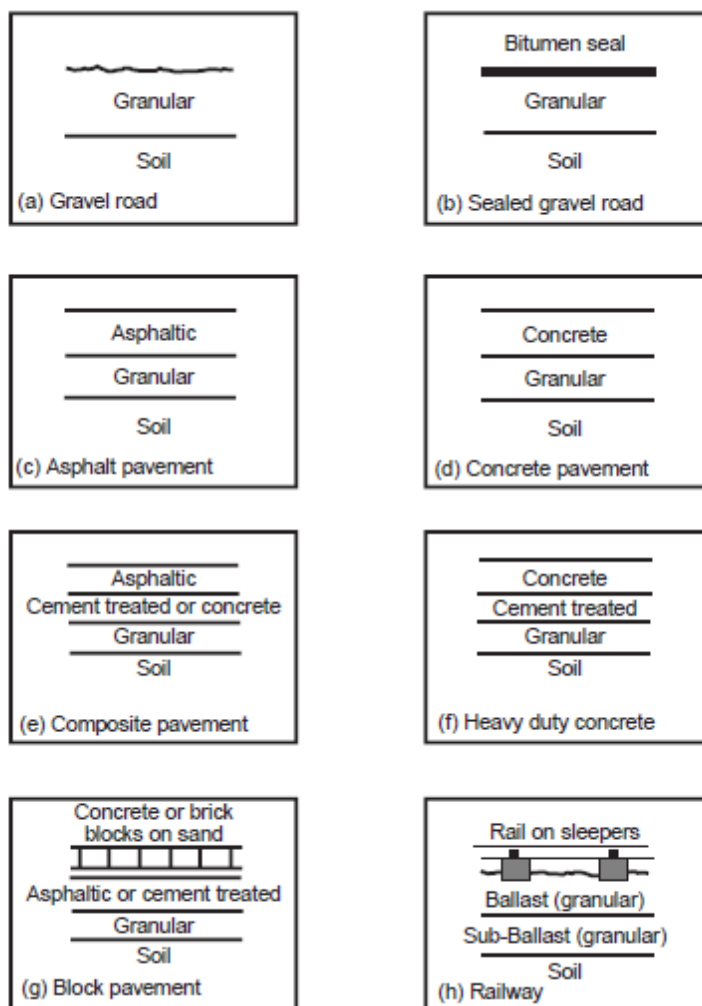


บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานทางในทางวิศวกรรมโยธา

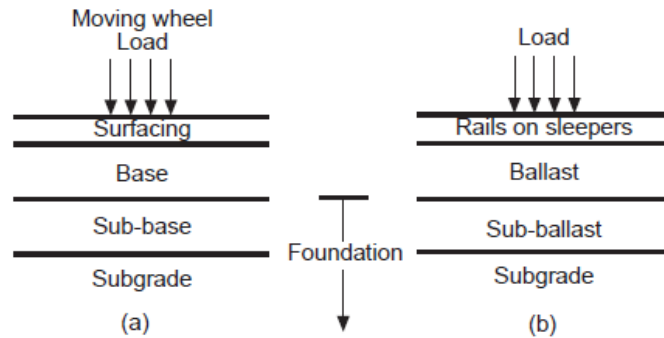
งานทางในทางวิศวกรรมโยธาเพื่อวัตถุประสงค์ในการขนส่งยานพาหนะต่างๆ ได้อย่างปลอดภัยและประหยัด โครงสร้างงานทางจะขึ้นอยู่กับลักษณะของยานพาหนะน้ำหนักที่กระทำและ โครงสร้างชั้นทางต่างๆ ดังรูปที่ 2.1 แสดงภาพตัดของโครงสร้างทางไม่ว่าโครงสร้างชั้นทางจะเป็นลักษณะอย่างไร ตั้งแต่ถนนกรวดถนนแอสฟัลต์ซีเมนต์ ถนนคอนกรีตหรือทางรถไฟทั้งหมดก็ถูกออกแบบโดยหลักการของกลศาสตร์ของดินอย่างเท่ากันหมดจากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นภาพตัดของโครงสร้างชั้นทางโดยกลศาสตร์ดินจะมีส่วนเกี่ยวข้องที่ติดกับดินจะหนึ่งชั้นหรือมากกว่าหนึ่งชั้นก็ได้ (Brown, 1996)



รูปที่ 2.1 ภาพตัดประเภทถนนต่างๆ (ที่มา: Brown, 1996)

นอกจากนั้นวิศวกรยังควรเข้าใจค่าต่างๆของแอสฟัลต์หรือโครงสร้างของทางรถไฟวิศวกรจะต้องเกี่ยวข้องเข้าใจน้ำหนักที่ยานพาหนะประเภทต่างๆไม่ว่าจะเป็นรถบรรทุก เครื่องบิน รถไฟ และควร

ตั้งเกณฑ์อุณหภูมิและระดับน้ำเพื่อที่จะใช้การระบายน้ำประเภทต่างๆได้และควรรู้จักการใช้ประโยชน์จากเทคนิคการปรับปรุงดินอื่นๆบริเวณด้านล่างของผิวทางยังมีชั้นดินหลายชั้นดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแต่ละชั้นมีค่าไม่เหมือนกันดังนั้นต้องใช้ความรู้ด้านปฐพีกลศาสตร์เพื่อนำมาวิเคราะห์ชั้นต่างๆ (Brown, 1996)



รูปที่ 2.2 แสดงฐานรากของชั้นทางต่างๆ (a) ถนน (b) รางรถไฟ (ที่มา: Brown, 1996)

2.2 ประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานจราจร

2.2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์ คือ วัสดุประสานสีน้ำตาลเข้มถึงดำสภาพแข็งหรือกึ่งแข็ง เมื่อวิเคราะห์ทางกายภาพแอสฟัลต์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ 1. Asphaltenes เป็นผงสีน้ำตาลเกือบดำสลายตัวเมื่อถูกความร้อนไม่ละลายใน n - heptane 2. Asphaltic Rasins เป็นของแข็งสีน้ำตาลแก่ เปราะ จะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนโดยละลายได้เมื่อให้อุณหภูมิสูง 200 °F และสามารถละลายได้ใน n -Heptane 3. Oily Constituents มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลแกมแดง แอสฟัลต์มีองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางองค์ประกอบธาตุต่างๆของแอสฟัลต์

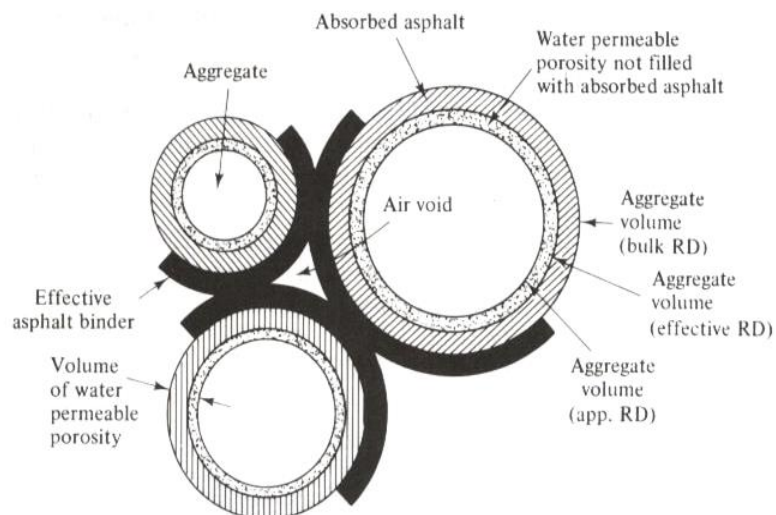
(ที่มา: ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และจรัสศรี พันธุ์ไม้, 2544)

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

คุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์ที่ทำให้เป็นที่นิยมในการเลือกมาใช้งานต่างๆ ได้แก่ สมบัติในการยึดและประสาน (Cementing) สมบัติการป้องกันน้ำซึม (Water proofing) สมบัติที่เปลี่ยนเป็นของเหลวหรืออ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวเมื่อถูกความเย็น (Thermoplastic) สมบัติในการทนกรดและด่างอื่นๆ

จากสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำแอสฟัลต์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายโดยเฉพาะนำมาใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะวัสดุต่างๆ ในการทำผิวจราจรนอกจากนี้ยังใช้แอสฟัลต์ในการลาดคลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำ สระน้ำ ผิวหน้าเขื่อนดินเพื่อป้องกันน้ำซึมและยังใช้ในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ทำสีกันสนิม กระจายกันซึม กระเบื้องยางปูพื้น เคลือบภายในท่อน้ำ เป็นต้น แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์มวลรวมและอากาศ อนุภาคของมวลรวมจะดูดซึมแอสฟัลต์ซีเมนต์บางส่วนทำให้แอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมไม่ได้เคลือบผิวอนุภาคของมวลรวมและไม่ได้ทำหน้าที่เชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของมวลแต่ละอนุภาคนอกจากนั้นยังทำให้เหลือช่องว่างอากาศในส่วนผสมมากขึ้นปริมาณสัมพัทธ์ระหว่างมวลรวมแอสฟัลต์และอากาศเป็นสิ่งสำคัญมากต่อส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

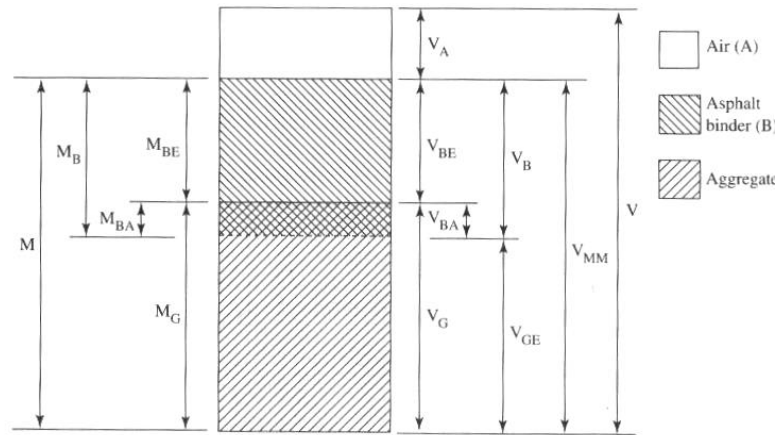
แอสฟัลต์ส่วนที่เคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคมวลรวมจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานอนุภาคมวลรวมให้เกาะติดแน่นไม่หลุดล่อนง่ายจึงเรียกแอสฟัลต์ส่วนนี้ว่าแอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt) โดยทั่วไปมวลรวมสามารถดูดซึมปริมาณแอสฟัลต์ให้ซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวมครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำที่มวลรวมสามารถดูดซึมเข้าไปดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 มวลรวมหลายอนุภาคยึดประสานกันด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และช่องว่างอากาศ

(ที่มา: Tongnupad et al., 2011)

ความสัมพันธ์ของมวลและปริมาตรของส่วนผสมประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของมวลและปริมาตรของส่วนผสมประเภทแอสฟัลต์คอนกรีต
(ที่มา: Tongnupad et al., 2011)

เมื่อ :

M มวลทั้งหมดของส่วนผสม ($=M_G + M_B$)

M_G มวลของมวลรวม

M_B มวลของแอสฟัลต์ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสาน มีค่าเท่ากับ $M_{BE} + M_{BA}$

M_{BE} มวลของแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสานอนุภาคทั้งหลายของมวลรวม

M_{BA} มวลของแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม ซึ่งเป็นส่วนที่ซึมเข้าไปในรูอนุภาคของมวลรวม

V ปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสมที่บดอัดแล้ว (สมมุติ: $V = 1 \text{ m}^3$)

V_G ปริมาตรของมวลรวมซึ่งเป็นปริมาตรที่รวมอนุภาคของมวลรวมด้วย

V_{BE} ปริมาตรแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ

V_{BA} ปริมาตรแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม

V_B ปริมาตรแอสฟัลต์ในส่วนผสม มีค่าเท่ากับ $(V_{BE} + V_{BA})$

V_A ปริมาตรของอากาศที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์

V_{GE} ปริมาตรประสิทธิภาพของมวลรวม มีค่าเท่ากับ $(V_G - V_{BA})$

V_{MM} ปริมาตรของส่วนผสมที่ปราศจากช่องว่างอากาศมีค่าเท่ากับปริมาตรส่วนผสมที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุด

ค่าปริมาตรรวมของมวลรวมในส่วนผสมจะกำหนดด้วยสัญลักษณ์ V_G แทนที่จะใช้ V_B ก็เพื่อป้องกันการสับสนกับสัญลักษณ์

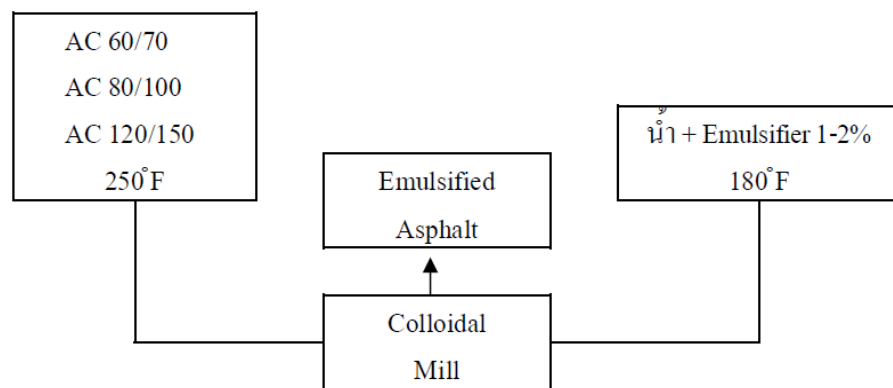
ความสัมพันธ์เชิงมวลและปริมาตรของส่วนผสมประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความหนาแน่น (ρ)	$\rho = M/V$	(2.1)
สัดส่วนแอสฟัลต์ (P_B)	$P_B = M_B/M$	(2.2)
สัดส่วนแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ (P_{BE})	$P_{BE} = M_{BE}/M$	(2.3)
สัดส่วนแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม (P_{BA})	$P_{BA} = M_{BA}/M_G$	(2.4)
ช่องว่างอากาศ (AV)	$AV = V_A / V$	(2.5)
ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)	$VMA = (V_{BE} + V_A) / V$	(2.6)
ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)	$VFA = V_{BE} / (V_{BE} + V_A)$	(2.7)

2.2.2 แอสฟัลต์เหลว

แอสฟัลต์เหลว (Liquid Asphalt) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือแอสฟัลต์ชนิดนี้มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดาสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องให้ความร้อน

1. Cutback Asphalts เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ไปละลายในตัวทำละลาย (Solvents) ซึ่งได้แก่ น้ำมันต่างๆ เช่น Naphtha (Gasoline) Kerosine และ Diesel Oil น้ำมันที่ใช้เป็นสารละลายนี้เรียกรวมว่า Diluent หรือ Culter Stock แอสฟัลต์ชนิดนี้มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดาสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องให้ความร้อนเมื่อทำการบดอัดแล้วจะปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยไปจะเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์
2. Emulsified Asphalt หรือ ยางน้ำผลิตโดยใช้ดีแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้แตกเป็นเม็ดเล็กๆผสมกับน้ำและ Emulsifying agent มีสีน้ำตาลเข้มลักษณะขุ่นจนเหลวที่อุณหภูมิห้องหลักการผลิตดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หลักการผลิต Emulsified Asphalts (ที่มา: ณพรัตน์ วิจิตรชลชัย และจรัสศรี พันธุ์ไม้, 2544)

2.2.3 Polymer Modified Asphalt (PMA)

ปัจจุบันปริมาณการจราจรได้เพิ่มขึ้นอย่างมากของพื้นผิวถนนที่ทำด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตประเภท 60-70 เกิดความเสียหายซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของการใช้งานนำไปสู่อุบัติเหตุต่างๆดังนั้นวิศวกรได้พยายามที่จะแก้ปัญหาโดยการใช้อย่างมะตอยโพลิเมอร์ (PM-AC) เพื่อทดแทนที่เกรดแอสฟัลต์

คอนกรีต 60-70 ผลคือการใช้โพลีเมอร์แอสฟัลต์คอนกรีต (PMA) มีการปรับปรุงปรับปรุงประสิทธิภาพและความทนทานต่อรอยแตกดีขึ้น

2.4 ชูเปอร์เพฟ

ในปี ค.ศ. 1987 โครงการ SHRP (The Strategic Highway Research Program) ได้เริ่มต้นพัฒนาข้อกำหนดสำหรับวัสดุแอสฟัลต์ขึ้นมาใหม่เรียกว่าชูเปอร์เพฟ (Superpave) ย่อมาจาก Superior Performing Asphalt Pavements โดยทำให้เป็นระบบที่มีการปรับปรุงการกำหนดมาตรฐานวัสดุของวัสดุประสานและมวลรวมรวมไปถึงการพัฒนาการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตลอดจนวิเคราะห์และทำนายสมรรถภาพถนน (วัชรินทร์ วิทยกุล, 2547)

2.4.1 ข้อกำหนดมวลชูเปอร์เพฟ

ระบบชูเปอร์เพฟใช้แผนภูมิการจัดขนาดกะกำลัง 0.45 กับขีดจำกัดการควบคุมการจัดขนาดกะ (Gradation control limits) และเขตกำจัด (Restricted zone) สำหรับพัฒนาโครงสร้างมวลรวมที่ออกแบบเพื่อระบุงการจัดขนาดกะของมวลรวม โดยโครงสร้างมวลรวมออกแบบชูเปอร์เพฟต้องผ่านระหว่างจุดควบคุมต่างๆของการจัดขนาดกะและต้องหลีกเลี่ยงเขตกำจัดของการจัดการขนาดกะด้วยระบบชูเปอร์เพฟใช้เขตกำจัดเพื่อหลีกเลี่ยงส่วนผสมที่มีสัดส่วนทรายละเอียดปริมาณมากเมื่อเทียบกับปริมาณทรายทั้งหมด

2.4.2 การทดสอบวัสดุมวลรวมชูเปอร์เพฟ

นักวิจัย SHRP สํารวจข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญโครงสร้างถนนพบว่าคุณสมบัติของมวลรวมมีบทบาทสําคัญในการเอาชนะการเสีรูปร่างอย่างถาวร มวลรวมจึงต้องถูกทดสอบด้วยวิธีการต่างๆดังนี้ 1. ความเป็นเหลี่ยมมุมของมวลหยาบ 2. ความเป็นเหลี่ยมมุมของมวลละเอียด 3. ความแบนและความยาวของอนุภาค 4. ปริมาณดินเหนียว

2.4.3 การจัดขนาดกะ

ระบบชูเปอร์เพฟระบุงการจัดขนาดกะของมวลรวมคือ ใช้แผนภูมิกำลัง 0.45 จุดควบคุมและเขตกำจัด ลักษณะสําคัญของแผนภูมิกำลัง 0.45 คือการจัดขนาดกะที่มีความหนาแน่นมากที่สุดการจัดขนาดกะนี้จะพลีตเป็นเส้นตรงจากขนาดมวลรวมใหญ่สุดจนถึงจุดกำเนิดในระบบชูเปอร์เพฟใช้กำจัดความมวลรวมดังนี้ ขนาดใหญ่สุด (Maximum size) คือขนาดตะแกรงใหญ่กว่าหนึ่งชั้นของขนาดใหญ่สุดที่ระบุง ขนาดใหญ่สุดที่ระบุง (Nominal maximum size) คือขนาดตะแกรงใหญ่กว่าหนึ่งชั้นของตะแกรงแรกที่วัสดุค้ำงมากกว่าร้อยละ 10 ชูเปอร์เพฟมีการจัดขนาดกะส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจัดขนาดคละส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตระบบซูเปอร์เพฟ
(ที่มา: วัชรินทร์ วิทยกุล, 2547)

ข้อกำหนด ระบบซูเปอร์เพฟ	ขนาดใหญ่สุดที่ระบุ (mm)	ขนาดใหญ่สุด (mm)
37.45 mm	37.5	50.0
25.0 mm	25.0	37.5
19.0 mm	19.0	25.0
12.5 mm	12.5	19.0
9.5 mm	9.5	12.5

โดยแต่ละข้อกำหนดระบบซูเปอร์เพฟแบ่งจุดควบคุมและเขตกำจัดการวางที่ 2.3-2.7

ตารางที่ 2.3 ขนาดคละของข้อกำหนดระบบซูเปอร์เพฟที่ 37.5 มม. (ที่มา: วัชรินทร์ วิทยกุล, 2547)

37.5 mm. Nominal Size				
Sieve, mm.	Control Points		Restricted Zone Boundary	
			Minimum	Maximum
50		100.0		
37.55	90.0	100.0		
25				
19			34.7	34.7
12.5	15.0	41.0	23.3	27.3
9.5			15.5	21.5
0.600			11.7	15.7
0.300			10	10
0.150				
0.075	0.0	6.0		

ตารางที่ 2.4 ขนาดคละของข้อกำหนดระบบซูเปอร์เฟฟที่ 25 มม. (ที่มา:วัชรินทร์ วิทกุล, 2547)

25 mm.Nominal Size				
Sieve, mm.	Control Points		Restricted Zone Boundary	
			Minimum	Maximum
19		100.0		
12.5	90.0	100.0		
9.5				
4.75				
2.36	19.0	45.0	34.6	34.6
1.18			22.3	28.3
0.600			16.7	20.7
0.300			13.7	13.7
0.150				
0.075	1.0	7.0		

ตารางที่ 2.5 ขนาดคละของข้อกำหนดระบบซูเปอร์เฟฟที่ 19 มม. (ที่มา:วัชรินทร์ วิทกุล, 2547)

19 mm.Nominal Size				
Sieve, mm.	Control Points		Restricted Zone Boundary	
			Minimum	Maximum
19		100.0		
12.5	90.0	100.0		
9.5				
4.75				
2.36	23.0	49.0	34.6	34.6
1.18			22.3	28.3
0.600			16.7	20.7
0.300			13.7	13.7
0.150				
0.075	2.0	8.0		

ตารางที่ 2.6 ขนาดคละของข้อกำหนดระบบซูเปอร์เฟฟที่ 12.5 มม. (ที่มา: วัชรินทร์ วิทยกุล, 2547)

12.5 mm.Nominal Size				
Sieve, mm.	Control Points		Restricted Zone Boundary	
			Minimum	Maximum
19		100.0		
12.5	90.0	100.0		
9.5				
4.75				
2.36	28.0	58.0	39.1	39.1
1.18			25.6	31.6
0.600			19.1	23.1
0.300			15.5	15.5
0.150				
0.075	2.0	10.0		

ตารางที่ 2.7 ขนาดคละของข้อกำหนดระบบซูเปอร์เฟฟที่ 9.5 มม. (ที่มา: วัชรินทร์ วิทยกุล, 2547)

9.5 mm.Nominal Size				
Sieve, mm.	Control Points		Restricted Zone Boundary	
			Minimum	Maximum
19		100.0		
12.5	90.0	100.0		
9.5				
4.75				
2.36	23.0	49.0	34.6	34.6
1.18			22.3	28.3
0.600			16.7	20.7
0.300			13.7	13.7
0.150				
0.075	2.0	8.0		

2.5 พฤติกรรมแอนนิโซโทรปิกอีลาสติกของโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์และแอสฟัลต์คอนกรีต

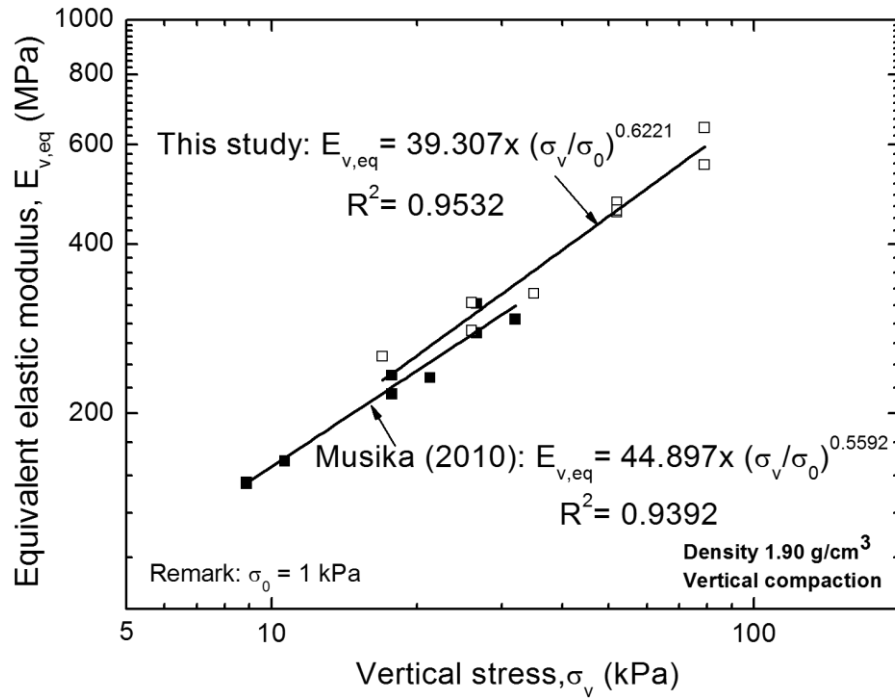
จากการศึกษาของ (Kongkitkul et al., 2014) ได้ทำการทดสอบ Small-Strain หาค่า E_v , E_h , ν_{vh} , ν_{hv} โดยใช้ PMA และ HMA กดแบบแนวตั้งและแนวนอนและใช้ความหนาแน่น 1.90 g/cm³, 2.15 g/cm³ และ 2.37 g/cm³ ผลการทดสอบ Monotonic loading ของทั้งแอสฟัลต์คอนกรีตและโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าเฉลี่ยของความเครียดสูงสุดและ E_{50} ของแอสฟัลต์คอนกรีตและโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)

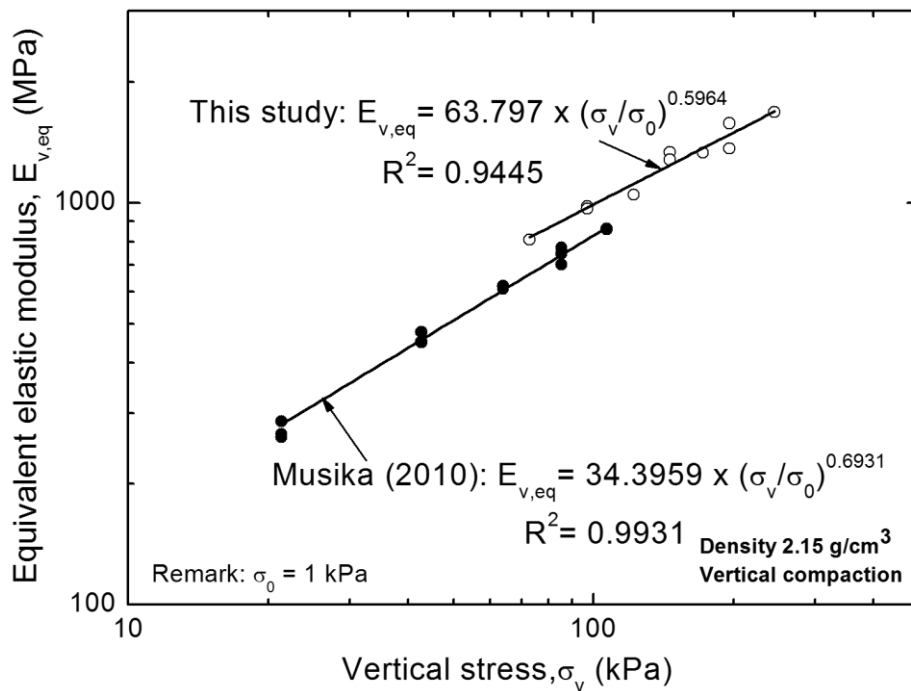
PMA				HMA		Ratio	
Density (g/cm ³)	Direction	Avg. $\sigma_{v,max}$ (kPa)	Avg. E_{50} (MPa)	Avg. $\sigma_{v,max}$ (kPa)	Avg. E_{50} (MPa)	Avg. $\sigma_{v,max}$ (kPa)	Avg. E_{50} (MPa)
1.9	Horizontal	172.02	12.27	70.37	8.1	2.44	1.51
	Vertical	273.84	35.02	93.43	16.35	2.93	2.14
2.15	Horizontal	295.4	30.46	168.34	17.64	1.75	1.72
	Vertical	509.64	82.61	264.55	37.12	1.92	2.22
2.37	Horizontal	736.56	85.52	425.64	65.62	1.73	1.3
	Vertical	893.83	184.13	706.66	84.47	1.26	2.18

จากตารางที่ 2.8 พบว่าค่าแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่น้อยกว่าโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์และค่าความเครียดสูงสุดและ E_{50} ของแอสฟัลต์ทั้งสองชนิดจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของแอสฟัลต์

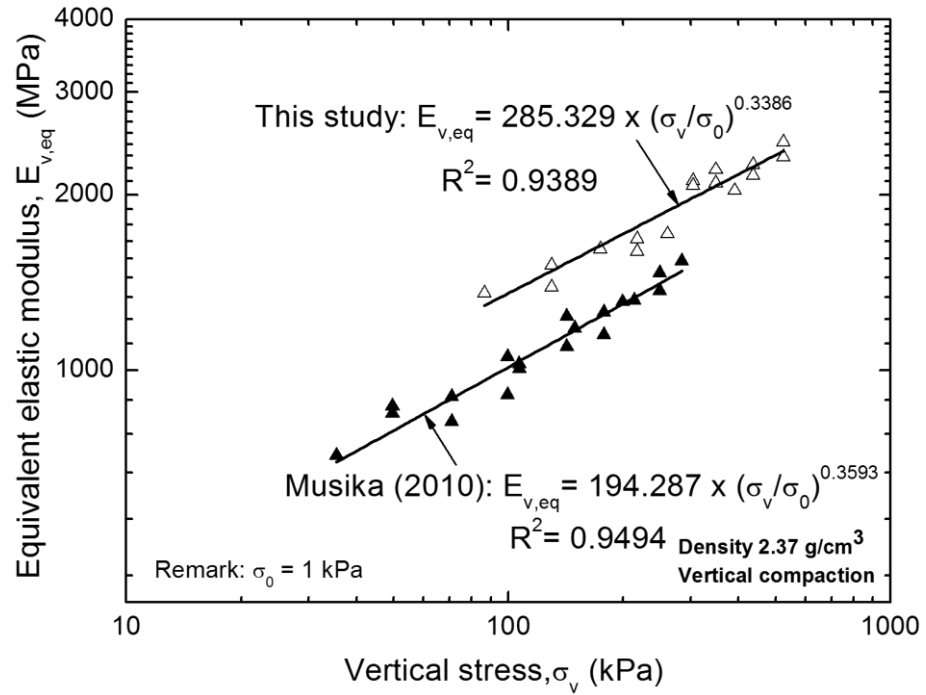
และทำการทดสอบแบบ Cyclic loading เพื่อหาค่า E_v , E_h , ν_{vh} , ν_{hv} ของทั้งแอสฟัลต์คอนกรีตและโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ดังรูปที่ 2.6 – 2.11



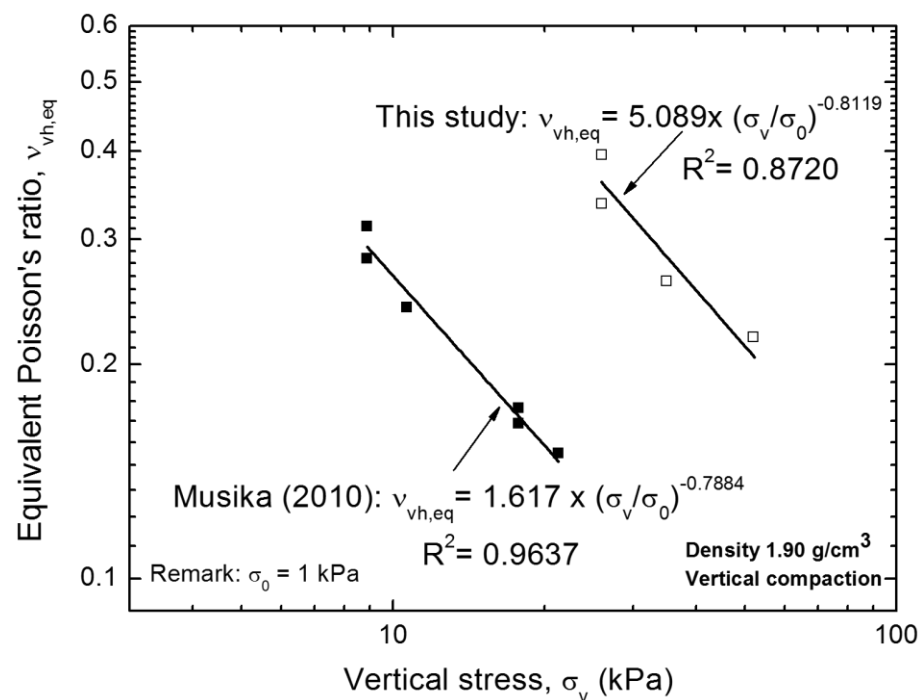
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสสมมูลย์ที่ความหนาแน่น 1.90 g/cm^3
 (ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)



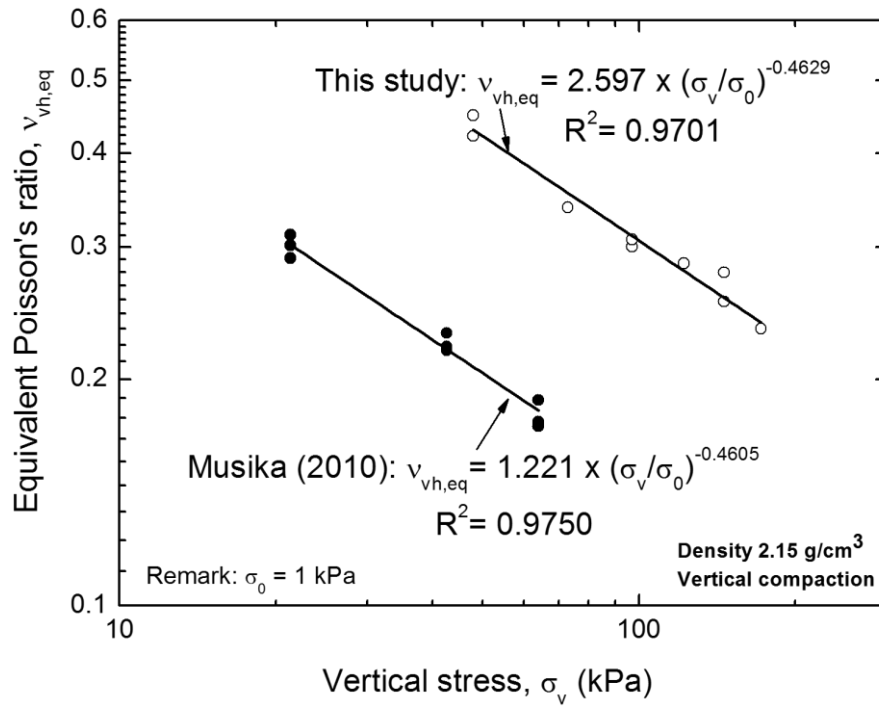
รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสสมมูลย์ที่ความหนาแน่น 2.15 g/cm^3
 (ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)



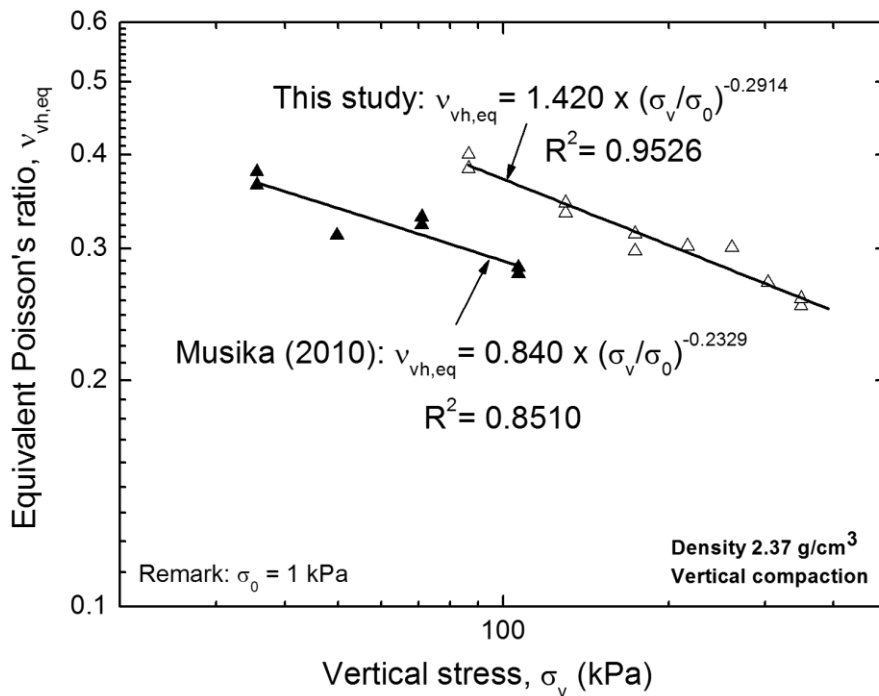
รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสสมมูลย์ที่ความหนาแน่น 2.37 g/cm^3
 (ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปัวซองของสมมูลย์ที่ความหนาแน่น 1.90 g/cm^3
 (ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)



รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปัวซองของสมมูลย์ที่ความหนาแน่น 2.15 g/cm³
(ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปัวซองของสมมูลย์ที่ความหนาแน่น 2.37 g/cm³
(ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)

จากรูปที่ 2.6-2.11 สามารถสรุปได้ว่าผลการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ได้รับการบดอัดในแนวตั้งมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ได้รับการบดอัดในแนวนอน ค่าโมดูลัสสมมูลและอัตราส่วนปัวของสมมูลของตัวอย่างที่ได้รับการบดอัดในแนวตั้งมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสสมมูลและอัตราส่วนปัวของสมมูลของตัวอย่างที่ได้รับการบดอัดในแนวนอนและค่าโมดูลัสอีลาสติกสมมูล ($E_{v,eq}$) ของแอสฟัลต์คอนกรีตและโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์จะเพิ่มขึ้นตามความเค้นในแนวตั้ง (σ_v) กล่าวคือค่า $E_{v,eq}$ จะแปรผันตรงกับค่า (σ_v) และค่าอัตราส่วนปัวของสมมูลของแอสฟัลต์คอนกรีตและโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (ν_{vh}) จะมีค่าลดลงตามความเค้นในแนวตั้ง (σ_v) กล่าวคือค่า (ν_{vh}) จะแปรผกผันตรงกับค่า (σ_v) จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเสถียรของโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดาอย่างชัดเจน

2.6 การใช้น้ำยางพาราการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ cis - 1,4-polyisoprene กล่าวคือมี isoprene (C_5H_8) มาต่อกันเป็นโมเลกุลยาวหรือ (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15 - 20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางธรรมชาติจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืดมันจะสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับคืนสู่สภาพเดิมในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดีนั้นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง

ยางพาราเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการปรับปรุงแอสฟัลต์โดยอาศัยสมบัติบางประการที่เป็นข้อดีของยางธรรมชาติเช่น ความคงตัวสูง (Stability) ความยืดหยุ่นดี (Elasticity) และทนความล้าดี (Fatigue resistance) มาเป็นตัวเสริมสมบัติของแอสฟัลต์ให้ดีขึ้นและทนทานมากขึ้นชนิดและอัตราส่วนของยางพาราที่ใช้ผสมกับแอสฟัลต์

ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติจะไม่เสถียรจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าคือยางธรรมชาติจะอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จำเป็นต้องมีการผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำและสารตัวเร่งต่าง ๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสมยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดันกระบวนการนี้เรียกว่า Vulcanization (ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของยางเกิดเป็น

โครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ทำให้ยางคงรูปและมีสมบัติความยืดหยุ่นสูงขึ้น) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น (ที่มา: ณพรัตน์ วิจิตชลชัย, 2554)

สมบัติที่ดีของยางธรรมชาติ

1) ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมาก

2) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดีควรมีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำและมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี

3) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีแต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือการเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งานนอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลาย ไม่มีไขมันและสารเคมีต่ำ

ยางธรรมชาติที่แปรรูปมีหลายชนิดด้วยกันคือ 1. ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet , RSS) 2. ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air-dried Sheet , ADS) 3. ยางเครพ (Crepes) 4. ยางแท่ง (Block Rubber) 5. น้ำยางข้น (Concentrated Latex) 6. น้ำยางวัลคาไนซ์ (Prevulcanized Lattice)

การผสมให้ได้ประสิทธิภาพจะต้องให้มีการบวมตัวและกระจาย ถ้าหากกระจายได้ยาก (Tyre rubber) ยางพาราจะแสดงพฤติกรรมเป็น Filler ถ้าละลายมากเกินไป ก็จะทำให้ประสิทธิภาพน้อย โดยทั่วไปใช้ยางธรรมชาติ 5 ถึง 10 % โดยที่จะไม่เกิด Gelatin หลังจากผสมเสร็จ หรือเกิด Separation เป็นชั้นลอยหรือเป็นเหมือน Gel ของยางพาราที่ผสมอยู่ในแอสฟัลต์ ปัญหาที่เหมือนกันเกิดขึ้นจากการถูกกวนด้วยอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน การถูก Over heat จะทำให้ไม่เกิด Gelatin แต่ได้ยางที่ผสมได้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่มีความหนืดลดลง เนื่องจากยางพาราจะเกิดการละลาย (Dissolve) สลายตัว (Degrade) หรือลดการเป็น Polymer (Depolymerize) มากกว่าจะเกิดการเชื่อมต่อของโมเลกุล (Crosslink)

การผสมจะมีสิ่งผิดปกติ ดังนี้

1) ไม่เข้ากัน (Incompatible) ได้แก่เกิดเป็น Gelatin Separation, jelly – like (NR มากเกิน long and high temperature)

2) ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogenous mix) ได้แก่อเกิดเป็น Dissolve, Degrade, Depolymerization (low viscosity)

การใช้ยางพาราผสมกับแอสฟัลต์สามารถใช้ได้ทั้งในรูปร่างแห้งและน้ำยางข้นแต่การใช้ยางพาราในรูปน้ำยางข้นมีข้อดีคือสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ได้ง่ายกว่าการใช้ยางแห้งเพราะโมเลกุลยางยังอยู่ในรูปแวนลอยในน้ำยางข้นและไม่จับตัวเหมือนยางแห้งทำให้กระจายตัวและเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแอสฟัลต์ได้ง่าย การใช้ยางพาราชนิดน้ำข้นต้องระวังในเรื่องการเกิดฟองความดันในขณะที่ผสมจากการศึกษาเทคนิคและอัตราส่วนผสมยางพารากับแอสฟัลต์ที่เหมาะสมในปี 2543 สถาบันวิจัยยางได้ดำเนินการทดลองใช้ยางพาราทั้งในรูปร่างแผ่นรมควันในอัตราร้อยละ 2,4,6,8 และ 10 และน้ำยางข้นในอัตราร้อยละ 2 และ 5 ของเนื้อยางแห้งต่อน้ำหนักแอสฟัลต์พบว่าการใช้ยางแผ่นรมควันผสมแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงสมบัติของแอสฟัลต์ในปริมาณ 6 % ต่อน้ำหนักแอสฟัลต์เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าจุดอ่อนตัว ค่าการคืนกลับตัว ค่า Toughness ค่า Tenacity ค่าความหนืด และค่า Penetration Index สูงขึ้นซึ่งค่าเหล่านี้สามารถเป็นข้อบ่งชี้ว่าถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยยางแผ่นรมควัน 6 % มีความแข็งแรงและความทนทานเพิ่มขึ้นอีกทั้งค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นก็ยังอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตแต่การทดลองที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เครื่องผสมขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแอสฟัลต์ธรรมดา กับแอสฟัลต์ผสมยางพาราในการสร้างถนน โดยต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ของการผสมประสิทธิภาพในการผสมแอสฟัลต์กับยางพาราในระดับโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตและสามารถนำไปใช้ในการลาดถนนได้จริงด้วย

สถานที่ศึกษาทำการวิจัยคือถนนหน้าศูนย์วิจัยยางละเชิงเทราดังรูปที่ 2.12 และถนนโครงการก่อสร้างของอบต.เขาหินซ้อนดังรูป 2.13



รูปที่ 2.12 ถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยางพาราบริเวณหน้าศูนย์วิจัยยาง



รูปที่ 2.13 ถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยางพารา

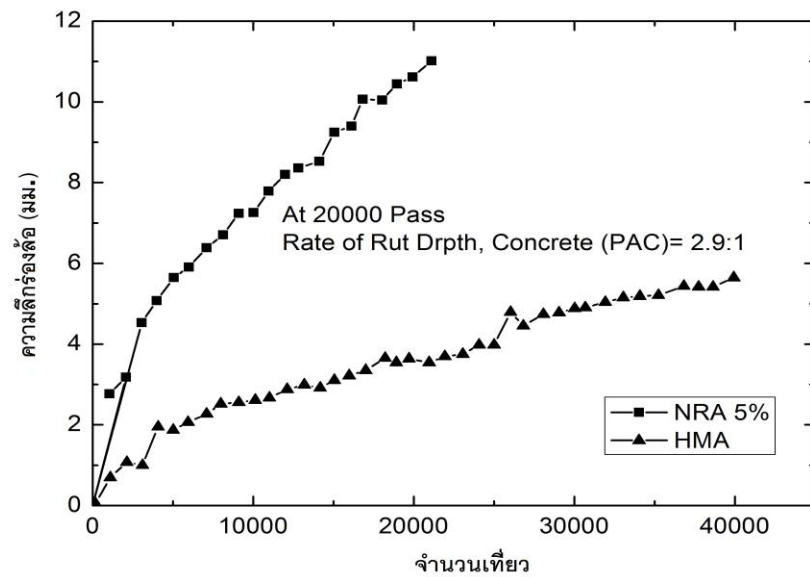
ผลการวิจัยพบว่าควรรู้อย่างพาราในรูปของน้ำยางข้นผสมกับแอสฟัลต์เนื่องจากการผสมยางพาราในรูปน้ำยางข้นจะเข้าเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ได้ดีกว่าการใช้ยางแผ่นรมควันและควรรู้อย่างพาราในอัตรา 5 % พร้อมทั้งไปวิเคราะห์สมบัติของแอสฟัลต์ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบสมบัติแอสฟัลต์เมื่อผสมยางพาราในรูปน้ำยางข้นร้อยละ 5

(ที่มา: ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, 2554)

สมบัติ	อัตราส่วนยางพารา	
	0 %	5 %
Penetration	64	46.0
Softening point (°C)	51	55.3
Penetration index	-1.50	+0.41
Torsional recovery (%)	2.8	21.1
Toughness (Kg. cm.)	88.77	117.96
Tenacity (Kg. cm.)	37.55	54.38

และการทดสอบค่าความลึกร่องล้อในห้องปฏิบัติการของกรมทางหลวงที่ตัดจากถนนสายสนามชัย-ท่าตะเียบพบว่าถนนราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางพารามีความทนทานมากกว่าถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ปกติถึง 2.9 เท่าดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความลึกของร่องล้อของชั้นงานถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางพารา
(ที่มา: ณพรัตน์ วิจิตรชลชัย, 2554)

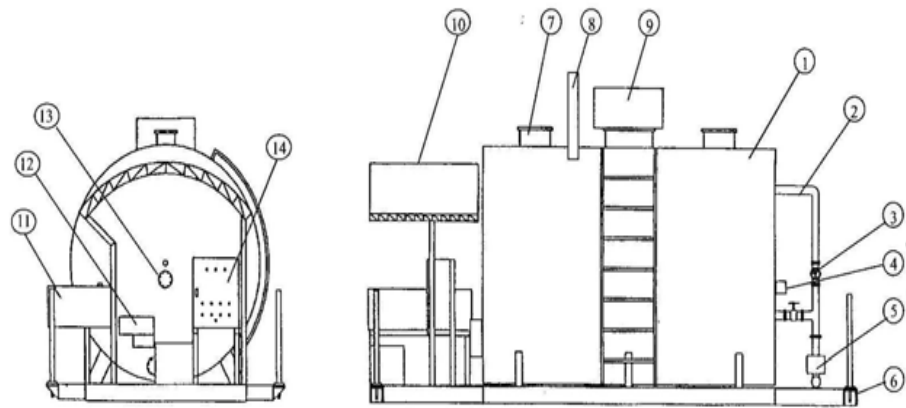
2.6.1 การผสมแอสฟัลต์กับยางพารา

การใช้ยางพาราชนิดน้ำยางข้นผสมแอสฟัลต์จะพบปัญหาเรื่องฟองและความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่ผสม เนื่องจากขั้นตอนการผสมต้องให้ความร้อนกับแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสทำให้น้ำที่อยู่ในยางพาราเดือดและเกิดฟองซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องผสมยางพารา กับแอสฟัลต์ที่ออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพและสามารถปฏิบัติงานได้จริง

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องผสมแอสฟัลต์กับยางพาราชนิดน้ำยางข้นดังรูปที่ 2.15 คือ

1. ถังผสม
2. ท่อส่งแอสฟัลต์
3. วาล์วควบคุมการไหล
4. ช่องเก็บตัวอย่าง
5. ปุ่มจ่ายแอสฟัลต์
6. ชุดไฮดรอลิกสำหรับยกเครื่องผสม ขึ้น-ลง รถบรรทุก
7. ช่องระบายไอแอสฟัลต์
8. ชุดใบพัดกวน
9. ชุดเติมน้ำยางพารา
10. หลังกา
11. ถังน้ำมันเครื่องพ่นไฟ
12. เครื่องพ่นไฟสำหรับให้ความร้อน

13. เทอร์โมมิเตอร์
14. ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 (ก) และ (ข) ลักษณะของเครื่องผสมแอสฟัลต์กับน้ำยางพาราชั้น
(ที่มา: ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, 2554)

ขั้นตอนการดำเนินงานปูถนน

1. เคลื่อนย้ายเครื่องผสมขึ้นรถบรรทุก
2. เคลื่อนย้ายเครื่องผสมลงจากรถบรรทุกที่โรงผสม
3. เชื่อมต่อระบบไฟของเครื่องผสมกับแหล่งไฟ
4. ต่อระบบน้ำยางพาราและท่อจ่ายแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราแล้ว

5. เติมแอสฟัลต์ลงในถังผสม และให้ความร้อนจนอุณหภูมิแอสฟัลต์สูงถึง 150 องศาเซลเซียส
6. เติมน้ำยางพาราอัตรา 25 ลิตรต่อนาที และกวนผสมต่ออีก 20 นาที
7. จ่ายแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราแล้วเข้าถังเก็บ
8. นำแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราไปเข้ากระบวนการผสม asphalt concrete เพื่อนำไปราดถนนแบบผสมร้อนต่อไป (ณพรัตน์, 2554)

วิธีการผสมในห้องปฏิบัติการและข้อแนะนำ

ให้ความร้อนกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จนมีอุณหภูมิประมาณ 140-150 องศาเซลเซียสด้วย Hot plate โดยปริมาณแอสฟัลต์ในภาชนะไม่ควรเกิน 2 ใน 3 ของภาชนะผสมเนื่องจากตอนทำการผสมจะเกิดฟองจากน้ำยางพาราผสมน้ำยางชั้นที่ได้ตวงไว้ลงไปในตัวแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยผสมช้าๆ ในอัตราประมาณ 2-3 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการกวนส่วนผสมตลอดเวลาการผสมและรักษาระดับอุณหภูมิที่ผสมให้คงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และต้องระวังระวังการเติมน้ำยางพาราที่ละมากๆ เนื่องจากในน้ำยางชั้นจะมีน้ำอยู่เกือบ 40 % และอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมสูงกว่าจุดเดือดน้ำซึ่งทำให้เกิดการเดือดฟุ้งผ่านและมีฟองในระหว่างการผสมก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ผสมดังรูปที่ 2.17

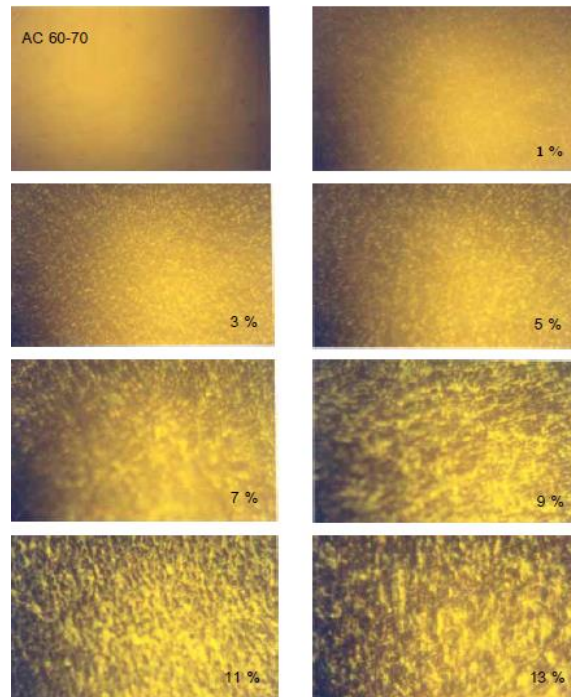


รูปที่ 2.16 การผสมยางพารากับแอสฟัลต์ (ที่มา: Tuntiworawit et al., 2005)



รูปที่ 2.17 ลักษณะการเกิดฟองของการผสม (ที่มา: Tuntiworawit et al., 2005)

เมื่อผสมน้ำยางข้นหมดแล้วจะต้องกวนต่อไปอีกเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40 เท่า ดังรูปที่ 2.18 หากส่วนผสมเข้ากันดี อนุภาคของยางจะเป็นจุดเล็กๆอยู่ทั่วไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์



รูปที่ 2.18 ภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่าของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารา (ที่มา: Tuntiworawit et al., 2005)

การผสมน้ำยางข้นในสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นส่วนผสมจะเป็นเนื้อเดียวกันลดลง จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าอนุภาคเนื้อยางใหญ่ขึ้นดังนั้นเมื่อผสมน้ำยางข้นในปริมาณที่มากขึ้นจึงต้องใช้อุณหภูมิที่มากขึ้นด้วย เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันเหตุผลที่ต้องใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 140-150 องศาเซลเซียสเพราะเมื่อผสมน้ำยางข้นที่ละน้อยๆ ส่วนที่เป็นน้ำจะระเหยออกหมดจะเหลือแต่เนื้อตัวยางไม่ว่าอย่างไรก็ตามไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 175 องศาเซลเซียสเนื่องจากทำให้คุณสมบัติแอสฟัลต์เสื่อมได้ (Tuntiworawit et al., 2005)

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอสฟัลต์ผสมยางพารา

การทดลองใช้ยางธรรมชาติตลอดจนยางสังเคราะห์เพื่อปรับปรุงคุณภาพถนนมีมานานและมีการทดลองกันอย่างกว้างขวางโดย ชิต ทศนกุล และคณะ (2500) ทดลองทำยาง Masterbatch ผสมระหว่างยางพาราชั้นต่ำกับแอสฟัลต์ในอัตรา 1 : 1 ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง โดยบดยางธรรมชาติให้ نرم ก่อนเป็นเวลา 10 นาทีแล้วจึงผสมแอสฟัลต์จากนั้นรีดเป็นแผ่นไว้ใช้งานต้มแอสฟัลต์ให้ละลาย (มีอุณหภูมิไม่เกิน 190 องศาเซลเซียส) แล้วเติมยาง Masterbatch ลงในแอสฟัลต์โดยให้แอสฟัลต์ผสมที่ได้มียางพาราผสมอยู่ในอัตรา 5 % ของแอสฟัลต์ทั้งหมดจากนั้นนำแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ผสมได้ราด

ถนนสายหาดใหญ่ - สงขลา (ส่วนที่ตรงหลักกิโลเมตรที่ 16) เป็นระยะทาง 100 เมตร โดยได้รับความร่วมมือจากแขวงทางหลวงสงขลาพบว่าถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางพารามีมวลสารเกาะกันดี ผิวถนนไม่เยิ้มเหนียวและได้ทดลองซ้ำอีกครั้งในปี 2505 โดยราดถนนสายหาดใหญ่ - สงขลา (ส่วนที่ถนนโค้ง) ที่หลักกิโลเมตร 10.80 - 11.00 เป็นระยะทาง 200 เมตร ซึ่งได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับครั้งแรกและจากเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในปี 2510 พบว่าถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติยังไม่มีการซ่อมแซมแต่ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ธรรมดาที่มีการซ่อมแซมแล้ว 1 ครั้ง

ณพรัตน์ วิจิตรชลชัย (2554) เคยทำการศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์ผสมยางพาราพบว่าเปอร์เซ็นต์การผสมที่เหมาะสมคือ 5 % โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของการผสมประสิทธิภาพในการผสมแอสฟัลต์กับยางพาราในระดับโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตและได้ทำการทดสอบเก็บตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมน้ำยางชั้นอัตราร้อยละ 5 พบว่าค่าเสถียรภาพ (Stability) สูงกว่าถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ปกติซึ่งแสดงว่าถนนสามารถรับน้ำหนักการจราจรได้ดีและจากการทดสอบการเกิดร่องล้อพบว่าตัวอย่างถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมกับน้ำยางชั้นอัตราร้อยละ 5 มีการเกิดร่องลือน้อยกว่าตัวอย่างถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ปกติซึ่งคาดว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษาถนน

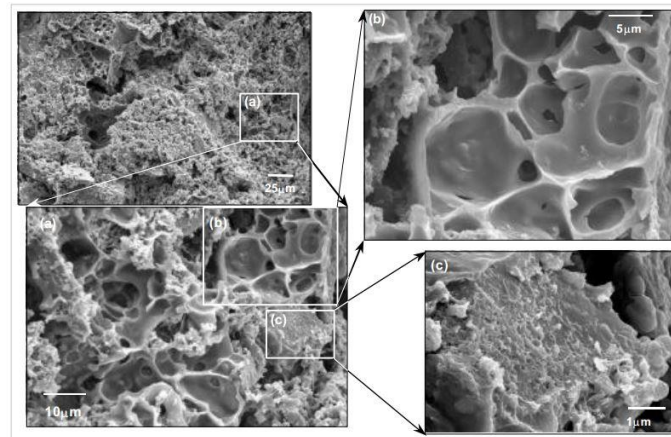
Tuntiworawit et al. (2005) ได้ศึกษาลักษณะสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตซีเมนต์ธรรมดา กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราเข้มข้น (NRA) ในปริมาณ 1-14 % และนำไปผสมกับวัสดุมวลรวมเพื่อนำไปทดสอบเช่น แรงดึงทางอ้อม, โมดูลัสกันตัว, ความล้า, การยุบตัวถาวรและการหลุดออก จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวัสดุ NRA มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาพบว่าปริมาณน้ำยางชั้นที่เหมาะสมในการผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์คือ 9 %

กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคมเสนอโดยสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ผสมยางพาราโดยใช้เปอร์เซ็นต์การผสมที่ 5 %, 7 % และ 9 % หากค่า Penetration การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening point) การทดสอบความหนืด Rotational Viscosity Test การทดสอบ Thin Film Oven Test (RTFO) การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point) ผลการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ผสมยางพาราเปอร์เซ็นต์การผสมที่เหมาะสมคือ 5 %

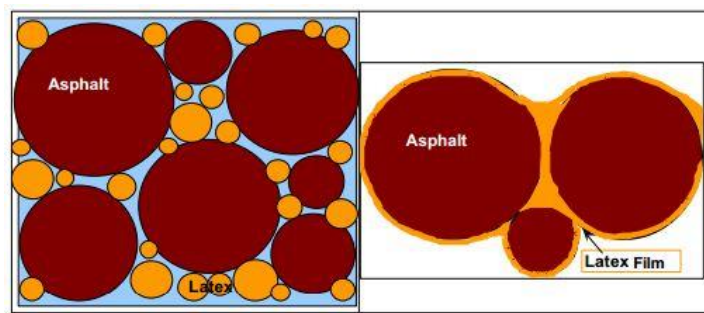
Fernando และ Nodara (1969) ได้ทดลองปรับปรุงสมบัติแอสฟัลต์ด้วยน้ำยางธรรมชาติคือ น้ำยางสด น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำและหางน้ำยางอัตรา 2 - 4 % ในแอสฟัลต์ AC 80/100 แบบ Hot - Mix Asphalt โดยการพ่นน้ำยางธรรมชาติลงในยางมะตอยที่มีอุณหภูมิ 300 - 325 °F และมีการคนตลอดเวลาพบว่าแอสฟัลต์แข็งขึ้น (ค่าเพนิเทรชัน ลดลง) จุดอ่อนตัวสูงขึ้น แต่ค่าการยืดดึง Ductility ลดลง

Koichi (2000) ได้ทำการทดสอบโดยใส่น้ำยางพาราลงไปในแอสฟัลต์โดยผลการใส่น้ำยางพาราลงไปทำให้แอสฟัลต์มีกำลังเพิ่มมากขึ้นและทำการส่องกล้องลงไปดูในตัวอย่างแอสฟัลต์พบว่าเมื่อใส่น้ำ

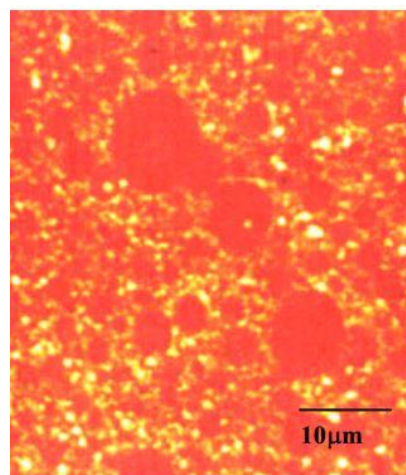
ยางพาราลงไปจะเกิด โครงข่ายรังผึ้งเคลือบมวลรวมและอนุภาคแอสฟัลต์เอาไว้โดยสรุปได้ว่า โครงข่ายรังผึ้งนี้มีข้อดีคือช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นขึ้นและช่วยเพิ่มกำลังของแอสฟัลต์ดังรูปที่ 2.19



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.19 ภาพขยาย Micro surfacing (ที่มา: Koichi, 2000)

จากรูปที่ 2.19 (ก) แสดงให้เห็นถึงโครงข่ายรังผึ้งที่เกิดจาก Latex เคลือบผิวมวลรวมและอนุภาคแอสฟัลต์ (ข) แสดงให้เห็นแอสฟัลต์ที่ถูกเคลือบโดย Latex film (ค) แสดงให้เห็นภาพถ่ายโดยใช้

เลเซอร์ ทั้ง (ก) (ข) (ค) สามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายรังผึ้งนี้มีข้อดีคือช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นขึ้นและช่วยเพิ่มกำลังของแอสฟัลต์

จิราภรณ์ ทองศรีนุ่น (2555) ยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพารา (Rubberize Modified Asphalt , RMA) เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองเพนเทรชันและจุดอ่อนตัวยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพารา จะมีคุณสมบัติที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลดน้อยลง เมื่อพิจารณาผลการทดลอง Toughness and Tenacity ที่สูงขึ้นจะมีคุณสมบัติในด้าน Cohesion ดีขึ้น เมื่อพิจารณาจากค่า Dynamic Shear Modulus ที่มีค่าสูงขึ้น จะมีคุณสมบัติในด้าน Rheology ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาจากค่าจุดอ่อนตัวและค่าความหนืด Brookfield ที่สูงขึ้นยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราจะมีคุณสมบัติด้าน Viscoelastic ดีขึ้นและเมื่อพิจารณาจากค่า Elastic Recovery ที่มีค่าสูงขึ้นจะมีคุณสมบัติเพิ่มความสามารถในการดูดซับได้โดยไม่แตกหรือเสีรูรูปเป็นการเพิ่ม Fatigue Resistance เมื่อพิจารณาค่าจุดควบไฟ และน้ำหนักที่สูญหายไปที่มีค่าสูง ยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในด้านความปลอดภัยที่ต้องระวังมากกว่ายางแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดาและยางพอลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement , PMA) ยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพารา จากการศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการเบื้องต้นได้ว่าการนำยางพารามาใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) ในยางแอสฟัลต์เพื่อใช้เป็นวัสดุทำผิวทางจะให้คุณสมบัติที่ดีแต่การใช้งานต้องระมัดระวังมากกว่าสารพอลิเมอร์ เนื่องจากยางพาราที่ใช้มีหลายลักษณะ เช่น อยู่ในสภาพที่เป็นน้ำยาง ยางแผ่น หรืออาจตัดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ นอกจากนี้ระยะเวลาอุณหภูมิ เครื่องผสม จะมีอิทธิพลต่อการกระจายและคุณลักษณะของยางพาราซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราที่ได้ความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติต่างๆจะมีช่วงกว้างกว่ายางแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา และยาง PMA การผสมการเตรียมตัวอย่างต้องใช้เวลา ระมัดระวังมากและยุ่งยากขึ้นมักจะเกิดปัญหาเรื่องการไม่รวมตัวเข้าด้วยกันและการแยกชั้นในขณะเก็บการผสมเข้าด้วยกันควรใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถสรุปข้อดีข้อเสียได้ดังนี้ ข้อดีคือความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะลดน้อยลง เพิ่มคุณสมบัติการบดงอและการยืดหยุ่นตัว ปรับปรุงคุณสมบัติทางกล เพิ่มความต้านทานการเสีรูอย่างถาวร การยึดเกาะยางกับหินดีขึ้น ปรับปรุงความต้านทานการแข็งตัว (Aging) เมื่อผ่านการใช้งาน ข้อเสียคือการนำมาใช้งาน ต้องระวังและยุ่งยากขึ้น การรวมเข้ากันได้และการแยกชั้นในขณะเก็บ การผลิตที่ต้องมีการใช้เทคโนโลยีเนื่องจากยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลงได้ง่ายต่ออุณหภูมิระยะเวลาที่ถูกความร้อนซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

วิสุทธิ์ สุกรัตน์ (2543) ได้รายงานว่าการศึกษาวิจัยของอินเดียได้เริ่มทดลองใช้น้ำยางผสมแอสฟัลต์ 2 % ราคถนนระหว่างเมืองทริวานครัมและโคตายัม โดยราคถนนเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับถนนราดแอสฟัลต์ธรรมดาปรากฏว่าถนนราดแอสฟัลต์ต้องซ่อมผิวถนนใหม่ในอีก 5 ปีต่อมาและในปีที่ 10 ก็ซ่อมครั้งที่ 2 ในขณะที่ถนนที่ราดด้วยแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติ 2 % ยังมีสภาพดีจนถึงปี

ที่ 14 และได้มีการขยายผลไปทั่วประเทศ ซึ่งจากข้อมูลหลายการทดลองสรุปได้ว่าการผสมยางธรรมชาติยืดอายุถนนได้อย่างน้อย 50 % โดยค่าใช้จ่ายในการราดผิวถนนเพิ่มขึ้น 16 % เมื่อผสมยางธรรมชาติ 2 % กับแอสฟัลต์

กรมทางหลวงชนบท (2557) ได้ศึกษาปรับปรุงสมบัติของแอสฟัลต์โดยใช้ร่วมกับยางธรรมชาติชนิดต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมแอสฟัลต์กับน้ำยางที่ผ่านมาก่อปัญหาเรื่องฟองและมีกลิ่นเหม็นมาก ในขณะที่ดัมมิงได้ทำการทดลองผสมยางแผ่นรมควันอัตราต่างๆกับแอสฟัลต์โดยนำยางแผ่นรมควันมาบดเป็นเวลานาน 10 นาที แล้วดัมมกับแอสฟัลต์ (AC 60/70) ในอัตรา 4 %, 5 %, 6 % และ 7 % แล้วทดสอบตามมาตรฐานของแอสฟัลต์ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สมบัติแอสฟัลต์ผสมยางพาราอัตราต่างๆตามมอก. 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
จุดวาบไฟ °C	313	307	310	304	232 min
การยืดดึง (ductility) ที่อุณหภูมิ 25° C อัตราเร่งเครื่องดึง 5 ซม./ นาที	> 100	> 100	> 100	70	100 min
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน ร้อยละ กากที่เหลือจากการอบ	99.96	99.96	99.95	99.96	99.0 min
น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน(ร้อยละ)	0.01	0.02	0.02	0.04	0.8 max.
เพนิเทรชันร้อยละ 2 ของเพนิเทรชันเดิม การยืดดึง (ductility)	73.8	77.2	77.6	79.3	54 min.
	> 50	> 50	>50	> 50	50 min.

2.7 แอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์

ปัจจุบันยางรถยนต์เก่ามีจำนวนมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถยนต์คันนั้นถ้าสามารถนำยางนั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ดีกว่าจะทิ้งไว้หรือทำลายด้วยวิธีอื่นจึงเกิดแนวคิดที่จะนำยางรถยนต์เก่ามาปรับปรุงเก่ามาผสมกับแอสฟัลต์เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้อีกด้วยเนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้อยู่ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วัสดุเชื่อมประสานชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 และจะเสียหายก่อนเวลาอันควรโดยยางแอสฟัลต์จะเพิ่มคุณสมบัติค่า Penetration และการยึดตัวลงลงส่วนค่าจุดอ่อนตัวจะเพิ่มตามปริมาณยางรถยนต์เก่าสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมีค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่าน้อยกว่า 5 % และลดลงเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่ามากกว่า 5 %

2.7.1 การผสมแอสฟัลต์กับเศษยางรถยนต์

การผสมยางรถยนต์และแอสฟัลต์ในเชิงอุตสาหกรรมการผสมยางรถยนต์ในแอสฟัลต์คอนกรีตมีวิธีการผสมอยู่ 2 แบบ คือ

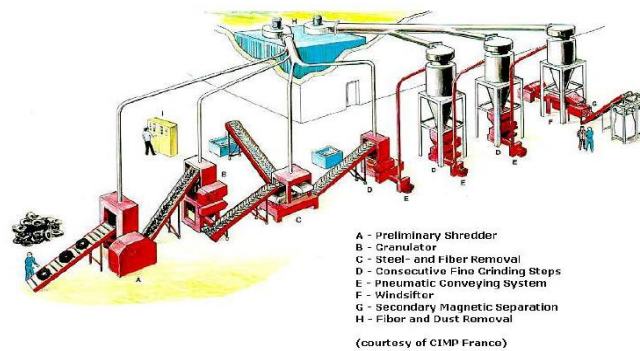
1. แบบเปียกเป็นวิธีที่ผสมผงยางรถยนต์ลงในแอสฟัลต์ที่ร้อน $400-450^{\circ}\text{F}$ และทิ้งไว้ในอุณหภูมิสูง $325-425^{\circ}\text{F}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนผสม โดยหลังจากผสมเสร็จจะต้องมีความหนืดและคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสมในการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.20



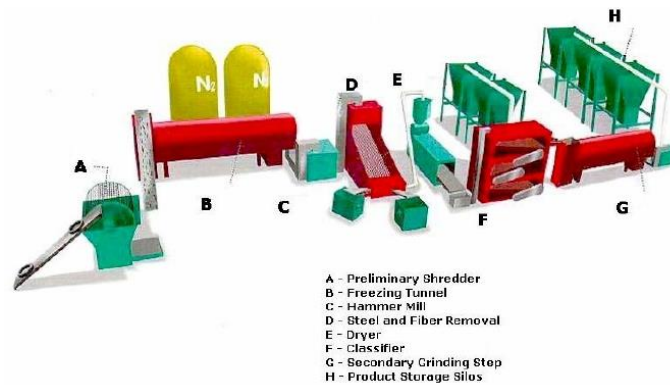
รูปที่ 2.20 แสดงการผสมแบบเปียก (ที่มา: Reschner, 2006)

2. การผสมแบบแห้ง การผสมแบบแห้งเป็นการแทนที่วัสดุมวลรวมด้วยผงยางรถยนต์ด้วยปริมาณ 1-3% ของมวลรวมละเอียดมวลรวมที่ใช้จะเป็นลักษณะ Gap grade การผสมยางรถยนต์และแอสฟัลต์ในห้องปฏิบัติการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 ที่เตรียมไว้ใส่ลงในภาชนะที่สามารถทนความร้อนได้ดี หลอมละลายแอสฟัลต์โดยการต้มให้ร้อนที่อุณหภูมิการผสมระหว่าง 180-200 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผงยางรถยนต์เก่าซึ่งเตรียมไว้ตามปริมาณที่ผสมลงในภาชนะ กวนแอสฟัลต์ซีเมนต์และเศษยางรถยนต์เก่าในภาชนะผสมโดยพยายามควบคุมให้อยู่ในระหว่าง 180-200 องศาเซลเซียสจนเป็นเนื้อเดียวกันโดยต้องกวนอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง หลังจากเห็นว่าเนื้อยางเริ่มเข้ากันแล้วจากนั้นก็ลดอุณหภูมิ

การตัดยางรถยนต์ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือการตัดที่อุณหภูมิปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 และการตัดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic) โดยจะทำให้ยางเย็นลงที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ดังแสดงขั้นตอนการตัดชิ้นยางในรูปที่ 2.21 การลดอุณหภูมิทำให้สามารถตัดยางได้ง่ายและไม่สิ้นเปลืองพลังงานมากนักดังแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธีดังตารางที่ 2.11 ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 2.21 แสดงการตัดที่อุณหภูมิต่ำ (ที่มา: Reschner, 2006)



รูปที่ 2.22 แสดงการตัดที่อุณหภูมิต่ำ (ที่มา: Reschner, 2006)

ตารางที่ 2.11 เปรียบเทียบวิธีการตัดยางรถยนต์ทั้ง 2 วิธี (ที่มา: Reschner, 2006)

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

ในประเทศไทยมีโรงงานนำยางรถยนต์เก่ามาใช้อีก (Recycle) เป็นโรงงานที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียคือโรงงานในกลุ่มของยูเนียนพัฒนาจิจเป็นการตัดยางที่อุณหภูมิมีปกติมีการผลิตยางผงได้ 400 ตันต่อเดือนอย่างที่นำมาใช้ในปัจจุบันจะเป็นยางรถบรรทุกขนาดใหญ่เท่านั้นปริมาณดังกล่าวเพียงพอต่อการนำมาใช้ผสมทำผิวทาง

มาตรฐานของเศษยางรถยนต์ใช้มาตรฐาน ASTM D6114/6114M 09 โดยกำหนดให้ผงยางที่ใช้ในการผสมต้องมีความชื้นไม่เกิน 0.75 % โดยน้ำหนักต้องไม่มีส่วนผสมของเหล็กปนปริมาณเส้นใยจะต้องไม่เกิน 0.5 % โดยหน่วยน้ำหนักต้องไม่มีชิ้นยางที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.36 มม. และกำหนดคุณสมบัติของยางไว้ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 มาตรฐานของแอสฟัลต์ผสมยางรถยนต์ (ASTM D6114/6114M 09)

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

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์

วัชรินทร์ วิทย์กุล และชาญรงค์ คุณทวีเทพ (2539) ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยางรถยนต์เก่าผสมเพิ่มในแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 โดยทำการทดสอบตามวิธีการและข้อกำหนดของกรมทางหลวง ผลการทดสอบพบว่าสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุง

คุณภาพมีค่า Penetration และการยืดตัวลดลงเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าจุดอ่อนตัวจะเพิ่มตามปริมาณยางรถยนต์เก่า สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมีค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่าน้อยกว่า 5% และลดลงเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่ามากกว่า 5%

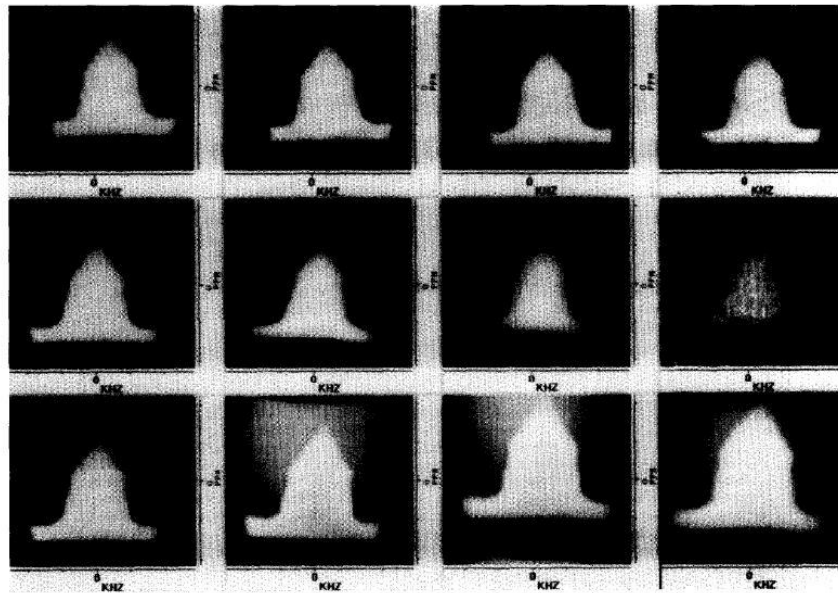
กรมทางหลวงชนบท (2557) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์โดยใช้เปอร์เซ็นต์การผสมที่ 5 %, 7 % และ 9 % โดยการทดสอบ Penetration การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening point) การทดสอบความหนืด Rotational Viscosity Test การทดสอบ Thin Film Oven Test (RTFO) การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point) ผลการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์เปอร์เซ็นต์การผสมที่เหมาะสมคือ 9 %

Hainian et al. (2012) ได้ทำการทดสอบโดยนำเศษยางผงใส่ลงไปในแอสฟัลต์ผสมอุ่นผลปรากฏว่าสามารถลดการเกิดรอยร่องล้อยลได้

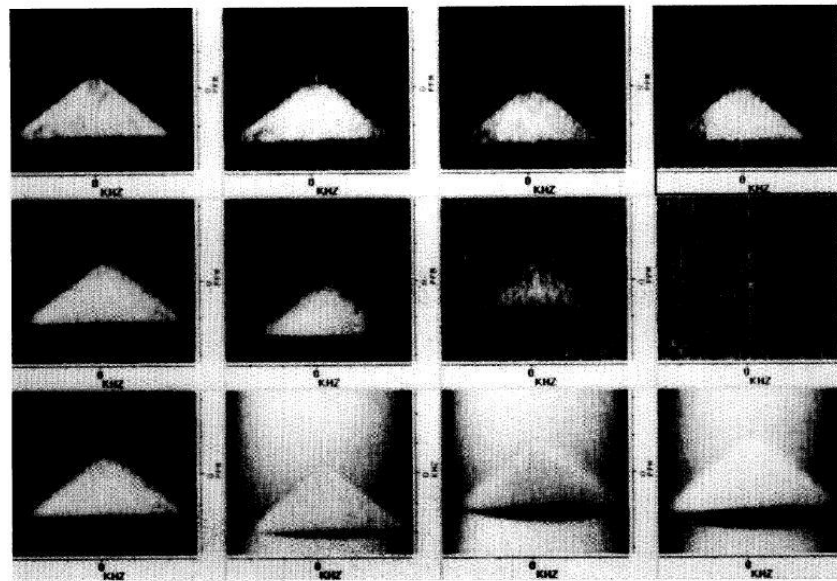
Peiliang et al. (2013) ได้ทำการทดสอบโดยใช้แอสฟัลต์สองประเภทคือ 1. แอสฟัลต์คอนกรีต 60/70 2. แอสฟัลต์คอนกรีต 80/100 และใช้เศษยางรถยนต์สองประเภทแล้วทำการทดสอบ Penetration, Softenning point, Viscosity, Dynamic shear rheometer, Ductility ผลการทดสอบปรากฏว่าค่า Penetration, Ductility มีค่าที่ลดลงส่วน Softenning point, Viscosity elastic recovery มีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

Nuha et al. (2011) ได้ทำการทดสอบแอสฟัลต์เกรด 80/100 ปริมาณการผสมที่ 4 %, 8 %, 12 %, 16 %, 20 % ในการทดสอบ Ductility ผลปรากฏว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใส่เศษยางรถยนต์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า Ductility ลดลง การทดสอบ Elastic recovery ผลปรากฏว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใส่เศษยางรถยนต์ค่าเปอร์เซ็นต์ Elastic recovery ก็จะเพิ่มมากขึ้นและการทดสอบ Penetration ผลปรากฏว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใส่เศษยางรถยนต์ค่า Penetration ก็จะมีค่าที่ลดลง

Francis และ Laurent (1998) ได้ทำการทดสอบแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์และแอสฟัลต์ผสมยางพาราโดยวิธี Nuclear magnetic resonance (NMR) ที่อุณหภูมิการผสมที่ 170 องศาเซลเซียสและการผสมที่ 0 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงดังรูปที่ 2.23, 2.24

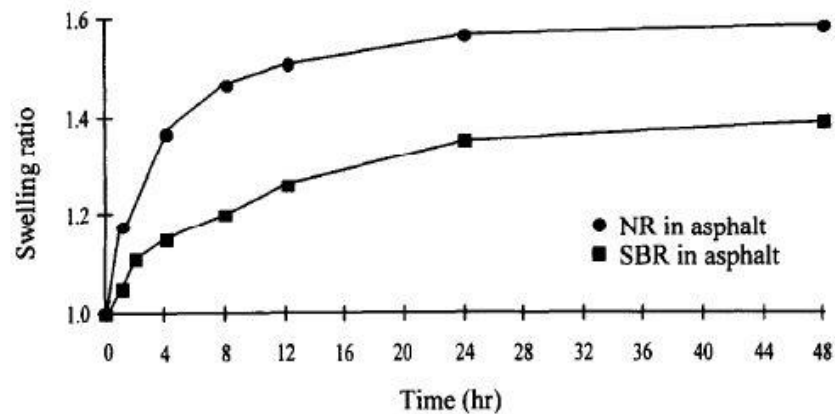


รูปที่ 2.23 Nuclear magnetic resonance (NMR) ของแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์
(ที่มา: Francis และ Laurent, 1998)



รูปที่ 2.24 Nuclear magnetic resonance (NMR) ของแอสฟัลต์ผสมยางพารา
(ที่มา: Francis และ Laurent, 1998)

จากรูปที่ 2.23, 2.24 จะแสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียพลังงานและการบวมตัวที่แตกต่างจากรูปที่ 2.23 และ 2.24 สามารถสรุปค่าบวมตัวได้ดังรูปที่ 2.25

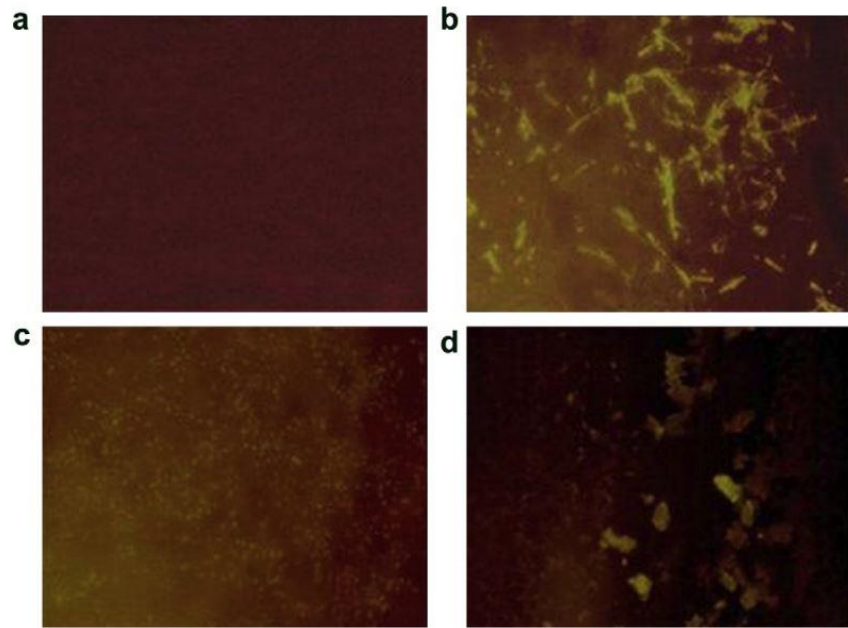


รูปที่ 2.25 ค่าบวมตัวของแอสฟัลต์ประเภทต่างๆ (ที่มา: Francis และ Laurent, 1998)

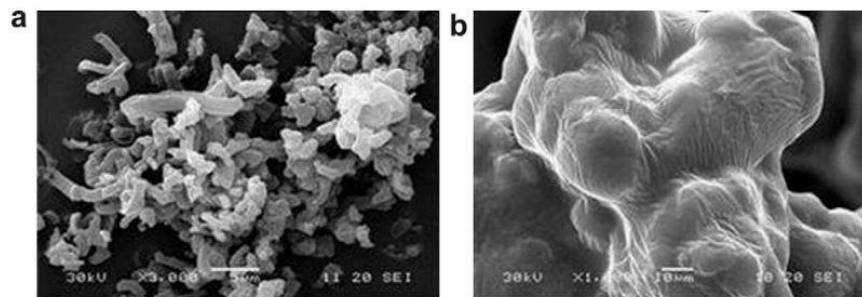
จากรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าแอสฟัลต์ผสมยางพารามีการบวมตัวที่มากกว่าแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์

Kok and Colak (2011) ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ และ SBS modified bitumen และแอสฟัลต์คอนกรีต โดยที่แอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ใช้อัตราการผสมอยู่ที่ 5-22 % ส่วน SBS modified bitumen อยู่ที่ 1-7 % โดยใช้วิธีการทดสอบ rotational viscometry (RV), dynamic shear rheometry (DSR) และ conventional binder tests ผลการทดสอบปรากฏว่าแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่ส่วนผสมที่ 8 % มีความเหมาะสมที่สุด

Xiang et al. (2009) โดยทำการทดสอบโดยการนำเอาแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์มาส่องภาพขนาดมหานุกราดังรูปที่ 2.26 และผลการทดสอบของจุดอ่อนตัวพบว่าค่าของแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์มีค่าที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงว่าเศษยางรถยนต์นั้นไปเกาะกับแอสฟัลต์ทำให้แอสฟัลต์มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเศษยางรถยนต์เมื่อได้รับความร้อนและผสมกับแอสฟัลต์ทำให้เศษยางรถยนต์นี้บวมตัวขึ้นและจับตัวกันแข็งแรงและใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 2.27 ซึ่งเห็นได้ว่าอนุภาคของเศษยางรถยนต์ที่ได้รับการผสมจะเกาะตัวกับอนุภาคแอสฟัลต์ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้แก่แอสฟัลต์มากขึ้น



รูปที่ 2.26 (a) ภาพขยายของแอสฟัลต์ (b,c) ภาพขยายของแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์วิธีแบบ MAPP (d) ภาพขยายของแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์วิธีแบบ Wet technology (ที่มา: Xiang et al., 2009)



รูปที่ 2.27 (a) เศษยางรถยนต์ที่ยังไม่ได้รับการผสม (b) เศษยางรถยนต์ที่ได้รับการผสมแล้ว (ที่มา: Xiang et al., 2009)