

การปรับปรุงยางมะตอยชนิดขี้ผึ้งชนิดประจุลบด้วยน้ำยางธรรมชาติ

MODIFICATION OF ANIONIC ASPHALT EMULSION WITH
NATURAL RUBBER LATEX

ทวิศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล

THAWEESAK YOTYINGTHAMMAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะเทคโนโลยีการปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาเทคโนโลยีโพลีเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-731-9

การปรับปรุงยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบด้วยน้ำยางธรรมชาติ

MODIFICATION OF ANIONIC ASPHALT EMULSION WITH
NATURAL RUBBER LATEX



ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล

THAWEESAK YOTYINGTHAMMAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-731-9

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 48374
วัน, เดือน, ปี 24 ต.ค. 2546

MODIFICATION OF ANIONIC ASPHALT EMULSION WITH
NATURAL RUBBER LATEX

THAWEESAK YOTYINGTHAMMAKUL

A THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-731-9

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบด้วยน้ำยางธรรมชาติ
MODIFICATION OF ANIONIC ASPHALT EMULSION WITH NATURAL
RUBBER LATEX

ชื่อนักศึกษา นายทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล

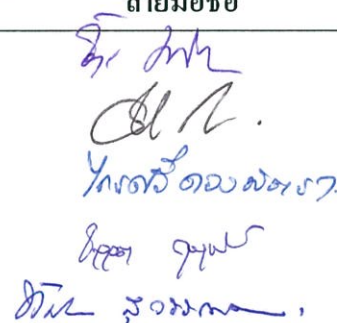
รหัสประจำตัว 43065610

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คุณ ไกรศรี ดวงพัตรา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ภัทรารุช	มนตรีวิเศษ	
ผศ.ดร.อิทธิพล	แจ่มชัด	
คุณไกรศรี	ดวงพัตรา	
ดร.ชลลดา	ฤตวิรุพห์	
คุณทัศนีย์	สุวรรณมงคล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 พฤษภาคม 2546 เวลา 13.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารามวาลัยลักษณะ 1 ชั้น 6 ห้อง 608

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัครชู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....7.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....2546.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบด้วย น้ำยางธรรมชาติ
นักศึกษา	นาย ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล
รหัสนักศึกษา	43065610
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	คุณไกรศรี ดวงพัตรา

บทคัดย่อ

ยางมะตอยชนิดปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ (Polymer modified asphalt, PMA) ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยเติมพอลิเมอร์ปริมาณเล็กน้อยลงในยางมะตอยผ่านเครื่องผสมที่มีแรงเฉือนสูง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ (Anionic asphalt emulsion) ด้วยน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex, NRL) ในรูปแบบน้ำยางข้นเพื่อนำไปใช้ในงานลาดถนน (Road construction) โดยทำการศึกษาดังต่อไปนี้ ที่มีผลต่อยางมะตอยอิมัลชันคือ ชนิดและปริมาณน้ำยางธรรมชาติได้แก่ น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก (High ammonia NRL) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย (Low ammonia NRL) และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized NRL) ที่ปริมาณ 3.5 – 10.0 %DRC (Dry rubber content) ชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ได้แก่แลคติกเคซีน (Lactic casein) โพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate) และวินโซลเรซิน (Vinsol[®] resin) จากการศึกษาพบว่าการใช้น้ำยางธรรมชาติสามารถปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบได้ เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมยางธรรมชาติพบว่าความหนืด (Viscosity) เพนิเทรชัน (Penetration) จุดอ่อนตัว (Softening point) และความคืนตัว (Recovery) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณยางมากเกินไป (เช่นมากกว่า 10 %DRC) ทำให้สมบัติบางประการ เช่น ความยืดดึง (Ductility) และเสถียรภาพ (Stability) ลดลง เนื่องจากเกิดการแยกวัฏภาคของยางมะตอยและยางธรรมชาติ ปริมาณยางธรรมชาติที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.0 – 7.5 %DRC จากการศึกษาผลของชนิดยางธรรมชาติที่ใช้ปรับปรุงพบว่า น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากให้ผลใกล้เคียงกับน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย แต่ดีกว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ การเลือกใช้ระบบอิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินโซลเรซิน[®] ทำให้ได้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีเสถียรภาพดีกว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว และการใช้ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปส่งผลต่อสมบัติของยางมะตอยอิมัลชัน

Thesis Title	Modification of Anionic Asphalt Emulsion with Natural Rubber Latex
Student	Mr.Thaweesak Yotyingthammakul
Student ID	43065610
Degree	Master of Science
Programme	Technology Polymer
Year	2003
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Ittipol Jangchud
Thesis Co-advisor	Mr.Krisri Duangpatra

ABSTRACT

Polymer modified asphalt (PMA) has been used widely in all over the world. It can be prepared by adding a small amount of polymers in hot asphalt and mixing it by a high shear mixing machine. This research was focused on modification of anionic asphalt emulsion by mixing with natural rubber latex (NRL) by a colloid-mill. Parameters affecting asphalt properties were studied, such as, types (i.e. high ammonia (HA), low ammonia (LA) and pre-vulcanized (Pre) lattices), % latex loading, type and amount of emulsifiers (lactic casein, potassium oleate and Vinsol[®] resin). It was found that some properties of asphalt emulsion were enhanced by adding NR latex. Asphalt properties, such as, viscosity, penetration, softening point, and elastic recovery had a trend to increase by increasing % NR loading. However, some properties, such as, ductility and stability were deteriorated when high % NR loading was incorporated due to phase separation. This finding was confirmed by morphological study. Optimum properties of NR modified asphalt were found at 5.0 – 7.5 % DRC loading. It was revealed that types of NR latex had trivial effects on asphalt properties. By using a blend of lactic casein and Vinsol[®] resin as the emulsifiers, good asphalt stability was achieved. The amount of the emulsifier had an effect on NR dispersion in the asphalt. Surprisingly, the efficiency of the modification of asphalts by pre-vulcanized latex was found to be less than that of the concentrated ones.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด ที่ให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือและเอาใจใส่ดูแลการทำงานของผู้วิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณไกรศรี ดวงพัตรา บริษัทแบมโก จำกัด ที่รับเป็นที่ปรึกษาร่วมของงานวิจัย คอยให้ความสนับสนุนทั้งด้านความรู้และอุปกรณ์สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการอ่าน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณ คุณทัศนีย์ สุวรรณมงคล และพี่ ๆ เจ้าหน้าที่กรมทางหลวง ที่ให้คำปรึกษาและคอยให้ความช่วยเหลือด้านการทดสอบตัวอย่างยางมะตอยอยู่เสมอ

ขอขอบคุณ คุณพัฒนา แห่งพิบูลย์ บริษัทแอนเซลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำยางพรีวัลคาไนซ์เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณณพรัตน์ วิชิตชลชัย ที่ให้ความสะดวกในการติดต่อประสานงานกับสถาบันวิจัยยาง และให้ความอนุเคราะห์น้ำยางชั้นเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่สนับสนุนทุนในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ ๆ นักวิทยาศาสตร์ และบุคลากร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน รวมถึงเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความสนับสนุนด้านการเงินตลอดงานวิจัย

ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการคำย่อ.....	IX
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2. ทฤษฎีและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ยางมะตอย.....	5
2.1.1 ส่วนประกอบหลักในยางมะตอย.....	6
2.1.2 ยางมะตอยสำหรับงานก่อสร้างผิวถนน.....	8
2.2 น้ำยาง.....	13
2.2.1 น้ำยางชั้น.....	15
2.2.2 น้ำยางพรีวัลคาไนท์.....	16
2.3 การทดสอบน้ำยางชั้นและยางมะตอยอิมัลชันเบื้องต้น.....	17
2.3.1 การทดสอบน้ำยางชั้น.....	17
2.3.2 การทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันเบื้องต้น.....	21
2.4 ยางมะตอยปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์.....	22
2.5 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3. การทดลอง.....	29
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	31
3.3 วิธีการทดลอง.....	34
บทที่ 4. ผลการทดลอง.....	41
4.1 สภาวะการผสม	43
4.2 สารละลายอิมัลชันไฟเออร์.....	44
4.3 ผลของปริมาณอิมัลชันไฟเออร์.....	50
4.4 ผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติ.....	55
4.4.1 ความหนืดแบบเซโบลิวฟูรอล.....	56
4.4.2 การตกตะกอน.....	58
4.4.3 จุดอ่อนตัว.....	59
4.4.4 ความคืบตัว.....	62
4.4.5 เหนียวขึ้น.....	63
4.4.6 ความยืดดึง.....	65
4.4.5. สันฐานวิทยา.....	71
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ.....	73
บทที่ 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก ก สมบัติเชิงกล.....	81
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบสมบัติยางมะตอย.....	85
ภาคผนวก ค ข้อกำหนดที่ ทล. – ก.405/2538.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบในยางมะตอยที่ได้จากแหล่งต่างกัน 4 แหล่ง	5
2.2 ตัวอย่างส่วนผสมสำหรับการทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	17
2.3 การกำหนดขีดจำกัดของสมบัติน้ำยางชั้นที่ผลิตจากวิธีการบั่นและจากวิธีทำให้เป็นครีม ตามมาตรฐาน ISO – 2004 – 1979 (E)	18
2.4 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติยางมะตอย.....	24
3.1 สมบัติบางประการของยางมะตอยที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2 สมบัติบางประการของน้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3 สมบัติประการของแลคติกเคซินที่ใช้ในการทดลอง.....	31
3.4 สมบัติบางประการของสารชั้นที่ใช้ในการทดลอง.....	31
3.5 สูตรการผสมเบื้องต้น.....	34
4.1 สูตรการผสมสารละลายอิมัลชันไฟเออร์เบื้องต้น.....	45
4.2 สูตรการผสมสารละลายอิมัลชันไฟเออร์.....	47
4.3 ผลการทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันสูตรการทดลองที่ 6.....	49
4.4 ผลการทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้น ชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณต่าง ๆ.....	68
4.5 ผลการทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้น ชนิดแอมโมเนียน้อยที่ปริมาณต่าง ๆ.....	69
4.6 ผลการทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	70
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบการผลิตยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วย น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ 5.0 %DRC (บาท/กิโลกรัม).....	73
5.1 สรุปสูตรผสมยางมะตอยอิมัลชันปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติที่ได้จากงานวิจัยนี้.....	76
5.2 ผลการทดสอบยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้น ชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณ 5.0 %DRC.....	77

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ยางแผ่นจากยางธรรมชาติ.....	1
1.2 ตัวอย่างการเสียดสภาพของผิวถนนยางมะตอย	2
2.1 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของสารอิมัลชันและสารอะโรมาติก.....	6
2.2 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของแอสฟัลต์ทีน	7
2.3 โครงสร้างแบบไมเซลล์ของยางมะตอย.....	7
2.4 การลาดถนนด้วยยางมะตอย.....	8
2.5 ภาพแสดงคอลลอยด์ของยางมะตอยอิมัลชัน.....	11
2.6 วิธีการผสมยางมะตอยอิมัลชัน.....	11
2.7 ส่วนประกอบทั่วไปในการปูถนน.....	13
2.8 ตัวอย่างภาพถ่ายสัญญาณวิทยาของยางมะตอยผสมพอลิเมอร์.....	23
3.1 ภาพถ่ายเครื่องผสมยางมะตอยอิมัลชัน.....	32
3.2 ตัวอย่างเครื่องทดสอบยางมะตอย.....	33
3.3 ภาพวาดเครื่องทดสอบจุดอ่อนตัว.....	33
3.4 ภาพวาดเครื่องทดสอบความยืดดึง.....	33
4.1 ภาพวาดแสดงโครงสร้างอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ.....	45
4.2 ภาพถ่ายยางมะตอยอิมัลชันเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง.....	49
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดอ่อนตัวกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	51
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความคืนตัวกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	52
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพนิเทรชันกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	53
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยืดดึงกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	54
4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงสัญญาณวิทยาของยางมะตอยอิมัลชัน ที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณต่างกัน (กำลังขยาย 40 เท่า).....	55
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดแบบเซโบลิวฟูรอลของยางมะตอยอิมัลชัน กับปริมาณยางธรรมชาติ	57
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชัน กับปริมาณยางธรรมชาติ.....	59
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ...	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นตัวของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ ...	62
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ	64
4.13 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางธรรมชาติทำให้เกิดการขาดของสายโซ่.....	65
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยืดดึงของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ.....	67
4.15 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชัน ที่ไม่เติมน้ำยาง (กำลังขยาย 40 เท่า).....	71
4.16 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชัน ที่เติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก (กำลังขยาย 40 เท่า).....	72
4.17 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชัน ที่เติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (กำลังขยาย 40 เท่า).....	72

รายการคำย่อ

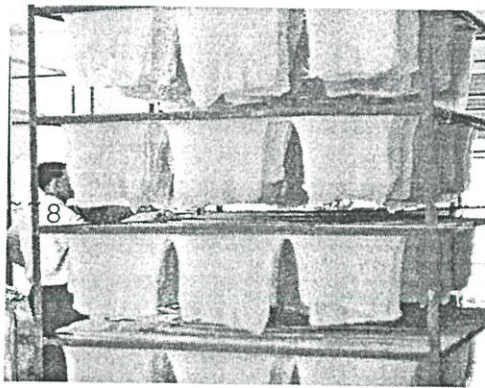
AC, A/C	แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement)
DRC	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content)
HA	น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก (High ammonia concentrated latex)
KOH	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)
LA	น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย (Low ammonia concentrated latex)
Mw	น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)
NH ₃	แอมโมเนีย (Ammonia)
NR	ยางธรรมชาติ (Natural rubber)
NRL	น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex)
PE	พอลิเอทิลีน (Polyethylene)
PMA	ยางมะตอยชนิดปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ (Polymer modified asphalt)
PP	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)
Pre	น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized latex)
PVA	พอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate)
PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)
SBR	ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene butadiene rubber)
SIS	สไตรีนบิวทาไดอีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (Styrene isoprene block copolymer)
TSC	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content)
VFA	ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid)
% wt	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by weight)
อิมัลชัน	ยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก มีปริมาณการผลิตถึง 2.5 ล้านตัน (ประมาณการในปี พ.ศ.2546) [1] ยางธรรมชาติส่วนใหญ่ประมาณ 90 % ถูกส่งออกนอกประเทศ ในรูปของวัตถุดิบซึ่งมีราคาถูก (มูลค่าประมาณ 55,000 ล้านบาท) ที่เหลือถูกส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ยางแปรรูป (มูลค่าประมาณ 35,000 ล้านบาท) [1] เห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นเพียงผู้นำด้านปริมาณการผลิตยางดิบเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลให้เกิดงานวิจัยหลายงานเพื่อแปรรูปยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่เพิ่มมูลค่า และสอดคล้องกับความต้องการใช้งานทั้งภายใน และภายนอกประเทศมากขึ้น และเนื่องจากปัญหาเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นทั่วโลก ส่งผลให้ความต้องการบริโภคยางธรรมชาติของโลกมีปริมาณลดลง รวมทั้งปัญหาการแข่งขันการส่งออกจากประเทศคู่แข่ง เช่น ประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย เป็นต้น ทำให้มีปริมาณยางธรรมชาติเกินความต้องการของตลาดโลก



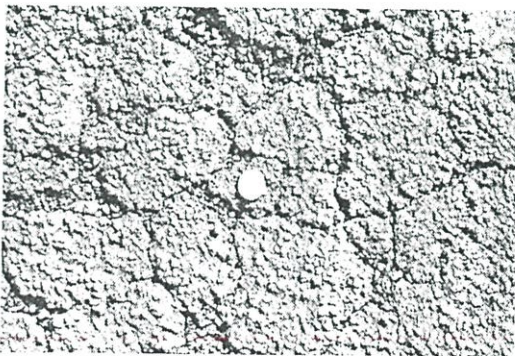
รูปที่ 1.1 ยางแผ่นจากยางธรรมชาติ [2]

การขนส่งทางบกเป็นเส้นทางที่มีความสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน และยังคงมีความต้องการเส้นทางขนส่งใหม่เพิ่มขึ้น โดยอาจอยู่ในรูปการขยายเส้นทาง หรือการสร้างถนนเพิ่มเพื่อกระจายความเจริญไปสู่ชนบท จึงมีความต้องการวัสดุในการก่อสร้างเส้นทางปริมาณมาก วัสดุที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการสร้างถนนคือ ยางมะตอย (Asphalt หรือ Bitumen) ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ปูที่ผิวทางเนื่องจากมีความเรียบ และให้ความสบายขณะรถวิ่ง ประกอบกับปริมาณการบรรทุกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้องเพิ่มจำนวนเที่ยวในการขนส่ง และเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ยางมะตอยที่ใช้ทำผิวถนนจึงเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว การซ่อมแซมแต่ละครั้งต้องใช้เวลาและ

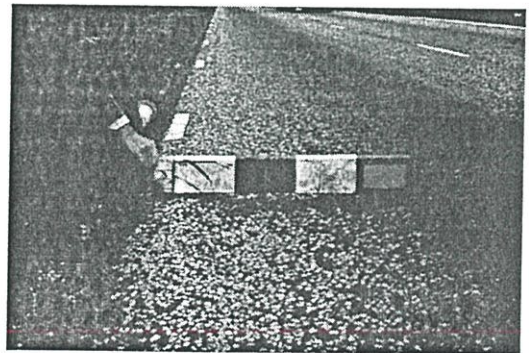
งบประมาณจำนวนมาก เป็นเหตุผลให้เกิดการพัฒนาประสิทธิภาพยางมะตอยในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย การใช้อย่างมะตอยปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ (Polymer modified asphalt, PMA) เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยประสิทธิภาพของยางมะตอยให้ทนทานต่อสภาวะการใช้งานที่หลากหลาย โดยสามารถเลือกพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเด่นในแต่ละด้านมาปรับปรุงให้ยางมะตอยมีคุณสมบัติตามต้องการ ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ เช่น สไตรีนบิวทาไดอีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (Styrene butadiene block copolymer, SBS) และยางรีเคลมจากยางรถยนต์ (Reclaimed tire rubber) เป็นต้น

1.1.1 ลักษณะความเสียหายของยางมะตอย [3]

1. **ผิวทางแตกร้าว (Thermal and Fatigue cracking)** คือปรากฏการณ์ที่เกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวหน้าของยางมะตอย เกิดจากผิวทางมีสภาพแข็งเปราะ ขาดความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อมีน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ หรืออยู่ภายใต้การใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จึงเกิดรอยแตกร้าว
2. **ผิวทางเยิ้ม (Bleeding)** คือปรากฏการณ์ที่ยางมะตอยซึมขึ้นมารวมกันที่ผิวทางเมื่อได้รับความร้อน ยางที่ซึมขึ้นมาทำให้ผิวทางลื่น เกิดจากยางมะตอยที่ใช้มีความหนืด และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature susceptibility) ต่ำ
3. **ผิวทางเกิดร่องล้อ (Rutting)** คือปรากฏการณ์ที่ผิวยางมะตอยยุบตัวเป็นร่องตามแนวล้อที่แล่นทับ ส่วนมากมักเกิดหลังจากผิวทางมียางเยิ้ม เกิดจากผิวทางไม่แข็งแรง และขาดสมบัติการยืดหยุ่นทำให้เกิดการยุบตัวแบบถาวรเมื่อได้รับแรง
4. **ผิวหน้าทางหลุดเป็นขี้วดัง (Raveling)** คือปรากฏการณ์ที่ผิวทางสึกกร่อนหลุดร่อนออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ เนื่องจากวัสดุส่วนที่ผิวหน้าของยางมะตอยถูกแรงเฉือน (Shear force) จากล้อรถตะกุกจนหลุดออก ทำให้ผิวทางมีลักษณะขรุขระ



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการเสียหายของผิวถนนยางมะตอย (ก) ผิวหน้าทางหลุดเป็นขี้วดัง และ (ข) ผิวทางเกิดร่องล้อ [3]

จากสาเหตุที่กล่าวมาทั้งหมดจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงยางมะตอยที่ใช้ ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มคุณภาพตัวประสาน (Binder) เพื่อให้ยางมะตอยมีสมบัติดังนี้

- มีความหนืด (Viscosity) สูง
- มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal susceptibility) สูง
- มีอุณหภูมิที่จุดอ่อนตัว (Softening point) สูง
- มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ดี
- มีแรงยึดเหนี่ยวในตัวเอง (Cohesive) ดี
- มีอายุการใช้งาน (Aging resistance) นาน

เทคโนโลยีการพัฒนาสมบัติยางมะตอยที่ได้ผลอย่างหนึ่งคือ การเติมพอลิเมอร์ลงในยางมะตอยเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยนิยมทำกันมากในประเทศแถบยุโรป และอเมริกา สำหรับประเทศไทยมีการนำยางมะตอยที่ปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์มาใช้กับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นบางสายแล้ว โดยพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ได้แก่ ยางสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน (SBS) และยางนีโอพรีน (Neoprene rubber) เป็นต้น

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการนำยางธรรมชาติในรูปแบบของน้ำยางข้น (Concentrated natural rubber latex) มาผสมในยางมะตอยโดยใช้เทคนิคอิมัลชัน (Emulsion) ซึ่งต่อไปจะเรียกว่ายางมะตอยอิมัลชัน (Asphalt emulsion) ด้วยเครื่องคอลลอยด์มิลล์ (Colloid - mill) ซึ่งให้แรงเฉือนสูง เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมถึงเป็นการเพิ่มปริมาณ และมูลค่าการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ โดยอาศัยข้อดีของยางธรรมชาติได้แก่ มีความคงตัว (Stability) สูง ความยืดหยุ่น (Elasticity) ดี และต้านทานความล้า (Fatigue resistance) ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาการผสมน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ในรูปแบบน้ำยางข้นกับยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ (Anionic asphalt emulsion)
2. ศึกษาอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติกับยางมะตอยที่ให้สมบัติยางมะตอยอิมัลชันดีที่สุด
3. ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ที่มีต่อยางมะตอยอิมัลชัน
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำยางธรรมชาติให้ได้มาตรฐานกรมทางหลวง (ทล. - ก. 405/2538)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาข้อกำหนดมาตรฐาน และลักษณะการใช้งานยางมะตอยในประเทศ
2. ศึกษาผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 3.5 - 10.0 % ของปริมาณเนื้อยางแห้ง

3. ศึกษาสภาวะและอัตราส่วนผสมของยางมะตอยอิมัลชันที่ใช้ในงานลาดถนนตามมาตรฐานกรมทางหลวง

4. ศึกษาผลของชนิดน้ำยางธรรมชาติ

- 1) น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก (High ammonia concentrated NRL)
- 2) น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อย (Low ammonia concentrated NRL)
- 3) น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized concentrated NRL)

5. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

- 1) แลคติกเคซีน (Lactic casein)
- 2) วินโซลเรซิน (Vinsol[®] resin)
- 3) โพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate)

6. ศึกษาสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางธรรมชาติได้แก่ สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) เช่น ความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล (Saybolt furl viscosity) จุดอ่อนตัว (Softening point) ความคืนตัว (Elastic recovery) เพนิเทรชัน (Penetration) ความยืดดึง (Ductility) และสัณฐานวิทยา (Morphology) เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางมะตอยที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด รวมถึงผลของสารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในระบบ
2. ปรับปรุงประสิทธิภาพของยางมะตอยที่ใช้ปูถนน
3. เพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ และเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติ

บทที่ 2

ทฤษฎีและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางมะตอย (Asphalt or Bitumen)

ยางมะตอยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นส่วนที่ระเหยยาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โครงสร้างสลับซับซ้อนประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ มากมาย ขึ้นกับชนิดและแหล่งที่มาของน้ำมันดิบ (Crude oil) และกระบวนการในการกลั่นทำให้บริสุทธิ์ (Distillation and Refinery process) จากการตรวจสอบเฉพาะในอเมริกามีการใช้ น้ำมันดิบจากแหล่งที่มาต่างกัน มากกว่า 120 แห่ง และมีกระบวนการกลั่นที่นิยมเพียงไม่กี่ชนิดที่นิยมใช้ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ กระบวนการที่ทำารกลั่นและทำให้บริสุทธิ์ก่อน แล้วจึงรวบรวมายางมะตอยที่เหลืออยู่จากกระบวนการ และกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือทางกายภาพ ในยางมะตอย นอกจากนี้ยังมีการผสมน้ำมันดิบจากหลายแห่งเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ยางมะตอยที่มีสมบัติต่างออกไป ตารางที่ 2.1 เป็นตัวอย่างส่วนประกอบในยางมะตอยจากน้ำมันดิบแหล่งต่างกัน

ตารางที่ 2.1 ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบในยางมะตอยที่ได้จากแหล่งต่างกัน 4 แหล่ง [4]

ธาตุ	แม็กซิโก	หลุยเซียน่า	บอสตัน	แคลิฟอร์เนีย
คาร์บอน	83.77%	85.78%	82.90%	86.77%
ไฮโดรเจน	9.910%	10.19%	10.45%	10.93%
ไนโตรเจน	0.280%	0.260%	0.780%	1.100%
กำมะถัน	5.250%	3.410%	5.430%	0.990%
ออกซิเจน	0.770%	0.360%	0.290%	0.200%
วาเนเดียม (ppm)	180.0	7.000	1380	4.000
นิกเกิล (ppm)	22.00	0.400	109.0	6.000

จากตารางที่ 2.1 เห็นได้ว่าอัตราส่วนของธาตุคาร์บอน (Carbon, C) ต่อธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen, H) ของยางมะตอยจากทุกที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณของส่วนประกอบอื่น ๆ มีค่าแตกต่างกันไปซึ่งสารเหล่านี้เองทำให้เกิดสมบัติต่าง ๆ กันของยางมะตอย

ยางมะตอยมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการคือ

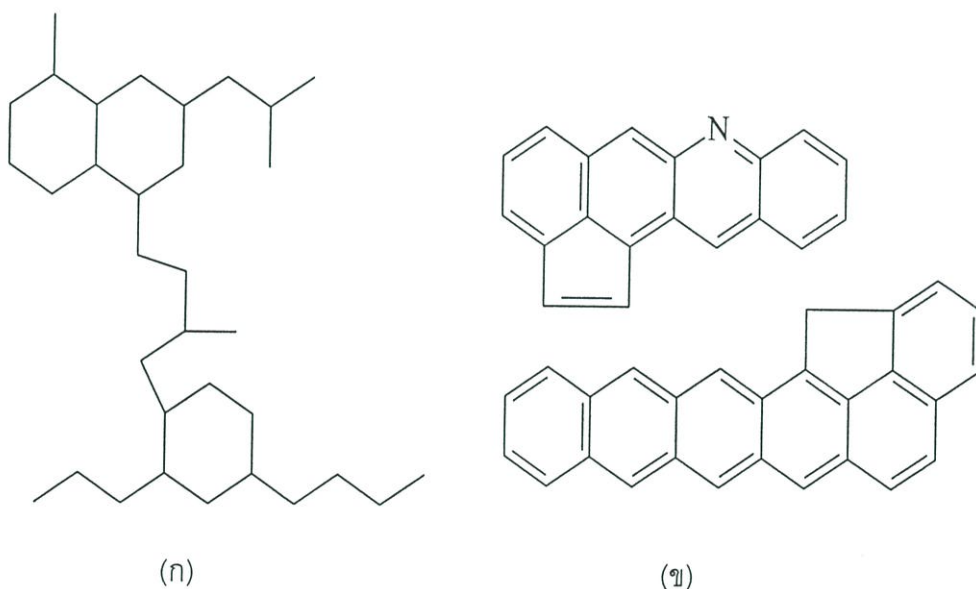
- 1) สมบัติในการยึดหยุ่น และประสาน (Cementing)

- 2) สมบัติในการป้องกันน้ำซึม (Water proofing)
- 3) สมบัติที่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง (Thermoplastic)
- 4) สมบัติในการทนกรด-ด่างอ่อน ๆ

2.1.1 ส่วนประกอบหลักในยางมะตอย

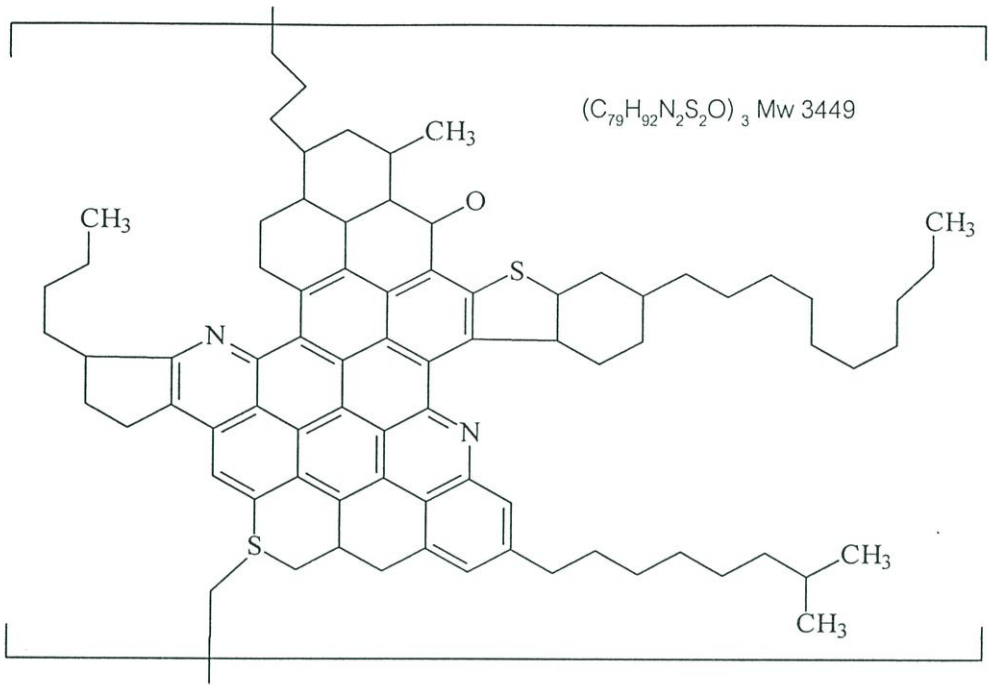
2.1.1.1 สารอิ่มตัว (Saturated) ประกอบด้วยสารที่มีโครงสร้างหลักคล้ายสารพาราฟิน (Paraffin) วงแหวนแนฟทานิก (Naphthanic ring) และไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรงที่มีความยาว (Long straight chain hydrocarbon) มีลักษณะเหนียวคล้ายจารบี

2.1.1.2 สารอะโรมาติก (Aromatics) ส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ประมาณ 25 – 30 % และมีออกซิเจนหรือไนโตรเจนอยู่เล็กน้อย มีลักษณะข้นเหนียวเป็นสีดำ

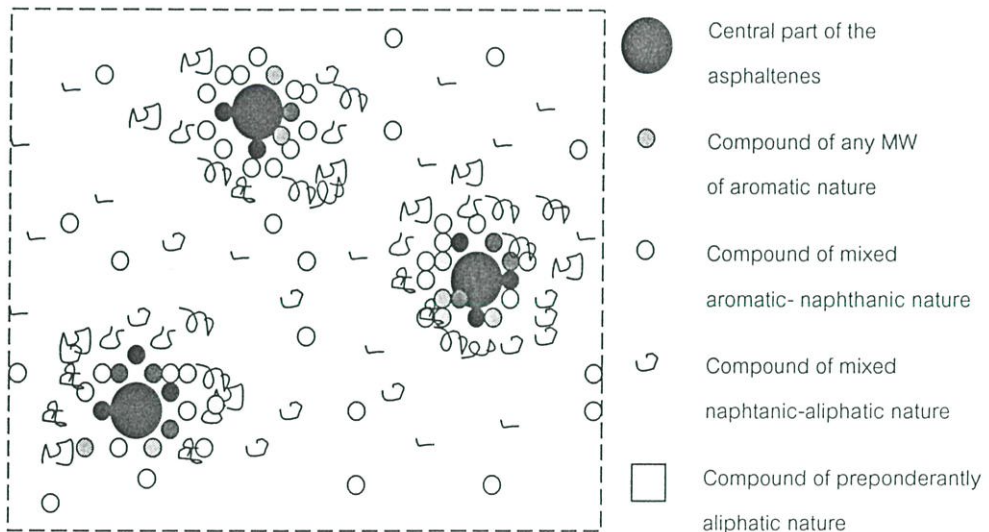


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุล (ก) สารอิ่มตัว และ (ข) สารอะโรมาติก [4]

2.1.1.3 สารอะโรมาติกที่มีขั้ว (Polar aromatics) ส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอะโรมาติกเป็นส่วนประกอบประมาณ 35 – 40 % มีออกซิเจนหรือไนโตรเจนมากกว่า 1 % และอาจมีกำมะถันถึง 8 % รวมถึงมีโครงสร้างแสดงความเป็นประจุไฟฟ้า เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) หมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) และหมู่อะมิโน (Amino group) เป็นต้น มีลักษณะข้นเหนียวเป็นสีดำ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของแอสฟัลต์ทีน [4]



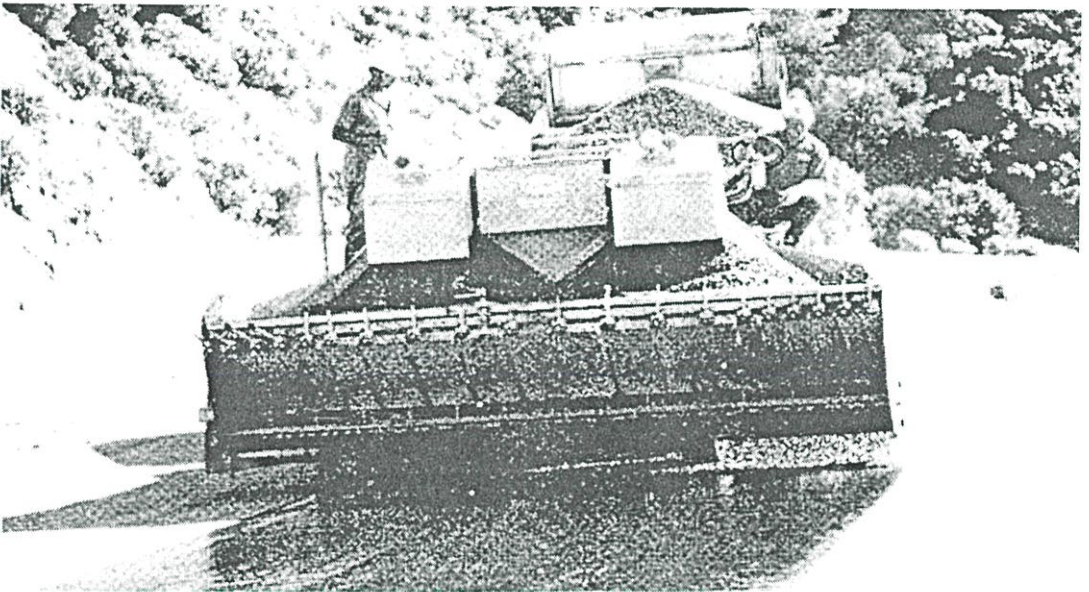
รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบไมเซลล์ของยางมะตอย [5]

สัดส่วนของสารอิมิตัวต่อสารอะโรมาติกเป็นตัวกำหนดปริมาณของสารอะโรมาติกมีซัว ซึ่งสารอะโรมาติกมีซัวนี้เองที่เป็นตัวกำหนดสมบัติของยางมะตอยว่าจะเหนียว และยืดหยุ่นได้ดีเพียงใดที่อุณหภูมิปกติ รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของยางมะตอยคือ แอสฟัลต์ทีน (Asphaltene) ซึ่งประกอบด้วยสารอะโรมาติกขนาดใหญ่ (Multiring aromatic) สารอะโรมาติกขนาดใหญ่ที่มีซัว

(Multiring polar aromatic) และบริเวณรอบ ๆ แอสฟัลต์ทีนซึ่งเกิดจากส่วนประกอบไม่กี่ชนิดได้แก่ ส่วนที่มีหมู่ฟังก์ชันมากมายที่แสดงความเป็นขั้ว (Vary functionality) ส่วนอะโรมาติกที่ไม่มีขั้ว และ ส่วนอะลิฟาติก (Aliphatic) ส่วนรอบ ๆ นี้เองที่ทำให้ยางมะตอยแสดงสมบัติเป็นนิวโตเนียน (Newtonian) และรักษาสภาพแอสฟัลต์ทีนให้อยู่ในรูปสารละลายคอลลอยด์ (Colloidal solution)

2.1.2 ยางมะตอยสำหรับงานก่อสร้างผิวถนน (Paving asphalt materials)

ยางมะตอยที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจรนั้นมีหลายชนิด ขึ้นกับความเหมาะสมต่องาน และสภาพดินฟ้าอากาศ แต่สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิดคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cements, AC) และแอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid asphalt)



รูปที่ 2.4 การลาดถนนด้วยยางมะตอย [6]

2.1.2.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิปกติ และมีหลายเกรด ขึ้นกับความแข็งที่นิยมบอกเป็นค่าเพนิเทรชัน (Penetration) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าเพนิเทรชัน คือจำนวนหน่วยของระยะทางที่เข็มมาตรฐานซึ่งถูกกดด้วยน้ำหนัก 100 กรัม นาน 5 วินาที ที่ อุณหภูมิ 25 °C จมลงในยางมะตอย (หนึ่งหน่วยเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร) สามารถแบ่งชนิดหรือ เกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามการผลิตได้ 3 ชนิดคือ

1) เกรดเพนิเทรชัน (Penetration grade) ได้จากการกลั่นน้ำมันโดยตรง ได้แก่ AC 60/70 โดย AC หมายถึงแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ 60/70 คือมีค่าเพนิเทรชันอยู่ในช่วง 60 – 70 ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้บอกความแข็งของยางมะตอยคือ เข็มกดลงไปได้ 6 – 7 มิลลิเมตร

2) เกรดเป่า (Blown grade) ได้จากการนำยางเกรดเพนิเทรชันไปเป่าด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 250 – 300 °C ทำให้ทนความร้อน และมีความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในยางมะตอย การเป่าด้วยลมร้อนทำให้ปริมาณแอสฟัลต์ทินในยางมะตอยสูงขึ้น ตัวอย่างของยางมะตอยเกรดเป่าได้แก่ R 85/25, R 85/40, R 115/15, R 135/10 และ R 155/7 เป็นต้น สำหรับยางมะตอยเกรด R 85/25 อักษร R หมายถึงมีลักษณะคล้ายยาง (Rubbery) คือมีคุณสมบัติบางส่วนของคล้ายยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ ตัวเลข 85 หมายถึงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจุดอ่อนตัว (Softening point) ของยางมะตอยเป็นองศาเซลเซียส (°C) และตัวเลข 25 หมายถึงค่าเพนิเทรชันเฉลี่ยของยางมะตอย

3) เกรดแข็ง (Hard grade) คือการนำยางมะตอยเกรดเพนิเทรชันไปกลั่นภายใต้ระบบสุญญากาศที่อุณหภูมิสูง ทำให้ส่วนที่เบาระเหยออกไปอีก ยางมะตอยที่ได้จะมีความแข็งมากขึ้น ตัวอย่างยางมะตอยชนิดเกรดแข็งได้แก่ H 80/90 โดย H หมายถึงยางมะตอยที่มีความแข็งสูง และ 80/90 คือค่าอุณหภูมิที่จุดอ่อนตัว ค่าความแข็งของยางมะตอยชนิดนี้อยู่ในช่วง 6 – 12 คือเข็มกดได้ 0.6 – 1.2 มิลลิเมตรเท่านั้น

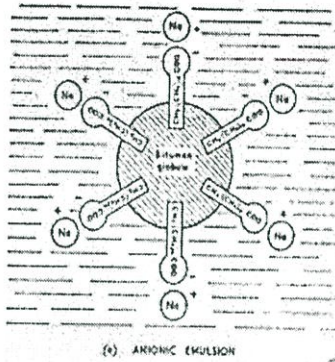
2.1.2.2 แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid asphalt) แบ่งได้เป็น คัดแบคแอสฟัลต์ (Cutback asphalt) และแอสฟัลต์อิมัลชัน (Emulsified asphalt or Asphalt emulsion) คัดแบคแอสฟัลต์ทำได้โดยการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลาย (Solvent) ซึ่งได้แก่น้ำมันชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันก๊าดโซลีน (Gasoline oil) น้ำมันก๊าด (Kerosene oil) และน้ำมันดีเซล (Diesel oil) เป็นต้น นิยมเรียกละลายเหล่านี้ว่าคัตเตอร์สต็อก (Cutter stock) ในสภาวะปกติยางมะตอยชนิดนี้เป็นของเหลว เมื่อนำไปราดผิวจราจรน้ำมันที่ใช้ผสมจะระเหยออกไป คงเหลือแต่ยางมะตอยเท่านั้น ความหนืดของยางมะตอยชนิดนี้ขึ้นกับชนิดของยางมะตอย ชนิดของตัวทำละลาย และปริมาณของตัวทำละลาย โดยหากเตรียมให้เหลวมากอาจไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนก่อนใช้งานเลยก็ได้

ยางมะตอยอิมัลชันหรือแอสฟัลต์อิมัลชันคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ถูกตีให้แตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ หรือคอลลอยด์ (Colloidal particle) กระจายอยู่ในตัวกลางที่มีอิมัลซิไฟเออร์อยู่เล็กน้อย ผลิตได้โดยผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 120 °C กับน้ำที่มีอิมัลซิไฟเออร์ผสมอยู่ 1 – 2 % ที่อุณหภูมิ 77 °C แล้วตีส่วนผสมที่ได้ด้วยเครื่องคอลลอยด์มิล ทำให้ยางมะตอยแตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ภายใต้สภาวะที่ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง โดยทั่วไปนิยมให้มีปริมาณยางมะตอยอยู่ 55 – 70 % ยางมะตอยอิมัลชันแบ่งตามประจุได้ 3 ประเภทคือ ยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวก (Cationic asphalt emulsion) คืออนุภาคยางมะตอยที่กระจายอยู่ในน้ำที่มีประจุเป็นบวก ยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ (Anionic asphalt emulsion) คืออนุภาคยางมะตอยที่กระจายอยู่ในน้ำที่มีประจุเป็นลบ และยางมะตอยอิมัลชันชนิดไม่มีประจุ (Non-ionic asphalt emulsion) คืออนุภาคของยางมะตอยที่กระจายอยู่ในน้ำที่ไม่มีประจุ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งตามความเร็วในการแตก

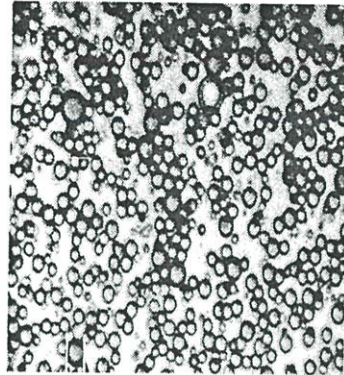
ตัว (Breaking time) ได้เป็นแอสฟัลต์ชนิดแข็งตัวเร็ว แข็งตัวปานกลาง และแข็งตัวช้า (Rapid, Medium, and Slow setting liquid asphalt) คือยางมะตอยที่แข็งตัวได้เร็วหรือช้าต่างกันไปขึ้นกับชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ ตัวทำละลายที่นำมาใช้ว่าจะเหยยได้เร็วหรือช้า และชนิดของงานที่ต้องการ โดยทั่วไปการทำยางมะตอยอิมัลชันมีส่วนประกอบหลัก 3 ชนิดคือ ยางมะตอย น้ำหรือตัวกลาง และสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying agents หรือ Emulsifiers) เป็นที่รู้จักกันว่ายางมะตอยกับน้ำไม่เข้ากัน เว้นแต่ทำให้อยู่ในสภาวะที่มีการควบคุมและใช้สารเคมีช่วย การผสมยางมะตอยกับน้ำมีลักษณะคล้ายกับการล้างกรีส (Grease) ที่ติดมือให้ออกด้วยน้ำเปล่า ซึ่งจะล้างไม่ออกจนกว่าจะมีการใช้สบู่หรือผงซักฟอกเข้าช่วย โดยอนุภาคของสบู่จะล้อมรอบอนุภาคกรีสเม็ดเล็ก ๆ (Globule) ซึ่งเป็นการลดแรงตึงผิว (Surface tension) ทำให้สารทั้ง 2 ชนิดเข้ากันได้ การทำยางมะตอยอิมัลชันก็สามารถพิจารณาได้ในแบบเดียวกัน ส่วนประกอบหลักของยางมะตอยอิมัลชันสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

- 1) ยางมะตอย เป็นส่วนประกอบชั้นพื้นฐานปกตินิยมใช้ยางมะตอยที่มีค่าเพนิเทรชันระหว่าง 100 – 250 ในอัตราส่วน 55 – 70 % โดยน้ำหนักของยางมะตอยอิมัลชัน เนื่องจากยางมะตอยเป็นสารที่มีส่วนประกอบหลากหลายแตกต่างกันไป จึงไม่มีสูตรผสมที่แน่นอนขึ้นกับสมบัติยางมะตอยอิมัลชันที่ต้องการ และความเข้ากันได้ของสารเคมีที่ใช้ รวมถึงสภาพแวดล้อมที่จะนำไปใช้ด้วย
 - 2) ตัวกลางหรือน้ำ (Medium or Water) เป็นส่วนประกอบอีกอย่างที่มีความสำคัญมากในการทำยางมะตอยอิมัลชัน โดยน้ำที่ใช้ต้องไม่มีผลทำให้สมบัติของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้ด้อยลง
 - 3) สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying agent) เป็นส่วนที่ทำให้ยางมะตอยผสมเข้ากับน้ำได้โดยการลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสอง การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดมีผลอย่างมากต่อสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้ เช่น การใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่ทำให้เกิดพื้นผิวที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Surface active agent) ช่วยให้เกิดการแตกตัวของยางมะตอยได้ดี และยังสามารถควบคุมเวลาในการแตกตัว (Breaking time) ได้ กรณียางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบนิยมใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ในรูปของกรดไขมัน (Fatty acid) ที่เป็นอนุพันธ์จากเปลือกไม้ เช่น เรซิน (Resin) หรือลิกนิน (Lignin) เป็นต้น การกระจายตัวของยางมะตอยในน้ำที่มีอิมัลซิไฟเออร์แสดงดังรูปที่ 2.5
- การทำยางมะตอยอิมัลชันมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของยางมะตอยในน้ำ และมีเสถียรภาพต่อการผสม การขนส่ง รวมถึงการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามยางมะตอยอิมัลชันที่เกิดขึ้นอาจถูกทำลายลงได้หากมีสภาวะที่ไม่เหมาะสม ยางมะตอยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนกระจายตัวได้แก่ แอสฟัลต์ทินเป็นส่วนที่แสดงความแข็งของยางมะตอย และส่วนต่อเนื่อง (Continuous phase) เป็นส่วนที่มีผลต่อสมบัติความเหนียว (Ductility) การยึดเกาะ (Adhesion) และความหนืด (Viscosity) ด้วยเหตุนี้เองเราจึงไม่สามารถระบุปริมาณที่แน่นอนของยางมะตอยใน

การผสมยางมะตอยอิมัลชันได้ โดยอัตราส่วนดังกล่าวมักขึ้นกับส่วนประกอบหลักของยางมะตอย แหล่งที่มา และสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันที่ต้องการ



(ก)

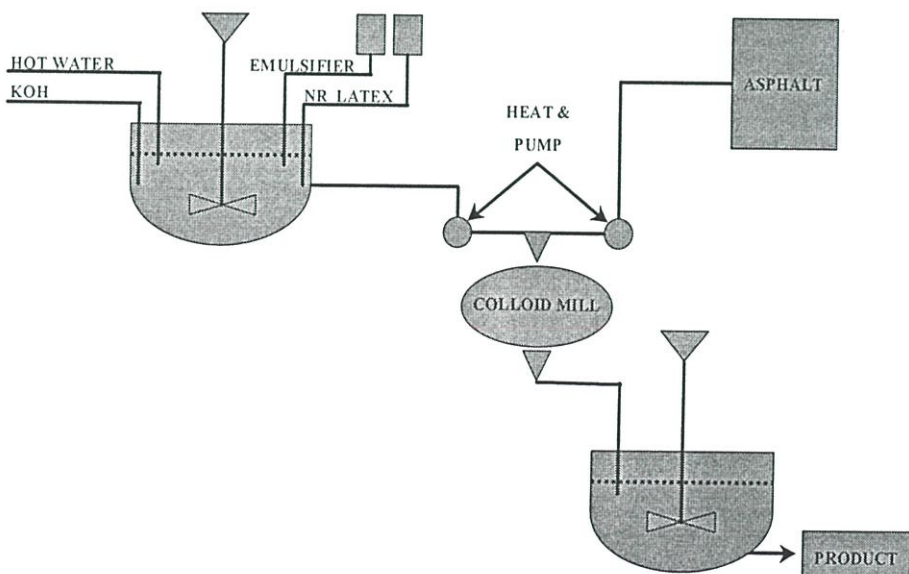


(ข)

รูปที่ 2.5 ภาพแสดงคอลลอยด์ของยางมะตอยอิมัลชัน (ก) อิมัลชันชนิดประจุลบ และ (ข) ภาพถ่ายลักษณะการกระจายตัวของยางมะตอยอิมัลชัน [6]

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อยางมะตอยอิมัลชันคือ

- 1) สมบัติทางเคมี และปริมาณของยางมะตอยที่ใช้
- 2) ชนิด และปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์
- 3) สภาวะการผลิต เช่น อุณหภูมิ ความดัน และแรงเฉือน เป็นต้น
- 4) ความเข้ากันได้ของยางมะตอย อิมัลซิไฟเออร์ และพอลิเมอร์ที่ใช้
- 5) สารเติมแต่งชนิดอื่น
- 6) ชนิดของเครื่องผสม และลำดับการใส่ส่วนผสม



รูปที่ 2.6 วิธีการผสมยางมะตอยอิมัลชัน [7]

1) การยึดเกาะ (Adhesion) เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถบอกถึงความทนทานของยางมะตอยอิมัลชันได้ เนื่องจากในการใช้งานยางมะตอยอิมัลชันต้องมีการสัมผัสกับวัสดุอื่น ๆ และยึดเกาะอยู่ที่ผิวสัมผัส ไม่หลุดหรือเกิดการแยกตัวออกจากกัน ซึ่งจะทำให้ยางมะตอยเกิดการเสื่อมสภาพได้รวดเร็ว แต่หากยางมะตอยที่ผลิตได้มีการยึดเกาะมากเกินไปอาจเกิดปัญหาในการลาดถนนหรือทำให้เป็นแผ่นที่มีความหนาสม่ำเสมอ ในการผลิตจึงต้องมีการควบคุมการยึดเกาะของยางมะตอยอิมัลชันให้เหมาะสมที่สัมพันธ์กับค่าแรงตึงผิววิกฤตของการเปียก (Critical surface tension of wetting)

2) ความหนืด (Viscosity) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการใช้งานยางมะตอยอิมัลชัน ซึ่งส่งผลโดยตรงกับความยากง่ายในการใช้งานโดยปกติยางมะตอยอิมัลชันที่ผลิตได้มักมีความหนืดเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป (Thixotropy)

ข้อดีของการใช้งานยางมะตอยอิมัลชันคือ

- 1) หลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง
- 2) มีการกระจายตัวของยางมะตอยอย่างสม่ำเสมอ
- 3) สามารถกำหนดเวลาในการแข็งตัวได้
- 4) ปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะได้ง่าย

ส่วนประกอบโดยทั่วไปของถนนลาดยางมะตอย

1) ชั้นผิวทาง (Surface dressing) คือชั้นบนสุดของทางที่เป็นผิวจราจร วัสดุที่นิยมเลือกใช้มีอยู่ 3 แบบคือ แบบแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete) แบบมีการปรับปรุงพื้นผิว (Surface treatment) และแบบชนิดหินโรย (Penetration macadam)

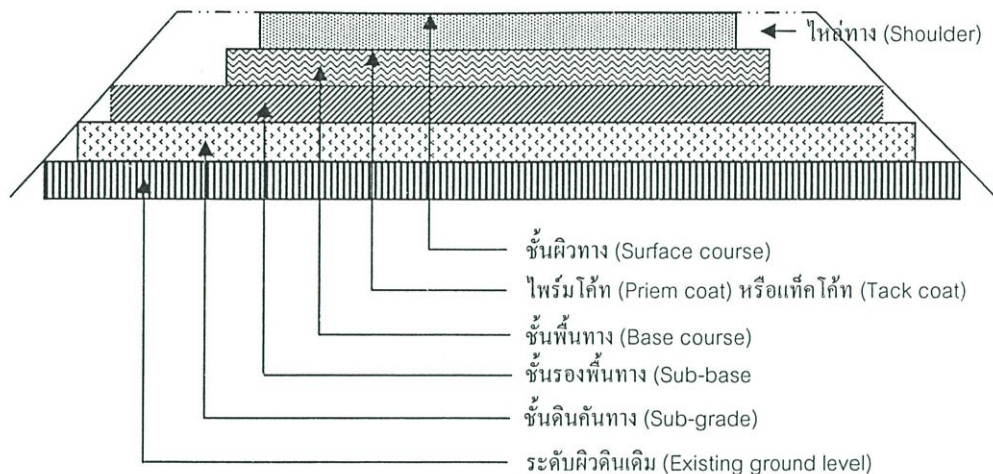
2) ไพรม์โค้ท (Prime coat) คือส่วนของยางมะตอยเหลวที่ราดบนผิวทางเพื่อยึดเชื่อมผิวทางให้ติดกับโครงสร้างอื่น ๆ

3) ชั้นพื้นทาง (Base course) คือชั้นของวัสดุที่มีสมบัติดี เช่น หินไม่หรือกรวดไม่ซึ่งมีขนาดคละกันตั้งแต่ใหญ่มาถึงเล็กหรือใช้แอสฟัลต์คอนกรีตแบบเดียวกับที่ผิวทาง

4) ชั้นรองพื้นทาง (Sub-base course) คือส่วนวัสดุรองใต้พื้นทาง นิยมใช้ลูกรังหรือดินที่มีสมบัติดี บดอัดแน่นบนคันทาง

5) ไหล่ทาง (Shoulder) คือส่วนที่เสริมด้านท้ายริมสุดของผิวทาง และพื้นทางทั้งสองข้างให้แน่นได้ระดับเท่ากับผิวทาง วัสดุที่ใช้เหมือนชั้นรองพื้นทาง

6) ชั้นดินคันทาง (Sub-grade course) เป็นวัสดุเกรดดี บดอัดแน่นบนผิวดินเดิม



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบทั่วไปในการปูถนน [8]

อันตรายที่เกิดจากยางมะตอยและการป้องกัน

ยางมะตอยส่วนใหญ่มีจุดวาบไฟสูงกว่า 100°C ซึ่งจัดว่าเป็นน้ำมันที่มีจุดวาบไฟสูง จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตามหากผสมยางมะตอยกับตัวทำละลายที่ติดไฟได้ง่าย จะทำให้มีความเสี่ยงเพิ่มขึ้น อันตรายที่มักเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปร่างยางมะตอยเป็นผลิตภัณฑ์ และการสัมผัส เช่น ถูยางมะตอยร้อนลวกผิวหนัง สัมผัสกับภาชนะหรือเครื่องมือที่ร้อน และการล้างยางมะตอยที่ติดออกจากผิวหนัง เป็นต้น ในการปฏิบัติงานจึงต้องใช้ความระมัดระวังดังนี้

- 1) ไม่ควรให้ยางมะตอยร้อนอยู่ใกล้กับสารที่มีไวระเหยหรือติดไฟได้ง่าย
- 2) อย่าให้น้ำเข้ามาถูกกับยางมะตอยร้อนเพราะยางมะตอยร้อนอาจพุ่งขึ้นมาถูกผู้ปฏิบัติงาน
- 3) ระวังไวระเหยจากการผสมยางมะตอยกับสารเคมีชนิดอื่น ๆ
- 4) ควรสวมใส่ถุงมือหนัง แวนหรืออุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ ทุกครั้งที่ปฏิบัติงาน
- 5) ไม่ควรล้างยางมะตอยที่ติดผิวหนังออกด้วยน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันเบนซิน

2.2 นํ้ายาง (Rubber latex)

นํ้ายางหรือลาเท็กซ์ (Rubber latex) หมายถึงสารละลายที่ประกอบด้วยส่วนของสารพอลิเมอร์ (ยาง) แขนวลอยอยู่ในตัวกลาง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่านํ้ายางประกอบด้วยสาร 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนของสารที่แขวนลอยหรือส่วนกระจายตัว (Dispersed phase) และส่วนของสารตัวกลาง (Dispersion medium) ส่วนกระจายตัวประกอบด้วยสารอนุภาคเล็ก ๆ ของพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน สำหรับสารที่เป็นตัวกลางโดยทั่วไปเรียกว่าเซรัม (Serum)

น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (Colloid) ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol, สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) ลักษณะของสารละลายคอลลอยด์ของน้ำยางนั้นสามารถอธิบายได้ว่าเป็นคอลลอยด์อิมัลชัน (Colloid emulsion) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีนี้ น้ำยางสังเคราะห์ด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

2.2.1 การจัดแยกประเภทน้ำยาง [10]

2.2.1.1 การจัดแยกจำพวกตามลักษณะที่ได้มา แบ่งได้เป็น

- 1) น้ำยางธรรมชาติ เช่น น้ำยางยางพารา และกัตตาเปอร์ชา (Gutta percha) เป็นต้น
- 2) น้ำยางสังเคราะห์ เช่น น้ำยางสังเคราะห์พอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate, PVA) น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ (SBR) เป็นต้น
- 5) น้ำยางนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ยางรีเคลม (Reclaim) เป็นต้น
- 6) น้ำยางชนิดปรับปรุงโครงสร้าง (Modified latex)

2.2.1.2 การจัดแยกจำพวกตามลักษณะทางเคมี เป็นการเรียกชื่อพอลิเมอร์ที่เป็นโครงสร้างหลักในน้ำยาง เช่น น้ำยางพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene) และน้ำยางพอลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นต้น

2.2.1.3 การจัดแยกจำพวกตามลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์หลัก แบ่งได้เป็น

- 1) น้ำยาง (Rubber lattices) ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีลักษณะของยางธรรมชาติ
- 2) น้ำยางเรซินหรือพลาสติก (Resin or Plastics lattices) ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีลักษณะของสารเรซิน (Resin nature)

น้ำยางคงตัวอยู่ในสภาพของน้ำยางเนื่องจากเหตุผล 2 ประการคือ อนุภาคน้ำยางสามารถต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นน้ำที่อนุภาคยางแขวนลอยอยู่ และอนุภาคน้ำยางมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแต่ละอนุภาคยางเอง กรณีแรกมีความสำคัญมากโดยเฉพาะกับน้ำยางธรรมชาติซึ่งปกติมักเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) ของสารที่ไม่ใช่เนื้อยางรอบ ๆ ผิวหน้าของอนุภาคยาง ในบางครั้งอาจเกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนที่เป็นน้ำกับพอลิเมอร์เองบ้าง กรณีที่สองจะมีส่วนของตัวกลางเป็นตัวช่วยกันไม่ให้อนุภาคน้ำยางอยู่ใกล้กันจนเกิดปฏิกิริยา

ปัจจัยที่มีผลต่อการคงสภาพเป็นน้ำยางคือ

- 1) การลดพลังงานก่อให้เกิดปฏิกิริยา เป็นการช่วยป้องกันการแยกตัวของพอลิเมอร์ออกจากส่วนที่เป็นน้ำหรือตัวกลาง
- 2) ผลจากประจุของอนุภาคยางที่เหมือนกัน ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคที่มีประจุเหมือนกัน น้ำยางส่วนมากมีประจุเป็นลบ (Anionic lattices)
- 3) ผลจากโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคยางช่วยกีดกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน

น้ำยางเมื่อเสียความคงสภาพไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม ส่วนของอนุภาคยางจะจับตัวกันเป็นก้อน (Coalescence) และแยกออกจากส่วนที่เป็นเซรุ่ม อาจแบ่งความแตกต่างของลักษณะการจับตัวของอนุภาคยางได้ 3 แบบ

1) แบบเจล (Gel) เกิดจากกระบวนการเกิดเจล (Gelation) โดยน้ำยางจะค่อย ๆ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวกลายเป็นกึ่งเจลที่มีรูปร่างเท่ากับก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีการหดตัวของเจล ทำให้ส่วนของเซรุ่มถูกบีบออกมาเรียกว่าซีเนอริซิส (Syneresis)

2) แบบโคแอกกูเลชัน (Coagulation) การจับตัวแบบนี้ ยางจะแยกออกจากส่วนที่เป็นน้ำ และตัวกลางเกิดเป็นก้อนยาง (Coagulum) ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคพอลิเมอร์ที่รวมตัวกัน และมีส่วนของเซรุ่มที่ติดอยู่ในก้อนยางด้วย

3) แบบฟลอคคูเลชัน (Flocculation) การจับตัวแบบนี้จะเกิดเม็ดเล็ก ๆ ของก้อนยางที่จับตัวกันจำนวนมาก อาจกล่าวได้ว่ากระบวนการฟลอคคูเลชันคือ ไมโครโคแอกกูเลชัน (Micro coagulation) นั่นเอง

2.2.2 น้ำยางข้น (Concentration latex)

น้ำยางสดจากต้นยางปกติมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) เฉลี่ย 35 % นอกนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำ ซึ่งไม่เป็นการประหยัดหากต้องทำการขนส่งไปในระยะทางไกล ๆ วิธีที่นิยมปฏิบัติคือ ทำให้น้ำยางมีความชื้นของเนื้อยางแห้งเป็น 60 % ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยประหยัดค่าขนส่ง ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอว่าน้ำยางสดเนื่องจากสารที่ไม่ใช่ยางบางส่วนถูกแยกออกไป และอุตสาหกรรมยางหลายชนิดต้องใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นเนื้อยางแห้งไม่น้อยกว่า 60 % เช่น การจุ่มแบบแม่แบบ (Dipping process) การผลิตยางฟองน้ำ (Latex foam process) การเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยยาง (Coating) เป็นต้น

การผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electro decantation) วิธีการปั่น (Centrifuging) และวิธีการระเหยน้ำ (Evaporation) เป็นต้น แต่ที่นิยมที่สุดคือ วิธีการปั่นเป็นการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางโดยการปั่น ซึ่งจะเพิ่มแรงดึงดูดของโลก (อาจทำได้ถึง 2000 – 3000 เท่า) ทำให้อนุภาคที่มีมวลต่างกันเคลื่อนที่ได้เร็วต่าง ๆ กันไป จึงสามารถแยกส่วนที่เป็นยางออกจากเซรุ่มได้ ด้วยการปั่นนี้เองน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางที่มีความเข้มข้นเนื้อยางแห้งประมาณ 60 % และส่วนของหางน้ำยาง (Skim latex) ขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตน้ำยางข้นคือ การรวบรวมและรักษาสภาพน้ำยางข้น สารเคมีที่นิยมใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางข้นคือ แอมโมเนีย (Ammonia) ซึ่งหาได้ง่าย ราคาถูก และรักษาสภาพน้ำยางได้ดี แต่แอมโมเนียมีข้อเสียบางประการคือ มีกลิ่นรุนแรง

บางกระบวนการผลิตจึงมีการลดการใช้ปริมาณแอมโมเนียลงเหลือเพียง 0.2 % เพื่อลดกลิ่นและช่วยให้เกิดเจล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตบางชนิด เช่น การผลิตยางฟองน้ำ เป็นต้น

สมบัติที่สำคัญที่ใช้ระบุคุณภาพของน้ำยางชั้น ได้แก่

- 1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC)
- 2) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)
- 3) ความเป็นด่าง (Alkalinity)
- 4) เวลาความคงตัวของเครื่องกล (Mechanical stability time)
- 5) จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA)
- 6) จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide number)
- 7) ปริมาณก้อนยางจับตัว (Coagulum content)
- 8) ปริมาณตม (Sludge content)

2.2.3 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized lattices)

ในปี 2457 - 2461 Schdidrowitz [10] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมโยงน้ำยางโดยไม่ผ่านการทำให้ยางจับตัวเป็นก้อนก่อน วิธีการที่ใช้คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 145 °C กับน้ำยางที่ผสมสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงในบางส่วน เช่น โซเดียมพอลิซัลไฟด์ (Sodium polysulfide) กำมะถัน (Sulfur) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) เป็นส่วนผสมเป็นเวลา 30 – 45 นาที ในช่วงสุดท้ายของกระบวนการต้องลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการเดือด (ที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงเนื่องจากในสมัยก่อนยังไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาในการเชื่อมโยงชนิดวงไวต่อการเกิดปฏิกิริยา) ต่อมาได้มีการปรับปรุงโดยเติมสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงชนิดวงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้อุณหภูมิที่ใช้ลดลงเหลือเพียง 70 – 80 °C แต่ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 1 ชั่วโมง การทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์นิยมใช้กับน้ำยางธรรมชาติ และมีประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่ม (Molding) และประเภทหล่อ (Casting) แบบพิมพ์

ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ [8]

- 1) อุ่นน้ำยางที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 30 นาที
- 2) ทำการผสมต่าง และสารป้องกันการเกิดคอลลอยด์จำนวนเล็กน้อยลงในน้ำยาง
- 3) ทำการใส่แอมโมเนียโดยวิธีระบายอากาศหรือการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)
- 4) ผสมกำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ และสารเร่งปฏิกิริยาปริมาณมากเกินพอ
- 5) ให้ความร้อนช้า ๆ และกวนตลอดเวลา จนอุณหภูมิถึง 75 °C แล้วรักษาระดับอุณหภูมิไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
- 6) ทำการทดสอบองศาการเชื่อมโยง (Degree of vulcanization)

- 7) ลดอุณหภูมิแล้วทำการกรองหรือปั่นแยกส่วนผสมที่เหลือออกจากน้ำยาง
- 8) เก็บน้ำยางที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน (เพื่อให้มีน้ำยางที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างส่วนผสมสำหรับการทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ [10]

ส่วนผสม	ปริมาณโดยน้ำหนัก	
	แห้ง	เปียก
น้ำยางข้น	100	167
ซิงค์ออกไซด์	1	-
ซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาบาเมต	1	8
กำมะถัน	2	-
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)	0.3	3
สารช่วยความคงตัว (10%)	0.2	2

การตรวจสอบองศาการเชื่อมโยง (Degree of vulcanization) อย่างง่ายทำได้หลายวิธี เช่น [8]

- 1) ทำให้น้ำยางเป็นแผ่นบางแห้ง แล้ววัดค่ามอดุลัส (Modulus) ที่ 600 และ 700 % ของการยืด ซึ่งค่ามอดุลัสจะมีค่าสูงมากขึ้นเมื่อองศาการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น
- 2) แยกน้ำยางมาเล็กน้อย เติมคลอโรฟอร์ม (Chloroform) หรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride) ปริมาณเท่ากับน้ำยาง โดยน้ำยางที่ยังไม่เชื่อมโยงจะให้ก้อนยางที่อ่อนตัวและยืดได้ ส่วนน้ำยางที่เชื่อมโยงแล้วจะให้ก้อนยางเป็นผงร่วนแห้ง
- 3) ทำให้น้ำยางเป็นแผ่นบางแห้ง จากนั้นนำแผ่นยางไปละลายในตัวทำละลาย เช่น เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) หรือน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ น้ำยางที่มีองศาการเชื่อมโยงสูงจะบวมตัว (Swell) ในตัวทำละลายได้น้อย

2.3 การทดสอบน้ำยางข้นและยางมะตอยอิมัลชันเบื้องต้น

2.3.1 การทดสอบน้ำยางข้น [11]

ปัจจุบันน้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายมีมากมายหลายแบบ จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานสากลเพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำยางข้น โดยเฉพาะประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติได้เป็นจำนวนมาก และมีการส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศ จึงมีความจำเป็นต้องมีระบบมาตรฐานควบคุมการผลิต แต่เนื่องจากยังมิได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำยางข้นภายในประเทศมาก่อน ดังนั้นทางราชการได้พิจารณาเห็นสมควรยึดถือการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำยางข้นตามมาตรฐาน

ขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO)

ตารางที่ 2.3 การกำหนดขีดจำกัดของสมบัติน้ำยางชั้นที่ผลิตจากวิธีการปั่น และจากวิธีทำให้เป็นครีมตามมาตรฐาน ISO – 2004 – 1979 (E) [11]

Characteristic	Limits					Method of test
	HA	LA	XA	HAC	LAC	
Total solid content, %(m/m)	> 61.5	> 61.5	> 61.5	> 66.0	> 66.0	ISO 124
Dry rubber content, %(m/m)	> 60.0	> 60.0	> 60.0	> 64.0	> 64.0	ISO 126
Non-rubber solid, %(m/m)	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	-
Alkalinity (as NH ₃), %(m/m)	> 0.60	< 0.29	> 0.30	> 0.55	< 0.35	ISO 125
Mechanical stability, sec	> 650	> 650	> 650	> 650	> 650	ISO 35
Coagulum content, %(m/m)	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ISO 706
Copper content, mg/kg of total solid	< 8.00	< 8.00	< 8.00	> 8.00	< 8.00	ISO/R 1654
Manganese content, mg/kg of total solid	< 8.00	< 8.00	< 8.00	< 8.00	< 8.00	ISO 1655
Sludge content, %(m/m)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	ISO 2005
Volatile fatty acid number (VFA)	As agreed by the interested parties but not to exceed 0.20					ISO 506
KOH number	As agreed by the interested parties but not to exceed 1.0					ISO 127
Color on visual inspection	No pronounced blue or gray					-
Odor after neutralization with boric acid	No pronounced odor of putrefaction					-

HA - น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก จากการปั่น ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว

LA - น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อย จากการปั่น ใช้แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น

XA - น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียปานกลาง จากการปั่น ใช้แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น

HAC - น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก จากการทำให้เกิดครีม ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว

LAC - น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อย จากการทำให้เกิดครีม ใช้แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น

2.3.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (Total solid content, %TSC)

มาตรฐานนี้กำหนดวิธีการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยางธรรมชาติที่มีสารเคมีเก็บรักษาและน้ำยางที่ได้ผ่านการทำเป็นน้ำยางชั้นบางแบบ รวมทั้งใช้สำหรับการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสังเคราะห์ทำได้โดยเทน้ำยาง 2 กรัม ลงในจานแก้วกลมก้นแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ที่ซึ่งน้ำหนักอย่างละเอียด แล้วทำให้น้ำยางแผ่กระจายทั่วจานแก้วโดยการหมุนช้า ๆ อบอุ่นอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 °C ประมาณ 12 – 16 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำอีกครั้งที่อุณหภูมิเดิมนาน 30 นาที ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำซ้ำจนได้น้ำหนักที่หายไปของแต่ละครั้งที่ทำต่อเนื่องแตกต่างกันน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (\%TSC)} = m_2/m_1 * 100$$

$$m_1 = \text{น้ำหนักน้ำยางที่เทลงในจานแก้ว}$$

$$m_2 = \text{ผลต่างของน้ำหนักจานแก้วกับน้ำหนักสุดท้ายหลังอบ}$$

ผลการทดสอบซ้ำจะแตกต่างกันได้ไม่เกิน 0.2 หน่วย

2.3.1.2 ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง (Dry rubber content, %DRC)

มาตรฐานนี้กำหนดวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางธรรมชาติที่มีสารเคมีเก็บรักษาอยู่และน้ำยางที่ได้ผ่านการทำเป็นน้ำยางชั้นบางแบบ ทำได้โดยเทน้ำยางตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 หรือ 150 มิลลิลิตรที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน เติมน้ำลงในน้ำยางประมาณ 10 – 20 มิลลิลิตร เพื่อให้น้ำยางเจือจางเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วหยดกรดอะซิติก (Acetic acid) ประมาณ 10 – 20 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 2% ปริมาตร/ปริมาตรในกรณีน้ำยางสด หรือ 6% ปริมาตร/ปริมาตรในกรณีน้ำยางชั้นหรือน้ำยางสดที่มีแอมโมเนีย ตั้งทิ้งไว้จนเซรุ่มมีลักษณะใส (ประมาณ 30 นาที) รวบรวมก้อนยางที่จับตัวกันแล้วรีดให้เป็นแผ่นที่มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร นำแผ่นยางไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 16 – 20 ชั่วโมง หรือจนแผ่นยางใสทั่วทั้งแผ่น ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ทำซ้ำจนได้น้ำหนักที่หายไปแตกต่างกันน้อยกว่า 5 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง (\%DRC)} = m_2/m_1 * 100$$

$$m_1 = \text{น้ำหนักน้ำยางที่เทลงในจานแก้ว}$$

$$m_2 = \text{น้ำหนักแผ่นยางแห้งหลังอบ}$$

ผลการทดสอบซ้ำจะแตกต่างกันได้ไม่เกิน 0.2 หน่วย

2.3.1.3 ปริมาณความเป็นด่าง (Alkalinity)

มาตรฐานนี้กำหนดวิธีการหาความเป็นด่างของน้ำยางธรรมชาติที่มีสารเคมีเก็บรักษาอยู่ และน้ำยางที่ได้ผ่านการทำเป็นน้ำยางชั้นบางแบบ ทำได้โดยการไทเทรตน้ำยาง 5 – 10 กรัม ที่ละลาย

ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารช่วยน้ำยางคงตัว (Stabilizer) 10 มิลลิลิตรอยู่ (ตัวอย่างสารช่วยคงตัว เช่น สารละลายเอทิลีนออกไซด์คอนเดนเสท (Ethylene oxide condensate) เข้มข้น 5% มวล/มวล ที่ปรับ pH เป็น 6.0 แล้ว) แบ่งน้ำยางตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร มาทำการไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) หรือสารละลายกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้เมทิลเรด (Methyl red) เป็นอินดิเคเตอร์ บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วคำนวณหาความเป็นด่างหรืออาจใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) วัดระหว่างการไทเทรตให้ได้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเป็น 6

$$\text{ความเป็นด่าง (\%NH}_3 \text{ ต่อน้ำหนักยาง)} = (1.7 \cdot N \cdot V) / W$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้เป็นนอร์มอล

V = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลายกรดที่ใช้

W = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างน้ำยาง

เมื่อตัวอย่างที่ทดสอบมีความเป็นด่างเกิน 0.5 หน่วย ให้ผลการทดลองซ้ำแตกต่างกันได้ไม่เกิน 0.02 หน่วย

2.3.1.4 จำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA) หมายถึง จำนวนกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันที่ระเหยได้ซึ่งอยู่ในน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งอยู่ 100 กรัม โดยใช้หลักการที่ทำให้น้ำยางเกิดการตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate) แล้วแยกเซรุ่มออกมา ทำเซรุ่มให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก จากนั้นนำเซรุ่มไปกลั่นด้วยไอน้ำแล้วหาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (ส่วนมากเป็นกรดอะซิติก) ด้วยวิธีการไทเทรตหาความเป็นกรดของของเหลวที่ได้จากการกลั่น

2.3.1.5 ปริมาณตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge content) หมายถึงสิ่งเจือปนที่ไม่ใช่พอลิเมอร์ มักตกตะกอนอยู่ที่ก้นภาชนะ โดยสลัดจ์จะมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นพวกทราย เปลือกไม้หรือแมกนีเซียมแอมโมเนียมซัลเฟต (Magnesium ammonium sulfate) หาได้โดยใช้การบั่นน้ำยางให้ตกตะกอนที่ก้นภาชนะแล้วล้างตะกอนหลาย ๆ ครั้งด้วยสารละลายแอมโมเนียมแอลกอฮอล์ จากนั้นนำตะกอนที่เหลือไปอบจนได้น้ำหนักคงที่

2.3.1.6 สีและกลิ่นของน้ำยาง (Color on visual inspection and Odor after neutralization with boric acid) ตรวจสอบได้โดยการเปรียบเทียบสีของน้ำยางตัวอย่างกับสีของน้ำยางคุณภาพดีมาตรฐาน และการดมกลิ่นน้ำยางว่ามีกลิ่นบูดเน่าหรือไม่ (ต้องเติมกรดบอริก (Boric acid) เพื่อทำให้น้ำยางเป็นกลางก่อนในกรณีน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย)

2.3.1.7 ปริมาณยางจับเป็นก้อน (Coagulum content) หมายถึงสิ่งที่ค้างอยู่บน ตะแกรงกรองสแตนเลสที่มีขนาดความกว้างของรูกรอง 180 ไมครอน ซึ่งสิ่งตกค้างดังกล่าว ประกอบด้วยเศษยางจับตัว ฝ้าน้ำยาง และสารอนุภาคหยาบอื่น ๆ

2.3.1.8 จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH content) หมายถึงจำนวนกรัมของ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับอนุมูลของกรด (Acid radicals) ซึ่งรวมอยู่กับ แอมโมเนียในน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งอยู่ 100 กรัม

2.3.1.9 ความคงตัวของน้ำยางต่อการกวนด้วยเครื่องกล (Mechanical stability) ทำได้โดยการกวนน้ำยางด้วยความเร็วสูง และจับเวลาที่เริ่มสังเกตเห็นน้ำยางเริ่มจับตัวกันเป็นก้อน

2.3.2 การทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันเบื้องต้น [12]

2.3.2.1 ค่าความหนืด (Viscosity) เป็นการทดสอบความต้านทานการไหล ในกรณียาง มะตอยอิมัลชันนิยมใช้การทดสอบความหนืดแบบเซโบล์ฟูโรล (Saybolt furol viscosity) โดยการปล่อยให้สารตัวอย่างไหลผ่านหลอดแก้วมาตรฐานที่มีจุดวัด ภายใต้สภาวะที่กำหนด จากนั้น ปล่อยให้สารตัวอย่างไหลลงในเซลล์ขนาด 60 มิลลิลิตร พร้อมทำการจับเวลาเป็นวินาที

2.3.2.2 ปริมาณกากโดยการระเหยน้ำออก (Residue by evaporation) เป็นการ ทดสอบเพื่อหาปริมาณกากยางมะตอย และของแข็งที่มีอยู่ในยางมะตอยอิมัลชัน ทำได้โดยการนำ ยางมะตอยอิมัลชันปริมาณ 50 กรัม ไปอบภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำ การคำนวณปริมาณกากจากน้ำหนักที่เหลือ

2.3.2.3 การตกตะกอน (Settlement) เป็นการทดสอบการแยกตัวของยางมะตอย กับน้ำหรือการตกตะกอนของยางมะตอยเมื่อเก็บยางมะตอยอิมัลชันไว้เป็นเวลานาน โดยการชั่ง ตัวอย่างยางมะตอยอิมัลชัน 500 มิลลิลิตร เติลงในกระบอกตวง แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็น เวลา 5 วัน จากนั้นทำการดูส่วนบนของตัวอย่างปริมาณ 55 มิลลิลิตร มาหาปริมาณกาก ดูดส่วน ที่สองปริมาณ 390 มิลลิลิตร ทิ้งไป นำส่วนที่เหลือ 55 มิลลิลิตร ไปหาปริมาณกากเหมือนกับ ส่วนบนแล้วเปรียบเทียบปริมาณกากที่หาได้จากทั้งสองส่วน

2.3.2.4 ขนาดอนุภาค (Sieve) เป็นการทดสอบเพื่อหาอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดจาก การจับตัวกันเป็นก้อนของยางมะตอย โดยการนำยางมะตอยอิมัลชันปริมาณ 1 กิโลกรัม เทผ่าน

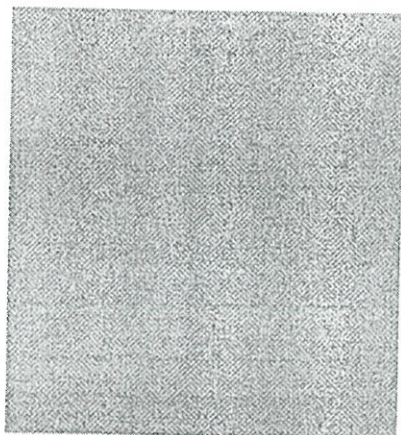
ตะแกรงเบอร์ 20 (850 ไมครอน) แล้วทำการล้างตะกอนที่ติดอยู่บนตะแกรงด้วยสารละลายโซเดียมโอเลเอต (Sodium oleate solution) ในกรณีที่เป็นยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบหรือล้างตะกอนด้วยน้ำเปล่าในกรณีที่เป็นยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวก จากนั้นนำตะแกรงไปอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วคำนวณหาขนาดอนุภาคจากน้ำหนักที่เหลือ

2.3.2.5 ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช (pH) เป็นการหาค่าความเป็นกรด-ด่างของยางมะตอยอิมัลชัน ทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ตรวจวัดภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด

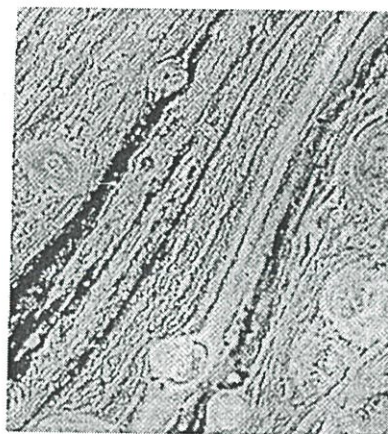
2.4 ยางมะตอยปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ (Polymer modified asphalt, PMA) [13]

ยางมะตอยเป็นวัสดุที่ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ คุณภาพของยางมะตอยจึงขึ้นกับคุณภาพของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น และกระบวนการที่ใช้ในการกลั่น แต่อย่างไรก็ดีแหล่งน้ำมันดิบที่ให้สมบัติยางมะตอยที่ดีนั้นมีน้อยมาก และมีกระบวนการกลั่นที่นิยมไม่กี่วิธีที่ทำให้ได้ยางมะตอยที่มีคุณภาพดี จึงเป็นเรื่องยากที่จะผลิตยางมะตอยที่มีคุณภาพจากการกลั่นโดยตรง การปรับปรุงสมบัติยางมะตอยด้วยกระบวนการหลังการกลั่นจึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงให้ยางมะตอยมีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น การเป่าลมร้อนช่วยให้ยางมะตอยที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้นหรือการใช้ตัวทำละลายบางชนิดผสมลงในยางมะตอยเพื่อให้ได้ยางมะตอยที่มีความนิ่ม อีกวิธีหนึ่งที่ได้รับคความนิยมมากคือ การปรับปรุงยางมะตอยด้วยพอลิเมอร์ซึ่งสามารถปรับปรุงสมบัติยางมะตอยได้หลากหลายรูปแบบมากกว่าการใช้ลมร้อน หรือการเติมตัวทำละลาย โดยสามารถเลือกชนิดของพอลิเมอร์ในการปรับปรุงให้ยางมะตอยที่มีสมบัติตามต้องการได้

พอลิเมอร์ (Polymer) หมายถึงสารโมเลกุลใหญ่ที่มีสายโซ่ยาว ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของสารโมเลกุลเล็กหรือมอนอเมอร์ (Monomer) สมบัติของพอลิเมอร์ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสารโมเลกุลเล็กที่ประกอบกันเป็นพอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ลำดับในโครงสร้างของสารโมเลกุลเล็กในพอลิเมอร์ (Sequence of monomer) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution) เป็นต้น การใช้พอลิเมอร์เพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติยางมะตอยทำให้ได้ยางมะตอยที่หลากหลายตามต้องการ ซึ่งสมบัติเหล่านี้ขึ้นกับชนิดของยางมะตอยที่ใช้ ชนิดของพอลิเมอร์ สภาวะในการผสม และความเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์กับยางมะตอย อย่างไรก็ตามการใช้พอลิเมอร์ในการปรับปรุงสมบัติยางมะตอยมีข้อจำกัดเช่นกัน เนื่องจากพอลิเมอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกับยางมะตอยอย่างมาก ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับยางมะตอย โดยไม่ทำให้เกิดการแยกวัฏภาค (Phase separation)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างภาพถ่ายสัณฐานวิทยาของยางมะตอยผสมพอลิเมอร์ (ก) การผสมที่เข้ากัน (4 % SBS) และ (ข) การผสมที่ไม่เข้ากัน (4 % SBS) [13]

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติ ยางมะตอย [13]

พอลิเมอร์	การใช้งาน	ข้อดี	ข้อด้อย
พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)	งานอุตสาหกรรม	<ul style="list-style-type: none"> - ทนอุณหภูมิสูง - อายุการใช้งานยาวนาน - ราคาถูก 	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้กระจายตัวได้ยากและเสถียรภาพต่ำ - ต้องการพอลิเมอร์ปริมาณมาก - ไม่ปรับปรุงสมบัติการคืนตัว
พอลิไดโอดีฟิน (Polydiolifins)	งานปูพื้นและหลังคา	<ul style="list-style-type: none"> - มีกระจายตัวที่ดีกว่าการใช้มอโนพอลิไดโอดีฟิน - ปรับปรุงสมบัติความยืดหยุ่น (Elasticity) ได้ดีกว่าเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่น 	<ul style="list-style-type: none"> - มีพิษและอยู่ในสายโซ่ซึ่งสามารถเกิดการเสียดสภาพได้เมื่อถูกความร้อนหรือออกซิเจน
พอลิบิวทาไดเอนหรือพอลิไอโซพรีน (Polybutadiene, polyisoprene)	อะแทคติก (Atactic) PP ใช้กับงานหลังคา	<ul style="list-style-type: none"> - มีผลต่อความเหนียวและเติมในปริมาณมากทำให้ง่ายต่อการใช้งานและขยาย - เหนียวทนทาน 	<ul style="list-style-type: none"> - ปัญหาการแยกชั้น - ไม่ปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการคืนตัว - ไม่ทนทานต่อการล้าที่อุณหภูมิสูง
ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)	งานปูพื้น	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มความทนทานการเกิดร่องล้อ - ความยืดหยุ่นสูง - ความยืดหยุ่นภายใต้สภาพชื้น ๆ 	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย - นำหนักโมเลกุลสูงมากทำให้มีปัญหาในการผสมเข้ากัน
พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC)	ไม่นิยมใช้ทางการค้า	<ul style="list-style-type: none"> - ลดการแตกร้าว 	<ul style="list-style-type: none"> - ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อ

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

พอลิเมอร์	การใช้งาน	ข้อดี	ข้อด้อย
ยางรีเคลมจากยางรถยนต์ (Reclaimed tire rubber)	งานปูพื้น	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยกำจัดขยะ - เพิ่มความทนทานต่อการล้า - เพิ่มความทนทานการขัดถู - ลดการเกิดร่องล้อ 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เพิ่มสมบัติเชิงกล - ใช้ความร้อนสูงและเวลานานในการทำให้เกิดการกระจายตัวและต้องทำการตีวัลคาไนซ์ก่อนนำมาใช้เพื่อป้องกันการเกิดการแยกตัวออกจากยางมะตอย
อีพอกซีเรซิน (Epoxy resins)	งานที่ต้อองการความแข็งแรงสูง เช่น พื้นสนามบินหรือสะพาน	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่มีผลต่อความหนืด - ทนสารเคมี การแตกร้าว และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ - ความยืดหยุ่นสูง และการยึดเกาะดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาแพง - เทอร์โมเซตพอลิเมอร์
สไตรีนบิวตะไดอีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (Styrene butadiene block copolymer, SBS) สไตรีนไอโซพรีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (Styrene isoprene block copolymer, SIS)	งานปูพื้นและหลังคา	<ul style="list-style-type: none"> - ความยืดหยุ่นสูงที่อุณหภูมิต่ำ - ความต้านทานการไหลและเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ดีที่อุณหภูมิต่ำ - แข็งแรงและมีความยืดหยุ่นสูง (Elasticity) - เพิ่มความต้านทานการเกิดร่องล้อ (Rutting) - ยึดอายุการใช้งาน - ยึดเกาะได้ดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาแพง - ความหนืดสูงทำให้ยากต่อการใช้งาน - ความต้านทานต่อการออกซิเดชันและความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีน <p>ต้องการยางมะตอยที่มีอะโรมาติกมากและแอสฟัลต์ที่หนืด</p>

2.5 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.J. Fernando และ M. Nadarajah [14] ศึกษาการใช้ยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางหลายชนิดเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยในการทำถนน น้ำยางที่ใช้ได้แก่น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก และแอมโมเนียน้อย, Reverte[®], Cream skim latex, น้ำยางที่ได้จากการปั่นกวน และน้ำยางพีวีแอลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ในปริมาณ 1 – 7 %DRC พบว่ายางมะตอยที่ผสม Revertex[®], Cream skim latex น้ำยางที่ได้จากการปั่นกวนที่ 1 – 4 %DRC มีคุณสมบัติที่จุดอ่อนตัว และความยืดหยุ่นดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากกว่า 4 %DRC พบว่าสมบัติของยางมะตอยผสมลดลง และยางมะตอยที่ใช้ Cream skim latex ปริมาณ 2.5 %DRC มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทำถนน เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กจึงกระจายตัวได้ดีกว่า เหตุที่ต้องทำให้เป็นรูปครีมก่อนเนื่องจากหางน้ำยางมีปริมาณโปรตีนสูงซึ่งมีผลต่อสมบัติของยางมะตอยผสมที่ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammonium hydrogen phosphate) มากกว่า 1 phr สามารถเพิ่มความเสถียรภาพของผสมที่ได้ โดยสารดังกล่าวทำหน้าที่ช่วยตกตะกอนแมกนีเซียม (Magnesium) และช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางที่ยังไม่สุกตัว (Unvulcanized latex rubber) และยังพบอีกว่าระยะเวลาในการเซตตัวของยางมะตอยผสมจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของน้ำยางที่ใช้

Y.J. Lee, L.M. France และ M.C. Hawley [15] นำ SBR มาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของยางมะตอย (AC-10 และ AC-20) ทำการศึกษาสมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน และการกระจายตัวของ SBR ในยางมะตอยด้วยเครื่อง Rotational viscometer, Dynamic shear rheometer และ Laser scanning microscope พบว่ายางมะตอยที่ผสม SBR มีความหนืด และความต้านทานต่อการล้าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ SBR เพิ่มขึ้น การกระจายตัวของ SBR มีความสม่ำเสมอที่อัตราส่วน SBR 1 - 3 % โดยน้ำหนัก และปริมาณ SBR ที่ให้สมบัติการไหลดีที่สุดคือ ที่ 3 – 5 % โดยน้ำหนัก แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ SBR ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อจุดอ่อนตัวของของผสม

N. Radhakrishnan Nair และคณะ [16] ทำการเติมน้ำยางธรรมชาติที่มีความหนืด 1,600,000 MPa.s ได้จากการบดยางธรรมชาติที่ผสมสารบดย่อยหรือเปปไทเซอร์ (Peptizer) ด้วยเครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง แล้วเตรียมเป็นน้ำยางธรรมชาติในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนัก ในยางมะตอย AC 80/100 และยางมะตอยเกรดเป่า โดยทำการหลอมยางมะตอยก่อนแล้วค่อย ๆ เติมน้ำยางพร้อมปั่นกวนตลอดเวลา ทำการทดสอบ จุดอ่อนตัว ความยืดดึง เบนเทรชัน ความหนืด และ Lap shear test (บอก Cohesive strength ที่อุณหภูมิห้อง) ที่อัตราการยืด 4, 8, 150 และ 300 s⁻¹ พบว่าจุดอ่อนตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้นจนถึง 10 % โดยน้ำหนักแล้วลดลงทั้งสองกรณี ค่าการยืดดึงกรณี AC 80/100 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณยาง แต่กรณียางมะตอยเกรดเป่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด ส่วนค่าเบนเทรชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยาง

และ Lap shear test กรณี AC 80/100 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางจนถึง 10 % โดยน้ำหนักแล้ว ลดลง กรณียางมะตอยเกรดเปามีค่าเพิ่มขึ้นที่ปริมาณยาง 5 % โดยน้ำหนักแล้วลดลง

W.V. Synder และ S.W. Schmitt [17] ปรับปรุงยางมะตอย (AC 85/100) ด้วยน้ำยางนีโอพรีน โดยน้ำยางที่ใช้เป็นชนิดที่ไม่ได้ผสมสารเคมีชนิดอื่น (Uncompounded and unvulcanized) ทำการผสมน้ำยางในปริมาณ 1 – 5 % โดยน้ำหนักกับยางมะตอยหลายชนิดได้แก่ แอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยทำการเติมน้ำยางลงในยางมะตอยร้อนโดยตรง คัดแบคแอสฟัลต์โดยเติมน้ำยางในยางมะตอยร้อนก่อนแล้วจึงผสมกับแนฟทา (Naphtha) ส่วนผสมที่ได้จะนำไปปั่นด้วยเครื่องบดผสม และแอสฟัลต์อิมัลชันโดยมีการผสมอิมัลชันด้วยเครื่องบดผสมเช่นกัน ทำการศึกษาสมบัติจุดอ่อนตัว ความเหนียว การยืดดึง (Ductility) การคืนตัว (Elastic recovery) และความเหนียว (Toughness tenacity) พบว่าสมบัติส่วนมากมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางนีโอพรีน ยกเว้นกรณีคัดแบคแอสฟัลต์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความเหนียวอย่างเด่นชัด นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมน้ำยางสามารถเพิ่มความทนทานในการเก็บรักษา (Aging resistance) ให้กับยางมะตอยผสมด้วย แต่อาจเกิดปัญหาเรื่องความเหนียวเมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น เช่น กรณีแอสฟัลต์ซีเมนต์ต้องเก็บไว้ในที่อุณหภูมิสูงกว่า 10°C มิฉะนั้นอาจเกิดการรวมตัวกันของก้อนยางนีโอพรีน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของยางมะตอยผสมที่ได้หรือกรณียางมะตอยอิมัลชันหากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C จะเกิดการแตกตัวของอิมัลชัน และไม่สามารถทำให้กลับเป็นอิมัลชันได้อีก ในรายงานยังมีการนำยางมะตอยที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองทำถนน (Surface treatment or Seal-coats) แล้วทดสอบผลในช่วงเวลาสั้น ๆ (18 เดือน) พบว่ามีข้อบ่งชี้ว่าถนนมีแนวโน้มมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น

C.R. Cuervo และ S.F. Booth [18] ทำการปรับปรุงยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวก โดยใช้น้ำยางนีโอพรีนและใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) เป็นอิมัลซิไฟเออร์เพื่อนำไปใช้ในงานลาดถนน โดยทำการผสมยางมะตอยหลอมเหลวกับสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางมะตอย) ด้วยเครื่องคอลลอยด์มิลที่อุณหภูมิ 140°C และ 50°C ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าของผสมมีความเข้ากันได้ดีไม่เกิดการแยกเฟส และมีเสถียรภาพสูง เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ของผสมไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความเหนียว มีความยืดหยุ่น และความเหนียว (Toughness and Ductility) เพิ่มขึ้น แต่จุดอ่อนตัวลดลง นอกจากนี้ยังมีการผสมน้ำยางภายหลังจากการเตรียมอิมัลชัน (Post add) พบว่าเกิดปัญหาความไม่เข้ากันของส่วนผสมและยางมะตอยอิมัลชันที่ได้มีเสถียรภาพต่ำ

P.P. Serquigny และคณะ [19] ทำการศึกษาผลของการเติมผงยาง และพอลิเมอร์ร่วมที่ประกอบด้วยอีพอกไซด์ 1 – 10 % โดยน้ำหนักกับ α โอลิฟินที่ไม่อิ่มตัวลงในยางมะตอย โดยใช้ผงยางที่ 7 – 13 % โดยน้ำหนักพบว่าความเหนียวแบบบรูคฟิลด์ที่ 180°C มีค่าน้อยกว่า 1150 MPa.s

และวัดค่าเพนิเทรชันของของผสมได้ประมาณ 15 – 35 ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของยางมะตอยเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

นางสาว จรัสศรี พันธุ์ไม้ [20] ศึกษาการนำยางธรรมชาติในรูปร่างแผ่นรมควันปรับปรุงสมบัติยางมะตอย (AC 60/70) สำหรับงานสร้างผิวทาง เพื่อปรับปรุงสมบัติของถนนยางมะตอย โดยศึกษาปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยได้แก่ ปริมาณยางธรรมชาติในยางมะตอย ผลของสารเชื่อมโยงกัมมะถัน ผลของสารเติมแต่งบางชนิด เป็นต้น โดยการนำยางแผ่นรมควันมาบดนิ่มด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วผสมกับยางมะตอยด้วยเครื่องผสมแรงเฉือนสูง (High shear mixer) ที่มีความเร็วประมาณ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 - 170 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และบ่มที่ 120 °C 1 วัน ก่อนนำมาผสมอีกครั้งด้วยเครื่องผสมแรงเฉือนสูง ที่อุณหภูมิ 150 - 170 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากผลการทดสอบสมบัติของยางมะตอยผสมยางธรรมชาติพบว่า ยางมะตอยที่ปรับปรุงด้วยยางแผ่นรมควันที่ไม่เชื่อมโยงมีความแข็งขึ้น มีจุดอ่อนตัว (Softening point) สูงสุดที่การใช้ยางแผ่นรมควัน 6 % ค่า Penetration index และค่า Toughness-Tenacity ที่สูงขึ้น โดยปริมาณยางแผ่นรมควันที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติยางมะตอยคือ 6 % โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาศึกษาผลของสารเชื่อมโยงพบว่า ยางมะตอยที่ได้อ่อนตัวลง จุดอ่อนตัว Penetration index และความคืนตัวกลับ (Torsional recovery) มีค่าต่ำกว่าการใช้ยางแผ่นรมควันที่ไม่ใช้สารเชื่อมโยง

นายปฏิเวธ ล้ำเลิศ และคณะ [21] ศึกษางานวิจัยเพื่อปรับปรุงสมบัติยางมะตอย (Asphalt cement, AC 60/70) ด้วยเส้นใยไพลอน 6 ที่เหลือจากส่วนของเส้นใยเสริมแรงหรือพลาเย (Ply) ของยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เส้นใยธรรมชาติยูคาลิปตัส และผงยางจากยางรถยนต์ (GRT) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม (Filler) โดยทำการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ เช่น ปริมาณเส้นใยที่เติม ปริมาณผงยางจากยางรถยนต์ และผลของสารเชื่อมโยง ในการทดลองนี้ยางมะตอยและเส้นใยจะถูกผสมเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องปั่นกวนแบบใบพัดด้วยความเร็ว 2000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ เช่น ค่าเพนิเทรชัน (Penetration) ความยืดดึง (Ductility) ความหนาแน่น (Density) จุดอ่อนตัว (Softening point) ความคืนตัว (Torsional recovery) ความหนืดแบบบรู๊คฟิลด์ (Brookfield viscosity) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเส้นใยไพลอนและยูคาลิปตัสในยางมะตอยจะทำให้ยางมะตอยแข็งขึ้นยืดตัวได้น้อยลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่ความคืนตัวลดลง ปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมในการผสมกับยางมะตอยคือ 1 phr เมื่อผสมผงยางรถยนต์ในยางมะตอยร่วมกับเส้นใยไพลอน 6 ปริมาณ 1 phr พบว่าไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อสมบัติของยางมะตอย จากการใช้สารเชื่อมโยงกรดแทนทานิกในปริมาณ 1 phr พบว่าทำให้ค่าเพนิเทรชันเพิ่มขึ้น จุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น และความยืดดึงเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement) ชนิดเพนิเทรชันเกรด 60/70 (AC 60/70) มีลักษณะครึ่งแข็งครึ่งอ่อนที่อุณหภูมิปกติจากบริษัทแบมโก จำกัด (BAMCO Ltd.) สมบัติบางประการของยางมะตอย AC 60/70 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของยางมะตอยที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	ผลการทดสอบ	มาตรฐาน
เพนิเทรชันที่ 25 °C (Penetration at 25 °C)	61	DH-T 403
จุดอ่อนตัว (Softening point, Ring and ball)	48.9 °C	ASTM D36
จุดวาบไฟ (Flash point, Cleveland open cup)	248 °C	ASTM D92
ความยืดดึงที่ 13 °C (Ductility at 13 °C, 5 cm/min)	> 150 cm	DH-T 405
ความหนาแน่นที่ 25 °C (Density at 25 °C)	1.027 g/cm ³	ASTM D70
เสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ 165 °C (Storage stability at 165 °C, 120 Hrs difference in softening point)	1.75	NLT-328
ความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscosity, shear rate 18.6 s ⁻¹ , spindle 21 at 135 °C)	420 cPs	ASTM D4402

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทแบมโก จำกัด

- โพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate) เกรดการค้า (Italmar Co., Ltd.)
- วินโซลเรซิน (Vinsol[®] resin) เป็นอิมัลชันไฟเออร์ที่นิยมใช้ในการทำยางมะตอยอิมัลชัน มีส่วนประกอบหลักเป็นสารไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) เกรดการค้า (Hercules Inc.)
- สารกันบูดบอแรกเพนตะไฮเดรต (Borax pentahydrate) เกรดการค้า (Neobor)
- สารกันบูด Proxel[®] GXL เกรดการค้า
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) เกรดการค้า (Ultra Phase Co., Ltd.)
- ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เกรดวิเคราะห์
- โซเดียมโอเลต (Sodium oleate) เกรดวิเคราะห์

9 น้ำยางข้น (High concentration latex) (สถาบันวิจัยยาง) สมบัติบางประการของน้ำยางข้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของน้ำยางข้นที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	ผลการทดสอบ	มาตรฐาน ISO 2004 –1997
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content, % by wt)	61.39	61.5 min
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, % by wt)	60.09	60.0 min
ปริมาณส่วนไม่ใช่ยาง (Non rubber content, % by wt)	1.30	2.0 max
ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (Ammonia content on total weight, % by wt)	0.49	0.60 min
ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ (Ammonia content on water phase, % by wt)	1.27	-
ความทนทานต่อเครื่องกล (Mechanical stability time at 55% TS, sec)	1108	650 min
ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (VFA number)	0.051	0.2 max
ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	0.65	1.0 max
ความเป็นกรด ต่าง (pH of latex)	10.02	-
ความหนืดที่ 25 °C วัดด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ (Viscosity at 25 °C by Brookfield)		
Spindle No 1 Speed 6 rpm (cPs)	150	-
Speed 30 rpm (cPs)	86	
Speed 60 rpm (cPs)	70	

หมายเหตุ ข้อมูลจากสถาบันวิจัยยาง

10. สารชั้น A-15[®] เป็นสารชั้นประเภทยูรีเทนพอลิเมอร์ (Urethane polymer) ละลายในเบสเกรดการค้า

11. สารกันฟอง Nopco[®] NXZ (Antifoaming) เป็นสารกันฟองที่มีส่วนประกอบหลักเป็นสารไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) และซิลิกา (Hydrophobic silica) เกรดการค้า (Henkel)

12. แลคติกเคซีน (Lactic casein) ขนาด 30 เมล (600 ไมครอน) เกรดการค้า (White Group Public Co., Ltd.) สมบัติบางประการของแลคติกเคซีนที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติประการของแลคติกเคซีนที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบหลัก	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
โปรตีน	86.9
ความชื้น	11.4
ไขมัน	1.3
แลคโตส	0.2

13. สารข้น 004[®] (Thickener 004) เป็นสารข้นประเภทอะคริลิกพอลิเมอร์ (Acrylic polymer) เกรดการค้า สมบัติบางประการของสารข้น 004[®] ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สมบัติบางประการของสารข้นที่ใช้ในการทดลอง

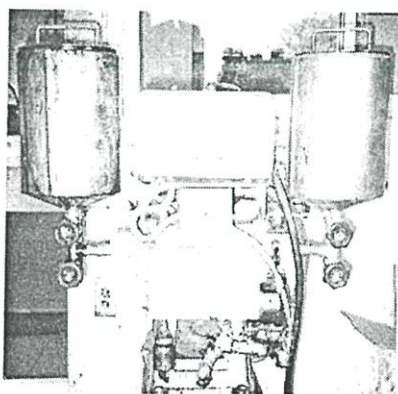
สมบัติ	ผลการทดสอบ
ชนิดของประจุ	ลบ
ปริมาณของแข็ง	10.5
ความเป็นกรด ต่าง	6.1
ความหนืดที่ 23 °C (cPs)	105000

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

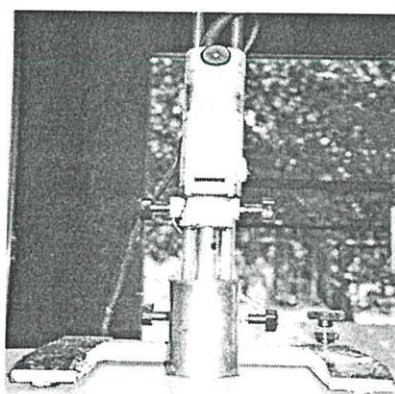
1. เครื่องผสมยางมะตอยอิมัลชันขนาดใหญ่ (Bitumen emulsification machine) บริษัท Brook Compton แสดงดังรูปที่ 3.1 (ก)
2. เครื่องผสมยางมะตอยอิมัลชันขนาดเล็ก (Homogenizer) บริษัท Kinematic AG แสดงดังรูปที่ 3.1 (ข)
3. เครื่องทดสอบความหนืดแบบเซโบลต์ฟูโรล (Saybolt furol viscometer) บริษัท Walter Herzog GmbH Bodstr. แสดงดังรูปที่ 3.2 (ก)
4. เครื่องทดสอบค่าเพนิเทรชัน (Penetrometer) บริษัท ELE International แสดงดังรูปที่ 3.2 (ข)
5. เครื่องทดสอบจุดอ่อนตัว (Ring and Ball apparatus) บริษัท Walter Herzog GmbH แสดงดังรูปที่ 3.3

6. เครื่องทดสอบความสามารถในการยืดตัว (Ductility machine) บริษัท Forma Scientific แสดงดังรูปที่ 3.4

7. เครื่องทดสอบความสามารถในการคืนตัว (Elastic recovery machine)
8. เครื่องปั่นกวน (Labo – Stirrer Model LR-4 ID) บริษัท Yamaha
9. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)
10. สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution) pH 4 และ 7
11. อ่างน้ำเย็น (Water cooling bath)
12. เตาอบ (Oven)
13. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
14. แท่นให้ความร้อน (Hot plate)
15. กระบอกตวงแก้ว (Glass cylinders)
16. บีกเกอร์ (Beaker)
17. ปิเปต (Pipet)
18. เทอร์มิเตอร์ (Thermometer)
19. ตะแกรงกรอง (Sieve)
20. ช้อนตักสาร (Spatula) และแท่งแก้วคน
21. เครื่องชั่ง
22. นาฬิกาจับเวลา

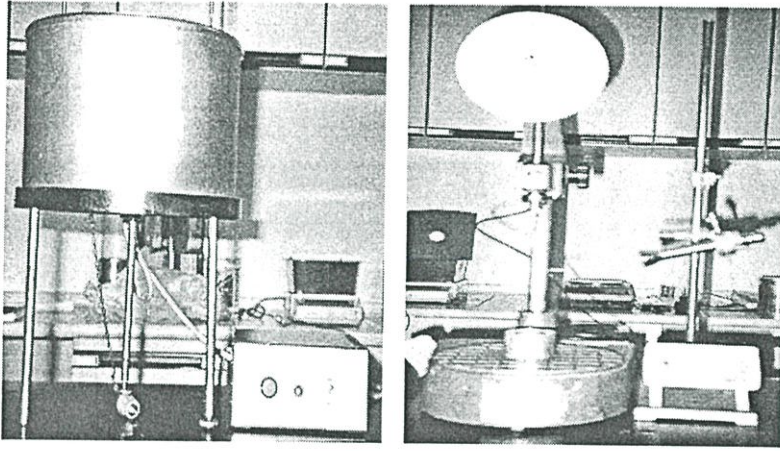


(ก)



(ข)

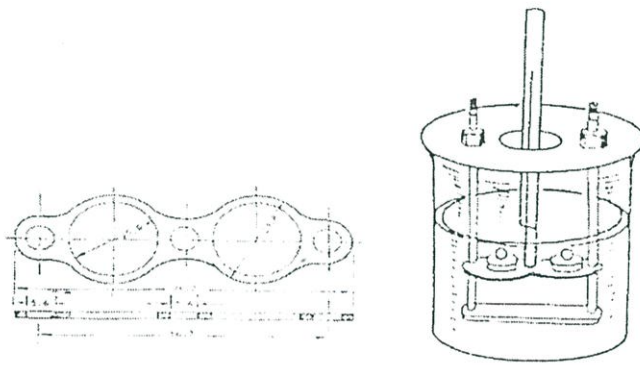
รูปที่ 3.1 เครื่องผสมยางมะตอยอิมัลชัน (ก) ขนาดใหญ่ และ (ข) ขนาดเล็ก



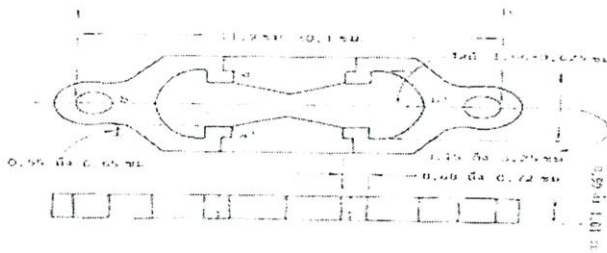
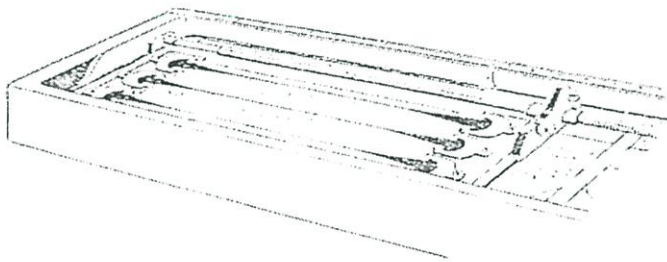
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเครื่องทดสอบสมบัติยางมะตอย (ก) เครื่องทดสอบความหนืดแบบเซโบลิวฟูรอด และ (ข)เครื่องทดสอบค่าเพนิเทรชัน



รูปที่ 3.3 ภาพวาดเครื่องทดสอบจุดอ่อนตัว [5]



รูปที่ 3.4 ภาพวาดเครื่องทดสอบความยืดดึง [5]

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาสูตรการผสมยางมะตอยอิมัลชันเบื้องต้น

1.1 การเตรียมสารละลายอิมัลซีไฟเออร์ (500 กรัม) สูตรที่ 1

1. ต้มน้ำ 1000 กรัมให้มีอุณหภูมิ 85 °C
2. ชั่งส่วนผสมที่ต้องการดังตารางที่ 3.5
3. ชั่งน้ำร้อน 200 กรัม ใส่ในกระป๋องขนาด 1 ลิตร
4. ละลาย KOH ด้วยน้ำ 25 กรัม ใส่ในกระป๋อง พร้อมเปิดเครื่องปั่นกวน
5. เติมนินโซลเรซิน[®] และแลคติกเคซีน (รอจนสารทั้งสองชนิดละลายหมด)
6. ละลายสารชั้นด้วยน้ำร้อน 50 กรัม ใส่ในกระป๋อง
7. เติมสารกันบูด (รอจนสารละลายผสมเข้ากันดี)
8. เติมน้ำส่วนที่เหลือ และน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากตามลำดับ
9. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

* สูตรที่ 2 ผสมได้ในลักษณะคล้ายกัน

ตารางที่ 3.5 สูตรการผสมเบื้องต้น

สารเคมี	ปริมาณ (%wt)	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ยางมะตอย	53.00	53.00
น้ำยางชั้น	6.11	6.11
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.14	0.14
แลคติกเคซีน	1.88	-
นินโซลเรซิน [®]	0.24	0.24
โพแทสเซียมโอเลต	-	1.88
สารชั้น 004 [®]	0.24	0.24
สารกันบูด Ploxel GXL [®]	0.14	0.14
น้ำ	38.25	38.25



อิมัลซีไฟเออร์

1.2 การผสมยางมะตอยอิมัลชัน (200 กรัม)

1. อุณหภูมิละลายอิมัลซิไฟเออร์ให้มีอุณหภูมิประมาณ 40 °C
2. ต้มยางมะตอยให้มีอุณหภูมิประมาณ 140 °C
3. ชั่งสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ 94 กรัม ใส่ภาชนะสแตนเลสใบที่ 1
4. ชั่งยางมะตอย 106 กรัม ใส่ภาชนะสแตนเลสใบที่ 2
5. จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 (ข)
6. เปิดเครื่องผสมขนาดเล็กที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที พร้อมเทยางมะตอยร้อนช้า ๆ
7. เพิ่มความเร็วรอบในการผสมเป็น 1400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 วินาที
8. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3 การทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชัน

1. ทดสอบขนาดอนุภาคโดยการเกลี่ยบนกระดาษซิลิโคนแล้วสังเกตด้วยตา
2. ทดสอบค่าความหนืดแบบเซโบลิวฟูรอลตามมาตรฐาน DH-T 407
3. ทดสอบปริมาณกากโดยการระเหยน้ำออกตามมาตรฐาน ASTM D 244
4. ทดสอบการตกตะกอนตามมาตรฐาน ASTM D244

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณน้ำยางธรรมชาติ

2.1 ผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติ (3000 กรัม)

1. เตรียมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ด้วยวิธีการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 1.1 แต่เปลี่ยนปริมาณน้ำยางธรรมชาติในช่วง 5.0 – 10.0 %DRC
2. เตรียมส่วนผสมตามวิธีการทดลองตอนที่ 1.2 ข้อ 1 – 4 แต่เปลี่ยนปริมาณสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เป็น 1300 กรัม และปริมาณยางมะตอยเป็น 1700 กรัม
3. ผสมยางมะตอยอิมัลชันด้วยเครื่องผสมขนาดใหญ่
4. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. ทำการทดลองซ้ำกับสูตรที่ 2

2.2 ผลของชนิดน้ำยางธรรมชาติ

1. เลือกยางมะตอยอิมัลชันสูตรที่ 1 และ 2 (อย่างละสูตร) ที่ให้สมบัติดีที่สุด จากผลการทดลองตอนที่ 2 ข้อ 2.1
2. ผสมยางมะตอยอิมัลชันตามวิธีการทดลองตอนที่ 2.1 ข้อ 2 – 4 แต่เปลี่ยนชนิดของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เป็นน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย และน้ำยางพีวีแอลตามลำดับ

2.3 การทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชัน

1. ทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันตามวิธีการทดลองตอนที่ 1.3
2. ทดสอบค่าความคืนตัวตามมาตรฐาน NLT 329/91
3. ทดสอบค่าเพนิเทรชันตามมาตรฐาน DH-T 403
4. ทดสอบค่าความยืดดึงตามมาตรฐาน DH-T 405
5. ทดสอบอุณหภูมิที่จุดอ่อนตัวตามมาตรฐาน ASTM D 36
6. ทดสอบการละลายในไตรคลอโรเอทิลีนตามมาตรฐาน DH-T 409
7. ทดสอบขนาดอนุภาคตามมาตรฐาน ASTM D 244
8. ทดสอบเสถียรภาพที่ 24 ชั่วโมงตามมาตรฐาน ASTM D 244

ตอนที่ 3 ผลของชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

3.1 ผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

1. ใช้ยางมะตอยอิมัลชันสูตรเดียวกับการทดลองตอนที่ 2.2 ข้อ 1
2. เตรียมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ตามการทดลองที่ 1.1 แต่เปลี่ยนปริมาณอิมัลซิไฟเออร์
 - 1) แลคติกเคซีนที่ 1.0, 1.5 และ 2.5 % โดยน้ำหนักตามลำดับ
 - 2) โพลีแซทเทียมโพลิเอตที่ 1.0, 1.5 และ 2.5 % โดยน้ำหนักตามลำดับ
3. ผสมยางมะตอยอิมัลชันตามวิธีการตอนที่ 2.1 ข้อ 2 – 4

3.2 ผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์

จากผลการทดลองตอนที่ 2.1 และ 2.2 สามารถสรุปผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ได้คือ ตอนที่ 2.1 ใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากที่ 3.5 – 10.0 %DRC ผสมกับระบบอิมัลซิไฟเออร์ 2 ระบบคือ ระบบที่ 1 แลคติกเคซีน + วินโซลเรซิน[®] ระบบที่ 2 โพลีแซทเทียมโพลิเอต + วินโซลเรซิน[®] ส่วนตอนที่ 2.2 มีการเลือกสูตรผสมที่ให้น้ำยางมะตอยอิมัลชันที่มีสมบัติดีมาทำการทดลองต่อ โดยเปลี่ยนจากน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากเป็นน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ดังนั้นจากผลการทดลองตอนที่ 2 จึงมีข้อมูลเพียงพอที่จะสรุปผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ได้

3.3 การทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชัน

ทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันตามวิธีการทดลองตอนที่ 2.3

3.4 การทดสอบยางมะตอยอิมัลชัน

3.4.1 การทดสอบความเหนียวแบบเซโบล์ฟลูอิด (ตามมาตรฐาน DH-T 407)

1. กวนตัวอย่างให้ทั่วโดยไม่ให้เกิดฟองแล้วเทตัวอย่างลงในขวดขนาด 100 มิลลิลิตร

2. แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ให้พร้อมทำการทดสอบดังรูปที่ 3.2 (ก)
3. เทตัวอย่างผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 850 ไมครอน ลงในเครื่องหาความหนืด
4. กวนตัวอย่างด้วยแท่งแก้วเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ และบันทึกอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ
5. ปลดจุกที่กั้นเครื่องทดสอบพร้อมจับเวลาจนตัวอย่างเต็มเซลล์
6. บันทึกเวลาที่ได้เป็นวินาที

3.4.2 การทดสอบการตกตะกอนและเสถียรภาพที่ (ตามมาตรฐาน ASTM D 244)

1. เทตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่กระบอกตวงแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน
3. ปิเปิดส่วนบนของตัวอย่างปริมาตร 55 มิลลิลิตร เป็นตัวอย่างที่ 1
4. ปิเปิดส่วนที่สองปริมาตร 390 มิลลิลิตรทิ้งไป
5. ส่วนที่เหลือปริมาตร 55 มิลลิลิตร เป็นตัวอย่างที่ 2
6. หาปริมาณกากด้วยการระเหยน้ำออกตามวิธีการทดสอบที่ 3.4.4 ทั้งสองตัวอย่าง

$$\% \text{ การตกตะกอน} = B - A$$

$$B = \text{เปอร์เซ็นต์กากของตัวอย่างที่ 1}$$

$$A = \text{เปอร์เซ็นต์กากของตัวอย่างที่ 2}$$

การทดสอบความคงตัว 24 ชั่วโมงทำได้เช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนเวลาจาก 7 วันเป็น 24 ชั่วโมง

3.4.3 การทดสอบขนาดอนุภาค (ตามมาตรฐาน ASTM D 244)

1. บันทึกน้ำหนักแห้งของตะแกรงกรองที่มีรูขนาด 850 ไมครอน + ภาชนะโลหะที่ทำด้วยสารละลายโซเดียมโอเลตเข้มข้น 2 % มวล/ปริมาตร
2. เทตัวอย่างปริมาณ 1000 กรัมผ่านตะแกรง
3. ล้างตะกอนที่ติดอยู่ที่ตะแกรงด้วยสารละลายโซเดียมโอเลตจนสารละลายใส
4. นำตะแกรงกรองใส่ในภาชนะโลหะ แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วบันทึกน้ำหนักสุดท้าย

$$\% \text{ ของแข็งที่เหลือ} = (B-A) / 10$$

$$A = \text{น้ำหนักแห้งของตะแกรงกรอง + ภาชนะโลหะ}$$

$$B = \text{น้ำหนักสุดท้าย}$$

3.4.4 การทดสอบปริมาณด้วยการระเหยน้ำออก (ตามมาตรฐาน ASTM D 244)

1. บันทึกร้ำน้ำหนักแห้งของปีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร + แท่งแก้ว
2. เติตัวอย่างปริมาณ 50 ± 0.1 กรัม ลงในปีกเกอร์
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ $163^{\circ}\text{C} \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. ทำการเขี่ยตะกอนที่เหลืออยู่แล้วอบต่ออีก 1 ชั่วโมง
5. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วบันทึกน้ำหนักสุดท้าย

$$\% \text{ กาก} = 2 * (A - B)$$

$$A = \text{น้ำหนักสุดท้าย}$$

$$B = \text{น้ำหนักแห้งของปีกเกอร์} + \text{แท่งแก้ว}$$

3.4.5 การทดสอบจุดอ่อนตัว (ตามมาตรฐาน ASTM D 36)

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการหาปริมาณกากมาให้ความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ใช้สไปดบบนแผ่นทองเหลืองบาง ๆ แล้ววางแบบวงแหวนทองเหลืองมาตรฐานลงบนแผ่นทองเหลือง (รูปที่ 3.3)
3. เติตัวอย่างลงในวงแหวนทองเหลืองมาตรฐานให้ล้นออกมาเล็กน้อยแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
4. ใช้มีดบาง ๆ หรือเกียงที่อังไฟให้ร้อนปาดตัวอย่างส่วนที่เกินออกจากแบบให้ผิวตัวอย่างเรียบเสมอกปากขอบวงแหวนมาตรฐาน
5. เติมน้ำกลั่นในปีกเกอร์ขนาด 800 มิลลิลิตร จนมีความสูงประมาณ 105 ± 3 มิลลิเมตร
6. ประกอบเครื่องมือพร้อมด้วยวงแหวนบรรจุตัวอย่าง โดยวางลูกบอลเหล็กมาตรฐานให้อยู่ตรงจุดศูนย์กลางวงแหวนมาตรฐาน และจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ขนาด 100°C ลงในปีกเกอร์
7. ให้ความร้อนที่ก้นปีกเกอร์โดยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ 5°C ต่อนาที
8. บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อลูกบอลเหล็กมาตรฐานตกลงกระทบก้นปีกเกอร์ ซึ่งจะมีเซนเซอร์บอกสัญญาณเตือนติดอยู่

3.4.6 การทดสอบค่าการคินตัว (ตามมาตรฐาน NLT 329/91)

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการหาปริมาณกากมาให้ความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. เติตัวอย่างใส่แบบมาตรฐานจนเต็มในขณะที่ตัวอย่างยังร้อนอยู่ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 90 นาที
4. นำตัวอย่างใส่เครื่องทดสอบพร้อมเติมน้ำที่มีอุณหภูมิ 25°C ให้มีความสูงมากกว่าตัวอย่างอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร

5. จัดชุดทดสอบให้เข็มบอกตำแหน่งชี้ที่ 0 องศา
6. หมุนแกนโลหะที่ติดกับเข็มบอกตำแหน่งเป็นมุม 180 องศา อย่างรวดเร็วแล้วปล่อย
7. วัดค่ามุมที่หมุนย้อนกลับเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที

$$\% \text{ การคืนตัว} = [A/180] * 100$$

$$A = \text{มุมที่หมุนย้อนกลับในหน่วยองศา}$$

3.4.7 การทดสอบค่าเพนิเทรชัน (ตามมาตรฐาน DH-T 403)

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการหาปริมาณกากมาให้ความร้อนที่ 140 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. เทตัวอย่างใส่แบบจนเต็มในขณะที่ตัวอย่างยังร้อนอยู่ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. นำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วเช็ดน้ำที่ผิวตัวอย่างออกให้หมด
5. เตรียมเข็มมาตรฐานหนัก 100 ± 0.05 กรัม
6. ตั้งหน้าปัดเครื่องทดสอบ (รูปที่ 3.2 (ข)) ให้อ่านค่าทดสอบที่ศูนย์
7. เปิดปุ่มทำงานปล่อยให้เข็มมาตรฐานแทรกลงในตัวอย่างเป็นเวลา 5 วินาที
8. บันทึกค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดเครื่องทดสอบ

3.4.8 การทดสอบค่าการยึดติง (ตามมาตรฐาน DH-T 405)

1. ใช้สบู่อาบบนแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างของแบบทดสอบมาตรฐานด้านในบาง ๆ จากนั้นประกอบแม่แบบมาตรฐานทั้งหมดลงบนแผ่นทองเหลือง (รูปที่ 3.4)
2. นำตัวอย่างที่ได้จากการหาปริมาณกากมาให้ความร้อนที่ 140 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. เทตัวอย่างลงในแบบที่ประกอบไว้จนกระทั่งตัวอย่างล้นออกมาจากแบบเล็กน้อย
4. ทิ้งตัวอย่างให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 นาที
5. นำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที
6. นำตัวอย่างออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแล้วใช้มีดบาง ๆ หรือเกียงที่อั้งไฟให้ร้อน ปาดตัวอย่างส่วนที่เกินออกจากแบบให้ผิวหน้าตัวอย่างเรียบเต็มแบบพอดี
7. นำตัวอย่างที่ปาดแล้วไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 13 °C เป็นเวลา 90 นาที
8. นำตัวอย่างออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วเอาแผ่นทองเหลืองและส่วนข้างทั้งสองของแบบออก
9. เอาห่วงที่คล้องปลายของตัวยึดทั้งสองข้างใส่ลงในขอเกี่ยวของเครื่องติง
10. เดินเครื่องติงยึดตัวอย่างด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ 5 เซนติเมตรต่อนาที จนตัวอย่างขาดออกจากกัน บันทึกกระยะที่ตัวอย่างยึดจนกระทั่งขาดในหน่วยเซนติเมตร

3.4.9 การทดสอบการละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (ตามมาตรฐาน DH-T 409)

1. วางแผ่นกรองใยแก้วลงในครุชชีเบล แล้วอบที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที
2. ปลอ่ยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.0001 กรัม
3. ในกรณีตัวอย่างเป็นของแข็ง ให้ความร้อนตัวอย่างจนเหลวพอเทได้ โดยไม่ให้ความร้อนสูงกว่าจุดอ่อนตัวเกิน 111°C
4. เทตัวอย่างประมาณ 2 กรัมที่ทราบมวลละเอียดถึง 0.001 กรัม ลงในขวดแก้วรูปกรวยเติมไตรคลอโรเอทิลีนลงไปทีละน้อยจนครบ 100 มิลลิลิตร
5. เขย่าจนแน่ใจว่าตัวอย่างละลายหมด
6. ปิดจุกตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
7. ทำแผ่นกรองใยแก้วให้เปียกด้วยไตรคลอโรเอทิลีนเล็กน้อยค่อย ๆ เทตัวอย่างลงในเครื่องกรองที่ต่อกับเครื่องดูด
8. ล้างส่วนที่เหลือในขวดด้วยไตรคลอโรเอทิลีนจนไตรคลอโรเอทิลีนที่ออกจากครุชชีเบลใส
9. นำส่วนที่เหลือพร้อมครุชชีเบลไประเหยบนเครื่องอังไอน้ำได้ไตรคลอโรเอทิลีนจนหมดกลิ่นไตรคลอโรเอทิลีน
10. อบในตู้อบที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่

$$\text{สารที่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (ร้อยละ)} = 100 - ((m_1/m_2) * 100)$$

$$m_1 = \text{น้ำหนักของสารที่ไม่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (กรัม)}$$

$$m_2 = \text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}$$

3.4.10 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

1. แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. เทียบมาตรฐานเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ 7 ตามลำดับ
3. จุ่มขั้วอิเล็กโทรดในตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที
4. บันทึกค่าความเป็นกรด-ด่างที่อ่านได้จากเครื่องวัด

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งการศึกษาออกเป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นการศึกษาสูตรและสภาวะการผสมเบื้องต้นด้วยเครื่องผสมยางมะตอยอิมัลชันขนาดเล็ก โดยทำการศึกษาชนิดของสารเคมีที่สำคัญในการเตรียมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier solution) อัตราส่วนของยางมะตอยต่อสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมยางมะตอยอิมัลชัน เมื่อได้สูตรและสภาวะการผสมเบื้องต้นแล้ว จึงทำการทดลองในช่วงที่สองคือ ศึกษาผลของชนิดและปริมาณน้ำยางธรรมชาติ รวมทั้งชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ด้วยเครื่องคอลลอยด์มิล (Colloild mill) แล้วทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชันโดยอ้างอิงตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองเป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อให้ได้สูตรเริ่มแรกที่จะใช้จริงในการทดลองช่วงต่อไปจึงมีการทดลองในบางส่วนที่ไม่ได้ทำตามมาตรฐานแต่ใช้การทดสอบพื้นฐานอย่างง่าย เช่น

- การทดสอบขนาดอนุภาคของยางมะตอยอิมัลชันด้วยตาเปล่า โดยการชี้แจงแก้วจุ่มลงในยางมะตอยอิมัลชันแล้วสังเกตด้วยตาว่าที่บริเวณผิวของแท่งแก้วมีอนุภาคขนาดเล็กเกาะติดอยู่หรือไม่ และทำการหยดยางมะตอยอิมัลชันลงบนนิ้วมือแล้วบีบตัวอย่างเพื่อดูว่ามีก้อนยางมะตอยที่มีขนาดใหญ่อยู่หรือไม่

- การทดสอบเสถียรภาพและความเข้ากันได้ โดยการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วสังเกตการแยกชั้นและการตะตะกอน (Settlement) ของยางมะตอยอิมัลชัน

เนื่องจากมูลบางส่วนจากการทดลองเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำการทดลองตอนต่อไป จึงขอสรุปผลการทดลองช่วงแรกเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบตอนต่อไปดังนี้

1. การใช้สารกันบูด

โดยปกติน้ำยางธรรมชาติที่นำมาแปรรูปเป็นน้ำยางข้นต้องมีการเติมแอมโมเนียเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพและยืดอายุการเก็บรักษาน้ำยางข้นให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก (HA) ต้องมีปริมาณแอมโมเนียไม่น้อยกว่า 0.60 % โดยน้ำหนัก หรือน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย (LA) ต้องมีปริมาณแอมโมเนียไม่เกิน 0.29 % โดยน้ำหนัก (ISO-2004-1979) เป็นต้น ซึ่งคาดว่าแอมโมเนียที่มีอยู่เพียงพอที่จะไม่ทำให้น้ำยางธรรมชาติเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว แต่ในการทดลองเมื่อตั้งยางมะตอยอิมัลชันที่ผสมยางธรรมชาติไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง พบว่ายางมะตอยอิมัลชันมีกลิ่นเหม็นเน่า เหตุผลเนื่องจากการผสมยางมะตอย

อิมัลชันมีการใช้อุณหภูมิสูง (ประมาณ 80 – 100 °C) ทำให้เกิดการระเหยของแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำยางข้น จึงต้องเติมสารกันบูดลงในยางมะตอยอิมัลชัน เริ่มจากการเติมบอแรกเพนตะไฮเดรตที่ปริมาณ 0.1 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ พบว่ายางมะตอยอิมัลชันมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มเป็น 6 วัน (ทดสอบโดยการดมกลิ่น) และเมื่อเพิ่มปริมาณบอแรกเพนตะไฮเดรตเป็น 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์พบว่าอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 23 วันตามลำดับ และต่อมาได้มีการเปลี่ยนชนิดของสารกันบูดจากบอแรกเพนตะไฮเดรตเป็นพรอกซิล จี เอ็กซ์ แอล[®] ซึ่งจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป

2. การใช้สารข้น (Thickener)

มาตรฐานยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวกของกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538) มีการกำหนดขอบเขตความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล (Saybolt furol viscosity) ของยางมะตอยอิมัลชันไว้ที่ 20 – 100 วินาที ซึ่งในการผลิตยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ (อ้างอิงสมบัติยางมะตอยจากมาตรฐานยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวก) จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าความหนืดเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่เติมยางธรรมชาติมีความหนืดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ก็ต้องมีการปรับความหนืดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน วิธีหนึ่งที่ได้ดำเนินการเพิ่มความหนืดคือ เติมสารข้นลงในยางมะตอยอิมัลชัน จากการทดลองเบื้องต้นพบว่ายางมะตอยอิมัลชันที่ไม่เติมน้ำยางธรรมชาติมีความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอลประมาณ 10 วินาที การเติมยางธรรมชาติที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงลงในยางมะตอยย่อมส่งผลให้ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อเติมน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณ 3.5 %DRC ลงในยางมะตอยอิมัลชันพบว่าค่าความหนืดของระบบมีค่าประมาณ 15 วินาที ซึ่งยังต่ำกว่ามาตรฐาน จึงต้องเติมสารข้นลงในการทดลอง โดยทำการเติมสารข้นที่ปริมาณ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ในตอนแรก พบว่าค่าความหนืดมีค่าประมาณ 55 วินาที แต่เนื่องจากการเติมสารเคมีในปริมาณมากเกินไปเป็นการเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น จึงลดปริมาณสารข้นลงเหลือ 0.75 และ 0.5 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าค่าความหนืดมีค่าประมาณ 40 และ 25 วินาทีตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางข้นเป็น 5.0, 7.5 และ 10 %DRC ค่าความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 20 – 100 วินาที จะเห็นได้ว่าไม่มีความจำเป็นต้องเติมสารข้นลงในยางมะตอยอิมัลชัน เนื่องจากได้ค่าความหนืดตามมาตรฐานกรมทางหลวง แต่ก็มีคำถามเกิดขึ้นว่า สารข้นที่เติมในสูตรที่ใช้น้ำยางข้น 3.5 %DRC อาจมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชัน ทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบกับสูตรที่เติมน้ำยางปริมาณมาก จึงไม่เติมสารข้นลงในการทดลอง ส่วนหลังคือ การศึกษาผลของชนิดและปริมาณน้ำยางธรรมชาติ รวมทั้งชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ด้วยเครื่องคอลลอยด์มิล (Colloild mill) เพื่อลดข้อเปรียบเทียบจากการใช้สารข้น

3. การกำหนดปริมาณอิมัลซิไฟเออร์เบื้องต้น

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารเคมีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบอิมัลชัน โดยอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างยางมะตอยและยางธรรมชาติจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีอิมัลซิไฟเออร์มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ และทำให้ได้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีคุณภาพ ในช่วงแรกของการทดลอง ใช้ระบบอิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินโซลเรซิน[®] และเติมยางธรรมชาติที่ปริมาณ 3.5 %DRC มีการปรับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ในช่วงแคบ ๆ เริ่มจากใช้อิมัลซิไฟเออร์แลคติกเคซีนที่ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ และใช้วินโซลเรซิน[®] ที่ 0.25 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ แล้วเพิ่มปริมาณแลคติกเคซีนเป็น 1.5, 2.0 และ 2.5 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มปริมาณวินโซลเรซิน[®] เป็น 0.5 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ด้วย จากการทดลองในช่วงนี้พบว่า การใช้แลคติกเคซีนที่ 2.0 และวินโซลเรซิน[®] ที่ 0.5 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เหมาะสมกับยางมะตอยอิมัลชันที่เติมน้ำยางธรรมชาติที่ 3.5 %DRC แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติเป็น 5.0 %DRC พบว่ายางมะตอยอิมัลชันที่ได้เกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ และเมื่อทำการทดลองต่อไปโดยเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ขึ้นอีกพบว่าไม่เกิดการแยกชั้นของยางมะตอยอิมัลชัน คาดว่าต้องเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ให้มากเกินไปในระบบที่มีการเติมน้ำยางธรรมชาติปริมาณมาก จึงเลือกที่จะเติมแลคติกเคซีนที่ปริมาณ 4.0 และวินโซลเรซิน[®] ที่ 0.5 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ เหตุที่ไม่มีการปรับเพิ่มปริมาณวินโซลเรซิน[®] เนื่องจากวินโซลเรซิน[®] เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำหน้าที่ในกระจายเฟสของยางมะตอย ดังนั้นเมื่อไม่มีการเพิ่มปริมาณยางมะตอยจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มปริมาณวินโซลเรซิน[®]

4.1 สภาวะการผสม

สภาวะในการผสมเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะของยางมะตอยอิมัลชันการใช้สภาวะที่ไม่เหมาะสม ส่งผลต่อการกระจายตัว และขนาดของอนุภาคอิมัลชันในน้ำยางมะตอยสังเกตว่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อหยาบเป็นเม็ดขนาดใหญ่ และมีเสถียรภาพต่ำ ในการทดลองมีการกำหนดตัวแปรสภาวะสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะยางมะตอยอิมัลชันที่ได้คือ อุณหภูมิในการผสม โดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิของยางมะตอยร้อนในช่วง 125 - 150 °C อุณหภูมิของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ช่วง 30 - 50 °C (ทำการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิครั้งละ 5 °C) อัตราส่วนของยางมะตอยร้อนที่ 50 - 60 % ต่อสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่ 40 - 50 % และควบคุมความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้อยู่ในช่วง 9 - 11 จากการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิยางมะตอยร้อนและสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ช่วงอุณหภูมิต่ำคือที่ 125 - 135 °C และ 30 - 35 °C

ทำให้ได้อย่างมะตอยอิมัลชันที่ไม่ละเอียด แต่หากมีการเพิ่มอุณหภูมิของการผสมให้มีค่าสูงเกินอาจทำให้เกิดการเดือดของน้ำในยางมะตอยอิมัลชันจนเกิดเป็นฟองล้นออกนอกภาชนะ อัตราส่วนของยางมะตอยต่อสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมควรทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกาก (Residue) มากกว่า 60 % โดยน้ำหนัก (เพื่อให้ได้อย่างมะตอยอิมัลชันตามมาตรฐานกรมทางหลวง) และไม่ทำให้อิมัลชันมีความหนืดมากเกินไป เนื่องจากเครื่องคอลลอยต์มิลที่ใช้อาศัยหลักการให้แรงเฉือน โดยการบดยางมะตอยผ่านช่องแคบ โดยการหมุนแกนโลหะด้วยความเร็วสูงภายในกระบอกโลหะ ดังนั้นความหนืดขณะผสมมีผลอย่างมากต่อแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ซึ่งอุณหภูมิและอัตราส่วนของ การผสมเป็นปัจจัยที่ควบคุมความหนืดของอิมัลชัน หากความหนืดขณะผสมมีค่ามากเกินไป (กรณีอุณหภูมิการผสมต่ำและใช้ปริมาณยางมะตอยมาก) ส่งผลให้ต้องใช้แรงเฉือนสูงในการทำให้เกิดการกระจายตัวของยางมะตอยอย่างสม่ำเสมอ หากความหนืดของอิมัลชันมีค่าน้อย (กรณีอุณหภูมิการผสมสูงและใช้ปริมาณยางมะตอยน้อย) ส่งผลให้เครื่องคอลลอยต์มิลบดยางมะตอยได้ไม่ดี เกิดแรงเฉือนต่ำทำใหยางมะตอยมีการกระจายตัวได้ไม่ดี

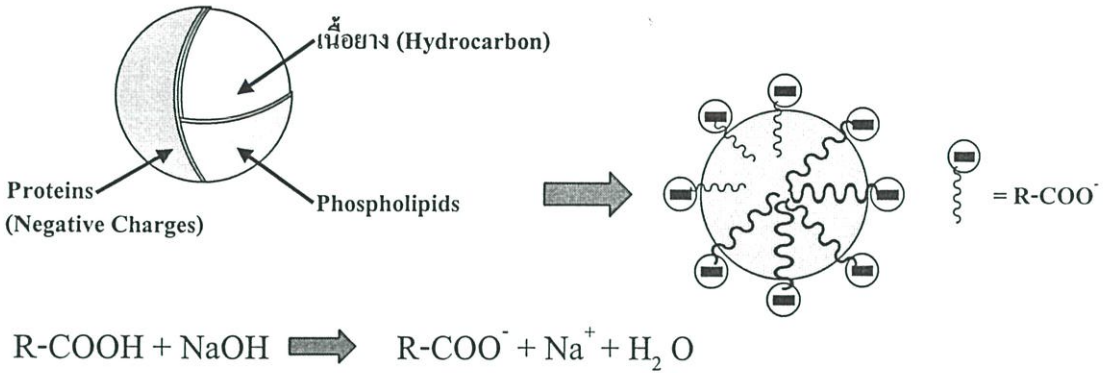
จากการทดลองศึกษาผลของสภาวะการผสมพบว่า

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมยางมะตอยอิมัลชันคือ อุณหภูมิยางมะตอยที่ 140 °C ต่ออุณหภูมิสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่ 40 °C โดยหากอุณหภูมิที่ใช้ผสมมีค่าสูงเกินไปทำให้เกิดการเดือดของของผสมและได้อิมัลชันที่มีเนื้อหยาบ และหากอุณหภูมิที่ใช้มีค่าต่ำเกินไปยางมะตอยอิมัลชันที่ได้จะมีเนื้อหยาบเป็นเม็ด
2. อัตราส่วนยางมะตอยร้อนต่อสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่ 53:47 ทำใหได้อย่างมะตอยอิมัลชันที่มีปริมาณกากในช่วง 60 - 65 % โดยน้ำหนัก และมีความหนืดแบบเซปัลวฟูรอลในช่วง 30 - 40 วินาที (อยู่ในมาตรฐานกรมทางหลวง)
3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ได้มีผลต่อเสถียรภาพอย่างมาก โดยพบว่าหากอิมัลชันที่ได้มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 จะทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของยางธรรมชาติและเมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับน้ำธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้ ดังนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องมีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างของยางมะตอยอิมัลชัน

4.2 สารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier solution)

สารอิมัลซิไฟเออร์เป็นส่วนที่ช่วยให้ยางธรรมชาติเข้ากันได้กับยางมะตอยโดยกระจายตัวอยู่รอบ ๆ อนุภาคยางธรรมชาติขนาดเล็กช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างยางธรรมชาติกับยางมะตอย โดยทั่วไปสารอิมัลซิไฟเออร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ ชนิดประจุบวก ชนิดประจุลบ และชนิด

ไม่มีประจุ ในการทดลองนี้เลือกใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดประจุลบเนื่องจากอนุภาคของยางธรรมชาติในน้ำยางถูกห่อหุ้มด้วยชั้นโปรตีนซึ่งมีประจุเป็นลบ (Negative charge)



รูปที่ 4.1 ภาพวาดแสดงโครงสร้างอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ [22]

สารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier solution) เป็นส่วนผสมที่ได้จากการนำสารเคมีทุกชนิดที่ไม่ใช่ยางมาผสมเข้าด้วยกัน ซึ่งสารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมในสารละลายอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดมีความสำคัญต่อสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันแตกต่างกันไปตามหน้าที่ของสารแต่ละชนิด สารเคมีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผสมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์คือ สารอิมัลซิไฟเออร์ สารตัวกลางหรือน้ำ พอลิเมอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติยางมะตอย (ในการทดลองนี้ใช้ยางธรรมชาติ) และสารเติมแต่งอื่น ๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สูตรการผสมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เบื้องต้น

สารเคมี	ปริมาณ (% โดยน้ำหนักสารละลายอิมัลซิไฟเออร์)
น้ำยางข้น	13.5 (3.5 %DRC)
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.3
แลคติกเคซีน	4.0
วินซิลเรซิน [®]	0.5
สารขุ่น 004 [®]	0.5
พวอกซิล จี เอ็กซ์ แอล [®]	0.3
น้ำ	80.9

สารเคมีที่สำคัญในสารละลายอิมัลชันไฟเออร์

1. สารอิมัลชันไฟเออร์ (Emulsifier) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระจายตัวทำให้ยางธรรมชาติ และยางมะตอยผสมเข้ากันได้ดีและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การเลือกชนิดและปริมาณอิมัลชันไฟเออร์มีผลอย่างมากต่อสมบัติของยางมะตอยอิมัลชัน โดยหากเลือกชนิดหรือใช้ปริมาณอิมัลชันไฟเออร์ที่ไม่เหมาะสมย่อมส่งผลกระทบต่อความเข้ากันได้ (Compatibility) ของยางธรรมชาติกับยางมะตอยซึ่งอาจทำให้เกิดการแยกวัฏภาค (Phase separation) หรือทำให้เกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับยางธรรมชาติทำให้ได้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีคุณภาพต่ำ ในการทดลองเบื้องต้นเลือกใช้สารอิมัลชันไฟเออร์ 2 ชนิดคือ แลคติกเคซีน (Lactic casein) ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นสารประเภทโปรตีน และวินโซลเรซิน (Vinsol[®] resin) ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากเปลือกไม้ นิยมใช้เป็นสารอิมัลชันไฟเออร์ในการผลิตยางมะตอยอิมัลชันโดยทั่วไป

2. น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) เป็นพอลิเมอร์ที่เลือกมาทำหน้าที่เป็นสารช่วยปรับปรุงสมบัติยางมะตอยอิมัลชัน เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว มีความยืดหยุ่น จึงอาจช่วยปรับปรุงสมบัติความยืดหยุ่นให้กับยางมะตอยอิมัลชันได้ ในการทดลองเบื้องต้นใช้น้ำยางธรรมชาติเพียงชนิดเดียวคือ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก (High ammonia latex, HA) ซึ่งมียางธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหลักไม่ต่ำกว่า 60 % โดยน้ำหนัก

3. สารกันบูด (Preservative) เนื่องจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่มีอนุภาคยางธรรมชาติกระจายตัวอยู่ในน้ำ และอนุภาคของยางถูกห่อหุ้มด้วยชั้นโปรตีนซึ่งสามารถเน่าเสียได้เมื่อสัมผัสกับแบคทีเรียในอากาศ ดังนั้นการใช้สารกันบูดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้ โดยในการทดลองเบื้องต้นเลือกใช้สารกันบูด 2 ชนิดคือ บอแรกเพนตะไฮเดรต (Pentahydrate borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และพรอกซิล จี เอ็กซ์ แอล (Proxel GXL[®])

4. สารข้น (Thickener) เป็นสารเคมีที่ช่วยเพิ่มความหนืดให้กับระบบ เหตุที่ต้องเติมสารข้นเนื่องจากในการผสมยางมะตอยอิมัลชันต้องใช้แรงเฉือนสูง และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นของเครื่องผสมขนาดเล็กทำได้จากการหมุนแกนหมุนรูปตัวยู (U-Shape) ให้เบียดกับผนังภาชนะทรงกระบอก ดังนั้นหากของผสมมีความหนืดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมทำให้ได้แรงเฉือนสูง ซึ่งส่งผลให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของยางมะตอยอิมัลชัน และอีกเหตุผลหนึ่งคือในมาตรฐานกรมทางหลวง (ภาคผนวก ค.) มีการกำหนดขอบเขตของความหนืดแบบเซโบลิวฟูรอลของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ไว้ที่ 20 – 100 วินาที จึงต้องมีการปรับความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันให้อยู่ในช่วงดังกล่าว ในการทดลองใช้สารข้น 2 ชนิดคือ สารข้น A-15[®] เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ (ไม่ระบุชนิด) และสารข้น 004[®] เป็นสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane)

5. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารอิมัลซิไฟเออร์ (แลคติกเคซีนและวินซิลเรซิน[®]) เพื่อให้เกิดเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่พร้อมจะเข้าล้อมรอบอนุภาคยางธรรมชาติช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างยางธรรมชาติกับยางมะตอย และทำหน้าที่ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของยางมะตอยอิมัลชันให้อยู่ในช่วงที่ต้องการเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพ (Stability) ของอิมัลชันที่ผลิตได้

เนื่องจากปัจจัยบางประการได้แก่ ชนิดอิมัลซิไฟเออร์ ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ และน้ำยางธรรมชาติเป็นปัจจัยที่จะทำการศึกษในช่วงต่อไป ดังนั้นในช่วงแรกจึงกำหนดเป็นค่าคงที่คือ ใช้ อิมัลซิไฟเออร์ชนิดแลคติกเคซีนที่ 4.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (ประมาณ 2 % โดยน้ำหนัก) และใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากที่สุดที่ 13.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ (ประมาณ 3.5 %DRC) แล้วทำการศึกษผลของสารกันบูดสองชนิดคือ บอแรกเพนตะไฮเดรต และพวอกซิล จี เอ็กซ์ แอล[®] ผลของสารข้นคือ สารข้นชนิด A-15[®] และสารข้นชนิด 004[®] และการใช้ระบบอิมัลซิไฟเออร์ร่วมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] เปรียบเทียบกับการใช้อิมัลซิไฟเออร์แลคติกเคซีนชนิดเดียว ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 สูตรการผสมที่ได้จากตารางที่ 4.2 จะใช้เป็นสูตรมาตรฐานในการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้

ตารางที่ 4.2 สูตรการผสมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์

สารเคมี	สูตรที่ (% โดยน้ำหนักของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์)						
	1	2	3	4	เลือกสูตรที่ 4 มาศึกษาผลของสารกันบูด	5	6
น้ำยางข้น + KOH	13.5+0.3	13.5+0.3	13.5+0.3	13.5+0.3			13.5+0.3
แลคติกเคซีน	4	4	-	-		-	-
แลคติกเคซีน + วินซิลเรซิน [®]	-	-	4+0.5	4+0.5		4+0.5	4+0.5
สารข้น A-15 [®]	0.5	-	0.5	-		-	-
สารข้น 004 [®]	-	0.5	-	0.5		0.5	0.5
บอแรกเพนตะไฮเดรต	-	-	-	-		0.3	-
พวอกซิล จี เอ็กซ์ แอล [®]	-	-	-	-		-	0.3
น้ำ	81.7	81.7	81.2	81.2		80.9	80.9

จากตารางที่ 4.2 สูตรที่ 1 และ 2 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารชั้น (สารชั้น A-15[®] เปรียบเทียบกับสารชั้น 004[®]) โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์แลคติกเคซีนชนิดเดียว จากการทดลองพบว่า ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้เนื้อหยาบเป็นเม็ด เมื่อตั้งทิ้งไว้เกิดชั้นครีมสีขาวที่ผิวหน้าของยางมะตอยอิมัลชัน และเกิดแถบสีขาวเกาะอยู่ที่ผิวด้านข้างกระบอกตวงเป็นช่วง

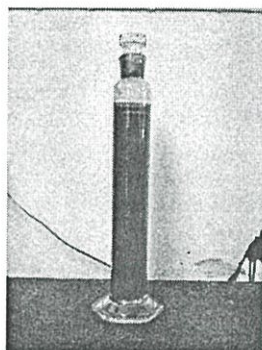
สูตรที่ 3 และ 4 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารชั้น 2 ชนิด โดยใช้ระบบอิมัลซิไฟเออร์ร่วมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] จากการทดลองพบว่า สูตรที่ 3 ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้เนื้อละเอียด แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้เกิดชั้นครีมที่บริเวณผิวหน้าของยางมะตอยอิมัลชัน เนื่องจากความไม่เข้ากันของสารชั้น A-15[®] กับส่วนผสมอื่น ๆ ส่วนสูตรที่ 4 ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้เนื้อละเอียด เมื่อตั้งทิ้งไว้ไม่เกิดการแยกชั้น เหตุที่เกิดความแตกต่างระหว่างสารชั้นทั้ง 2 ชนิดเมื่อผสมลงในยางมะตอยอิมัลชันเนื่องจากสารชั้นทั้ง 2 ชนิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างต่างกันทำให้มีความเข้ากันได้กับยางมะตอยอิมัลชันและสารเคมีอื่น ๆ แตกต่างกัน

สูตรที่ 1 และ 3 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารอิมัลซิไฟเออร์ 2 ระบบคือ แลคติกเคซีนผสมวินซิลเรซิน[®] เปรียบเทียบกับแลคติกเคซีนเพียงอย่างเดียว โดยใช้สารชั้น A-15[®] ส่วนสูตรที่ 2 และ 4 เป็นการเปรียบเทียบผลของอิมัลซิไฟเออร์โดยใช้สารชั้น 004[®] จากนั้นทำการเลือกสูตรผสมที่ดีที่สุดคือ สูตรที่ 4 มาทำการทดลองต่อในสูตรที่ 5 และ 6

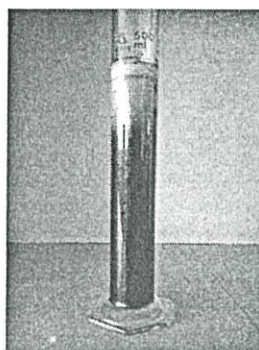
สูตรที่ 5 และ 6 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารกันบูด (บอแรกเพนตะไฮเดรตเปรียบเทียบกับพรอกซิล จี เอ็กซ์ แอล[®]) โดยใช้สารชั้น 004[®] และอิมัลซิไฟเออร์ร่วมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] จากการทดลองพบว่า สูตรที่ 5 ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้เนื้อละเอียด เมื่อตั้งทิ้งไว้ไม่เกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่า 1 เดือน และสูตรที่ 6 ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้เนื้อละเอียด ไม่เกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ มีอายุการเก็บรักษานานกว่า 3 เดือน จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าการใช้พรอกซิล จี เอ็กซ์ แอล[®] เป็นสารกันบูดที่ 0.3 % โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการป้องกันการบูดเน่าของยางธรรมชาติ

จากการทดลองผสมยางมะตอยอิมัลชันด้วยเครื่องผสมขนาดเล็ก แล้วทำการเกลี่ยบนกระดาษชิลิโคนเพื่อสังเกตความละเอียดพบว่า การใช้สารกันบูดชนิดพรอกซิล จี เอ็กซ์ แอล[®] สารชั้นชนิด 004[®] ร่วมกับการใช้อิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] ตามส่วนผสมสูตรที่ 6 (ตารางที่ 4.2) ทำให้ได้ยางมะตอยอิมัลชันเนื้อละเอียด มีค่าการตกตะกอน (Settlement) ที่เจ็ดวันต่ำกว่า 15 % โดยน้ำหนัก ค่าความหนืดที่วัดด้วยเครื่องเซโบล์ฟุรอล (Saybolt furol viscometer) อยู่ในช่วง 20 - 100 วินาที อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนานกว่า 3 เดือน (ปิดฝาภาชนะสนิท) เนื่องจากแลคติกเคซีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากธรรมชาติ (ส่วนประกอบหลักเป็นโปรตีนมากกว่า 90 %) จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้กับน้ำยางธรรมชาติแต่

ไม่เหมาะสมกับยางมะตอย การใช้อิมัลซิไฟเออร์แลคติกเคซินชนิดเดียวจึงทำให้ได้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีเนื้อหยาบ การเติมวินซิลเรซิน[®] ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีความเข้ากันได้ดีกับยางมะตอยช่วยให้ยางมะตอยมีการกระจายตัวที่ดี จึงเลือกสารเคมีสูตรดังกล่าว (สูตรที่ 6) ใช้เป็นสูตรมาตรฐานในการเตรียมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์สำหรับการทดลองต่อไป ซึ่งจะได้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารเคมีที่จะทำการศึกษา เช่น ปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่ 3.5 – 10.0 %DRC ชนิดของน้ำยางธรรมชาติได้แก่ น้ำยางพริ้วคาลาไนซ์ และน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยในบางอัตราส่วน เป็นต้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายยางมะตอยอิมัลชันเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ก) ไม่เกิดการแยกชั้น และ (ข) เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมบัติยางมะตอยอิมัลชันสูตรการทดลองที่ 6

สมบัติ	มาตรฐาน*	ผลการทดลอง	มาตรฐานการทดสอบ
ความหนืดแบบเซโบลต์ฟูรอล (Viscosity, Saybolt furol, sec)	20 - 100	16.7	DH-T 407
การตกตะกอนที่ 7 วัน (Settlement 7 days, %wt)	< 15	3.0	ASTM D 244
เสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ 24 ชั่วโมง (Storage stability 24 Hrs, %wt)	<1.5	0.3	ASTM D 244
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (Solubility in trichloroethylene, %wt)	< 0.1	0.02	ASTM D 244
ปริมาณกากโดยการระเหย (Asphalt content by evaporation, %wt)	> 60	62	ASTM D 244

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สมบัติ	มาตรฐาน*	ผลการทดลอง	มาตรฐานการทดสอบ
ปริมาณพอลิเมอร์ (Solid polymer content, %)	> 3.5	3.5	Certificate
ชนิดประจุ (Particle charge test)	Positive	Negative	ASTM D 244
จุดอ่อนตัว (Softening point, °C)	> 60	54.9	ASTM D 36
ความคืนตัว (Elastic recovery, %)	> 30	5.6	NLT 329/91
เพนิเทรชัน (Penetration, 0.1 mm)	40-100	63	DH-T 403
ความยืดดึงที่ 13 °C (Ductility, cm)	> 40	38	DH-T 405
ขนาดอนุภาค (Sieve test, %wt)	> 97.5	99.5	DH-T 409

หมายเหตุ *มาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. – ก. 405/2538

4.3 ผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

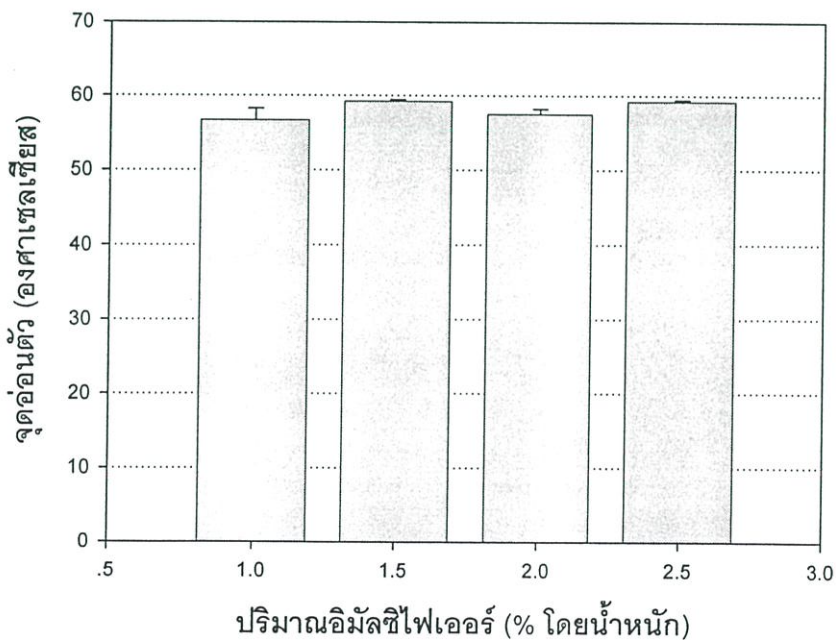
สารอิมัลซิไฟเออร์เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญยิ่งต่อการทำยางมะตอยอิมัลชัน โดยสารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสอง ทำให้อนุภาคยางธรรมชาติสามารถกระจายตัวอยู่ในยางมะตอยได้อย่างมีเสถียรภาพ ดังนั้นการเลือกใช้ชนิดอิมัลซิไฟเออร์มีความสำคัญต่อคุณภาพของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้ นอกจากนี้การเลือกใช้ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการเลือกชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นว่าอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสอง ซึ่งในที่นี้หมายถึงยางมะตอยกับยางธรรมชาติ ดังนั้นหากปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มีน้อยเกินไปจะทำให้ยางมะตอยอิมัลชันมีความเสถียรต่ำ เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์มีปริมาณไม่พอที่จะลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์ หรือหากปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มีมากเกินไป ทำให้เกิดการตกค้างซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชัน การทดลองช่วงนี้ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์อีกชนิดหนึ่งคือ โพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium oleate) และศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ผสมคือ แลคติกเคซินและโพแทสเซียมโอเลเอต

จากการทดลองพบว่าการใช้โพแทสเซียมโอเลเอตเพียงชนิดเดียวหรือโพแทสเซียมโอเลเอตผสมกับวินโซลเรซิน[®] เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลเสียกับระบบยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติอย่างมากคือทำให้เกิดการแยกชั้นของยามะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ

อย่างเด่นชัด และเกิดชั้นครีมขึ้นที่ผิวหน้าของยางมะตอยอิมัลชัน เมื่อทดสอบค่าการตกตะกอน พบว่ามีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นผลการทดลองที่จะกล่าวต่อไปเป็นการเลือกใช้ อิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] ซึ่งทำให้ได้อิมัลชันที่ดีกว่าการใช้ โฟแทสเซียมโอเลอิต หรือแลคติกเคซีนเพียงชนิดตัวเดียว ดังที่ได้กล่าวในผลการทดลองตอนแรก และทำการศึกษาค่าผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 % โดยน้ำหนัก โดย ทำการศึกษาเฉพาะสมบัติเชิงกลได้แก่ จุดอ่อนตัว ความคืนตัว เหนียวข้น และความยืดดึง

4.3.1 จุดอ่อนตัว

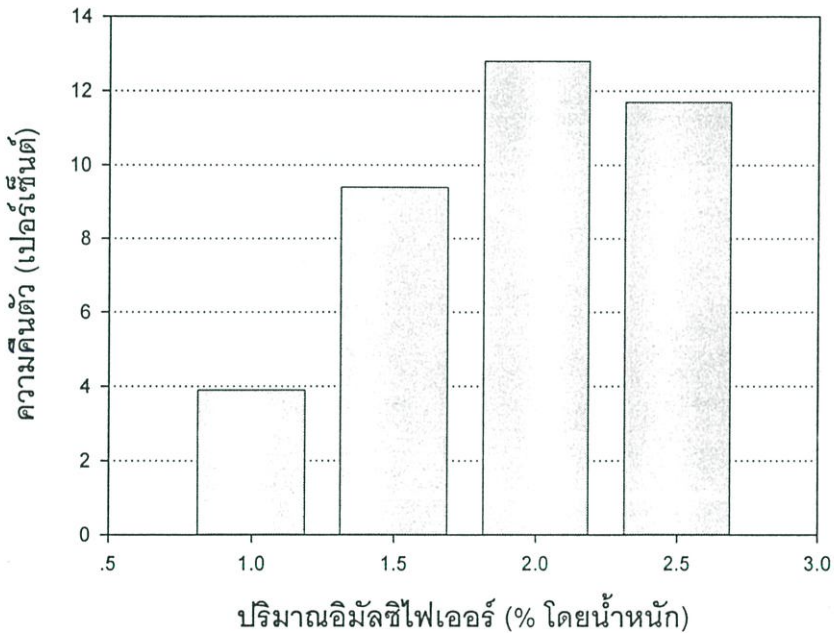
รูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ต่อจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชัน จากการทดลองพบว่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิด แอมโมเนียมากเมื่อใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดแลคติกเคซีนผสมกับวินซิลเรซิน[®] ที่ปริมาณ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 % โดยน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 56.7, 59.2, 57.5 และ 59.2 °C ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าจุดอ่อนตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากการทดสอบจุดอ่อนตัว เป็นการทดสอบความทนทานของยางมะตอยต่ออุณหภูมิและแรงเชิงกลพร้อมกัน ซึ่งปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มีอิทธิพลต่อสมบัติดังกล่าวน้อยมาก ดังนั้นค่าจุดอ่อนตัวจึงมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดอ่อนตัวกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (แลคติกเคซีน)

4.3.2 ความคืบหน้า

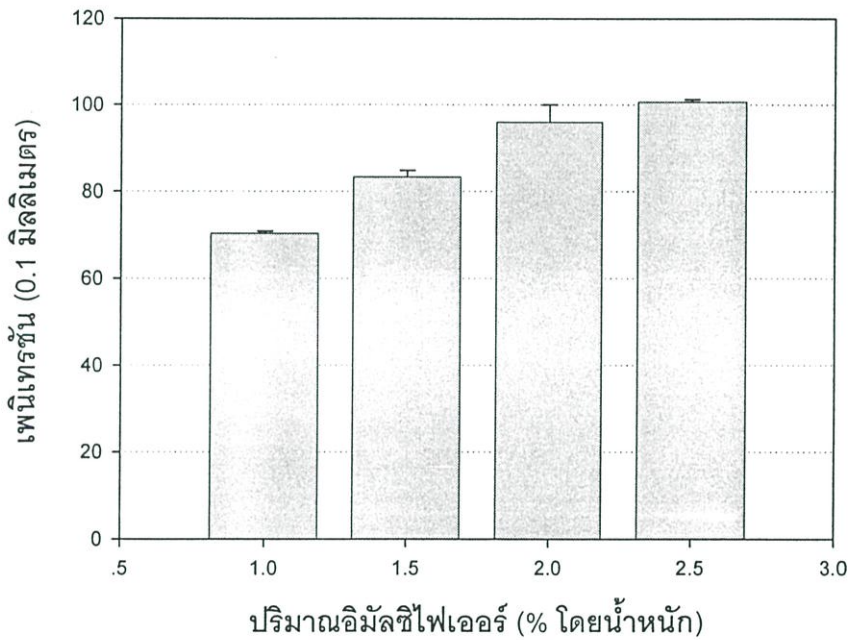
ผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ต่อสมบัติความคืบหน้าของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ (แสดงดังรูปที่ 4.4) ค่าความคืบหน้าของยางมะตอยอิมัลชันที่ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ 1.0 % โดยน้ำหนัก เท่ากับ 3.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์เป็น 1.5, 2.0 และ 2.5 % โดยน้ำหนัก ความคืบหน้าเพิ่มขึ้นเป็น 9.4, 12.8 และ 11.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลของสมบัติความยืดดึง (4.3.4) เนื่องจากจากการเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลต่อขนาดของไมเซลล์ของยางธรรมชาติให้มีขนาดเล็กลงซึ่งส่งผลให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของยางธรรมชาติในยางมะตอยและทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเพราะมีส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างวัฏภาคเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความคืบหน้ากับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (แลคติกเคซีน)

4.3.3 เพนิเทรชัน

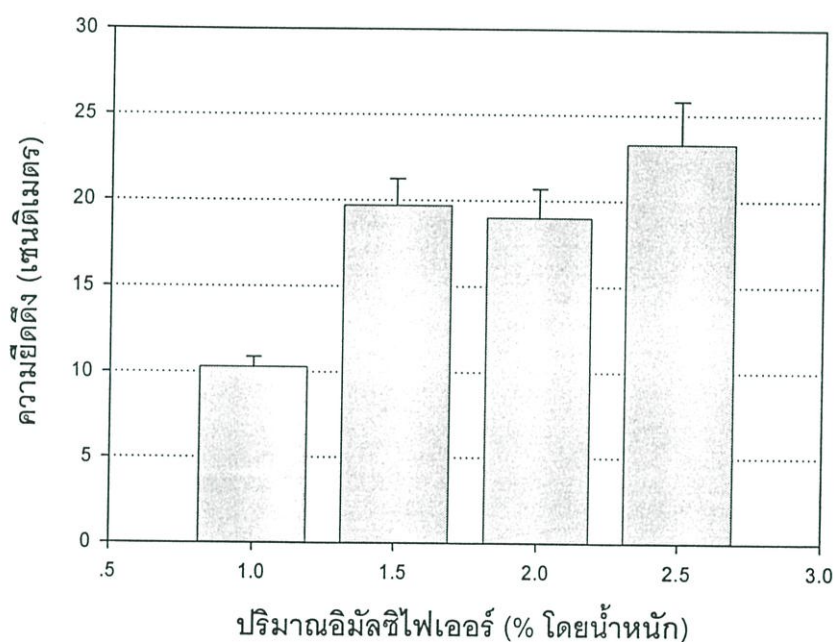
เพนิเทรชันเป็นค่าที่บอกความแข็งของยางมะตอย โดยค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันที่เติมแลคติกเคซีนที่ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 % โดยน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 70, 83, 96 และ 101 ตามลำดับ จากค่าดังกล่าวเห็นได้ว่าเพนิเทรชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือยางมะตอยนิ่มลงเมื่อเพิ่มปริมาณแลคติกเคซีน เหตุที่เพนิเทรชันเพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากการเติมอิมัลซิไฟเออร์ในปริมาณมากเกินไปทำให้เกิดการตกค้างของแลคติกเคซีนในยางมะตอยในรูปของของเหลว [6] (เคซีนละลายได้ในต่าง) ทำให้เพนิเทรชันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแลคติกเคซีน



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพนิเทรชันกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (แลคติกเคซีน)

4.3.4 ความยืดดึง

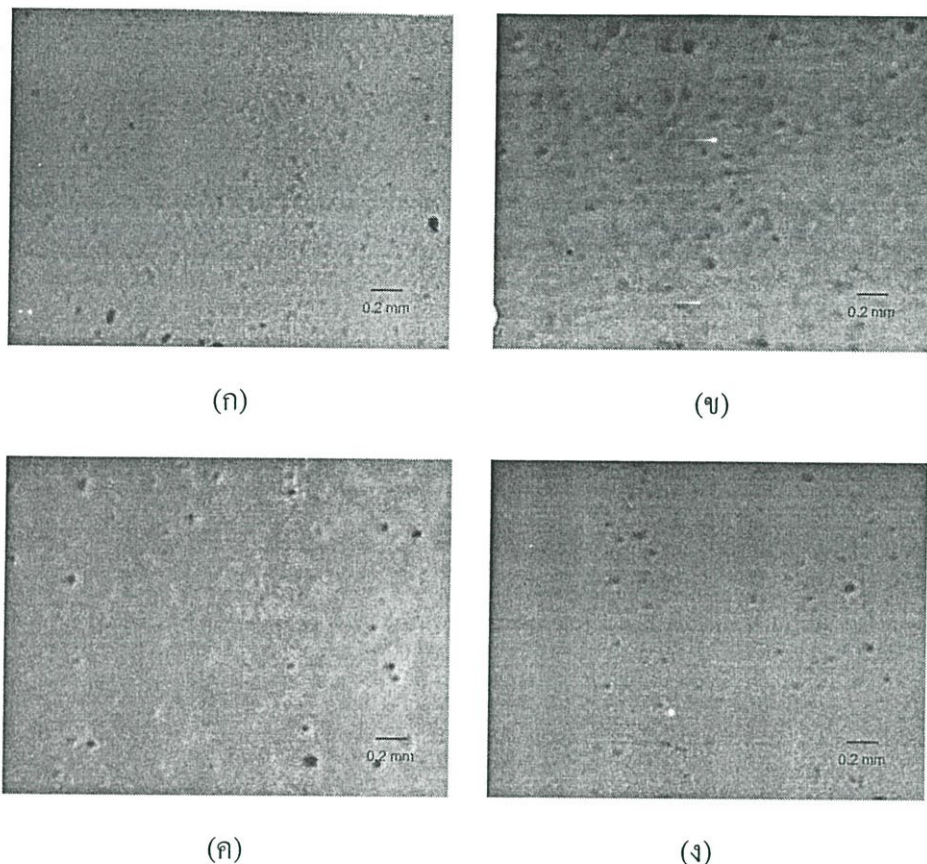
ความยืดดึงเป็นความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางมะตอยเมื่อได้รับแรงกระทำ ความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติขึ้นกับความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างวัฏภาค จากรูปที่ 4.6 พบว่ายางมะตอยอิมัลชันที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ที่ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 % โดยน้ำหนัก มีค่าความยืดดึงเท่ากับ 10, 20, 19 และ 23 เซนติเมตร ตามลำดับเห็นได้ว่าค่าความยืดดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลต่อขนาดของไมเซลล์ของยางธรรมชาติให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของยางธรรมชาติในยางมะตอยและทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เพราะมีส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างวัฏภาคเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยืดดึงกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (แลคติกเคซีน)

4.3.5 สันฐานวิทยา

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่าของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติที่ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ต่างกันตั้งแต่ 1.0 – 2.5 % โดยน้ำหนัก ช่วยสนับสนุนผลการทดลองตอนที่ 4.3 จากภาพถ่ายรูปที่ 4.7 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปส่งผลต่อสันฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันอย่างเด่นชัด โดยที่ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ 1.0 % โดยน้ำหนัก พื้นผิวของยางมะตอยอิมัลชันมีความสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ 1.5 – 2.5 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงสัณฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณต่างกัน (กำลังขยาย 40 เท่า) (ก) อิมัลซิไฟเออร์ 1.0 % โดยน้ำหนัก (ข) อิมัลซิไฟเออร์ 1.5 % โดยน้ำหนัก (ค) อิมัลซิไฟเออร์ 2.0 % โดยน้ำหนัก และ (ง) อิมัลซิไฟเออร์ 2.5 % โดยน้ำหนัก

4.4 ผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (อาจสูงถึง 2,000,000 g/mol) ทำให้มีความยืดหยุ่นและเหนียว จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [13] พบว่าการเติมน้ำยางธรรมชาติลงในยางมะตอยอิมัลชันทำให้สมบัติเปลี่ยนไปคือ ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้มีความหนืด (Viscosity) จุดอ่อนตัว (Softening point) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และเพนิเทรชัน (Penetration) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ แต่มีค่าความยืดดึง (Ductility) ลดลง

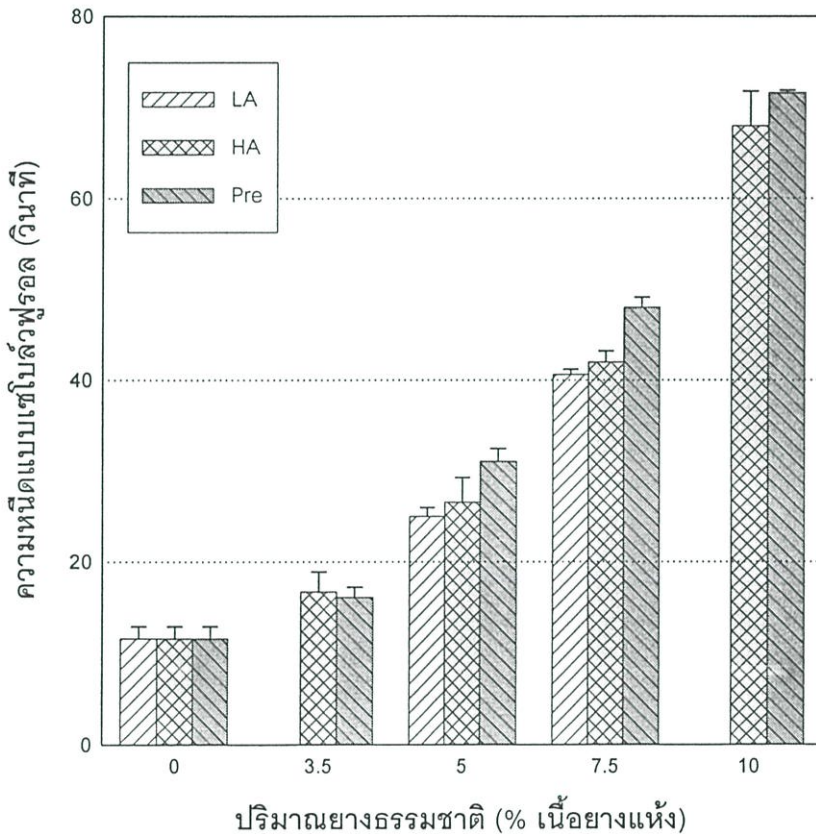
การทดลองช่วงที่สองนี้เป็นการผสมยางมะตอยอิมัลชันด้วยเครื่องผสมขนาดใหญ่ โดยใช้ระบบอิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างแลคติกเคซินที่ 2.0 % โดยน้ำหนักและวินโซลเรซิน[®] ที่ 0.25 % โดยน้ำหนัก เหตุที่ต้องใช้ปริมาณแลคติกเคซินที่ 2.0 % โดยน้ำหนักเนื่องจากในการทดลองส่วนนี้ จะมีการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติจนถึง 10.0 % โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงต้องเติมแลคติกเคซินให้มี

ปริมาณมากเพียงพอกับปริมาณยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น โดยศึกษาผลของน้ำยางธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก (HA) ชนิดแอมโมเนียน้อย (LA) และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Pre) ซึ่งเป็นน้ำยางที่มีการเชื่อมโยงในบางส่วนแล้ว โดยทำการผสมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 % ของปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) และน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยที่ปริมาณ 5.0 และ 7.5 %DRC (เนื่องจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากและน้อยมีส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกันแตกต่างกันที่ปริมาณแอมโมเนียเท่านั้นคาดว่าน่าจะมีผลการทดลองที่คล้ายกันจึงทำการทดลองเพียงบางอัตราส่วน) แล้วทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชัน (อ้างอิงมาตรฐานกรมทางหลวงยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวกข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

4.4.1 ความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล (Saybolt Furol Viscosity)

ความหนืดหมายถึงความสามารถในการต้านทานการไหล ในการทดลองใช้เครื่องวัดความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอลที่อุณหภูมิ 25 °C โดยเตรียมตัวอย่างใส่หลอดมาตรฐานทรงกระบอก จากนั้นปล่อยให้ตัวอย่างไหลลงสู่เซลล์ที่ทราบปริมาตรแน่นอนแล้วทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยตัวอย่างจนตัวอย่างไหลเต็มเซลล์ จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 ความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุบวกก่อนเติมน้ำยางธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 12 วินาที เมื่อเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC ความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากเพิ่มขึ้นเป็น 17, 27, 42 และ 68 วินาทีตามลำดับ เนื่องจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากมีส่วนประกอบหลักเป็นยางธรรมชาติซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาว น้ำหนักโมเลกุลสูง จึงต้านทานการไหลได้ดีกว่ายางมะตอย ดังนั้นเมื่อเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากลงในยางมะตอยอิมัลชันย่อมทำให้ค่าความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยที่ปริมาณ 5.0 และ 7.5 %DRC ให้ค่าความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยเท่ากับ 26 และ 41 วินาทีตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่มีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก เนื่องจากน้ำยางทั้งสองชนิดมีส่วนประกอบทางเคมีที่คล้ายกันจะต่างกันเพียงปริมาณแอมโมเนียเท่านั้น จึงให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกัน กรณีการเติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC พบว่าความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีค่าเท่ากับ 16, 31, 48 และ 72 วินาทีตามลำดับ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เหตุผลสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการใช้น้ำยางต่างชนิดกันพบว่าการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีแนวโน้ม

ให้ค่าความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันที่สูงกว่าการใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก (เปรียบเทียบที่ปริมาณน้ำยางเท่ากัน) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีโครงสร้างบางส่วนที่มีการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างกิ่งหรือโครงสร้างร่างแหจึงมีโอกาสเกิดการเกี่ยวพันของสายโซ่ยางธรรมชาติซึ่งส่งผลให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์ ทำให้มีความต้านทานการไหลที่สูงกว่าการใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดแบบเซโบลิวฟูรอดของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ

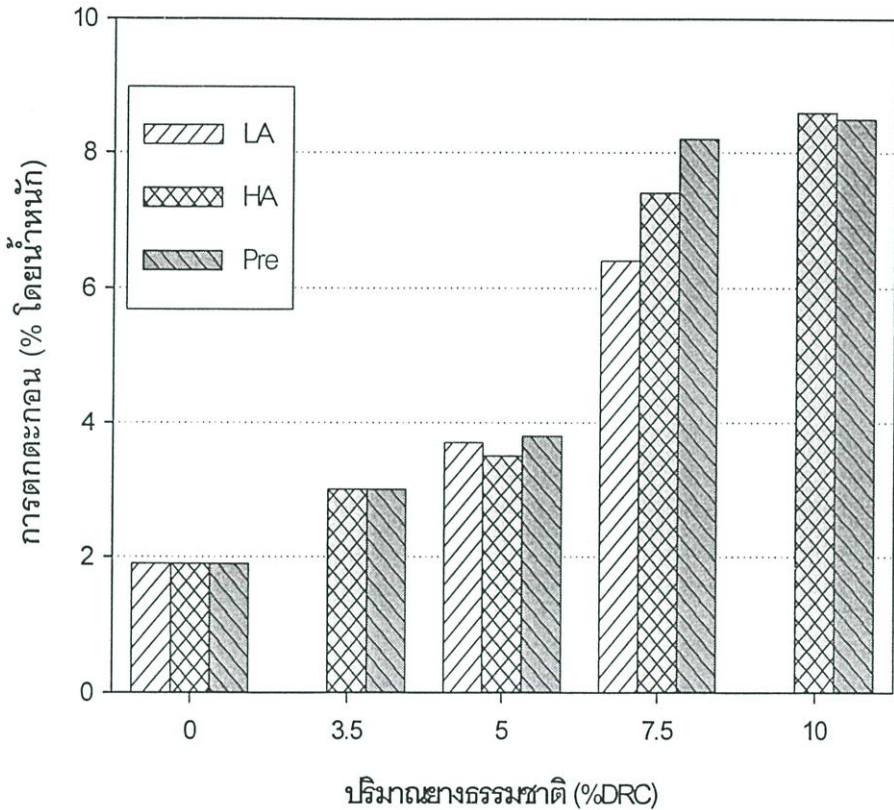
จากผลการทดลองตอนที่ 4.4.1 พบว่าการเติมน้ำยางทั้งสามชนิดลงในยางมะตอยอิมัลชันทำให้ความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยาง การใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีผลต่อการเพิ่มความหนืดของยางมะตอยอิมัลชันมากกว่าการใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากและแอมโมเนียน้อย จากการทดลองพบว่าสูตรที่ผสมยางธรรมชาติที่ปริมาณ 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC มีความหนืดอยู่ในช่วง 20 – 100 วินาที ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ก. 405/2538

4.4.2 การตกตะกอน (Settlement)

การตกตะกอนเป็นการทดสอบการจับตัวเป็นก้อนของยางมะตอยซึ่งสามารถบอกถึงเสถียรภาพ (Stability) ของยางมะตอยอิมัลชัน ค่าการตกตะกอนมีผลอย่างยิ่งต่ออายุการเก็บรักษาของยางมะตอยอิมัลชันโดยตรง ในการใช้งานจริงยางมะตอยอิมัลชันควรมีอายุการเก็บรักษายาวนาน ไม่เสียสภาพหรือแยกวัฏภาคจับตัวกันเป็นก้อนก่อนการนำไปใช้งาน การทดสอบทำได้โดยเทตัวอย่างลงในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตรจนเต็ม แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตามเวลาที่กำหนด จากนั้นเก็บตัวอย่างที่ส่วนบนและล่างของกระบอกตวงอย่างละ 50 มิลลิลิตร ไปเปรียบเทียบปริมาณกาก ค่าการตกตะกอนที่มากแสดงถึงความมีเสถียรภาพที่ต่ำ จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.9) พบว่าค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ไม่เติมน้ำยางธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 1.9 % โดยน้ำหนัก เมื่อเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก ที่ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC ค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากเพิ่มขึ้นเป็น 3.0, 3.5, 7.4 และ 8.6 % โดยน้ำหนักตามลำดับ เหตุที่ค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากยางมะตอยกับน้ำยางมีความเข้ากันได้ต่ำ ดังนั้นเมื่อตั้งยางมะตอยอิมัลชันทิ้งไว้จึงเกิดการแยกชั้นของยางมะตอยกับน้ำยางเกิดเป็นชั้นสีขาวลอยอยู่ด้านบนของกระบอกตวง การใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียร้อยละ 5.0 และ 7.5 %DRC ให้ค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียร้อยละ 3.7 และ 6.4 % โดยน้ำหนัก และการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC ให้ค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เท่ากับ 3.0, 3.8, 8.2 และ 8.5 % โดยน้ำหนักตามลำดับ เหตุผลของการเพิ่มค่าการตกตะกอนของยางมะตอยที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียร้อยละ 5.0 และ 7.5 และพรีวัลคาไนซ์สามารถอธิบายได้คล้ายกับกรณีน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก พบว่าการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ให้ค่าการตกตะกอนที่มากกว่าเนื่องจากมีโครงสร้างที่มีการเชื่อมโยงเชื่อมโยงในบางส่วนทำให้มีโอกาสเกิดการเกี่ยวพันกันของสายโซ่เกิดเป็นโมเลกุลยางธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ หรือเกิดโครงสร้างร่างแหในบางส่วน จึงมีโอกาสเกิดการตกตะกอนหรือแยกวัฏภาคได้ง่ายกว่าน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก

จากผลการทดลองตอนที่ 4.4.2 พบว่าการเติมน้ำยางทั้งสามชนิดลงในยางมะตอยอิมัลชันทำให้ค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการมีเสถียรภาพที่ต่ำลงของยางมะตอยอิมัลชันเนื่องจากความไม่เข้ากันของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ และการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีแนวโน้มทำให้เกิดการแยกวัฏภาคของยางมะตอยกับยางธรรมชาติมากกว่าการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่มีการเกี่ยวพันกันหรือมีการเชื่อมโยงทำให้เกิดเป็นก้อน

โมเลกุลยางที่มีน้ำหนักมากจึงมีโอกาสเกิดการแยกชั้นมากกว่า อย่างไรก็ตามค่าการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันผสมยางธรรมชาติทุกสูตรมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางหลวงที่กำหนดว่าค่าการตกตะกอนที่ 7 วันต้องน้อยกว่า 15 % โดยน้ำหนัก (ภาคผนวก ค.)



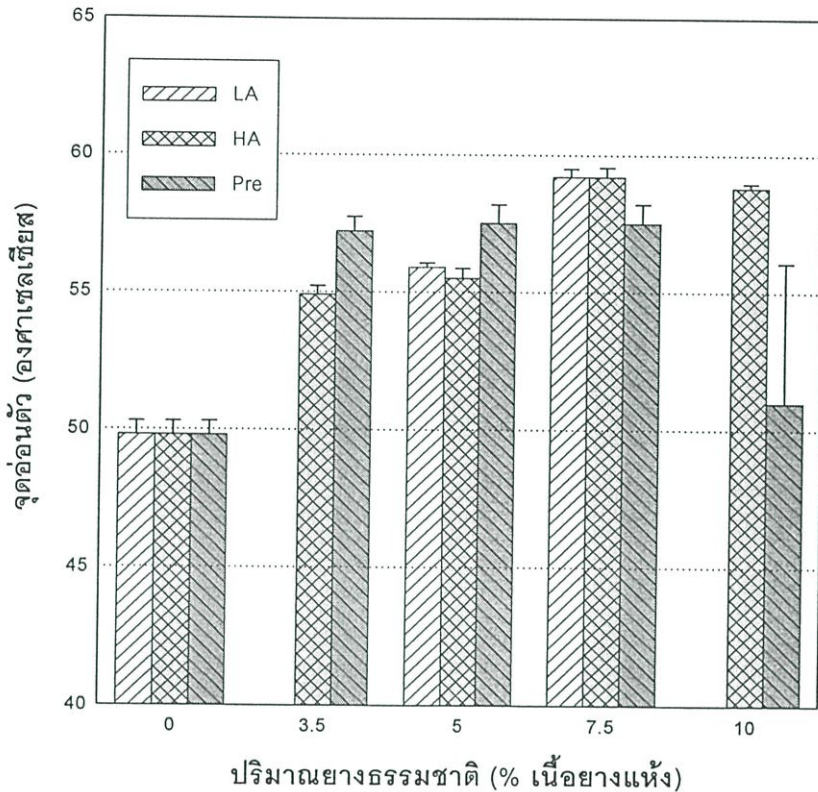
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตกตะกอนของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ

4.4.3 จุดอ่อนตัว (Softening Point, Ring and ball)

จุดอ่อนตัวหมายถึงอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ยางมะตอยอ่อนตัวถึงระดับที่กำหนดภายใต้สภาวะทดสอบมาตรฐาน การวัดค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยผสมยางธรรมชาติทำได้โดยการให้ความร้อนกับตัวอย่างยางมะตอยที่เตรียมในวงแหวนมาตรฐานที่แช่อยู่ในน้ำที่มีลูกปืนเหล็กมาตรฐานวางอยู่ด้านบน จากนั้นทำการบันทึกอุณหภูมิที่ยางมะตอยย่อยถึงจุดที่กำหนด จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่ายางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ไม่เติมน้ำยางธรรมชาติมีจุดอ่อนตัวที่ 49.8 °C การเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ 3.5, 5.0, และ 7.5 %DRC ทำให้ค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากขึ้นเป็น 54.9, 55.8 และ 59.2 ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากเป็น 10.0 %DRC ค่าจุดอ่อนตัวกลับลดลงเล็กน้อยเป็น 58.8 °C ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบจุดอ่อนตัวเป็นการทดสอบความร้อน

เชิงกลคือ ให้แรงกดของลูกบอลเหล็กมาตรฐานบนตัวอย่างที่อยู่ในวงแหวนมาตรฐานในขณะที่ให้ความร้อนไปด้วย ดังนั้นการเติมยางธรรมชาติที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่ายางมะตอยทำให้ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้มีจุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากเกินไปทำให้เกิดการแยกวัฏภาค (Phase separation) ของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ (สอดคล้องกับผลการทดสอบสัณฐานวิทยา ตอนที่ 4.3.7 รูปที่ 4.16) เกิดเป็นจุดด้อยบนชิ้นงานทำให้จุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปริมาณน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ 10.0 %DRC มีค่าต่ำกว่าที่ 7.5 %DRC และเมื่อพิจารณาการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยที่ 5.0 และ 7.5 %DRC พบว่าค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียเท่ากับ 55.9 และ 59.2 °C ตามลำดับซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก ผลของการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ พบว่าค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เมื่อเติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ 3.5, 5.0 และ 7.5 %DRC มีค่าเท่ากับ 57.2, 57.5 และ 57.8 °C ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เป็น 10.0 %DRC ค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันลดลงเป็น 51.0 °C ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการเชื่อมโยงของสายโซ่บางส่วนเกิดเป็นโครงสร้างกึ่งที่มีการเกี่ยวพันกันหรืออาจเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหแข็งแรงกระทำจากน้ำหนักของลูกบอลเหล็กได้ดี แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดแนวโน้มการแยกวัฏภาคของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ ดังนั้นส่วนที่ทนแรงกดได้น้อยกว่าจึงเกิดการเสียหายก่อนทำให้ค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันลดลงอย่างมาก หากเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใช้ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากกับน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ พบว่าการเติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ 3.5 %DRC ทำให้ค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก (ปริมาณเท่ากัน) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC จุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์กลับมีค่าต่ำกว่ายางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก อาจเนื่องจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการเชื่อมโยงในสายโซ่จึงมีความแข็งแรงมากกว่า แต่การเชื่อมโยงนี้เองทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนหรือเกิดการแยกวัฏภาคได้ง่าย

จากผลการทดลองตอนที่ 4.4.3 พบว่าการเติมน้ำยางทั้งสามชนิดลงในยางมะตอยอิมัลชันทำให้ค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลดีกว่ายางมะตอยและการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในปริมาณมากมีผลกระทบต่อการแยกวัฏภาคของยางธรรมชาติกับยางมะตอยทำให้จุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันมีแนวโน้มลดลงที่ปริมาณน้ำยางมาก อย่างไรก็ตามค่าจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางหลวงที่กำหนดว่า จุดอ่อนตัวต้องมีค่ามากกว่า 60 °C อยู่เล็กน้อย

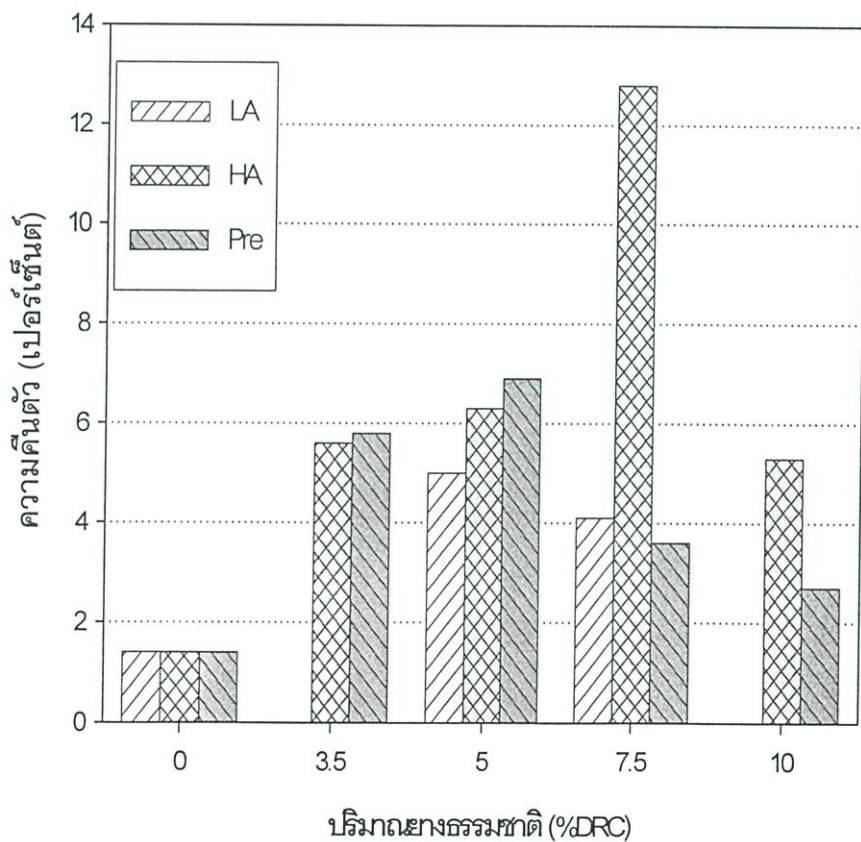


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดอ่อนตัวของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ

4.4.4 ความคืนตัว (Elastic recovery)

ความคืนตัวเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ที่สามารถคืนกลับรูปร่างเดิมเมื่อถูกแรงกระทำภายใต้สภาวะมาตรฐานที่กำหนด การวัดค่าความคืนตัวทำได้โดยหลอมตัวอย่างใส่แม่แบบที่มีแกนหมุน จากนั้นทำการหมุนแกนไปเป็นมุม 180 องศา ที่อุณหภูมิ 25 °C แล้วบันทึกมุมที่หมุนคืนกลับมาเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าความคืนตัวของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ไม่เติมน้ำยางธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 1.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติมน้ำยางชนิดแอมโมเนียมากที่ 3.5, 5.0 และ 7.5 %DRC ความคืนตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชนิดแอมโมเนียมากขึ้นเป็น 5.6, 6.3 และ 12.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางชนิดแอมโมเนียมากเป็น 10.0 %DRC ความคืนตัวของยางมะตอยอิมัลชันลดลงเป็น 5.3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวขนาดใหญ่ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เมื่อได้รับแรงและหดกลับคืนได้เมื่อเอาแรงออก การเติมน้ำยางชนิดแอมโมเนียมากลงในยางมะตอยอิมัลชันจึงทำให้ความคืนตัวของยางมะตอยอิมัลชันเพิ่มขึ้น แต่หากเพิ่มปริมาณน้ำยางมากเกินไปอาจทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดการแยกวัฏภาคของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อผิวสัมผัสของยางมะตอยกับ

ภาชนะแม่แบบมาตรฐานทดสอบทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอ ความชื้นตัวจึงมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาการใช้น้ำอย่างข้นชนิดแอมโมเนียร้อยละ 5.0 และ 7.5 %DRC พบว่าความชื้นตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำอย่างข้นชนิดแอมโมเนียร้อยละ 5.0 และ 4.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การเติมน้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์ที่ 3.5 และ 5.0 %DRC ทำให้ความชื้นตัวของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์มีค่าเท่ากับ 5.8 และ 6.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์เป็น 7.5 และ 10.0 %DRC ความชื้นตัวมีค่าลดลงเป็น 3.6 และ 2.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เหตุผลการเพิ่มของค่าความชื้นตัวของยางมะตอยอิมัลชันอธิบายได้คล้ายกับการใช้น้ำอย่างข้นชนิดแอมโมเนียมาก และเนื่องจากน้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์มีการเชื่อมโยงในโครงสร้างเกิดเป็นโครงสร้างที่สายโซ่มีการเกี่ยวพันบางส่วน เมื่อวัสดุได้รับแรงดึง โครงสร้างเหล่านี้จะรับแรงกระทำไว้ทำให้ไม่เกิดการขาดของสายโซ่อย่างธรรมชาติ และมีการคืนรูปร่างเมื่อนำแรงกระทำออกโครงสร้างนี้จึงช่วยเพิ่มความชื้นตัวของยางมะตอยอิมัลชัน อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์ส่งผลให้มีแนวโน้มเกิดการแยกของวัฏภาคมากขึ้น



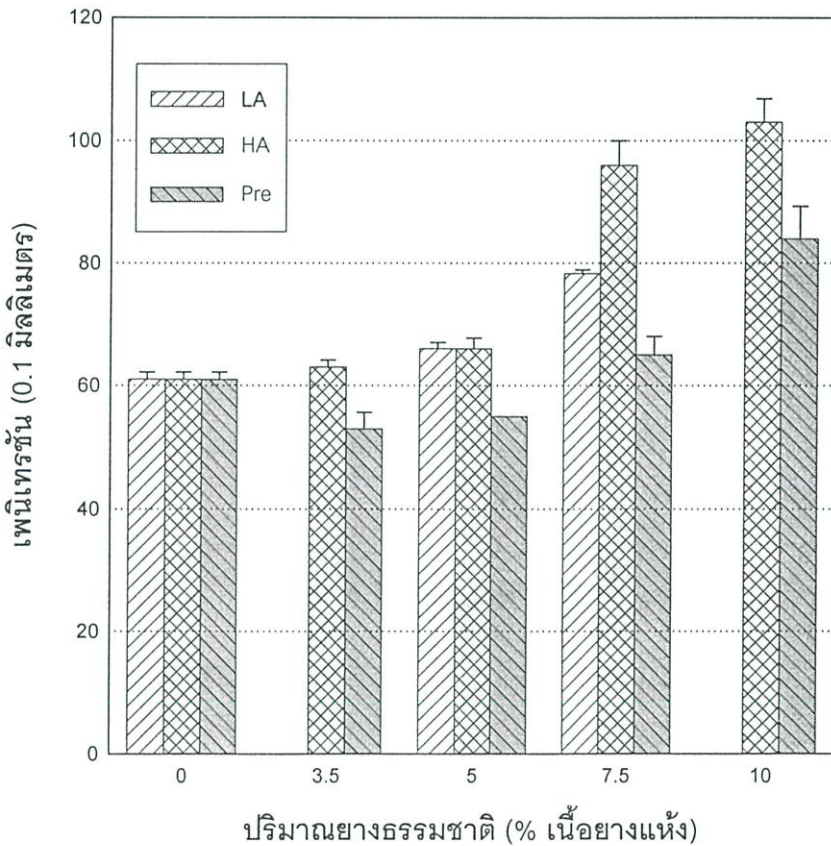
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นตัวของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ

จากผลการทดลองตอนที่ 4.4.4 พบว่าความคืนตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำยางทั้งสามชนิดลงในยางมะตอยอิมัลชันเนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่ายางมะตอย และความคืนตัวมีค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วลดลง เนื่องจากการเติมน้ำยางมากเกินไปทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามค่าความคืนตัวของยางมะตอยปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางหลวงที่กำหนดว่าต้องมีค่าความคืนตัวอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์

4.4.5 เพนิเทรชัน (Penetration)

เพนิเทรชันหมายถึงความแข็งหรือนิ่มของผลิตภัณฑ์ยางมะตอย วัดด้วยความลึกที่ปลายเข็มมาตรฐานหรือกรวยปลายแหลมมาตรฐานจมลงในผลิตภัณฑ์ยางมะตอยภายใต้น้ำหนัก เวลาและอุณหภูมิที่กำหนด โดยยางมะตอยที่มีความแข็งมากจะมีค่าเพนิเทรชันน้อย การวัดค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยผสมยางธรรมชาติทำได้โดยการใช้เข็มมาตรฐานที่มีตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 50 กรัม (น้ำหนักรวม 100 กรัม) กดลงในยางมะตอยที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 5 วินาที แล้วอ่านค่าระยะทางที่เข็มมาตรฐานจมลงใยยางมะตอยในหน่วย 0.1 มิลลิเมตร จากผลการทดลอง (ดังรูปที่ 4.12) พบว่ายางมะตอยอิมัลชันที่ไม่เติมน้ำยางมีค่าเพนิเทรชันเท่ากับ 61 การเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากลงในยางมะตอยอิมัลชันที่ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC ทำให้ค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากเพิ่มขึ้นเป็น 63, 66, 96 และ 103 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าเพนิเทรชันเพิ่มขึ้นอย่างมาก (ยางมะตอยนิ่มมาก) เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางชั้นที่ปริมาณ 7.5 และ 10 %DRC เนื่องจากเกิดการแยกวัฏภาคอย่างชัดเจนระหว่างยางมะตอยกับยางธรรมชาติทำให้แลคติกเคซินซึ่งเดิมทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์กระจายอยู่ทั่วไปในยางมะตอยอิมัลชัน (โดยปกติจะอยู่ที่พื้นผิวระหว่างยางมะตอยกับยางธรรมชาติ) ในรูปของเหลว (แลคติกเคซินละลายได้ในเบส) จึงทำหน้าที่คล้ายเป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ทำให้ยางมะตอยอิมัลชันนิ่มขึ้นและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากเป็นน้ำยางที่ไม่มีการเชื่อมโยงจึงมีความนิ่มตัว นอกจากนี้ในกระบวนการกลั่นขณะเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกลมีการให้อุณหภูมิสูงที่ 265 °C เป็นเวลา 10 นาที จึงอาจเกิดการขาดของสายโซ่ยางธรรมชาติบางส่วน เพราะโครงสร้างของยางธรรมชาติเป็นซิส 1,4 ไอโซพรีน (cis 1,4 Isoprene) ซึ่งมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในโครงสร้างอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) กลไกการขาดของสายโซ่แสดงดังรูปที่ 4.13 มีผลให้ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมีความนิ่มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียที่ 5.0 และ 7.5 %DRC พบว่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 61 เป็น 66 และ 78 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก เนื่องจากมีส่วนประกอบ

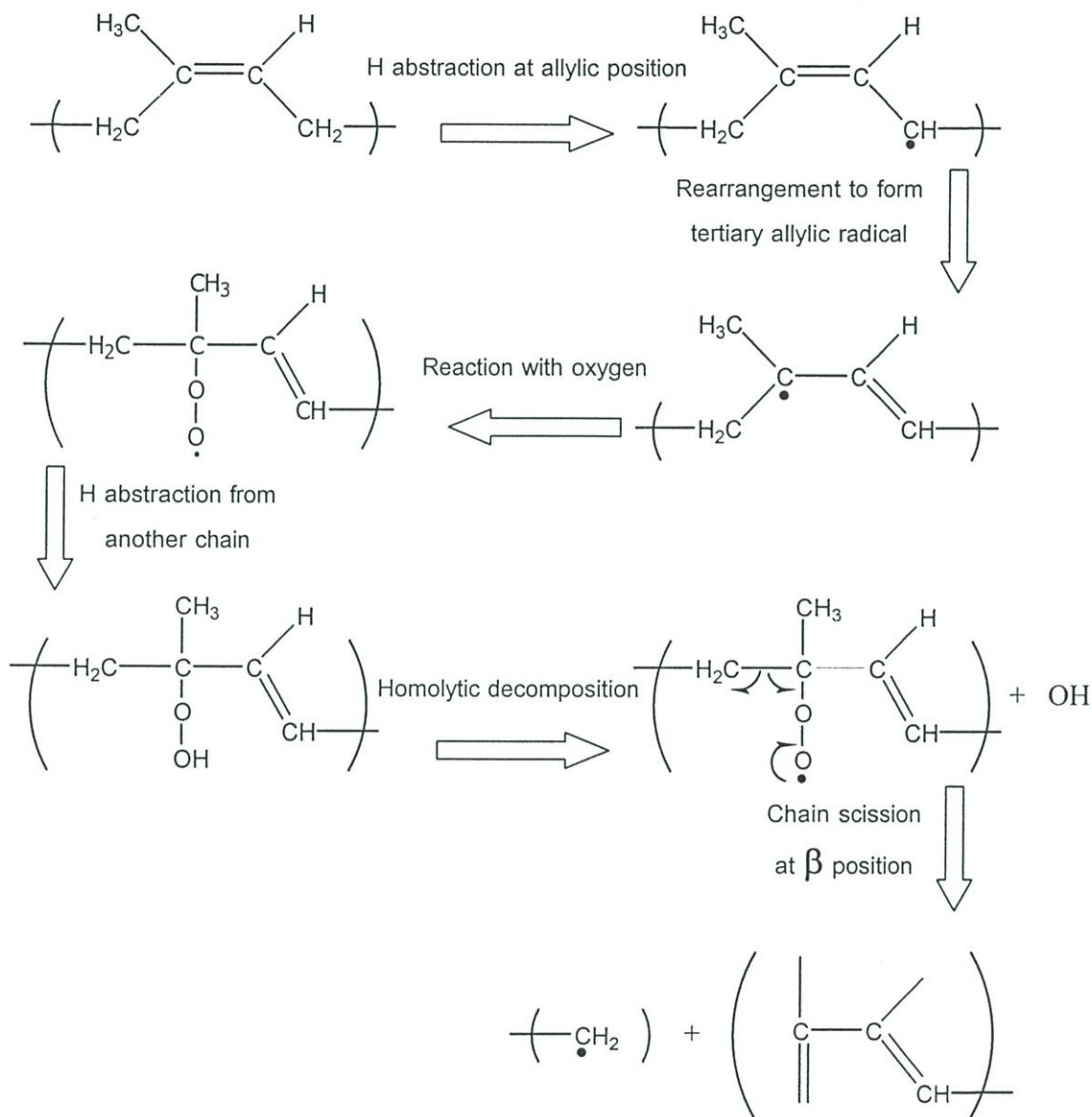
ทางเคมีที่คล้ายกัน กรณีการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์พบว่าค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ 3.5 และ 5.0 %DRC มีค่าลดลงจาก 61 เป็น 53 และ 55 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงยางมะตอยมีความแข็งมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เป็น 7.5 และ 10.0 %DRC ค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันเพิ่มขึ้นเป็น 65 และ 84 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการเติมสารเชื่อมโยงลงในสูตรผสม เมื่อนำตัวอย่างไปทำการกลั่นในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทำให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่เกิดเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น และเหตุที่เพนิเทรชันเพิ่มอย่างรวดเร็วที่ปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ 7.5 และ 10.0 %DRC อธิบายได้คล้ายกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ

จากผลการทดลองตอนที่ 4.4.5 พบว่าค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางทั้งสามชนิด น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก และแอมโมเนียน้อยทำให้ยางมะตอยอิมัลชันที่ได้มีค่าเพนิเทรชันเพิ่มขึ้น (นิ่มขึ้น) เนื่องจากน้ำยางทั้งสองชนิดข้างต้นอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขณะทำการกลั่นเพื่อเตรียมตัวอย่างในการทดสอบและในโครงสร้างของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากและแอมโมเนียน้อยไม่มีการเชื่อมโยง ทำให้ยางมะตอยผสมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากและน้อยมีค่าเพนิเทรชันเพิ่มขึ้น ส่วนผลของการเติม

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้อยทำให้ค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันลดลง เนื่องจากโครงสร้างของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการเชื่อมโยงเกิดขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ค่าเพนิเทรชันของยางมะตอยอิมัลชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางธรรมชาติทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ [22]

4.4.6 ความยืดดึง (Ductility)

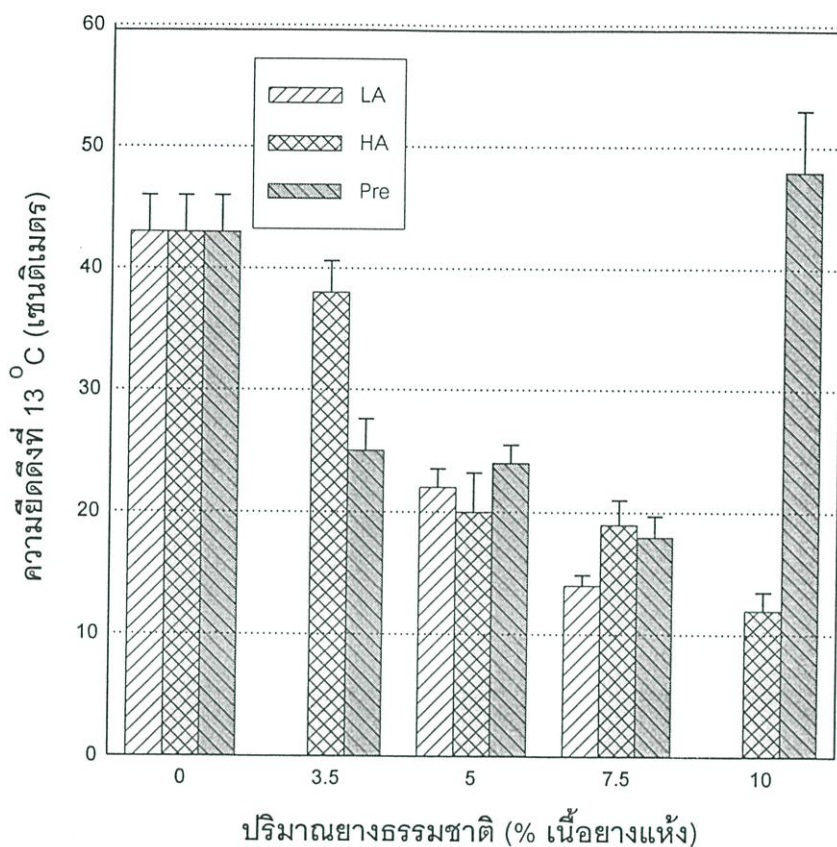
ความยืดดึงหมายถึงความสามารถในการเพิ่มขนาดหรือความยาวของวัสดุยางมะตอยเมื่อถูกดึงให้ยืดในอัตราเร็วและอุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนด วัดเป็นความยาวสูงสุดของชิ้นงานมาตรฐานก่อนขาดออกจากกัน การวัดค่าความยืดดึงของยางมะตอยผสมยางธรรมชาติทำได้โดยการดึงชิ้นงานตัวอย่างมาตรฐานที่อุณหภูมิ 13°C หรือ 25°C ด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที แล้ว

บันทึกกระยะที่ตัวอย่างยึดออกจนขาด ผลการทดลองค่าความยึดดึงที่ 13°C แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าค่าความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ไม่เติมน้ำยางธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 43 เซนติเมตร เมื่อเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากในยางมะตอยอิมัลชันที่ 3.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 %DRC ค่าความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากลดลง เป็น 38, 20, 19 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วยางมะตอยกับยางธรรมชาติผสมเข้ากันได้ยาก ดังนั้นการผสมวัสดุสองชนิดที่ไม่เข้ากันย่อมทำให้เกิดรอยต่อของวัสดุภาคที่ไม่แข็งแรง เมื่อถูกแรงดึงรอยต่อของวัสดุภาคที่ไม่แข็งแรงจึงถูกทำลายได้ง่าย นอกจากนี้ยังอาจเนื่องจากการขาดของสายโซ่ขณะผ่านกระบวนการกลั่นในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบที่มีการใช้ความร้อนสูง พิจารณาการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยที่ 5.0 และ 7.5 %DRC พบว่าค่าความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยมีค่าเท่ากับ 22 และ 14 เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก

ผลการทดลองการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ 3.5, 5.0 และ 7.5 %DRC ความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีค่าเท่ากับ 25, 24 และ 18 เซนติเมตรตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เป็น 10.0 %DRC ความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันเพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 48 เซนติเมตร การที่ค่าความยึดดึงลดลงในช่วงแรกสามารถอธิบายเหตุผลได้คล้ายกับการใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก แต่เหตุที่ความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันกลับเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ 10.0 %DRC เนื่องจากเกิดการแยกวัสดุอย่างเด่นชัด เกิดเป็นอนุภาคของก้อนยางขนาดใหญ่ (ผลการทดลองสอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ในการศึกษาตอนที่ 4.3.7 รูปที่ 4.17) แยกตัวออกจากยางมะตอย ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างไปทดสอบความยึดดึง ส่วนที่แสดงความสามารถในการยึดจึงเป็นเฟสที่ยึดได้ดีคือยางมะตอยนั่นเอง ดังนั้นค่าความยึดดึงของยางมะตอยอิมัลชันจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นค่าใกล้เคียงกับยางมะตอยที่ไม่เติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ผลการทดลอง (รูปที่ 4.14) พบว่าการเติมน้ำยางทั้งสามชนิดลงในยางมะตอยอิมัลชันทำให้ความยึดดึงที่ 13°C ของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติมีค่าลดลง และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น เหตุผลเนื่องยางมะตอยกับยางธรรมชาติผสมเข้ากันได้ยาก และเมื่อผสมยางธรรมชาติในปริมาณมากทำให้เกิดการแยกวัสดุภาคทำให้ความยึดดึงลดลง

จากผลการทดลองเพิ่มเติมค่าความยึดดึงที่ 25°C ของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ โดยเลือกทำในสูตรที่ให้สมบัติยางมะตอยอิมัลชันที่ดีคือ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณ 5.0 %DRC พบว่าค่าความยึดดึงมีค่าเท่ากับ 110 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าความยึดดึงที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดให้มีค่ามากกว่า 40 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของยางมะตอยอิมัลชันกับปริมาณยางธรรมชาติ

ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางธรรมชาติที่ปริมาณต่างกัน สรุปได้ดังตารางที่ 4.4 (น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่สุดที่ 3.5 – 10.0 %DRC), ตารางที่ 4.5 (น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียน้อยที่ปริมาณ 5.0 และ 7.5 %DRC) และ ตารางที่ 4.6 (น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ 3.5 – 10.0 %DRC)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนีย
มากที่ปริมาณต่าง ๆ

สมบัติ	มาตรฐาน*	ปริมาณยางธรรมชาติ (%DRC)				
		0	3.5	5.0	7.5	10.0
ความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล Viscosity, Saybolt furol (sec)	20 - 100	12	16.7	26.6	42	68
การตกตะกอนที่ 7 วัน Settlement 7 days (%wt)	< 15	1.9	3.0	3.5	7.4	8.6
เสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ 24 ชั่วโมง Storage stability 24 Hrs (%wt)	< 1.5	0.1	0.3	0.3	0.9	0.8
ขนาดอนุภาค Sieve test (%wt)	< 0.1	0	0.02	0.08	0.16	0.37
ปริมาณกากโดยการระเหย Asphalt content by evaporation (%wt)	> 60	59	62	65	68	70
ปริมาณพอลิเมอร์ Solid polymer content (%)	> 3.5	0	3.5	5.0	7.5	10.0
ชนิดประจุ Particle charge test	บวก	ลบ	ลบ	ลบ	ลบ	ลบ
จุดอ่อนตัว Softening point (°C)	> 60	49.8	54.9	55.5	59.2	58.8
ความคืนตัว Elastic recovery (%)	> 30	1.4	5.6	6.3	12.8	5.3
เพนิเทรชัน Penetration (0.1 mm)	40 - 100	61	63	66	96	103
ความยืดดึงที่ 13 °C Ductility (cm)	> 40	1.4	5.6	6.4	12.8	5.3
การละลายในไตรคลอโรเอทีลีน Solubility in trichloroethylene (%wt)	> 97.5	100	99.8	99.9	99.8	99.5

หมายเหตุ *มาตรฐานกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนีย
น้อยที่ปริมาณต่าง ๆ

สมบัติ	มาตรฐาน*	ปริมาณยางธรรมชาติ (%DRC)		
		0	5.0	7.5
ความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล Viscosity, Saybolt furol (sec)	20 - 100	12	26	40.6
การตกตะกอนที่ 7 วัน Settlement 7 days (%wt)	< 15	1.9	3.7	6.4
เสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ 24 ชั่วโมง Storage stability 24 Hrs (%wt)	<1.5	0.1	0.2	0.8
ขนาดอนุภาค Sieve test (%wt)	< 0.1	0	0.05	0.06
ปริมาณกากโดยการระเหย Asphalt content by evaporation (%wt)	> 60	59	61.9	63.5
ปริมาณพอลิเมอร์ Solid polymer content (%)	> 3.5	0	5.0	3.5
ชนิดประจุ Particle charge test	บวก	ลบ	ลบ	ลบ
จุดอ่อนตัว Softening point (°C)	> 60	49.8	55.9	59.2
ความคืนตัว Elastic recovery (%)	> 30	1.4	5.0	4.1
เพนิเทรชัน Penetration (0.1 mm)	40 - 100	61	66	78
ความยืดดึงที่ 13 °C Ductility (cm)	> 40	1.4	5.0	4.1
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน Solubility in trichloroethylene (%wt)	> 97.5	100	99.8	99.6

หมายเหตุ *มาตรฐานกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

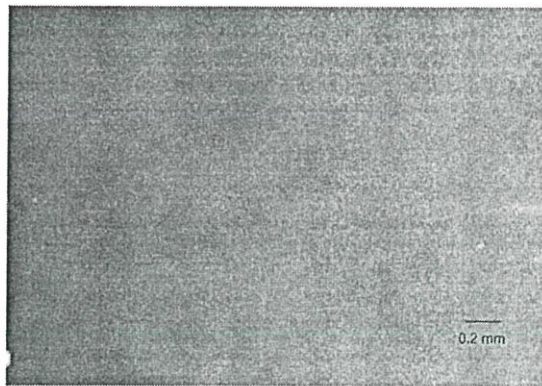
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ปริมาณต่าง ๆ

สมบัติ	มาตรฐาน*	ปริมาณยางธรรมชาติ (%DRC)				
		0	3.5	5.0	7.5	10.0
ความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล Viscosity, Saybolt furol (sec)	20 - 100	12	16	31	48	72
การตกตะกอนที่ 7 วัน Settlement 7 days (%wt)	< 15	1.9	3.0	3.8	8.2	8.6
เสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ 24 ชั่วโมง Storage stability 24 Hrs (%wt)	< 1.5	0.1	0.3	0.4	0.8	1.0
ขนาดอนุภาค Sieve test (%wt)	< 0.1	0	0.01	0.12	0.21	0.60
ปริมาณกากโดยการระเหย Asphalt content by evaporation (%wt)	> 60	59	62	65	68	70
ปริมาณพอลิเมอร์ Solid polymer content (%)	> 3.5	0	3.5	5.0	7.5	10.0
ชนิดประจุ Particle charge test	บวก	ลบ	ลบ	ลบ	ลบ	ลบ
จุดอ่อนตัว Softening point (°C)	> 60	49.8	57.2	57.5	57.8	51
ความคืนตัว Elastic recovery (%)	> 30	1.4	5.8	6.3	3.6	2.7
เพนิเทรชัน Penetration (0.1 mm)	40 - 100	61	53	55	65	84
ความยืดดึงที่ 13 °C Ductility (cm)	> 40	1.4	5.8	6.9	3.7	2.7
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน Solubility in trichloroethylene (%wt)	> 97.5	100	99.1	99.2	98.9	99.0

หมายเหตุ *มาตรฐานกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

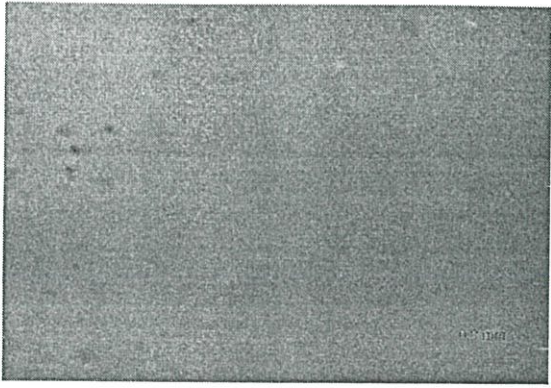
4.4.7 สัณฐานวิทยา (Morphology)

การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) เป็นการศึกษาการกระจายตัวของพื้นผิวของอนุภาคยางธรรมชาติในยางมะตอย ซึ่งการกระจายตัวของยางธรรมชาติมีผลต่อสมบัติเชิงกลของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ ตัวอย่างในการทดลองเตรียมได้โดยการนำกากของยางมะตอยที่ได้จากกระบวนการกลั่นปริมาณเล็กน้อยมาหลอมบนกระจกสไลด์แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า ซึ่งผลการทดลองสามารถเห็นการกระจายตัวของอนุภาคยางธรรมชาติในยางมะตอยได้อย่างชัดเจน จากรูปที่ 4.15 เห็นได้ว่ายางมะตอยอิมัลชันที่ไม่เติมน้ำยางธรรมชาติมีพื้นผิวที่เรียบ และมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อเติมน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณ 3.5 – 10.0 %DRC (รูปที่ 4.16) พบว่าที่บริเวณพื้นผิวมีก้อนกลมขนาดต่าง ๆ กันกระจายอยู่ทั่วไปบนพื้นผิวหน้ายางมะตอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณยางธรรมชาติมาก (7.5 และ 10.0 %DRC) เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีก้อนยางธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่มาก (ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร) กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการแยกตัวของยางมะตอยกับยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมาก

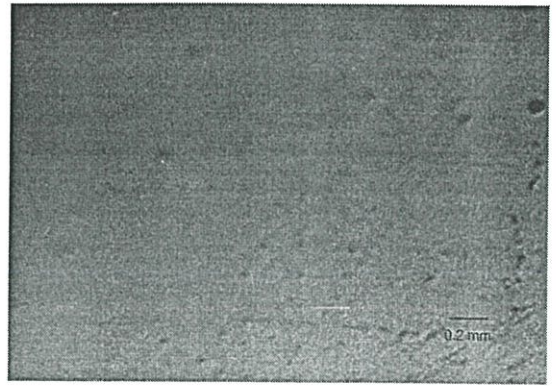


รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงสัณฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันที่ไม่เติมน้ำยาง (กำลังขยาย 40 เท่า)

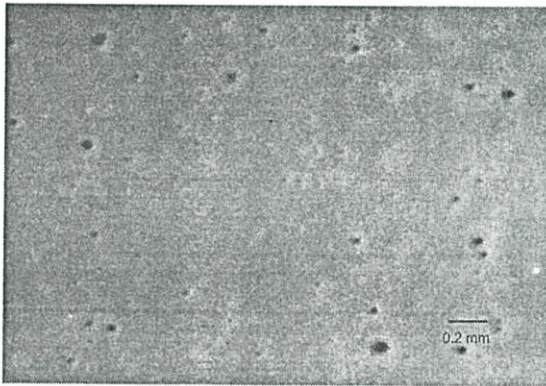
รูปที่ 4.17 เป็นภาพถ่ายแสดงสัณฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จากภาพถ่ายเห็นได้ว่ามีก้อนกลมขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปบนพื้นผิวของยางมะตอย ซึ่งแสดงถึงความไม่เข้ากันของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ 7.5 %DRC มีก้อนกลมขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งบ่งบอกว่าเกิดการแยกตัวภาคอย่างเด่นชัดของยางมะตอยกับยางธรรมชาติ



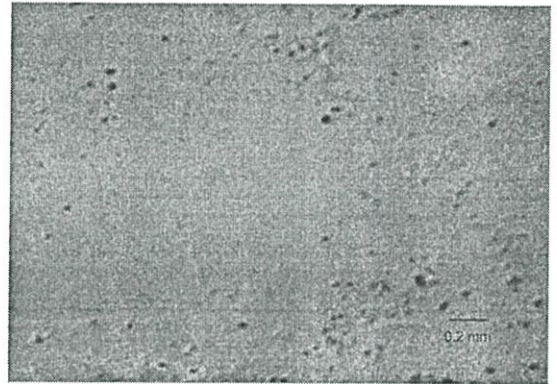
(ก)



(ข)

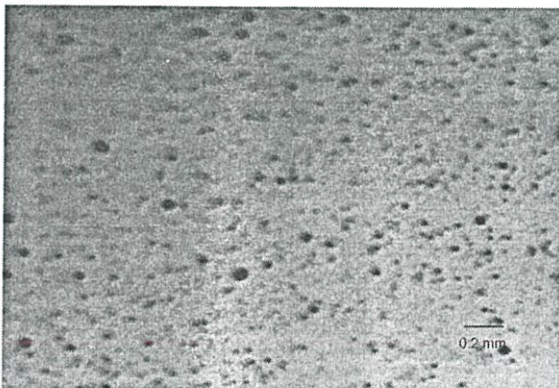


(ค)

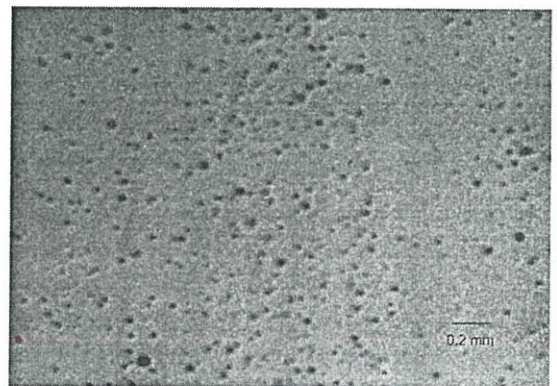


(ง)

รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันที่เติมน้ำยางข้น ชนิดแอมโมเนียมาก (กำลังขยาย 40 เท่า) (ก) 3.5 %DRC (ข) 5.0 %DRC (ค) 7.5 %DRC และ (ง) 10.0 %DRC



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสดงลักษณะฐานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันที่เติมน้ำยาง ปริวัลคาไนซ์ (กำลังขยาย 40 เท่า) (ก) 5.0 %DRC และ (ข) 7.5 %DRC

เมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายแสดงสัดส่วนานวิทยาของยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากกับน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (ที่ปริมาณยางธรรมชาติเท่ากัน) เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ส่งผลให้เกิดการแยกวัฏภาคมากกว่า (พื้นผิวมีความขรุขระมากกว่า) เนื่องจากเนื่องจากโครงสร้างน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการเชื่อมโยงของสายโซ่ เกิดเป็นก้อนยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ทำให้ยากต่อการกระจายตัวจึงมีโอกาสเกิดการแยกของวัฏภาคได้ง่าย ซึ่งผลของสัดส่วนานวิทยาสอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติเชิงกล (ตอนที่ 4.4.1 – 4.4.6)

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางมะตอยอิมัลชันผสมยางธรรมชาติในเชิงพาณิชย์ จึงได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตยางมะตอยอิมัลชันที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติที่ปริมาณ 5 %DRC แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าราคาต้นทุนรวมมีค่าประมาณ 12 บาท/กิโลกรัม ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีราคาสูงกว่ายางมะตอยที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ (8 บาท/กิโลกรัม ราคาประมาณปี 2546 จากบริษัทแบมโก จำกัด) เพียงเล็กน้อย แต่การใช้อย่างธรรมชาติปรับปรุงสมบัติยางมะตอยสามารถช่วยให้สมบัติบางประการของยางมะตอยดีขึ้น เช่น ความหนืด จุดอ่อนตัว และความคืนตัว เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยประเทศชาติ โดยเฉพาะเกษตรกรไทยผู้ผลิตยางธรรมชาติ โดยเพิ่มปริมาณการใช้อย่างธรรมชาติในประเทศ ช่วยทำให้ราคาขายพาราสูงขึ้น

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบการผลิตยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากที่ 5.0 %DRC (บาท/กิโลกรัม)

สารเคมี	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ/กิโลกรัม (กรัม)	*ราคา (บาท/กิโลกรัม)	เป็นเงิน (บาท)
น้ำยางชั้น	5.0	50	31	1.55
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.141	1.41	42.5	0.06
แลคติกเคซิน	1.88	18.8	270	5.08
วินโซลเรซิน®	0.235	2.35	176.5	0.41
พวอกซิล จี เอ็กซ์ แอล®	0.141	1.41	605	0.85
ยางมะตอย	53	530	8.0	4.24
น้ำ	80.9	809	0.02	0.02
ราคาต่อยางมะตอยอิมัลชัน 1 กิโลกรัม				12.21

หมายเหตุ *การประมาณราคาเฉลี่ยปี พ.ศ.2546

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเติมน้ำยางธรรมชาติในรูปแบบน้ำยางข้น (Concentrated latex) ลงในยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบ (Anionic asphalt emulsion) โดยทำการเติมน้ำยางข้น สามชนิดคือ น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก (High ammonia concentrated latex, HA) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย (Low ammonia concentrated latex, LA) และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized latex, Pre) เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยอิมัลชัน ทำการศึกษาผลของชนิด และปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมกับการทำยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ จากผลการทดลองสามารถแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้ยางธรรมชาติในรูปแบบน้ำยางข้นปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบได้ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลของชนิดและปริมาณยางธรรมชาติในยางมะตอยอิมัลชัน

จากการศึกษาพบว่า การเติมน้ำยางทั้งชนิดแอมโมเนียมาก แอมโมเนียน้อย และพรีวัลคาไนซ์ ลงในยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบทำให้ค่าความหนืด (Viscosity) และเพนิเทรชัน (Penetration) เพิ่มขึ้น แต่ความยืดดึง (Ductility) และเสถียรภาพ (Stability) ลดลง จุดอ่อนตัว (Softening point) และความคืนตัว (Elastic recovery) เพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาว น้ำหนักโมเลกุลสูง และมีความยืดหยุ่นดี แต่การที่ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมากนี้เองทำให้เกิดปัญหาความไม่เข้ากันของยางธรรมชาติกับยางมะตอยส่งผลให้สมบัติบางประการของยางมะตอยอิมัลชันลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเติมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณมาก

จากการศึกษาพบว่า การใช้ น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมากที่ปริมาณ 5 %DRC ให้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีสมบัติเชิงกลโดยรวมดี เนื่องจากการเติมน้ำยางในปริมาณมากเกินไป (เช่น ที่ 10 %DRC) และการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคระหว่างยางมะตอยกับยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองชนิดยางธรรมชาติ ได้แก่ น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียมาก (HA) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียน้อย (LA) และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Pre) พบว่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางข้นไม่ส่งผลหรือส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชัน เนื่องจากสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยอิมัลชันที่ผสม HA และ LA ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การผสม Pre พบว่ามีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกวัฏภาคง่ายกว่า เนื่องจากโครงสร้างมีการเชื่อมโยงบางส่วนเป็นกึ่งทำให้เกิดการผสมหรือการเข้ากันได้ยากกว่า

5.2 ผลของชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ในยางมะตอยอิมัลชัน

การใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] ให้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์แลคติกเคซีนหรือโพแทสเซียมโอลิเอตเพียงชนิดเดียว และปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อการเติมยางธรรมชาติที่ 5 %DRC คืออิมัลซิไฟเออร์ที่ 1.5 % โดยน้ำหนัก การใช้ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปส่งผลต่อสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้

5.3 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ที่กำลังขยาย 40 เท่าสามารถมองเห็นการกระจายตัวของอนุภาคยางธรรมชาติในยางมะตอยได้ จากการทดลองพบว่ายางมะตอยอิมัลชันที่ไม่เติมยางธรรมชาติมีพื้นผิวที่เรียบ มีความสม่ำเสมอ และเมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ เช่น ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 7.5 และ 10.0 %DRC เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการแยกของวัฏภาคเกิดขึ้น

การใช้ยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางสามารถปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบได้ โดยสมบัติของยางมะตอยอิมัลชันที่ได้ขึ้นกับปริมาณยางธรรมชาติเป็นหลัก ปริมาณยางธรรมชาติที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.0 – 7.5 %DRC การใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมากให้ผลการทดลองที่ดีกว่าการใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ การเลือกใช้ระบบอิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างแลคติกเคซีนกับวินซิลเรซิน[®] ทำให้ได้ยางมะตอยอิมัลชันที่มีเสถียรภาพดีกว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว และการใช้ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปส่งผลต่อสมบัติของยางมะตอยอิมัลชัน สูตรผสมที่น่าจะมีการพัฒนาในทางการค้าและมีสมบัติโดยรวมดีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 ยางมะตอยอิมัลชันปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติสูตรนี้มีสมบัติส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงข้อกำหนดที่ ทล. – ก. 405/2538 มีเพียงสมบัติบางประการ ได้แก่ จุดอ่อนตัว และความคืนตัวที่มีสมบัติต่ำกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะมีงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อปรับปรุงสมบัติดังกล่าวต่อไป

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ยึดมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. – ก. 405/2538 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับยางมะตอยอิมัลชันปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานการทดสอบสำหรับยางมะตอยอิมัลชันปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ชนิดประจุลบและไม่มีประจุ จึงสมควรที่จะจัดทำมาตรฐานใหม่สำหรับยางมะตอยอิมัลชันปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ชนิดประจุลบและไม่มีประจุ

2. ศึกษาเพิ่มเติมด้านวิศวกรรมและทดลองนำไปใช้งานจริง

3. ศึกษาต้นทุนการผลิตจริงและความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม
4. ศึกษาการเพิ่มสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติที่ต้องการปรับปรุง
5. ศึกษาการเติมยางธรรมชาติผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ ในการปรับปรุงสมบัติยางมะตอยอิมัลชัน เช่น ยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสมยางธรรมชาติ (SBR/NR) เป็นต้น

ตารางที่ 5.1 สรุปสูตรผสมยางมะตอยอิมัลชันปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติที่ได้จากงานวิจัยนี้

สารเคมี	ปริมาณ (%wt)
น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียมมาก (HA)	5.0 - 7.5
ยางมะตอย (AC60/70)	53.0
แลคติกเคซีน	1.50
วินโซลเรซิน [®]	0.24
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.14
สารกันบูด Ploxel GXL [®]	0.14
น้ำ	38.25

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบยางมะตอยอิมัลชันชนิดประจุลบปรับปรุงด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนีย
มากที่ปริมาณ 5.0 %DRC

สมบัติ	มาตรฐาน*	ผลการทดลอง	มาตรฐานการทดสอบ
ความหนืดแบบเซโบล์ฟูรอล (Viscosity, Saybolt furol, sec)	20-100	26	DH-T 407
การตกตะกอนที่ 7 วัน (Settlement 7 days, %wt)	< 15	3.7	ASTM D 244
เสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ 24 ชั่วโมง (Storage stability 24 Hrs, %wt)	<1.5	0.2	ASTM D 244
ปริมาณกากโดยการระเหย (Asphalt content by evaporation, %wt)	> 60	61.9	ASTM D 244
ปริมาณพอลิเมอร์ (Solid polymer content, %)	> 3.5	5.0	Certificate
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (Solubility in trichloroethylene, %wt)	> 97.5	99.8	DH-T 409
ชนิดประจุ (Particle charge test)	Positive	Negative	ASTM D 244
ขนาดอนุภาค (Sieve test, %wt)	< 0.1	0.05	ASTM D 244
จุดอ่อนตัว (Softening point, °C)	> 60	55.9	ASTM D 36
ความคืนตัว (Elastic recovery, %)	> 30	5.0	NLT 329/91
เพนิเทรชัน (Penetration, 0.1 mm)	40-100	66	DH-T 403
ความยืดดึงที่ 25 °C (Ductility, cm)	40-100	110	DH-T 405

หมายเหตุ *มาตรฐานกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

เอกสารอ้างอิง

1. The Rubber International Magazine, June 2003, Vol 5, No 6, 91.
2. The Rubber International Magazine, February 2000, Vol. 2, No 14, 55.
3. "A Survey on Rubberized Asphalt for Road Surfacing", The Rubber International Magazine, April, 2000, 83-86.
4. L.H. Lewandowski, "Polymer Modified of Paving Binders", 67, 1994, 451.
5. Arnold J. Holdberg, "Bitumens Materials", Vol. 1, Interscience Publisher, London, 1964, 143-280, 375-410.
6. Asphalts Institute, "A Basic Asphalt Emulsion Manual", Series No.19, 2nd ed., USA.
7. B. Stephen, "The Shell Bitumen Handbook", 1991.
8. ไกรศรี ดวงพัตรา, 'ยางมะตอย', เอกสารบริษัทเชลล์ประเทศไทย, 4-17, 39-42.
9. The Rubber International Magazine, February 2000, Vol. 2, No 14, 71.
10. วราภรณ์ ขจรชัยกุล, "น้ำยาง", ศูนย์วิจัยยางหาดใหญ่, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2525, 1-95.
11. วราภรณ์ ขจรชัยกุล, "วิธีการทดสอบน้ำยาง", ศูนย์วิจัยยางสงขลา, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2532, 1-56.
12. "Annual Book of ASTM Standards", Vol. 0.403, ASTM, Philadelphia, 2000, D244-99.
13. Y. Becker, P. Mendez and R. Yajaira, "Polymer Modified Asphalt" Vision Technologica, 2001, 9, No 1.
14. M.J. Fernando and M. Nadajah, "Use of Natural Rubber Latex in Road Construction", Natural Rubber Conference Kuala Lumpur, 1968, 1-9.
15. Y.J. Lee, L.M. France and M.C. Hawley, Rubber Chem. Technol., 1997, 70, 256-263.
16. N. Radhakrishnan, N.M. Mathew, Sabu Thomas, Prabha Chatterjee and M.A. Siddi, "Physical and Rheological Characteristics of Liquid Natural Rubber Modified Bitumen", J. Appl. Polym. Sci., 63, 1998, 53-61.
17. W.V. Synder and S.W. Schmitt, "Modified of Asphalt with Neoprene Latex", Development Product Report NO. 15, DuPont Dow Elastomers.
18. C.R. Cuervo and S.F. Booth, "How to Prepare Cationic Asphalt Emulsions with Neoprene Latex", Special Report, DuPont Company, March, 1985.

19. P.P. Serquigny, J.L. Everux and G.M. Burney, "U.S. Patent No. 5,990,207", June 23 1998, Assigned to Elf Atochem S.A., France.
20. จรัสศรี พันธุ์ไม้, "การปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางธรรมชาติสำหรับงานทาง", วิทยานิพนธ์ เทคโนโลยีพอลิเมอร์ วท.ม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2545.
21. นายปฏิเวธ ล้ำเลิศ และคณะ, "การปรับปรุงสมบัติยางมะตอยด้วยเส้นใยไนลอน 6 จากส่วนเสริมแรง (พลาซ) ของยางรถยนต์ใช้แล้ว", โครงการพิเศษ วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2544.
22. อิทธิพล แจ่มชัด, "เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2544.
23. Robert N. Hunter, "Bituminous Mixture in Road Construction", Thomas Telford, London, 1994.
24. A.B. Samsuri, Rubber Research Institute of Malaysia, *J. Nat. Rubb*, 11(3), 166-182.
25. "คุณสมบัติยางมะตอยหลังจากเติมพอลิเมอร์ SBS", เส้นทางสัมพันธ, บริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน), มกราคม-เมษายน, 2543, 4-5.
26. "Polymer Modified Asphalt", เส้นทางสัมพันธ, บริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน), พฤษภาคม-สิงหาคม, 2543, 4-5.
27. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2536, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุยางมะตอย มอก. 1201-2536, กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
28. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2536, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความยืดดึงของวัสดุยางมะตอย มอก. 1202-2536, กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
29. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2537, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุยางมะตอย มอก. 1216-2537, กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

สมบัติเชิงกล

Properties	2 %Lactic casein		3 %Lactic casein		4 %Lactic casein		5 %Lactic casein	
	Penetration	70, 70, 71	Avg. 70.3 SD. 0.58	82, 85, 83	Avg. 83.3 SD. 1.53	100, 92, 96	Avg. 96 SD. 4.00	100, 101, 101
Softening point (°C)	56.9, 57.1, 56.2, 56.6	Avg. 56.7	59.3, 59.4, 58.9, 59.0	Avg. 59.2	58.1, 57.6, 58.1, 56.6	Avg. 57.5	59.0, 59.5, 59.0, 59.2	Avg. 59.2
		SD. 1.53		SD. 0.24		SD. 0.71		SD. 0.24
Ductility (cm)	10, 11, 10	Avg. 10.3	20, 21, 18	Avg. 19.7	17, 21, 19	Avg. 19	23, 21, 26	Avg. 23.3
		SD. 0.58		SD. 1.53		SD. 1.68		SD. 2.52
Recovery (°)	7, 7	Avg. 7	18, 16	Avg. 17	22, 24	Avg. 23	21, 21	Avg. 21
		SD.		SD.		SD.		SD.

Viscosity (s)	0%DRC		3.5%DRC		5.0%DRC		7.5%DRC		10.0%DRC	
	Avg.	SD.	Avg.	SD.	Avg.	SD.	Avg.	SD.	Avg.	SD.
High ammonia	10.6, 11.2, 13.1		14.5, 16.6, 18.9		23.5, 28.7, 27.6		40.7, 43.1, 42.2		70.1, 70.3, 63.6	
	Avg. 11.6	SD. 1.30	Avg. 16.7	SD. 2.20	Avg. 26.6	SD. 2.74	Avg. 42.0	SD. 1.21	Avg. 68.0	SD. 3.81
Prevulcanized	10.6, 11.2, 13.1		15.2, 15.7, 17.3		30.0, 30.6, 32.7		50.2, 46.5, 47.2		70.2, 72.3, 72.5	
	Avg. 11.6	SD. 1.30	Avg. 16.1	SD. 1.09	Avg. 31.1	SD. 1.41	Avg. 48.0	SD. 1.96	Avg. 71.6	SD. 0.25
Low ammonia	10.6, 11.2, 13.1		-		26.0, 24.2, 27.2		41.3, 42.5, 38.0		-	
	Avg. 11.6	SD. 1.30	-	-	Avg. 25.8	SD. 1.50	Avg. 40.6	SD. 2.33	-	-
Penetration	0%DRC		3.5%DRC		5.0%DRC		7.5%DRC		10.0%DRC	
	Avg. 61.0	SD. 1.15	Avg. 63	SD. 1.10	Avg. 66.0	SD. 1.73	Avg. 96.0	SD. 4.00	Avg. 103.0	SD. 3.78
High ammonia	60, 62, 61		63, 64, 62		65, 68, 65		100, 92, 96		100, 107, 101	
	Avg. 61.0	SD. 1.15	Avg. 61.0	SD. 1.15	Avg. 55.0	SD. 0.00	Avg. 65.0	SD. 3.00	Avg. 84.0	SD. 5.30
Prevulcanized	60, 62, 61		50, 54, 55		55, 55, 55		65, 68, 62		82, 90, 80	
	Avg. 61.0	SD. 1.15	Avg. 53.0	SD. 2.64	Avg. 55.0	SD. 0.00	Avg. 65.0	SD. 3.00	Avg. 84.0	SD. 5.30
Low ammonia	60, 62, 61		-		67, 66, 68		78, 78, 79		-	
	Avg. 61.0	SD. 1.15	-	-	Avg. 66.0	SD. 1.00	Avg. 78.3	SD. 0.58	-	-
Softening ($^{\circ}$ C)	0%DRC		3.5%DRC		5.0%DRC		7.5%DRC		10.0%DRC	
	Avg. 49.8	SD. 0.50	Avg. 54.9	SD. 0.31	Avg. 55.5	SD. 0.36	Avg. 59.2	SD. 0.34	Avg. 58.8	SD. 0.16
High ammonia	50.1, 50.3		54.5, 54.9		55.5, 55.9		59.7, 59.2		58.6, 58.8	
	Avg. 49.8	SD. 0.50	Avg. 54.9	SD. 0.31	Avg. 55.5	SD. 0.36	Avg. 59.2	SD. 0.34	Avg. 58.8	SD. 0.16
Prevulcanized	49.3, 49.4		55.2, 55.1		55.2, 55.3		58.9, 59.1		58.8, 59.0	
	Avg. 49.8	SD. 0.50	Avg. 57.2	SD. 0.53	Avg. 57.5	SD. 0.67	Avg. 57.8	SD. 0.71	Avg. 51.0	SD. 5.06
Low ammonia	50.1, 50.3		57.3, 57.5		57.9, 57.4		58.1, 57.6		55.6, 54.7	
	Avg. 49.8	SD. 0.50	Avg. 57.2	SD. 0.53	Avg. 57.5	SD. 0.67	Avg. 57.8	SD. 0.71	Avg. 51.0	SD. 5.06
Low ammonia	49.3, 49.4		-		55.7, 56.0		58.9, 59.1		-	
	Avg. 49.8	SD. 0.50	-	-	Avg. 55.9	SD. 0.15	Avg. 59.2	SD. 0.30	-	-

Ductility (cm)	0 %DRC		3.5 %DRC		5.0 %DRC		7.5 %DRC		10.0 %DRC	
High ammonia	42, 40, 46	Avg. 43.0	40, 35, 39	Avg. 38.0	18, 19, 24	Avg. 20	17, 21, 19	Avg. 19.0	10, 13, 12	Avg. 12.0
		SD. 3.0		SD. 2.60		SD. 3.20		SD. 2.00		SD. 1.50
Prevulcanized	42, 40, 46	Avg. 43.0	27, 22, 26	Avg. 25.0	25, 22, 24	Avg. 23.7	20, 17, 17	Avg. 18.0	42, 46, 56	Avg. 48.0
		SD. 3.0		SD. 2.60		SD. 1.50		SD. 1.68		SD. 8.00
Low ammonia	42, 40, 46	Avg. 43.0	-		21, 24, 21	Avg. 22.0	15, 13.5, 13.5	Avg. 14.0	-	
		SD. 3.0				SD. 1.53		SD. 0.87		
Recovery (%)	0 %DRC		3.5 %DRC		5.0 %DRC		7.5 %DRC		10.0 %DRC	
High ammonia	1.3, 1.4	Avg. 1.4	5.6, 5.6	Avg. 5.6	6.3, 6.4	Avg. 6.4	12.7, 12.8	Avg. 12.8	5.3, 5.3	Avg. 5.3
Prevulcanized	1.3, 1.4	Avg. 1.4	5.8, 5.7	Avg. 5.8	6.8, 6.9	Avg. 6.9	3.6, 3.7	Avg. 3.7	2.7, 2.7	Avg. 2.7
Low ammonia	1.3, 1.4	Avg. 1.4	-		5.3, 4.8	Avg. 5.0	4.3, 3.8	Avg. 4.1	-	
Settlement	0 %DRC		3.5 %DRC		5.0 %DRC		7.5 %DRC		10.0 %DRC	
High ammonia	1.7, 2.0	Avg. 1.9	2.8, 3.1	Avg. 3.0	3.7, 3.2	Avg. 3.5	6.9, 7.8	Avg. 7.4	8.4, 8.7	Avg. 8.6
Prevulcanized	1.7, 2.0	Avg. 1.9	2.7, 3.2	Avg. 3.0	3.5, 4.2	Avg. 3.8	7.7, 8.7	Avg. 8.2	7.8, 9.2	Avg. 8.5
Low ammonia	1.7, 2.0	Avg. 1.9	-		3.6, 3.7	Avg. 3.7	6.3, 6.5	Avg. 6.4	-	

ภาคผนวก ข.

วิธีการทดสอบยางมะตอย

วิธีการทดสอบการละลายของวัสดุยางมะตอยในไตรคลอโรเอทิลีน

(Standard Test Method for Solubility of Bituminous Materials in Trichloroethylene)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดวิธีทดสอบความสามารถในการละลายในไตรคลอโรเอทิลีนของวัสดุยางมะตอยซึ่งมีวัตุอินทรีย์เพียงเล็กน้อย

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องกรอง (รูปที่ 1) ประกอบด้วย

2.1.1 ครุชิลเป็นถ้วยกระเบื้องเคลือบผิวทั้งภายนอกและภายในยกเว้นที่ก้นถ้วยด้านนอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของปากถ้วยประมาณ 44 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของก้นถ้วยประมาณ 36 มิลลิเมตร ลึกประมาณ 28 มิลลิเมตร ที่ก้นถ้วยมีรูเล็ก

2.1.2 แผ่นกรองใยแก้ววัตแมนชั้นคุณภาพ 934 AH หรือเทียบเท่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร

2.1.3 กรวยรับครุชิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 – 42 มิลลิเมตร

2.1.4 ขวดกรองขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร

2.1.5 แหวนหรือปะเก็นยางระหว่างครุชิลกับปากกรวยรับครุชิล

2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

2.3 ตู้อบไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

3. การเตรียมครุชิล

3.1 วางแผนกรองใยแก้วลงในครุชิลแล้วอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 15 นาที ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักโดยอ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

4. สารเคมี

4.1 ไตรคลอโรเอทิลีนชั้นคุณภาพการค้า

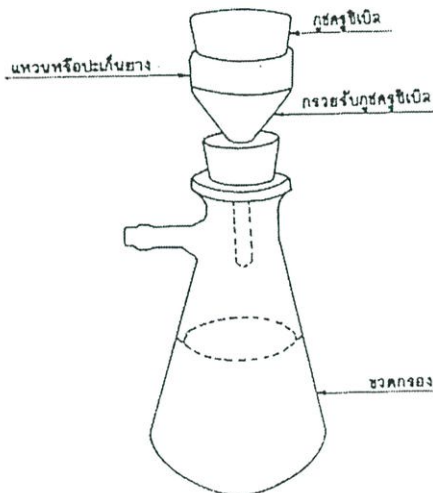
5. วิธีทดสอบ

5.1 ในกรณีตัวอย่างเป็นของแข็งให้ความร้อนตัวอย่างจนเหลวพอเทได้ โดยไม่ให้ความร้อนสูงกว่าจุดอ่อนตัวเกิน 111°C

5.2 เทตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ที่ทราบมวลละเอียดถึง 0.001 กรัม ลงในขวดแก้วรูปกรวยเติมไตรคลอโรเอทิลีนลงไปทีละน้อยจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะเติมให้เขย่าจนกระทั่งตัวอย่างละลายหมด ปิดจุกแล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

หมายเหตุ ในกรณีการทดสอบตัดสินให้รักษาอุณหภูมิของตัวอย่างไว้ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิที่ 37.8 ± 0.25 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนกรอง

5.3 ทำแผ่นกรองใยแก้วให้เปียกด้วยไตรคลอโรเอทิลีนเล็กน้อย ค่อย ๆ เทตัวอย่างลงในเครื่องกรองที่ต่อกับเครื่องดูด ดังรูปที่ 1 ล้างส่วนที่เหลือในขวดด้วยไตรคลอโรเอทิลีนที่ออกจากครุชชีเบลไม่มีสี ดูดให้แห้ง นำส่วนที่เหลือพร้อมครุชชีเบลไประเหยไล่ไตรคลอโรเอทิลีนบนเครื่องอังไอน้ำจนหมดกลิ่นไตรคลอโรเอทิลีน แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C จนมวลคงที่ (± 0.3 มิลลิกรัม)



รูปที่ 1 เครื่องกรอง
(ข้อ 2.1 และข้อ 5.3)

รูปที่ 1 เครื่องกรอง

6. วิธีคำนวณและการรายงาน

$$6.1 \text{ สารที่ไม่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีน ร้อยละ} = ((m_1/m_2) \cdot 100)$$

$$6.2 \text{ สารที่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีน ร้อยละ} = 100 - ((m_1/m_2) \cdot 100)$$

เมื่อ m_1 = มวลของสารที่ไม่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีน เป็นกรัม

m_2 = มวลของตัวอย่าง เป็นกรัม

6.3 ถ้าปริมาณสารที่ไม่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีนน้อยกว่าร้อยละ 1.0 ให้รายงานผลให้ละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

6.4 ถ้าปริมาณสารที่ไม่ละลายในไตรคลอโรเอทิลีนตั้งแต่ร้อยละ 1.0 ขึ้นไป ให้รายงานผลให้ละเอียดถึงทศนิยม 1 ตำแหน่ง

7. ความเที่ยงในการทดสอบ

ให้ใช้หลักเกณฑ์ต่อไปนี้ สำหรับตัดสินความเชื่อถือได้ของผลทดสอบการละลายของวัสดุยางมะตอยในไตรคลอโรเอทิลีนที่มากกว่าร้อยละ 99

7.1 ผลทดสอบ 2 ครั้ง โดยผู้ทดสอบคนเดียวกัน ตัวอย่างเดียวกัน ห้องทดสอบและเครื่องทดสอบเดียวกัน ในเวลาต่างกันจะเชื่อถือได้เมื่อค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.10

7.2 ผลทดสอบที่รายงานจากห้องทดสอบ 2 แห่ง จะเชื่อถือได้เมื่อผลทดสอบนั้นแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.26

วิธีทดสอบความยืดดึงของวัสดุยางมะตอย

(Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดการหาความยืดดึงของวัสดุยางมะตอย

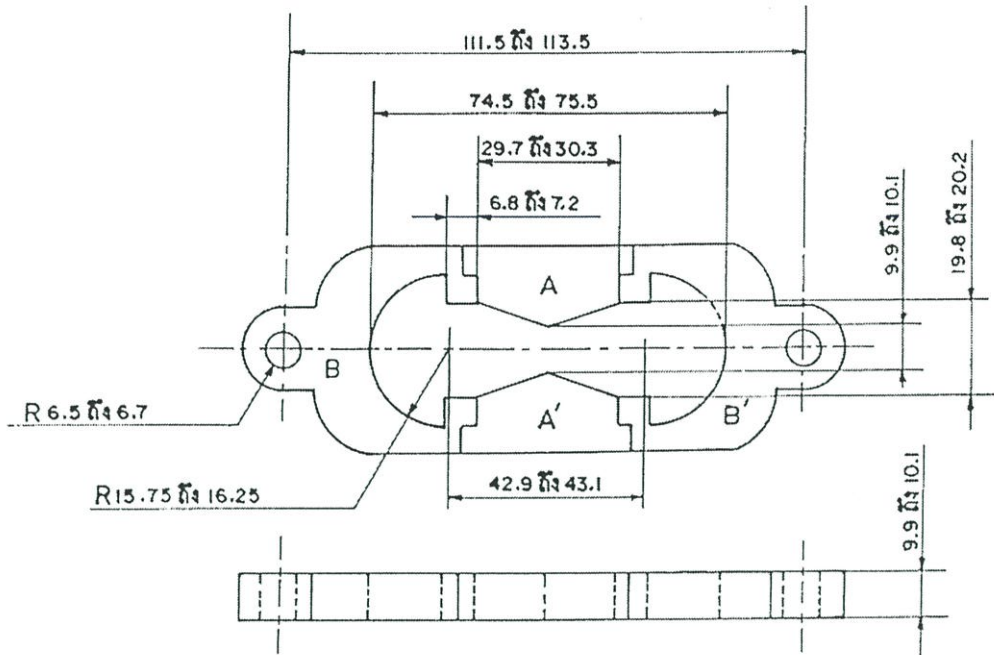
2. บทนิยาม

2.1 ความยืดดึงหมายถึง สมบัติของวัสดุยางมะตอยเมื่อถูกดึงให้ยืดในอัตราเร็วและอุณหภูมิที่กำหนด วัดเป็นความยืดสูงสุดของชิ้นทดสอบมาตรฐานก่อนขาดออกจากกัน

3. เครื่องมือ

3.1 แบบหล่อขึ้นงานทำด้วยทองเหลือง ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ ส่วนข้าง A และ A' และส่วนปลาย B และ B' ซึ่งทำหน้าที่เป็นหัวจับขึ้นทดสอบด้วย มีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 2 แบบนี้จะให้ชิ้นทดสอบมีขนาดดังต่อไปนี้

ความยาวทั้งหมด	75 ± 0.5 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างหัวจับขึ้นทดสอบ	30 ± 0.3 มิลลิเมตร
ความกว้างที่ปากหัวจับขึ้นทดสอบ	20 ± 0.2 มิลลิเมตร
ความกว้างของส่วนที่แคบที่สุด (ที่ครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างหัวจับขึ้นทดสอบ)	10 ± 0.1 มิลลิเมตร
ความหนา	10 ± 0.1 มิลลิเมตร



A และ A' คือ ส่วนข้างของแบบ
B และ B' คือ หัวจับขึ้นทดสอบ

รูปที่ 2 แบบหล่อขึ้นทดสอบ

3.2 อ่างน้ำปรับอุณหภูมิที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่อุณหภูมิทดสอบ โดยอุณหภูมิของน้ำจะเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 0.1°C จากอุณหภูมิทดสอบ จุไม่น้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร มีชั้นโปร่งสำหรับวางขึ้นทดสอบสูงจากกันอ่างไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และเมื่อวางขึ้นทดสอบแล้ว ต้องท่วมขึ้นทดสอบไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร น้ำที่ใช้ต้องปราศจากน้ำมันหรือสิ่งสกปรก

3.3 เครื่องดึงขึ้นทดสอบสามารถดึงขึ้นทดสอบโดยปราศจากการสะเทือน ขณะที่ขึ้นงานจมอยู่ในน้ำลึกจากผิวน้ำและสูงจากกันอ่างไม่น้อยกว่า 250 มิลลิเมตร ด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ 5 เซนติเมตรต่อนาที และคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน \pm ร้อยละ 5

3.4 เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ช่วง $-8 - 32^{\circ}\text{C}$ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ที่เป็นไปตาม ASTM E1

3.5 แผ่นทองเหลืองเรียบสำหรับรองรับแบบหล่อ

3.6 ตะแกรง 300 ไมโครเมตร

4. การเตรียมขึ้นทดสอบ

4.1 เคลือบสารกันติด เช่น กลีเซอรินผสมกับเดกซ์ทรีน ทัลคัม หรือดินขาวลงบนแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างของแบบหล่อด้านใน (A และ A' ในรูปที่ 2) แล้วประกอบแบบทั้งหมดลง

บนแผ่นทองเหลืองก่อนเคลือบสารกันติด ถ้าสังเกตเห็นแผ่นทองเหลือง และแบบหล่อสกรปรกให้ทำความสะอาดก่อน

4.2 ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำสุดที่จะทำให้ตัวอย่างเหลวจนเทได้ ขณะให้ความร้อนคนตัวอย่างบ่อย ๆ เพื่อไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งร้อนมากเกินไป

4.3 กรองตัวอย่างด้วยตะแกรง (ข้อ 3.6) และคนตัวอย่างให้ทั่วอีกครั้งก่อนเทลงแบบ แล้วเทตัวอย่างเป็นสายเล็ก ๆ จากปลายข้างหนึ่งไปยังปลายอีกข้างหนึ่งไปมาจนตัวอย่างปริมาณจวนล้น ขณะเทตัวอย่างต้องระวังไม่ให้แต่ละส่วนของแบบหล่อเคลื่อนที่

4.4 ปลดปล่อยให้ขึ้นทดสอบในแบบหล่อเย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 – 40 นาที แล้วนำแบบหล่อพร้อมขึ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิซึ่งมีอุณหภูมิ 25 ± 0.5 °C เป็นเวลา 30 นาที นำขึ้นทดสอบพร้อมแบบหล่อขึ้นจากน้ำ ใช้มีดหรือพายที่ทำให้ร้อนเล็กน้อยปาดส่วนเกินออกจากแบบหล่อให้ผิวหน้าของขึ้นทดสอบเต็มพอดีขอบแบบหล่อ

4.5 แช่ขึ้นทดสอบพร้อมแบบหล่อในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ (ข้อ 3.2) เป็นเวลา 85 – 90 นาที ยกขึ้นจากน้ำ เอาแผ่นทองเหลืองและส่วนข้างทั้งสองของแบบหล่อออกแล้วนำไปทดสอบทันที

5. วิธีทดสอบ

5.1 หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่นให้ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 ± 0.5 °C

5.2 สวมปลายหัวจับขึ้นทดสอบทั้งสองข้างเข้ากับขอหรือสลักของเครื่องดึงขึ้นทดสอบ แล้วเดินเครื่องดึงหัวจับขึ้นทดสอบออกจากกันด้วยอัตราเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที ในขณะที่ขึ้นทดสอบอยู่ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25 ± 0.5 °C จนกระทั่งขึ้นทดสอบขาดออกจากกัน

5.3 อ่านระยะยึดทันทีที่ขึ้นทดสอบขาดเป็นเซนติเมตร ผลการทดสอบจะถือว่าเป็นปกติเมื่อขึ้นทดสอบยึดออกเป็นเส้นเล็กมากจนขาดจากกัน

5.4 ถ้าในระหว่างดึงขึ้นทดสอบ เส้นของขึ้นทดสอบนั้นลอยขึ้นมาถึงผิวน้ำให้ถือว่าการทดสอบนั้นใช้ไม่ได้ ต้องยกเลิกแล้วทดสอบใหม่โดยปรับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของน้ำในอ่างด้วยการเติมเมทานอลในกรณีที่ขึ้นทดสอบลอยขึ้นมาหรือเติมโซเดียมคลอไรด์ในกรณีที่เส้นของขึ้นทดสอบจม

6. การรายงานผล

6.1 รายงานค่าเฉลี่ยจากการทดสอบปกติ 3 ครั้งเป็นความยึดดึง

6.2 ถ้าทดสอบ 3 ครั้งแล้วไม่เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าว เช่น ขึ้นทดสอบไม่เป็นเส้นเล็กก่อนขาด หรือลอยขึ้นมาถึงผิวน้ำ หรือจมลงก้นอ่างให้รายงานว่าการทดสอบไม่ได้ที่สภาวะในการทดสอบนั้น

วิธีทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุยางมะตอยโดยใช้เครื่องวงแหวนกับลูกป็น
(Standard Test Method for Softening Point of Bituminous Materials, Ring-and-Ball Apparatus)

1. ขอบข่าย

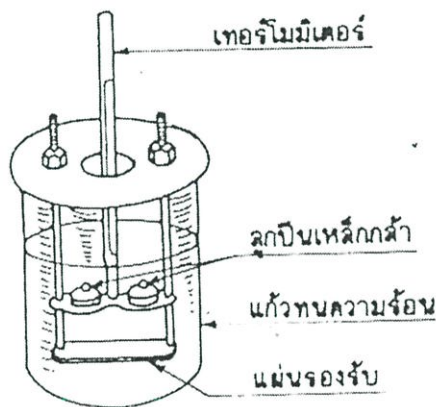
1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดการหาจุดอ่อนตัวของยางมะตอยในช่วง $30 - 157^{\circ}\text{C}$ โดยใช้เครื่องวงแหวนกับลูกป็น และแช่ในน้ำกลั่น (ช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$) ในกลีเซอริน (ช่วงอุณหภูมิ $80 - 157^{\circ}\text{C}$)

2. บทนิยาม

2.1 จุดอ่อนตัวหมายถึง อุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ยางมะตอยอ่อนตัวถึงระดับที่กำหนดภายใต้สภาวะทดสอบมาตรฐาน

3. เครื่องมือ

3.1 เครื่องวงแหวนกับลูกป็น (รูปที่ 3) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

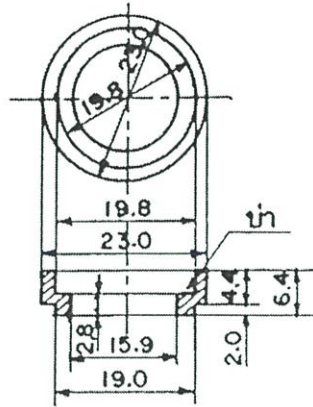


รูปที่ 3 เครื่องวงแหวนกับลูกป็นทดสอบจุดอ่อนตัว

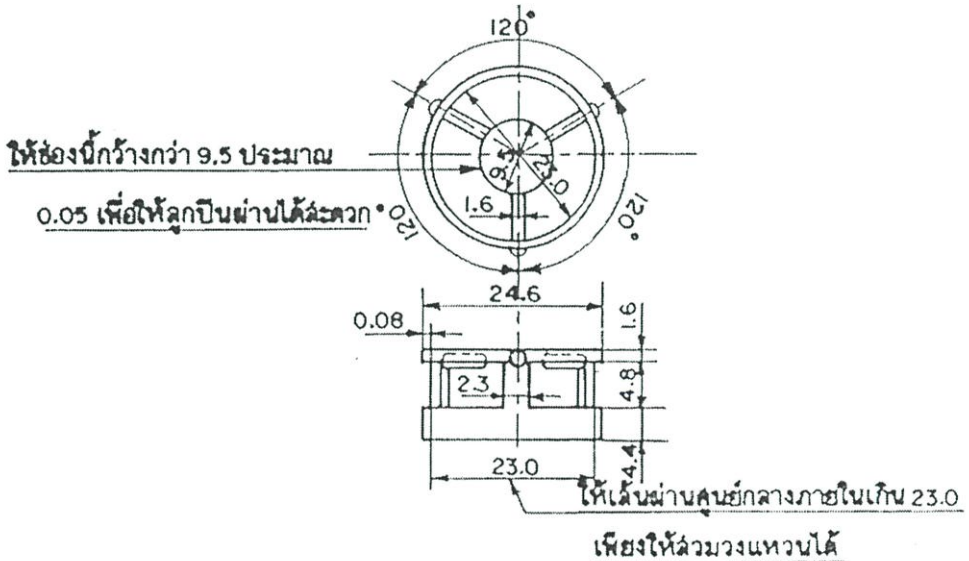
3.1.1 วงแหวนทองเหลืองมีปากในตั้งฉากรูปร่างและมิติดังรูปที่ 4

3.1.2 ลูกป็นเหล็กกล้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร และหนัก 3.5 ± 0.05 กรัม
จำนวน 2 ลูก

3.1.3 ตัวนำศูนย์ (Ball-centering guide) บังคับลูกป็นให้อยู่กลางวงแหวนทำด้วยทองเหลืองมีรูปร่างมิติดังรูปที่ 5 จำนวน 2 อัน



รูปที่ 4 วงแหวน

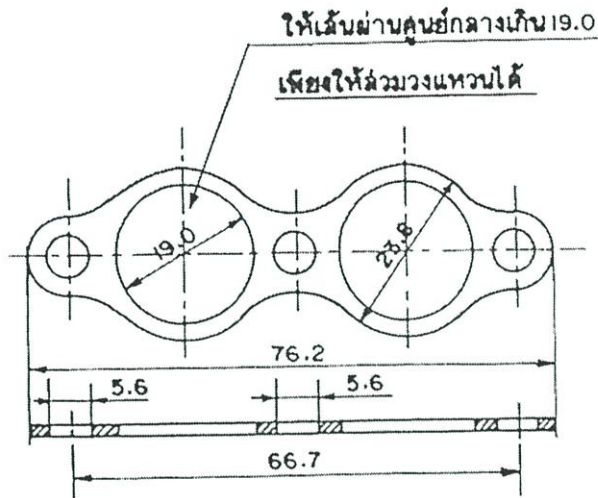


รูปที่ 5 ตัวนำศูนย์

3.1.4 แผ่นทองเหลืองราบและเรียบขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร * 75 มิลลิเมตร สำหรับรองวงแหวนขณะเตรียมตัวอย่างทดสอบ

3.1.5 ชุดวางวงแหวน (Ring holder and assembly) ทำด้วยทองเหลือง (ดูรูปที่ 3 – 6) เพื่อจัดวางแหวนให้อยู่ในแนวราบ ผิวล่างของวงแหวนสูงจากผิวบนของแผ่นรองรับ (Bottom plate) 25 มิลลิเมตร และผิวล่างของแผ่นรองรับนี้อยู่สูงจากแก้วทนความร้อน 16 ± 3 มิลลิเมตร

3.1.6 แก้วทนความร้อนจุประมาณ 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร และลึกไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 ชุดวางวงแหวน

3.1.7 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.7.1 ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-2 - 80^{\circ}\text{C}$ ที่เป็นไปตาม ASTM E1 ชนิด 15 C หรือเทอร์โมมิเตอร์อื่นที่เทียบเท่าสำหรับยางมะตอยจุดอ่อนตัวต่ำ

3.1.7.2 ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $30 - 200^{\circ}\text{C}$ ที่เป็นไปตาม ASTM E1 ชนิด 16 C หรือเทอร์โมมิเตอร์อื่นที่เทียบเท่าสำหรับยางมะตอยจุดอ่อนตัวสูง

3.1.7.3 ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-1 - 175^{\circ}\text{C}$ ที่เป็นไปตาม ASTM E1 ชนิด 113 C หรือเทอร์โมมิเตอร์อื่นที่เทียบเท่าสำหรับจุดอ่อนตัวยางมะตอยทั่วไป

3.1.7.4 จัดเทอร์โมมิเตอร์ให้ปลายกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์อยู่ในระดับเดียวกับผิวล่างของวงแหวน และอยู่ห่างจากวงแหวนทั้งสองไม่เกิน 13 มิลลิเมตร แต่ไม่แตะชุดวางวงแหวน

4. สารเคมี

4.1 น้ำกลั่น ควรใช้น้ำกลั่นที่ต้มใหม่ ๆ เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศเกาะผิวหน้าของตัวอย่าง

4.2 กลีเซอริน ชั้นคุณภาพ ยูเอสพี

4.3 เอทิลีนไกลคอล ที่มีจุดเดือดอยู่ในช่วง $195 - 197^{\circ}\text{C}$

หมายเหตุ เอทิลีนไกลคอลเป็นพิษ ระวังการสูดดมหรือสัมผัส และต้องทดสอบในตู้ควัน

4.4 สารกันติด ไซซันซิลิโคน กลีเซอรินผสมกับเดกซ์ทรีน ทัลคัมหรือดินขาวใช้ฉาบแผ่นทองเหลือง (ข้อ 3.1.4) เพื่อกันตัวอย่างทดสอบติดแผ่นทองเหลือง

5. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

5.1 ให้ความร้อนกับตัวอย่างเป็นเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง จนเหลวพอเทได้ ขณะให้ความร้อนคนตัวอย่างบ่อย ๆ เพื่อไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งร้อนมากเกินไป ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ และอุณหภูมิตัวอย่างต้องไม่สูงกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้เกิน 110°C หากจำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างทดสอบเพิ่มเติมหลังจากที่ตัวอย่างนี้เย็นลงแล้วให้ใช้ตัวอย่างใหม่ ห้ามนำตัวอย่างนี้ไปหลอมและใช้ซ้ำอีก

5.2 ให้ความร้อนกับวงแหวนจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิตัวอย่าง (ข้อ 5.1) แล้ววางบนแผ่นทองเหลืองที่เคลือบสารกันติดไว้แล้ว เทตัวอย่างลงในวงแหวนทั้งสองจนปริ่มวงแหวน

5.3 ปลอ่ยตัวอย่างทดสอบไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที สำหรับตัวอย่างที่อ่อนตัวที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ 10°C ไม่น้อยกว่า 30 นาที และต้องทดสอบให้เสร็จภายในเวลา 4 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มเทตัวอย่างลงในวงแหวน

5.4 หลังจากตัวอย่างทดสอบเย็นแล้ว ใช้มีดหรือพายที่ทำให้ร้อนเล็กน้อยปาดส่วนเกินที่ปากวงแหวนออก

6. วิธีทดสอบ

6.1 เลือกของเหลวที่จะใช้เป็นตัวกลางแช่ตัวอย่างทดสอบและเทอร์โมมิเตอร์ให้เหมาะสมกับจุดอ่อนตัวของตัวอย่างทดสอบดังนี้

6.1.1 ถ้าจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ให้ใช้น้ำกลั่น อุณหภูมิเริ่มต้น $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และเทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-2 - 80^{\circ}\text{C}$

6.1.2 ถ้าจุดอ่อนตัวมากกว่า 80°C ขึ้นไปถึง 157°C ให้ใช้กลีเซอริน อุณหภูมิเริ่มต้น $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และเทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $30 - 200^{\circ}\text{C}$

6.1.3 ถ้าจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง $30 - 110^{\circ}\text{C}$ ให้ใช้เอทิลีนไกลคอล อุณหภูมิเริ่มต้น $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และเทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-1 - 175^{\circ}\text{C}$

หมายเหตุ สำหรับการทดสอบตัดสินให้ใช้น้ำกลั่นในกรณีจุดอ่อนตัวต่ำกว่า 80°C หรือกลีเซอรินในกรณีที่จุดอ่อนตัวสูงกว่า 80°C

6.2 จัดวงแหวน (ข้อ 5.4) ทั้งสอง เทอร์โมมิเตอร์และตัวนำศูนย์เข้าตำแหน่ง เดิมของเหลวที่ได้ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นตามที่กำหนดแล้วเทลงในแก้วทนความร้อนให้มีระดับสูงประมาณ 105 ± 3 มิลลิเมตร หย่อนลูกปืน 2 ลูกลงไปกั้นแก้วทนความร้อน แก้วทนความร้อนในอ่างซึ่งควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ของเหลวในแก้วทนความร้อนมีอุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิเริ่มต้นเป็นเวลา 15 นาที ยกเครื่องทดสอบออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ ใช้ปากคีบคีบลูกปืนที่แช่ไว้วางลงในช่องตัวนำศูนย์

6.3 เพิ่มอุณหภูมิของของเหลวในแก้วทนความร้อนให้สูงขึ้นด้วยอัตราเร็ว 5°C ต่อนาที

หมายเหตุ ใช้แผ่นกำบังกันลมเพื่อไม่ให้เกิดผลต่อการทดสอบ และอัตราเพิ่มของอุณหภูมิที่กำหนดไว้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผลการทดสอบความทำซ้ำได้ ควรใช้ตะเกียงก๊าซหรือเตาไฟฟ้าที่ควบคุมอัตราการให้ความร้อนได้เพื่อให้ได้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ต้องการ

6.4 หลังจาก 3 นาทีแรกความคลาดเคลื่อนอัตราการเพิ่มอุณหภูมิต้องไม่เกิน ± 0.5 °C ถ้าอัตราการเพิ่มไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดให้ถือว่าทดสอบนั้นใช้ไม่ได้

6.5 อ่านอุณหภูมิทันทีที่ตัวอย่างทดสอบพร้อมลูกปืนแต่ละวงแหวนย่อยลงมาสัมผัสกับแผ่นรองรับ ถ้าอุณหภูมิที่อ่านได้สำหรับ 2 ตัวอย่างทดสอบต่างกันเกิน 1 °C ให้ยกเลิกการทดสอบที่ทำมาแล้วทั้งหมดและเริ่มต้นการทดสอบใหม่ โดยใช้ตัวอย่างที่เตรียมขึ้นใหม่ซึ่งไม่ได้หลอมมาก่อน (ดูข้อ 5.1)

7. การรายงานผล

7.1 ในกรณีที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีช่วงอุณหภูมิ -2 – 80 °C ให้รายงานค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิให้ละเอียดถึง 0.2 °C

7.2 ในกรณีที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีช่วงอุณหภูมิ 30 – 200 °C หรือ -1 – 175 °C ให้รายงานค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิให้ละเอียดถึง 0.5 °C

7.3 ให้ระบุชนิดของของเหลวที่ใช้ (น้ำกลั่น กลีเซอริน หรือเอทิลีนไกลคอล)

7.4 การหาจุดอ่อนตัวโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางจะได้จุดอ่อนตัวต่ำกว่าเมื่อใช้กลีเซอริน ความแตกต่างนี้จะมีความสำคัญเมื่อจุดอ่อนตัวสูงกว่า 80 °C การเปลี่ยนตัวกลางจากน้ำกลั่นเป็นกลีเซอรินสำหรับการหาจุดอ่อนตัวที่สูงกว่า 80 °C จะได้ค่าไม่ต่อเนื่อง

7.5 ในกรณีของกลีเซอรินจุดอ่อนตัวที่ยอมรับให้รายงานได้ต้องไม่ต่ำกว่า 84.5 °C ถ้าจุดอ่อนตัวในกลีเซอรินต่ำกว่านี้ ให้แปลงเป็นจุดอ่อนตัวในน้ำโดยลบจุดอ่อนตัวที่หาได้ด้วย 4.2 °C ในกรณีทดสอบตัดสินหรือในกรณีที่ค่าเฉลี่ยจุดอ่อนตัว 2 ค่าที่หาได้ในกลีเซอรินต่ำกว่า 80 °C ให้ทดสอบซ้ำในน้ำ

7.6 การแปลงจุดอ่อนตัวที่มากกว่า 80 °C เล็กน้อยจากน้ำเป็นกลีเซอริน ให้บวกจุดอ่อนตัวที่หาได้ด้วย 4.2 °C ในกรณีทดสอบตัดสินหรือในกรณีที่ค่าเฉลี่ยจุดอ่อนตัว 2 ค่าที่หาได้ในน้ำมีค่าตั้งแต่ 85.0 °C ขึ้นไป ให้ทดสอบซ้ำในกลีเซอริน

8. ความเที่ยงในการทดสอบ

8.1 ในกรณีที่ใช้ น้ำ และ กลีเซอริน

8.1.1 ผลทดสอบ 2 ครั้ง โดยผู้ทดสอบคนเดียวกัน ตัวอย่างเดียวกัน ห้องทดสอบและเครื่องทดสอบเดียวกัน ในเวลาต่างกันจะเชื่อถือได้เมื่อค่าจุดอ่อนตัวแตกต่างกันไม่เกิน 1.2 °C

8.1.2 ผลทดสอบที่รายงานจากห้องทดสอบ 2 แห่ง จะเชื่อถือได้เมื่อจุดอ่อนตัวต่างกันไม่เกิน 2.0°C

8.2 ในกรณีที่ใช้เอทิลีนไกลคอล

8.2.1 ผลทดสอบ 2 ครั้ง โดยผู้ทดสอบคนเดียวกัน ตัวอย่างเดียวกัน ห้องทดสอบและเครื่องทดสอบเดียวกัน ในเวลาต่างกันจะเชื่อถือได้เมื่อค่าจุดอ่อนตัวแตกต่างกันไม่เกิน 2.0°C

8.2.2 ผลทดสอบที่รายงานจากห้องทดสอบ 2 แห่ง จะเชื่อถือได้เมื่อจุดอ่อนตัวต่างกันไม่เกิน 3.0°C

วิธีทดสอบเพนิเทรชันของยางมะตอย

(Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดการหาค่าเพนิเทรชันของวัสดุยางมะตอยแข็งหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว

2. บทนิยาม

2.1 เพนิเทรชันหมายถึง ความแข็งอ่อนของผลิตภัณฑ์ยางมะตอย วัดด้วยความลึกที่ปลายเข็มมาตรฐานหรือกรวยปลายแหลมมาตรฐานจมลงในผลิตภัณฑ์ยางมะตอยภายใต้น้ำหนักเวลา และอุณหภูมิที่กำหนด

2.2 จุดอ่อนตัวหมายถึง อุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ยางมะตอยอ่อนตัวถึงระดับที่กำหนดภายใต้สภาวะทดสอบมาตรฐาน

3. สภาวะทดสอบ

3.1 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้ทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C โดยใช้น้ำหนักกด 100 กรัมเป็นเวลา 5 นาที สำหรับการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะอาจใช้สภาวะทดสอบอย่างอื่นได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 1

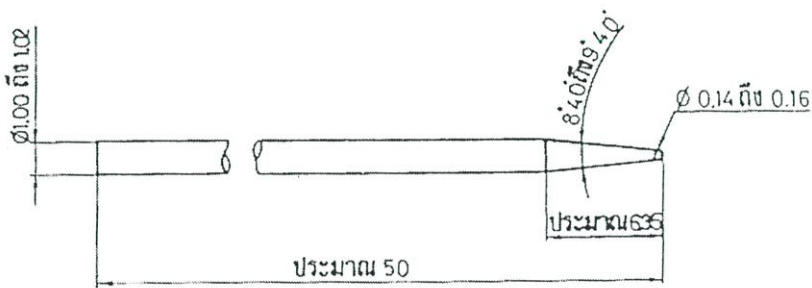
ตารางที่ 1 ตัวอย่างสภาวะทดสอบสำหรับการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะ

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	น้ำหนักกด (กรัม)	เวลา (นาที)
0	200	60
4	200	60
46.1	50	5

4. เครื่องมือ

4.1 เครื่องทดสอบเพนิเทรชันที่วัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร ประกอบด้วยแกนซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ในแนวตั้งโดยมีความเสียดทานน้อยที่สุด มวลของแกนเท่ากับ 47.5 ± 0.05 กรัม และเมื่อรวมกับเข็มมาตรฐานแล้วจะมีมวล 50 ± 0.05 กรัม เครื่องทดสอบนี้มีน้ำหนัก 50 ± 0.05 กรัม และ 100 ± 0.05 กรัม กดเพื่อให้ได้น้ำหนักกด 100 กรัม และ 200 กรัมตามลำดับ แกนและเข็มมาตรฐานต้องทำมุมประมาณ 90 องศา กับพื้นราบที่ใช้เป็นฐานรองรับตัวอย่าง แกนนี้ต้องถอดออกได้โดยง่ายเพื่อตรวจสอบมวล

4.2 เข็มมาตรฐาน (รูปที่ 7) ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมชั้นคุณภาพ 440-C หรือเทียบเท่า ชุบแข็งให้มีค่าแข็งรอกเวลล์อยู่ในช่วง 54 – 60 HRC ยาวประมาณ 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 – 1.02 มิลลิเมตร ปลายข้างหนึ่งแหลมเป็นรูปกรวยมีมุม 8 องศา 40 ลิปดา ถึง 9 องศา 40 ลิปดา แกนของตัวเข็มและปลายแหลมเป็นตัวเดียวกัน โดยจะมีความคลาดเคลื่อนระหว่างแกนตัวเข็มกับแกนของปลายแหลม ณ ภาคตัดของตัวเข็มกับปลายแหลมไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร ปลายสุดตัดตรงและตั้งฉากกับแกนเข็มและคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางปลายตัด 0.14 – 0.16 มิลลิเมตร ขอบปลายเข็มมาตรฐานต้องเรียบและปราศจากเสี้ยน ความขรุขระเฉลี่ยด้านข้างของปลายเข็มอยู่ในช่วง 0.2 – 0.3 ไมโครเมตร เมื่อทดสอบตาม American Nation Standard B 46.1 โคนเข็มมาตรฐานฝังและยึดในตัวยึดทำด้วยทองเหลืองหรือเหล็กกล้าไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 ± 0.05 มิลลิเมตร ยาว 38 ± 1 มิลลิเมตร โดยให้แกนของเข็มกับแกนของตัวยึดเป็นแกนเดียวกัน ให้เข็มโผล่ออกจากตัวยึด 40 – 45 มิลลิเมตร มวลรวมของเข็มและตัวยึดเท่ากับ 2.5 ± 0.05 กรัม



รูปที่ 7 เข็มมาตรฐานสำหรับทดสอบเพนิเทรชัน

4.3 ถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบทำด้วยโลหะหรือแก้วมีขนาดดังนี้

4.3.1 ถ้วยขนาดเล็กสำหรับวัสดุที่มีค่าเพนิเทรชันต่ำกว่า 200

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร

ความลึก 35 มิลลิเมตร

4.3.2 ถ้วยขนาดใหญ่สำหรับวัสดุที่มีค่าเพนิเทรชันในช่วง 200 – 350

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร

ความลึก 45 มิลลิเมตร

4.4 อ่างน้ำจืดไม่น้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร สามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 ± 0.1 °C หรืออุณหภูมิทดสอบที่กำหนด มีชั้นโปร่งสำหรับวางตัวอย่างทดสอบสูงจากกันอ่างไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และเมื่อวางตัวอย่างทดสอบแล้วน้ำต้องท่วมตัวอย่างไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ถ้าทดสอบในอ่างต้องจัดหาชั้นสำหรับวางเครื่องทดสอบเพนิเทรชันที่มั่นคงแข็งแรงพอ

หมายเหตุ น้ำที่ใสในอ่างแนะนำให้ใช้น้ำสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมหรือน้ำกลั่น ในกรณีที่ต้องการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำให้น้ำเกลือแทน

4.5 อ่างเล็กจุกอย่างน้อง 350 ลูกบาศก์เซนติเมตร และลึกพอที่จะให้น้ำท่วมด้วยใส่ตัวอย่างทดสอบ อ่างนี้ต้องมีที่รองรับถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบเพื่อให้อยู่กับที่และไม่โคลงเคลงเวลาทดสอบ เช่น สามขา (Three-legged stand) ซึ่งมีปุ่มรับกันด้วยสามปุ่ม

4.6 นาฬิกาตั้งเวลาอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 วินาทีคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 0.1 วินาทีต่อนาที และเพื่อความสะดวกควรใช้นาฬิกาที่มีสัญญาณบอกเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้

4.7 เทอร์มิเตอร์ซึ่งได้สอบเทียบอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 °C ในช่วงอุณหภูมิที่ 19 – 27 °C, -8 – 32 °C และ 25 – 55 °C

5. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

5.1 ทำตัวอย่างให้เหลวให้พอเทได้โดยให้ความร้อนไม่เกิน 30 นาที และต้องคนตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้จุดใดจุดหนึ่งร้อนเกินไป ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ และไม่ให้อุณหภูมิของตัวอย่างสูงกว่าจุดอ่อนตัวเกิน 90 °C

5.2 เทตัวอย่างลงในถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบ 2 ใบ ให้ปริมาณมากพอโดยเมื่อเย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่จะทดสอบและเมื่อทดสอบแล้วปลายเข็มอยู่เหนือกันถ้วยอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร

5.3 ปิดถ้วยใส่ตัวอย่างเพื่อกันฝุ่น ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 – 1.5 ชั่วโมงสำหรับถ้วยขนาดเล็ก และ 1.5 – 2 ชั่วโมงสำหรับถ้วยขนาดใหญ่ แล้วแช่ตัวอย่างทดสอบพร้อมถ้วยอ่างเล็ก (ถ้ามี) ลงในอ่างน้ำซึ่งมีอุณหภูมิ 25 ± 0.1 °C หรืออุณหภูมิทดสอบที่กำหนดเป็นเวลา 1 – 1.5 ชั่วโมงสำหรับถ้วยขนาดเล็ก และ 1.5 – 2 ชั่วโมงสำหรับถ้วยขนาดใหญ่

6. วิธีทดสอบ

6.1 ตรวจสอบแกนและปลอกบังคับของเครื่องทดสอบเพนิเทรชันให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำและวัตถุอื่นติดอยู่ ใช้โหลอื่นหรือตัวทำลายอื่นที่เหมาะสมทำความสะอาดเข็มมาตรฐาน ใช้ผ้า

สะอาดเช็ดให้แห้ง ประกอบเข็มมาตรฐานเข้ากับแกนของเครื่องทดสอบเพนิเทรชัน หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่นให้เพิ่มน้ำหนัก 50 กรัมบนแกน เพื่อให้ได้น้ำหนักโดยรวม 100 ± 0.1 กรัม วิธีทดสอบมี 2 วิธีคือ

6.1.1 เครื่องทดสอบเพนิเทรชันอยู่ในอ่างน้ำ ถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบตั้งอยู่บนฐานรองรับตัวอย่างซึ่งจมอยู่ในน้ำ

6.1.2 เครื่องทดสอบเพนิเทรชันอยู่นอกอ่างน้ำ ถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบอยู่ในอ่างเล็กซึ่งมีน้ำอยู่เต็ม และอ่างเล็กวางอยู่บนฐานรองรับตัวอย่าง

ทั้งสองวิธีดังกล่าวต้องปรับเครื่องทดสอบให้เข็มมาตรฐานที่มีน้ำหนักกดตามที่ระบุสัมพันธ์กับผิวของตัวอย่างทดสอบพอดี ทำได้โดยปรับปลายเข็มให้ชนกับเงาของปลายเข็มนั้น ซึ่งเกิดจากการสะท้อนมาจากผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบเมื่อตั้งเครื่องทดสอบให้รับแสงสว่างที่เหมาะสม บันทึกค่าที่อ่านได้จากสเกลบนหน้าปัดเครื่องทดสอบหรือตั้งเข็มชี้สเกลไว้ที่ศูนย์แล้วปล่อยให้เข็มมาตรฐานที่ตกลงไปในตัวอย่างทดสอบ และจมลงไปเรื่อย ๆ เป็นเวลา 5 วินาที หรือเวลาอื่นที่กำหนดให้ทดสอบและอ่านค่าระยะทางที่เข็มมาตรฐานจมลงไปในตัวตัวอย่างทดสอบให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร ถ้าถ้วยใส่ตัวอย่างเคลื่อนที่ขณะที่ปล่อยให้เข็มมาตรฐานจมลงในตัวอย่างทดสอบ ให้ยกเลิกการทดสอบแล้วทดสอบใหม่

6.2 ให้ทดสอบตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่างอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยให้ตำแหน่งที่เข็มที่ตกลงไปในตัวอย่างทดสอบอยู่ห่างจากขอบถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่ทดสอบแต่ละตำแหน่งอยู่ห่างกันอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร ถ้าใช้อ่างเล็กเมื่อทดสอบเสร็จแต่ละครั้ง ให้นำอ่างเล็กพร้อมถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบกลับไปปรับอุณหภูมิในอ่างน้ำซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ การทดสอบแต่ละครั้งให้เข็มมาตรฐานสะอาด แต่ถ้าเพนิเทรชันมากกว่า 200 ขึ้นไปให้ใช้เข็มใหม่ทุกครั้งทดสอบ และทิ้งเข็มไว้ในตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบแต่ละตำแหน่งจนกระทั่งได้จำนวนค่าเพนิเทรชันตามต้องการ

6.3 ในกรณีที่ค่าเพนิเทรชันอยู่ในช่วง 350 – 500

6.3.1 ให้ใช้ถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบลึกไม่น้อยกว่า 60 มิลลิเมตร จุไม่เกิน 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเข็มมาตรฐานให้เป็นไปตามข้อ 4.2 ยกเว้นความยาวต่ำสุดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร

6.3.2 อาจหาค่าเพนิเทรชันโดยประมาณได้ โดยใช้เข็มมาตรฐานที่เป็นไปตามข้อ 4.2 และถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบตามข้อ 4.3.2 แต่ใช้น้ำหนักกด 50 กรัม แล้วคำนวณค่าเพนิเทรชัน

ค่าเพนิเทรชันที่น้ำหนักกด 100 กรัม = ค่าเพนิเทรชันที่น้ำหนักกด 50 กรัม * 1.414

7. การรายงานผล

7.1 ให้รายงานค่าเฉลี่ยจากการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง เป็นเลขจำนวนเต็มและระบุภาวะทดสอบ (อุณหภูมิ น้ำหนักกด และเวลา) โดยที่ผลต่างระหว่างค่าเพนิเทรชันสูงสุดกับค่าต่ำสุดของตัวอย่างทดสอบนั้นไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลต่างระหว่างค่าเพนิเทรชันสูงสุดกับต่ำสุด

ค่าเพนิเทรชัน	ผลต่างระหว่างค่าเพนิเทรชันสูงสุดกับต่ำสุด
0 – 49	2 หน่วย
50 – 149	4 หน่วย
150 – 249	6 หน่วย
ตั้งแต่ 250 ขึ้นไป	8 หน่วย

หมายเหตุ ค่าเพนิเทรชัน 1 หน่วยเท่ากับความลึกที่เข็มมาตรฐานจมลงในยางมะตอย 1 มิลลิเมตร

7.1.1 ถ้าผลต่างระหว่างค่าเพนิเทรชันสูงสุดกับต่ำสุดเกินกว่าที่กำหนดไว้ให้ทดสอบใหม่ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบที่สอง

7.1.2 เมื่อทำตามข้อ 7.1.1 แล้วผลต่างยังเกินกว่าที่กำหนดให้ยกเลิกการทดสอบที่ทำมาแล้วทั้งหมด และเริ่มต้นการทดสอบใหม่โดยใช้ตัวอย่างทดสอบที่เตรียมใหม่

8. ความเที่ยงในการทดสอบ

8.1 ผลทดสอบ 2 ครั้ง โดยผู้ทดสอบคนเดียวกัน ตัวอย่างเดียวกัน ห้องทดสอบและเครื่องทดสอบเดียวกัน ในเวลาต่างกันจะเชื่อถือได้เมื่อผลการทดสอบเพนิเทรชันแตกต่างกันไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลต่างของการทดสอบเพนิเทรชัน (ข้อ 8.1)

ค่าเพนิเทรชัน	ผลต่างของการทดสอบ
ต่ำกว่า 50	1 หน่วย
50 และสูงกว่า	ร้อยละ 3 ของค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก ค.

มาตรฐานกรมทางหลวง (ข้อกำหนดที่ ทล. - ก. 405/2538)

Specification for elastomeric modified asphalt emulsion

No	Properties	Units	Elastomeric modified (Quick setting)		Test method
			Min	Max	
Test on Emulsion					
1	Viscosity, Saybolt furol at 25 °C	sec	20	100	DH-T 407
2	Settlement 7 days	%wt	-	15	ASTM D 244
3	Storage stability 24 Hrs	%wt	-	1.5	ASTM D 244
4	Sieve test (Retained on 20 mesh)	%wt	-	0.1	ASTM D 244
5	Asphalt content by evaporation	%wt	60	-	ASTM D 244
6	Solid polymer content	%	3.5	-	Certificate
7	Particle charge test	-	Positive		ASTM D 244
Test on Residue					
8	Softening point	°C	60	-	ASTM D 36
9	Elastic recovery	%	30	-	NLT 329/91*
10	Penetration, 25 °C, 100 g, 5 Sec	0.1mm	40	100	DH-T 403
11	Ductility, 25 °C, 5 cm/min	cm	40	100	DH-T 405
12	Solubility in trichloroethylene	%wt	97.5	-	DH-T 409

Note * Refer to The National Laboratory of Transportation Madrid, Spain

ประวัติผู้เขียน

นาย ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล เกิดเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ.2519 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2543 และได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544