

ผลของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย
ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิวที่ผลิตจากยางใช้แล้ว



นางสาวเพียงพิศ วงศ์มณีนิล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1417-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF MIXING TEMPERATURE, RUBBER WASTE PARTICLE SIZE,
AND RUBBER WASTE-TO-ASPHALT RATIO
ON THE PROPERTIES OF COATING MADE FROM RUBBER WASTE



Miss Peangpit Wongmaneevil

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1417-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนของ
ยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิวที่ผลิตจาก
ยางใช้แล้ว

โดย นางสาวเพียงพิศ วงศ์มณีนิล

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ญัฐพร โทณานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ญัฐพร โทณานนท์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สิริจุฑารัตน์ โคควาวิสารัช)

เพียงพิศ วงศ์มณีนิล : ผลของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิวที่ผลิตจากยางใช้แล้ว.

(EFFECTS OF MIXING TEMPERATURE, RUBBER WASTE PARTICLE SIZE, AND RUBBER WASTE-TO-ASPHALT RATIO ON THE PROPERTIES OF COATING MADE FROM RUBBER WASTE) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์,อ.ที่ปรึกษาร่วม:

อ.ณัฐพร โทณานนท์ , 91 หน้า. ISBN 974-03-1417-1

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่มีต่อสมบัติด้านความเหนียว ความอ่อนตัวไม่เปราะ ความทนแรงกระแทก ความติดแน่น และความทนละอองน้ำเกลือ ของสารเคลือบผิว โดยบดผสมด้วย ball mill ที่อุณหภูมิการผสมที่ 35 ± 5 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) และ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาคยางใช้แล้วที่ 100, 300 และ 600 ไมครอน และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 0:1, 1:2, 1:1, 2:1 และ 1:0

ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมบัติของสารเคลือบผิวที่ผลิตจากยางใช้แล้ว โดยรวมพบว่า เมื่ออุณหภูมิการผสมสูงขึ้น สารเคลือบผิวมีความเหนียว ความติดแน่น และความทนละอองน้ำเกลือเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้วและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยเพิ่มขึ้น สารเคลือบผิวมีความเหนียวมากขึ้น แต่ความติดแน่น และความทนละอองน้ำเกลือต่ำลง ส่วนความอ่อนตัวไม่เปราะและความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิว ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ในช่วงที่ใช้ในการทดลองนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อผู้ผลิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4170446021: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: COATING / RUBBER WASTE / RECLAIM / ASPHALT

PEANGPIT WONGMANEENIL: EFFECTS OF MIXING TEMPERATURE, RUBBER WASTE PARTICLE SIZE, AND RUBBER WASTE-TO-ASPHALT RATIO ON THE PROPERTIES OF COATING MADE FROM RUBBER WASTE. ADVISOR: VARUN TAEPAISITPHONGSE, Ph.D., CO-ADVISOR: NATTAPORN TONANON, 91 pp. ISBN 974-03-1417-1

The experiments were conducted to study the effects of mixing temperature, rubber waste particle size, and rubber waste-to-asphalt ratio on viscosity, flexibility, impact strength, adhesion and salt spray resistance properties of the coating. All materials were mixed by stainless steel ball mill at mixing temperatures of 35 ± 5 °C (room temperature) and 75 ± 5 °C. The rubber waste particle size of 100, 300 and 600 μm and rubber waste-to-asphalt ratio at 0:0, 1:2, 1:1, 2:1 and 1:0 were used.

The results showed that the properties of coating made from rubber waste depended on the mixing temperature, rubber waste particle size, and rubber waste-to-asphalt ratio. When the mixing temperature was increased, the viscosity, adhesion and salt spray resistance of coating were increased. However, the viscosity was increased but the adhesion and salt spray resistance were decreased when the rubber waste particle size and rubber waste-to-asphalt ratio were increased. Lastly, under the conditions used in this work, flexibility and impact strength of coating did not show any dependency on the mixing temperature, rubber waste particle size, and rubber waste-to-asphalt ratio.

Department Chemical Engineering
Field of study Chemical Engineering
Academic Year 2001

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co. Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ญัฐพร โทณานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ประธานกรรมการ และ อาจารย์ ดร.สิริจุฑารัตน์ ไคววิสารัช กรรมการ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณบุญหาญ คู่อุดมยิ่ง บริษัท ยูเนี่ยนพัฒนา จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบยาง และบริษัท เซลล์แห่งประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ วัสดุดิบยางมะตอย

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คุณสมพงษ์ ชุตินกุลสวัสดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การให้บริการทางเทคนิคด้านการทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิวด้านความเหนียวและความละเอียด

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย คุณบุญพัฒน์ แพงคำ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้บริการทางเทคนิคในการทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิวด้านความอ่อนตัวไม่เปราะ ความทนแรงกระแทก ความติดแน่น และความทนละอองน้ำเกลือ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบเงินทุนสนับสนุนวัสดุวิจัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการศึกษาบางส่วน

ขอขอบคุณพระคุณสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ปริญาโทห้องวิจัยพอลิเมอร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจดีตลอดการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง และหลาน ๆ ที่ให้กำลังใจดีตลอดการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 หลักการและข้อมูลพื้นฐาน	
2.1 สารเคลือบผิว.....	4
2.1.1 ประเภทของสารเคลือบผิว.....	4
2.1.2 การผลิตสี.....	10
2.2 ยางรถยนต์.....	10
2.2.1 ยางธรรมชาติ.....	10
2.2.2 ยางรีไซเคิล.....	11
2.2.3 กระบวนการวัลคาไนซ์เซชัน.....	12
2.3 ยางมะตอย.....	14
2.3.1 ส่วนประกอบหลักของยางมะตอย.....	14
2.4 การเกิดฟิล์ม.....	15
2.4.1 การใช้งาน.....	15
2.4.2 การทำให้ติดแน่น.....	15
2.4.3 การบ่ม.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การแห้งของสารเคลือบผิว.....	16
2.5.1 แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์.....	16
2.5.2 แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี.....	16
2.6 การทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิว.....	17
2.6.1 ความหนืด.....	17
2.6.2 ความอ่อนตัวไม่เปราะ.....	17
2.6.3 ความทนแรงกระแทก.....	17
2.6.4 ความติดแน่น.....	18
2.6.5 ความทนละอองน้ำเกลือ.....	18
บทที่ 3 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	19
บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง	
4.1 วัตถุประสงค์.....	21
4.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	21
4.3 สภาวะการทดลองและการควบคุม.....	25
4.4 วิธีการทดลอง.....	27
4.5 การทดสอบ.....	29
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
5.1 ผลด้านความหนืดของสารเคลือบผิว.....	35
5.2 ผลด้านความอ่อนตัวไม่เปราะของสารเคลือบผิว.....	44
5.3 ผลด้านความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิว.....	44
5.4 ผลด้านความติดแน่นของสารเคลือบผิว.....	45
5.5 ผลด้านความทนละอองน้ำเกลือของสารเคลือบผิว.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
6.1 บทสรุป.....	58
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณค่าของเครื่องบด.....	62
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	65
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์และเคมีของวัตถุดิบ.....	70
ภาคผนวก ง มาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบความอ่อนตัวไม่เปราะ ของสารเคลือบผิว.....	73
ภาคผนวก จ มาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบความทนแรงกระแทก ของสารเคลือบผิว.....	77
ภาคผนวก ฉ มาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบความติดแน่น ของสารเคลือบผิว.....	79
ภาคผนวก ช มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มอก. สำหรับการทดสอบ ความทนละอองน้ำเกลือของสารเคลือบผิว.....	85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
4.1 เครื่องบดผสม.....	22
4.2 ลูกบดและหม้อบดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม.....	22
4.3 ปีกเกอร์และกระจกนาฬิกาใส่วัตถุดิบ.....	23
4.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	23
4.5 หลอดไฟอินฟราเรด.....	24
4.6 ชุดเครื่องร้อนตะแกรง.....	25
4.7 การยืดหม้อบดกับแกนหมุน.....	27
4.8 การทดสอบผสมลงในกระป๋อง.....	28
4.9 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟีลด์.....	30
4.10 อุปกรณ์ทดสอบความทดสอบความอ่อนตัวไม่เปราะ.....	31
4.11 อุปกรณ์ทดสอบแรงกระแทก.....	32
4.12 ทิศทางของแนวกรีดแผ่นทดสอบการติดแน่น.....	33
4.13 กำหนดตำแหน่งรอยกรีดบนชิ้นงานเพื่อทดสอบความทนละอองน้ำเกลือ.....	34
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสารเคลือบผิวกับปริมาณยางใช้แล้วและ อุณหภูมิผสม ที่ขนาดอนุภาคยางคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน.....	36
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารเคลือบกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้ว ต่อยางมะตอยคงที่ ที่ (ก) 0:1 (ข) 1:2 (ค) 1:1 (ง) 2:1 และ (จ) 1:0.....	38
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับปริมาณยางใช้แล้ว และขนาดยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ	41
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความติดแน่นกับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้วคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน (ข)	45
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความติดแน่นกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ	47

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความติดแน่นกับปริมาณยางใช้แล้ว และ ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมครั้งที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ	50
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนละอองน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้วครั้งที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน.....	52
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนละอองน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่อุณหภูมิการผสมครั้งที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ	55
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนละอองน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับปริมาณยางใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมครั้งที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของเรซินสังเคราะห์.....	6
2.2 การเลือกใช้เรซินสังเคราะห์สำหรับวัสดุและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ.....	7
2.3 ชนิดและคุณสมบัติของตัวทำละลาย.....	8
4.1 หมายเลขแสดงสภาวะการกัดผิวที่ใช้ในการทดลอง 30 สภาวะ	25
4.2 ปริมาณวัสดุที่ที่ใช้ในการทดลอง.....	27



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

สารเคลือบผิวคือสารที่ใช้เคลือบพื้นผิววัสดุให้มีความคงทนถาวร และป้องกันพื้นผิววัสดุจากสภาพแวดล้อมภายใต้ภาวะการใช้งาน [1] สารเคลือบผิวมีองค์ประกอบหลักคือสารยึด (binder หรือ resin) ตัวทำละลาย (solvent) และสารเติมแต่ง (additive) สารยึดในสารเคลือบผิวทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน ให้เกิดเป็นฟิล์มติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ [2] อุตสาหกรรมผลิตสารเคลือบผิวปัจจุบันมีการใช้สารยึดมากมายหลายชนิดทั้งสารยึดที่ได้จากธรรมชาติและสารยึดที่ได้จากการสังเคราะห์ การเลือกใช้สารยึดใดขึ้นกับภาวะการใช้งานและสภาพสิ่งแวดล้อมที่จะนำสารเคลือบผิวไปใช้ ตัวอย่างเช่นในงานเคลือบผิวโลหะจำเป็นต้องใช้สารเคลือบผิวที่มีความสามารถในการต้านการเกิดการกัดกร่อนของโลหะ เนื่องจากโลหะโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กจะเกิดการกัดกร่อนได้ เมื่อสัมผัสกับน้ำ ออกซิเจน แกลีอ กกรด หรือด่างที่มีอยู่ในบรรยากาศ จึงต้องเลือกใช้สารยึดที่เหมาะสม

ยางธรรมชาติเป็นตัวเลือกหนึ่งในการนำไปใช้เป็นสารยึดในสารเคลือบผิว เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารพอลิเมอร์โมเลกุลใหญ่และมีสมบัติดีหลายประการ เช่น ทนต่อน้ำ และทนต่อการกัดกร่อนจากกรดและด่าง [3] แต่ไม่สามารถนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นสารยึดในสารเคลือบผิวได้โดยตรง เนื่องจากยางธรรมชาติที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) เมื่อถูกนำมาทำเป็นสารเคลือบผิวจะให้ฟิล์มที่อ่อนและเหนียวหนืด และจะเกิดการแตกสลายอย่างรวดเร็วเมื่อถูกแสงหรืออากาศ [1]

ยางรถยนต์เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่ได้ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงขึ้นระหว่างโมเลกุลของยาง ทำใหยางรถยนต์มีสมบัติที่ดีขึ้นในการทำหน้าที่เป็นสารยึดในสารเคลือบผิว นอกจากนี้การนำยางรถยนต์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ยังเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยและน่าจะมีส่วนในการลดต้นทุนในการผลิตด้วย ดังจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมีความพยายามที่จะนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่หลายวิธี เช่น นำยางรถยนต์มาทำเป็นถังขยะ แก้ว อี ฐูวิ่ง และอื่น ๆ ในทางอุตสาหกรรมได้มีการนำยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันมาทำการดีวัลคาไนเซชันทางเคมี (chemical devulcanization) และได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่ายางรีเคลม (reclaim rubber) [4] ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในการผลิตยางรถยนต์

ได้ เป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต นอกจากนี้ยางรีเคลมมีสมบัติบางประการที่ช่วยทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ได้ดีขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาทดลองนำยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแล้วมาใช้เป็นสารยึดในการผลิตสารเคลือบผิวบ้าง [5] แต่ยังไม่มีความชัดเจนในเรื่องผลกระทบของสูตรการผลิตที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิว ด้วยมูลเหตุดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของสูตรการผลิตสารเคลือบผิวจากยางใช้แล้ว ซึ่งเป็นของผสมระหว่างยางวัลคาไนซ์ (vulcanized rubber) กับยางรีเคลม (reclaim rubber) ที่ได้มาจากยางรถยนต์เก่า ที่มีต่อสมบัติพื้นฐานของสารเคลือบผิวได้แก่ ความหนืด (viscosity) ความอ่อนตัวไม่เปราะ (flexibility) ความทนกระแทก (impact strength) ความติดแน่น (adhesion) และความทนละอองน้ำเกลือ (salt spray resistance)

1.2 วัตถุประสงค์

ทำการทดลองศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอย ต่อสมบัติความหนืด (viscosity) ความอ่อนตัวไม่เปราะ (flexibility) ความทนแรงกระแทก (impact strength) ความติดแน่น (adhesion) และความทนละอองน้ำเกลือ (salt spray resistance) ของสารเคลือบผิว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิการผสมที่ 35 ± 5 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) และ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิว

1.3.2 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ในช่วง 100-200 ไมครอน (μm) 300-400 ไมครอน และ 600-700 ไมครอน ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิว

1.3.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอย ในช่วง 0:1 1:2 1:1 2:1 และ 1:0 ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิว

1.3.4 ทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิวที่ผลิตได้ต่อไปนี้ ความหนืด (viscosity) ความอ่อนตัวไม่เปราะ (flexibility) ความทนแรงกระแทก (impact strength) ความติดแน่น (adhesion) และความทนละอองน้ำเกลือ (salt spray resistance)

1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ได้รับความรู้ความเข้าใจถึงกระบวนการผลิตสารเคลือบผิวจากยางรถยนต์ใช้แล้ว
- 1.4.2 ได้ทราบแนวโน้มของผลของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิว
- 1.4.3 ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำไปพัฒนาการผลิตสารเคลือบผิวจากยางรถยนต์ใช้แล้วต่อไป
- 1.4.4 ได้แนวทางการลดมลพิษจากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและข้อมูลพื้นฐาน

2.1 สารเคลือบผิว (coating)

สารเคลือบผิวคือสารที่ใช้เคลือบพื้นผิววัสดุให้มีความคงทนถาวร และป้องกันพื้นผิววัสดุจากสภาพแวดล้อมภายใต้ภาวะการใช้งาน [1] สารเคลือบผิวมีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อมนุษย์มากมาย เช่น นักอุตสาหกรรมใช้สารเคลือบผิวป้องกันพื้นผิววัสดุโครงสร้างให้มีความคงทนถาวรขึ้น การเคลือบกระดาษให้เกิดความเงา และการเคลือบวัสดุต่าง ๆ เพื่อความสะดวกสบาย เป็นต้น

อุตสาหกรรมผลิตสารเคลือบผิวได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตตลอดเวลา มีการทดลองปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบหรือการนำวัตถุดิบใหม่ ๆ มาใช้ เพื่อผลทางด้านลดต้นทุนการผลิต และทำให้สมบัติของสารเคลือบผิวดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการทดลองเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิตเพื่อช่วยให้ผลิตได้รวดเร็วขึ้น ถ้าผลจากการทดลองสามารถยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และช่วยลดต้นทุนการผลิตก็นำผลการทดลองนี้มาประยุกต์ผลิตเชิงอุตสาหกรรมขึ้น

2.1.1 ประเภทของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวสามารถจำแนกตามชนิดของวัตถุดิบได้หลากหลายชนิด แต่สามารถแบ่งได้กว้าง ๆ เป็น 3 ประเภท คือ สี (paint) วาร์นิช (varnish) และแล็กเกอร์ (lacquer) [1]

2.1.1.1 สี (paint) หมายถึง สารที่มีส่วนประกอบหลักเป็นสารพอลิเมอร์ มีคุณสมบัติในการยึดติดบนพื้นผิวชนิดต่างๆ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสีมีทั้งชนิดที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ หน้าที่ของสีคือใช้ทาหรือเคลือบผิวใด ๆ เพื่อความสะดวกสบาย หรือเพื่อป้องกันการกัดกร่อนเมื่อแห้งจะเกิดฟิล์มติดบนพื้นผิวนั้น ส่วนผสมหลักของสีประกอบด้วย 4 ชนิด คือ สารยึดเกาะ (binder) ตัวทำละลาย (solvent) ผงสี (pigment) และสารเติมแต่ง (additive)

ก. สารยึดเกาะ (binder หรือ film former) เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญมาก ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าด้วยกัน [2] การพิจารณาเลือกใช้สีต้องคำนึงถึงสารยึดเกาะ เพราะฟิล์มของสีจะติดแน่นทนทานและให้ความสวยงามอยู่ได้จะขึ้นโดยตรงกับความเหมาะสมของสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของสารยึดเกาะต่อสภาวะที่จะนำสีไปใช้ เช่น เลือกใช้สารยึดเกาะที่มีสมบัติความทนกรดทนด่างสำหรับงานเคลือบผิวในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

สารยึดเกาะที่ใช้ในการผลิตสารเคลือบผิวสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด คือ สารยึดเกาะที่ได้จากธรรมชาติ และ สารยึดเกาะที่ได้จากการสังเคราะห์

สารยึดเกาะที่ได้จากธรรมชาติคือเรซินธรรมชาติ ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์หรือสารโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ เช่น ชันสน น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เป็นต้น โดยทั่วไปเรซินธรรมชาติจะมีสมบัติด้านความสามารถการกลายเป็นไอต่ำ ไม่มีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ทนต่อเชื้อราและแบคทีเรีย

สารยึดเกาะที่ได้จากการสังเคราะห์คือเรซินสังเคราะห์ เช่น อัลคิเดเรซิน (alkyd resin) อีพอกซีเรซิน (epoxy resin) สไตรีน-บิวทาไดอีนโคพอลิเมอร์ (styrene butadiene copolymer) และยางคลอริเนเตด (chlorinated rubber) ซึ่งเรซินสังเคราะห์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวมีหลายชนิด ดังนั้นการใช้เรซินให้ได้ผลดีที่สุดต้องทำการเลือกให้เหมาะสม ควรศึกษาถึงสภาพสิ่งแวดล้อมและสมบัติของเรซินที่จะนำมาใช้ ตารางที่ 2.1 แสดงถึงสมบัติที่สำคัญสำหรับงานเคลือบผิวของเรซินสังเคราะห์บางชนิด ส่วนตารางที่ 2.2 แสดงการเลือกใช้เรซินสังเคราะห์สำหรับผิววัสดุต่าง ๆ

ข. ตัวทำละลาย (solvent) คือของเหลวที่ระเหยได้ ทำหน้าที่ละลายสารยึดเกาะที่เป็นของแข็งที่มีความหนืดสูงให้เป็นเนื้อเดียวกันกับผงสีและสารเติมแต่งต่าง ๆ ลดความหนืดของสีเพื่อความสะดวกในการผลิตและง่ายต่อการใช้งาน [6] ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ การเลือกใช้ตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์หรือเรซินให้ถูกต้องมีความสำคัญอย่างยิ่ง และความสามารถในการละลายของตัวทำละลายต่อพอลิเมอร์แต่ละชนิดไม่เท่ากัน ถ้าเลือกใช้ตัวทำละลายที่ไม่ดีฟิล์มที่เคลือบผิวหน้าวัสดุจะยุบไม่เต็มและหลุดออกไปได้ง่าย ตัวทำละลายหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีแสดงดังตารางที่ 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเรซินสังเคราะห์ [1]

สมบัติ	อัลคีด (alkyd)	ไวนิล (vinyl)	อีพอกซี (epoxy)	น้ำมัน (oil)	ฟีนอลิก (phenolic)	ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber)	ยูรีเทน (urethane)
ความติดแน่นกับผิวหน้า (adhesion)	VG	F	E	VG	G	G	G
ความแข็ง (hardness)	G	G	VG	F	VG	VG	E
ความอ่อนตัวไม่เปราะ (flexibility)	G	E	E	G	G	G	VG
ความทนทานต่อการขีดสี (abrasion)	G	VG	VG	F	VG	G	E
ความทนกรด (acid)	F	E	G	P	VG	VG	E
ความทนด่าง (alkali)	F	E	E	P	G	VG	VG
ความทนผงซักฟอก (detergent)	F	E	E	F	VG	VG	VG
ความทนทานต่อความร้อน (heat)	G	P	G	F	G	VG	G
ความทนตัวทำละลายรุนแรง (strong solvents)	F	F	E	P	VG	F	E
ความทนน้ำ (water)	G	E	G	G	E	VG	VG
ความต้านทานต่อการเปลี่ยนสี (fade resistance)	VG	E	G	G	G	G	F
ความต้านทานต่อการเกิดฝุ่น (chalk resistance)	G	E	F	G	G	G	F

ความหมาย: E ยอดเยี่ยม (Excellent)

F พอใช้ (Fair)

VG ดีมาก (Very good)

P เลว (Poor)

G ดี หรือ เฉลี่ย (Good หรือ average)

NR ไม่แนะนำให้ (Not recommended)

ตารางที่ 2.2 การเลือกใช้เรซินสังเคราะห์สำหรับวัสดุและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ [1]

สภาพสิ่งแวดล้อม หรือวัสดุ	อัลคิด์ (alkyd)	ไวนิล (vinyl)	อีพอกซี (epoxy)	น้ำมัน (oil)	ฟีนอลิก (phenolic)	ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber)	ยูรีเทน (urethane)
ไม้ (wood)	G	NR	G	G	G	NR	G
คอนกรีตแห้ง (fresh, dry concrete)	NR	VG	VG	NR	NR	VG	G
โลหะ (metal)	VG	VG	VG	VG	VG	G	G
ตบแต่งภายใน (interior)	G	G	G	G	G	G	G
ตบแต่งภายนอก (exterior)							
ชนบท (rural)	G	VG	G	G	G	G	G
ชายทะเล (seashore)	G	E	VG	G	VG	VG	VG
เขตอุตสาหกรรม (industrial areas)	F	E	E	VG	VG	VG	VG

ความหมาย: E ยอดเยี่ยม (Excellent)

F พอใช้ (Fair)

VG ดีมาก (Very good)

P เลว (Poor)

G ดี หรือ เฉลี่ย (Good หรือ average)

NR ไม่แนะนำให้ใช้ (Not recommended)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ชนิดและคุณสมบัติของตัวทำละลาย [6]

ตัวทำละลาย (solvent)	พารามิเตอร์การละลาย (solubility parameter)	ความหนืด (viscosity) ^c P	จุดเดือด (boiling point) °C	จุดวาบไฟ (flash point) °C
น้ำ (water)	23.4	1.002	100	none
อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) - ไฮโซลเฮกเซน (cyclo hexane)	8.2	0.890	81	3
เทอร์พีน (terpene) - ไดเพนทีน (dipentene)	8.5	0.975	175-190	32
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons) - โทลูอีน (toluene) - ไชลีน (xylene) - สไตรีน (styrene)	8.9 8.8 9.3	0.555 0.586 0.770	111 138-144 146	4 27 31
แอลกอฮอล์ (alcohols) - เมทานอล (methanol) - เอทานอล (ethanol) - โพรพานอล (propanol) - บิวทานอล (butanol)	14.7 12.7 11.9 11.4	0.547 1.200 2.250 2.948	65 78 97 118	12-14 14 15 35
เอสเทอร์ (esters) - เมทิลอะซิเตต (methyl acetate) - เอทิลอะซิเตต (ethyl acetate)	9.6 9.1	0.380 0.455	57 77	-9 -4
คีโตน (ketones) - อะซีโตน (acetone) - เมทิลเอทิลคีโตน (methyl ethyl ketone)	10.0 9.3	0.316 0.423	56 80	-17 -4

กระบวนการละลายของเรซินหรือพอลิเมอร์ในตัวทำละลายทั่วไป ต่างจากกระบวนการละลายของสารโมเลกุลเล็ก คือ พอลิเมอร์ละลายได้ช้ากว่า และชนิดของตัวทำละลายที่สามารถละลายพอลิเมอร์ได้มีจำกัด และกระบวนการละลายพอลิเมอร์เกิดเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อผสมพอลิเมอร์และตัวทำละลายเข้าด้วยกันแล้ว โมเลกุลของตัวทำละลายจะซึมหรือแพร่เข้าหาโมเลกุลของพอลิเมอร์อย่างช้า ๆ ทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ขยายตัวออก เกิดการบวม (swelling) โดยการดูดซึมเอาตัวทำละลายเข้าไป

ขั้นตอนที่ 2 พอลิเมอร์ที่บวมแล้วจะขยายตัว และจะดูดซึมตัวทำละลายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่สายโซ่พอลิเมอร์สามารถเลื่อนไหลผ่านกันและกันไปได้ เกิดการผสมที่เป็นของเหลว คือ มีการละลายเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ในตัวทำละลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ [1,7] โดยความสัมพันธ์ระหว่างการละลายและอุณหภูมิสามารถเขียนได้ดังสมการ (2.1) [7]

$$\Delta G = \Delta H_m - T\Delta S \quad (2.1)$$

โดยที่ ΔG คือ การเปลี่ยนแปลงงานอิสระ (free energy) ของระบบ เมื่อผสมพอลิเมอร์เข้ากับตัวทำละลาย (ถ้า ΔG มีค่าเป็นลบก็จะเกิดการละลาย)

ΔH_m คือ ค่าความร้อนของการผสม (heat หรือ enthalpy of mixing)

ΔS คือ การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (entropy change) ซึ่งเป็นตัวบอกถึงความไม่เป็นระเบียบในระบบพอลิเมอร์

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ ณ จุดที่เกิดการละลาย

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔG จะมีค่าเป็นลบ นั่นคือ พอลิเมอร์จะละลาย แต่ถ้ารักษาอุณหภูมิให้คงที่ พอลิเมอร์จะละลายก็ต่อเมื่อ ΔH_m มีค่าน้อยกว่า $T\Delta S$

ค. ผงสี (pigment) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญ เป็นสารที่ให้สีและทำให้สีมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิวหรือเรียกว่ามีกำลังซ่อนแสง (hiding power) ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ สามารถละลายในสารยี้ดเกาะหรือตัวทำละลายได้

ง. สารเติมแต่ง (additive) เป็นสารผสมพิเศษเติมลงไปเพียงเล็กน้อยสำหรับปรับปรุงคุณภาพของสีให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ทำให้สีไม่ขึ้นรา เป็นต้น

2.1.1.2 วาร์นิช (varnish) คือสารเคลือบผิวที่ประกอบด้วยสารยี้ดเพียงอย่างเดียว [8]

2.1.1.3 แล็กเกอร์ (lacquer) คือสารเคลือบผิวที่มีลักษณะเป็นสารละลาย [1,8] ซึ่งได้จากการนำสารยึดมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ความสามารถในการเคลือบผิวขึ้นกับอัตราการระเหยของตัวทำละลาย

2.1.2 การผลิตสี (paint manufacture)

การผลิตสีในเชิงอุตสาหกรรม มีขั้นตอนดังนี้ [9]

2.1.2.1 การผสม (premixing) เป็นการนำผงสีและส่วนประกอบที่เป็นของเหลว เช่น สารยึด ตัวทำละลายหรือตัวกลางบางส่วน ผสมเข้าด้วยกัน

2.1.2.2 การบด (grinding) เป็นการนำของผสมที่ได้จากขั้นตอนการผสมมาบดเพื่อทำให้อนุภาคของผงสีมีขนาดเล็กลงตามต้องการ ซึ่งจะเป็นผลให้ผงสีเกิดการเปียกและกระจายตัวในของผสมได้ดี ในขั้นตอนนี้อาจมีการเติมส่วนประกอบที่เป็นของเหลวที่เหลือลงไปอีกหรือไม่ก็ได้

2.1.2.3 การปรับความข้นเหลว (adjustment of consistency) เป็นการเติมสารยึด สารเติมแต่ง และตัวทำละลายที่เหลือลงไป

2.1.2.4 การเทียบสีผลิตภัณฑ์ (color calibration) เป็นการเปรียบเทียบสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้ตรงตามสีมาตรฐาน

2.1.2.5 การควบคุมคุณภาพ (quality control) เป็นการตรวจสอบให้สีมีสมบัติต่าง ๆ ตรงตามมาตรฐานที่ได้ระบุไว้

2.1.2.6 การบรรจุ (filling) เป็นการบรรจุสีที่มีสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานลงในภาชนะที่มีขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ

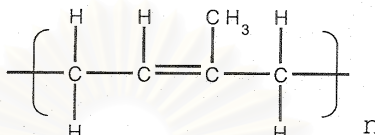
2.2 ยางรถยนต์

การผลิตยางรถยนต์ทำโดยการนำยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มาทำให้เกิดการคงรูปด้วยกระบวนการวัลคาไนเซชันโดยการเติมสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุล เช่น กำมะถัน ทำให้ยางมีความแข็งแรง ทนทาน แล้วนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปหล่อออกเป็นยางรถยนต์ [3]

2.2.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber)

ยางธรรมชาติเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยโมโนเมอร์จำนวนหลายพันหน่วยมาต่อเข้าด้วยกัน โมโนเมอร์เป็นสารไอโซพรีนซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 5 อะตอมและไฮโดรเจน 8 อะตอม มีสูตรโมเลกุลเป็น C_5H_8 [10] ยางธรรมชาติมีชื่อ

เรียกทางเคมีว่า พอลิไอโซพรีน (polyisoprene) และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเด่นคือสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้อย่างรวดเร็วหลังจากถูกแรงกระทำให้เสียรูป (resiliency) มีความต้านทนต่อการฉีกขาด สามารถหักงอได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ สามารถเกาะติดเส้นใยหรือโลหะได้ดี มีความทนต่อน้ำ และทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง ยางธรรมชาติมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ที่ -70°C และอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature, T_m) ประมาณ 28°C [11]



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง cis-1,4-polyisoprene [11]

รูปที่ 2.1 โครงสร้าง cis-1,4-polyisoprene [11]

2.2.2 ยางรีเคลม (reclaim rubber)

ยางรีเคลม (reclaim rubber) คือยางที่วัลคาไนซ์แล้วที่ถูกนำกลับมาผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของยางที่มีโครงร่างตาข่าย (crosslinked network) แตกออกเป็นโมเลกุลเล็ก มีขนาดใช้งานได้อีกครั้ง โดยโมเลกุลของยารวัลคาไนซ์อาจแตกออกได้ที่ตำแหน่งโครงร่างตาข่ายหรือตรงโมเลกุลของยางก็ได้ [12]

ในกระบวนการทำยางรีเคลมอาจใช้เพียงแค่ความร้อน หรืออาจมีพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) แทกซิไฟเออร์ (tacifier) และ สารช่วยในการรีเคลม (reclaiming agent) เข้าไปช่วย [10]

พลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) จะทำหน้าที่ทำให้ยางพองตัวออกเพื่อให้โมเลกุลของยางแตกออกง่ายขึ้น สารที่เป็นพลาสติกไซเซออร์นี้ได้แก่ เทอร์พีน (terpenes) แนพทา (naphthas) อินดีน (indene) ไดไซโคลเพนตาไดอิน (dicyclopentadiene) เป็นต้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำยางรีเคลม ต้องดึงน้ำมันเหล่านี้ออกจากยางรีเคลม

แทกซิไฟเออร์ (tacifier) เป็นสารที่ช่วยในการแปรรูปยาง หลังการให้ความร้อนแก่ยางแล้ว เป็นสารช่วยปรับปรุงความนุ่มนวลและความเหนียวของยาง สารเหล่านี้ได้แก่ น้ำมันแร่ (mineral oil) และ น้ำมันดิน (tars) เป็นต้น

สารช่วยในการรีเคลม (reclaiming agent) เป็นสารที่ใส่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย มีประสิทธิภาพช่วยให้การรีเคลมเป็นไปอย่างรวดเร็ว ลักษณะการทำงานตรงกันข้ามกับสารตัวเร่งในการวัลคาไนซ์ยาง สารพวกนี้แบ่งเป็นสามพวกใหญ่ ๆ [13] คือ

ก. ฟีนอลอัลคิลซัลไฟด์ และ ไดซัลไฟด์ (phenolalkyl และ disulphides) เป็นสารเคมีที่ใช้กันมานานแล้ว เป็นสารที่เร่งให้โมเลกุลของยางขาดออกจากกันโดยการออกซิไดซ์พร้อม ๆ กับเร่งให้พันธะกำมะถันแตกออกไป สารเคมีนี้จะทำตรงพันธะคู่ของยางด้วยการใช้งานมักใช้กับยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน และในการทำงานต้องมีออกซิเจนอยู่ด้วย

ข. อะลิฟาติกเมอร์แคปแทน และอะโรมาติกเมอร์แคปแทน (aliphatic และ aromatic mercaptan) เป็นสารที่ใช้ในการเร่งการรีเคลมเช่นกัน แต่มีข้อเสียคือกลิ่นไม่ค่อยดี โดยที่พวกอะโรมาติกจะมีสมบัติเหนือกว่าอะลิฟาติก

ค. สารประกอบอะมิโน (amino compounds) ใช้ในการทำยางรีเคลมโดยเฉพาะยางที่ไม่ใช้กำมะถันในการวัลคาไนซ์ โดยอะมิโนที่มีคาร์บอน 10-14 ตัว จะมีประสิทธิภาพสูงสุด

ยางรีเคลมจะวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่ายางปกติ และมีความทนทานต่อการออกซิไดซ์ดีมาก อาจเป็นเพราะในกระบวนการทำยางรีเคลมต้องผ่านกระบวนการออกซิเดชัน และการทำให้ร้อนจนกระทั่งยางเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ยากแล้ว ตัวอย่างเช่น ยางรีเคลมซึ่งมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 1050 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อนำไปอบให้ร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ก็มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง [13]

ในสมัยก่อนสงครามโลกมีการใช้ยางรีเคลมเพื่อเป็นตัวช่วยลดปริมาณการใช้ยางปกติ แต่ปัจจุบันการใช้ยางรีเคลมมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยให้ความสะดวกในกรรมวิธีการผลิตด้วย เช่น ใช้กับยางธรรมชาติเพื่อลดความหยุ่นตัวของยางดิบ ขณะกำลังอยู่ในระหว่างกระบวนการผลิต หรือเพื่อช่วยปรับยางให้มีความติดแน่น (adhesion) กับพวกโลหะได้ดียิ่งขึ้น หรือเพื่อช่วยให้เกิดการเหนียวติดดี (good tack) ในการทำยางอัดด้วยผ้าใบเพื่อทำเป็นสายพาน เป็นต้น [12]

2.2.3 กระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization)

กระบวนการวัลคาไนเซชันหรือกระบวนการทำให้ยางคงรูป หมายถึง กระบวนการทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยง (crosslinked) ขึ้นระหว่างโมเลกุลของยาง โดยการเติมสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง เช่น กำมะถัน สารที่ให้กำมะถัน (sulfur donor) และหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) เป็นต้น เข้าไปในโครงสร้างของยาง [14] ในปัจจุบันยังคงนิยมใช้กำมะถันเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง เนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่าย สามารถวัลคาไนซ์ได้เร็ว และไม่มีผลต่อสารเคมีอื่น ๆ อัตราการเกิดพันธะและคุณสมบัติของยางสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ

กำมะถัน การใส่กำมะถันลงในยางนิยมใส่ในลำดับหลังสุดของการผสม เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาก่อนกำหนด

ในการผสมยาง ยางจะถูกลบตีให้นิ่มตัวลงเนื่องจากความร้อนและการเสื่อมสลายเชิงกล ทำให้สามารถผสมสารเคมีลงในยางให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการวัลคาไนซ์ของยาง จึงควรระมัดระวังในการใช้สารเคมีและเทคนิคการผสมให้เหมาะสม การผสมยางที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน อาจทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ก่อนกำหนด ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตต่อไป กระบวนการทำให้ยางคงรูปเป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและเชิงเคมีของยาง ผลที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ จะมากขึ้นเพียงใดขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ทำให้ยางคงรูป โดยทั่วไปแล้วสมบัติต่าง ๆ ของยางคงรูปจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของการเชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลของยาง (degree of crosslinking) เพิ่มขึ้น [14]

สูตรพื้นฐานทั่วไปที่นิยมใช้สำหรับกระบวนการทำให้ยางคงรูป [14] แสดงได้ดังนี้

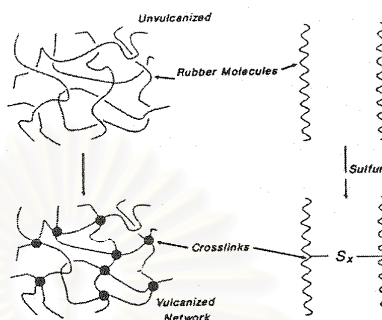
องค์ประกอบ	ส่วนโดยน้ำหนัก
ยาง	100
ผงคาร์บอนดำ (สารเพิ่ม)	ตามต้องการ
กำมะถัน หรือ สารเปอร์ออกไซด์	2.5-3.5
สารเร่งให้ยางคงรูป	0.5-1.5
สารกระตุ้นสารเร่ง	1.0-5.0
สารช่วยให้ยางนิ่ม	5.0-10
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1.0-2.0

จากส่วนผสมของสารต่าง ๆ ตามสูตรพื้นฐานข้างต้น จะเห็นว่าปริมาณการใช้สารแต่ละชนิดนั้นไม่จำกัดแน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต

การวัลคาไนซ์ยางเป็นการทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinking) ในระหว่างโมเลกุลของยางในสามมิติ ทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย (network) ที่คงตัวระหว่างโมเลกุลของยางไว้ดังรูป 2.2 ซึ่งการเกิดการเชื่อมโยงในระหว่างโมเลกุลของยางมีผลทำให้ยางมีความสามารถในการไหลของยางลดลง มีความยืดหยุ่นกลับสู่สภาพเดิมได้ดีเมื่อได้รับแรงกระทำ มีความคงทนต่อความร้อน สามารถนำไปใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงได้ มีความต้านทานต่อตัวทำละลายได้ดี และมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

ยางรถยนต์มีส่วนผสมของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ โดยผ่านกระบวนการคงรูป ทำให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน แต่เมื่อใช้งานหมดอายุการใช้งานแล้ว ยางรถยนต์จัดเป็นของเสียชนิดหนึ่งที่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันได้มีการพยายามที่จะนำยางรถยนต์เก่ามาทำ

เป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มมากมาย [15-18] เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ซึ่งได้นำเศษยางรถยนต์ใช้แล้วมาใช้เป็นสารยึดเกาะในสารเคลือบผิว เนื่องจากสมบัติของยางธรรมชาติเอง รวมถึงองค์ประกอบในยางรถยนต์ เช่น ผงคาร์บอนดำที่ใช้เป็นสารเติมเต็มและเสริมความแข็งแรงในยาง ก็สามารถใช้เป็นผงสีดำในการผลิตสารเคลือบผิวได้



รูปที่ 2.2 การเกิดโครงร่างตาข่าย [19]

รูปที่ 2.2 การเกิดโครงร่างตาข่าย [19]

2.3 ยางมะตอย (asphalt)

ยางมะตอย คือผลิตภัณฑ์ส่วนที่เหลือสุดท้ายหลังจากการกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ส่วนมากยางมะตอยจะเหนียวข้น สีดำ แข็งที่อุณหภูมิปกติ และประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติเชิงโมเลกุล (molecular property) ที่แตกต่างกัน และมีโมเลกุลบางส่วนที่มีพฤติกรรมเป็นไดโพล (dipolar molecules) ซึ่งสามารถทำให้เกิดสถานะสมดุขั้วทางพลังงานที่ผิวของมวลรวม (aggregate) หรือสิ่งที่รวมตัวกับยางมะตอย ซึ่งพบว่าองค์ประกอบของยางมะตอยมีอิทธิพลต่อการเกิดแรงดึงผิว อันส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยึดเกาะของยางมะตอย [20]

2.3.1 ส่วนประกอบหลักของยางมะตอย [21]

2.3.1.1 สารอิ่มตัว (saturates) ส่วนประกอบนี้จะมีความเหนียวคล้ายจารบี ไม่มีสี จะมีสารพาราฟิน (parafinic) บางส่วนเป็น naphthenic ring และบางส่วนเป็นพวกซีผึ้งสายโซ่ยาว (long chain wax) ซึ่งสามารถจะตกผลึกได้

2.3.1.2 สารอะโรมาติก (aromatics) ส่วนประกอบนี้เป็นสีน้ำตาลดำ เหนียวภายในโมเลกุลจะประกอบด้วยหลาย aromatic มีออกซิเจนและไนโตรเจนอยู่จำนวนเล็กน้อย

2.3.1.3 สารอะโรมาติกแบบมีขั้ว (polar aromatics) ส่วนประกอบนี้จะประกอบด้วยหลาย condensed ต่อ aromatic ring หนึ่งโมเลกุลจะประกอบด้วยออกซิเจนและไนโตรเจน 1เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป กำมะถัน 8 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และพวกที่มีโครงสร้างมีขั้วไฟฟ้า เช่น พวกไฮดรอกซิล คาร์บอนิล และ แอมมิโนกรุป ส่วนต่าง ๆ เหล่านี้มีคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับการละลายของมันในนอร์มอลเฮปเทน (n-heptane) ดังนี้

ก. เรซิน (resins) ตัวเรซินนี้จะละลายในเฮปเทน คือส่วนที่เป็นของแข็งสีเทาดำ ซึ่งจะอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน

ข. แอสฟัลทีน (asphaltenes) ส่วนนี้จะไม่ละลายในเฮปเทน มีสีเทาดำ และจะละลายตัวเมื่อถูกความร้อนสูง ยางมะตอยที่มีส่วนของแอสฟัลทีนสูง จะมีความสามารถในการติดแน่นได้ดี

ยางมะตอยมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.01-1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีคุณสมบัติเป็นเชื้อประสาน ผสมรวมกับวัสดุอื่นได้ดี จึงนิยมนำมาใช้ในงานทาง และงานเชื่อมประสานกับวัสดุแข็ง เช่น หินไม้ กววด หรือทราย และใช้ผสมกับ fillers และ additive ในงานต่าง ๆ

2.4 การเกิดฟิล์ม (film formation)

กระบวนการการเกิดฟิล์ม คือการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุ ไปเป็นฟิล์มที่ติดยึดแน่นกับผิววัสดุ และทำให้ผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น [1,2] ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอนคือ

2.4.1 การใช้งาน (application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้า หรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ ขึ้น การใช้งานอาจใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่ม

2.4.2 การทำให้ติดแน่น (fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้าและไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ การเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนการทำให้ติดแน่นจะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือถ้าสารเคลือบผิวเป็นแบบระบบบลาเทกซ์ (latex) ขั้นตอนการทำให้ติดแน่นจะเกิดโดยอาศัยการระเหยของน้ำ เป็นต้น

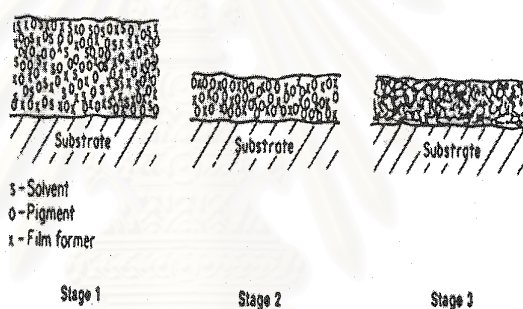
2.4.3 การบ่ม (curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนการทำให้ติดแน่นแล้วมีความทนทานดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อน หรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะเกิดการบ่มโดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำสารเคลือบ (enamel) ที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซต (thermoset polymer) ไปอบ ก็เป็นการบ่มอีกวิธีหนึ่ง

กระบวนการการเกิดฟิล์มของสารเคลือบผิวบางชนิดไม่จำเป็นต้องมี 3 ขั้นตอนเสมอไป ตัวอย่าง เช่น แลกเกอร์มีขั้นตอนการทำให้ติดแน่นและการบ่มรวมกัน โดยอาศัยการระเหยของตัวทำละลายระหว่างการใช้งาน เป็นต้น

2.5 การแห้งของสารเคลือบผิว

การแห้งของสารเคลือบผิว เป็นขั้นตอนการทำให้ฟิล์มติดแน่น ซึ่งวิธีการแห้งของชั้นฟิล์มสามารถเกิดได้โดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์หรือกรรมวิธีทางเคมี

2.5.1 แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (physical drying) การแห้งด้วยวิธีนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย ทำให้สารเคลือบผิวกลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary bond) อย่างอ่อน ๆ [22] แสดงดังรูป 2.3 ดังนั้นฟิล์มที่เกิดจึงยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของมัน ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ ได้แก่ แลกเกอร์ สีที่ทำจากยางคลอริเนต (chlorinated rubber) [1]



รูปที่ 2.3 การแห้งของสารเคลือบผิวโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ [22]

รูปที่ 2.3 การแห้งของสารเคลือบผิวโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ [22]

2.5.2 แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (chemical drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี [1] ดังนั้นฟิล์มที่ได้จะแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย การแห้งโดยวิธีนี้อาจเกิดโดย

2.5.2.1 แห้งโดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจนในอากาศแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดอนุของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้น จนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ [1,2] เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจากอัลคิเดซิน (alkyd resin) เป็นต้น การแห้งโดยวิธีนี้อาจเร่งแห้งได้โดยใส่สารเร่งแห้ง (drier)

2.5.2.2 แห่งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบประเภทนี้ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิห้อง เรียกสารเคลือบผิวนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coating) ตัวอย่างเช่น ยูเรียเรซิน (urea resin) พอลิยูรีเทนเรซิน (polyurethane resin) เป็นต้น แต่ถ้าเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (stoving หรือ baking coating) [1,6]

2.6 การทดสอบสมบัติสารเคลือบผิว

2.6.1 ความหนืด (viscosity)

การทดสอบวัดความหนืดเป็นการทดสอบสารเคลือบผิวในสถานะของเหลว [1] ซึ่งเป็นการวัดค่าความต้านทานการไหลของของเหลว โดยปกติความหนืดของสารเคลือบผิวหาได้ในหน่วยพอยส์ (poise) ถ้าสารเคลือบผิวมีค่าความหนืดสูงไป อาจทำให้สารเคลือบผิวมีสมบัติไม่เหมาะสมได้ เช่น มีค่าความต้านแรง (brush drag) สูงไป ทำให้การทาสารเคลือบผิวลงบนชิ้นงานทำได้ยาก

2.6.2 ความอ่อนตัวไม่เปราะ (flexibility)

การหาความอ่อนตัวไม่เปราะของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นการทดสอบความทนทานต่อการแตกร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ [2] เพื่อดูความสามารถในด้านความอ่อนตัวไม่เปราะของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อพื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลง เช่น มีการยืดขณะการใช้งาน หรือการเคลือบสารเคลือบผิวบนพื้นผิวที่มีความยืดหยุ่น โดยทดสอบตามวิธี ASTM D522-93a ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบความอ่อนตัวไม่เปราะ (ต้านทานต่อการแตกร้าว) ของสารเคลือบผิวอินทรีย์ (organic coating) ที่เคลือบบนพื้นผิวโลหะ เมื่อถูกนำไปดัดโค้งรอบแกนทรงกระบอก (bending test) หลังจากทำการทดสอบแล้ว ให้ตรวจดูรอยร้าวหรือการหลุดล่อนที่เกิดขึ้น ในการรายงานผลการทดสอบต้องระบุเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทรงกระบอกอันแรกที่ทำให้ผิวร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ แล้วนำไปเทียบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (elongation) ค่าสูงแสดงว่าสารเคลือบผิวนั้นมีความอ่อนตัวไม่เปราะของฟิล์มสูง ซึ่งแปลว่าฟิล์มของสารเคลือบผิวจะติดกับผิวชิ้นงานได้ดีขึ้น สามารถเคลือบบนพื้นผิวที่มีความยืดหยุ่นได้

2.6.3 การทนแรงกระแทก (impact strength)

แรงกระแทกที่รวดเร็วสามารถทำให้ผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิวเกิดความเสียหายได้ การทดสอบการทนแรงกระแทกคือ การวัดความคงทนของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อมีแรงมากระแทก [2] การทดสอบทำโดยปล่อยลูกตุ้มลงมาให้กระแทกกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว ตามวิธี ASTM

2794-93 จากนั้นตรวจผิวทดสอบ ความทนทานต่อแรงกระแทกมีหน่วยเป็นนิ้ว-ปอนด์ เช่น ใช้ ลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ ปล่อยลงมากระทบกับแผ่นทดสอบจากระยะทาง 40 นิ้ว ปรากฏว่าเป็น ระยะทางที่สูงสุดที่ทำให้ฟิล์มไม่เกิดข้อบกพร่อง เช่น การแตก หรือการหลุดล่อน แสดงว่าฟิล์ม ดังกล่าวมีความทนทานต่อแรงกระแทกเท่ากับ 160 นิ้ว-ปอนด์

2.6.4 ความติดแน่น (adhesion)

ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ [22] การติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวเป็นสมบัติที่สำคัญของสารเคลือบผิว โดยเฉพาะสารเคลือบผิวชนิดที่ถูกลำเลียงมาใช้ประโยชน์เพื่อป้องกันพื้นผิว จากสิ่งแวดล้อม หรือเคลือบเพื่อความสวยงาม การติดแน่นของฟิล์มบนพื้นผิวต้องดีตลอดการใช้งาน และปัจจัยที่มีความสำคัญต่อพันธะการติดแน่นของสารเคลือบผิว เช่น เทอร์โมไดนามิกส์ของพันธะการติดแน่น แรงของการติดแน่นภายในของสารติดแน่น (adhesive) พฤติกรรมของชั้นของสารเคลือบผิวภายใต้แรงเค้น เป็นต้น [23] ในการทดสอบการติดแน่นของสารเคลือบผิว สามารถทดสอบได้หลายวิธี เนื่องจากความสามารถในการติดแน่นของฟิล์ม ขึ้นกับชนิดของพื้นผิวและวิธีการเตรียมพื้นผิวด้วย และสำหรับการทดสอบได้ทดสอบตามวิธี ASTM D3359-95 เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าการยึดติดของฟิล์มสารเคลือบผิวบนพื้นผิวที่เป็นโลหะ โดยใช้แถบกาวยึดติด โลหะที่เกิดการติดแน่นเมื่อได้รับแรงกด (pressure-sensitive tape) ดึงเหนือรอยตัดบนฟิล์ม คู่มือฟิล์มที่เกิดความเสียหาย และเปรียบเทียบผลการทดสอบจากตารางในมาตรฐาน

2.6.5 ความทนละอองน้ำเกลือ (salt spray resistance)

การทดสอบหาความทนละอองน้ำเกลือ เป็นสิ่งที่ยังสำคัญอย่างยิ่งสำหรับสารเคลือบผิวกันการกัดกร่อน [2] ทดสอบตามวิธีมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 285 เล่มที่ 42 การทดสอบทำโดยวางแผ่นทดสอบที่แห้งแล้วในตู้ทดสอบให้ห่างกันอย่างน้อย 30 mm. เติงแผ่นทดสอบทำมุมประมาณ 15 องศากับแนวตั้ง โดยให้ด้านที่ต้องการทดสอบหงายขึ้นรับละอองน้ำเกลือ พ่นน้ำเกลือตามเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาแล้วนำแผ่นทดสอบออกมาล้างด้วยน้ำ ตรวจสอบดูข้อบกพร่องหลังจากนั้นป้ายน้ำยาลอกสีที่ไม่ทำให้เกิดสนิมที่บริเวณบางส่วนของพื้นผิวแผ่นทดสอบ ตรวจสอบดูรอยกัดกร่อนที่ผิวโลหะส่วนที่ลอกสีออกแล้ว ถ้าตรวจแล้วไม่พบข้อบกพร่องเลย แสดงว่าตัวอย่างทดสอบมีความทนละอองน้ำเกลือได้ดี

บทที่ 3

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำยางรถยนต์มาทำเป็นผลิตภัณฑ์สารเคลือบผิว ยังไม่มีการกล่าวถึงมากนัก ดังนั้นงานวิจัยที่จะกล่าวถึงเป็นการนำยางรถยนต์กลับมาใช้ใหม่ในงานต่าง ๆ ดังนี้

Oliveira da Cunha Lima [5] ได้นำยางวัลคาไนซ์ มาผลิตสีและกาวยาง โดยนำเศษยางรถยนต์ใช้แล้ว นำมาแยกเหล็กและผ้าใบออก ทำให้มีขนาด 5 wires/cm นำยางมา 1 ส่วนผสมกับตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน 5 ส่วนโดยน้ำหนักและสารเติมเต็มเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม และบดให้เข้ากันด้วยเครื่องบดชนิด ball mill โดยใช้ลูกบดที่เป็นเหล็กหรือแมงกานีส ใช้เวลาในการบด 48 ชั่วโมง และทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกันโดยการบดด้วยthree-cylinder mill ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหนียวเหนียวสีดำมีการยึดติดดี นำมาพ่นด้วยปืนพ่นสีบนแผ่นเหล็กและแผ่นไม้ ได้สารเคลือบผิวที่เรียบและพื้นผิวมีความยืดหยุ่นดี

นอกจากนี้ยังนำยางวัลคาไนซ์มาผลิตกาวยางเชื่อมโลหะ 2 แผ่นให้ยึดติดกัน โดยนำเศษยางขนาด 5 wires/cm 1 กิโลกรัม ตัวทำละลายไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) 5 กิโลกรัม และน้ำมัน (oil) 100 กรัม ผสมในเครื่องบดชนิด ball mill นาน 30 ชั่วโมง เติมกำมะถัน 10 กรัม และฟีนอลิกเรซิน (phenolic resin) 20 กรัม ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยthree-cylinder mill ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาเชื่อมประสานระหว่างแผ่นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นน้อย 2 แผ่นได้

Grant Crane และ Edward Leo Kay [4] ได้นำเศษยางมาทำยางรีเคลมที่ละลายได้ โดยนำ 10 – 100 ส่วน โดยน้ำหนักของเศษยางวัลคาไนซ์ ผสมกับ 100 ส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และให้ความร้อนกับส่วนผสมที่ 400-700 °F จนกระทั่งยางอยู่ในสถานะสารละลาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำมาผสมกับยางใหม่ใช้ผลิตยางรถยนต์ และพบว่ายางรีเคลมที่ได้ทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้ง่ายขึ้น

Lee Timothy และ William Millns [15] ได้ศึกษาการบำบัดยางวัลคาไนซ์ โดยการนำเศษยางรถยนต์ขนาด 40 mesh 300 กรัม มาบดด้วยเครื่องบดแบบ two-roll mill เป็นเวลา 10 นาที ให้ได้ขนาดยาง 0.12 มิลลิเมตร เติมกรดโอเลอิก (oleic acid) 9 กรัม เติมผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) 30 กรัม และบดต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 60 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแผ่นเปราะ และนำไปผ่านกระบวนการผสมน้ำและบดด้วยหินขัด (grinding stones) ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นครีมเหนียวยืด และมีสภาพคงตัว นำมาล้างด้วยน้ำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งน้ำที่ออกมามีค่าความเป็นกรดต่างเป็นกลาง แยกน้ำออก ได้ยางออกมาทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศ (100 มิลลิเมตรปรอท) ที่ 80 °C ได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 20 ไมครอน นำไปผสมกับยางที่ไม่ได้ผ่านการวัลคาไนซ์ คุณสมบัติของยางที่ได้ดีกว่าวิธีการรีไซเคิลแบบดั้งเดิม

Sainton [16] ได้นำผงยางรีไซเคิลมาผลิตตัวยึดเกาะ (binder) ผิวหน้าของถนน โดยผสมยางรีไซเคิลผงกับ bitumen ใช้น้ำมันหนัก (heavy oil) และ elastomer สังเคราะห์ เป็นตัวเติมแต่งโดยนำส่วนต่าง ๆ ที่จะเป็นตัวยึดเกาะ มาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 175-185 °C กวนส่วนผสมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อมาลดอุณหภูมิลง 15-20 °C จะได้ binder ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้ 10 วัน โดยคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง

Grant Crane และ Edward Leo Kay [17] ได้ศึกษาวิธีนำเศษยางมาใช้ทำเชื้อเพลิง และการใช้ประโยชน์เป็น by-product โดยนำเศษยางรถยนต์ที่ไม่ใช้งานแล้ว มาให้ความร้อน หรือนำมาเผาเพื่อให้พลังงานความร้อน และจะได้เถ้าของ Zn และได้ titanium เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากขบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

Hee Suk Lee, Hosin Lee, Jang Soo Moon และ Hwan Wook Jung [18] ได้ศึกษาการใช้พอลิยูรีเทนมาทำเป็น prepolymer สำหรับเชื่อมต่อยางรีไซเคิลในการผลิตลาเทกซ์คอนกรีตที่ผสมยางเข้าไป (Tire-add latex concrete, TALC) โดยยางรถยนต์ที่ใส่เข้าไปจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมของส่วนผสมคอนกรีต โดยควบคุมอัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์เท่ากัน แล้วทำการเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้อยู่เดิม และคอนกรีตดัดแปลง (latex-modified concrete) พบว่า TALC จะให้ค่าความยืดหยุ่น (flexural) และความทนแรงกระแทก (impact strength) สูงกว่าคอนกรีตพอร์ทแลนด์ (portland concrete) ข้อมูลที่ได้เป็นการสนับสนุนว่ามีการเชื่อมต่อพันธะระหว่างเศษยางกับคอนกรีตพอร์ทแลนด์ ดังนั้น TALC จะมีศักยภาพในการยืดอายุการใช้งานของวัสดุก่อสร้าง

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 วัสดุดิบ

วัสดุดิบประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 ยางรถยนต์ฝง (vulcanized rubber) ขนาด 25 mesh และ 30 mesh จากบริษัท ยูเนียนพัฒนากิจ จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ นำมาคัดแยกขนาดด้วยเครื่องร่อนตะแกรง (sieve) เพื่อให้ได้ขนาด $90 < d < 180 \mu\text{m}$, $250 < d < 425 \mu\text{m}$ และ $600 < d < 1000 \mu\text{m}$ (d =เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค) ผลการวิเคราะห์ทางเคมี และทางฟิสิกส์ ของยางวัลคาไนซ์แสดงดังภาคผนวก ค

4.1.2 ยางรีเคลม (reclaim rubber) จากบริษัท ยูเนียนพัฒนากิจ จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและทางฟิสิกส์ของยางรีเคลมแสดงดังภาคผนวก ค

4.1.3 โทลูอีน (toluene, analytical grade) จาก Fisher Chemical ประเทศอังกฤษ

4.1.4 ยางมะตอย (asphalt) ชนิด AC-80 จากบริษัท เซลลิเนประเทศไทย จำกัด ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและทางฟิสิกส์ของยางมะตอยแสดงดังภาคผนวก ค

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 เครื่องบดผสม (ball mill) สั่งทำขึ้นมาใหม่ ดังรูปที่ 4.1

เครื่อง ball mill เป็นเครื่องบดที่ประกอบด้วยหม้อบดรูปทรงกระบอก ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ความสูงภายใน 16.8 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15.4 เซนติเมตรและมีความจุ 3.13 ลิตร และลูกบดเป็นลูกเหล็กกล้าไร้สนิม มี 2 ขนาดคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.175 เซนติเมตร จำนวน 25 ลูก และเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.210 เซนติเมตร จำนวน 73 ลูก ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.1 เครื่องบดผสม



รูปที่ 4.2 ลูกบดและหม้อบดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม

4.2.2 ปีกเกอร์แก้วขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ ยี่ห้อ Pyrex ใช้สำหรับใส่โกลูอิน

4.2.3 ปีกเกอร์แก้วขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ ยี่ห้อ Pyrex ใช้สำหรับใส่ยาง

4.2.4 กระจกนาฬิกาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ ใช้สำหรับใส่ยางมะตอย



รูปที่ 4.3 ปีกเกอร์และกระจกนาฬิกาใส่วัตถุดิบ

4.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักจากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ดังรูป 4.4

รุ่น	Precisa 1212 M SuperBal_series
พิกัด	1,212 กรัม
ความแม่นยำ	0.001 กรัม
ผู้ผลิต	Swissquality
ประเทศ	สวิสเซอร์แลนด์



รูปที่ 4.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4.2.6 หลอดไฟอินฟราเรด ให้ความร้อน จำนวน 2 หลอด รุ่น OSRAM E 27, 250 W, 230 V, SL/r ผลิตจากประเทศ Slovakia ดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 หลอดไฟอินฟราเรด

4.2.7 เทอร์มิเตอร์ (thermometer) ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0 – 100 °ซ ความละเอียด 1 °ซ สำหรับวัดอุณหภูมิภายในหม้ออบ

4.2.8 เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) สำหรับวัดอุณหภูมิภายนอก

รุ่น	FLUKE K/J type
ช่วงการวัด	-200 °ซ ถึง 760 °ซ
ความละเอียด	0.1 °ซ
ประเทศ	สหรัฐอเมริกา

4.2.9 ชุดเครื่องร่อนตะแกรง ยี่ห้อ Retsch รุ่น VS 1000 ประเทศเยอรมันนี จากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน สามารถปรับความถี่ในการสั่น และสามารถตั้งเวลาในการสั่นได้ ซึ่งประกอบด้วย ตะแกรงร่อนอนุภาค (sieve) ขนาดต่าง ๆ ดังนี้ 30, 40, 60, 70, 80 mesh เรียงจากบนลงล่าง ตามลำดับ ด้านล่างมีภาชนะรองรับ (pan) ดังรูป 4.6



รูปที่ 4. 6 ชุดเครื่องร่อนตะแกรง

4.3 สภาวะการทดลองและการควบคุม

4.3.1 อุณหภูมิการบดผสม โดยทดลองบดผสมที่ 35 ± 5 °ซ (อุณหภูมิห้อง) และที่ 75 ± 5 °ซ

4.3.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างยางใช้แล้วต่อยางมะตอย โดยทดลองที่อัตราส่วน 0:1 1:2 1:1 2:1 และ 1:0 (ยางใช้แล้ว คือยางวัลคาไนซ์ : ยางรีเคลม ที่สัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก)

4.3.3 ขนาดอนุภาคของยางใช้แล้ว โดยทดลองที่ขนาด 100-200 ไมครอน 300-400 ไมครอน และ 600-700 ไมครอน

สภาวะการทดลองทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 หมายเลขแสดงสภาวะการทดลองที่ใช้ในการทดลอง 30 สภาวะ

สภาวะการทดลองที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนักยางใช้แล้วต่อยางมะตอย	ขนาดอนุภาคยาง (ไมครอน)	อุณหภูมิการบดผสม (°ซ)	เวลาบดผสม (ชั่วโมง)
1	0:1	100-200	35 ± 5	36
2	0:1	100-200	75 ± 5	36
3	1:2	100-200	35 ± 5	36
4	1:2	100-200	75 ± 5	36
5	1:1	100-200	35 ± 5	36
6	1:1	100-200	75 ± 5	36

ตารางที่ 4.1 หมายเลขแสดงสภาวะการทดลองที่ใช้ในการทดลอง 30 สภาวะ (ต่อ)

สภาวะการทดลองที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ยางใช้แล้วต่อยางมะตอย	ขนาดอนุภาคยาง (ไมครอน)	อุณหภูมิ การบดผสม ($^{\circ}\text{ซ}$)	เวลา บดผสม (ชั่วโมง)
7	2:1	100-200	35 \pm 5	36
8	2:1	100-200	75 \pm 5	36
9	1:0	100-200	35 \pm 5	36
10	1:0	100-200	75 \pm 5	36
11	0:1	300-400	35 \pm 5	36
12	0:1	300-400	75 \pm 5	36
13	1:2	300-400	35 \pm 5	36
14	1:2	300-400	75 \pm 5	36
15	1:1	300-400	35 \pm 5	36
16	1:1	300-400	75 \pm 5	36
17	2:1	300-400	35 \pm 5	36
18	2:1	300-400	75 \pm 5	36
19	1:0	300-400	35 \pm 5	36
20	1:0	300-400	75 \pm 5	36
21	0:1	600-700	35 \pm 5	36
22	0:1	600-700	75 \pm 5	36
23	1:2	600-700	35 \pm 5	36
24	1:2	600-700	75 \pm 5	36
25	1:1	600-700	35 \pm 5	36
26	1:1	600-700	75 \pm 5	36
27	2:1	600-700	35 \pm 5	36
28	2:1	600-700	75 \pm 5	36
29	1:0	600-700	35 \pm 5	36
30	1:0	600-700	75 \pm 5	36

4.4 วิธีการทดลอง

การทดลองใช้ปริมาณรวมของยางใช้แล้วและยางมะตอย 150 กรัม และปริมาณโทลูอีน 700 มิลลิลิตร ทุกการทดลอง โดยวิธีการทดลองมีดังนี้

4.4.1 นำลูกบดทั้งหมดใส่ลงในหม้อบด

4.4.2 ชั่งยางใช้แล้วและยางมะตอย ตามตารางที่ 4.2 และนำมาใส่ในหม้อบดซึ่งมีลูกบดอยู่แล้ว

ตารางที่ 4.2 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ยางใช้แล้วต่อยางมะตอย	น้ำหนัก (g)		
	ยางวัลคาไนซ์	ยางรีเคลม	ยางมะตอย
0:1	0	0	150
1:2	25	25	100
1:1	37.5	37.5	75
2:1	50	50	50
1:0	75	75	0

4.4.3 เทโทลูอีนลงในบีกเกอร์จำนวน 700 มิลลิลิตร และนำไปเทลงในหม้อบด

4.4.4 ปิดฝาหม้อบด ไขน็อตให้แน่น นำหม้อบดไปวางที่แกนหมุน ล็อกหม้อบดกับแกนหมุนดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 การยึดหม้อบดกับแกนหมุน

4.4.5 ใช้มือหมุนหม้ออบดกลับไปกลับมา 10 ครั้ง เพื่อให้สารภายในผสมกันได้ดีขึ้น

4.4.6 เปิดสวิตช์ให้แกนหมุนทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 76 รอบต่อนาที (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก) เริ่มจับเวลา โดยใช้เวลาในการอบ 36 ชั่วโมง

4.4.7 เมื่อเวลาครบ 36 ชั่วโมง ปิดสวิตช์ให้เครื่องหยุดหมุน เปิดฝาหม้ออบ วัสดุอนุภูมิภาคของสารผสม จดบันทึกค่า

4.4.8 เทสารผสมที่ได้ลงในกระป๋องอลูมิเนียมดังรูป 4.8 ปิดฝาให้แน่น และนำไปทดสอบต่อไป



รูปที่ 4.8 การเทสารผสมลงในกระป๋อง

4.4.9 สำหรับการเพิ่มอนุภูมิภาคการบดผสม ใช้หลอดไฟอินฟราเรด 2 หลอดเป็นตัวเพิ่มความร้อน โดยติดตั้งหลอดไฟ ห่างจากหม้ออบประมาณ 1 เซนติเมตร ข้างละหลอด โดยฉายไฟที่ผิวภายนอกของหม้ออบ ส่วนขั้นตอนต่าง ๆ ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนการทดลองที่อนุภูมิภาคห้อง (4.4.1-4.4.8) และทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวภายนอกหม้ออบทุก ๆ ชั่วโมงด้วยเทอร์โมคัปเปิล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การทดสอบ

4.5.1 การเตรียมแผ่นทดสอบ

เตรียมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 285 เล่ม 3, 2521 [23]

4.5.1.1 แผ่นทดสอบ

ก) แผ่นเหล็ก (steel panels) โดยใช้เหล็กที่ผ่านกรรมวิธีขจัดสารปนเปื้อนในขณะหลอมออกหมด แล้วนำไปผ่านการรีดเย็น (fully killed cold reduced) ที่มีขนาดของเนื้อเหล็ก (grain size) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิเมตร และต้องมีค่าอิริชเซนคัพปีง (Erichsen cupping) เทียบเท่ากับค่าที่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตรของแผ่นเหล็กที่มีความหนา 0.8 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กจะต้องมีความหยาบของผิวและการเปลี่ยนสีน้อยที่สุด ค่าความหยาบของผิวควรมีค่าไม่เกิน 1.5 ไมครอน

ข) แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tinplate panels) ควรเป็นแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกซึ่งผ่านกรรมวิธีรีดเย็น (cold reduction) ความหนาของแผ่นเหล็กโดยทั่วไป 0.3 มิลลิเมตร และความหนาของดีบุกที่เคลือบมีค่าเทียบเท่ากับน้ำหนัก 24.0 กรัมต่อตารางเมตร ความหนาและขนาดของแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในรายการวิธีทดสอบ

4.5.1.2 วิธีการเตรียมโดยวิธีการขัดถู

ใช้กระดาษทรายขัดถูแผ่นทดสอบเพื่อให้ผิวหน้าเรียบ และกำจัดความสกปรกที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยการใช้ตัวทำละลาย ความหนาของเหล็กที่ถูกกำจัดไปขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวแผ่นเหล็กเดิม แต่โดยทั่วไปไม่ควรมีย่านน้อยกว่า 0.7 ไมครอนเมตร ซึ่งคิดเทียบจากน้ำหนักที่หายไปของแผ่นเหล็กนั้น (ความหนา 0.7 ไมครอนเมตร มีค่าประมาณ 5 ถึง 6 กรัมต่อตารางเมตร) การขัดถูควรกระทำแบบการขัดแห้งโดยใช้กระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ชนิดดีที่มีค่าขนาดความคม 220 (220 silicon carbide grit)

การขัดถูแผ่นเหล็กกระทำได้ด้วยเครื่องมือ วิธีทำดำเนินเป็นขั้น ๆ ดังนี้

- ขัดถูเป็นแนวเส้นตรงในทิศทางที่ขนานกับด้านแนวนอนของแผ่น
- ขัดถูเป็นแนวตั้งฉากกับทิศทางเดิมจนกระทั่งรอยถูครั้งแรกหายไป
- ขัดถูเป็นแนววงกลมโดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 80 ถึง 100 มิลลิเมตร จนกระทั่งได้รอยถูเป็นรูปวงกลมซ้อนกันอยู่
- เมื่อขัดถูเสร็จ ต้องทำความสะอาดแผ่นก่อนใช้ด้วยตัวทำละลาย

4.5.1.3 การเตรียมแผ่นตัวอย่าง

ใช้แผ่นทดสอบขนาดประมาณ 200 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 1 มิลลิเมตร เตรียมพื้นผิวโดยวิธีขัดถู ล้างด้วยตัวทำละลายให้สะอาด ปล่อยให้แห้ง แล้วเคลือบสารเคลือบผิว ตัวอย่างให้มีความหนาของฟิล์มเมื่อแห้ง 250-300 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 °ซ (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 150 ชั่วโมงเพื่อให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 50 ± 1 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ฟิล์มแห้งสนิท แล้วนำไปทดสอบ

4.5.2 ความหนืด (viscosity)

ทดสอบความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (brookfield viscometer) ดังรูปที่ 4.9 ที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2.1 เลือก spindle ขนาดเบอร์ 5 สำหรับทดสอบ มา 1 อัน และต่อเข้ากับแกนหมุนของเครื่อง

4.5.2.2 เลื่อนแกนยึดตัว spindle ขึ้น และนำกระป๋องที่บรรจุสารเคลือบผิว มาวางให้ตำแหน่ง spindle อยู่ตรงกลางของภาชนะ และให้ spindle จุ่มลงไปในสารเคลือบผิวจนถึงขีดบอกตำแหน่งบน spindle

4.5.2.3 เริ่มหมุนมอเตอร์ให้ spindle หมุน โดยใช้ความเร็วรอบ 100 รอบต่อวินาที จับเวลา 30 วินาที อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัดของเครื่อง บันทึกค่า แล้วนำมาคูณกับค่าเฟคเตอร์ของตัว spindle และความเร็รรอบที่ใช้ ได้ค่าความหนืดของสารเคลือบผิวในหน่วย เซนติพอยส์ (centipoise)



รูปที่ 4.9 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (brookfield viscometer)

4.5.3 ความอ่อนตัวไม่เปราะ (Flexibility)

ทดสอบตามวิธี ASTM D522 (ภาคผนวก ง) โดยใช้เครื่องที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย แสดงดังรูป 4.10 เป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 37 มิลลิเมตร เรียวเล็กลงจนถึง 3 มิลลิเมตร มีความยาว 200 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก หนา 0.8 มิลลิเมตร มีพื้นที่ 19 x 11 เซนติเมตร

4.5.3.1 เตรียมแผ่นตามข้อ 4.5.1.3

4.5.3.2 วางแผ่นทดสอบโดยนำด้านที่เคลือบออกด้านนอก ยึดแผ่นทดสอบพร้อมชั้นน็อตให้แน่น

4.5.3.3 กดแผ่นทดสอบไปตามแกนทรงกระบอกภายในเวลา 1 ถึง 2 วินาที ชั้นที่ยึดออกนำแผ่นทดสอบมาตรวจสอบความเสียหาย เกิดรอยร้าวหรือการหลุดล่อนที่เกิดขึ้น

4.5.3.4 บันทึกผล โดยบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฟิล์มเกิดความเสียหาย



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์ทดสอบความอ่อนตัวไม่เปราะ

4.5.4 ความทนแรงกระแทก (impact strength)

แรงกระแทกที่รวดเร็วสามารถทำให้ผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิวเกิดความเสียหายได้ การทดสอบการทนแรงกระแทกคือ การวัดความคงทนของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อมีแรงมากระแทก

การทดสอบทำโดยปล่อยลูกตุ้มลงมาให้กระแทกกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว ตามวิธี ASTM D2794-93 (ภาคผนวก จ) โดยใช้เครื่องมือที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย แสดงดังรูป 4.11 จากนั้นตรวจผิวทดสอบ ความทนทานต่อแรงกระแทกมีหน่วยเป็น นิว-ปอนด์ เช่น ใช้ลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ ปล่อยลงมากระทบกับแผ่นทดสอบจากระยะทาง 40 นิ้ว

ปรากฏว่าเป็นระยะทางที่สูงสุดที่ทำให้ฟิล์มไม่เกิดข้อบกพร่อง เช่น การแตก หรือการหลุดล่อน แสดงว่าฟิล์มดังกล่าวมีความทนทานต่อแรงกระแทกเท่ากับ 160 นิวตัน-ปอนด์

4.5.4.1 เตรียมแผ่นตามข้อ 4.5.1.3

4.5.4.2 วางแผ่นทดสอบบนฐานรองรับ โดยให้ด้านที่เคลือบอยู่ด้านบน เพื่อสัมผัสกับหัวกด

4.5.4.3 ปลดปล่อยลูกตุ้ม (หัวกด) ลงมาอย่างอิสระ เพื่อกระทบกับแผ่นทดสอบ โดยบันทึกระยะทางของลูกตุ้มไว้ ตรวจสอบความเสียหายบนผิวฟิล์ม บันทึกระยะทางสูงที่สุดที่ไม่ทำให้ฟิล์มเสียหาย



ตำแหน่งวางแผ่นทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

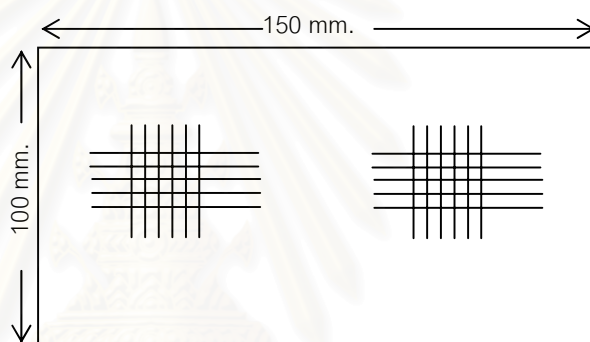
รูปที่ 4.11 อุปกรณ์ทดสอบแรงกระแทก

4.5.5 การทดสอบการติดแน่น

ทดสอบตามวิธี ASTM D3359-95 (ภาคผนวก ฉ) โดยใช้เครื่องที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เตรียมพื้นผิวของแผ่นเหล็กทดสอบขนาด 100 x 150 มิลลิเมตร โดยการพ่นทรายให้ได้ความสะอาดตามลักษณะใน ISO 8501-1(SIS 05 5900) Sa 2 $\frac{1}{2}$ โดยได้แผ่นทดสอบจากบริษัท โจตันไทย จำกัด

4.5.4.1 เคลือบสีตัวอย่าง 2 ชั้นบนแผ่นเหล็กทดสอบ ให้ได้ความหนาของฟิล์มเมื่อแห้งชั้นละ 100 \pm 10 ไมครอน เมื่อพ่นชั้นแรกแล้วทิ้งไว้ให้ฟิล์มแห้งนาน 24 ชั่วโมง แล้วจึงพ่นชั้นที่สองทับลงไปทิ้งให้ฟิล์มแห้ง 24 ชั่วโมง นำไปทดสอบทันที

4.5.5.2 ใช้ใบมีดที่มีคมมีดระหว่าง 15 ถึง 30 องศา วางทำมุม 60 องศากับทิศทางของแนวกรีด กรีดให้แต่ละเส้นห่างกัน 2 มิลลิเมตร และได้ตารางทั้งหมด 25 ตาราง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ทิศทางของแนวกรีดแผ่นทดสอบการติดแน่น

4.5.5.3 ใช้แถบกาวยเซลโลโฟนที่มีการติดแน่นอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 3.2 นิวตันต่อความกว้าง 10 มิลลิเมตร ขนาดกว้างประมาณ 25 มิลลิเมตร ปิดทับตรงรอยที่กรีดไว้โดยให้ขอบแถบกาวยอยู่ห่างจากขอบของรอยกรีดเกิน 5 มิลลิเมตรโดยรอบ

4.5.5.4 รีดแถบกาวยให้เรียบ ไม่ให้มีฟองอากาศ แล้วลอกแถบกาวยออกทันทีในจังหวะเดียว ภายในเวลาไม่เกิน 1 วินาที โดยดึงแถบกาวยให้ทำมุมใกล้เคียงกับมุม 180 องศามากที่สุด

4.5.5.5 ตรวจสอบผิวเคลือบ และประเมินผลตามรูปที่แสดงใน ASTM D3359-95 (ภาคผนวก ฉ)

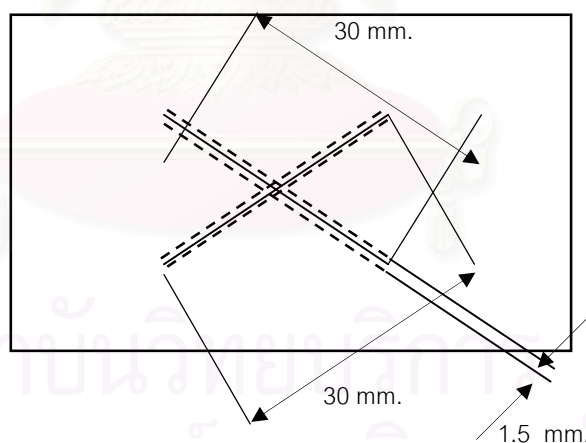
4.5.6 ความทนละอองน้ำเกลือ (salt spray resistance)

ทดสอบตามวิธี มอก.285 เล่มที่ 42 (ภาคผนวก ข) โดยใช้เครื่องที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ภายในตู้มีแผ่นวางทดสอบทำด้วยพลาสติก มีหัวพ่นอยู่ตรงกลางตู้

4.5.6.1 เตรียมแผ่นทดสอบตามข้อ 4.5.1.3 และใช้มีดที่มีมุมของคมมีดประมาณ 30 องศา หรือใช้เครื่องมืออื่นที่เหมาะสม กรีดฟิล์มของสารเคลือบผิวเป็นรูปตัว X ขนาด 3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.13 ให้ลึกถึงเนื้อเหล็ก

4.5.6.2 นำแผ่นทดสอบที่แห้งแล้ววางในตู้ทดสอบโดยให้ห่างกันประมาณ 30 มิลลิเมตร เอียงแผ่นทดสอบทำมุมประมาณ 15 องศากับแนวดิ่ง โดยให้ด้านที่ต้องการทดสอบหงายขึ้นรับละอองน้ำเกลือ พ่นน้ำเกลือเป็นเวลา 120 ชั่วโมง

4.5.6.3 นำแผ่นทดสอบออกมาล้างด้วยน้ำกลั่น ตรวจสอบข้อบกพร่องทันที บันทึกผลหมายเหตุ น้ำเกลือมาตรฐาน ประกอบด้วย NaCl 26.5 กรัม, MgCl₂ 2.4 กรัม, MgSO₄ 3.3 กรัม, KCl 0.73 กรัม, NaHCO₃ 0.20 กรัม, NaBr 0.28 กรัม และ CaCl₂ 1.1 กรัม



รูปที่ 4.13 กำหนดตำแหน่งรอยกรีดบนชิ้นงานเพื่อทดสอบความทนละอองน้ำเกลือ [24]

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 ผลด้านความเหนียวของสารเคลือบผิว

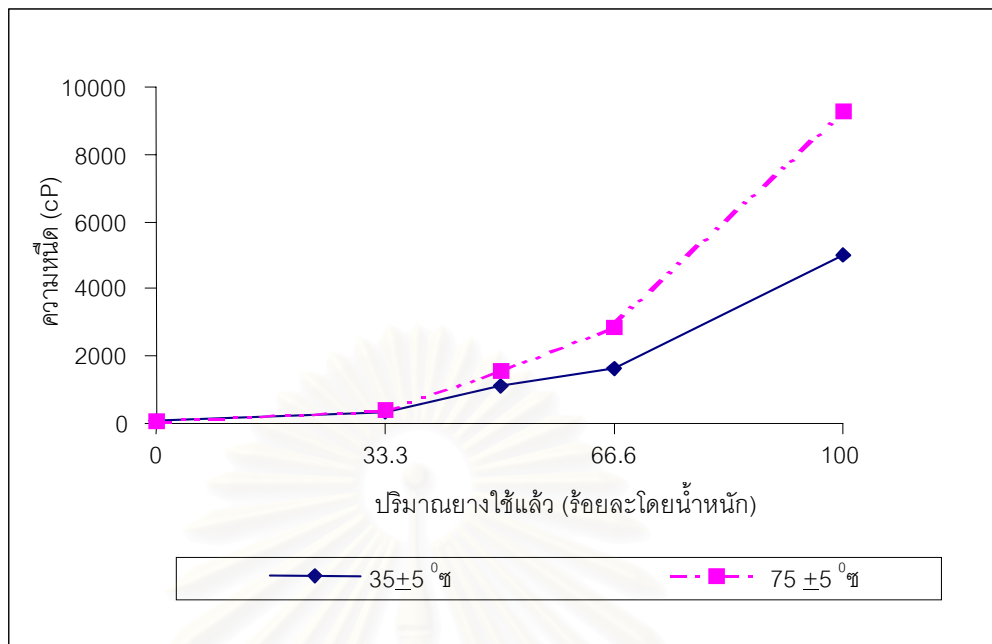
ผลการทดลองด้านความเหนียวของสารเคลือบผิวได้สรุปไว้ในตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข)

5.1.1 ผลของอุณหภูมิการผสมต่อความเหนียว

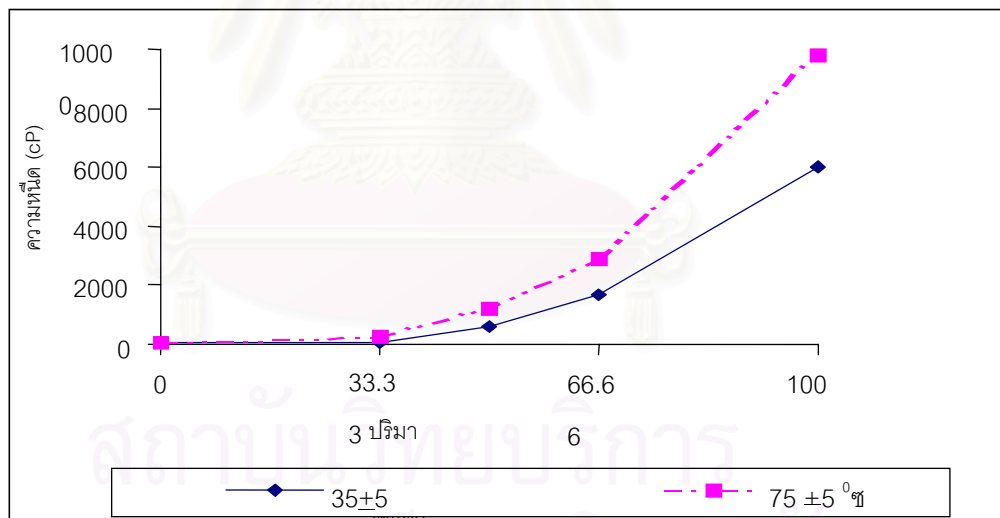
ผลจากอุณหภูมิในการบดผสมที่ 35 ± 5 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) และ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ต่อความเหนียวของสารเคลือบผิว แสดงได้ดังรูปที่ 5.1

เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางที่ใช้แล้วสามารถละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น และอาจทำให้เกิดการแตกของโมเลกุลของยางวัลคาไนซ์มากขึ้น จากความเป็น elasticity จะมีความเป็น plasticity มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้สารเคลือบผิวมีความเหนียวสูงขึ้น

จากรูปที่ 5.1 (ก) (ข) (ค) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการผสมมีผลต่อความเหนียวของสารเคลือบผิวในลักษณะเดียวกัน ที่ทุกขนาดอนุภาคยางที่ใช้แล้วและปริมาณยางที่ใช้แล้ว คือเมื่ออุณหภูมิการผสมถูกเพิ่มจากอุณหภูมิที่ประมาณ 35 ± 5 °C ไปเป็นที่ 75 ± 5 °C จะทำให้สารเคลือบผิวมีความเหนียวมากขึ้นสูงขึ้น



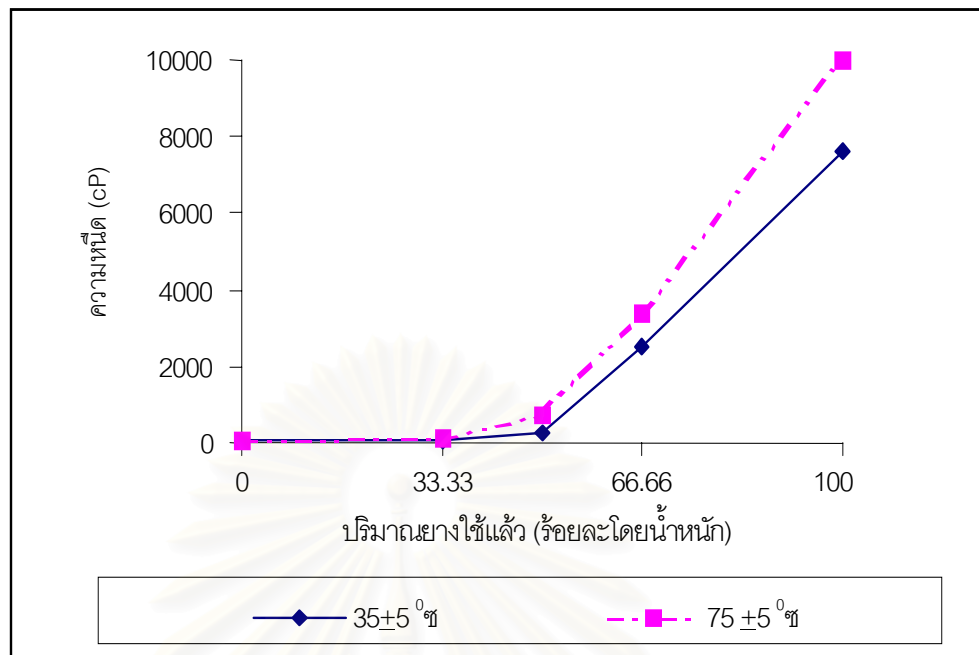
(ก)



(ข)

ก)

รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารเคลือบผิวกับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิ การผสม ที่ขนาดอนุภาคยางคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน



(ค)

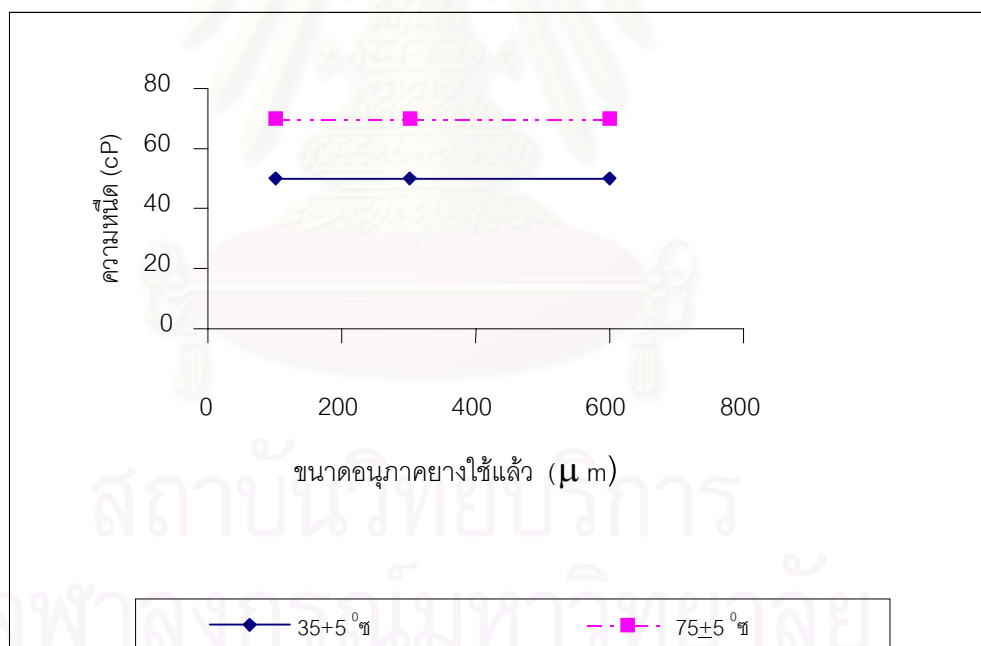
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารเคลือบผิวกับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิ การผสม ที่ขนาดอนุภาคยางคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน (ต่อ)

5.1.2 ผลของขนาดอนุภาคยางใช้แล้วต่อความหนืด

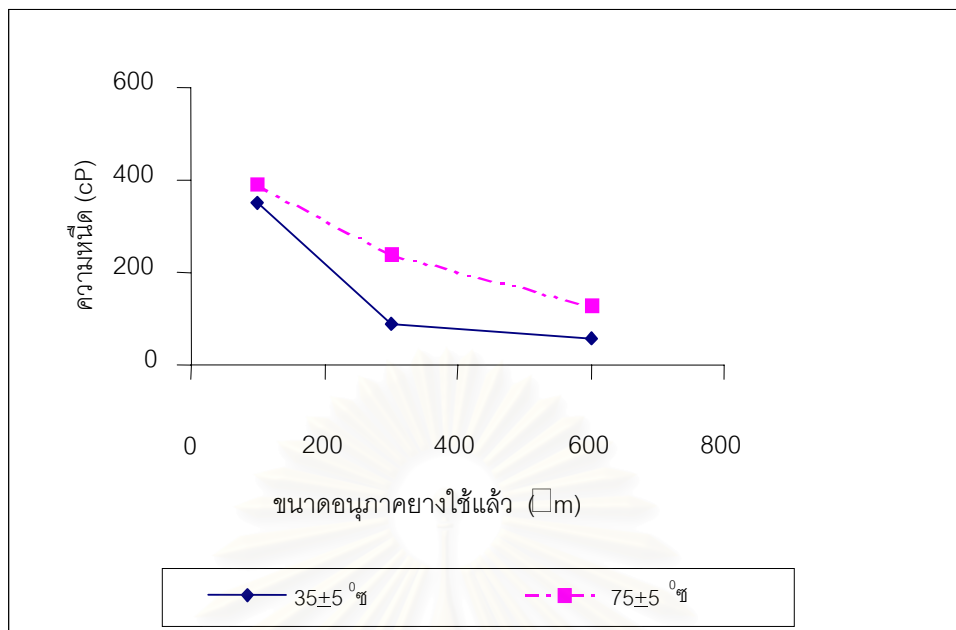
ผลของอนุภาคยางวัลคาไนซ์ 3 ขนาด ที่ใช้เป็นส่วนผสมของยางใช้แล้วในการทดลองตามสภาวะการทดลองที่กำหนด คือ 100-200 ไมครอน 300-400 ไมครอน และ 600 ไมครอน ที่มีต่อสมบัติด้านความหนืดของสารเคลือบผิวแสดงได้ดังรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 (ก) เป็นกราฟที่สภาวะไม่มีส่วนผสมของอนุภาคยางใช้แล้ว คืออัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 0:1 จะเห็นว่าความหนืดของสารเคลือบผิวคงที่ทั้งที่ 35 ± 5 °ซ และ 75 ± 5 °ซ เพราะเป็นความหนืดของสารละลายยางมะตอยในโหลอื่นเท่านั้น (โดยที่ความหนืดที่ 75 ± 5 °ซ มีค่าสูงกว่าที่ 35 ± 5 °ซ) ส่วนรูป 5.2 (จ) เป็นกราฟที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 1:0 คือมียางใช้แล้วอย่างเดียวและไม่มียางมะตอยเลย จะเห็นว่าเมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้วเพิ่มขึ้น ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากมีปริมาณยางมากเกินไปปริมาณตัวทำละลายที่มีอยู่ จึงทำให้ยางใช้แล้วละลายได้ไม่หมด และยิ่งอนุภาคของยางใช้แล้วมีขนาดใหญ่ขึ้นการละลายก็ยากยิ่งขึ้น ยางใช้แล้วเกิดการพองขยายตัวเท่านั้น ทำให้ความหนืดที่ได้มีค่าสูงขึ้น

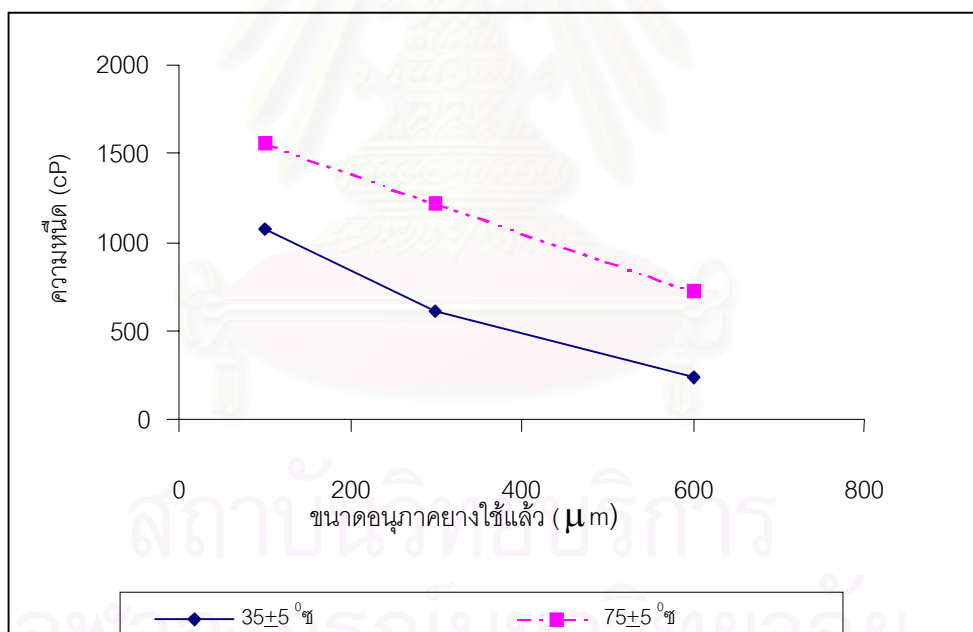


(ก)

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารเคลือบผิวกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และคุณสมบัติการผสม ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยคงที่ ที่ (ก) 0:1 (ข) 1:2 (ค) 1:1 (ง) 2:1 และ (จ) 1:0

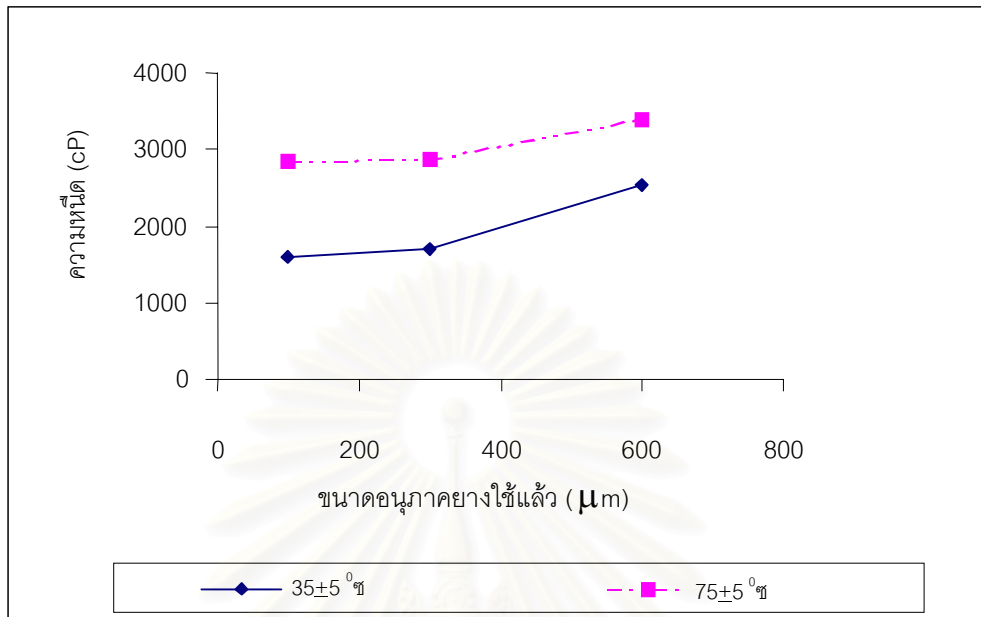


(ข)

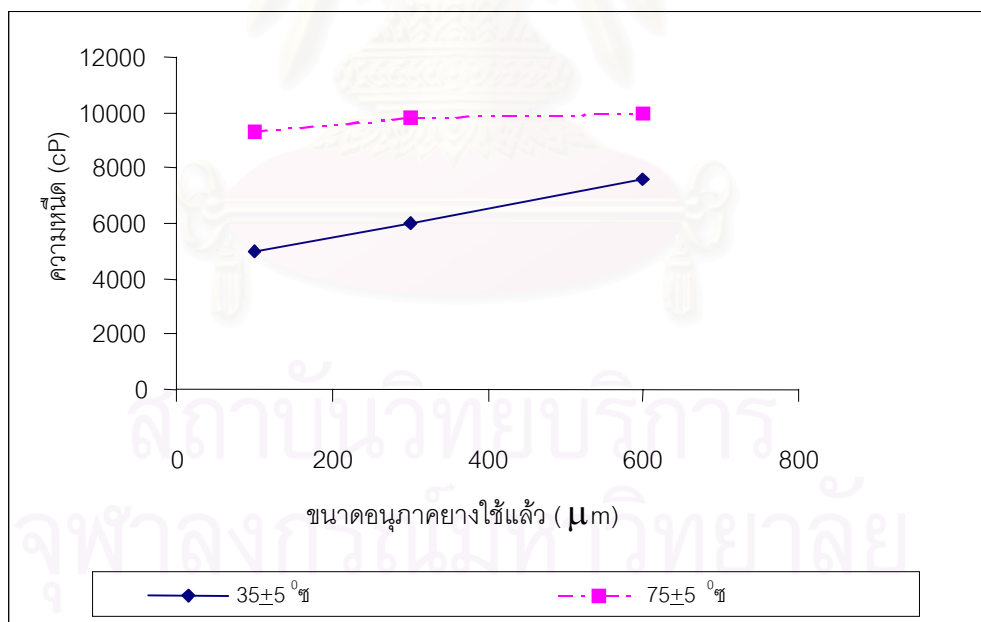


(ค)

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารเคลือบผิวกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และ อุณหภูมิการผสม ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยคงที่ ที่ (ก) 0:1 (ข) 1:2 (ค) 1:1 (ง) 2:1 และ (จ) 1:0 (ต่อ)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารเคลือบผิวกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และ อุณหภูมิการผสม ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยคงที่ ที่ (ก) 0:1 (ข) 1:2 (ค) 1:1 (ง) 2:1 และ (จ) 1:0 (ต่อ)

จากรูปที่ 5.2 (ข) และ (ค) เป็นกราฟที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 1:2 และ 1:1 คือมีปริมาณยางใช้แล้วน้อยกว่าร้อยละ 50 จะเห็นว่าเมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้วเพิ่มขึ้น ความเหน็ดมีค่าลดลง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากเมื่อใช้เวลาในการผสมและปริมาณตัวทำละลายเท่ากัน ยางใช้แล้วที่มีขนาดเล็กกว่าเกิดการละลายได้ง่ายกว่า ซึ่งน่าจะทำให้ยางวัลคาไนซ์ละลายได้มากขึ้นและแสดงความเป็น plasticity มากขึ้น จึงทำให้ความเหน็ดของสารเคลือบผิวที่ได้จากยางใช้แล้วที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีค่าสูงกว่าสารเคลือบผิวที่ได้จากยางใช้แล้วที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า

และจากรูปที่รูป 5.2 (ง) เป็นกราฟที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 2:1 คือมีปริมาณยางใช้แล้วมากกว่าร้อยละ 50 จะเห็นว่าเมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้วเพิ่มขึ้น ความเหน็ดมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณยางมากเกินปริมาณตัวทำละลายที่มีอยู่ (เช่นเดียวกับที่อัตราส่วน 1:0) คือยางไม่เกิดการละลาย และยิ่งขนาดใหญ่ขึ้นการละลายก็ยากยิ่งขึ้น ยางเกิดการพองขยายตัวจึงทำให้ความเหน็ดที่ได้มีค่าสูงขึ้น

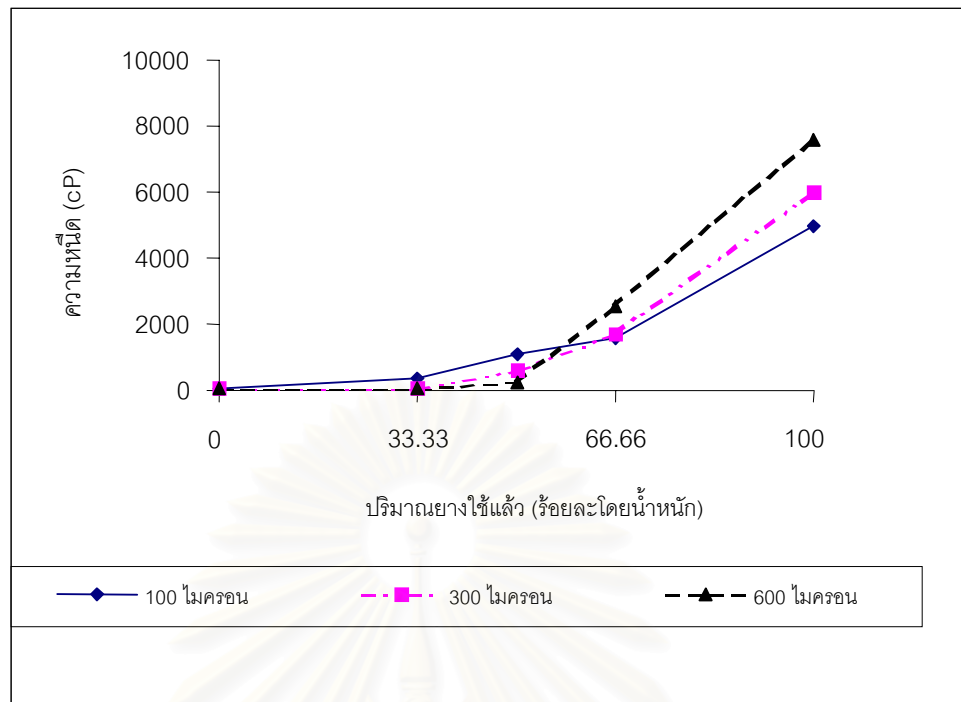
5.1.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอยต่อความหนืด

ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอยที่ใช้ในการทดลองตามสภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.1 ต่อความหนืดของสารเคลือบผิว แสดงได้ดังรูปที่ 5.3

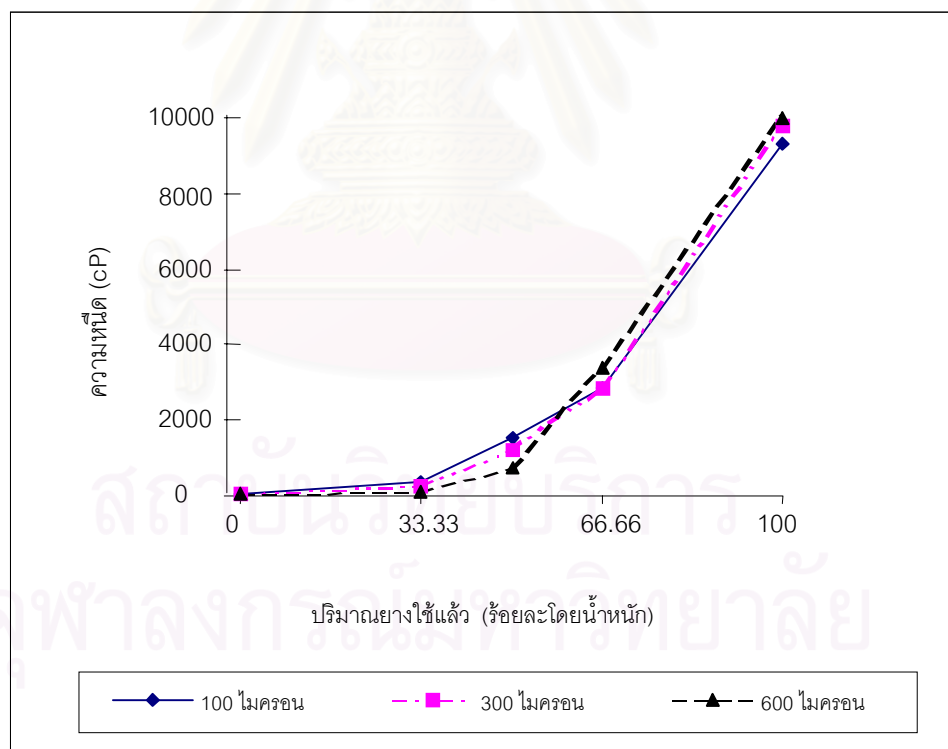
รูปที่ 5.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับปริมาณยางใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนของยางใช้แล้วมากขึ้น (%ยางใช้แล้วสูงขึ้น) มีผลให้ความหนืดของสารเคลือบผิวมีค่าสูงขึ้น แนวโน้มเป็นไปทางเดียวกันทุกขนาดอนุภาคยาง และทุกอุณหภูมิการผสม และพบว่าที่ปริมาณยางน้อยกว่าร้อยละ 50 ตัวทำละลายมีอยู่มากพอที่จะละลายยางใช้แล้ว ความหนืดจะเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนืดไม่สูงมากเท่ากับความหนืดที่วัดได้ในกรณีที่มีปริมาณยางมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งมีค่าสูงมาก ซึ่งมีค่าสูงมากเพราะน่าจะเป็นความหนืดของยางพองตัวดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 5.1.2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับปริมาณยางใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 องศาเซลเซียส

5.2 ผลด้านความอ่อนตัวไม่เปราะของสารเคลือบผิว (flexibility)

ผลการทดลองด้านความอ่อนตัวไม่เปราะของสารเคลือบผิว ด้วยวิธี ASTM D522-93 a ตามภาคผนวก ง. ได้สรุปไว้ในตารางที่ ข.2 ภาคผนวก ข. จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบผิวที่ผลิตได้ตามสภาวะต่าง ๆ มีความอ่อนตัวไม่เปราะสูง เมื่อใช้ทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กที่สุด 3 มิลลิเมตร ในการหักงอแผ่นทดสอบ ปรากฏว่าฟิล์มของสารเคลือบผิวไม่เกิดความเสียหาย ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากยางใช้แล้วและยางมะตอยมีสมบัติในการยืดหยุ่นสูง

5.3 ผลด้านความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิว (impact strength)

ผลการทดลองด้านความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิว ด้วยวิธี ASTM D2794-93 ตามภาคผนวก จ. ได้สรุปไว้ในตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข. จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบผิวที่ผลิตได้ตามสภาวะต่าง ๆ มีความทนแรงกระแทกสูง เมื่อใช้ระยะทางสูงที่สุดของเครื่องมือคือ 40 นิ้ว และใช้ลูกตุ้มน้ำหนักขนาดใหญ่ที่สุดคือ 4 ปอนด์ ปรากฏว่าฟิล์มของสารเคลือบผิวไม่เกิดความเสียหาย ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากยางใช้แล้วและยางมะตอยมีสมบัติในการยืดหยุ่นสูง

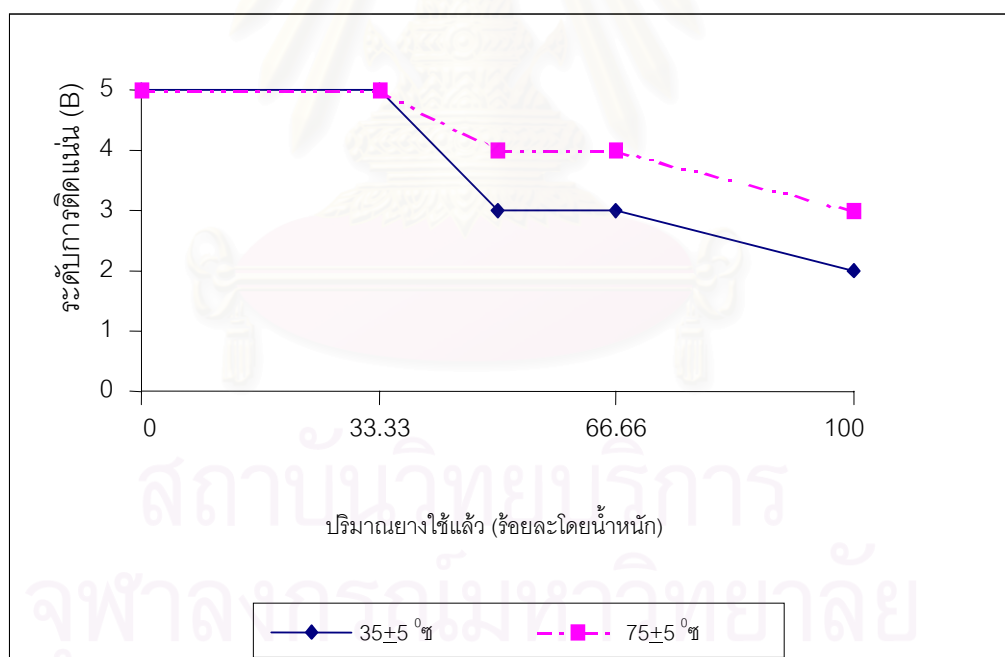
5.4 ผลด้านความติดแน่นของสารเคลือบผิว (adhesion)

ผลการทดลองด้านความติดแน่นของสารเคลือบผิว ตามวิธีมาตรฐาน ASTM 3359-95 (ภาคผนวก ข) สรุปไว้ในตารางที่ ข.4 ของภาคผนวก ข.

5.4.1 ผลของอุณหภูมิการผสมต่อระดับการติดแน่น

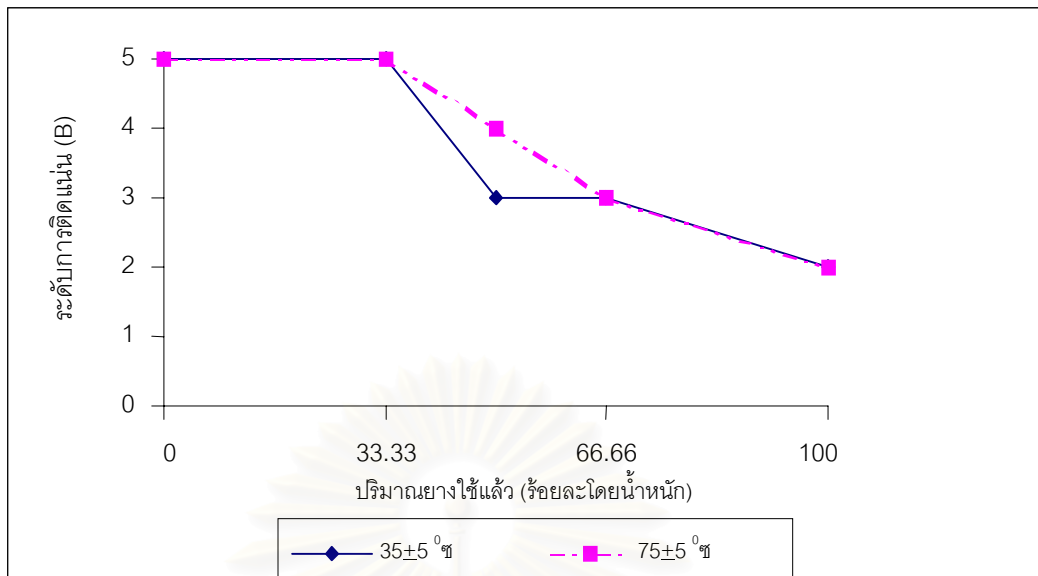
ผลจากอุณหภูมิในการผสมที่ทำการทดลอง คือ ที่ 35 ± 5 °ซ (อุณหภูมิห้อง) และ 75 ± 5 °ซ แสดงได้ดังรูป 5.4

จากรูป 5.4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความติดแน่นกับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้วคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน จะได้ว่า เมื่ออุณหภูมิการผสมสูงขึ้น ความติดแน่นของสารเคลือบผิวกับพื้นผิววัสดุมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยางวัลคาไนซ์ถูกละลายได้มากขึ้น เมื่อการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางถูกทำลายลง ทำให้ยางสามารถไปยึดเกาะกับวัสดุอื่นซึ่งก็คือพื้นผิวมากขึ้นได้

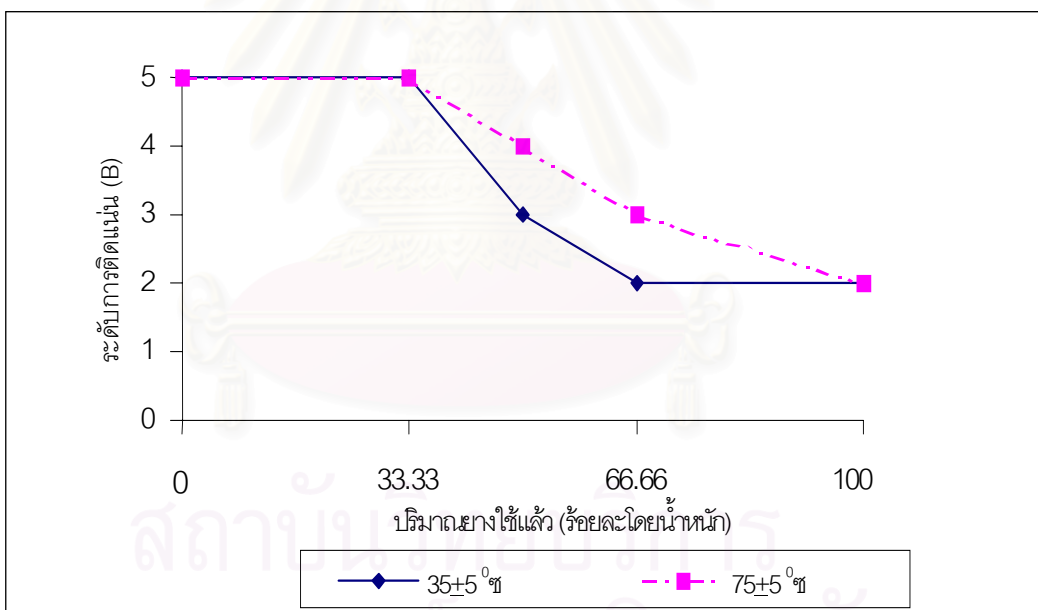


(ก)

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความติดแน่นกับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้วคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน



(ข)

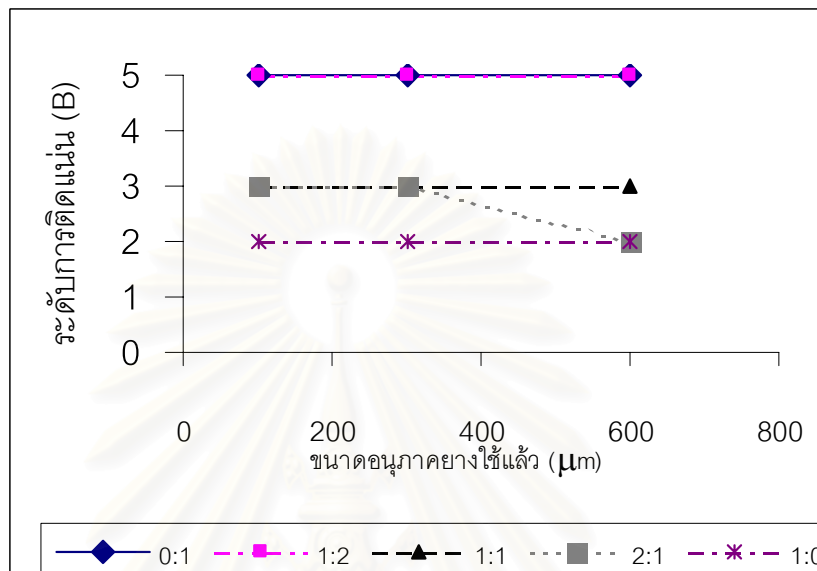


(ค)

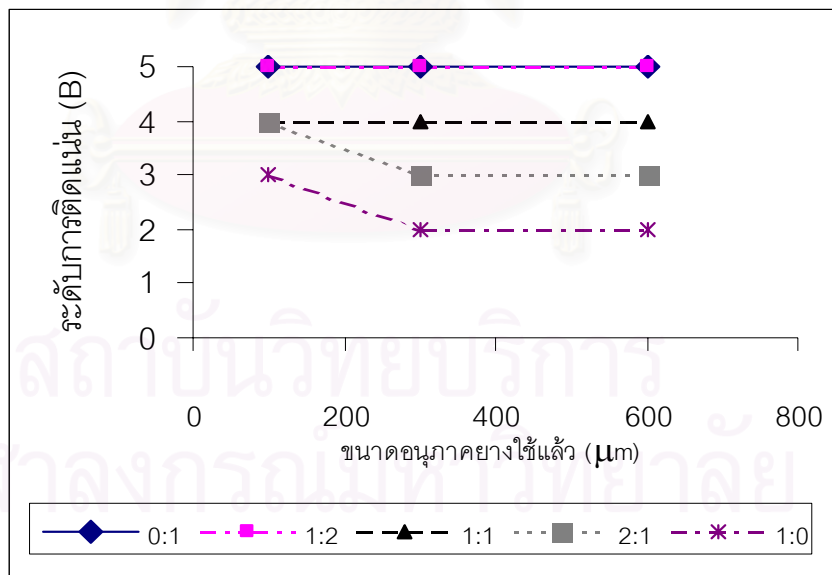
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความติดแน่นกับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้วคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน (ต่อ)

5.4.2 ผลของขนาดอนุภาคของยางใช้แล้วต่อความตืดแน่น

ผลของขนาดอนุภาคยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ 3 ขนาด คือ 100-200 ไมครอน 300-400 ไมครอน และ 600 ไมครอน ที่ใช้เป็นส่วนผสมของยางใช้แล้วในสารเคลือบผิว ที่มีผลต่อความตืดแน่นของสารเคลือบผิว แสดงได้ดังรูป 5.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความตืดแน่นกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) $35 \pm 5^{\circ}\text{ซ}$ (ข) $75 \pm 5^{\circ}\text{ซ}$

จากรูปที่ 5.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความติดแน่นกับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ จะได้ว่า เมื่อขนาดอนุภาคของยางใช้แล้วเพิ่มขึ้น ความติดแน่นของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวโลหะมีแนวโน้มค่อนข้างลดลง แต่จะเห็นว่าขนาดอนุภาคของยางใช้แล้วจะมีผลต่อการติดแน่นน้อยกว่าอุณหภูมิการผสม เช่น ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 1:1 (ปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 50) ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว 100 ไมครอน สารเคลือบผิวมีความติดแน่นกับพื้นผิวโลหะที่ระดับ 3 B เมื่อขนาดอนุภาค 300 ไมครอนมีความติดแน่นที่ระดับเดิม และเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 600 ไมครอน สารเคลือบผิวมีความติดแน่นลดลงเป็นที่ระดับ 2 B และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการผสมเป็น 75 ± 5 °ซ สารเคลือบผิวมีความติดแน่นเพิ่มเป็นระดับ 4 B และลดลงมาเป็น 3 B เมื่อขนาดเพิ่มเป็น 300 ไมครอน ซึ่งเป็นผลเนื่องจากยางใช้แล้วที่มีอนุภาคใหญ่จะละลายไม่หมดและเหลือเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้ฟิล์มไม่เรียบ จึงมีความติดแน่นน้อยลง

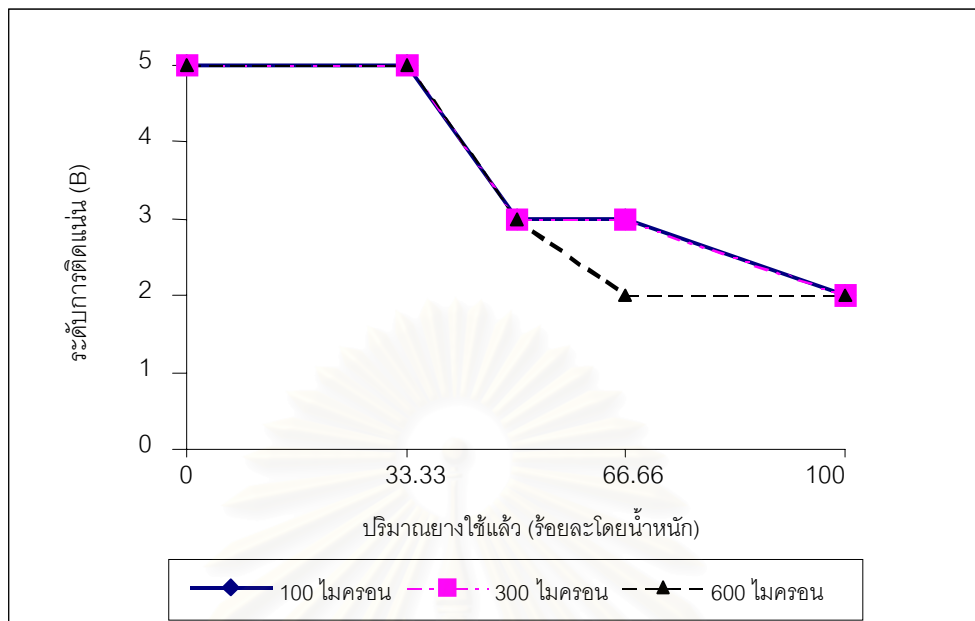


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

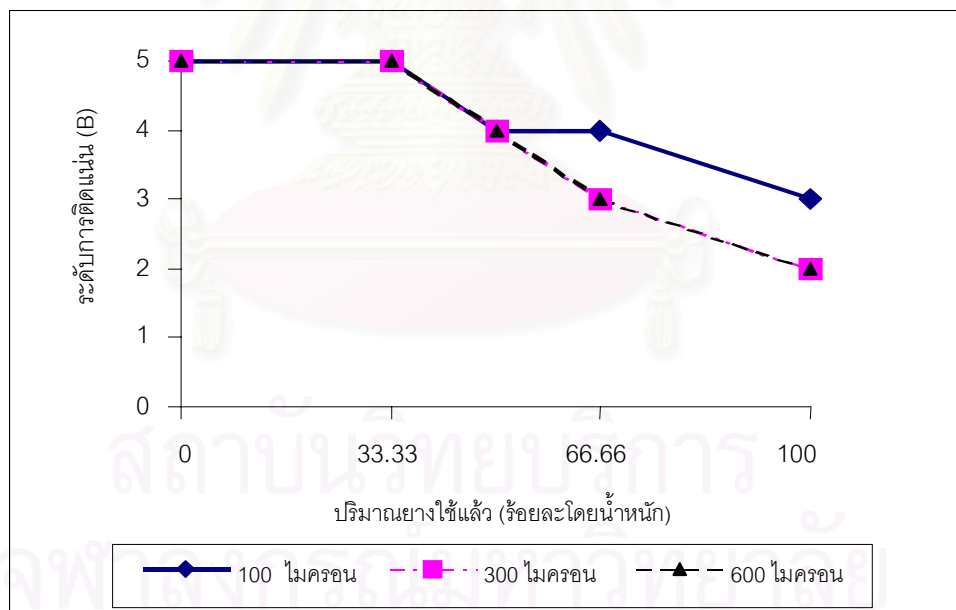
5.4.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยต่อความตืดแน่น

ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ใช้ในการทดลองตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.1 แสดงได้ดังรูปที่ 5.6

จากรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความตืดแน่นกับปริมาณยางใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมคกที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยมีผลต่อความตืดแน่นของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวโลหะ คือเมื่อปริมาณยางใช้แล้วเพิ่มมากขึ้น ระดับความตืดแน่นของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวโลหะลดลง เช่น รูป (ก) ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว 600 ไมครอน ที่ปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 33.33 (อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 1:2) สารเคลือบผิวมีระดับการตืดแน่นที่ 5 B เมื่อปริมาณยางใช้แล้วเพิ่มเป็นร้อยละ 50 และ 66.66 สารเคลือบผิวมีระดับการตืดแน่นลดลงเป็น 3 B และ 2 B ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากเมื่อปริมาณยางใช้แล้วเพิ่มมากขึ้น ทำให้มียางใช้แล้วบางส่วนไม่ละลาย การละลายของยางใช้แล้วน้อยลง ซึ่งก็คือยางมีการเชื่อมโยงภายในยางสูงทำให้อำนาจในการตืดแน่นกับวัตถุอื่นลดลง



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความติดแน่นกับปริมาณยางที่ใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางที่ใช้แล้ว
 ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ (ข) 75 ± 5 °ซ

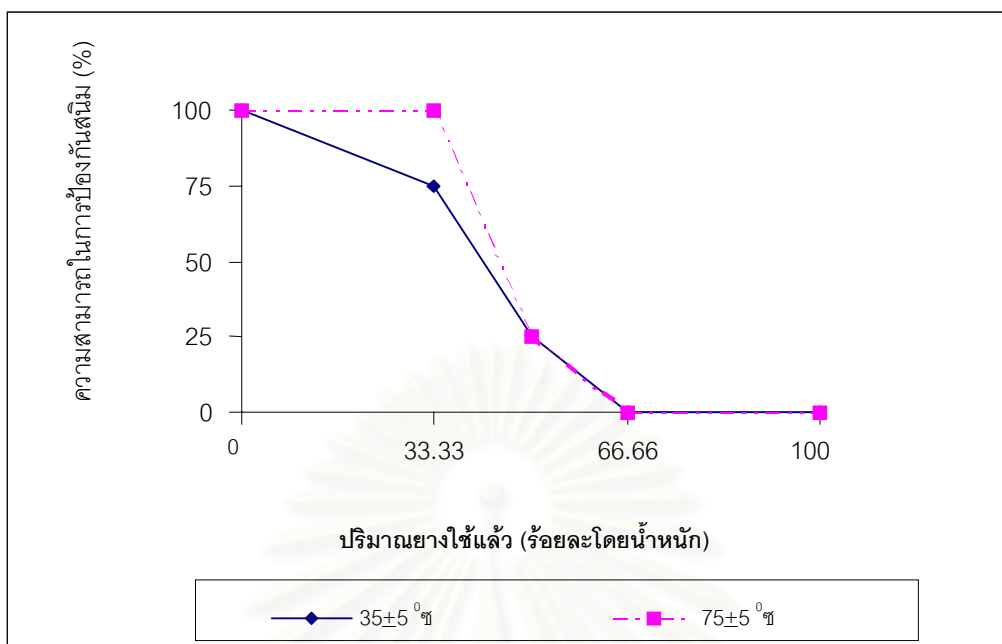
5.5 ผลด้านความทนของน้ำเกลือของสารเคลือบผิว

ผลการทดลองด้านความทนของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) ของสารเคลือบผิว โดยทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 285 เล่ม 42 (ตามภาคผนวก ข) ได้สรุปไว้ในตารางที่ ข.5 ภาคผนวก ข.

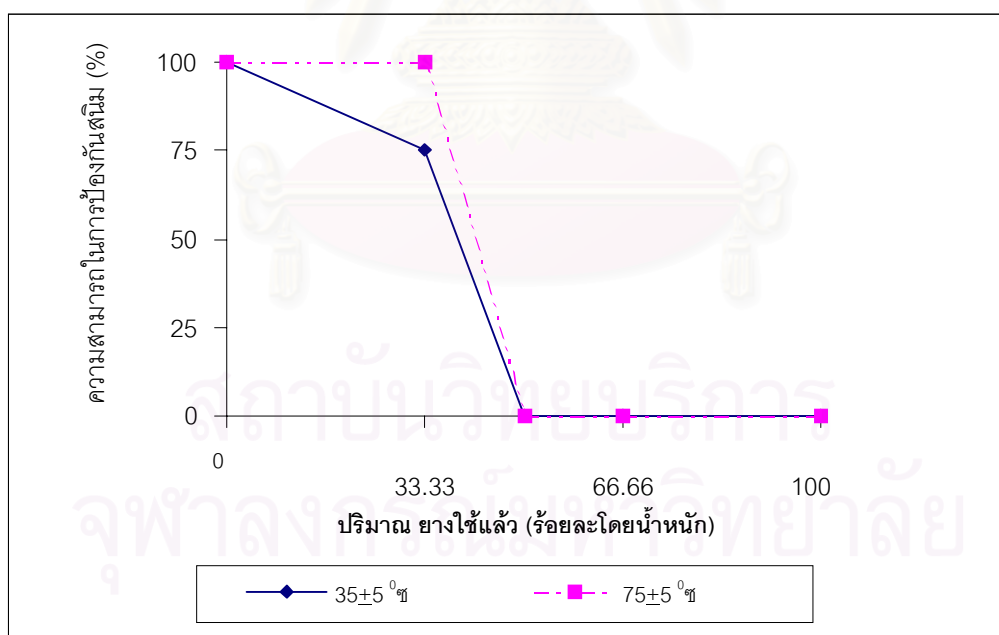
5.5.1 ผลของอุณหภูมิการผสมต่อความทนของน้ำเกลือ

ผลจากอุณหภูมิการผสมที่ $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) และ $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.7 รูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิการผสมเพิ่มขึ้นความทนของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) ของสารเคลือบผิวดีขึ้น เช่น ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว 100 ไมครอน (รูป ก) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยที่ 1:2 (หรือปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 33.33) เมื่อผสมที่ $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ สารเคลือบผิวมีความทนของน้ำเกลือได้ 75 % และเมื่อผสมที่อุณหภูมิ $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ สารเคลือบผิวมีความทนของน้ำเกลือเพิ่มขึ้นเป็น 100 % ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นและการบดที่ต่อเนื่องอาจมีส่วนทำให้ยางวัลคาไนซ์เกิดการละลายมากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีการติดแน่นที่ดีขึ้น เมื่อมีการติดแน่นกับพื้นผิวได้ดีทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการทนของน้ำเกลือได้ดีขึ้น

สำหรับที่ปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 0 (หรือปริมาณยางมะตอยร้อยละ 100) พบว่าความทนของน้ำเกลือของสารเคลือบผิวสามารถทนได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งที่อุณหภูมิการผสมที่ $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ และที่ $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากยางมะตอยมีความสามารถในการติดแน่นสูง ดังนั้นฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ได้จึงมีความติดแน่นกับพื้นผิวโลหะได้ดี จึงทนของน้ำเกลือได้ดีเช่นกัน และสำหรับที่ปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 100 (หรือปริมาณยางมะตอยร้อยละ 0) พบว่าสารเคลือบผิวไม่สามารถทนของน้ำเกลือได้เลย ทั้งที่ $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ และที่ $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากที่สภาวะนี้มีปริมาณยางใช้แล้วมากเกินไปความสามารถในการละลายของตัวทำละลายที่มีอยู่ (ปริมาณตัวทำละลายไม่พอ) ทำให้ยางใช้แล้วยังไม่ถูกแยกแตกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ (ยังคงเป็นยางวัลคาไนซ์) จึงมีความสามารถในการติดแน่นกับตัวอื่นน้อย ฟิล์มที่ได้จึงไม่ค่อยมีการติดแน่นกับพื้นผิววัสดุ ทำให้ไม่สามารถทนของน้ำเกลือได้

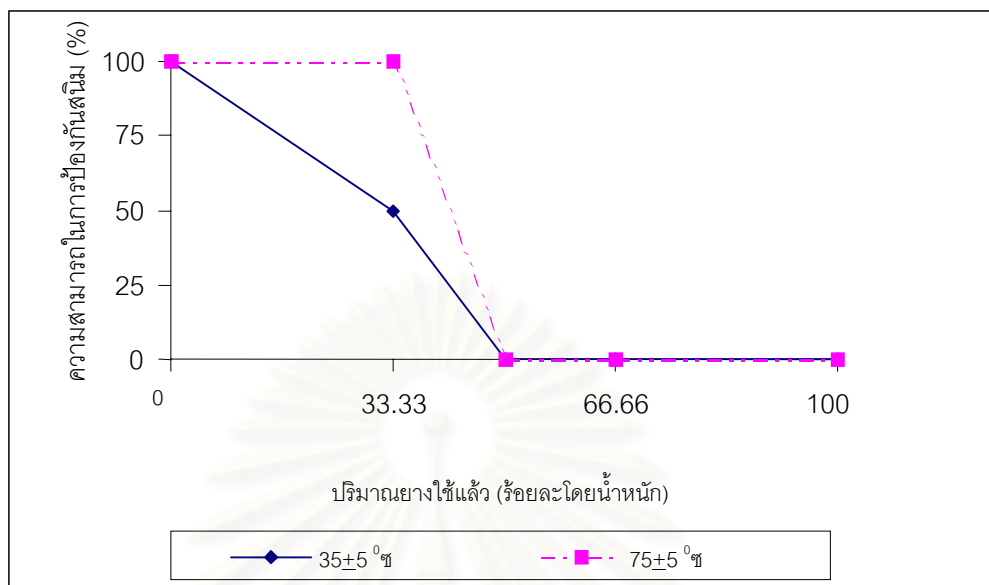


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับ ปริมาณยางใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางคงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน



(ค)

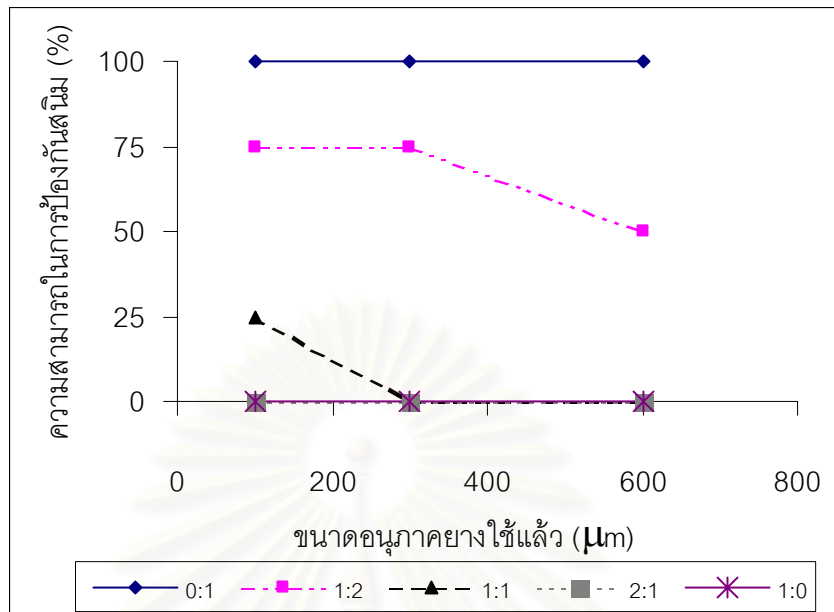
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันกลิ่น) กับ ปริมาณน้ำที่ใช้แล้ว และอุณหภูมิการผสม ที่ขนาดอนุภาคยางคิงที่ ที่ (ก) 100 (ข) 300 และ (ค) 600 ไมครอน (ต่อ)

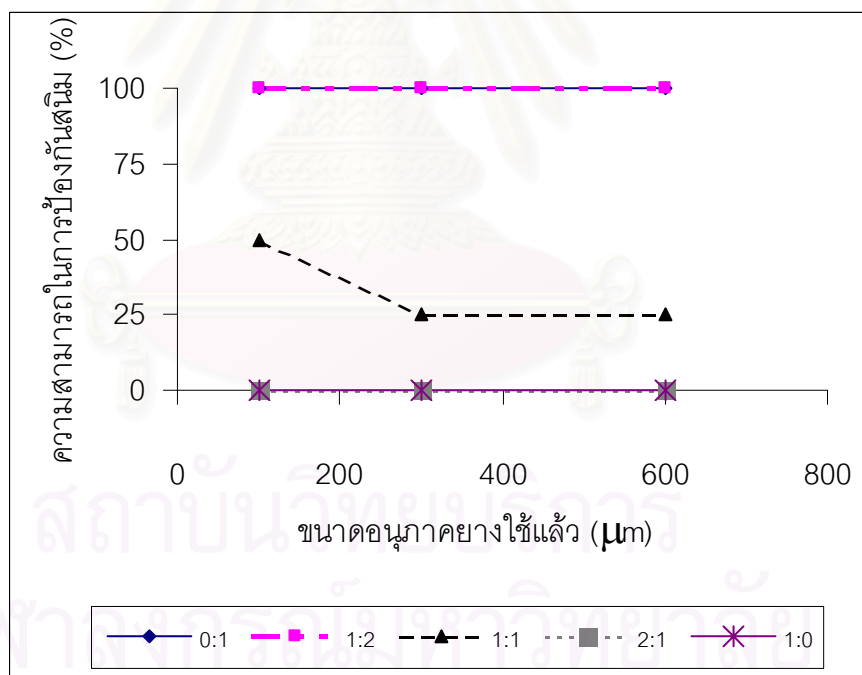
5.5.2 ผลของขนาดอนุภาคของยางใช้แล้วต่อความทนละอองน้ำเกลือ

ผลของขนาดอนุภาคยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ 3 ขนาด คือ 100 ไมครอน 300 ไมครอน และ 600 ไมครอน ต่อความทนละอองน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) แสดงได้ดังตารางที่ ข 5 (ภาคผนวก ข) และดังรูป 5.8

รูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนละอองน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางต่อยางมะตอย ที่อุณหภูมิการผสมครั้งที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ จะได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้วเพิ่มขึ้น ความทนละอองน้ำเกลือของสารเคลือบผิวมีแนวโน้มค่อนข้างลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการติดแน่นของสารเคลือบผิว กล่าวคือเมื่อฟิล์มติดแน่นดีความทนละอองน้ำเกลือย่อมดีด้วย เช่น ที่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย 1:1 (หรือปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 50) เมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว 100 ไมครอน มีความทนละอองน้ำเกลือ 25 % ที่ อุณหภูมิการผสม 35 ± 5 °ซ และ 50 % ที่อุณหภูมิการผสมที่ 75 ± 5 °ซ แต่เมื่อขนาดอนุภาคยางใช้แล้วเพิ่มเป็น 300 ไมครอน มีความทนละอองน้ำเกลือลดลงเหลือ 0 % ที่อุณหภูมิการผสมที่ 35 ± 5 °ซ และ 25 % ที่อุณหภูมิการผสมที่ 75 ± 5 °ซ



(ก)



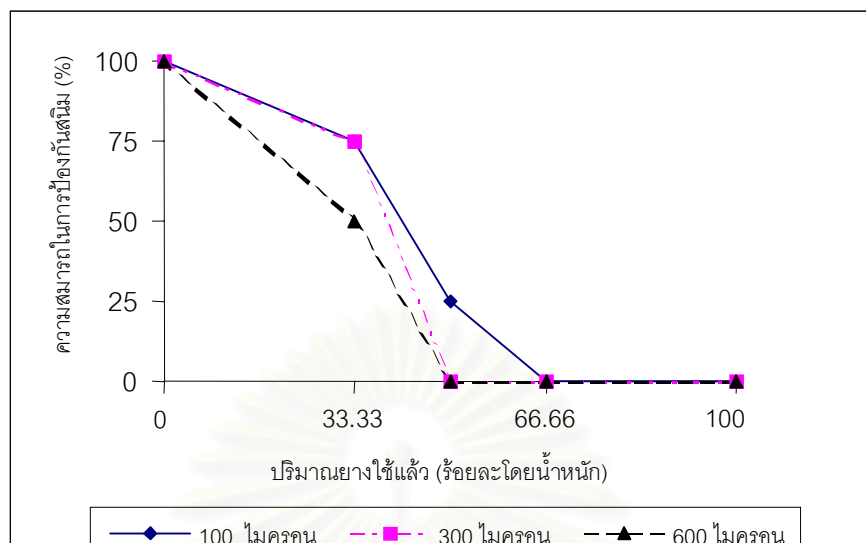
(ข)

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอย ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) $35 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และ (ข) $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$

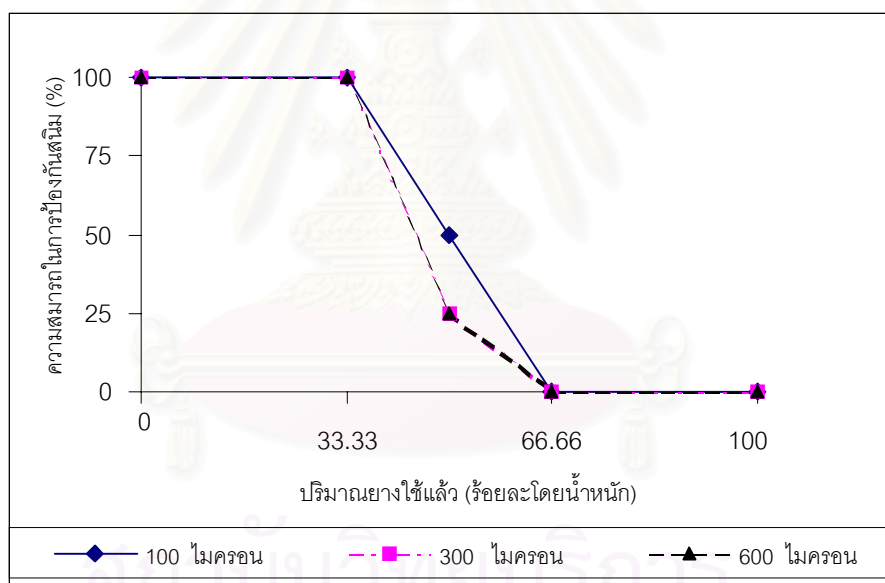
5.5.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอยต่อความทน ละอองน้ำเกลือ

ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอยที่ใช้ในการทดลองตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.1 และแสดงได้ดังรูปที่ 5.9

รูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนละอองน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับปริมาณของยางใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอยมีผลต่อความทนละอองน้ำเกลือของสารเคลือบผิว คือเมื่อปริมาณยางใช้แล้วเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการทนละอองน้ำเกลือ (ความป้องกันสนิม) ลดลง ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกันกับระดับความติดแน่นของสารเคลือบผิว เมื่อสารเคลือบผิวมีความติดแน่นสูงก็ทำให้ความสามารถทนละอองน้ำเกลือสูงขึ้นด้วย เช่น รูปที่ 5.9 (ก) ที่ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว 600 ไมครอน ที่ปริมาณยางใช้แล้วร้อยละ 33.33 (อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่ออย่างมะตอยที่ 1:2) สารเคลือบผิวมีความสามารถในการป้องกันสนิมที่ 50 % เมื่อปริมาณของยางใช้แล้วเพิ่มเป็นร้อยละ 50 สารเคลือบผิวไม่มีความสามารถในการป้องกันสนิม (0%) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อปริมาณยางใช้แล้วเพิ่มมากขึ้น ทำให้การละลายของยางใช้แล้วน้อยลง ซึ่งก็คือยางคงมีการเชื่อมโยงภายในตัวยางสูง จึงทำให้อำนาจในการติดแน่นกับวัตถุอื่นลดลง ฟิล์มของสารเคลือบผิวจึงไม่มีความทนละอองน้ำเกลือ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำเกลือ (ความสามารถในการป้องกันสนิม) กับ ปริมาณยางใช้แล้ว และขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว ที่อุณหภูมิการผสมคงที่ ที่ (ก) 35 ± 5 °ซ และ (ข) 75 ± 5 °ซ

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ผลจากการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในการผลิตสารเคลือบผิว ซึ่งได้แก่ ขนาดอนุภาคของยางใช้แล้ว อุณหภูมิการผสม และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิวด้าน ความหนืด ความอ่อนตัวไม่เปราะ ความทนแรงกระแทก ความติดแน่น และความทนต่อละอองน้ำเกลือ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิการผสม มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของสารเคลือบผิว คือ เมื่ออุณหภูมิการผสมสูงขึ้น ความหนืดมากขึ้น ความติดแน่นของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวโลหะดีขึ้น และความทนต่อละอองน้ำเกลือสูงขึ้น

2. ขนาดของอนุภาคยางใช้แล้ว มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของสารเคลือบผิว คือ มีแนวโน้มว่าความติดแน่น และความทนต่อละอองน้ำเกลือ จะมีค่าดีขึ้นเมื่อใช้อนุภาคยางขนาดเล็ก และยังเป็นผลให้ฟิล์มของสารเคลือบผิวที่มีความเรียบมากกว่าขึ้นด้วย

3. อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย เป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของสารเคลือบผิวมากที่สุด คือ เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอยมีค่ามากขึ้น ความหนืดมีค่ามากขึ้น แต่ความติดแน่นและความทนต่อละอองน้ำเกลือมีค่าลดลง

4. ไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิการผสม ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย ต่อความอ่อนตัวไม่เปราะ และความทนแรงกระแทก เพราะข้อจำกัดของเครื่องมือ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองหาปริมาณของตัวทำละลายที่เหมาะสมกับยางใช้แล้ว โดยอาจเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวทำละลายในการทดลอง

2. ควรหาวิธีที่ทำให้ขนาดของอนุภาคของยางใช้แล้วมีขนาดเล็กมากที่สุด เพื่อให้ได้สารเคลือบผิวที่มีความเนียนเรียบยิ่งขึ้น

3. วัดความหนืดของสารเคลือบระหว่างการบดเพื่อดูความสามารถในการบด

รายการอ้างอิง

1. อรุณา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
2. Lambourne, R. Paint and surface coating: Theory and practice. New York: Ellis Horwood, 1993.
3. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ. เอกสารประกอบการบรรยายในการฝึกอบรมหลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง, (มีนาคม-เมษายน 2540)
4. Crane, G. and Kay, E.L. Method of reclaiming scrap vulcanized rubber and the soluble reclaimed rubber thus produced. U.S. Patent 4,052,344 (1977)
5. Luiz, C. Method of manufacture of paint and adhesive rubber from vulcanized rubber. U.S. Patent 5,607,981 (1997)
6. Turner, G.P.A. Introduction to paint chemistry and principles of paint technology. London: Chapman & Hall, 1988.
7. ปรีชา พหลเทพ. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2540.
8. Banov, A. Paint & coating handbook. New York: Michigan Structure, 1978.
9. ศิริวรรณ ต้นทเวชกิจ. เอกสารประกอบคำบรรยายทางวิชาการเรื่องสี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ใจต้นไทย จำกัด, 2535.
10. Byrdson, J.A. Rubber chemistry. London: Applied Science, 1985.
11. Charrier, J.M. Polymer material and processing. New York: Hanser, 1991.
12. สุพจน์ สิงห์วีระสมร. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ. เอกสารวิชาการ. (อัดสำเนา)
13. พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง. ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2535.
14. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง. เอกสารวิชาการ, ฉบับที่ 135 (พฤศจิกายน 2530)
15. Lee, T. and Millns, W. Treatment of vulcanized rubber, U.S. Patent 4,098,737, (1978)

16. Sainton. Process for preparing a binder for surfacing roadways of bitumen and reclaimed rubber powdered base and also binder obtained by employing this process, U.S. Patent 4,992,492, (1991)
17. Crane, G. and Kay, E. L. Conversion of scrap rubber to fuel and useful by-products, U.S. Patent 3,890,141, (1975)
18. Lee, H. S., Lee, H., Moon, J. S. and Jung, H. W. Development of tire-added latex concrete. J. ACI Materials 95 (July-August 1998):356-364.
19. Challa, G. Polymer chemistry an introduction. New York: Ellis Horwood, 1993.
20. ซวลิต สหธรรมปกรณ. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารผสมช่วยการยึดผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
21. Pal, Z. Asphalt. New York: Chemical Publishing Company, 1971.
22. Guy, E W. Paint Handbook. New York: McGraw-Hill, 1981.
23. Pau, S. Surface coating: Science and technology. New York: John wiley & sons, 1986.
24. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง, มอก.285 เล่ม 1-44 (2521-2531)
25. Patton, T.C. Paint flow and pigment dispersion. New York: John Wiley & Sons, 1964.

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนในการบดสารเคลือบผิวในการทดลองครั้งนี้ ทำการบดด้วยเครื่องบดผสมแบบใช้ลูกบอลล (ball mill) โดยตัวหม้อบดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีความจุประมาณ 3 ลิตร ซึ่งได้ออกแบบขึ้นมาใช้เอง โดยการคำนวณดังนี้

การคำนวณเกี่ยวกับ เครื่องบดผสม (ball mill)

กำหนดให้

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางหม้อบด}(D_m) = 15.4 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{ความสูงหม้อบด}(h_m) = 16.8 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางลูกบดใหญ่}(D_{b1}) = 3.175 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางลูกบดเล็ก}(D_{b2}) = 2.210 \text{ เซนติเมตร}$$

ความเร็วรอบในการหมุน [25]

ความเร็วจริง (actual mill speed) = 65-80 % ของความเร็ววิกฤต (critical speed)

โดยทั่วไป ใช้ 65-70 % สำหรับการบดเปียกที่มีความหนืด

70-75 % สำหรับการบดเปียกที่มีความหนืดต่ำ

เลือกใช้ 70 % of critical speed

$$\text{จาก } N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$

เมื่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อบด (เมตร,m)

N_c คือ ความเร็ววิกฤต (รอบต่อนาที,rpm)

$$\text{ดังนั้น } N_c = \frac{42.3}{\sqrt{0.154}}$$

$$= 108 \text{ rpm}$$

$$\text{Actual speed} = 0.7 \times 108$$

$$= 76 \text{ rpm}$$

ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนหม้อบด เท่ากับ 76 รอบต่อนาที

คำนวณจำนวนลูกบด, (N_b) [25]

จาก
เมื่อ

$$N_b = \frac{\left(0.524 \times \frac{V_m}{2}\right)}{V_b}$$

V_m คือ ปริมาตรหม้อบด

V_b คือ ปริมาตรลูกบด

$$\begin{aligned} V_m &= \pi r^2 h \\ &= \pi \left(\frac{15.4}{2}\right)^2 \times 16.8 \end{aligned}$$

$$V_m = 3129.25 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

$$V_b = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\begin{aligned} V_{b1} &= \frac{4}{3} \pi \left(\frac{3.175}{2}\right)^3 \\ &= 16.758 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{b2} &= \frac{4}{3} \pi \left(\frac{2.21}{2}\right)^3 \\ &= 5.652 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

อัตราส่วนลูกบดใหญ่ ต่อ ลูกบดเล็ก เท่ากับ 50 : 50 โดยปริมาตร (by volume)

ดังนั้น

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{3129.25}{2} \\ &= 1564.625 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

จำนวนลูกบดใหญ่

$$\begin{aligned} N_{b1} &= \frac{\left(0.524 \times \frac{1564.625}{2}\right)}{16.758} \\ &= 24.462 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้ลูกบดใหญ่จำนวน 25 ลูก

จำนวนลูกบดเล็ก

$$\begin{aligned} N_{b2} &= \frac{\left(0.524 \times \frac{1564.625}{2}\right)}{5.652} \\ &= 72.529 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้ลูกบดเล็กจำนวน 73 ลูก

คำนวณปริมาตรอนุภาคที่ใช้บัด (V_s) [25]

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad V_s &= 1.25 \times \left(0.476 \times \frac{V_m}{2} \right) \\ &= 1.25 \times \left(0.476 \times \frac{3129.25}{2} \right) \\ V_s &= 930.95 \quad \text{ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาตรที่ใช้ในการบัดเท่ากับ 930 ลูกบาศก์เซนติเมตร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองความหนืด

สภาวะ	ค่าความหนืด (cP)			สภาวะ	ค่าความหนืด (cP)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100/01/35	40.0	60.0	50.0	600/01/35	50.0	50.0	50.0
100/01/75	65.0	75.0	70.0	600/01/75	70.0	70.0	70.0
100/12/35	352.0	352.0	352.0	600/12/35	56.0	56.0	56.0
100/12/75	394.0	390.0	392.0	600/12/75	128.0	128.0	128.0
100/11/35	1071.5	1072.5	1072.0	600/11/35	230.0	250.0	240.0
100/11/75	1560.0	1560.0	1560.0	600/11/75	700.0	740.0	720.0
100/21/35	1592.0	1592.0	1592.0	600/21/35	2536.0	2536.0	2536.0
100/21/75	2833.0	2847.0	2840.0	600/21/75	3416.0	3400.0	3408.0
100/10/35	5000.0	5000.0	5000.0	600/10/35	7600.0	7600.0	7600.0
100/10/75	9300.0	9300.0	9300.0	600/10/75	9500.0	10500.0	10000.0
300/01/35	50.0	50.0	50.0				
300/01/75	70.0	70.0	70.0				
300/12/35	80.0	96.0	88.0				
300/12/75	240.0	240.0	240.0				
300/11/35	608.0	608.0	608.0				
300/11/75	1220.0	1228.0	1224.0				
300/21/35	1688.0	1688.0	1688.0				
300/21/75	2860.5	2899.5	2880.0				
300/10/35	5500.0	6500.0	6000.0				
300/10/75	9800.0	9800.0	9800.0				

หมายเหตุ

100/01/35

- อุณหภูมิการผสม 35 องศาเซลเซียส
- อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางใช้แล้วต่อยางมะตอย 0:1
- ขนาดอนุภาคยางใช้แล้ว 100 ไมครอน

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองด้านความอ่อนตัวไม่เปราะ

สภาวะ	เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอก (37-3 mm.)			สภาวะ	เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอก (37-3 mm.)		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	ค่าเฉลี่ย		แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100/01/35	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	600/01/35	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว
100/01/75				600/01/75			
100/12/35				600/12/35			
100/12/75				600/12/75			
100/11/35				600/11/35			
100/11/75				600/11/75			
100/21/35				600/21/35			
100/21/75				600/21/75			
100/10/35				600/10/35			
100/10/75				600/10/75			
300/01/35	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	300/01/35	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พิล์มไม่แตกร้าว
300/01/75				300/01/75			
300/12/35				300/12/35			
300/12/75				300/12/75			
300/11/35				300/11/35			
300/11/75				300/11/75			
300/21/35				300/21/35			
300/21/75				300/21/75			
300/10/35				300/10/35			
300/10/75				300/10/75			

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองด้านความทนแรงกระแทก

สภาวะ	ความสามารถ ในการทนแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)	สภาวะ	ความสามารถ ในการทนแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)
100/01/35	160	600/01/35	160
100/01/75	160	600/01/75	160
100/12/35	160	600/12/35	160
100/12/75	160	600/12/75	160
100/11/35	160	600/11/35	160
100/11/75	160	600/11/75	160
100/21/35	160	600/21/35	160
100/21/75	160	600/21/75	160
100/10/35	160	600/10/35	160
100/10/75	160	600/10/75	160
300/01/35	160		
300/01/75	160		
300/12/35	160		
300/12/75	160		
300/11/35	160		
300/11/75	160		
300/21/35	160		
300/21/75	160		
300/10/35	160		
300/10/75	160		

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองด้านการติดแน่น

สภาวะ	ค่าระดับการติดแน่น (B)			สภาวะ	ค่าระดับการติดแน่น (B)		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	ค่าเฉลี่ย		แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100/01/35	5	5	5	600/01/35	5	5	5
100/01/75	5	5	5	600/01/75	5	5	5
100/12/35	5	5	5	600/12/35	5	5	5
100/12/75	5	5	5	600/12/75	5	5	5
100/11/35	3	3	3	600/11/35	3	3	3
100/11/75	4	4	4	600/11/75	4	4	4
100/21/35	3	3	3	600/21/35	5	5	5
100/21/75	4	4	4	600/21/75	5	5	5
100/10/35	2	2	2	600/10/35	5	5	5
100/10/75	3	3	3	600/10/75	5	5	5
300/01/35	5	5	5				
300/01/75	5	5	5				
300/12/35	5	5	5				
300/12/75	5	5	5				
300/11/35	3	3	3				
300/11/75	4	4	4				
300/21/35	3	3	3				
300/21/75	3	3	3				
300/10/35	2	2	2				
300/10/75	2	2	2				

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองด้านการทนละอองน้ำเกลือ

สภาวะ	ความสามารถในการป้องกันสนิม (%)			สภาวะ	ความสามารถในการป้องกันสนิม (%)		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	ค่าเฉลี่ย		แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100/01/35	100	100	100	600/01/35	100	100	100
100/01/75	100	100	100	600/01/75	100	100	100
100/12/35	75	75	75	600/12/35	50	50	50
100/12/75	100	100	100	600/12/75	100	100	100
100/11/35	25	25	25	600/11/35	0	0	0
100/11/75	50	50	50	600/11/75	25	25	25
100/21/35	0	0	0	600/21/35	0	0	0
100/21/75	0	0	0	600/21/75	0	0	0
100/10/35	0	0	0	600/10/35	0	0	0
100/10/75	0	0	0	600/10/75	0	0	0
300/01/35	100	100	100				
300/01/75	100	100	100				
300/12/35	75	75	75				
300/12/75	100	100	100				
300/11/35	0	0	0				
300/11/75	25	25	25				
300/21/35	0	0	0				
300/21/75	0	0	0				
300/10/35	0	0	0				
300/10/75	0	0	0				

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและฟิสิกส์ของยางวัลคาไนซ์

RP-QC-002/R.00

UNION COMMERCIAL DEVELOPMENT CO.,LTD.

RUBBER RESEARCH LABORATORY

TEST REPORT

R.T. 25 °C

Lot No. : 440116001

R.H. 55 %

Date Of Collection : Jan.15,2001

Sample Name : UCD - Rubber Powder 26 Mesh

Date Of Test : Jan.15,2001

Made By : U.C.D.

Date Of Approval : Jan.16,2001

TO : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Shipped on January 16,2001. (20 kg.)

PARTICLE DISTRIBUTION	NO. 1	NO. 2	NO. 3	TOTAL(g)	%
16 MESH ON	-	-	-	-	-
16-25 MESH	9.02	9.00	9.00	27.02	4.50
25-30 MESH	81.00	81.05	81.03	243.08	40.51
30-40 MESH	72.00	72.00	71.97	215.97	36.00
40-45 MESH	14.52	14.49	14.50	43.51	7.25
45 MESH PASS	23.46	23.46	23.50	70.42	11.74
TOTAL	200	200	200	600	100.00

Moisture Content	0.00	0.00	0.00
Fiber Content	0.00	0.00	0.00
Apparent Specific Gravity	0.47	0.47	0.47
Specific Gravity	1.05	1.05	1.05

APPROVED BY :

CHECKED BY :

TEST BY :

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและฟิสิกส์ของยางรีไซเคิล

RP - QC - 001/R.00

UNION COMMERCIAL DEVELOPMENT CO., LTD.

RUBBER RESEARCH LABORATORY

TEST REPORT

R.T. 25 °C

LOT NO: 440116012

R.H. 55 %

DATE OF COLLECTION: Jan.15,2001

SAMPLE NAME: UCD-105 Reclaimed Rubber.

DATE OF TEST: Jan.15,2001

MADE BY: U.C.D.

DATE OF APPROVAL: Jan.16,2001

SAMPLING BY: UCD Inspector.

BATCH NUMBER:

Test Item	Sample	TO: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร Shipped on January 16,2001(10 kg.)	Pass or Fault	Test Method
Chemical analysis		Result	Specification	
Acetone extract	%	15.50	14.00-20.00	P
Chloroform extract	%			- do -
Total extract	%			- do -
Carbon black	%	25.00	23.00-29.00	P
Ash	%	6.00	4.00-10.00	P
Rubber hydrocarbon	%	50.00	45.00-51.00	P
Moisture	%			- do -
Physical Properties		Cured 20' @ 287 °F		
Mooney viscosity (ML 1' + 4' @ 100 °C)		44.0	35.0-65.0	P
Specific gravity (25 °C)		1.16	1.13-1.17	P
Hardness (Shore A)		50°	50°-56°	P
Tensile strength (kg/cm ²)		82.00	80 min	P
Elongation	%	330.00	300 min	P
Modulus at 200% (kg/cm ²)		27.75	--	P
<input type="checkbox"/> TEST RECIPE				
Reclaimed Rubber	100 (RHC)	100.0 (PIIR)		
Zinc Oxide		5.0		
Stearic acid		1.0		
Sulphur		3.0		
Santocure		1.0		
<input checked="" type="checkbox"/> TEST RECIPE				
Reclaimed Rubber	100 (RHC)	100.0 (PIIR)		
Zinc Oxide		5.0		
Stearic acid		2.0		
Sulphur		3.0		
Mercaptobenzothiazole (MBT)		0.5		
Diphenyl Guanidine (DPG)		0.2		

APPROVED BY: CHECKED BY: TESTED BY:

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและฟิสิกส์ของยางมะตอย



บริษัท เชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด
The Shell Company of Thailand Limited

SPECIFICATION
SHELL MEXPHALTE R.85/25

Test		Test Method	Limits
Ductility @25°C	cm. min	ASTM D-113	3
Flash Point (COC), °C	min	ASTM D-92	200
Loss on Heating	% wt. max	ASTM D-6	0.20
Penetration @25°C	0.1 mm	ASTM D-5	20-30
Softening Point R & B	°C	ASTM D-36	80-90
Solubility in 1.1.1 Trichloroethane	% wt. min	ASTM D-2042	99
Specific Gravity @25/25° C		ASTM D-70	1.01-1.06

For: THE SHELL COMPANY OF THAILAND LIMITED

J. Yell

On behalf of Sales Technical Manager

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*The Company reserves the right to change the information contain herein without notice.

10 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ 10110 หรือ ตู้ ป.ณ. 345 กรุงเทพมหานคร 10501
โทร. 2490491 โทรเลข : เชลล์ เทเล็กซ์ : 87324 SHELL TH โทรสาร : 2490503
10 Soonthornkosa Road, Klongtoey, Bangkok 10110 or G.P.O. Box 345 Bangkok 10501
Tel. 2490491 Telegram : Shell Bangkok Telex : 87324 SHELL TH Fax : 2490503

ภาคผนวก ง

มาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบความอ่อนตัวไม่เปราะของสารเคลือบผิว



Designation: D 522 - 93a

Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings¹

This standard is issued under the fixed designation D 522; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 6222 of Federal Test Method Standard No. 141. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

Scope

1.1 These test methods cover the determination of the resistance to cracking (flexibility) of attached organic coatings on substrates of sheet metal or rubber-type materials.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels²

D 1005 Test Methods for Measurement of Dry-Film Thickness of Organic Coatings Using Micrometers²

D 1186 Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base²

D 1400 Test Method for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonconductive Coatings Applied to a Nonferrous Metal Base²

Summary of Test Methods

3.1 The coating materials under test are applied at uniform thickness to panels of sheet metal or rubber-type materials. After drying or curing the coated panels are bent over a mandrel and the resistance to cracking of the coating is determined. In Test Method A the coated panels are bent over a conical mandrel. In Test Method B the coated panels are bent over cylindrical mandrels of various diameters.

Significance and Use

4.1 Coatings attached to substrates are elongated when the substrates are bent during the manufacture of articles or when the articles are abused in service. These test methods have been useful in rating attached coatings for their ability to resist cracking when elongated. They have been useful in evaluating the flexibility of coatings on flexible substrates.

5. Test Specimens

5.1 Substrates:

5.1.1 If the purpose of the test is to determine the percent of elongation of the coating material, the substrate shall be cold-rolled steel strip $\frac{1}{2}$ in. (0.8 mm) (22 gage) thick.

5.1.2 If the purpose of the test is to rate the coated material for resistance to cracking, the substrate may be any type of sheet metal or rubber-type material (for example, steel, aluminum, tinplate, or synthetic rubber). The thickness of the sheet metal may be less than $\frac{1}{2}$ in. (0.8 mm) and the thickness of the rubber-type materials may be as great as $\frac{1}{2}$ in. (13 mm).

5.1.3 The recommended panel size is 4 in. (100 mm) in width and 6 in. (150 mm) in length. The maximum size that the conical mandrel can accommodate is $4\frac{1}{2}$ in. (115 mm) wide and $7\frac{1}{2}$ in. (190 mm) long.

5.1.4 The surface preparation of the substrate shall be agreed upon between the purchaser and the seller. Prior to the application of the coating, round slightly the edges of metal panels to remove burrs in order to eliminate anomalous edge effects.

NOTE 1—If elongations are to be determined for coatings applied to substrates other than $\frac{1}{2}$ in. (0.8 mm) thick cold-rolled steel, they must be measured with a special mandrel jig as described in Appendix X1.2.

5.2 Coated Panels:

5.2.1 Apply uniform coatings of the materials under test to the substrates in accordance with Practices D 823 and air dry or bake under conditions mutually agreeable to the purchaser and the seller. If percent elongation is to be measured, a minimum thickness of 1.0 mil is required on $\frac{1}{2}$ in. (0.8 mm) thick cold-rolled steel. Perform a minimum of three determinations of coating thickness on each of the specimens in accordance with Test Methods D 1005, D 1186, or D 1400.

5.2.2 From precoated sheets cut at least three specimens of the size given in 5.1.3. Use only plane (flat) sheets and round the edges of the panels slightly as in 5.1.4. The coating surface shall be free of oil and other foreign matter that might increase the flexibility of the coating or interfere with the observation for cracking. Measure the film thickness as in 5.2.1.

6. Conditioning and Number of Tests

6.1 Condition the test specimens for at least 24 h at $73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity, and test in the same environment or immediately on removal therefrom unless otherwise specified by the purchaser and seller.

6.2 Test at least three replicate specimens in Test Method

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and is the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved Sept. 15, 1993. Published November 1993. Originally published as D 522 - 39. Last previous edition D 522 - 93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

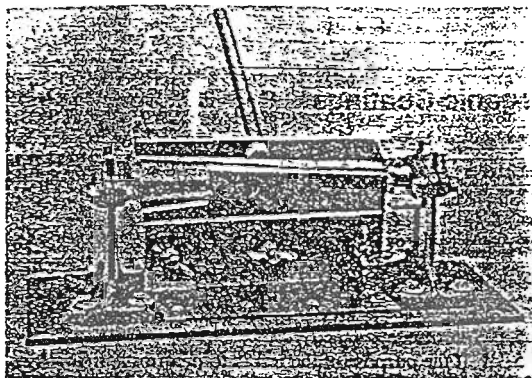


FIG. 1 Conical Mandrel Test Apparatus

A and at least two replicate specimens in Test Method B at each mandrel diameter of interest.

TEST METHOD A—CONICAL MANDREL TEST

7. Apparatus

7.1 *Conical Mandrel Tester*³ consisting of a metal cone, a rotating panel-bending arm, and panel clamps, all mounted on a metal base as illustrated in Fig. 1.

7.1.1 *Cone*, smooth steel, 8 in. (203 mm) in length, with a diameter of $\frac{1}{2}$ in. (3 mm) at one end and a diameter of $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) at the other end.

8. Procedure

8.1 With the operating lever of the apparatus in a horizontal position, slip the test specimen between the mandrel and the drawbar with the finish side towards the drawbar. Rigidly clamp the specimen in a vertical position adjacent to the mandrel by placing the long edge behind the clamping bar in such a manner that the panel is always set up to the narrow end of the mandrel. Slip two sheets of No. 1 brown kraft wrapping paper, substrate 30, thoroughly lubricated on each side with talc, between the specimen and the drawbar and hold in position only by the pressure of the drawbar against the paper.

8.2 Move the lever through about 180° at uniform velocity to bend the specimen approximately 135° . If the purpose of the test is to measure elongation, the bend should be 15 s. To determine crack resistance under more simulated use conditions, the bend time should be about 1 s unless an alternative time is agreed upon between the producer and the user.

8.3 Examine the bent surface of the specimen immediately with the unaided eye for cracking. Having determined and suitably marked the end of the crack farthest from the small end of the mandrel, which shall be considered as the end point, bring the drawbar to the starting position and

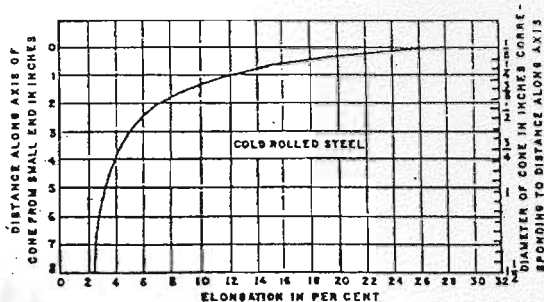


FIG. 2 Distance Along Cone and Corresponding Mandrel Size versus Percent Elongation for Specimens on Cold-Rolled Steel $\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm) in Thickness

remove the panel from the mandrel. Measure the distance from the farthest end of the crack to the small end of the mandrel. This distance is used to compute the elongation. The mandrel diameter at which cracking ceased is taken as the resistance to cracking value.

NOTE 2—In some cases, the measured distance is used as a measure of crack resistance.

9. Calculation

9.1 When required, determine the elongation of the finish from the plotted curve in Fig. 2. This curve represents the relationship between the percent elongation and the diameter of the conical mandrel for a 1.0 mil coating thickness. The relation between the distance along the conical mandrel and the corresponding diameter has also been plotted on this curve.

9.2 Adjust the percent elongation value obtained from Fig. 2 for coating thickness by adding the correction obtained from Fig. 3.

NOTE 3—*Example*—Suppose visual examination of the finish on the bent cold-rolled steel specimens $\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm) in thickness shows that the end of the first crack in the coating is at a distance of 3 in. (75 mm) from the small end of the cone. From Fig. 2 determine the percent elongation of the film from the measured crack distance. In this example 5.2%. To correct for coating thickness add the value obtained in Fig. 3. At a crack distance of 3 in. the correction per mil (25 μm) of coating thickness is 0.3%. If the film thickness in the example is 2 mils (50 μm), the actual percent elongation is $5.2 + (2 \times 0.3) = 5.8\%$.

10. Report

10.1 Report the following information:

- 10.1.1 Mean and range of coating elongation or resistance to cracking values for each specimen.
- 10.1.2 Mean and range of coating film thickness for each specimen.
- 10.1.3 Specimen preparation procedures used.
- 10.1.4 Test conditions, and
- 10.1.5 Mean and range of elongation or resistance to cracking, and film thickness for the replicate specimens.

11. Precision and Bias⁴

11.1 *Precision*—On the basis of an interlaboratory test of

³ Conical mandrel tester, or equivalent, available from BYK-Gardner, Inc., 2435 Linden Lane, Silver Spring, MD 20910 and from Paul N. Gardner Co., 316 N. E. First St., Pompano Beach, FL 33061-6658 has been found suitable for this purpose.

⁴ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request: RR: D01-1059.

D 522

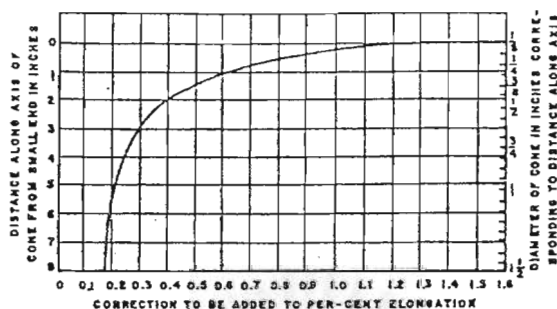


FIG. 3 Correction for Thickness of Film

limited scope⁴ in which two coatings differing in their flexibility were tested at two different times by operators in three laboratories, the intralaboratory standard deviation was found to be 1.5 % elongation, and the interlaboratory standard deviation was found to be 4.0 % elongation. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for at the 95 % confidence level judging the acceptability of results:

11.1.1 *Repeatability*—Two determinations each the mean of duplicates obtained by a single operator should be considered to be suspect if they differ by more than 6 % in elongation.

11.1.2 *Reproducibility*—Two determinations each the mean of duplicates obtained by operators in different laboratories should be considered to be suspect if they differ by more than 15 % in elongation.

11.1.3 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in these test methods for measuring flexibility, bias cannot be determined.

TEST METHOD B—CYLINDRICAL MANDREL TEST

12. Apparatus

12.1 *Elongation Test Equipment*,⁵ consisting of rods or surfaces, including cylindrical steel diameters of 1 in. (25 mm), ¾ in. (19 mm), ½ in. (12.7 mm), ¼ in. (9.5 mm), ⅛ in. (6.4 mm), and 1/16 in. (3.2 mm), mounted on a metal base. An example of an acceptable form of this device is illustrated in Fig. 4.

13. Procedure

13.1 Place the test panel over a mandrel with the uncoated side in contact and with at least 2 in. (50 mm) overhang on either side. Using a steady pressure of the fingers, bend the panel approximately 180° around the mandrel at a uniform velocity in a time of 1 s unless an alternative time is agreed upon between the producer and the user. Remove and examine the panel immediately for cracking visible to the unaided eye. If cracking has not

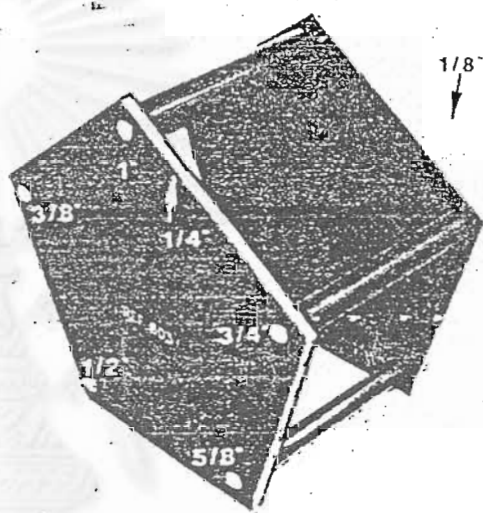


FIG. 4 An Illustration of a Cylindrical Mandrel Test Apparatus

TABLE 1 Elongation

Mandrel Diameter, in. (mm)	Elongation, %
1 (25)	3.3
¾ (19)	4.4
½ (12.7)	6.75
¼ (9.5)	9.0
⅛ (6.4)	14.0
1/16 (3.2)	28.0

occurred, repeat the procedure using successively smaller diameter mandrels on previously untested areas of a specimen until failure occurs or until the smallest diameter mandrel has been used.

13.1.1 This procedure can be applied as a "pass/fail" test by determining whether cracking is produced by a specified mandrel size.

13.1.2 The resistance to cracking value for a coating is taken as the mandrel diameter at which cracking ceases.

13.2 To determine elongation of the applied coating, follow the procedure given in 13.1, using a bend time of 15 s.

⁵ Suitable apparatus or its equivalent: from BYK-Gardner Inc., 2435 Linden Lane, Silver Spring, MD 20910 and Paul N. Gardner Co., 316 N. E. First St., Pompano Beach, FL 33061-6688 has been found suitable for this purpose.

D 522

TABLE 2 Correction for Film Thickness

Mandrel Diameter, in. (mm)	Correction Factor
1 (25)	0.21
3/4 (19)	0.26
1/2 (12.7)	0.38
3/8 (9.5)	0.50
1/4 (6.4)	0.71
1/8 (3.2)	1.40

14. Calculation

14.1 Determine the elongation range of the material from Table 1 in which the elongation of a 1 mil (25 μm) thick coating on 1/32 in. (0.8 mm) cold-rolled steel is given for each mandrel diameter.

14.2 If the coating thickness exceeds 1 mil (25 μm), correct the determined elongation for film thickness using the factors for each mandrel diameter given in Table 2. Calculate the total elongation of the coating as follows:

$$E = e_1 + ic_1$$

where:

E = total elongation, %

e_1 = elongation from Table 1, %

t = thickness, mils. and

c_1 = correction factor from Table 2.

15. Report

15.1 Report the following information:

15.1.1 Mean and range of coating elongation or resistance to cracking values for each specimen,

15.1.2 Mean and range of coating thickness for each specimen,

15.1.3 Specimen preparation procedures used,

15.1.4 Test conditions, and

15.1.5 Mean and range of elongation, resistance to cracking, and film thickness for the replicate specimens.

16. Precision and Bias

16.1 Results are not available to determine the precision of these test methods. These test methods have been in use for many years and are considered acceptable for evaluating the crack resistance of attached coatings.

17. Keywords

17.1 cracking; flexibility; resistance—cracking

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. RELATIONSHIP BETWEEN ELONGATION AND MANDREL SIZE

X1.1 In the mandrel test, the specimens are elongated considerably past their elastic limit. Therefore, the elongations obtained are considerably higher than elongation values calculated from a theoretical equation that is based on the assumption that the elastic limits of the specimens are

not exceeded.

X1.2 The elongation values corresponding to mandrel diameters in Figs. 2 and 3 of these test methods were obtained by direct measurements with a special mandrel jig.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend, if you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิว



Designation: D 2794 - 93

Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)¹

This standard is issued under the fixed designation D 2794; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers a procedure for rapidly deforming by impact a coating film and its substrate and for evaluating the effect of such deformation.

1.2 This test method should be restricted to testing in only one laboratory when numerical values are used because of the poor reproducibility of the method. Interlaboratory agreement is improved when ranking is used in place of numerical values.

1.3 *This standard does not purport to address the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, Lacquer, and Related Coating Products²

D 823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels²

D 1186 Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base²

3. Terminology

3.1 Description of Term Specific to This Standard:

3.1.1 *impact resistance, of a coating*—the number of inch-pounds (kilogram-metres) required to produce cracking in the deformed coating.

4. Summary of Test Method

4.1 The organic coatings under test are applied to suitable thin metal panels. After the coatings have cured, a standard weight is dropped a distance so as to strike an indenter that deforms the coating and the substrate. The indentation can be either an intrusion or an extrusion. By gradually increasing the distance the weight drops, the point at which failure usually occurs can be determined. Films generally fail by cracking, which is made more visible by the use of a

magnifier, by the application of a copper sulfate (CuSO_4) solution on steel, or by the use of a pin hole detector.

5. Significance and Use

5.1 Coatings attached to substrates are subjected to damaging impacts during the manufacture of articles and their use in service. In its use over many years, this test method for impact resistance has been found to be useful in predicting the performance of organic coatings for their ability to resist cracking caused by impacts.

6. Apparatus

6.1 *Tester*, consisting of a vertical tube to guide a cylindrical weight that is dropped on a punch resting on the test panel.³

6.1.1 *Guide Tube*, 24 to 48 in. (0.6 to 1.2 m) long mounted vertically in a base plate. A slot is cut lengthwise on one side of the tube to act as a guide for a cylindrical weight that fits inside the tube. Graduations are marked in inch-pounds along the slot. The base is constructed so that a thin flat panel can be inserted at 2 in. (50 mm) below the tube.

6.1.2 *Weight*, metal cylinder, made to fit inside the guide tube. A pin is fitted into one side of the weight to act as a guide by riding in the slot of the tube and to serve as a handle by which the weight can be raised and released and serve as the indicator of inch-pounds (kilogram-metres).

6.2 *Indenter*—A steel punch with a hemispherical head having a diameter of either 0.500 in. (12.7 mm) or 0.625 in. (15.9 mm). The head rests on the test panel and the punch is held vertically by a guide ring.

6.3 *Panel Support*—A steel fixture with a 0.64-in. (16.3-mm) diameter cylindrical hole centered under the indenter for supporting the test panel.

6.4 *Magnifier*.

6.5 *Pin Hole Detector*.⁴

7. Reagents

7.1 An acidified copper sulfate (CuSO_4) solution prepared

³ Suitable instruments are the Gardner-SPI Modified Variable Height Impact Tester, available from BYK-Gardner, Inc., Gardner Laboratory, 2435 Linden Lane, Silver Spring, MD 20910, and the Universal Impact Tester Model No. 172, available from Paul N. Gardner Co., Inc., 316 N.E. First St., PO Box 10688, Pompano Beach, FL 33061-6688.

⁴ Suitable instruments are the Elcometer 204 Pinhole Detector, available from Elcometer, Inc., 1893 Rochester Industrial Drive, Rochester Hills, MI 48309, the M/1 Holiday Detector, available from Tinker and Razor, P. O. Box 281, San Gabriel, CA 91778, the K-D Bird Dog Holiday Detector, available from BYK-Gardner, Inc., 2435 Linden Ave., Silver Spring, MD 20910, and the Paul N. Gardner Co., Inc., 316 N. E. First Street, Pompano Beach, FL 33066.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and is the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved Sept. 15, 1993. Published November 1993. Originally published as D 2794 - 69. Last previous edition: D 2794 - 92.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

D 2794

by dissolving 10 g of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in 90 g of 1.0 N hydrochloric acid (HCl).

8. Test Specimens

8.1 Apply uniform coatings of the material to be tested to 24-gage (0.025 in. or 0.63 mm) steel panels treated with a conversion coating in accordance with Procedure A of Practice D 609, unless otherwise specified. Prepare a minimum of four coated panels for the material.

NOTE 1—The coatings should be applied in accordance with Practices D 823, or as agreed upon between the producer and the user. Other gage steel panels may be used if agreed upon between the producer and the user.

8.2 Cure the coated panels under conditions of humidity and temperature agreed upon between the producer and the user.

NOTE 2—The thickness of the dry coatings should be measured in accordance with Test Methods D 1186.

9. Conditioning

9.1 Unless otherwise agreed upon between the producer and the user, condition the coated test panels for at least 24 h at $73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity. Conduct the test in the same environment or immediately on removal therefrom.

10. Procedure

10.1 Install the punch having the head diameter specified or agreed upon. Place the test panel in the apparatus with the coated side either up or down as specified or agreed upon. Be sure the panel is flat against the base support and that the indenter is in contact with the top surface of the panel. Lightly place the weight on the indenter and adjust the guide tube so that the lifting pin is at the zero mark. Raise the weight up the tube to a height where it is expected that no failure will occur. Release the weight so that it drops on the indenter.

10.2 Remove the test panel from the apparatus and observe the impact area for cracks in the coating. If no cracks are evident, repeat the procedure at a greater height, increasing 1 in. (25 mm) at a time. Once visible cracks are observed, repeat the test five times at each of three heights, slightly above, slightly below, and at that determined in the first trial. Test in a random fashion so that all impacts from one height are not made in succession or on one panel.

10.3 Examine the impacted areas for cracking by one of the following methods:

10.3.1 Use a magnifier to examine the area for cracks.

10.3.2 Hold a white flannel-type cloth saturated with the acidified copper sulfate (CuSO_4) solution (7.1) over the impacted areas for at least 15 min. Remove the cloth and

examine both the test areas and cloth for evidence of copper deposition or iron-rust staining respectively.

NOTE 3—The copper sulfate solution will not perform properly on zinc-phosphate-treated metal unless the conversion coating cracks.

10.3.3 To detect breaks in the film with a pin hole detector, first connect the ground lead from the instrument to the bare substrate and connect the instrument to an electrical power source. Moisten the probe sponge with tap water and slowly draw the probe over the impact area. The presence of cracks will be indicated by an audible alarm.

10.4 For each inch-pound (kilogram-metre) level, tabulate the number of times the coating passed or failed. The value where the results change from mainly passing to mainly failing is the impact failure end point.

11. Report

11.1 Report the following for each coating tested:

11.1.1 The inch-pounds (kilogram-metres) at the impact failure end point,

11.1.2 Whether intrusion or extrusion was used,

11.1.3 Diameter of the punch used,

11.1.4 Thickness of coating,

11.1.5 Substrate thickness and type of metal,

11.1.6 Method of panel preparation, and

11.1.7 Atmospheric conditions under which the coated panels were conditioned and tested.

NOTE 4—Because of the poor reproducibility of this method, the reporting of inch-pounds (kilogram-metres) in comparing coatings for impact resistance should be restricted to one laboratory. For interlaboratory comparisons, rankings of coatings for impact resistance should be reported.

12. Precision and Bias

12.1 On the basis of an interlaboratory test in which operators in six laboratories tested three paints having a broad range of impact resistance on two metal substrates, the between-laboratories coefficients of variation were found to be as follows:

	Coefficient of Variation	
	Intrusion, %	Extrusion, %
Brite coating (less than 6 in.-lb)	25	100
Average coating (between 6 and 140 in.-lb)	80	100
Flexible coating (more than 140 in.-lb) (0.625 in.-diameter punch)	10	25

12.2 Bias—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in this test method, bias cannot be determined.

13. Keywords

13.1 cracking failure; extrusion indentation; intrusion indentation; impact failure

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

มาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบความติดแน่นของสารเคลือบผิว



Designation: D 3359 - 95

Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test¹

This standard is issued under the fixed designation D 3359; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

These methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover procedures for assessing the adhesion of coating films to metallic substrates by applying and removing pressure-sensitive tape over cuts made in the film.

1.2 Test Method A is primarily intended for use at job sites while Test Method B is more suitable for use in the laboratory. Also, Test Method B is not considered suitable for films thicker than 5 mils (125 μ m).

NOTE 1—Subject to agreement between the purchaser and the seller, Test Method B can be used for thicker films if wider spaced cuts are employed.

1.3 These test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at a generally adequate level. They do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required.

NOTE 2—It should be recognized that differences in adherability of the coating surface can affect the results obtained with coatings having the same inherent adhesion.

1.4 In multicoat systems adhesion failure may occur between coats so that the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products²

D 823 Practice for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels²

D 1000 Test Methods For Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications³

D 1730 Practices for Preparation of Aluminum and Aluminum-Alloy Surfaces for Painting⁴

D 2092 Practices for Preparation of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting⁵

D 2197 Test Methods for Adhesion of Organic Coatings by Scrape Adhesion²

D 2370 Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings²

D 3330 Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape of 180° Angle⁶

D 3924 Specification for Standard Environment for Conditioning and Testing Paint, Varnish, Lacquers, and Related Materials²

D 4060 Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser⁷

3. Summary of Test Methods

3.1 *Test Method A*—An X-cut is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the cut and then removed, and adhesion is assessed qualitatively on the 0 to 5 scale.

3.2 *Test Method B*—A lattice pattern with either six or eleven cuts in each direction is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the lattice and then removed, and adhesion is evaluated by comparison with descriptions and illustrations.

4. Significance and Use

4.1 If a coating is to fulfill its function of protecting or decorating a substrate, it must adhere to it for the expected service life. Because the substrate and its surface preparation (or lack of it) has a drastic effect on the adhesion of coatings, a method of evaluation adhesion of a coating to different substrates or surface treatments, or of different coatings to the same substrate and treatment, is of considerable usefulness in the industry.

4.2 The limitations of all adhesion methods and the specific limitation of this test method to lower levels of adhesion (see 1.3) should be recognized before using it. The intra- and inter-laboratory precision of this test method is similar to other widely-accepted tests for coated substrates.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and are the direct responsibility of Subcommittee D01.25 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved Feb. 15, 1995. Published April 1995. Originally published as D 3359 - 74. Last previous edition D 3359 - 93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 06.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 10.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 02.05.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 06.02.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 15.05.

(for example, Test Method D 2370 and Test Method D 4060), but this is partly the result of it being insensitive to all but large differences in adhesion. The limited scale of 0 to 5 was selected deliberately to avoid a false impression of being sensitive.

TEST METHOD A—X-CUT TAPE TEST

5. Apparatus and Materials

5.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting devices. It is of particular importance that the cutting edges be in good condition.

5.2 *Cutting Guide*—Steel or other hard metal straightedge measure straight cuts.

5.3 *Tape*—One-inch (25-mm) wide semitransparent pressure-sensitive tape with an adhesion strength agreed upon by the supplier and the user is needed⁷. Because of the variability in adhesion strength from batch-to-batch and with time, it is essential that tape from the same batch be used when tests are to be run in different laboratories. If this is not possible the test method should be used only for ranking a series of test coatings.

5.4 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

5.5 *Illumination*—A light source is helpful in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

6. Test Specimens

6.1 When this test method is used in the field, the specimen is the coated structure or article on which the adhesion is to be evaluated.

6.2 For laboratory use apply the materials to be tested to panels of the composition and surface conditions on which it is desired to determine the adhesion.

NOTE 3—Applicable test panel description and surface preparation methods are given in Practice D 609 and Practices D 1730 and D 2092.

NOTE 4—Coatings should be applied in accordance with Practice D 823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 5—If desired or specified, the coated test panels may be subjected to a preliminary exposure such as water immersion, salt spray, or high humidity before conducting the tape test. The conditions and time of exposure will be governed by ultimate coating use or shall be agreed upon between the purchaser and seller.

7. Procedure

7.1 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections. For tests in the field, ensure that the surface is clean and dry. Extremes in temperature or relative humidity may affect the adhesion of the tape or the coating.

7.2 Make two cuts in the film each about 1.5 in. (40 mm) long that intersect near their middle with a smaller angle of between 30 and 45°. When making the incisions, use the straightedge and cut through the coating to the substrate in one steady motion.

7.3 Inspect the incisions for reflection of light from the metal substrate to establish that the coating film has been

penetrated. If the substrate has not been reached make another X in a different location. Do not attempt to deepen a previous cut as this may affect adhesion along the incision.

7.4 Remove two complete laps of the pressure-sensitive tape from the roll and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

7.5 Place the center of the tape at the intersection of the cuts with the tape running in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place by finger in the area of the incisions and then rub firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the transparent tape is a useful indication of when good contact has been made.

7.6 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and pulling it off rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

7.7 Inspect the X-cut area for removal of coating from the substrate or previous coating and rate the adhesion in accordance with the following scale:

- 5A No peeling or removal,
- 4A Trace peeling or removal along incisions or at their intersection,
- 3A Jagged removal along incisions up to $\frac{1}{16}$ in. (1.6 mm) on either side,
- 2A Jagged removal along most of incisions up to $\frac{1}{4}$ in. (3.2 mm) on either side,
- 1A Removal from most of the area of the X under the tape, and
- 0A Removal beyond the area of the X.

7.8 Repeat the test in two other locations on each test panel. For large structures make sufficient tests to ensure that the adhesion evaluation is representative of the whole surface.

7.9 After making several cuts examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone before using again. Discard cutting tools that develop nicks or other defects that tear the film.

8. Report

8.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

8.2 For field tests report the structure or article tested, the location and the environmental conditions at the time of testing.

8.3 For test panels report the substrate employed, the type of coating, the method of cure, and the environmental conditions at the time of testing.

8.4 If the adhesion strength of the tape has been determined in accordance with Test Methods D 1000 or D 3330, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

9. Precision and Bias⁸

9.1 In an interlaboratory study of this test method in which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering

⁷ Permacel 99 manufactured by Permacel, New Brunswick, NJ 08903, and available from various Permacel tape distributors, is reported to be suitable for this purpose. The manufacturer of this tape and the manufacturer of the tape used in the interlaboratory study (see RR: D01-1008), have advised this subcommittee that the properties of these tapes were changed. Users of it should, therefore, check whether current material gives comparable results to previous supplied material.

⁸ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D01-1008.

D 3359

a wide range of adhesion, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.33 and the between-laboratories 0.44. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

9.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 1 rating unit for two measurements.

9.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than 1.5 rating units.

9.2 Bias cannot be established for these test methods.

TEST METHOD B—CROSS-CUT TAPE TEST

10. Apparatus and Materials

10.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting device having a cutting edge angle between 15 and 30°, that will make either a single cut or several cuts at once.⁹ It is of particular importance that the cutting edge or edges be in good condition.

10.2 *Cutting Guide*—If cuts are made manually (as opposed to a mechanical apparatus) a steel or other hard metal straightedge or template to ensure straight cuts.

10.3 *Rule*—Tempered steel rule graduated in 0.5 mm for measuring individual cuts.

10.4 *Tape*, as described in 5.3.

10.5 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

10.6 *Illumination*, as described in 5.5.

10.7 *Magnifying Glass*—An illuminated magnifier to be used while making individual cuts and examining the test area.

11. Test Specimens

11.1 Test specimens shall be as described in Section 6. It should be noted, however, that multitip cutters provide good results only on test areas sufficiently plane¹⁰ that all cutting edges contact the substrate to the same degree. Check for flatness with a straight edge such as that of the tempered steel rule (10.3).

12. Procedure

12.1 Where required or when agreed upon, subject the specimens to a preliminary test before conducting the tape test (see Note 3). After drying or testing the coating, conduct the tape test at room temperature as defined in Specification D 3924, unless D 3924 standard temperature is required or agreed.

12.2 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections, place on a firm base, and under the illuminated magnifier, make parallel cuts as follows:

12.2.1 For coatings having a dry film thickness up to and including 2.0 mils (50 μm) space the cuts 1 mm apart and make eleven cuts unless otherwise agreed upon.

12.2.2 For coatings having a dry film thickness between

2.0 mils (50 μm) and 5 mils (125 μm), space the cuts 2 mm apart and make six cuts. For films thicker than 5 mils use Test Method A.

12.2.3 Make all cuts about 3/4 in. (20 mm) long. Cut through the film to the substrate in one steady motion using just sufficient pressure on the cutting tool to have the cutting edge reach the substrate. When making successive single cuts with the aid of a guide, place the guide on the uncut area.

12.3 After making the required cuts brush the film lightly with a soft brush or tissue to remove any detached flakes or ribbons of coatings.

12.4 Examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone. Make the additional number of cuts at 90° to and centered on the original cuts.

12.5 Brush the area as before and inspect the incisions for reflection of light from the substrate. If the metal has not been reached make another grid in a different location.

12.6 Remove two complete laps of tape and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

12.7 Place the center of the tape over the grid and in the area of the grid smooth into place by a finger. To ensure good contact with the film rub the tape firmly with the eraser.

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

FIG. 1 Classification of Adhesion Test Results

⁹ Multiblade cutters are available from a few sources that specialize in testing equipment for the paint industry. One supplier that has assisted in the refinement of these methods and of Test Methods D 2197 is given in footnote 10.

¹⁰ A multitip cutter for coated pipe surfaces is now available from Paul N. Jarden Co., 316 NE First St., Pompano Beach, FL 33060.

D 3359

on the end of a pencil. The color under the tape is a useful indication of when good contact has been made.

12.8 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

12.9 Inspect the grid area for removal of coating from the substrate or from a previous coating using the illuminated magnifier. Rate the adhesion in accordance with the following scale illustrated in Fig. 1:

09 The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.

10 Small flakes of the coating are detached at intersections; less than 5 % of the area is affected.

11 Small flakes of the coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15 % of the lattice.

12 The coating has flaked along the edges and on parts of the squares. The area affected is 15 to 35 % of the lattice.

13 The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and whole squares have detached. The area affected is 35 to 65 % of the lattice.

14 Flaking and detachment worse than Grade 1.

12.10 Repeat the test in two other locations on each test panel.

13. Report

13.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred, that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

13.2 Report the substrate employed, the type of coating and the method of cure.

13.3 If the adhesion strength has been determined in

accordance with Test Methods D 1000 or D 3330, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

14. Precision and Bias⁸

14.1 On the basis of two interlaboratory tests of this test method in one of which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion and in the other operators in six laboratories made three measurements on two panels each of four different coatings applied over two other coatings, the pooled standard deviations for within- and between-laboratories were found to be 0.37 and 0.7. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

14.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than one rating unit for two measurements.

14.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of duplicates or triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than two rating units.

14.2 Bias cannot be established for these test methods.

15. Keywords

15.1 adhesion, tape; crosscut adhesion test method; tape adhesion test method; X-cut adhesion test method

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. COMMENTARY

XI.1 Introduction

XI.1.1 Given the complexities of the adhesion process, can adhesion be measured? As Mittal (1)¹¹ has pointed out, the answer is both yes and no. It is reasonable to state that at the present time no test exists that can precisely assess the actual physical strength of an adhesive bond. But it can also be said that it is possible to obtain an indication of relative adhesion performance.

XI.1.2 Practical adhesion test methods are generally of two types: "implied" and "direct". "Implied" tests include indentation or scribe techniques, rub testing, and wear testing. Criticism of these tests arises when they are used to quantify the strength of adhesive bonding. But this, in fact, is not their purpose. An "implied" test should be used to assess coating performance under actual service conditions. "Direct" measurements, on the other hand, are intended expressly to measure adhesion. Meaningful tests of this type are highly sought after, primarily because the results are

expressed by a single discrete quantity, the force required to rupture the coating/substrate bond under prescribed conditions. Direct tests include the Hesiometer and the Adherometer (2). Common methods which approach the direct tests are peel, lap-shear, and tensile tests.

XI.2 Test Methods

XI.2.1 In practice, numerous types of tests have been used to attempt to evaluate adhesion by inducing bond rupture by different modes. Criteria deemed essential for a test to warrant large-scale acceptance are: use of a straightforward and unambiguous procedure; relevance to its intended application; repeatability and reproducibility; and quantifiability, including a meaningful rating scale for assessing performance.

XI.2.2 Test methods used for coatings on metals are: peel adhesion or "tape testing"; Gardner impact flexibility testing; and adhesive joint testing including shear (lap joint) and direct tensile (butt joint) testing. These tests do not strictly meet all the criteria listed, but an appealing aspect of these tests is that in most cases the equipment/instrumentation is readily available or can be obtained at reasonable cost.

¹¹ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

X1.2.3 A wide diversity of tests methods have been developed over the years that measure aspects of adhesion (1-5). There generally is difficulty, however, in relating these tests to basic adhesion phenomena.

X1.3 The Tape Test

X1.3.1 By far, the most used test for evaluating coating "adhesion" is the peel test. In use since the 1930's, in its simplest version a piece of adhesive tape is pressed against the paint film. The test consists of observing if the film is peeled off when the tape is removed. The method can be refined to measure the force required for film removal. However, if the coating is removed simply by pulling off the tape, the strength of the adhesive bond is at such a low level as to be practically useless. Consequently, in most cases to assess coatings of appreciable adhesion, crosses or a cross-hatched pattern are cut into the coating, a tape applied and removed. The coating removed is assessed against an established rating scale. If a coating debonds from merely cutting an "X" and not applying tape, the adhesion is also very poor.

X1.3.2 The current widely-used version was first published in 1974; two test methods are covered in this standard. Both test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at an adequate level; however they do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required. Major limitations of the tape test are its low sensitivity, applicability only to coatings of relatively low bond strengths, and non-determination of adhesion to the substrate where failure occurs within a single coat, as when testing primers alone, or within or between coats in multicoat systems. For multicoat systems where adhesion failure may occur between or within coats, the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

X1.3.3 Repeatability within one rating unit is generally observed for coatings on metals for both methods, with reproducibility of one to two units. The tape test enjoys widespread popularity and is viewed as "simple" as well as low in cost. Applied to metals, it is economical to perform, lends itself to job site application, and most importantly, after decades of use, people feel comfortable with it.

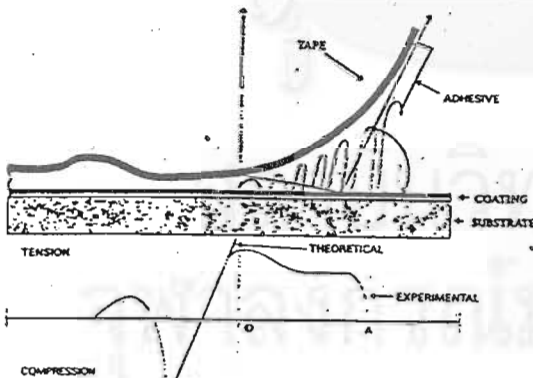


FIG. X1.1 Peel Profile (6)

X1.3.4 When a flexible adhesive tape is applied to a coated rigid substrate surface and then removed, the removal process has been described in terms of the "peel phenomenon," as illustrated in Fig. X1.1.

X1.3.5 Peeling begins at the "toothed" leading edge (at the right) and proceeds along the coating adhesive/interface or the coating/substrate interface, depending on the relative bond strengths. It is assumed that coating removal occurs when the tensile force generated along the latter interface, which is a function of the rheological properties of the backing and adhesive layer materials, is greater than the bond strength at the coating-substrate interface (or cohesive strength of the coating). In actuality, however, this force is distributed over a discrete distance (O-A) in Fig. X1.1, which relates directly to the properties described, not concentrated at a point (O) in Fig. X1.1 as in the theoretical case—though the tensile force is greatest at the origin for both. A significant compressive force arises from the response of the tape backing material to being stretched. Thus both tensile and compressive forces are involved in adhesion tape testing.

X1.3.6 Close scrutiny of the tape test with respect to the nature of the tape employed and certain aspects of the procedure itself reveal several factors, each or any combination of which can dramatically affect the results of the test as discussed (6).

X1.4 Peel Adhesion Testing on Plastic Substrates

X1.4.1 Tape tests have been criticized when used for substrates other than metal, such as plastics. The central issues are that the test on plastics lacks reproducibility and does not relate to the intended application. Both concerns are well founded: poor precision is a direct result of several factors intrinsic to the materials employed and the procedure itself. More importantly, in this instance the test is being applied beyond its intended scope. These test methods were designed for relatively ductile coatings applied to metal substrates, not for coatings (often brittle) applied to plastic parts (7). The unique functional requirements of coatings on plastic substrates cause the usual tape tests to be unsatisfactory for measuring adhesion performance in practice.

X1.5 The Tape Controversy

X1.5.1 With the withdrawal from commerce of the tape specified originally, 3M No. 710, current test methods no longer identify a specific tape. Differences in tapes used can lead to different results as small changes in backing stiffness and adhesive rheology cause large changes in the tension area. Some commercial tapes are manufactured to meet minimum standards. A given lot may surpass these standards and thus be suitable for general market distribution; however, such a lot may be a source of serious and unexpected error in assessing adhesion. One commercially available tape test kit had included a tape with adhesion strength variations of up to 50% claimed by the manufacturer. Also, because tapes change on storage, bond strengths of the tape may change over time (7, 8).

X1.5.2 While there are tapes available that appear to deliver consistent performance, a given tape does not adhere equally well to all coatings. For example, when the peel removal force of the tape (from the coating) used earlier by Task Group D01.23.10 to establish precision of the method.

D 3359

by 3M No. 710 was examined with seven different electromagnetic interference/radio frequency interference (EMI/RFI) coatings. It was found that, while peel was indeed consistent for a given coating, the value varied by 25 % between the highest and lowest ratings among coatings. Several factors that contribute to these differences include coating composition and topology; as a result, no single tape is likely to be suitable for testing all coatings. Further, the tape test does not give an absolute value for the force required for bond rupture, but serves only as an indicator that some minimum value for bond strength was met or exceeded (7, 8).

X1.6 Procedural Problems

X1.6.1 The tape test is operator intensive. By design it was made as simple as possible to perform, and requires a minimum of specialized equipment and materials that must meet certain specifications. The accuracy and precision depend largely upon the skill of the operator and the operator's ability to perform the test in a consistent manner. Key steps that directly reflect the importance of operator skill include the angle and rate of tape removal and the visual assessment of the tested sample. It is not unexpected that different operators might obtain different results (7, 8).

X1.6.2 *Peel Angle and Rate:* The standard requires that the free end of the tape be removed rapidly at as close to a 180° angle as possible. If the peel angle and rate vary, the force required to remove the tape can change dramatically. Nearly linear increases were observed in peel force approaching 100 % as peel angle was changed from 135 to 180, and similar large differences can be expected in peel force as peel rate varies. These effects are related as they reflect certain rheological properties of the backing and adhesive that are molecular in origin. Variation in pull rate and peel angle can effect large differences in test values and must be minimized to assure reproducibility (9).

X1.6.3 *Visual Assessment:* The final step in the test is visual assessment of the coating removed from the specimen,

which is subjective in nature, so that the coatings can vary among individuals evaluating the same specimen (9).

X1.6.3.1 Performance in the tape test is based on the amount of coating removed compared to a descriptive scale. The exposure of the substrate can be due to factors other than coating adhesion, including that arising from the requirement that the coating be cut (hence the synonym "cross-hatch adhesion test"). Justification for the cutting step is reasonable as cutting provides a free edge from which peeling can begin without having to overcome the cohesive strength of the coating layer.

X1.6.3.2 Cutting might be suitable for coatings applied to metal substrates, but for coatings applied to plastics or wood, the process can lead to a misleading indication of poor adhesion due to the unique interfacial zone. For coatings on soft substrates, issues include how deep should this cut penetrate, and is it possible to cut only to the interface?

X1.6.3.3 In general, if adhesion test panels are examined microscopically, it is often clearly evident that the coating removal results from substrate failure at or below the interface, and not from the adhesive failure between the coating and the substrate. Cohesive failure within the coating film is also frequently observed. However, with the tape test, failures within the substrate or coating layers are rare because the tape adhesive is not usually strong enough to exceed the cohesive strengths of normal substrates and organic coatings. Although some rather brittle coatings may exhibit cohesive failure, the tape test adhesion method does not make provision for giving failure locality (7, 8).

X1.6.4 Use of the test method in the field can lead to variation in test results due to temperature and humidity changes and their effect upon tape, coating and substrate.

X1.7 Conclusion

X1.7.1 All the issues aside, if these test methods are used within the Scope Section and are performed carefully, some insight into the approximate, relative level of adhesion can be gained.

REFERENCES

- (1) Mittal, K. L., "Adhesion Measurement: Recent Progress, Unsolved Problems, and Prospects", "Adhesion Measurement of Thin Films, Thick Films, and Bulk Coatings," *ASTM STP 640*, ASTM, 1978, pp. 7-8.
- (2) Corcoran, E. M., "Adhesion," Chapter 5.3, *Paint Testing Manual*, 13th ed., *ASTM STP 500*, ASTM, 1972, pp. 314-332.
- (3) Gardner, H. A., and Sward, G. G., *Paint Testing Manual*, 12th ed., Chapter 7, Gardner Laboratory, Bethesda, MD, 1962, pp. 159-170.
- (4) Mittal, K. L., *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol. 1, No. 3, 1987, pp. 247-259.
- (5) Stoffer, J. D., and Gadodia, S. K., *American Paint and Coatings Journal*, Vol. 70, Nos. 50 and 51, 1991, pp. 36-40 and 36-51, respectively.
- (6) Souheng, Wu, *Polymer Interface and Adhesion*, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1982, p. 531.
- (7) Nelson, G. L., Gray, K. N., and Buckley, S.E., *Modern Paints and Coatings*, Vol. 75, No. 10, 1985, pp. 160-172.
- (8) Nelson, G. L., and Gray, K. N., "Coating Adhesion to Plastics," *Proceedings, Waterborne and Higher Solids Coatings Symposium*, Vol. 13, New Orleans, LA, February 5-7, 1986, pp. 114-131.
- (9) K. L. Mittal, ed., "Symposium on Adhesion Aspects of Polymeric Coatings," *Proceedings*, The Electrochemical Society, 1981, pp. 569-582.

ภาคผนวก ช

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. สำหรับการทดสอบความทนละอองน้ำเกลือของสารเคลือบผิว

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง

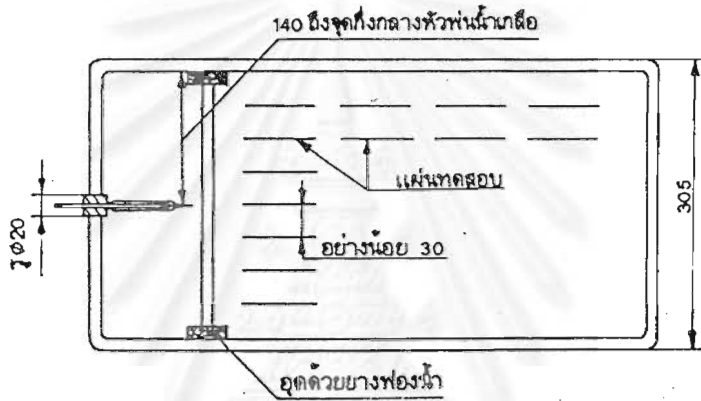
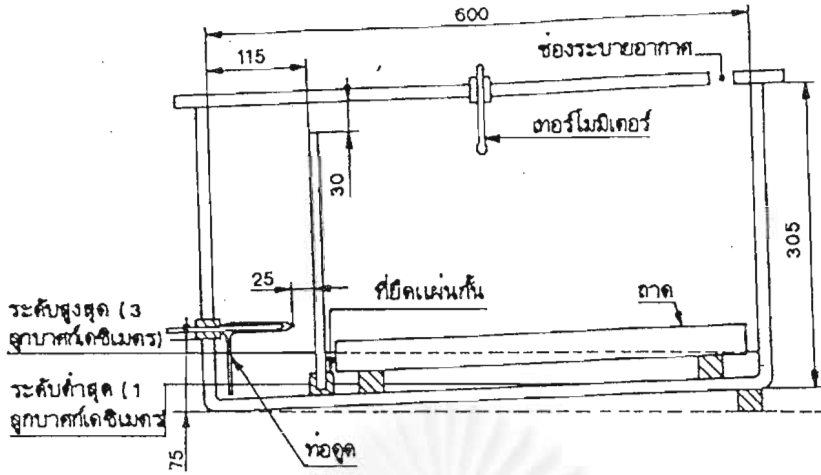
เล่ม 42 ความทนละอองน้ำเกลือพ่นต่อเนื่อง

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด วิธีทดสอบความทนละอองน้ำเกลือพ่นต่อเนื่องของผิวเคลือบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง

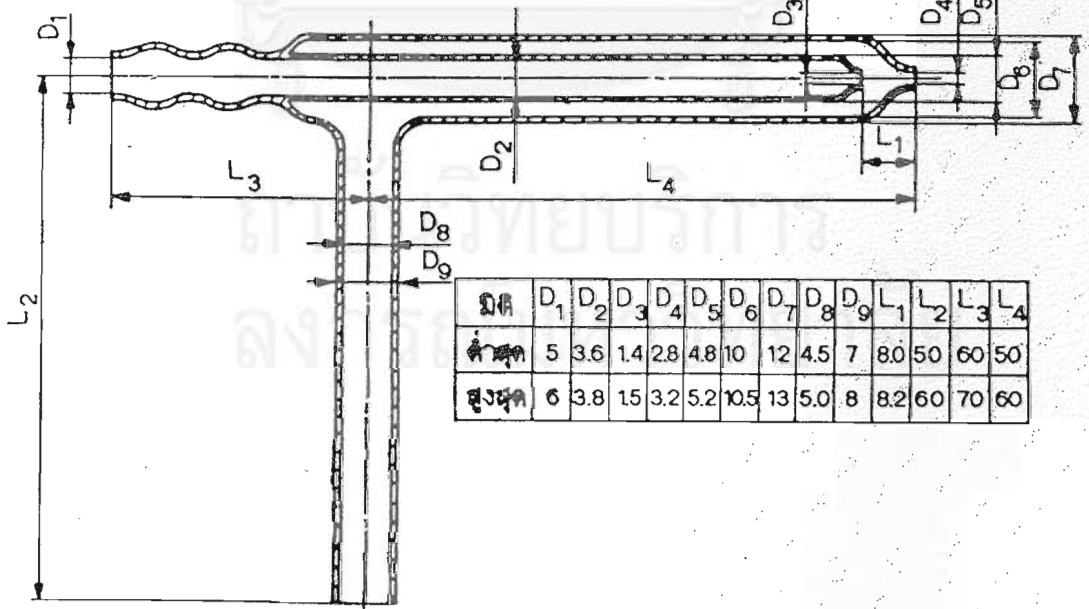
2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 1 หรือเครื่องมืออื่นที่ให้ผลเทียบเท่า ประกอบด้วยตู้กระจกพร้อมฝาปิด ในตู้มีที่วางแผ่นทดสอบทำด้วยอลูมิเนียม แผ่นกัน หัวพ่นน้ำเกลือ(ดังแสดงในรูปที่ 2) และถาดรองน้ำเกลือ ชุดท่อวางระหว่างขอบข้างทองแผ่นกันกับข้างตู้ควมหาวางพองน้ำ และมีห้องระบายอากาศที่ฝา



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตู้ทดสอบ



ชนิด	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
ต่ำสุด	5	3.6	1.4	2.8	4.8	10	12	4.5	7	8.0	50	60	50
สูงสุด	6	3.8	1.5	3.2	5.2	10.5	13	5.0	8	8.2	60	70	60

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 หัวพ่นน้ำเกล็ด

2.2 ปรับเครื่องมือให้มีภาวะดังต่อไปนี้

(1) การท่อน้ำเกลือ

ท่อน้ำเกลือไปยังแผ่นกัน เพื่อกันไม่ให้ละอองน้ำเกลือตกกระทบลงบนแผ่นทดสอบโดยตรง ปริมาณน้ำเกลือที่ใช้ไปจะต้องอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1.5 ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง

(2) ระดับน้ำเกลือ

ปริมาณน้ำเกลือในตู้จะต้องอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ลูกบาศก์เดซิเมตร หรือต้องท่วมปากท่อดูด ดังแสดงในรูปที่ 1

(3) การรองรับน้ำเกลือ

ให้มีภาครองรับน้ำเกลือที่หยดจากแผ่นทดสอบ และทิ้งไปเป็นระยะ ๆ เสมอ ห้ามนำไปใช้อีก

(4) ตำแหน่งของแผ่นทดสอบ

วางแผ่นทดสอบบนที่วางให้ห่างกันอย่างน้อย 30 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่วางด้านนอกจะต้องไม่ชิดข้างตู้ ด้านกว้างของแผ่นทดสอบให้วางขนานกับด้านยาวของตู้ และเลี้ยงแผ่นทดสอบห่างมุมประมาณ 15 องศากับแนวตั้ง โดยให้ด้านที่ต้องการทดสอบหงายขึ้นรับละอองน้ำเกลือ

(5) ความดันอากาศ

ความดันอากาศที่หัวห้องต้องเป็น 70 ± 7 กิโลพาสคัล

(6) อุณหภูมิและตำแหน่งของตู้ทดสอบ

หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้ตั้งอุณหภูมิของตู้ทดสอบไว้ที่ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และตั้งตู้ทดสอบไว้ในที่มีแสงกระจาย (diffuse light) ห่างจากความร้อนและไม่ถูกลม

(7) การทำความสะอาดตู้ทดสอบ

จะต้องทำความสะอาดตู้ทดสอบรวมทั้งหัวห้องเป็นประจำอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อขจัดขี้เกลือ แล้วเติมน้ำเกลือใหม่แทน

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีที่ใช้ จะต้องมีคุณภาพในระดับเคมีเกรด (chemical grade) น้ำที่ใช้จะต้องเป็นน้ำกลั่นหรือน้ำอย่างอื่นที่มีคุณภาพเทียบเท่า

3.2 น้ำเกลือจะต้องมีส่วนประกอบ ดังนี้

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	26.5 กรัม
แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl ₂)	2.4 กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO ₄)	3.3 กรัม
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	0.73 กรัม
โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO ₃)	0.20 กรัม
โซเดียมโบรไมด์ (NaBr)	0.28 กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl ₂)	1.1 กรัม (เติมหลังสุด)
น้ำ	เติมจนสารละลายมีปริมาตร 1 000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4. การชักตัวอย่าง

4.1 ให้ชักตัวอย่างตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง เล่ม 1 การชักตัวอย่าง มาตรฐานเลขที่ มอก.285 เล่ม 1 แล้วตรวจสอบและเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง เล่ม 2 การตรวจและการเตรียมตัวอย่าง เพื่อทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก.285 เล่ม 2

5. แผ่นทดสอบ

5.1 ชนิดและขนาด

หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น แผ่นทดสอบจะต้องเป็นแผ่นเหล็กกล้าขัดเป็นเงา ขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 1.25 มิลลิเมตร ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง เล่ม 3 แผ่นทดสอบและการเตรียม มาตรฐานเลขที่ มอก.285 เล่ม 3

5.2 การเตรียมและการเคลื่อน

หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้เตรียมแผ่นทดสอบตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 3 แล้วเคลื่อนตัวอย่างบนแผ่นทดสอบตามวิธีที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง เล่ม 4 การเคลื่อน มาตรฐานเลขที่ มอก.285 เล่ม 4 โดยด้านหลังและขอบของแผ่นทดสอบจะต้องเคลือบด้วยสีที่ป้องกันพื้นผิวได้ดี

5.3 การทำแผ่นทดสอบให้แห้ง

ฝั่ง(หรืออบ)แผ่นทดสอบที่เคลือบสีแล้วให้แห้ง ความเวลาและในภาวะที่กำหนด หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ปล่อยให้แผ่นทดสอบให้แห้งเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 ± 5 ในที่ซึ่งอากาศถ่ายเทได้สะดวกและคังไม่ถูกแสงแดดโดยตรง แล้วทดสอบต่อไปโดยเร็ว

5.4 ความหนาของผิวเคลือบ

วัดความหนาของผิวเคลือบที่แห้งแล้วเป็นไมโครเมตรตามวิธีใดวิธีหนึ่งที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง เล่ม 5 การหาความหนาของฟิล์ม มาตรฐานเลขที่ มอก.285 เล่ม 5

6. วิธีทดสอบ

- 6.1 ให้ทดสอบแผ่นทดสอบที่แห้งแล้วในตู้ทดสอบ ตามเวลาที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สี วาร์นิชหรือวัสดุที่เกี่ยวข้องนั้นๆ
- 6.2 นำแผ่นทดสอบออกมาล้างด้วยน้ำไหล ชัดด้วยกระดาษซับโดยเร็ว แล้วตรวจดูขอบพร่องทันที หลังจากนั้นจึงป้ายน้ำยาลอกสีที่ไม่ทำให้เกิดสนิม เป็นทางขนาด 150 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ค่อย ๆ ลอกสีออกจากพื้นผิวแผ่นทดสอบ แล้วตรวจดูรอยกัดกร่อนที่ผิวโลหะส่วนที่ลอกสีออกแล้ว ในกรณีที่ต้องการเก็บแผ่นทดสอบไว้เป็นหลักฐาน บริเวณที่ลอกสีออกแล้วจะต้องเคลือบด้วยแลกเกอร์ใสที่เหมาะสม

7. การรายงานผล

- 7.1 ในรายงานผลการทดสอบอย่างน้อยจะต้องแสดงข้อความดังต่อไปนี้
 - (1) เอกสารอ้างอิงฉบับนี้
 - (2) ชนิดและลักษณะซึ่ง (identification) ของตัวอย่างทดสอบ
 - (3) รายการข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบเพิ่มเติม (ถ้ามี) พร้อมเอกสารที่ให้ข้อมูลดังกล่าว
 - (4) วิธีทดสอบที่แตกต่างไปจากมาตรฐานนี้ (ถ้าใช้)
 - (5) ผลการทดสอบ
 - (6) วัน เดือน ปีที่ทดสอบ

หมายเหตุ ลักษณะซึ่ง หมายถึง รายละเอียดของตัวอย่างที่ทดสอบ เช่น ชนิด สี ที่มา รหัสรุ่นการผลิต หมายเลขของตัวอย่าง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพียงพิศ วงศ์มณีนิล สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย