรา ได้ทดสอบการใช้ยางธรรมชาติผสมยางแอสฟัลต์ โดยการเสริมผิวทาง (overlay) บนทางหลวงหมายเลข 3259 ระยะทางประมาณ 200 เมตร ซึ่งอยู่บริเวณหน้าศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา โดยก่อสร้างมาแล้วกว่า 11 ปี ซึ่งจากการสังเกตทางกายภาพ พบว่า มีรอยร่องล้อเล็กน้อย ไม่พบรอยแตกจากความล้าและผิวทางมีความผิวดี เมื่อเทียบกับผิวถนนบริเวณใกล้เคียงที่มีการใช้แอสฟัลต์เกรด 60-70 ธรรมดา นอกจากนี้เมื่อเดือนตุลาคม 2555 ได้มีการนำยางพาราไปใช้ในการก่อสร้างถนนสายไร้แผ่นดินทองเชื่อมถนนสาย รพช. โป่งแก้งเกาะขนุน (กม.0-กม.2+200) หมู่ที่ 11 ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอนมสาร จันทบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา มีความยาวประมาณ 2.2 กม. ซึ่งปัจจุบันผิวทางยังมีสภาพดีเยี่ยม



รูปที่ 2.10 สภาพของผิวทางแอสฟัลต์ผสมยางพาราหลังจากเปิดใช้งานไปแล้ว 11 ปี





รูปที่ 2.11 ผิวทางแอสฟัลต์ผสมยางพาราในการก่อสร้างถนนใหม่ในบริเวณตำบลเขาหินซ้อน

นอกจากนี้ในการผสมยางพารากับแอสฟัลต์สามารถผสมอีกวิธีหนึ่งคือเป็นการใช้ยางแผ่นหรือยางแข็ง จะมีกระบวนการผสมดังต่อไปนี้

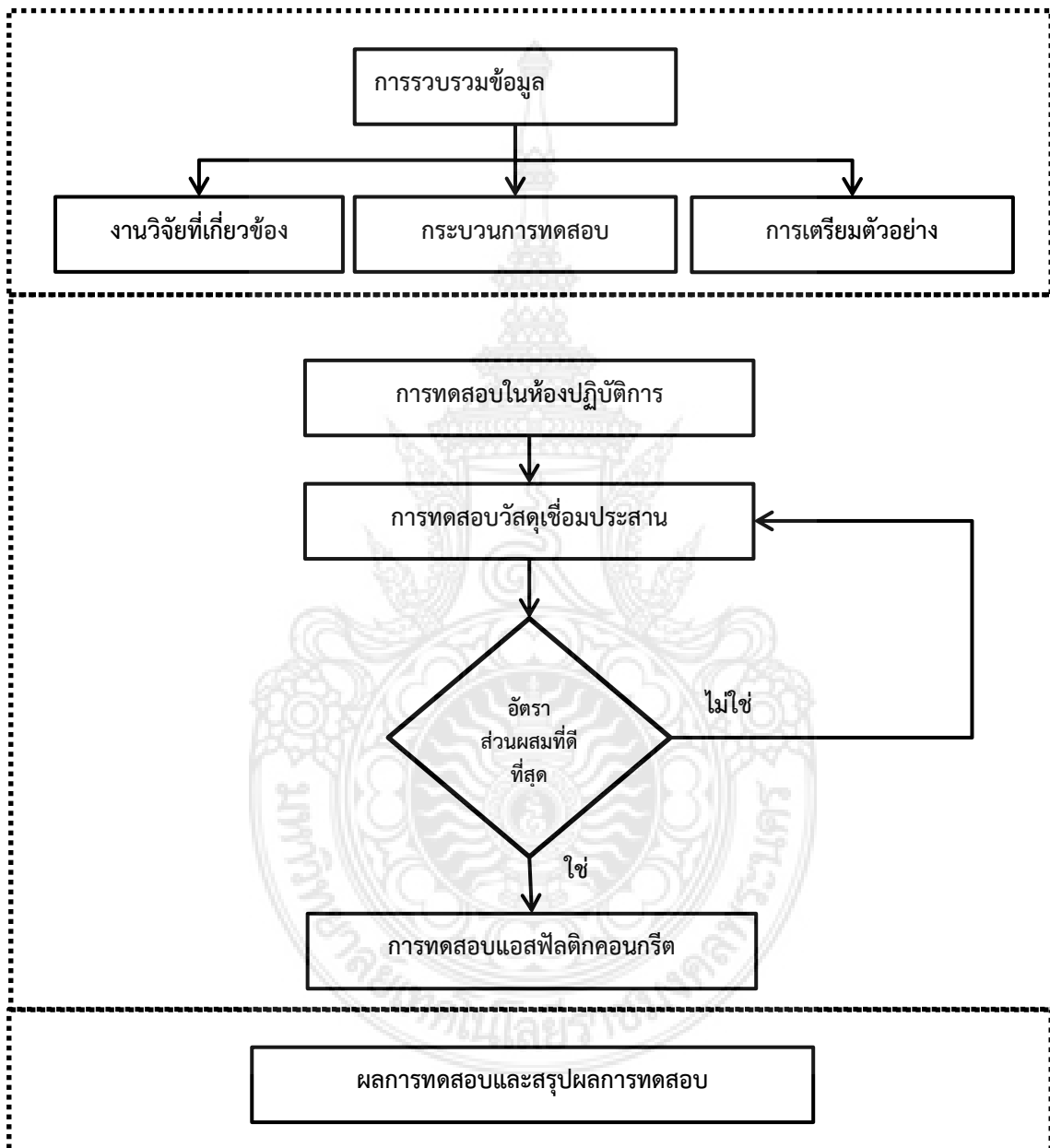
- ผสมยางแผ่นกับแอสฟัลต์ในอัตราส่วน 1:1 เรียกว่า Master-batch โดยจะทำเป็นแผ่น
- นำแผ่น Master-batch มาผสมกับแอสฟัลต์ในหน้างานเก็บไว้ในถังเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งการผสมสามารถทำได้เร็วกว่าการใช้ยางน้ำเพราะจะไม่เกิดฟองและไอน้ำระหว่างการผสมแต่จะต้องมีการลงทุนเครื่องมือผสมระหว่าง Master-batch กับแอสฟัลต์



รูปที่ 2.12 ถังผสม Master-batch กับแอสฟัลต์

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทำงานวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนของการผสมวัสดุยางพารา กับแอสฟัลต์ชนิด 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 น้ำยางชั้นเหลว ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างยางพาราธรรมชาติ 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 ของแอสฟัลติกคอนกรีต ในแต่ละตัวอย่างที่ได้ผลจากขั้นตอนที่ 1 เพื่อสรุปสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดในการผสมวัสดุปูผิวทาง 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 คุณสมบัติค่าโมดูลัสคั้นตัว (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 ( $\delta$ ) เพื่อ ตรวจวัดค่าความแข็งแรง (Stiffness) และ ความยืดหยุ่น (Elasticity)	Temperature	Complex Shear Modulus ( $G^*$ ) and Phase Angle ( $\delta$ )
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)	เปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืบตัว เพื่อใช้ในการประเมินความยืดหยุ่นในการต้านต่อการแตกร้าว	Resilient Modulus (Mpa)
10	Wheel Tracking Test	เปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักแบบกระทำซ้ำ (Fatigue) โดยดูแนวโน้มของค่าความล้า ในแต่ละส่วนผสม นั้นคือสามารถตรวจสอบค่าความยืดหยุ่นของแอสฟัลต์ได้	Rutting
11	Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)	การเปรียบเทียบสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค้น (Stress level) และจำนวนรอบก่อนเกิดความเสียหาย (No. of cycles to failure)	Fatigue

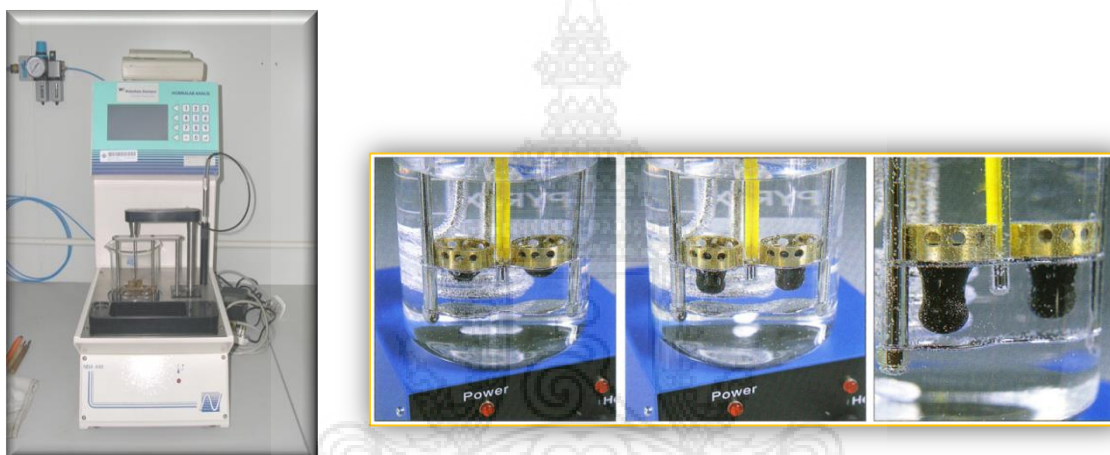
### 3.2 รายละเอียดและวิธีการทดสอบวัสดุพิวทางในห้องปฏิบัติการ

ที่ปรึกษาได้กำหนดและแบ่งการทดสอบวัสดุพิวทางในห้องปฏิบัติการออกเป็น 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)



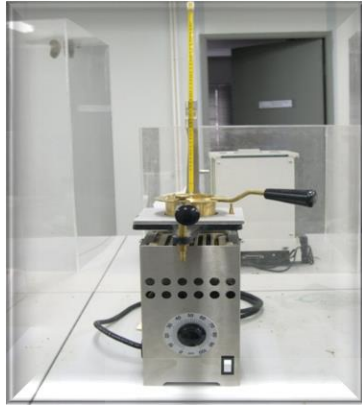
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การทดสอบ Softening Points

#### 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 จมลงไปแอสฟัลต์ในระยะเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง 77 °F (25 °C)

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

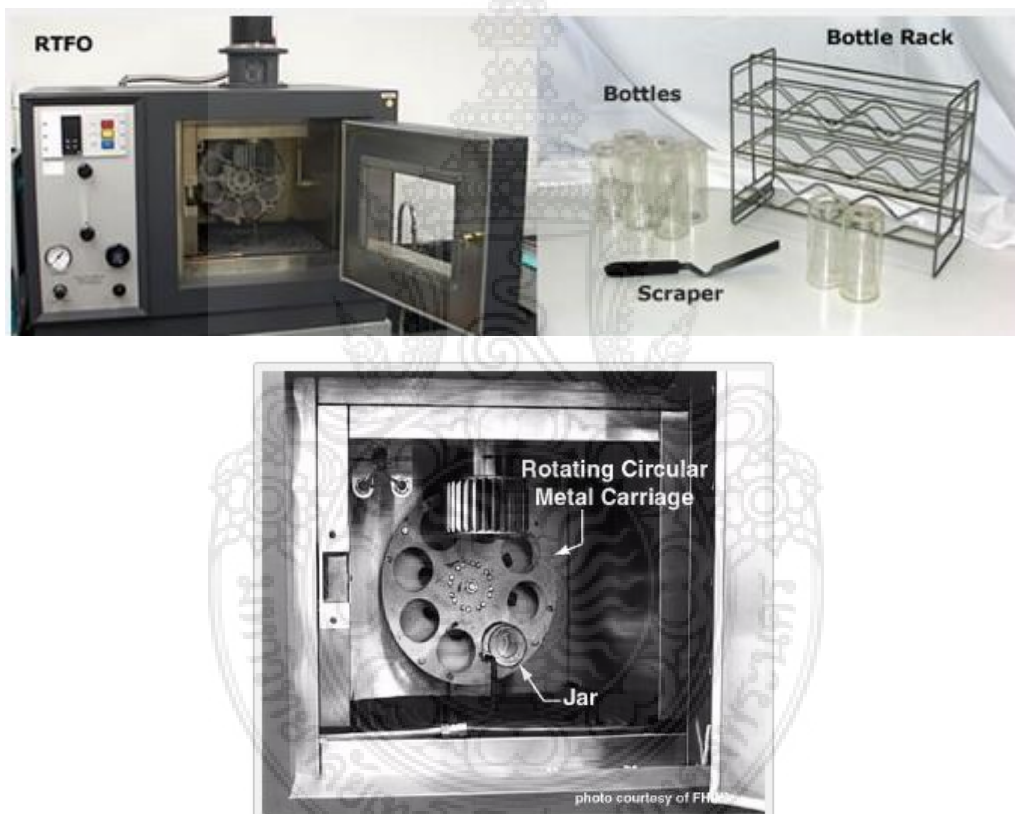


รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การทดสอบ Penetration

### 3.2.4 Rolling Thin Film Oven Test

เป็นวิธีการที่มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบถึงความเปลี่ยนแปลงใน Consistency ของแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนที่มีสภาพอุณหภูมิและระยะเวลาใกล้เคียงกับแอสฟัลต์ได้รับในขณะที้นำไปใช้งาน การทดสอบทำได้โดยนำตัวอย่างแอสฟัลต์จำนวน 30 มิลลิลิตรใส่ลงในจานก้นเรียบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.5 นิ้ว ลึก 3/8 นิ้ว โดยใส่แอสฟัลต์หนาประมาณ 1/8 นิ้ว แล้วนำภาตบรรจุแอสฟัลต์นี้เข้าตั้งบนชั้นที่หมุนได้รอบตัว ซึ่งหมุนประมาณ 5-6 รอบต่อนาที โดยอยู่ในตู้อบซึ่งมีอากาศถ่ายเทได้ (Ventilated Oven) ดังรูปที่ 3.2-4 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)

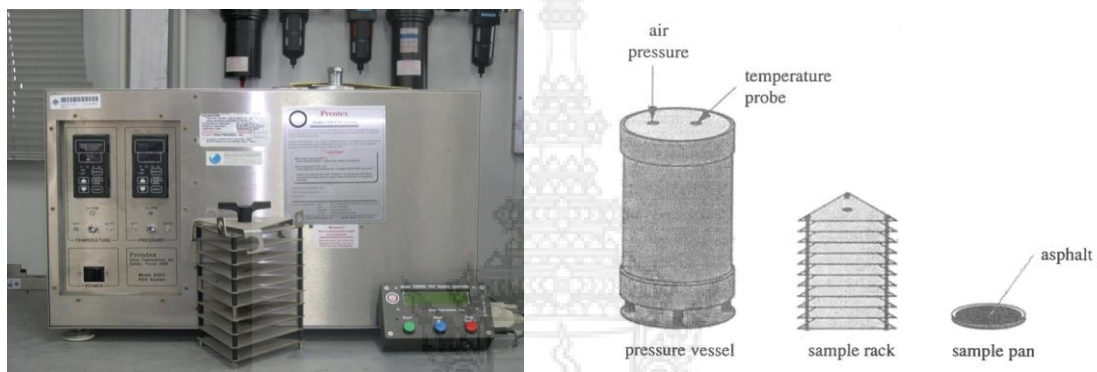


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test

### 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 ตัวอย่างก็จะถูกเก็บไว้ใช้สำหรับการทดสอบอื่นๆ ต่อไป

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

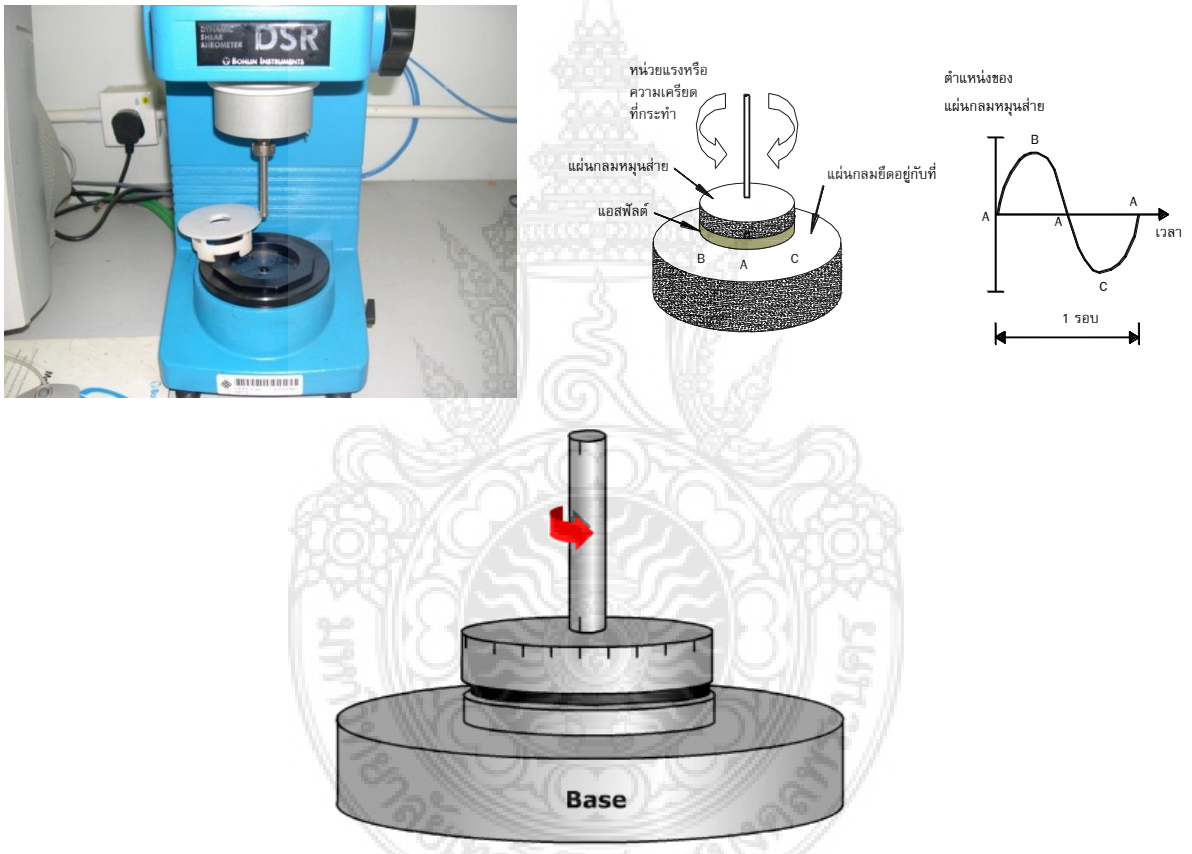


รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดสอบ Pressure Aging Vessel Test

### 3.2.6 Dynamic Shear Theology Test

เป็นการทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติความหนืดและความยืดหยุ่นของยางแอสฟัลต์ โดยการบิดเฉือนตัวอย่างแอสฟัลต์รูปแผ่นวงกลมบางๆขนาดเล็กลงไปกลับมาซ้ำๆ 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 ( $\delta$ ) 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)

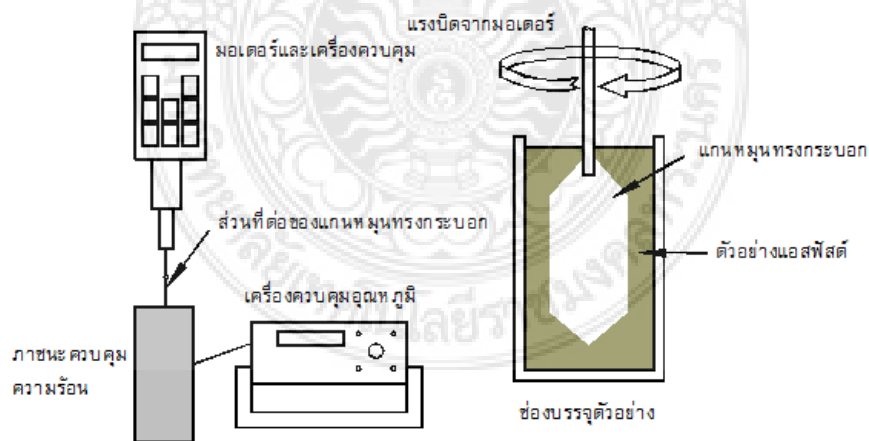


รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดสอบ Dynamic Shear Theology Test

### 3.2.7 Rotational Viscosity Test

เป็นการทดสอบวัดคุณสมบัติความหนืดของยางแอสฟัลต์ที่สภาพอุณหภูมิสูงเพื่อให้แน่ใจว่ายางแอสฟัลต์ที่ใช้ในชั้นเคลือบที่จะถูกบีบตามท่อ 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

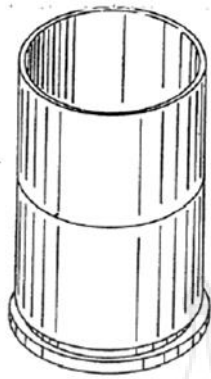
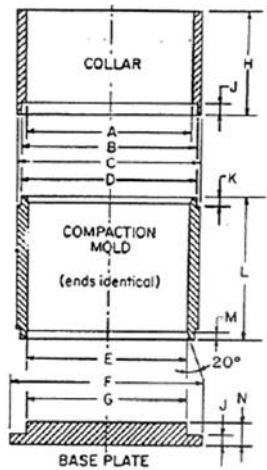
### 3.2.10 Marshall Test

การทดลองนี้จะทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตตามวิธีมาร์แชล (Marshall Method) 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 using Marshall Apparatus

วิธีการทดสอบนี้เป็นการวัดความต้านทานการไหลของก้อนตัวอย่างรูปทรงระบอก 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 การเตรียมวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางชั้น

การเตรียมวัสดุเชื่อมประสานในการศึกษาดังกล่าว ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทาง คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาเกรด AC 60-70 โดยนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ข้างต้นมาผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติในรูปแบบของน้ำยางชั้นในปริมาณสัดส่วนต่างๆ เป็นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Asphalt (NRA) ซึ่งน้ำยางชั้นที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็น “น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia : HA)” ตามมาตรฐาน มอก. 980-2552

โดยการผสมได้ทดลองผสมน้ำยางชั้นในปริมาณเริ่มต้นที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักรวม จากนั้นได้ผสมน้ำยางชั้นเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 7 ร้อยละ 9 และร้อยละ 11

#### 4.1.1 จำนวนตัวอย่าง

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

ตารางที่ 4.1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder)

ลำดับ	การทดสอบ	วัสดุเชื่อมประสาน					รวม
		AC 60-70	AC + น้ำยางชั้น				
			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 + น้ำยางชั้น	
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 การเตรียมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางชั้น

วิธีการผสมวัสดุแอสฟัลติกซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางชั้น

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

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



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ผสมวัสดุเชื่อมประสาน

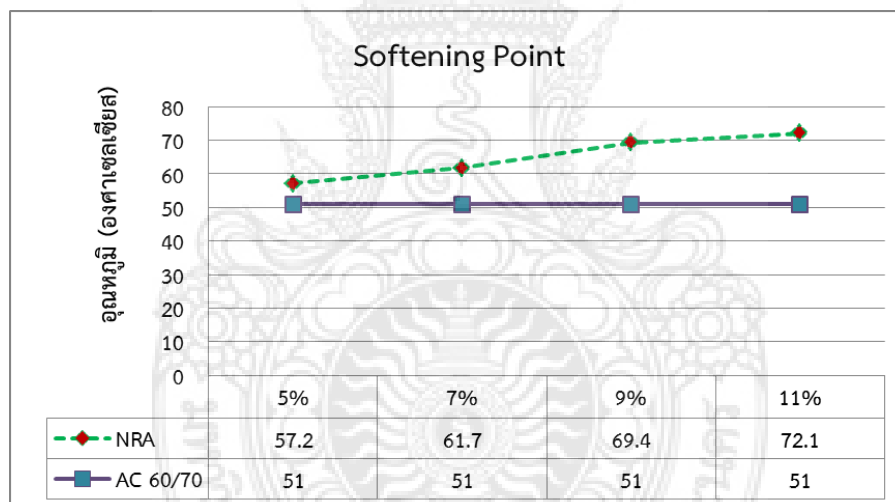
จากการทดสอบการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ กับแอสฟัลต์ AC 60-70 พบว่า ในส่วนประกอบที่มียางปนทุกสัดส่วนจะสามารถผสมได้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่ส่วนผสมที่มีส่วนประกอบของน้ำยางพาราธรรมชาติ มีอุปสรรคในการผสมเนื่องจากน้ำยางชั้นที่ใช้ทดสอบมีส่วนผสมของน้ำและแอมโมเนียถึงร้อยละ 40 และอุณหภูมิในการผสมสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ ส่งผลให้การผสมวัสดุเมื่อมีการเดือดอาจมีแนวโน้มในการเกิดฟองฟุ้งฟุ้ง ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ทดสอบได้

#### 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน

วัสดุเชื่อมประสาน (Binders) ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ (1) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 (2) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Asphalt ) โดยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ สามารถสรุปผลการทดสอบได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 4.2.1 การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)

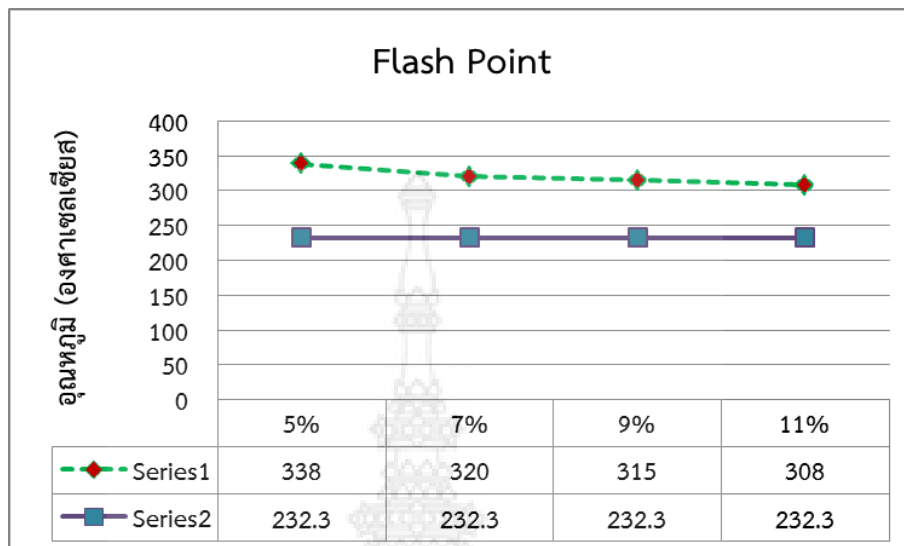
จุดอ่อนตัวเป็นคุณสมบัติที่ใช้วัดอุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลวที่วัสดุเชื่อมประสานมีการอ่อนตัวเนื่องจาก เมื่อวัสดุเชื่อมประสานได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความเหนียวหนืดและความอ่อนตัวที่ลดน้อยลง



รูปที่ 4.2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point)

#### 4.2.2 การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

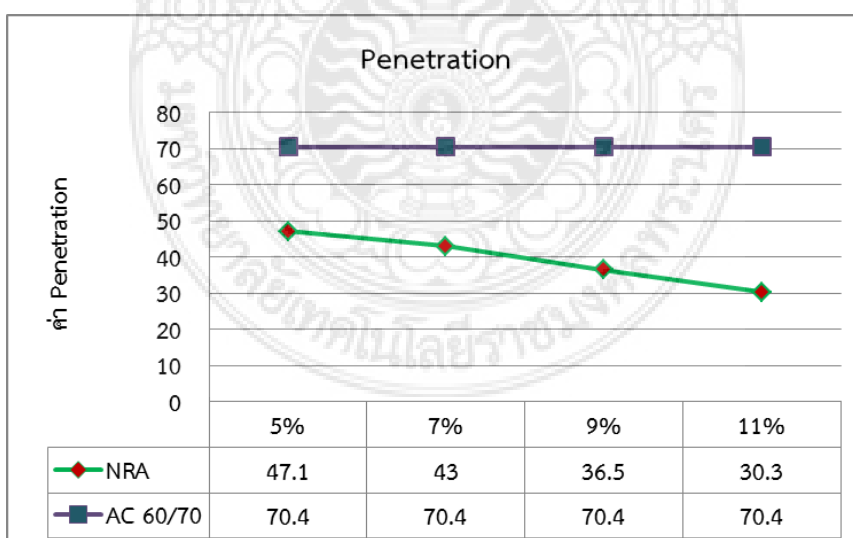
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิ (° C) ที่วัสดุเชื่อมประสานจะเกิดประกายไฟ เมื่อได้รับความร้อนที่มากขึ้น



รูปที่ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point)

#### 4.2.3 การทดสอบ Penetration (Penetration Test)

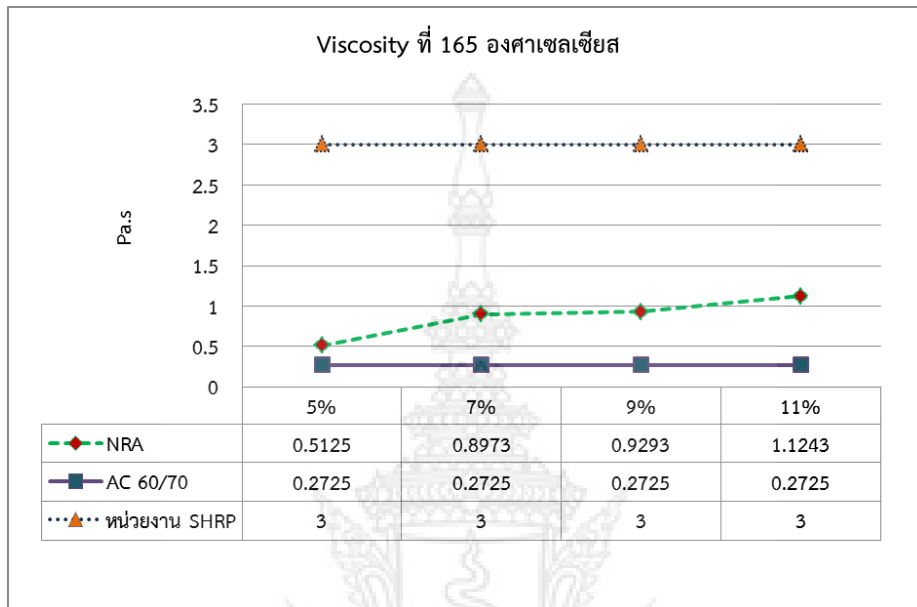
เป็นการวัดความข้นเหลว (Consistency) ของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็ง (Solid) หรือกึ่งแข็ง (Semisolid) โดยค่า Penetration จะบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่ม และความแข็งของวัสดุเชื่อมประสาน



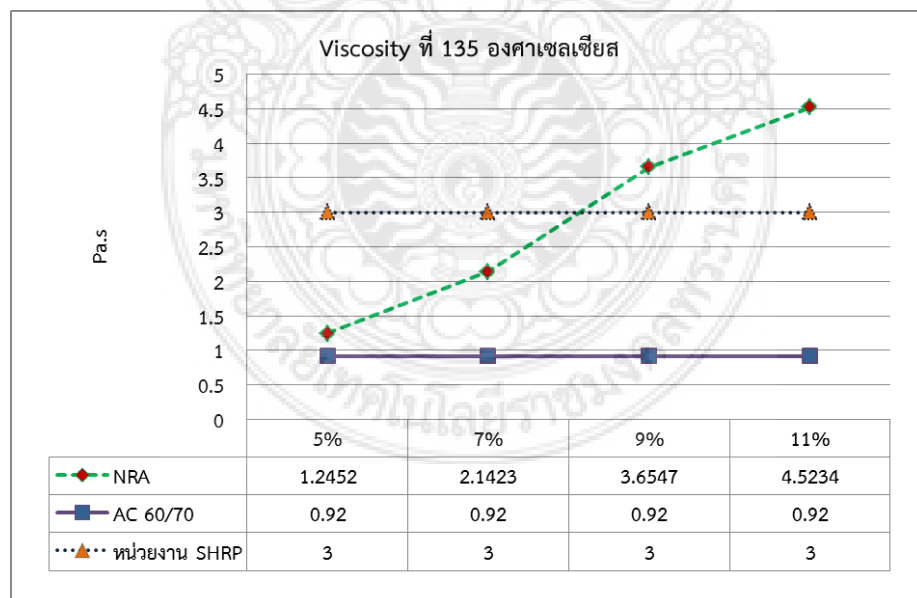
รูปที่ 4.4 Penetration ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข้มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที

#### 4.2.4 การทดสอบความหนืด (Rotational Viscosity Test)

โดยทั่วไปเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดของวัสดุเชื่อมประสานจะพิจารณาที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ 165 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำวัสดุเชื่อมประสานมาผสมกับกับวัสดุมวลรวม เพื่อนำไปปูผิวทาง ซึ่งการศึกษาคุณสมบัติของความหนืดจะสามารถช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการเกาะตัวของวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวม



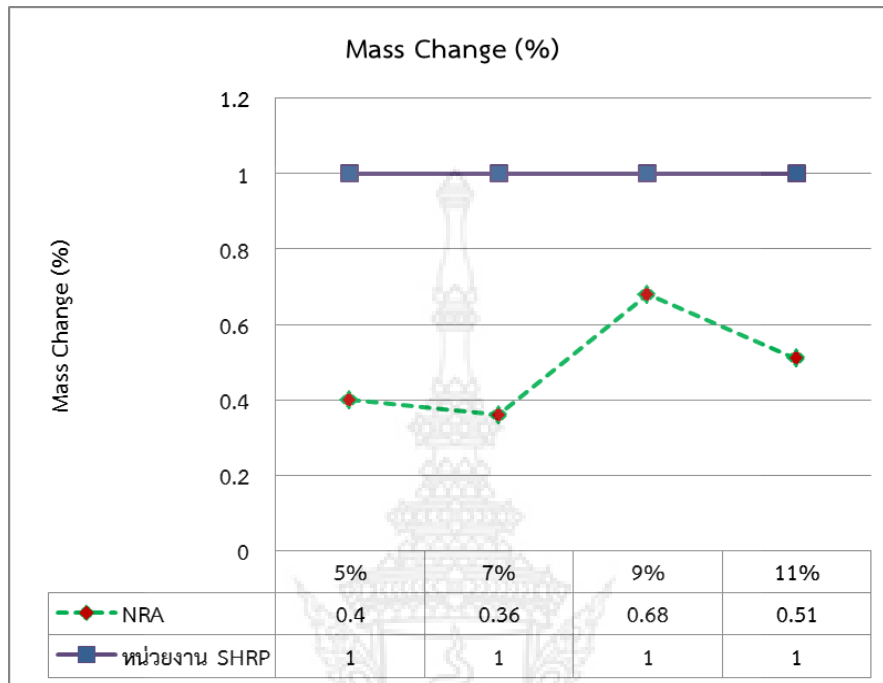
รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส



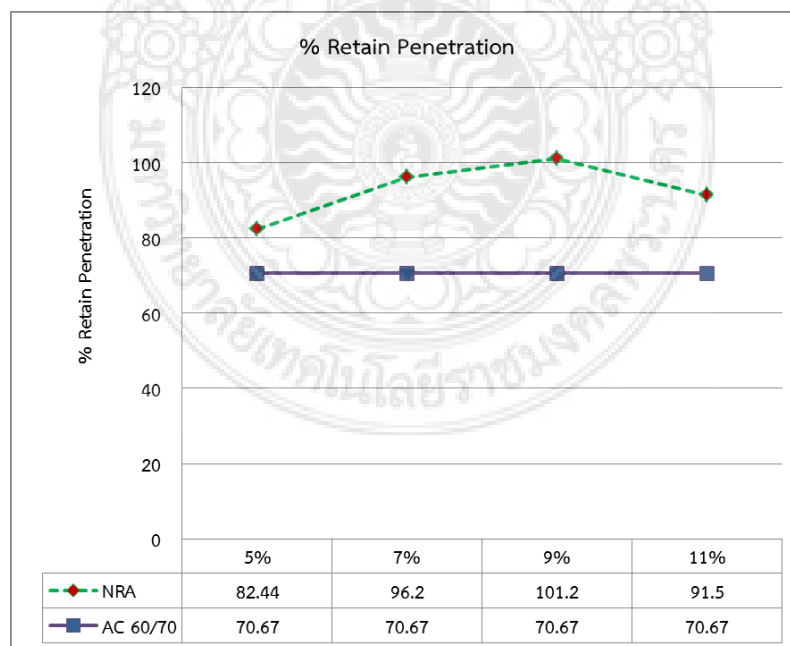
รูปที่ 4.6 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

#### 4.2.5 การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

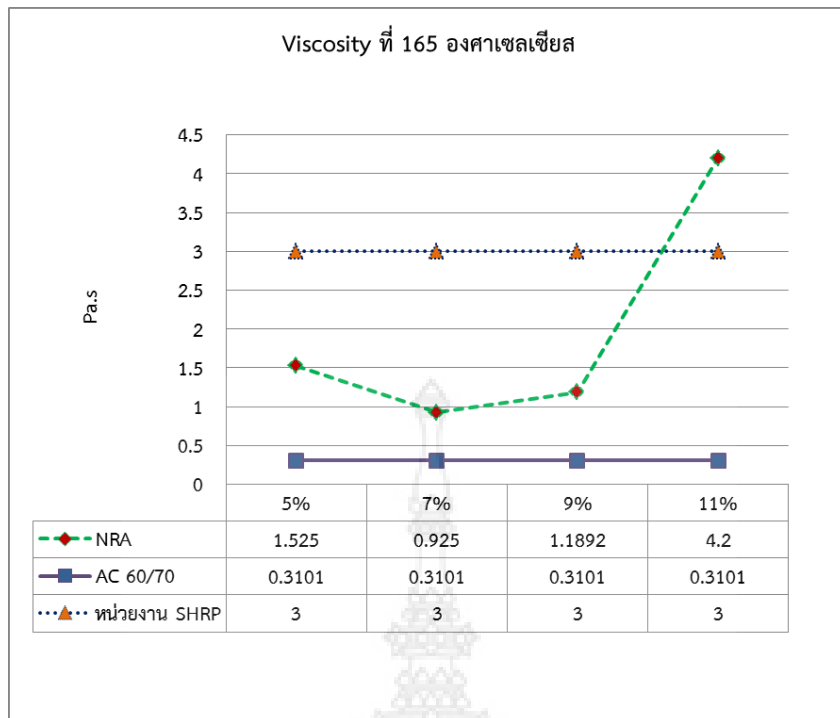
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานหลังจากผ่านกระบวนการการอบโดยให้อุณหภูมิที่ 325°F (163 °C) เป็นระยะเวลา 85 นาที



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)



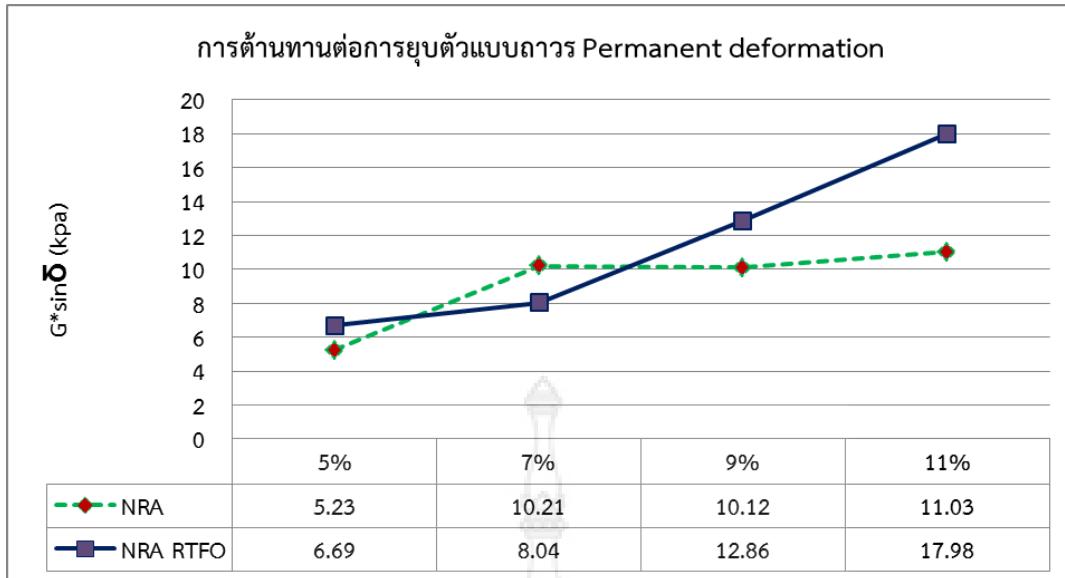
รูปที่ 4.8 ค่า % Retain Penetration ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)



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

#### 4.2.6 การทดสอบ Dynamic Shear Theology

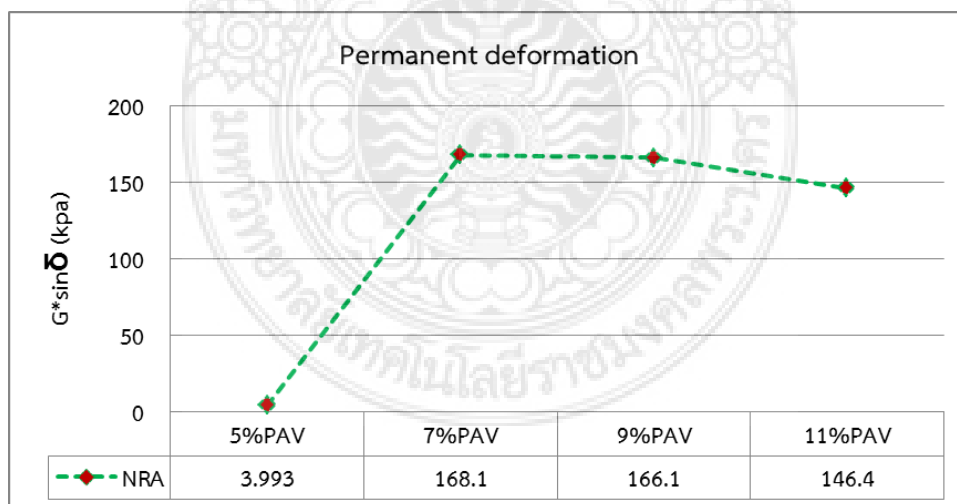
การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรงแรง และความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสาน โดยหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ระบุมาตรฐานให้ใช้ค่า  $G^*$  (stiffness) และ  $\delta$  (Phase Angle) คือ การเปลี่ยนรูปอย่างถาวรให้ควบคุมโดยการ  $G^* \sin \delta$  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 ให้มีค่าต่างๆน้อยกว่า 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	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	-

จากตารางและผลการทดสอบสามารถสรุปสัดส่วนร้อยละที่เหมาะสมคือวัสดุเชื่อมประสานชนิดแอสฟัลต์ AC 60-70 ผสมกับยางพาราชั้นเหลวที่ร้อยละ 5

#### 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีต

##### 4.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล 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 + Natural Rubber			Wearing (12.5 mm)
%Binder	5	5.5	6	6	6.5	7	-
Marshall Stability (KN)	9.46	10.8	11.6	11.01	12.74	13.47	Min 8 (KN)
Marshall Flow (0.25 mm)	11.1	14.6	13.1	8.88	10.51	15.48	8-16
% VMA	15	14.4	14.1	15.8	16.2	16.1	Min 8 14

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

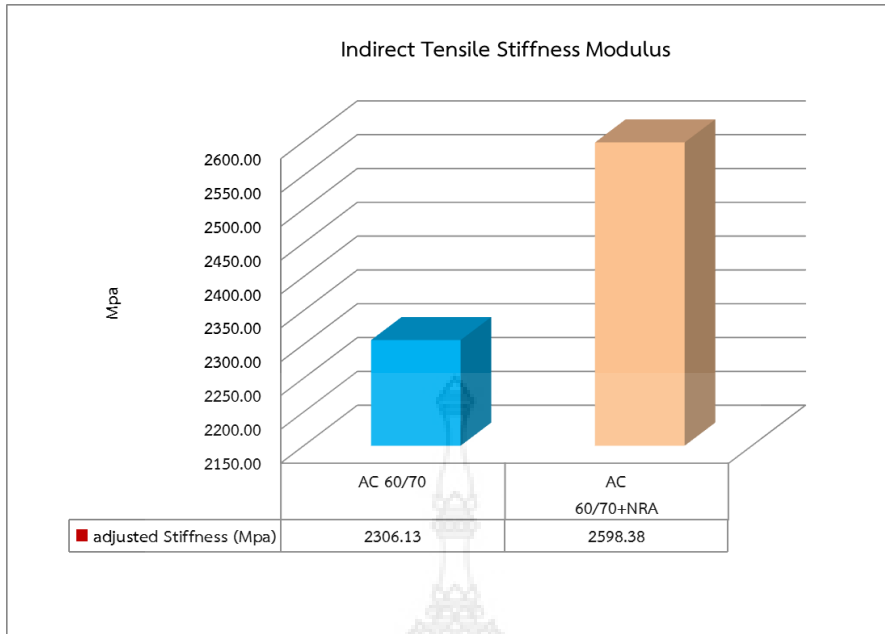
โดยส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางพาราชั้นเหลว กับมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท (มทข.(ท)607) พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ

และเมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มียางพาราชั้นเหลวมีค่ามากกว่าส่วนผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ซึ่งแสดงว่าการผสมยางพาราชั้นเหลวช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่า การผสมยางพาราชั้นเหลว ช่วยลดการเสีรูปร่างของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักมากกระทำ

##### 4.3.2 การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus Test (ITSM)

การทดสอบดังกล่าว เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ในช่วงอุณหภูมิ 30 °C เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติความยืดหยุ่น ของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต

เมื่อผสมยางพาราชั้นเหลว ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคั้นตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณ 14.60% ในกรณีผสมยางพาราชั้นเหลว ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา มีคุณสมบัติยืดหยุ่นดีเพียงพออยู่แล้ว แต่หากได้รับการปรับปรุงโดยการผสมยางพาราชั้นเหลวลงไป สามารถช่วยให้ แอสฟัลติกคอนกรีตดังกล่าวมีความยืดหยุ่นเพียงพอเพื่อต้านทานต่อการแตกร้าวได้ 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 และยางพาราชั้นเหลว

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

Binder Type	Rutting Rate	Rut Depth
	(mm/hr)	(mm)
Natural Rubber (5%)	0.56	1.22
AC 60/70	0.72	2

แอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพาราชั้นเหลว 5% (NRA5%) มีความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 22 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 ถนนที่มีผิวทางผสมยางธรรมชาติจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด (ทนทานกว่าผิวทางแอสฟัลต์ 2.06 เท่า) และผิวทางแอสฟัลต์ ตามลำดับ จากหลักการของการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ที่ทุกทางเลือกควรปรับให้มีอายุโครงการเท่ากัน จึงกำหนดให้ผิวทางผสมยางธรรมชาติ มีอายุการใช้งานนานกว่าผิวทางแอสฟัลต์ 2.00 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) ส่วนการซ่อมบำรุงจะทำเป็นประจำทุกๆปี ดังนั้น ถนนที่มีผิวทางทำจากวัสดุผสมยางธรรมชาติที่มีความทนทานการผิวทางแบบแอสฟัลต์ 2.06 เท่า จะมีอายุการใช้งานจริงประมาณ 10 ปี ซึ่งนั่นหมายความว่า ตลอดอายุโครงการ 20 ปี ถนนที่มีผิวทางแอสฟัลต์ต้องมีการปรับผิวทางเป็นจำนวนถึง 4 ครั้ง แต่ถนนที่มีผิวทางทำจากวัสดุผสมยางธรรมชาติมีการปรับผิวทางเป็นจำนวนเพียง 2 ครั้ง

###### ตารางที่ 4.6 ความทนทานและสัดส่วนผสมยางธรรมชาติ

รายการ	คุณสมบัติของผิวทางประเภทต่างๆ	
	ผิวทางแอสฟัลต์	ผิวทางยางธรรมชาติ
อายุการใช้งาน (ปี)	5	10
การซ่อมบำรุง	ทุกๆ 1 ปี	ทุกๆ 2 ปี
น้ำหนักแอสฟัลต์ (กก./ตร.ม.)	6	5.7
น้ำหนักยางพารา (กก./ตร.ม.)	0	0.3

ตารางที่ 4.7 ราคาของวัสดุผสมใน Rubberized Asphalt

วัสดุ	ราคาต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)
แอสฟัลต์ซีเมนต์	48.33
น้ำยางเข้มข้น	50

หมายเหตุ: คำนวณจากข้อมูลของกรมฯชนบทที่ระบุว่า ผิวทางแอสฟัลต์ 1 ตร.ม. หนา 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 + ยางพาราธรรมชาติ 5 %		
	ค่าก่อสร้าง	บำรุงรายปี	ซ่อมแซม	ค่าก่อสร้าง	บำรุงรายปี	ซ่อมแซม
0	2,899,800.00	-	-	2,904,810.00	-	-
1	-	144,990.00	-	-	145,240.50	-
2	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
3	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
4	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
5	-	-	724,950.00	-	149,740.50	-
6	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
7	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
8	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
9	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
10	-	-	724,950.00	-	-	726,202.50
11	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
12	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
13	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
14	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
15	-	-	724,950.00	-	149,740.50	-
16	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
17	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
18	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
19	-	144,990.00	-	-	149,740.50	-
20	-	-	724,950.00	-	-	726,202.50
รวม	2,899,800.00	2,319,840.00	2,899,800.00	2,904,810.00	2,690,829.00	1,452,405.00
	8,119,440.00			7,048,044.00		

เมื่อพิจารณาช่วงถนน 1 กิโลเมตร (10,000 ตร.ม.) พบว่า การใช้ยางพาราธรรมชาติ 5% สามารถช่วยลดต้นทุนตลอดช่วงเวลา 20 ปี ได้ประมาณ 1,071,396.00 บาท/กม. ดังนั้น การใช้วัสดุทดแทนนอกจากช่วยยืดอายุของถนนแล้ว เมื่อพิจารณาในระยะยาวมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยกว่าการปูผิวทางด้วยแอสฟัลต์ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเกษตรกรชาวสวนยางที่สามารถนำยางมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นได้

## บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น (Natural Rubber) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

### 5.1 วัสดุเชื่อมประสาน

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถจำแนกคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานได้ดังนี้

- วัสดุเชื่อมประสานมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยาง ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 โดยวัสดุเชื่อมประสานที่แข็งแรงที่สุดที่อัตราส่วนน้ำยางชั้นร้อยละ 5 วัสดุเชื่อมประสานมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น เมื่อมีการผสมยางพาราธรรมชาติลงไป โดยวัสดุเชื่อมประสานที่ให้ค่าจุดอ่อนตัวที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนน้ำยางชั้นร้อยละ 11 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 ตามลำดับเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ทำให้ช่วยลดปัญหาการอ่อนตัวและไหลเยิ้มของผิวทางได้
- วัสดุเชื่อมประสานมีจุดวาบไฟที่สูงขึ้น เมื่อมีการผสมยางพาราธรรมชาติลงไป โดยวัสดุเชื่อมประสานที่ให้ค่าจุดวาบไฟที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนน้ำยางชั้นร้อยละ 5
- วัสดุเชื่อมประสานมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยาง ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ทำให้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมให้สูงขึ้น ช่วยลดการหลุดลอกของมวลรวมได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดจากหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) พบว่า วัสดุเชื่อมประสานที่ทำการผสมน้ำยางชั้น มีความหนืดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่เกิน 3 Pa.S เกือบทั้งหมด ยกเว้นวัสดุเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น ร้อยละ 11 ที่มีค่าเกินมาตรฐาน
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการผสมน้ำยาง ลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 สามารถช่วยลดภาวะการเกิด Aging ของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้โดยพิจารณาจากผลการทดสอบต่างๆ ที่ผ่านการอบด้วยกรรมวิธี Thin Film Oven
- วัสดุเชื่อมประสานที่มีการผสมน้ำยางลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 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 ที่มีส่วนผสมของยางชั้นในอัตราร้อยละ 5 มีความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ดีที่สุด ในการนำมาทำวัสดุผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต โดยทำการผสมแบบร้อน

## 5.2 แอสฟัลติกคอนกรีต

- เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่า ค่าเสถียรภาพมาร์แชลของส่วนผสมที่มีน้ำยางข้น มากกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา นั้นแสดงว่าการผสมน้ำยางข้น สามารถช่วยให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าการไหล (Marshall Flow) พบว่าการผสมน้ำยางข้นช่วยลดการเสียวรูปของแอสฟัลติกคอนกรีตเมื่อถูกน้ำหนักมากระทำได้
- เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนด ของกรมทางหลวงชนบท (มทช.(ท) 607) และกรมทางหลวง พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ
- เมื่อผสมน้ำยางข้น ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ทำให้ค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีค่าสูงมากยิ่งขึ้น ประมาณ 12.67% เมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา
- เมื่อผสมน้ำยางข้น ลงในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติค่าความต้านทานของการเกิดร่องล้อ (Rutting resistance) ประมาณ 25-35% เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา
- สำหรับแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยางข้น 5% สามารถยืดอายุการใช้งานได้ 2.06 เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา

## 5.3 การพิจารณาด้านการเงินเบื้องต้น

- เมื่อพิจารณาช่วงถนน 1 กิโลเมตร (10,000 ตร.ม.) พบว่า การใช้ยางพาราธรรมชาติ 5% สามารถช่วยลดต้นทุนตลอดช่วงเวลา 20 ปี ได้ประมาณ 1,071,396.00 บาท/กม.

## บรรณานุกรม

- [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 Asphaltic Concreted (AC 60/70) Modified with  
Natural Rubber and Crumb Rubber

นายภุชงค์ เจ็ดวรรณะ<sup>1</sup> และ นายวีระเทพ ชนินทรเทพ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กทม.

<sup>2</sup> 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 มีความต้านทานการเกิดร่องลึกมากขึ้น 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 แล้วยังเป็นการเพิ่มคุณภาพผิวทางในด้านการลดระดับของร่องลึก (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 เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมยางพาราธรรมชาติและยางรีไซเคิล

## 2. ทบทวนงานวิจัย บทความ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 งานวิจัยของวัสดุผิวทางที่ใช้ส่วนผสมในรูปแบบยางรีไซเคิล

Dhalaan และ Nouredin, 2535 (5) ได้ศึกษาถึงการนำโพลิเมอร์มาปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อลดการเสียหายสภาพของผิวทางที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศซาอุดีอาระเบีย โดยใช้โพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ โพลีเอทิลีน (polyethylene) 7% ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า โนวอพลต์ (Novophalt) และใช้สไตรีนบิวทาไดอีนโพลิเมอร์ (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 และหางน้ำยาง 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) และการ

ทดสอบส่วนที่เป็นส่วนผสมของแอสฟัลติกคอนกรีต (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

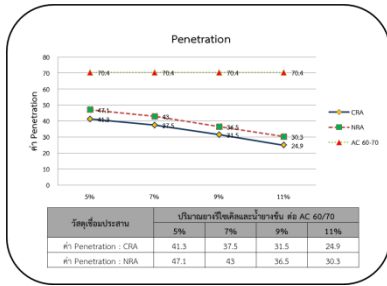
## 4. ผลการทดสอบ

### 4.1 คุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binders)

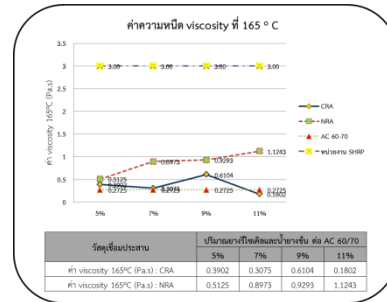
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน (Binders) ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ (1) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 (2) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางรีไซเคิล (Crumb Rubber Modified Asphalt : CRA) และ (3) วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt : NRA) โดยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ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

#### 4.1.1 การทดสอบ Penetration (Penetration Test)

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

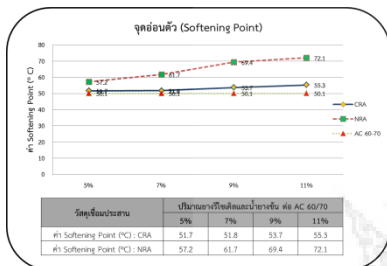


รูปที่ 4.1 Penetration ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เข้มมาตรฐาน 100 กรัม กด 5 วินาที

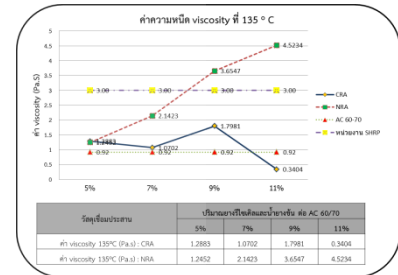


รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส

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



รูปที่ 4.2 ค่าจุดอ่อนตัว (Softening point)

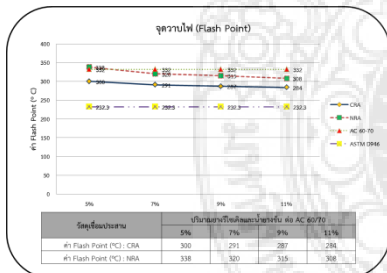


รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

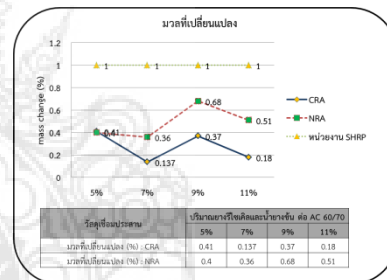
4.1.5 การทดสอบ Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

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

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

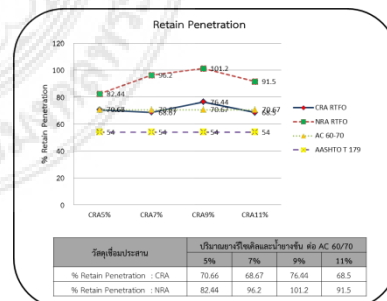


รูปที่ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point)

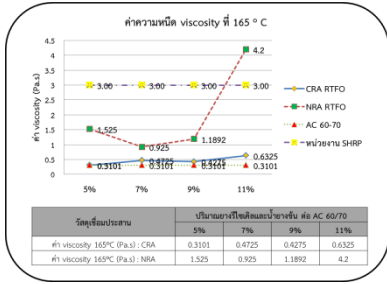


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

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

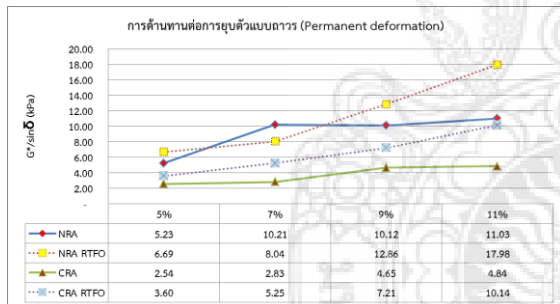


รูปที่ 4.7 ค่า % Retain Penetration ที่ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)



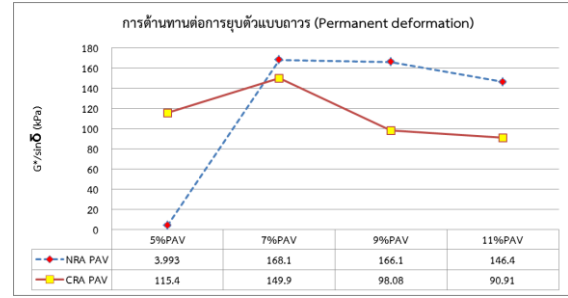
รูปที่ 4.8 ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ผ่านการอบด้วยวิธี Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

4.1.6 การทดสอบ Dynamic Shear Theology การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรของวัสดุเชื่อมประสาน โดยหน่วยงาน SHRP (The Strategic Highway Research Program) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ระบุมาตรฐานให้ใช้ค่า  $G^*$  (stiffness) และ  $\delta$  (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	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	15.01	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	12.72	12.72	12.72	8-16
% VMA	15	14.4	14.1	15.8	16.2	16.1	17.1	16.1	16.9	16.1	16.9	16.9	Min 14

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

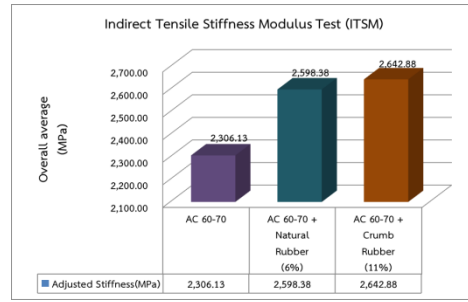
โดยส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางรีไซเคิลและยางพาราธรรมชาติ กับมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท (มทข.(ท)607) พบว่า ทุกส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกประการ

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)

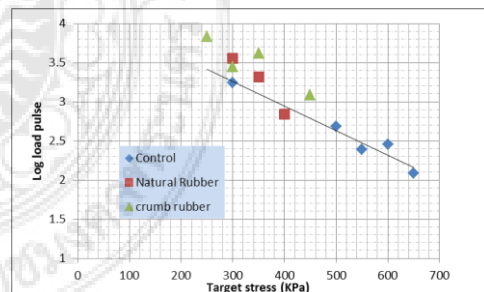
การทดสอบดังกล่าวเป็นการหาความต้านทานในการเกิดร่องล้อ (Rutting resistance) ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 45 นาที (ตามมาตรฐาน BS 598:Part10:1998) โดยนำผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวของแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา น้ำยางข้น และยางรีไซเคิล

##### 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 และค่าใช้จ่ายของยางพาราธรรมชาติต่อกิโลกรัมมีค่ามากกว่ายางมะตอย 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 Jedwanna<sup>1</sup> and Weerathep Chanintornthep<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok

<sup>2</sup> 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.

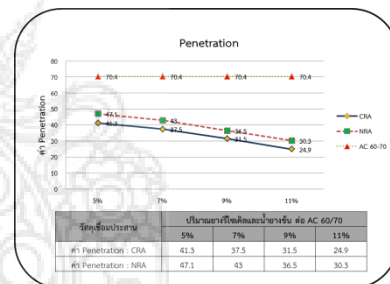


Figure 4.1 The result of penetration testing

##### 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.

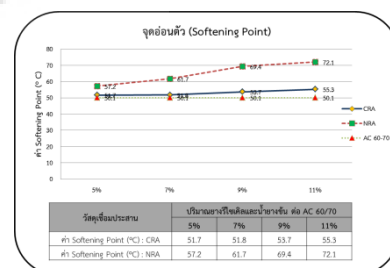


Figure 4.2 The Result of Softening Point Test



### 4.1.3 Flash Point Test

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

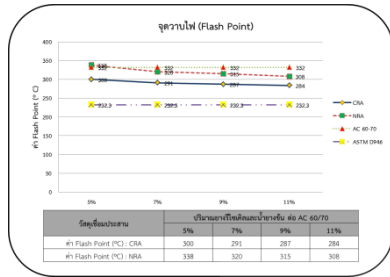


Figure 4.3 The Result of Flash Point Test

### 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.

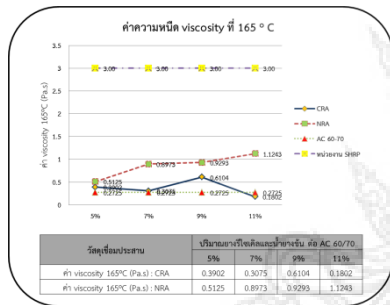


Figure 4.4 The Result of RVT at 165°C

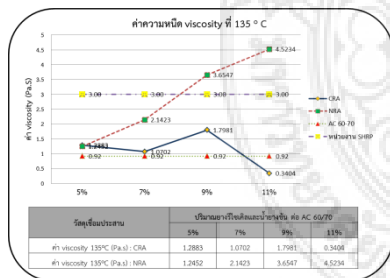


Figure 4.5 The Result of RVT at 135°C

### 4.1.5 Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

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

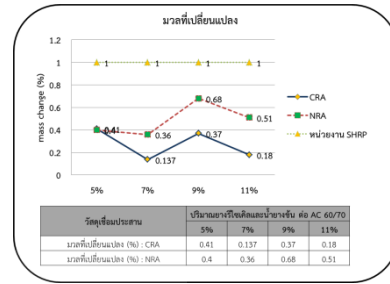


Figure 4.6 %Mass Loss of Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

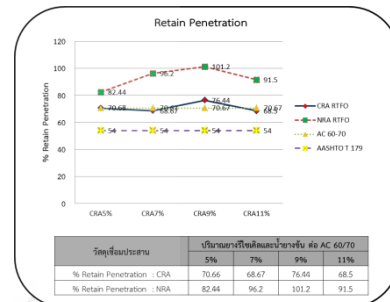


Figure 4.7 % Retain Penetration of Rolling Thin Film Oven Test (RTFO)

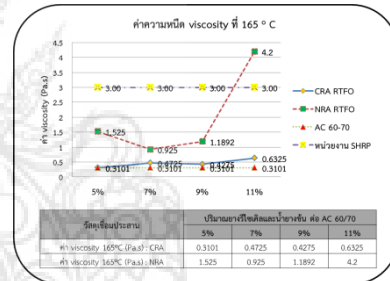


Figure 4.8 The Result of Rolling Thin Film Oven Test (RTFO) at 165°C

### 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  $\delta$  (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).

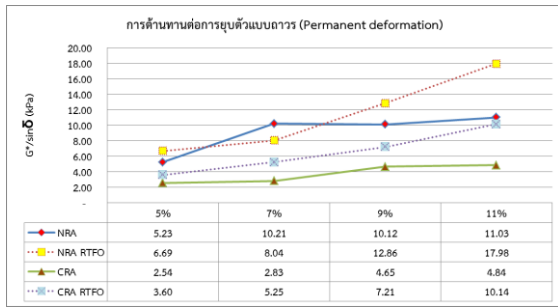


Figure 4.9 Compare The Permanent deformation

#### 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.

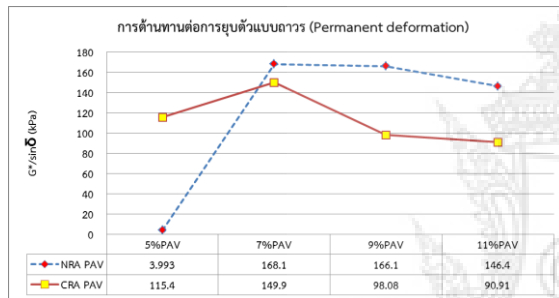


Figure 4.10 The Result of Pressure Aging Vessel Test at 13 °C

#### 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	≤ 1%	SHRP	-
6	Permanent	> 1.0 (kPa)	SHRP	-

	deformation			
7	Permanent deformation (RTFO)	> 2.2 (kPa)	SHRP	-
8	Permanent deformation (PAV)	≤ 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.

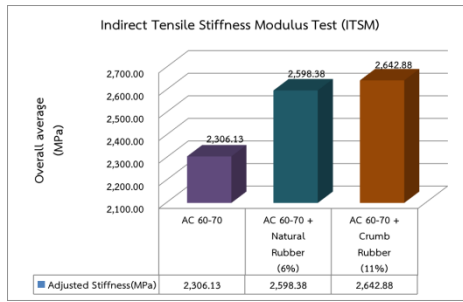


Figure 4.11 Average of resilience modulus

#### 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.

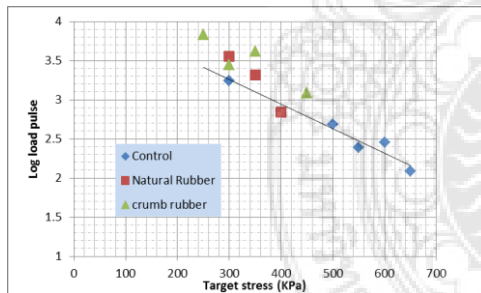


Figure 4.12 The Result of Indirect Tensile Fatigue Testing (ITFT)

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

### 7.2.3 ลักษณะการชนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุของรถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่ระหว่างจังหวัดประเภทรุนแรง

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สถานภาพ : หัวหน้าโครงการวิจัย

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



## ประวัติคณะผู้วิจัยร่วม

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) วีระเทพ ชนินทรเทพ  
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Weerathep Chanihtornthep
2. รหัสประจำตัวประชาชน 1 9299 00020 19 7
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมหมายเลขโทรศัพท์และโทรสารและ 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
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา  
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยด้านการจราจรและขนส่ง  
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมทาง  
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านสถิติ  
ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านเศรษฐศาสตร์
7. 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 โครงการระบบรถไฟฟ้าชานเมือง (สายสีแดง)  
ช่วงบางซื่อ – รังสิต  
แหล่งทุน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยที่ปรึกษาประเมินราคาสินทรัพย์ถาวรของการรถไฟแห่งประเทศไทย  
ประเภททางรถไฟ และสะพาน

แหล่งทุน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

โครงการเพิ่มประสิทธิภาพระบบตรวจสอบสภาพผิวทางอัตโนมัติ

แหล่งทุน : กรมทางหลวงชนบท

สถานภาพ : ผู้ร่วมวิจัย

