

การศึกษาสภาวะในการบ่มที่เหมาะสมที่สุด
สำหรับแบคทีเรียที่ผลิตจากยาง



นางสาวอัจฉิมา วังเพ็ชร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0154-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20034088

AN INVESTIGATION ON THE OPTIMUM VULCANIZATION CONDITION
FOR A RUBBER BLADDER



Ms. Atjima Wangpetch

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 2000

ISBN 974-13-0154-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสภาวะในการบ่มที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบล็ดเดอร์ที่ผลิต
จากยาง
โดย นางสาวอัจฉิมา วังเพ็ชร
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สิริจุฑารัตน์ โคควาอิสารัช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นางกัลยาณี เขียวธนู

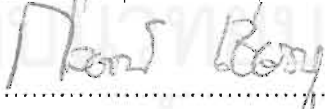
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม วาณิชเสนี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.สิริจุฑารัตน์ โคควาอิสารัช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางกัลยาณี เขียวธนู)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง)

อัจฉิมา วังเพ็ชร์ : การศึกษาสภาวะในการบ่มที่เหมาะสมสำหรับแบลด์เดอร์ที่ผลิตจากยาง (AN INVESTIGATION ON THE OPTIMUM VULCANIZATION CONDITION FOR RUBBER BLADDER) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ศิริจุฑาทร์ณ์ โคควาวิสารัช , อ. ที่ปรึกษา ร่วม : นางกัลยาณี เขียวธนู , 137 หน้า , ISBN 974-13-0154-5.

ในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ อุปกรณ์สำคัญของการบ่ม (Vulcanization) คือแบลด์เดอร์ (bladder หรือ curing membrane) ซึ่งทำหน้าที่ให้น้ำร้อน ไขมัน และน้ำเย็นไหลผ่าน เพื่อให้ความร้อนกับยางรถยนต์ดิบที่สร้างเสร็จแล้ว ข้อบกพร่องของแบลด์เดอร์ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแบลด์เดอร์ ทำให้ประสิทธิภาพการบ่มยางรถยนต์ลดลง การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ด้วยการปรับปรุงสมบัติของแบลด์เดอร์ การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบ่มแบลด์เดอร์ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการบ่มคือ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ มีผลต่อการเกิดพันธะเชื่อมโยง ซึ่งกระทบต่อสมบัติเชิงกล (physical properties) และสมบัติด้านพลศาสตร์ (dynamic properties) ของแบลด์เดอร์ โดยเตรียมชิ้นงานจากส่วนผสมของแบลด์เดอร์ในห้องปฏิบัติการ แล้วศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม ณ 270 , 300 , 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮต์ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการบ่ม จาก 2 ถึง 960 นาที พบว่า สภาวะที่ใช้ในการบ่มยางที่ให้สมบัติได้ตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรม คือ การบ่มที่อุณหภูมิต่ำ ด้วยเวลานาน จากนั้นจึงนำผลสรุปจากการศึกษาดังกล่าวมาศึกษาและประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตปกติในอุตสาหกรรม โดยการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการบ่มเป็น 14 , 16 , 18 , 20 , 22 และ 24 นาทีตามลำดับ ที่อุณหภูมิการบ่ม คือ 375 องศาฟาเรนไฮต์ พบว่า เวลาการบ่ม 22 นาที คือ สภาวะการบ่มที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ได้สมบัติกายภาพ และด้านพลศาสตร์ ตลอดจนอายุการใช้งานของแบลด์เดอร์โดยรวมเหมาะสม ทำให้เพิ่มอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 25 % และลดจำนวนของแบลด์เดอร์ที่ใช้เพื่อผลิตยางรถยนต์ในอุตสาหกรรมปัจจุบันได้

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4071510521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING.

KEY WORD: CURING BLADDER / BLADDER / CURING CONDITION / VULCANIZATION.

ATJIMA WANGPETCH : AN INVESTIGATION ON THE OPTIMUM VULCANIZATION
CONDITION FOR RUBBER BLADDER. THESIS ADVISOR : SIRIJUTARATANA
COVAVISARUCH, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : MS.KALAYANEE
DHEANDHANO, 137 pp. ISBN 974-13-0154-5.

In tire manufacture, an important equipment for vulcanization process is a bladder or curing membrane. It is a part in which hot water, steam and cold water are subsequently circulated for heating and cooling the green tire. The failure of bladders can lead to significant loss and a reduction in the vulcanization process efficiency. The present study concentrates on improving properties of bladders and extending their service life by finding the appropriate vulcanization condition for bladders. This is because the variation in such vulcanizing factors as temperature and time tend to influence the crosslinking within the bladder which, in turn tends to affect the physical and dynamic properties of bladders. Bladder compound was prepared in laboratory according to the formulation used in the tire industry. It was then vulcanized at 270 , 300 , 330 and 360 deg.F. respectively for a period of vulcanization ranging from 2 to 960 minutes. A series of mechanical and dynamic tests on these vulcanized bladder reveals the appropriate vulcanizing temperature and extensive period which gave properties lie within the range accepted with low temperature for long extensive period were found to yield bladders with high mechanical and dynamic properties. These vulcanization condition was then applied in the real scale-up production of bladders in the tire industry. The vulcanization period was varied at 14 , 16 , 18 , 20 , 22 and 24 minutes while the temperature was kept constant at 375 deg.F. according to the industry production. Vulcanization at 375 deg.F. for 22 minutes was found to yield the best quality bladders over the period studied. Upon application of these bladders in the actual production for motorcycle tires, they were found to exhibit an increase in the average of life service by 25 % and used less quantity than regular.

Department Chemical Engineering.

Field of study Chemical Engineering

Academic year 2000

Student's signature

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

Atjima

S. Covavisaruch

Ms. Kalayanee

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร.สิริจุฑาทิรัตน์ โคควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการดำเนินการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา และคุณกัลยาณี เขียวธนู ที่กรุณา สนับสนุนการวิจัย โดยอนุญาตให้ดำเนินการทดลองในสถานที่ทำงาน และให้คำปรึกษา จึงขอ กราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม วาณิชเสณี ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความสนใจและข้อ คิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอขอบคุณเพื่อน ๆ พนักงาน บริษัท ยางสยามพระประแดง จำกัด ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และวัสดุภายในห้องทดสอบ และช่วยถ่ายรูป ประกอบการวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ และเพื่อน ๆ ที่ช่วยให้ กำลังใจ จนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
1. บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4. ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.5. ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7. วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2. ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์.....	6
2.1. แนวคิดและทฤษฎี.....	6
2.1.1. สูตรการผลิตแบลคเดอรั.....	6
2.1.2. หน้าที่ของส่วนผสมในสูตรการผลิตแบลคเดอรั.....	7
2.1.3. ขั้นตอนการผลิตแบลคเดอรั.....	9
2.1.4. การใช้งานแบลคเดอรั.....	13
2.1.5. การบำรุงรักษาแบลคเดอรั.....	14
2.1.6. สมบัติที่ต้องการของแบลคเดอรั.....	14
2.1.7. ลักษณะข้อบกพร่องของแบลคเดอรั.....	15
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

3. วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.2.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ.....	21
3.2.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	23
3.2.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในกระบวนการผลิต.....	30
3.3. การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	31
3.3.1. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนโดยดำเนินการใน ห้องปฏิบัติการ.....	31
3.3.2. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนแบบลดเดอริ์ใน อุตสาหกรรม.....	38
3.3.3. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อน โดยพิจารณาถึง อายุการใช้งานของแบบลดเดอริ์ โดยดำเนินการใน กระบวนการป้อนยางรถจักรยานยนต์.....	38
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนโดยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ	
4.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนในห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาจากช่วงพิกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....	39
4.1.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนในห้องปฏิบัติการ.....	62
4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนแบบลดเดอริ์ในอุตสาหกรรม.....	89
4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อน โดยพิจารณาถึง อายุการใช้งานของแบบลดเดอริ์ โดยดำเนินการใน กระบวนการป้อนยางรถจักรยานยนต์.....	100
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	103
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	104

สารบัญ (ต่อ)

ณ

บทที่

หน้า

รายการอ้างอิง.....	105	
ภาคผนวก.....	108	
ภาคผนวก ก	การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ.....	108
ภาคผนวก ข	การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มแบลคเดอร์ ในอุตสาหกรรม.....	124
ภาคผนวก ค	การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยพิจารณาถึง อายุการใช้งานของแบลคเดอร์ โดยดำเนินการใน กระบวนการบ่มยางจักรยานยนต์.....	129
ภาคผนวก ง	การคำนวณหาสมบัติต่าง ๆ.....	130
ภาคผนวก จ	เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับการต้านทานต่อความล้าด้าน พลศาสตร์ ตาม ASTM D 430-95.....	132
ภาคผนวก ฉ	เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับการต้านทานต่อไอโซน ตาม JIS K 3601-1995.....	133
ภาคผนวก ช	ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประเมินสำหรับตารางที่ 4.5.....	134
ภาคผนวก ฎ	ความหมายของคำที่ใช้.....	135
ประวัติผู้เขียน.....	137	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1	สูตรการผลิตเบลดเดอร์.....6
2.2	ลักษณะข้อบกพร่องของเบลดเดอร์.....15
3.1	สภาวะที่ใช้ในการป้อนยางสำหรับขึ้นทดสอบ.....31
4.1	การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ที่อยู่ในช่วงพิกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ของขึ้นตัวอย่างที่ป้อน ณ อุณหภูมิและช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....61
4.2	สภาวะการป้อนที่ให้สมบัติในระดับที่เหมาะสมแก่การผลิตเบลดเดอร์ในอุตสาหกรรม.....62
4.3	การเปรียบเทียบสมบัติของขึ้นตัวอย่าง ที่ทำการป้อนตามตารางที่ 4.2.....87
4.4	การเปรียบเทียบสมบัติของขึ้นตัวอย่างจากเบลดเดอร์.....101
ก-1	สมบัติของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 3.1.....108
ก-2	สมบัติของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 3.1 และผ่านการป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.....110
ก-3	อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติต่าง ๆ จากการป้อนแรงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง112
ก-4	สมบัติ โมดูลัสที่ 400 % ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2 และป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....114
ก-5	สมบัติ การต้านแรงดึง ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2 และป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....115
ก-6	สมบัติ ความยืดหยุ่นของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2 และป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....116
ก-7	สมบัติ ระยะ bench mark หลังขาด ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2 และป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....117
ก-8	สมบัติ ความคงตัวหลังจากยืด และความแข็ง ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2.....118
ก-9	สมบัติ การต้านการฉีกขาด ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2 และป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....119
ก-10	สมบัติ ความยืดการฉีกขาด ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2 และป้อนแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....120

สารบัญตาราง (ต่อ)

๗

ตาราง		หน้า
ก-11	สมบัติ การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2.....	121
ก-12	สมบัติ การต้านทานต่อการล้าด้านพลศาสตร์ และสมบัติการต้านทานต่อ การบ่มเร่งโดยไอโซน ของขึ้นทดสอบ ที่ป้อนตามตารางที่ 4.2.....	123
ข-1	สมบัติ โมดูลัสที่ 400 % ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	124
ข-2	สมบัติ การต้านแรงดึง ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	124
ข-3	สมบัติ ความยืดขณะขาด ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	125
ข-4	ระยะ bench mark หลังขาด ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	125
ข-5	สมบัติ ความแข็ง และความคงตัวหลังจากยืด ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ.....	126
ข-6	สมบัติ การต้านการฉีกขาด ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	126
ข-7	สมบัติ ความยืดการฉีกขาด ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	127
ข-8	อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติต่าง ๆ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.....	127
ข-9	สมบัติ การต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยไอโซน ของขึ้นทดสอบของแบลคเดออร์ ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ.....	128
ค-1	อายุการใช้งานของแบลคเดออร์ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ.....	129
ค-2	ลักษณะข้อบกพร่องของแบลคเดออร์ที่ป้อนตามเวลาต่าง ๆ.....	129
จ-1	เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์.....	132
ฉ-1	เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับความต้านทานต่อไอโซน.....	133

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 สลักแบลคเดอรัที่ได้จากเครื่องรีดยาง.....	10
2.2 การเตรียมสลักแบลคเดอรัก่อนเข้ากระบวนการปม.....	10
2.3 เครื่องปมแบลคเดอรัที่มีแบบพิมพ์อยู่ภายใน.....	11
2.4 แบลคเดอรัที่ผ่านกระบวนการปมแล้ว.....	12
2.5 แบลคเดอรัประกอบเข้ากับเครื่องปมของยางรถยนต์.....	13
2.6 หลังจากปมยางเสร็จแล้ว แบลคเดอรัจะแฟบ และเคลื่อนที่ขึ้น.....	14
3.1 เครื่องขัดผิว.....	22
3.2 ชุดตัดขึ้นทดสอบโดยใช้แรงอัด.....	22
3.3 ขึ้นตัวอย่าง สำหรับ ASTM die C.....	23
3.4 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง.....	24
3.5 เครื่องทดสอบการหักงอแบบ de Mattia.....	25
3.6 การวางขึ้นตัวอย่างในตู้อบ เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วตู้.....	25
3.7 เครื่องเจาะ (Piercing Tool).....	26
3.8 เครื่องวัดความแข็ง.....	27
3.9 ขึ้นตัวอย่างการต้านทานการทดสอบการฉีกขาด.....	28
3.10 เครื่องบากรอย.....	29
3.11 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง ที่สามารถทดสอบในตู้อบ.....	29
4.1 มอดูลส์ที่ 400 % สำหรับการปมที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	40
4.2 มอดูลส์ที่ 400 % สำหรับการปมที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	40
4.3 มอดูลส์ที่ 400 % สำหรับการปมที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	41
4.4 มอดูลส์ที่ 400 % สำหรับการปมที่ 360 องศาเรนไฮท์.....	41
4.5 การต้านแรงดึง สำหรับการปมที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	43
4.6 การต้านแรงดึง สำหรับการปมที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	43
4.7 การต้านแรงดึง สำหรับการปมที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	43
4.8 การต้านแรงดึง สำหรับการปมที่ 360 องศาเรนไฮท์.....	44
4.9 ความยืดขณะขาด สำหรับการปมที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	45
4.10 ความยืดขณะขาด สำหรับการปมที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	45
4.11 ความยืดขณะขาด สำหรับการปมที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	46

ภาพประกอบ	หน้า
4.12 ความยืดขณะขาด สำหรับการบ่มที่ 360 องศาเรนไฮท์.....	46
4.13 ความแข็ง สำหรับการบ่มที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	47
4.14 ความแข็ง สำหรับการบ่มที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	47
4.15 ความแข็ง สำหรับการบ่มที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	48
4.16 ความแข็ง สำหรับการบ่มที่ 360 องศาเรนไฮท์.....	48
4.17 อัตราการเสื่อมสภาพ ของมอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	49
4.18 อัตราการเสื่อมสภาพ ของมอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	50
4.19 อัตราการเสื่อมสภาพ ของมอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	50
4.20 อัตราการเสื่อมสภาพ ของมอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 360 องศาเรนไฮท์.....	50
4.21 อัตราการเสื่อมสภาพ ของการต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	51
4.22 อัตราการเสื่อมสภาพ ของการต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	51
4.23 อัตราการเสื่อมสภาพ ของการต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	52
4.24 อัตราการเสื่อมสภาพ ของการต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 360 องศาเรนไฮท์.....	52
4.25 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความยืดขณะขาด สำหรับการบ่มที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	53
4.26 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความยืดขณะขาด สำหรับการบ่มที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	53
4.27 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความยืดขณะขาด สำหรับการบ่มที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	53

ภาพประกอบ	หน้า
4.28 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความยืดหยุ่นขาด สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์.....	54
4.29 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์.....	54
4.30 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์.....	55
4.31 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์.....	55
4.32 อัตราการเสื่อมสภาพ ของความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์.....	55
4.33 สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับการบ่มยว่งที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์.....	57
4.34 สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับการบ่มยว่งที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์.....	58
4.35 สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับการบ่มยว่งที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์.....	59
4.36 สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับการบ่มยว่งที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์.....	60
4.37 มอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	63
4.38 มอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	64
4.39 มอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	64
4.40 การต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	65
4.41 การต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	65
4.42 การต้านแรงดึง สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	65
4.43 ความยืดหยุ่นขาด สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	66

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ตม

ภาพประกอบ	หน้า
4.44 ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับการป้อนที่ 300 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	67
4.45 ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับการป้อนที่ 330 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	67
4.46 ระยะเวลา bench mark หลังขาด สำหรับการป้อนที่ 270 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	68
4.47 ระยะเวลา bench mark หลังขาด สำหรับการป้อนที่ 300 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	69
4.48 ระยะเวลา bench mark หลังขาด สำหรับการป้อนที่ 330 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	69
4.49 ความคงตัวหลังจากยืด สำหรับการป้อนที่ 270 องศาเรนไฮต์.....	70
4.50 ความคงตัวหลังจากยืด สำหรับการป้อนที่ 300 องศาเรนไฮต์.....	70
4.51 ความคงตัวหลังจากยืด สำหรับการป้อนที่ 330 องศาเรนไฮต์.....	70
4.52 ความแข็ง สำหรับการป้อนที่ 270 องศาเรนไฮต์.....	71
4.53 ความแข็ง สำหรับการป้อนที่ 300 องศาเรนไฮต์.....	71
4.54 ความแข็ง สำหรับการป้อนที่ 330 องศาเรนไฮต์.....	72
4.55 การต้านการฉีกขาด สำหรับการป้อนที่ 270 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	73
4.56 การต้านการฉีกขาด สำหรับการป้อนที่ 300 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	73
4.57 การต้านการฉีกขาด สำหรับการป้อนที่ 330 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	74
4.58 ความยืดการฉีกขาด สำหรับการป้อนที่ 270 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	74
4.59 ความยืดการฉีกขาด สำหรับการป้อนที่ 300 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	75
4.60 ความยืดการฉีกขาด สำหรับการป้อนที่ 330 องศาเรนไฮต์ และป้อนแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	75

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ณ

ภาพประกอบ	หน้า
4.61 การต้านทานต่อการเติบโตของรอย สำหรับการป่มที่ 270 องศาเรนไฮท์.....	76
4.62 การต้านทานต่อการเติบโตของรอย สำหรับการป่มที่ 300 องศาเรนไฮท์.....	76
4.63 การต้านทานต่อการเติบโตของรอย สำหรับการป่มที่ 330 องศาเรนไฮท์.....	77
4.64 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 270 องศาเรนไฮท์ เวลา 364 นาที.....	78
4.65 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 270 องศาเรนไฮท์ เวลา 480 นาที.....	78
4.66 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 270 องศาเรนไฮท์ เวลา 768 นาที.....	78
4.67 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 270 องศาเรนไฮท์ เวลา 960 นาที.....	79
4.68 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 300 องศาเรนไฮท์ เวลา 96 นาที.....	79
4.69 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 300 องศาเรนไฮท์ เวลา 120 นาที.....	79
4.70 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 300 องศาเรนไฮท์ เวลา 192 นาที.....	80
4.71 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 300 องศาเรนไฮท์ เวลา 240 นาที.....	80
4.72 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 330 องศาเรนไฮท์ เวลา 24 นาที.....	80
4.73 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 330 องศาเรนไฮท์ เวลา 30 นาที.....	81
4.74 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 330 องศาเรนไฮท์ เวลา 48 นาที.....	81
4.75 ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ สำหรับการป่มที่ 330 องศาเรนไฮท์ เวลา 60 นาที.....	81
4.76 ลักษณะของขึ้นตัวอย่าง ก่อนทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.....	82

ภาพประกอบ	หน้า
4.77 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 364 นาที.....	83
4.78 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 480 นาที.....	83
4.79 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 768 นาที.....	83
4.80 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 960 นาที.....	84
4.81 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 96 นาที.....	84
4.82 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 120 นาที.....	84
4.83 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 192 นาที.....	85
4.84 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 240 นาที.....	85
4.85 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 24 นาที.....	85
4.86 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 30 นาที.....	86
4.87 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 48 นาที.....	86
4.88 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 60 นาที.....	86
4.89 มอดูลัสที่ 400 % สำหรับเบลตเตอร์ ที่ไม่บ่มและบ่มเร่ง 96 ชั่วโมง.....	90
4.90 มอดูลัสที่ 400 % สำหรับเบลตเตอร์ ที่บ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	90
4.91 การต้านแรงดึง สำหรับเบลตเตอร์ 1 ที่ไม่บ่มและบ่มเร่ง 96 ชั่วโมง.....	91
4.92 การต้านแรงดึง สำหรับเบลตเตอร์ ที่บ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.....	91

ภาพประกอบ	หน้า
4.93 ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับแบลคเดออร์ ที่ไม่ปั๊มและปั๊มแรง 96 ชั่วโมง.....	92
4.94 ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับแบลคเดออร์ ที่ปั๊มแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	92
4.95 ความแข็ง สำหรับแบลคเดออร์ ที่ไม่ปั๊มและปั๊มแรง 96 ชั่วโมง.....	93
4.96 ความแข็ง สำหรับแบลคเดออร์ ที่ปั๊มแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	93
4.97 อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติ ของแบลคเดออร์.....	94
4.98 ระยะ bench mark หลังขาด สำหรับแบลคเดออร์ ที่ปั๊มแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	95
4.99 ความคงตัวหลังจากยืด สำหรับแบลคเดออร์.....	95
4.100 การต้านการฉีกขาด สำหรับแบลคเดออร์ ที่ปั๊มแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	96
4.101 ความยืดจากฉีกขาด สำหรับแบลคเดออร์ ที่ปั๊มแรงที่เวลาต่าง ๆ.....	97
4.102 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างของแบลคเดออร์ ปั๊มเวลา 14 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานไอโซน.....	97
4.103 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างของแบลคเดออร์ ปั๊มเวลา 16 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานไอโซน.....	98
4.104 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างของแบลคเดออร์ ปั๊มเวลา 18 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานไอโซน.....	98
4.105 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างของแบลคเดออร์ ปั๊มเวลา 20 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานไอโซน.....	98
4.106 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างของแบลคเดออร์ ปั๊มเวลา 22 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานไอโซน.....	99
4.107 ลักษณะของขึ้นตัวอย่างของแบลคเดออร์ ปั๊มเวลา 24 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานไอโซน.....	99
4.108 อายุการใช้งานของแบลคเดออร์ที่ผลิตตามขั้นตอนในอุตสาหกรรมโดยปั๊ม ที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ขั้นตอนการบ่ม (Vulcanization) เป็นขั้นตอนที่สำคัญ ขั้นตอนหนึ่ง โดยนำยางรถยนต์ดิบที่สร้างเสร็จแล้ว (green tire) จากขั้นตอนการสร้างยาง (Tire Building) มาเข้าแบบพิมพ์ (mold) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับยางจนเกิดการสุกตัว (cured tire)

ในขั้นตอนการบ่มนี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ แบลดเดอร์ (bladder หรือ curing membrane) ซึ่งถูกนำมายึดติดที่บริเวณตรงกลางของแบบพิมพ์โดยทำหน้าที่ให้น้ำร้อน ไอน้ำ และน้ำเย็นไหลผ่าน เพื่อให้ความร้อนกับยางรถยนต์ดิบที่สร้างเสร็จแล้ว ดังนั้นแบลดเดอร์จึงเป็นอุปกรณ์ ที่ต้องมีสมบัติรับความดันและความร้อนได้สูงมาก และยังต้องป้องกันการซึมผ่านอากาศ ได้ดีอีกด้วย

ข้อบกพร่องของแบลดเดอร์ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแบลดเดอร์ ทำให้ประสิทธิภาพการบ่มยางรถยนต์ลดลง และเกิดการเสียเวลา (down time) ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ สำหรับขั้นตอนการเปลี่ยนแบลดเดอร์ , การอุ่นแบลดเดอร์ในเครื่องบ่มยางรถยนต์ (tire press) และแบลดเดอร์ที่มีข้อบกพร่องทำให้ยางรถยนต์ที่ได้มีข้อบกพร่องหรือตำหนิ

การปรับปรุงสมบัติของแบลดเดอร์ ดำเนินการได้ดังนี้⁽¹⁾

ก. ปรับปรุงสูตรการผสมของส่วนผสมยางแบลดเดอร์โดย

- เพิ่มหรือลดปริมาณ Phenol-formaldehyde resin ซึ่งเป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโมเลกุล
- เปลี่ยนชนิดของยางบิวทิล เพื่อเพิ่มหรือลดปริมาณไอโซพรีนในยางบิวทิล ซึ่งมีผลต่อปริมาณความไม่อิ่มตัว (unsaturation unit) ในสายโซ่โมเลกุล ซึ่งการเกิดพันธะเชื่อมโยง (cross linking) จะเกิดที่พันธะคู่

ข. การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการบ่มแบลดเดอร์ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการบ่มคือ อุณหภูมิ และเวลา ที่ใช้ มีผลต่อการเกิดพันธะเชื่อมโยง ซึ่งกระทบต่อสมบัติเชิงกล (physical properties) และสมบัติด้านพลศาสตร์ (dynamic properties) ของแบลดเดอร์ที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการปมแบลคเดอร์ เพื่อให้ได้แบลคเดอร์ที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1. ศึกษาและทดลองหา สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการปมแบลคเดอร์ที่ใช้ในการปมยางรถจักรยานยนต์ คือ อุณหภูมิ และเวลา
- 1.3.2. ศึกษาสมบัติเชิงกล และ สมบัติด้านพลศาสตร์ ที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.3. รวบรวมข้อมูลอายุการใช้งาน และข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของแบลคเดอร์ดังกล่าว และเปรียบเทียบกับข้อมูลของแบลคเดอร์ที่ผลิตจาก สภาวะการปมยางในอุตสาหกรรม

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการปมแบลคเดอร์ซึ่งใช้ในการปมยางรถจักรยานยนต์ จะพิจารณาปัจจัยด้านต่าง ๆ ดังนี้

- 1.4.1. สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านพลศาสตร์ของแบลคเดอร์ที่ผลิต ที่ดีที่สุด และจะต้องมีค่าในระดับที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน
- 1.4.2. การผลิตแบลคเดอร์ดังกล่าวต้องไม่เสียเวลามากกว่าที่ผลิตในอุตสาหกรรมปัจจุบัน
- 1.4.3. การผลิตแบลคเดอร์ดังกล่าวต้องไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานที่ป้อน มากกว่าที่ผลิตในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

- 1.5.1. ทำการทดลองกับแบลคเดอร์ที่ใช้สำหรับการบ่มยางรถจักรยานยนต์ เนื่องจากแบลคเดอร์มีขนาดเล็ก และมีราคาไม่สูงมาก
- 1.5.2. การใช้เครื่องอบยางแบบอัด จะจำกัดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์เท่านั้น
- 1.5.3. เครื่องอบยางแบบอัดสำหรับการผลิตแบลคเดอร์ที่ใช้ไม่สามารถปรับแต่งอุณหภูมิได้ จึงทำให้ทดลองเฉพาะ เวลา เท่านั้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1. เพิ่มประสิทธิภาพในการบ่มยางรถจักรยานยนต์
- 1.6.2. ลดการเสียเวลาสำหรับขั้นตอนการเปลี่ยน และการอุ่นแบลคเดอร์ในเครื่องบ่มยาง ทำให้เพิ่มกำลังการผลิต
- 1.6.3. ลดปริมาณของยางรถจักรยานยนต์ที่มีข้อบกพร่องจากความไม่สมบูรณ์ของแบลคเดอร์ ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตยางรถจักรยานยนต์

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.7.1 การหาการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ.
 - เตรียมชิ้นทดสอบของส่วผสมยางตาม ASTM D 3182-89.
 - ทดสอบสมบัติเชิงกลที่สำคัญและบ่งชี้คุณภาพของแบลคเดอร์ ได้แก่
 - มอดูลัสที่ 400% , การต้านแรงดึง และ ความยืดหยุ่นตาม ASTM D 412-98a.
 - ความแข็ง ตาม ASTM D 2249-97.
 - อัตราการเสื่อมสภาพจากการบ่มเร่งโดยความร้อน สำหรับการต้านแรงดึง ตาม ASTM D 573-88 (reapproved 1994)
 - เตรียมชิ้นทดสอบของส่วนผสมยางตาม ASTM D 3182-89 โดยใช้สภาวะในการบ่ม ที่ให้แบลคเดอร์มีสมบัติที่มีค่าในระดับที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

- ทดสอบสมบัติเชิงกลที่สำคัญและบ่งชี้คุณภาพของแบลตเดอร์ ได้แก่
 - มอดูลัสที่ 400% , การต้านแรงดึง และ ความยืดหยุ่นขาด ตาม ASTM D 412-98a.
 - ความแข็ง ตาม ASTM D 2249-97.
 - อัตราการเสื่อมสภาพจากการบ่มเร่งโดยความร้อน สำหรับการต้านแรงดึง ตาม ASTM D 573-88 (reapproved 1994)
 - การต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ ตาม ASTM D 430-95.
 - การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก ตาม ASTM D 813-95.
 - การต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยโอโซน ตาม JIS K6301-1995.
 - การต้านการฉีกขาด ตาม PM 00072 MM072IKL
- ประเมินหาสภาวะที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมที่สุด.

1.7.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มแบลตเดอร์ในอุตสาหกรรม

- ผลิตแบลตเดอร์ตามขั้นตอนการผลิตแบลตเดอร์ในอุตสาหกรรมโดยใช้สภาวะ ในการบ่มตามข้อ 1.7.1
- เตรียมขึ้นทดสอบ ตาม ASTM D 3183-84.
- ดำเนินการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้
 - การทดสอบ มอดูลัสที่ 400% , การต้านแรงดึง และ ความยืดหยุ่นขาด ตาม ASTM D 412-98a.
 - การทดสอบการต้านการฉีกขาด ตาม PM 00072 MM072IKL
 - การต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยโอโซน ตาม JIS K6301-1995
 - การทดสอบการต้านแรงต่อการบ่มเร่งโดยความร้อน ตาม ASTM D 573-88 (reapproved1994).

1.7.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยพิจารณาถึงอายุการใช้งานของ
แบตเตอรี่

- ผลิตแบตเตอรี่ตามขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรม
- นำแบตเตอรี่ที่ได้ประกอบเข้ากับเครื่องบ่มยางรถจักรยานยนต์ และทำการ
บ่มยางรถจักรยานยนต์ ตามกระบวนการในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน
- เก็บข้อมูลอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละลูก และข้อมูลลักษณะของข้อ
บกพร่องที่ทำให้แบตเตอรี่ลูกดังกล่าวไม่สามารถใช้ต่อได้.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1. สูตรการผลิตแบลดเดอร์⁽²⁾

แบลดเดอร์ทั่วไป ผลิตจากยางสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบหลัก และสารเติมต่าง ๆ ซึ่งมีหน้าที่ต่างกัน สูตรทั่วไป สำหรับการผลิตแบลดเดอร์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 : สูตรการผลิตแบลดเดอร์

ส่วนผสม	ปริมาณ (PHR)	หน้าที่
IIR 268	100	ยางสังเคราะห์.
Neoprene W	5	สารกระตุ้น.
Red seal Zinc Oxide	5	ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการบ่มเร่งของเรซิน.
Castor Oil	2	พลาสติกไซเซออร์ และ สารเพิ่มการหล่อลื่น ระหว่างแบลดเดอร์ และห้องยางรถยนต์.
Processing Additive. (STRUKTOL 40MS)	2	สารช่วยในการผลิต จากการลดมอดูลัส โดยปรับปรุงความยืด และความต้านทานการฉีกขาด ในขั้นตอนการผสมยางมาสเตอร์แบทช์.
HAF Carbon Black	50	ช่วยปรับคุณสมบัติ.
Phenol- Formaldehyde Resin	8	สารบ่มเร่ง ที่มีหมู่เมทิล.
Processing Additive (STRUKTOL WB16)	1	สารช่วยในการผลิต ในขั้นตอนการผสมในยางไฟนัล

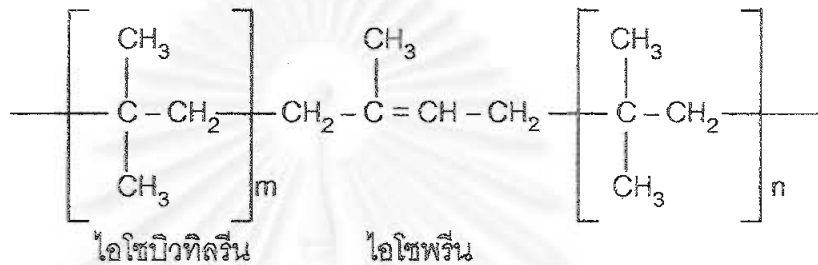
หมายเหตุ : PHR (Parts per hundred parts of rubber) เป็นวิธีการบอกสัดส่วนสารต่าง ๆ ต่อยาง 100 ส่วนเป็นเกณฑ์

2.1.2. หน้าที่ของส่วนผสมในสูตรการผลิตแบดเดอร์^{(2),(3),(4)}

— ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber)

ยางสังเคราะห์ที่ใช้ในการผลิตแบดเดอร์ มักนิยมใช้ยางบิวทิล เนื่องจากมีสมบัติ ทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อน และป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี.

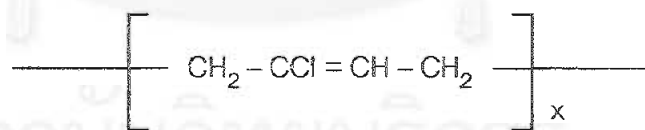
โครงสร้างทางเคมีของยางบิวทิล ดังนี้



ยางบิวทิล เป็นยางสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของไอโซพรีน และ ไอโซบิวทิลรีน ที่เติมเข้าไปประมาณ 0.8 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อสามารถให้เกิดการบ่มได้ด้วยกำมะถันได้.

— สารกระตุ้น (Activators)

การเกิดการบ่มเร่งสำหรับยางบิวทิล และเรซิน เป็นปฏิกิริยาแบบ Friedel-Crafts และใช้สารกระตุ้นประเภท Metal halide ที่นิยมใช้ ได้แก่ Neoprene W ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังนี้



— ตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)

ซิงค์ออกไซด์ ที่เติมลงในสูตรการผลิตแบดเดอร์ สามารถรวมตัวกับสารกระตุ้น กลายเป็น Zinc halide ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการบ่มยาง

— พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

สารพลาสติไซเซอร์ที่นิยมเติม คือ น้ำมันละหุ่ง (Castor oil) ซึ่งไม่เพียงทำหน้าที่พลาสติไซเซอร์เท่านั้น แต่ยังช่วยหล่อลื่นระหว่างแบดเดอร์และห้องยางรถยนต์ในขบวนการบ่มยางรถยนต์

— สารช่วยในการผลิต (Processing Aids)

โดยทั่วไปสารช่วยในการผลิตนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ในส่วนผสมแบลคเดอร์ แต่มีการแนะนำให้ใช้ในกรณีพิเศษดังนี้

- เพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลสำหรับแบลคเดอร์ขนาดใหญ่ ในระบบการป้อนแบบอัด เช่น การใช้ STRUKTOL WB16
- เพื่อเพิ่มการกระจายตัวระหว่างผสม สำหรับเครื่องผสมเก่าที่ไม่สามารถควบคุมได้ดี

— เขม่าดำ (Carbon Blacks)

โดยทั่วไปแล้ว เขม่าดำ HAF-grade (High Abrasion Furnace Black) ที่มีโครงสร้างสูง ปริมาณ 50-60 phr จะเติมเพื่อช่วยปรับสมดุลของสมบัติ ปริมาณของเขม่าดำที่ใช้มีผลต่อสมบัติ เช่นการใส่เขม่าดำในปริมาณต่ำ (35 phr) จะทำให้สมบัติต้านทานต่ออากาศร้อนได้ดีขึ้น และการใส่เขม่าดำในปริมาณสูง (65 phr) จะทำให้สมบัติการต้านทานต่อไอน้ำได้ดีขึ้น

— สารปมเร่ง (Curing Agents)

โดยทั่วไปแบลคเดอร์ถูกปมเร่งด้วย Alkyl phenol formaldehyde resin ที่ประกอบด้วยหมู่เมทิลอล (-CH₂OH) สารปมเร่งนี้คือส่วนของ วงแหวน phenolic ที่ติดกับหมู่เมทิลลิน ที่ส่วนปลายของหมู่เมทิลอล เป็นจุดที่โมเลกุลเรซินรวมตัวกับโมเลกุลของบิวทิล การปมเร่งโดยใช้เรซินทำให้ เกิดพันธะระหว่างคาร์บอนและคาร์บอนซึ่งมีความทนทานดีมากเมื่อมีแรงมากกระทำ

พันธะ Van der Meer เกิดขึ้นระหว่าง -OH จากหมู่เมทิลอล ที่รวมตัวกับไฮโดรเจนที่คาร์บอนตำแหน่งอัลฟา ทำให้เกิดพันธะระหว่างคาร์บอนและคาร์บอนของเรซิน และโมเลกุลบิวทิลที่ตำแหน่งดังกล่าว การเชื่อมโยงของพันธะเกิดขึ้นเมื่อมีการแทนที่ปลายทั้งสองของโมเลกุลเรซิน

2.1.3. ขั้นตอนการผลิตแปลคเคอร์⁽⁵⁾

— การผสมยาง

การผสมสารเคมีเข้าไปในยาง จะกระทำในขณะที่ยางอยู่ในสถานะเป็นพลาสติก (Plastic state) โดยทำการผสมยางแบบ 2 ขั้นตอนในเครื่องผสมยางแบบปิด หรือ เครื่องผสมยางแบบบานบุรี (Banbury mixer)

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการนำยางสังเคราะห์ เขม่าดำ ซิงค์ออกไซด์ น้ำมัน และอื่น ๆ ยกเว้น สารช่วยในการผลิต คือ STRUKTOL WB16 และ เรซิน เข้าผสมตามเวลาและอุณหภูมิ ที่กำหนด เมื่อเข้ากันดีจะปล่อยลงมาที่เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวดีขึ้น และเป็นการรีดแผ่น โดยขั้นตอนนี้เรียกว่า ขั้นตอนมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch step)

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำยางมาสเตอร์แบทช์ เข้าผสมกับ สารช่วยในการผลิต คือ STRUKTOL WB16 และเรซิน ดำเนินการดังในขั้นตอนมาสเตอร์แบทช์ โดยขั้นตอนนี้เรียกว่า ขั้นตอนไฟนัล (Final Step)

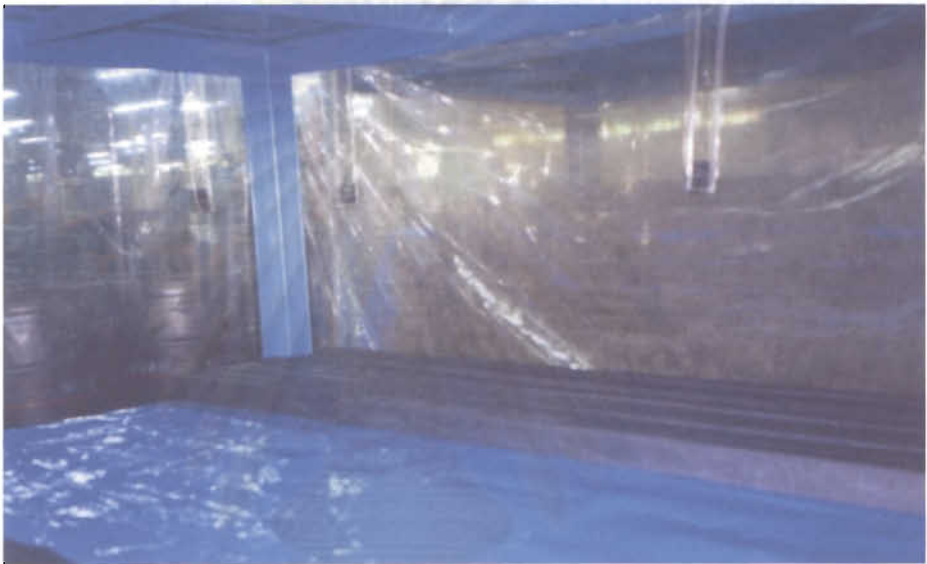
— การหล่อเย็น

หลังการผสมในขั้นตอนมาสเตอร์แบทช์ และขั้นตอนไฟนัลแล้ว ส่วนผสมที่ได้เรียกว่า สต็อก (stock) จะต้องได้รับการทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว โดยการแช่ในอ่างน้ำเพื่อลดความร้อน ในอ่างน้ำจะต้องไม่มีส่วนผสมของสิ่งปนเปื้อนที่ไม่เข้ากับสต็อก ซึ่งจะทำให้เกิดการไม่เข้ากันของสต็อก เช่น สารละลายน้ำสบู่

— การขึ้นรูป

การขึ้นรูปเริ่มจากการอุ่นสต็อกบนเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง เพื่อลดความเป็นรูปทูนโดยการไล่อากาศ จากนั้นจึงส่งเข้าสู่เครื่องรีดยาง (Extruder) โดยให้มีความดันสูงที่สุด เพื่อลดปริมาณอากาศที่จะเข้าสู่เครื่องรีดยาง ซึ่งอุณหภูมิของสต็อกที่ผ่านการอุ่นก่อนเข้าเครื่องรีดยาง ควรอยู่ระหว่าง 80 – 90 องศาเซลเซียส สต็อกเคลื่อนที่ภายในเครื่องรีดยางโดยสกรูเป็นตัวขับเคลื่อนพาเข้าสู่แบบพิมพ์ (die) ที่มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตันยาว เรียกว่า สลักแปลคเคอร์ (Slug

bladder) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คุณหมุมิของสลักแบลดเดอร์ ควรอยู่ระหว่าง 110 – 120 องศาเซลเซียส จากนั้นควรพ่นด้วยละอองน้ำสู่สลักแบลดเดอร์ เพื่อลดอุณหภูมิ แล้วจึงตัดสลักแบลดเดอร์ ให้มีน้ำหนักมากกว่าแบลดเดอร์ ที่ต้องการประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และต้องไม่มีการใช้สารหล่อลื่น ระหว่างการตัด ภายหลังจากตัดห่อสลักแบลดเดอร์ด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อ ป้องกันสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อน



รูปที่ 2.1 : สลักแบลดเดอร์ที่ได้จากเครื่องรีดยาง



รูปที่ 2.2 : การเตรียมสลักแบลดเดอร์ก่อนเข้ากระบวนการบ่ม.

จากนั้นจะเตรียมสลักแบลดเดอร์ก่อนเข้ากระบวนการบ่ม ดังรูปที่ 2.2 โดยต่อปลายสลักแบลดเดอร์ที่ตัดแล้ว เป็นรูปคล้ายโดนัท

– การบ่มยาง

นำสลักแบลดเดอร์ ดังรูปที่ 2.2 เข้าแบบพิมพ์ และต้องมั่นใจว่าผิวของแบบพิมพ์ปราศจากน้ำมันหล่อลื่น และเศษแบลดเดอร์เก่าที่ค้างในแบบพิมพ์ การบ่มแบลดเดอร์ควรบ่มที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่จะใช้งาน เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ซึ่งเรซินแบบเมทิลลอคอลฟินอลสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ 175 – 215 องศาเซลเซียส

เครื่องบ่มแบลดเดอร์ แบบอัด (Hydraulic press) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งมีแบบพิมพ์แบลดเดอร์ ที่มีรูปร่างแบบเดียวกับผลิตภัณฑ์คือแบลดเดอร์ อยู่ภายใน

ทำการบ่มแบลดเดอร์ ตามอุณหภูมิ และเวลาที่กำหนด และระหว่างกระบวนการบ่มจะต้องให้ความดันสูงคงที่ตลอดเวลา แบลดเดอร์ที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้วมีรูปทรง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 : เครื่องบ่มแบลดเดอร์ ที่มีแบบพิมพ์อยู่ภายใน.



รูปที่ 2.4 : แบลดเดอร์ ที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้ว.

— การ Post cure

การ post cure คือการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะ ภายหลังจากการบ่มยางมาแล้ว ทำให้ยืดอายุการใช้งานของแบลดเดอร์ ตัวอย่างสภาวะที่ใช้ ในการ post cure เช่น

- 30 นาที ที่ 190 องศาเซลเซียส ในตู้อบ
- 5 นาที ที่ 240 องศาเซลเซียส ในอ่างทราย

— การจัดเก็บก่อนใช้งาน

จากหลักเกณฑ์ทั่วไปแบลดเดอร์จะต้องจัดเก็บประมาณ 2-4 อาทิตย์ หลังกการบ่ม การบ่ม ก่อนนำมาใช้งาน เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบลดเดอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มพันธะเชื่อมโยง และลด stress relaxation.

2.1.4. การใช้งานเบลตเตอร์^{(6),(7)}

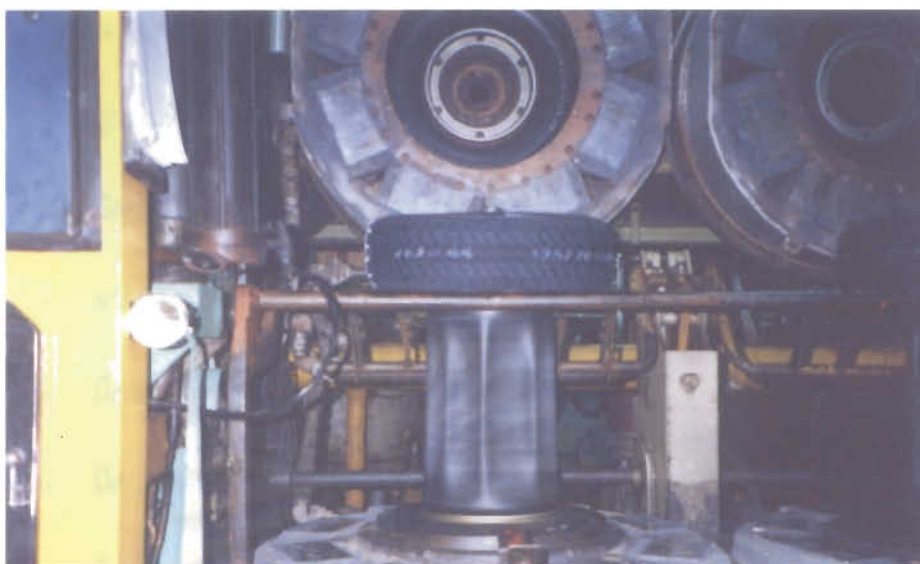
อุปกรณ์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งเบลตเตอร์ และในการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่สร้างเสร็จแล้ว คือ แบบพิมพ์ฝาล่าง มีส่วนสัมพันธ์กัน อุปกรณ์ทั้งหมดรวมถึงแบบพิมพ์ฝาล่างจนถึงเบลตเตอร์สามารถขยายตัวและเคลื่อนที่ขึ้น เบลตเตอร์สามารถขยายตัวและหดตัวในแนวรัศมีและแนวตั้ง ลูกสูบที่ควบคุมเบลตเตอร์เกี่ยวเนื่องกับแบบพิมพ์ฝาล่าง และเป็นส่วนที่ทำให้เบลตเตอร์ยืดออกในแนวนอน และยืดต่อมาในแนวรัศมี

ยางรถยนต์ที่สร้างเสร็จแล้ว จะอยู่ที่ขอบของเบลตเตอร์ โดยลวดขอบล้อ (bead) ด้านล่างของยางรถยนต์ จะสัมผัสกับส่วนบนของผิวด้านในของแบบพิมพ์ฝาล่าง ชุดกระบอกสูบและลูกสูบจะเคลื่อนที่มารวมกันกับตัวส่งยางรถยนต์ที่สร้างเสร็จแล้ว ชุดลูกสูบบดงล่างเมื่อยืดออกจะนำให้ลูกสูบที่ควบคุมเบลตเตอร์ขยายตัวในแนวรัศมีและดันเบลตเตอร์เข้าภายในยางรถยนต์ที่สร้างเสร็จแล้ว จากนั้นจึงเริ่มฉีดไอน้ำเข้าไปในช่องว่างของเบลตเตอร์ ระหว่างชุดหนีบด้านบนและล่าง เบลตเตอร์จะถูกขยายตัวให้พองเพื่อให้ผิวของเบลตเตอร์สัมผัสกับห้องยางรถยนต์ที่สร้างเสร็จแล้ว เกิดการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำที่ไหลเวียนอยู่ภายในเบลตเตอร์ และเกิดการบ่มยางรถยนต์ดังกล่าว.

เมื่อยางรถยนต์สุกตัวตามเวลาที่กำหนดแล้ว ฝาด้านของเครื่องบ่มยางรถยนต์ จะเคลื่อนที่ขึ้น เบลตเตอร์จะถูกระบายน้ำร้อน, ไอน้ำ และความดัน จากนั้นเบลตเตอร์จะแฟบ และเคลื่อนที่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 : เบลตเตอร์ประกอบเข้ากับเครื่องบ่มของยางรถยนต์



รูปที่ 2.6 : หลังจากบ่มยางเสร็จแล้ว แบลดเดอร์จะแฟบ และเคลื่อนที่ขึ้น.

2.1.5. การบำรุงรักษาแบลดเดอร์ระหว่างการใช้งาน⁽⁵⁾.

แบลดเดอร์ที่ผิวไม่สมบูรณ์ สามารถทำให้เกิดรอยแผลที่ผิวของยางรถยนต์ได้หลายกรณีที่มีการ แพร่ของสารเคมีจากด้านในของยางรถยนต์ที่สัมผัสกับแบลดเดอร์เข้าสู่ผิวของแบลดเดอร์ ซึ่งทำให้ผิวของแบลดเดอร์มีปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการบ่มยางรถยนต์สูงถึง 4 เปอร์เซ็นต์ การป้องกันแบลดเดอร์จากการเกิดข้อบกพร่องที่ผิว ทำได้โดยทำความสะอาดผิวของแบลดเดอร์ ระหว่างการใช้งานทุก 8 ชั่วโมง โดยทาดด้วยน้ำสบู่ หรือ ซิลิโคน

2.1.6. สมบัติที่ต้องการของแบลดเดอร์⁽⁸⁾

แบลดเดอร์มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการผลิตของอุตสาหกรรมยางรถยนต์ อายุการใช้งานของแบลดเดอร์สามารถใช้ทำนายความสามารถในการผลิตของเครื่องบ่มยางรถยนต์ ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการผสมยาง การฉาบผ้าใบ การรีดยาง และการประกอบยาง ของกระบวนการผลิตยางรถยนต์ด้วย

ดังนั้น แบลดเดอร์ที่ดี ควรจะมีสมบัติ ดังต่อไปนี้

- ถูกปมที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน ๆ
- มีความต้านทานต่อการถูกปมเร่งด้วยความร้อนดี
- สามารถหักงอได้ดี เมื่อถูกปมเร่งด้วยความร้อน
- มีความต้านทานต่อการฉีกขาดดี
- มีความต้านทานต่อโอโซนดี
- มีความต้านทานการถูกปมเร่งด้วยความร้อนดีมาก

2.1.7. ลักษณะข้อบกพร่องของแบลดเดอร์⁽⁸⁾

ตารางที่ 2.2 : แสดงตัวอย่างลักษณะข้อบกพร่องหรือตำหนิต่าง ๆ ที่พบในแบลดเดอร์

ข้อบกพร่อง	สาเหตุ	ข้อเสนอแนะ
1. แยกเป็นชั้น. (ผิวไม่เรียบ)	- เกิดการปนเปื้อน	- ตรวจสอบการปนเปื้อนจากขั้นตอนการผสม และการขึ้นรูป.
2. แยกเป็นชั้น. (ผิวเรียบ)	- ส่วนผสมสุกก่อนกำหนด. - มีสารหล่อลื่นและสารระเหยปนเปื้อน.	- ลดปริมาณไอโซพรีนในยางบิวทิล. - ลดปริมาณเรซิน. - ลดปริมาณหมู่เมทิลอลล์ในเรซิน. - เพิ่มการกระจายตัวของเขม่าดำ เพื่อลดขั้นตอนการได้รับความร้อนจากการทรงในกระบวนการขึ้นรูป (straining). - เพิ่มความสามารถในการไหล.
3. ผิวแข็งเปราะ.	- สารเคมีจากยางรถยนต์แพร่เข้าสู่ผิวของแบลดเดอร์.	- ทำความสะอาดผิวของแบลดเดอร์ตามข้อ 5. - ใช้ยางบิวทิลชนิดที่มีเปอร์เม็น.

ตารางที่ 2.2 : แสดงตัวอย่างลักษณะข้อบกพร่องหรือตำหนิต่าง ๆ ที่พบในแบลคเดอร์ (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	สาเหตุ	ข้อเสนอแนะ
4. Vent แดกหัก.	- แบลคเดอร์มีขนาดเล็กกว่า ยางรถยนต์. - ความต้านทานต่อการบ่ม แรงต่ำ.	- เพิ่มความยืดหยุ่นร้อน. - ลดปริมาณเรซิน. - ลดปริมาณไอโซพรีนในยางบิวทิล.
5. แบลคเดอร์ยืดแล้ว ไม่หดกลับ.	- การคงตัวระหว่างการยืดสูง (Tension Set).	- เพิ่มปริมาณพันธะเชื่อมโยง. - เพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการบ่ม. - เพิ่มปริมาณเรซิน.
6. ด้านในของแบลค เดอร์หลวมละลาย.	- เกิดการออกซิเดชัน. - เกิดการปนเปื้อนจากโลหะ หนัก.	- มีออกซีเจนในไอน้ำหรือน้ำ (มากกว่า 150 ppm) - ตรวจสอบระบบขึ้น-ลงของแบลค เดอร์ระหว่างการใช้งาน.
7. มีฟองอากาศ หรือมี รูพรุน.	- ตรวจสอบสถานะของการ ผสมยาง. - อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป สูง.	- รูพรุนเกิดจากอุณหภูมิของการขึ้นรูป สูงซึ่งอาจจะทำให้ส่วนผสมสุกก่อน กำหนด.
8. มีก้อนยางแข็งใน ส่วนผสม.	- Neoprene สุกก่อนกำหนด.	- เพิ่มขั้นตอนการกรองในกระบวนการ ขึ้นรูป.
9. ฉีกขาด.	- ความยืดหยุ่นร้อนต่ำ.	- ปรับปรุงความยืดหยุ่นร้อน. - ลดปริมาณเรซิน. - เพิ่มปริมาณไอโซพรีนในยางบิวทิล.
10. รอยต่อแยก.	- มีสารหล่อลื่นปนเปื้อน. - มีสารระเหยปนเปื้อน.	- ห้ามใช้สารระเหยหรือสารหล่อลื่น ระหว่างการต่อ.
11. แบลคเดอร์ใหม่มี ผิวไม่สวย.	- แบบพิมพ์สกปรก.	- ทำความสะอาดผิวแบบพิมพ์.
12. มีรอยพิบที่ผิว.	- แบลคเดอร์มีขนาดใหญ่ กว่ายางรถยนต์.	- ใช้ขนาดของแบลคเดอร์ให้เหมาะกับ ยางรถยนต์.

โดยทั่วไปยางที่ผ่านกระบวนการบ่มเร่งแล้วจะเกิดการเสื่อมสภาพ⁽⁹⁾ โดยอนุมูลอิสระและไฮดรอกซิลเป็นปัจจัยหลัก ทำให้โครงสร้างยางเสื่อมสภาพ ผลก็คือ สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านพลศาสตร์ของยางเสื่อมลง เช่น ยางจะค่อย ๆ แข็งขึ้น โมดูลัสสูงขึ้น ความเป็นอีลาสติคจะลดลง เกิดการแตกบนผิวและยางจะขาดอย่างรวดเร็ว เมื่อออกแรงกระทำซ้ำ ๆ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของยางที่บ่มเร่งสามารถ กัดขึ้นทั้งในโมเลกุลหลักของยาง และที่พันธะเชื่อมโยง การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป โมเลกุลหลักของยางจะขาดออกจากกันเกิดเป็นสายโซ่เล็ก ๆ มวลโมเลกุลจะลดลง ดังนั้น ความเป็นอีลาสติคจะลดลงด้วย

เมื่ออนุมูลอิสระเกิดปฏิกิริยาแล้ว จะเกิดการแพร่ขยายด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ หากไม่มีการหยุดปฏิกิริยา กระบวนการดังกล่าวแยกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ก) ขั้นตอนเริ่มต้น.

ในระยะเริ่มต้นจะเกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ บนสายโซ่ ซึ่งสารตัวนี้จะสลายตัวโดยใช้แสงอุตราไวโอเลต ทำให้เกิดอนุมูลเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีความว่องไวในปฏิกิริยา.



ข) ขั้นตอนการแพร่ขยาย.

อนุมูลที่เกิดขึ้นจากขั้นตอน จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสายโซ่ที่ตำแหน่งที่มีออกซิเจน แล้วทำให้โมเลกุลของสายโซ่ขาดออกจากกัน และทำให้เกิดสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนสายโซ่ของยาง ซึ่งต่อมาจะสลายตัวให้อนุมูลอิสระมากขึ้น โดยการเกิดอนุมูลอิสระนี้ ก่อให้เกิดการเริ่มต้นของการเสื่อมสภาพต่อไป.





เนื่องจากอนุมูลอิสระมีความว่องไวในปฏิกิริยามาก และทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระตัวอื่น ๆ ทำให้สภาพการเกิดอนุมูลหมดไป ดังนั้นการลดปริมาณการเสื่อมสภาพลง แต่ในอุตสาหกรรมยาง กระบวนการสิ้นสุดของปฏิกิริยาดังกล่าวไม่เกิดขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของอนุมูลอิสระเพียงพอ จะทำลายโซ่โมเลกุลของยางต่อไปเรื่อย ๆ .



โมเลกุลของยางที่มีไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 2 หมู่ $(\text{ROOH})_2$ จะเสื่อมสภาพไปเป็นโมเลกุลของยางที่มีอนุมูลเปอร์ออกไซด์อยู่ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสายโซ่ของยาง ทำให้สายโซ่ขาด และเกิดอนุมูลตัวใหม่เกิดขึ้น ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สภาวะที่ใช้บ่มยางที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้สมบัติทั้งหมดที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีการบ่มยางแบบเป็นขั้น (Step curing method) มีข้อดีกว่า วิธีการบ่มยางแบบต่อเนื่อง (Continuous curing method) เนื่องจาก สภาวะที่ใช้บ่มยางที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากสมบัติต่าง ๆ เช่น มอดูลัส การต้านแรงดึง การต้านการฉีกขาด เป็นต้น แต่บางครั้งพบว่าสมบัติทั้งหมดไม่ได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงในทิศทางเดียวกันระหว่างการบ่ม และสมบัติที่สูงสุดของแต่ละรายการไม่ได้เกิดขึ้นที่เวลาที่ใช้บ่มเดียวกัน การต้านแรงดึงสูงสุดเกิดที่เวลาที่ใช้ในการบ่มสั้นกว่ามอดูลัสสูงสุด อย่างไรก็ตามการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการบ่มแบบเป็นขั้นไม่สามารถใช้สำหรับปรากฏการณ์ที่ต้องการค่าความคลาดเคลื่อนน้อย ๆ ซึ่งจากการวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติด้านพลศาสตร์ สำหรับวิธีการบ่มยางแบบเป็นขั้น ของส่วนผสมยางของยางอีพดีเอ็ม (EPDM) และโบรโมบิวทิล และ ใช้เครื่องทดสอบ Monsanto Rheometer สำหรับ วิธีการบ่มยางแบบต่อเนื่อง ซึ่งจากการวิจัยพบว่า สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านพลศาสตร์ มีความสัมพันธ์กับสภาวะที่ใช้ในการบ่มยาง ซึ่งวิธีการบ่มยางแบบเป็นขั้น ให้การบ่มยางที่เหมาะสมที่สุดที่อุณหภูมิที่ใช้บ่มต่ำสำหรับส่วนผสมยางที่มีอีลาสโตเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป และให้โมดูลัสคงที่เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มมากขึ้น สำหรับพลังงานกระตุ้น ที่จากวิธีทั้งสอง ให้ค่าที่เท่ากัน⁽¹⁰⁾.

การบำรุงรักษาแบลคเดออร์ สามารถทำได้โดยทาสารหล่อลื่นที่มีส่วนผสมของดินขาว และซิลิโคน ที่มีช่วงน้ำหนักโมเลกุลตามที่ต้องการ เป็นระยะระหว่างการใช้งาน⁽¹¹⁾.

การใช้เรซินที่ทำให้กระจายตัวก่อน (Predispersed Curing Resins) ในส่วนผสมยางสำหรับแบลคเดออร์ มีข้อดีว่าการใส่เรซินโดยตรงในเครื่องผสมยาง ดังนี้ เพิ่มอายุการจัดเก็บเรซินโดยที่สมบัติต่าง ๆ ยังคงเดิม ลดปริมาณเรซินที่ใช้เนื่องจากไม่มีเรซินติดที่เครื่องผสมยางคุณภาพของส่วนผสมยางคงที่ในทุกการผสม เพิ่มสมบัติการไหล เพิ่มการต้านการฉีกขาด และผสมง่ายขึ้น⁽¹²⁾.

การใช้อีลาสโตเมอร์ชนิดโบรโมบิวทิล แทนการใช้บิวทิล ในส่วนผสมยางสำหรับแบลคเดออร์ และปรับปรุงระบบการบ่มเร่งแบลคเดออร์ ทำให้เพิ่มความต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยอากาศและไอน้ำ เพิ่มความต้านทานต่อการหักงอ และลดการคงตัวหลังจากการยืด และเพิ่มอายุการใช้งานของแบลคเดออร์ 10-50 เปอร์เซ็นต์จากเดิม⁽¹³⁾.

การใช้สารช่วยในการกระจายตัว (Dispersion agent) ในส่วนผสมยางทำให้ การกระจายตัวของยางที่มีขี้ผึ้ง และไม่มีขี้ผึ้ง กับเขม่าดำได้ดีขึ้น เพิ่มสมบัติเชิงกล ทำให้สารเคมีที่ใช้ในการบ่มยางมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ของอีลาสโตเมอร์ ซึ่งทำให้ใช้สำหรับสอนผสมยางที่ใช้อีลาสโตเมอร์หลายชนิด ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการบ่มยาง⁽¹⁴⁾ .



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ซึ่งครอบคลุมถึงการศึกษาค้นคว้าหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป้อนยางเพื่อผลิตแบลตเตอร์ โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการป้อน เนื่องจากจะได้มีการนำยางที่ป้อนภายใต้สภาวะที่คัดเลือกแล้วจากการศึกษานี้ไปผลิตแบลตเตอร์จริงเพื่อตรวจสอบอายุการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงจะจำกัดการผลิตแบลตเตอร์เพื่อใช้ในการผลิตยางรถจักรยานยนต์เท่านั้น เพราะแบลตเตอร์ชนิดนี้มีขนาดเล็กกว่า และใช้ปริมาณยางน้อยกว่าแบลตเตอร์สำหรับยางรถยนต์หรือรถบรรทุก

3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1. ยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการผลิตแบลตเตอร์ ซึ่งได้จากการนำอิลาสโตเมอร์และสารเคมีต่าง ๆ ดังส่วนผสมในตารางที่ 2.1 และทำการผสมในเครื่องผสมยางแบบปิด ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.1.3

3.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ.

- 3.2.1.1 เครื่องอบยางแบบอัด (Compression Moulding Machine) ที่รับความร้อนจากไอน้ำ โดยแผ่นความร้อนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.25 มิลลิเมตรต่อนาที

- 3.2.2.2. แบบพิมพ์ที่มีผิวสะอาดและชุบแข็งด้วยโครเมียม สำหรับการเตรียมชิ้นตัวอย่าง ขนาด 150 x 150 x 2 มิลลิเมตร และ 25 x 150 x 6.35 มิลลิเมตร

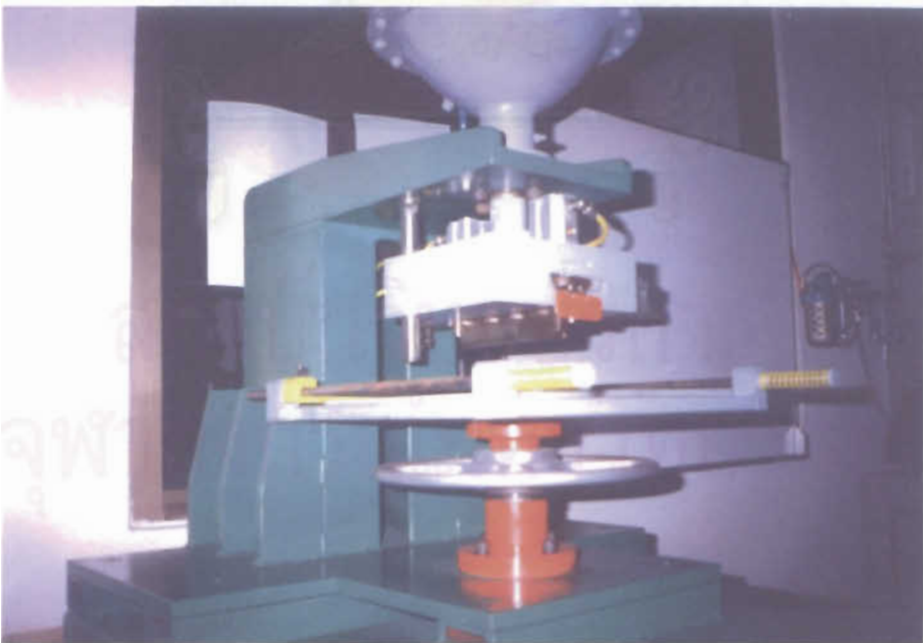
- 3.2.2.3. เครื่องขัดผิว (Buffing Apparatus) ดังรูปที่ 3.1 ที่ความเร็ว 20 +/- 5 เมตรต่อวินาที ที่มีหินขัดขนาด 0.42 - 1.00 มิลลิเมตร (grit no.30) สำหรับการขัดแบบหยาบ และ 0.18 - 0.42 มิลลิเมตร (grit no.60) สำหรับตกแต่ง

- 3.2.2.4. เวอร์เนีย คาลิปเปอร์.

- 3.2.2.5. ชุดตัดชิ้นทดสอบโดยใช้แรงอัด ดังรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.1 : เครื่องขัดผิว.

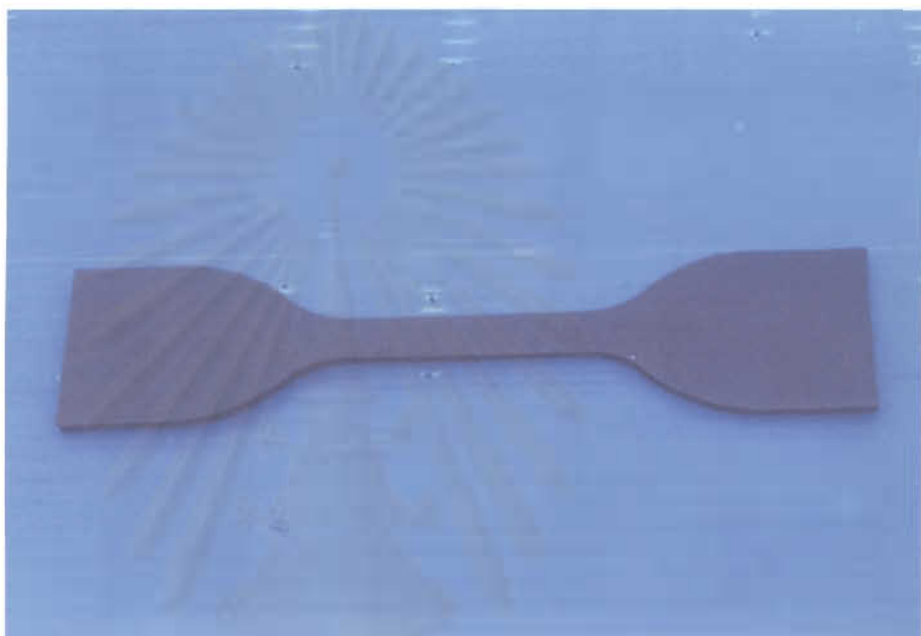


รูปที่ 3.2 : ชุดดัดขึ้นทดสอบโดยใช้แรงอัด.

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.2.2.1 การต้านแรงดึง ตาม ASTM D 412-98a

- I. แบบตัดขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบ ตาม ASTM die C ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 : ชิ้นตัวอย่าง ที่ได้จาก ASTM die C.

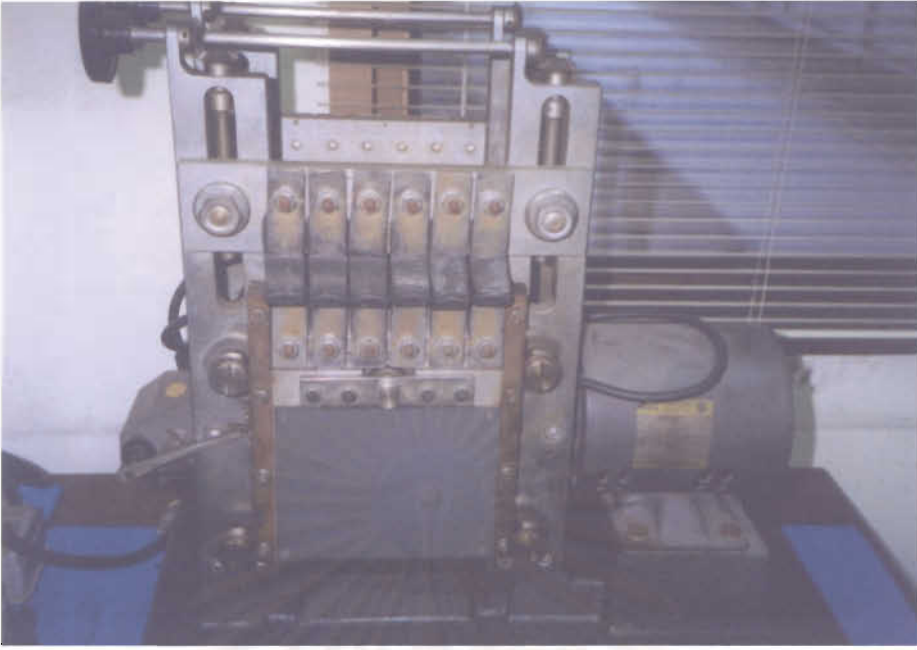
- II. เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง ดังรูปที่ 3.4 ที่สามารถอ่านแรงดึงสูงสุดในการทดสอบ และปากจับเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 500 ± 25 มิลลิเมตรต่อนาที.
- III. เวอร์เนียร์ คาลิเปอร์.
- IV. เครื่องวัดความหนา วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร และมีแป้นรูป วงกลมผิวหน้าเรียบ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร.



รูปที่ 3.4 : เครื่องทดสอบความต้านแรง

3.2.2.2 การต้านแรงต่อความล้าด้านพลศาสตร์ ตาม ASTM D 430-95.

- I. เครื่องทดสอบการหักงอ แบบ de Mattia (De Mattia Flexing Machine) ดังรูปที่ 3.5 ประกอบด้วยชุดจับ โดยมีด้านหนึ่งยึดติดกับที่ ส่วนที่เหลือเคลื่อนที่กลับไป-มาด้วยมอเตอร์ที่เคลื่อนที่ 300 +/- 10 รอบต่อนาที (5 +/- 0.1 Hz) ระยะเคลื่อนที่สูงสุดคือ 100 มิลลิเมตร.
- II. เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์.
- III. แฉวนขยาย.



รูปที่ 3.5 : เครื่องทดสอบการหักงอ แบบ de Mattia

3.2.2.3 การต้านแรงต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน ตาม ASTM D 573-88 (reapproved 1994)

1. ตู้อบที่ควบคุมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยมีการหมุนเวียนของอากาศ เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วทั้งตู้ ดังรูปที่ 3.6.



รูปที่ 3.6 : การวางชิ้นตัวอย่างในตู้อบ เพื่อให้ความร้อนกระจายทั้งตู้.

3.2.2.4 การต้านแรงต่อการเติบโตของรอยแตก ตาม ASTM D 813-95.

- I. เครื่องทดสอบการหักงอ แบบ de Mattia ตามข้อ 3.2.2.2 (I)
- II. เครื่องเจาะ (Piercing Tool) ที่มีใบมีดกว้าง 3.2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7
- III. เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์
- IV. แวนชยาย



รูปที่ 3.7 : เครื่องเจาะ (Piercing Tool)

3.2.2.5 การวัดความแข็ง ตาม ASTM D 2249-97

- I. เครื่องวัดความแข็ง Durometer แบบ Shore A ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 : เครื่องวัดความแข็ง.

3.2.2.6 การต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยโอโซน ตาม JIS K6301-1995.

- I. ตู้ทดสอบ ที่มีความจุมากกว่า 100 ลิตร ด้านในบุด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของโอโซน
- II. แหล่งกำเนิดโอโซน กับผลึกปรอท ที่มีลักษณะคล้ายหลอดไฟ ซึ่งการปรับปริมาณโอโซนทำได้โดยการปรับกระแสไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

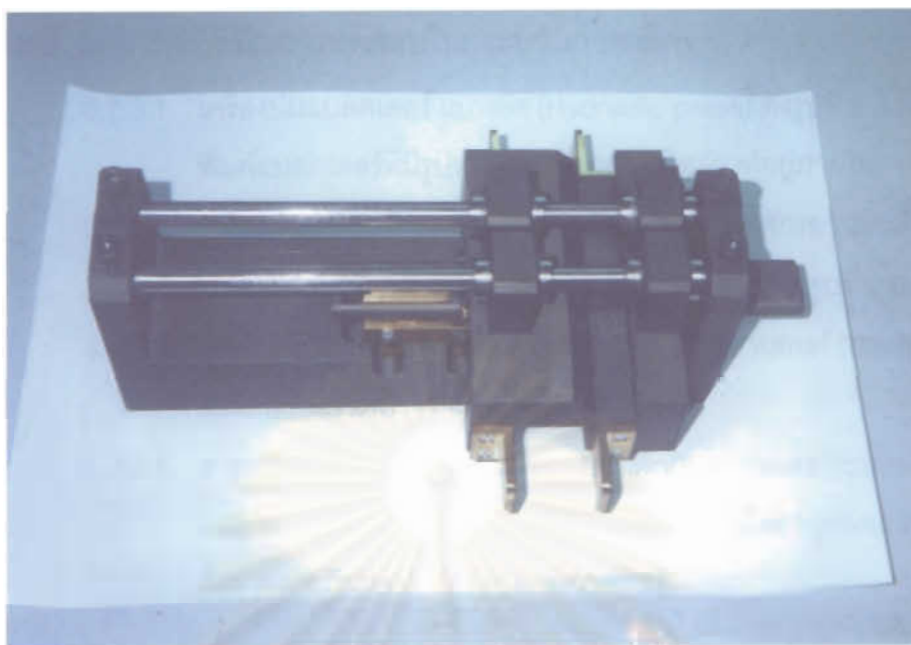
3.2.2.7 การดำเนินการฝึกขาด ตาม PM 00072 MM072IKL.

- I. แบบตัดชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ที่มีขนาด $10 \times 150 \times 2$ มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 : ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบการดำเนินการฝึกขาด

- II. เครื่องบากรอย ด้วยใบมีด 3 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ให้ได้ขนาด กว้าง 3 มิลลิเมตร จำนวน 3 รอย โดยแต่ละรอยห่างกัน 6 มิลลิเมตร.
- III. เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ที่สามารถทดสอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ได้.
- IV. เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์.
- V. เครื่องวัดความหนา ดังข้อ 3.2.2.1 (IV)



รูปที่ 3.10 : เครื่องบากรอย.



รูปที่ 3.11 : เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง ที่สามารถทดสอบในตู้อบ.

3.2.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในกระบวนการผลิต

- 3.2.3.1. เครื่องปั๊มแบลดเดอร์ แบบอัด (Hydraulic press) ดังรูปที่ 2.3 ที่มีแบบพิมพ์แบลดเดอร์ที่มีรูปร่างแบบเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน.
- 3.2.3.2. เครื่องปั๊มยางรถจักรยานยนต์ ที่มีแบบพิมพ์ยางรถจักรยานยนต์อยู่ภายใน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับอุปกรณ์สำหรับรถยนต์ ดังในรูปที่ 2.6
- 3.2.3.3. ชุดประกอบแบลดเดอร์เข้าเครื่องปั๊มยางรถจักรยานยนต์ (Bladder assembling set)
- 3.2.3.4. สารละลายป้องกันยางรถจักรยานยนต์ติดกับแบลดเดอร์ระหว่างการปั๊มยาง (Bladder dope) และยังมีสมบัตืต่อช่วยยืดอายุของแบลดเดอร์ด้วย ดังเช่นในเอกสารอ้างอิงรายการที่ 11



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ.

3.3.1.1. การบ่มยางเพื่อเตรียมขึ้นทดสอบตาม ASTM D 3182-89

นำส่วนผสมยางดังข้อ 3.1.1 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปกติ มาผ่านเครื่องรีดยางแบบสองลูกกลิ้ง เพื่อให้มีความหนา 3 – 6 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นยางที่ได้มาตัดเป็นชิ้นรูปร่างใกล้เคียงกับขนาดของแบบพิมพ์ให้มีน้ำหนักตามที่กำหนด คือ 61+/- 3 กรัม

ทำการอุ่นแบบพิมพ์ ข้อ 3.2.1.2. ในเครื่องอบยางแบบอัด ดังข้อ 3.2.1.1 ที่อุณหภูมิการบ่มที่ต้องการตามตารางที่ 3.1 อย่างน้อย 30 นาทีก่อนทำการบ่มยาง เมื่อแบบพิมพ์มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ เริ่มทำการบ่มยางโดยนำแผ่นยางที่ได้ข้างต้นมาวางลงในแบบพิมพ์ และเคลื่อนแผ่นล่างของเครื่องอบยางแบบอัดที่มีแบบพิมพ์วางอยู่ให้เคลื่อนที่ขึ้นชนกับแผ่นบนของเครื่องอบยางแบบอัด ทำการตั้งความดันของการบ่มยาง คือ 1,100 PSI

โดยอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการบ่มยาง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 : สภาวะที่ใช้ในการบ่มยางสำหรับขึ้นทดสอบ

เวลาที่ใช้ในการบ่มยาง (นาที)			
270 องศาฟาเรนไฮน์	300 องศาฟาเรนไฮน์	330 องศาฟาเรนไฮน์	360 องศาฟาเรนไฮน์
128	32	8	2
256	64	16	4
480	120	30	8
768	192	48	12
960	240	60	15

ทำการบ่มขึ้นทดสอบตามตารางที่ 3.1 จำนวน 4 แผ่นต่อ 1 สภาวะ หลังจากบ่มยางตามสภาวะที่กำหนดแล้ว ให้นำขึ้นตัวอย่างออกจากแบบพิมพ์ และแช่ในน้ำเย็นทันที เพื่อหยุดปฏิกิริยา เช็ดให้แห้ง และจัดเก็บในห้องทดสอบ ก่อนทดสอบที่ อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 - 96 ชั่วโมง สำหรับทำการทดสอบตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรมข้อ 3.3.1.2 ต่อไป

3.3.1.2. การทดสอบสมบัติตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรม.

— สมบัติภายใต้แรงดึง ตาม ASTM D 412-98a.

สมบัติภายใต้แรงดึง คือ มอดูลัสที่ 400% การต้านแรงดึง และความยืดหยุ่นขาด โดยสมบัติดังกล่าวแสดงถึงความแข็งแรงของขึ้นทดสอบที่มีต่อแรงที่กระทำในการดึง เริ่มการทดสอบโดยตัดขึ้นทดสอบตามรูปที่ 3.1 โดยใช้ชุดตัดขึ้นทดสอบ ดังรายละเอียดตามข้อ 3.2.1.5 โดยแนวการตัดขึ้นทดสอบขนานไปกับแนวการรีดจากเครื่องรีดยางแบบสองลูกกลิ้ง จำนวน 6 ชั้น และขึ้นทดสอบขวางกับแนวการรีดจากเครื่องรีดยางแบบสองลูกกลิ้ง จำนวน 6 ชั้น เพื่อทดสอบสภาวะปกติ อย่างละ 3 ชั้น และทดสอบสภาวะบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนที่เหลือจากนั้นขีด bench mark ขนาด 25 มิลลิเมตรด้วยปากกาหมึกสีเงิน วัดความหนาด้วย เครื่องวัดความหนา ดังข้อ 3.2.2.1 (IV) จำนวน 3 จุดในระยะ bench mark จากนั้นหาค่ากลาง เป็นตัวแทนของความหนาของขึ้นทดสอบดังกล่าว และระบุความหนาที่ขึ้นทดสอบด้วยปากกาหมึกสีเงิน

ดำเนินการทดสอบโดยเครื่องทดสอบความต้านแรงดึง ดังข้อ 3.2.2.1 (II) และสภาวะในการทดสอบ ดังนี้

- ความเร็วในการดึง คือ 500 มิลลิเมตรต่อนาที.
- อุณหภูมิของห้องทดสอบ คือ 23 ± 2 องศาเซลเซียส
- ความชื้นของห้องทดสอบ คือ 50 ± 10 %

ทำการคำนวณ และหาค่ากลาง แสดงตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ ตามภาคผนวก ง.

— ความแข็ง ตาม ASTM D 2249-97.

เริ่มการทดสอบโดยใช้ชิ้นทดสอบตามรูปที่ 3.1 จำนวน 4 ชิ้นมาวางซ้อนกัน บนพื้นระนาบ จากนั้นนำเครื่องวัดความแข็งดั่งข้อ 3.2.2.5 (I) มากดลงบนชิ้นทดสอบ เข็มที่หน้าปัดจะเคลื่อนที่ขึ้นจนหยุดนิ่ง และทำการทดสอบจำนวน 3 จุด จากนั้นนำมาหาค่ากลาง แสดงตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ

— การต้านแรงต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน ตาม ASTM D 573-88 (reapproved 1994).

การต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อนนี้ จะแสดงถึงอัตราการลดเพิ่มของสมบัติหลังจากชิ้นทดสอบได้รับความร้อนเพิ่มเติมหลังจากการบ่มปกติในตู้อบ ซึ่งการต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อนสูง จะแสดงให้เห็นว่าสมบัติจะสูงขึ้น หรือเท่ากับก่อนเข้ารับการบ่มเร่ง

เริ่มทดสอบโดยนำชิ้นทดสอบตามรูปที่ 3.1 มาแขวนในตู้อบ ดังข้อ 3.2.2.3 ซึ่งชิ้นตัวอย่างจะต้องไม่สัมผัสกัน และได้รับความร้อนทั่วทั้งชิ้น และใช้สภาวะในการบ่มเร่ง คือ อุณหภูมิของตู้อบ คือ 70 ± 2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่อบ คือ 96 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้นำชิ้นตัวอย่างออกจากตู้อบ และจัดเก็บไว้ในห้องทดสอบ เป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 96 ชั่วโมง จึงดำเนินการทดสอบ ตาม การทดสอบสมบัติภายใต้แรงดึง

ทำการคำนวณ อัตราการเสื่อมสภาพจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนตามภาคผนวก ง.

3.3.1.3. ประมวลผล

ทำการประมวลผล โดยนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับระดับที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน และประเมินหาสภาวะที่ใช้ในการบ่มที่ให้คุณสมบัติมีค่าในระดับที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

3.3.1.4. การบ่มยางตามสภาวะที่ให้สมบัติมีค่าในระดับที่ใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อเตรียมขึ้นทดสอบตาม ASTM D 3182-89

เมื่อได้สภาวะที่ใช้ในการบ่มจากข้อ 3.3.1.3 ให้เตรียมตัวอย่าง โดยใช้สภาวะที่ได้ โดยดำเนินการดังเช่นในข้อ 3.3.1.1 ยกเว้นจำนวนแผ่นที่บ่มให้เพิ่มเป็น 12 แผ่นต่อสภาวะ

และเตรียมตัวอย่างขนาด 25x150x6.35 มม. ให้ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.1 เช่นกัน ยกเว้น เปลี่ยนแปลงน้ำหนักส่วนผสม คือ 30+/- 2 กรัม และความดันที่ใช้บ่ม คือ 800 PSI และ จำนวนขึ้นทดสอบ คือ 6 ชิ้น ต่อ 1 สภาวะ

3.3.1.5. การทดสอบสมบัติเชิงกล.

— สมบัติภายใต้แรงดึง ตาม ASTM D 412-98a.

ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.2 โดยทำการทดสอบเฉพาะชิ้นตัวอย่างขนานไปกับแนวการรีดจากเครื่องรีดยางแบบสองลูกกลิ้ง

เพิ่มเติมสำหรับการทดสอบสมบัติระยะ bench mark หลังขาด เนื่องจากการคงตัวหลังจากยืดจนขาด (ไม่กลับสู่ความยาวเดิม) โดยเมื่อดำเนินการทดสอบข้างต้นเสร็จสิ้น ให้วางขึ้นทดสอบที่ขาดออกจากกันทิ้งไว้ 10 นาที หลังจากขาด เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด ให้นำขึ้นทดสอบที่ขาดออกจากกัน มาวัดระยะ bench mark ที่ขีดไว้ใน ด้วย เวอร์เนียร คาลิปเปอร์ จากนั้นหาค่ากลาง แสดงตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ

และเพิ่มเติมสำหรับการทดสอบสมบัติความคงตัวหลังจากยืด ซึ่งแสดงสมบัติคล้ายกับ สมบัติระยะ bench mark หลังขาด โดยใช้ขึ้นทดสอบตามรูปที่ 3.1 จำนวน 3 ชิ้น และขีด bench mark ขนาด 25 มิลลิเมตรด้วยปากกาหมึกสีเงิน ทำการดึงขึ้นทดสอบ จนมีความยืดเป็น 400 % ของความยืดเดิม และหยุดการเคลื่อนที่เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดให้เคลื่อนที่ลง และย้ายชิ้นตัวอย่างออกมาวางโดยไม่มีแรงกระทำ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นวัดระยะ bench mark ที่ขีดไว้ใน เวอร์เนียร คาลิปเปอร์ จากนั้นหาค่ากลาง แสดงตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ

— ความแข็ง ตาม ASTM D 2249-97.

ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.2

— การต้านแรงต่อการบ่มแรงโดยความร้อน ตาม ASTM D 573-88 (reapproved 1994).

โดยทำการทดสอบเฉพาะชิ้นตัวอย่างขนานไปกับแนวการรีดจากเครื่องรีดยางแบบสองลูกกลิ้ง

- สำหรับ มอดุลัสที่ 400% , การต้านแรงดึง และ ความยืดหยุ่นขาด ให้ดำเนินการตามข้อ 1.3.1.2
- การต้านการฉีกขาด ให้ดำเนินการตาม 1.3.1.2 และทำการทดสอบตามหัวข้อการต้านทานการฉีกขาด และทำการคำนวณผล ตาม ภาคผนวก ง. เช่นเดียวกัน

— การต้านทานต่อการบ่มแรงโดยโอโซนตาม JIS K6301-1995.

การต้านทานต่อการบ่มแรงโดยโอโซน แสดงสมบัติการต้านทานต่อการบ่มแรงในสภาวะที่มีโอโซนสูง ซึ่งในยางที่ผ่านการบ่มแรงที่ไม่สมบูรณ์จะเหลือพันธะคู่ที่ทำให้โอโซนเข้าไปสร้างพันธะที่เรียกว่า โอโซนไนท์ ซึ่งเป็นส่วนที่แข็ง ทำให้สายโมเลกุลไม่สามารถขยับตัวได้ เมื่อมีการกระทำต่อชิ้นทดสอบ ทำให้เกิดรอยแตกขึ้น ดำเนินการโดยนำชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3.1 (ที่มีการเตรียมชิ้นตัวอย่างเพิ่มเติม คือ ต้องทำการรองส่วนประกอบยางขณะทำการบ่ม ด้วยแผ่นอลูมิเนียมที่หนา ประมาณ 0.2 มิลลิเมตร เพื่อให้ผิวเรียบ) จำนวน 3 ชิ้นต่อสภาวะ ยืดชิ้นทดสอบให้เพิ่มขึ้น 20 % จากระยะ bench mark จากนั้นนำเข้าตู้ทดสอบ 3.2.2.6 โดยสภาวะที่ใช้ คือ ความเข้มข้นของโอโซน คือ 100 ppm. ระยะเวลาในการบ่มแรง คือ 24 ชั่วโมง ทำการนับจำนวน และขนาดของรอยแตก จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกันเกณฑ์ที่กำหนดใน JIS K6301-1995 ดังแสดงในภาคผนวก ฉ. และ ถ่ายรูปรอยแตกที่ได้ โดยใช้กล้องกำลังขยายสูง

— การทดสอบการต้านการฉีกขาด ตาม PM 00072 MM072IKL

การต้านทานการฉีกขาดแสดงสมบัติคล้ายกับการต้านแรงดึง โดยการต้านแรงดึง การขาดเกิดในทิศทางเดียวกับแนวแรง ซึ่งต่างจากการฉีกขาดนี้เกิดขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวแรง ดำเนินการทดสอบโดยนำขึ้นตัวอย่างจากข้อ 3.2.2.7 จำนวน 3 ชิ้นต่อสภาวะ ชีต bench mark ขนาด 80 มิลลิเมตรด้วยปากกาหมึกสีเงิน ทำรอยบาก กว้าง 3 มิลลิเมตร จำนวน 3 รอย ที่กลางของชิ้นทดสอบ โดยเครื่องบาก ดังรูปที่ 3.6 วัดความหนาด้วย เครื่องวัดความหนา จำนวน 3 จุดในระยะ bench mark จากนั้นหาค่ากลาง เป็นตัวแทนของความหนาของชิ้นทดสอบดังกล่าว และระบุความหนาที่ขึ้นทดสอบด้วยปากกาหมึกสีเงิน ดำเนินการทดสอบโดยใช้ เครื่องทดสอบความต้านแรงดึงที่สามารถทดสอบในตู้อบ ดังรูปที่ 3.7 โดยใช้สภาวะในการทดสอบ คือ ความเร็วในการดึง คือ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และ อุณหภูมิของตู้อบ คือ 100+/-5 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการคำนวณ ตามภาคผนวก ง. และหาค่ากลาง แสดงตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ

3.3.1.6. การทดสอบสมบัติเชิงกล.

— การต้านทานความล้าด้านพลศาสตร์ ตาม ASTM D 430-95.

ดำเนินการทดสอบโดย นำชิ้นทดสอบขนาด 25x150x6.35 มม. จำนวน 3 ชิ้นต่อสภาวะ มาประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบการหักงอ แบบ de Mattia ตามรายละเอียดในข้อ 3.2.2.2 ทำการเดินเครื่องทดสอบ จำนวน 150,000 รอบ ติดต่อกัน เมื่อครบจำนวน ให้ถอดชิ้นตัวอย่างออกจากเครื่องทดสอบ นับจำนวน และขนาดของรอยแตก จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกัน เกณฑ์ที่กำหนดใน ASTM D 430-95 ดังแสดงในภาคผนวก จ. ถ่ายรูปรอยแตกที่ได้ โดยใช้กล้องกำลังขยายสูง.

— การทดสอบการต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก ตาม ASTM D 813-95.

ดำเนินการโดยนำชิ้นทดสอบขนาด 25x150x6.35 มม. จำนวน 3 ชิ้น ต่อสถานะมาเจาะทำรอยแตกเบื้องต้น โดยใช้ เครื่องเจาะ ตามรายละเอียดใน ข้อ 3.2.2.4 จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบการหักงอ แบบ de Mattia ตามข้อ 3.2.2.2 และทำการทดสอบ จำนวน 5,000 , 10,000 , 15,000 20,000 , 30,000 , 40,000 , 80,000 , 10,000 , 120,000 และ 150,000 รอบ เมื่อครบกำหนดในแต่ละครั้ง ให้หยุดเครื่อง และใช้แว่นขยายส่อง เพื่อวัดขนาดของรอยต่อ โดย เวอร์เนียร คาลิเปอร์ บันทึกขนาดของรอยต่อ ในแต่ละครั้ง

3.3.1.7. ประเมินผล

ประเมินหาสถานะที่ใช้ในการปั๊มที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจาก

3.3.1.7.1 คุณสมบัติที่ดีที่สุด.

3.3.1.7.1 ไม่เสียเวลาในการผลิต.

3.3.1.7.1 ไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานที่ป้อน.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มแบลคเดอร์ในอุตสาหกรรม

- 3.3.2.1. ทำการผลิตแบลคเดอร์ตามขั้นตอนการผลิตแบลคเดอร์ของ บริษัทฯ โดยใช้สภาวะในการบ่มตามข้อ 3.3.1.7
- 3.3.2.2. นำแบลคเดอร์ มาตัดแบ่งเป็น 4 ชั้นตามแนวรัศมี จากนั้นเตรียมชิ้นทดสอบโดยการตัดออกจากเครื่องขัดผิว ดังรายละเอียด ข้อ 3.2.1.3 จนกระทั่งได้ความหนาที่ 2.0 ± 0.2 มิลลิเมตร.
- 3.3.2.3. ดำเนินการสอบ ดังรายการต่อไปนี้
 - สมบัติการต้านแรงดึงตาม ASTM D 412-98a ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.5
 - การต้านการฉีกขาด ตาม PM 00072 MM072IKL ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.5
 - การต้านแรงต่อการบ่มเร่งโดยความร้อน ตาม ASTM D 573-88 (reapproved 1994) ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.5
 - การทดสอบการต้านแรงต่อการบ่มเร่งโดยโอโซน ตาม JIS K6301-1995 ดำเนินการตามข้อ 3.3.1.5

3.3.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยพิจารณาถึงอายุการใช้งานของแบลคเดอร์

- 3.3.3.1. ทำการผลิตแบลคเดอร์ตามขั้นตอนการผลิตแบลคเดอร์ของ บริษัทฯ โดยใช้สภาวะในการบ่มตามข้อ 3.3.1.7 สภาวะละ 10 ลูก.
- 3.3.3.2. นำแบลคเดอร์ที่ได้ประกอบเข้ากับเครื่องบ่มยางรถจักรยานยนต์ และทำการบ่มยางรถจักรยานยนต์ ตามกระบวนการผลิตปกติของอุตสาหกรรม
- 3.3.3.3. บันทึกอายุการใช้งานของแบลคเดอร์แต่ละลูก และลักษณะของข้อบกพร่องที่ทำให้แบลคเดอร์ลูกดังกล่าวไม่สามารถใช้ต่อได้.
- 3.3.3.4. ประเมินสภาวะที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมที่สุด.

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มโดยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มในห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาจากช่วงพักที่ใช้ในอุตสาหกรรม.

การบ่มขึ้นทดสอบตามสภาวะที่ใช้ในการบ่มอย่าง ตามตารางที่ 3.1 จากนั้นเตรียมขึ้นตัวอย่าง โดยตัดในแนวนาน และ ขวางไปกับแนวรีดจากเครื่องรีดยาง และทำการทดสอบตามรายการและขอบเขตที่อ้างอิงในอุตสาหกรรม

4.1.1.1 มอดูลัสที่ 400 %.

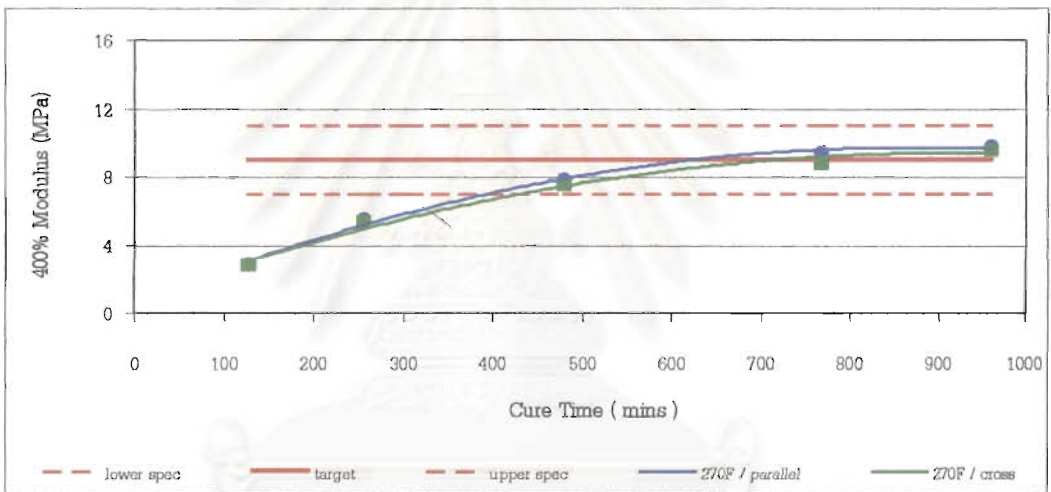
ผลการทดสอบ ค่ามอดูลัสที่ 400 % ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 , 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ในทิศแนวนาน และตั้งฉากกับแนวรีดจากเครื่องรีดยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 ค่ามอดูลัสที่ 400 % ของยางจากทิศทางการทดสอบทั้งสองแนว ณ ทุกอุณหภูมิการบ่มที่ศึกษา ไม่มีความแตกต่างกัน ระดับโมดูลัสที่ 400 % ซึ่งเหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์ในอุตสาหกรรม คือ ช่วงพัก 7 ถึง 11 เมกะปาสคาล ดังแสดงเป็นเส้นปะในรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 ค่าเฉลี่ยของช่วงพักดังกล่าว คือ 9 เมกะปาสคาล ดังแสดงเป็นเส้นทึบ

สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.1 ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการบ่ม คือ 100 ถึง 500 นาที เนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างยางบิวทิลและสารบ่มเร่งเรซิน หลังจากนั้นเป็นการเพิ่มมอดูลัสที่ 400 % ด้วยอัตราที่ช้าลงจนเกือบคงที่ตั้งแต่ช่วงเวลา 800 นาที เป็นต้นไป ระยะเวลาการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งทำให้ค่ามอดูลัสที่ 400 % ที่เหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์ คือ ตั้งแต่ 400 นาทีขึ้นไป

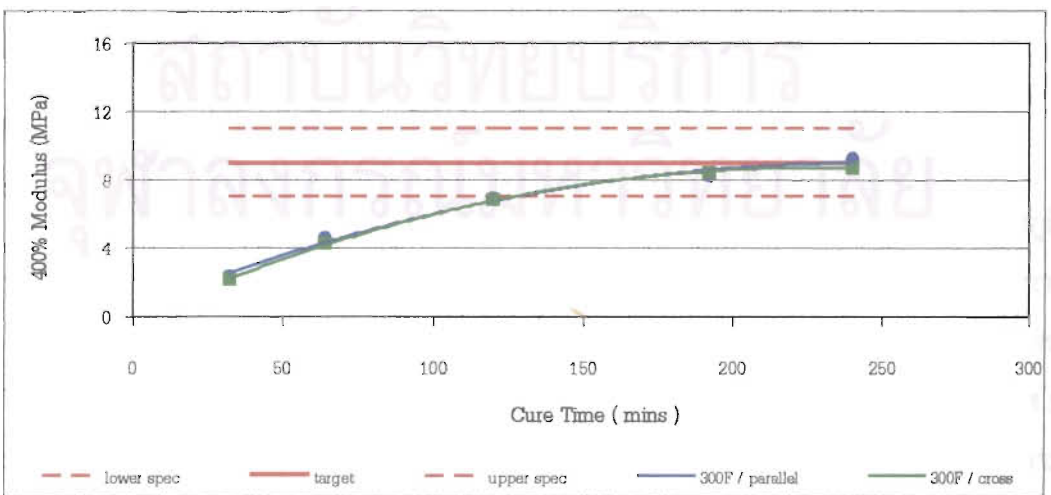
สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.2 ยืนยันว่าค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นไปกับระยะเวลาของการบ่ม ระยะเวลาการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งทำให้ค่ามอดูลัสที่ 400 % ที่เหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์ คือ ตั้งแต่ 125 นาทีขึ้นไป

ไป แต่ค่ามอดูลัสที่ 400 % ดังกล่าว เริ่มคงที่ในระดับค่าเฉลี่ยในช่วงพิกัดที่เหมาะสมแก่การผลิต ตั้งแต่ช่วงเวลา 200 นาทีเป็นต้นไป

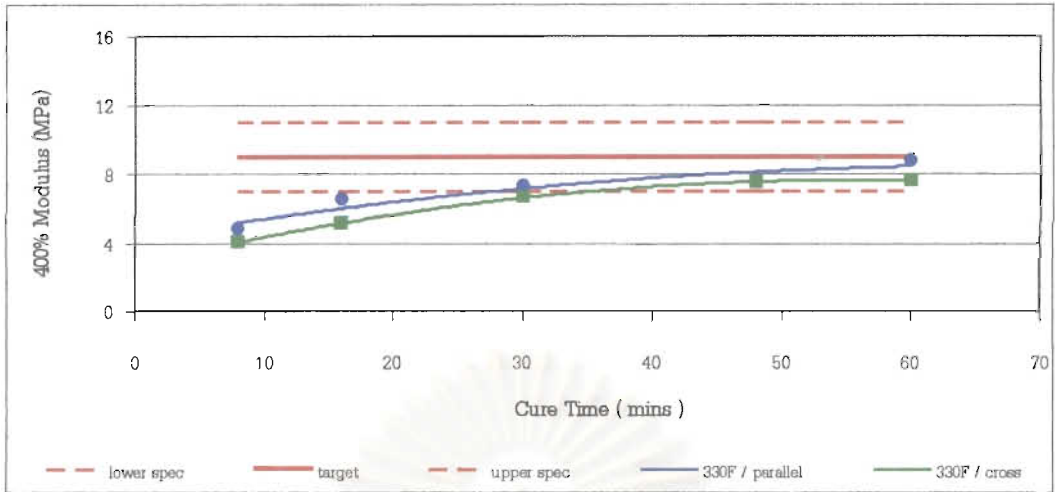
การเพิ่มอุณหภูมิการบ่มสูงขึ้นเป็น 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ยืนยันแนวการเพิ่มของค่ามอดูลัส แต่อัตราการเพิ่มช้าลงมาก และเป็นการเพิ่มด้วยอัตราที่เกือบคงที่ ในกรณีการบ่ม ณ อุณหภูมิสูงถึง 360 องศาฟาเรนไฮต์ การบ่ม ณ อุณหภูมิสูงถึง 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ให้ค่ามอดูลัสที่ 400 % ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมแก่การผลิตแบบลดเคอร์ เนื่องจากยังมีสมบัติเป็นฉนวน การเคลื่อนที่ของความร้อนจากผิวของแบบพิมพ์ไปสู่ชิ้นงานใช้เวลานาน ซึ่งเวลาที่ใช้ในการบ่มสั้นทำให้ความร้อนเคลื่อนที่สู่ชิ้นงานได้ไม่ดี จึงเกิดลักษณะการบ่มที่เรียกว่า การบ่มต่ำกว่าที่ต้องการ (under cured).



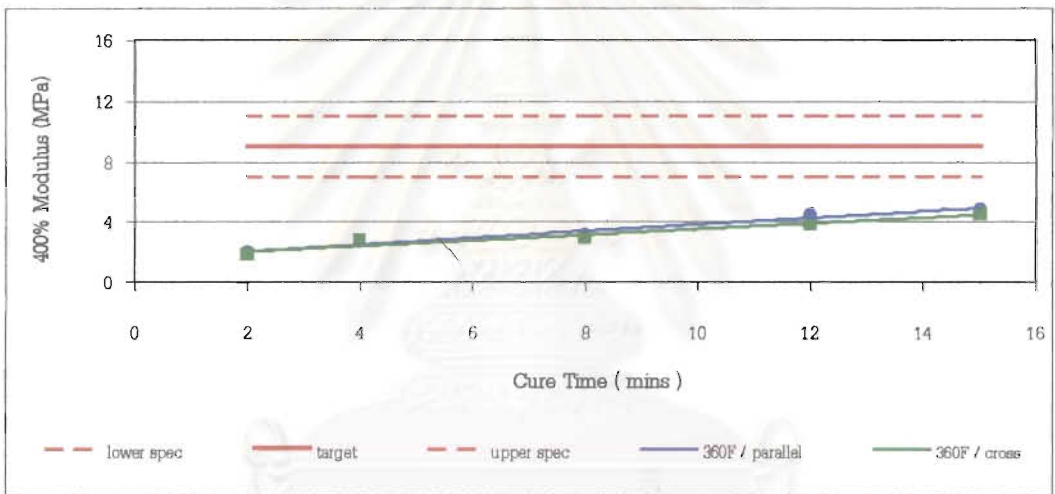
รูปที่ 4.1 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.2 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.3 : มอดุลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.4 : มอดุลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์

4.1.1.2 การต้านแรงดึง

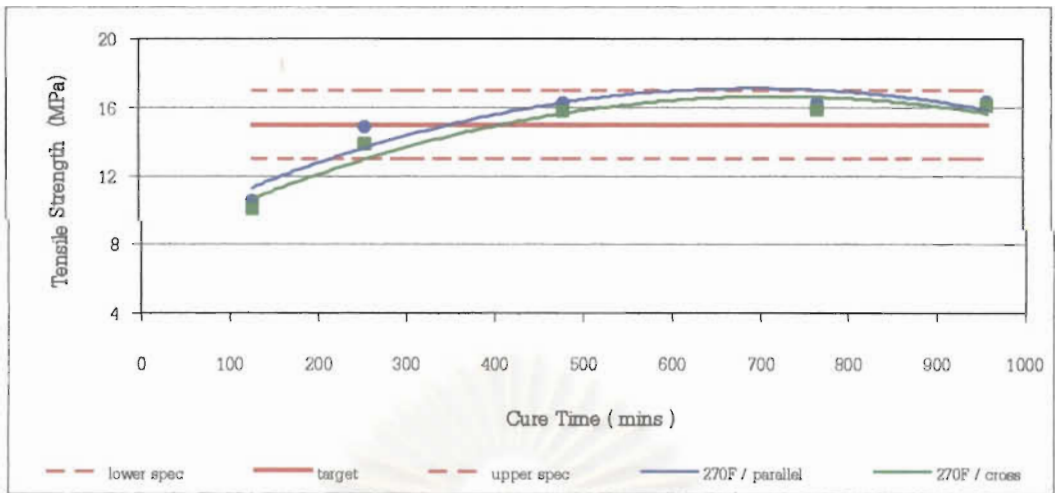
การต้านแรงดึงยังทำให้ได้สมบัติการต้านแรงดึงของยางที่บ่ม ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยพิจารณาจากระดับความเค้นสูงสุดที่ยางรับได้ภายใต้แรงดึงนั้น ผลการทดสอบการต้านแรงดึง ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 , 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ในทิศแนวนอน และตั้งฉากกับแนวรีดจากเครื่องรีดยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก ระดับสมบัติการต้านแรงดึง ซึ่งเหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอรีในอุตสาหกรรม คือ ช่วงพิกัด 13 ถึง 17 เมกะปาสคาล ดัง

แสดงเป็นเส้นปะ ค่าเฉลี่ยของช่วงพิกัดดังกล่าว คือ 15 เมกะปาสคาล ดังแสดงเป็นเส้นทึบ

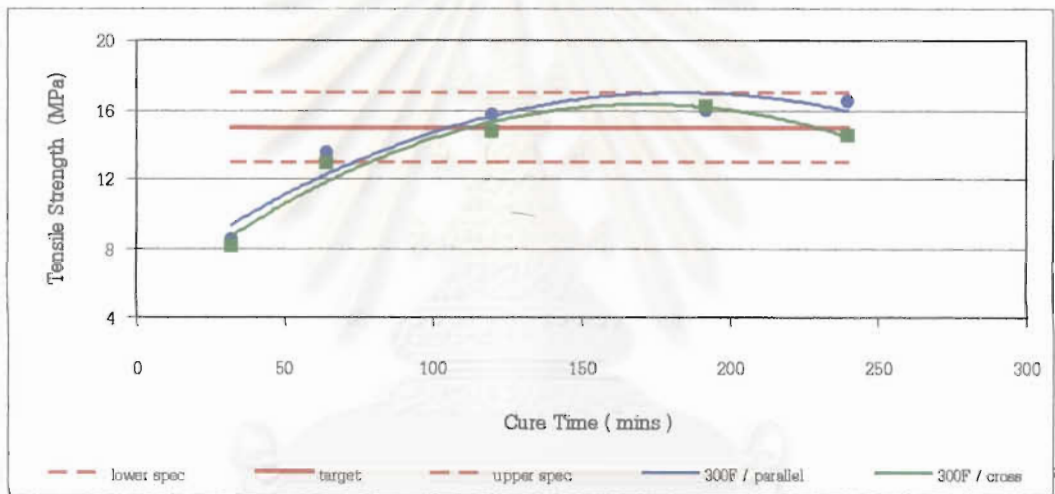
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.5 พบว่ายางที่บ่มมีการต้านแรงดึงได้เพิ่มขึ้นเมื่อบ่มด้วยระยะเวลาเพิ่มขึ้น การบ่มตั้งแต่ 250 นาทีเป็นต้นไป ทำให้ได้ค่าการต้านแรงดึง ที่เหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์ เมื่อบ่มต่อจนระดับการต้านแรงดึงสูงสุดถึงพิกัดบน คือ 17 เมกะปาสคาล ในช่วงระหว่าง 600 ถึง 800 นาที เกินกว่าช่วงนี้การต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง คาดว่าเกิดลักษณะที่เรียกว่า การบ่มมากกว่าที่ต้องการ (over cured) ซึ่งมีผลเหมือนกับการเกิดการบ่มเร่งในยาง ทำให้สมบัติถดถอย

การบ่มที่ 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ แสดงพฤติกรรมเช่นเดียวกับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ การบ่มมากกว่าที่ต้องการ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มสูงขึ้น โดยเริ่มที่ 210 นาที สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ และเริ่มที่ 52 นาที สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ สำหรับการบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.8 คาดว่ามีการเกิด การบ่มมากกว่าที่ต้องการ เช่นกับ แต่การบ่มในงานวิจัยนี้มีได้บ่มถึงจุดดังกล่าว

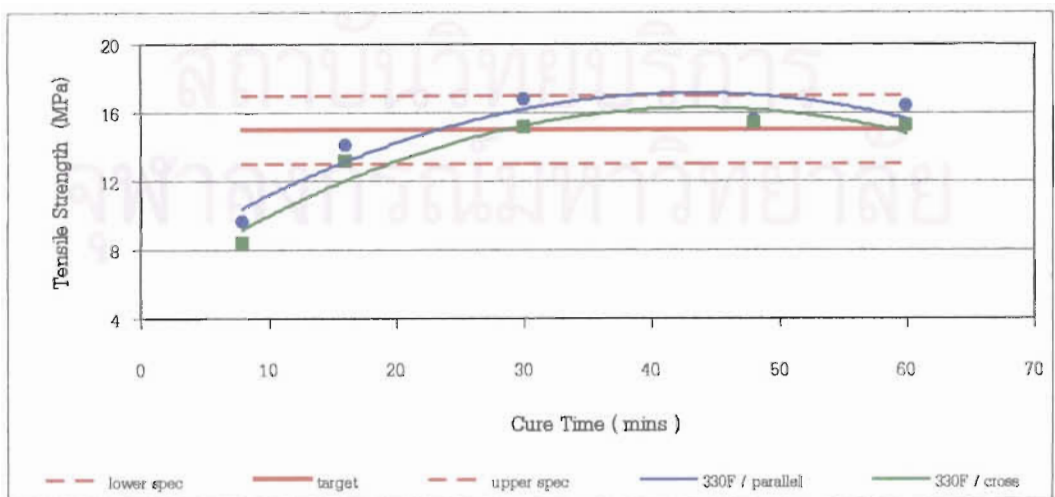
การบ่มยาง ณ ทุกอุณหภูมิที่ทดสอบ สามารถให้ยางที่มีสมบัติการต้านแรงดึงเหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์ได้ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.6 ทำให้อย่างที่เหมาะสมแก่งานวิจัยนี้ตั้งแต่ระยะการบ่ม 75 นาที ถึงประมาณ 195 นาที ส่วนการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.7 ให้ยางที่เหมาะสมแก่งานวิจัยนี้ตั้งแต่ระยะการบ่ม 20 นาที ถึง 50 นาที ส่วนการบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ดังรูปที่ 4.8 ใช้เวลาบ่มเพียง 11 นาที ก็ได้ยางที่มีต้านแรงดึงเหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์ได้



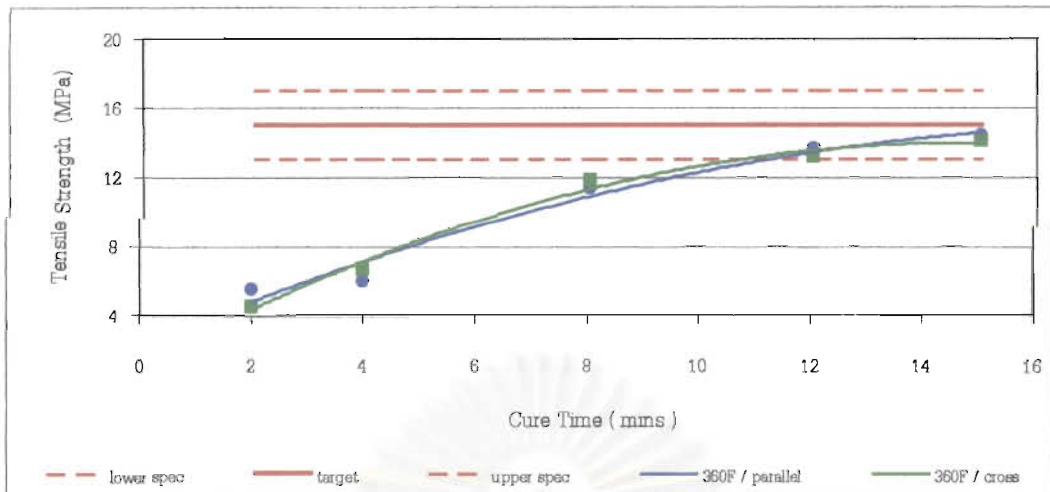
รูปที่ 4.5 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.6 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์



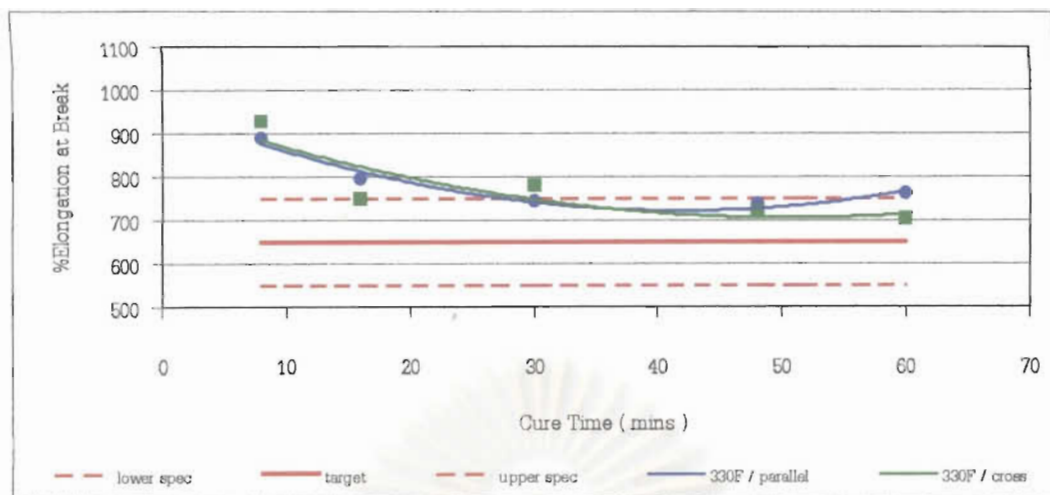
รูปที่ 4.7 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์



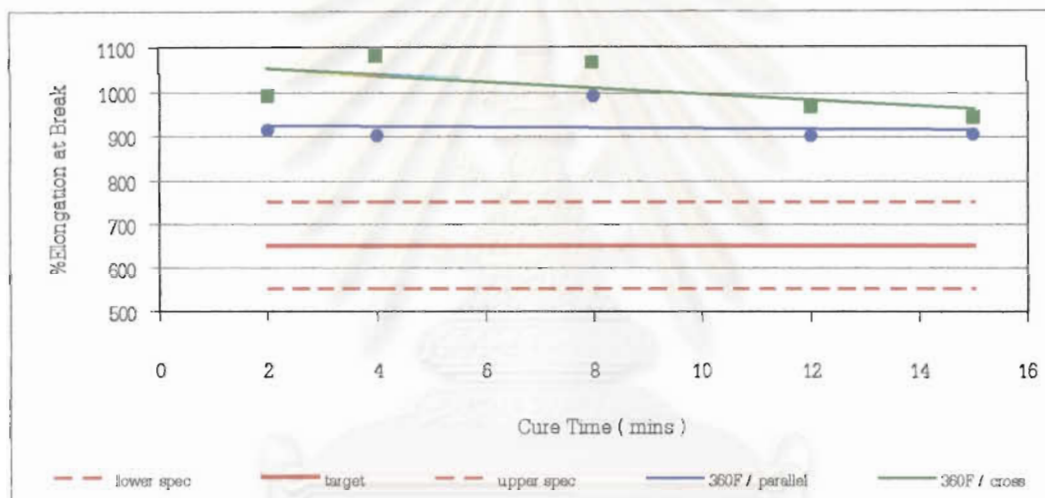
รูปที่ 4.8 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์

4.1.1.3 ความยืดหยุ่นขนาด

ความยืดหยุ่นขนาดเป็นสมบัติที่สะท้อนถึงความยืดหยุ่นและระดับการเกิดโครงสร้างเชื่อมโยงร่างแหในยางที่บ่ม และสามารถประเมินได้จากการทดสอบแรงดึงของยางจนกระทั่งขาด ผลจากการทดสอบความยืดหยุ่นขนาดของยางที่บ่มที่ 270 , 300 , 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮท์ ในทิศแนวขนาน และตั้งฉากกับแนวรีดจากเครื่องรีดยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.12 นั้นไม่พบความแตกต่างของความยืดหยุ่นขนาดในทิศทางทั้งสอง (ยกเว้นกรณีการบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์) นอกจากนี้ยังพบว่าความยืดหยุ่นขนาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการบ่มและอุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น (ยกเว้นกรณีการบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางและสารบ่มเรซิน ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่เป็นตัวจำกัดการขยับตัวของโมเลกุลยางภายใต้แรงดึง การบ่ม ณ อุณหภูมิ หรือระยะเวลาสูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดโครงสร้างร่างแหเร็วขึ้น จำนวนจุดเชื่อมโยงมีมากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลทำให้ความยืดหยุ่นขนาดของยางที่บ่มภายใต้อุณหภูมิสูง หรือระยะเวลาในการบ่มยาวนาน จึงมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นกรณีการบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์ ซึ่งความยืดหยุ่นขนาดมีค่าเกือบคงที่ และระดับดังกล่าวเกินกว่าพิกัด คือ ช่วงพิกัด 550 ถึง 750 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงเป็นเส้นปะ ค่าเฉลี่ยของช่วงพิกัดดังกล่าว คือ 650 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงเป็นเส้นทึบ



รูปที่ 4.11 : ความยืดขณะขาด สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์



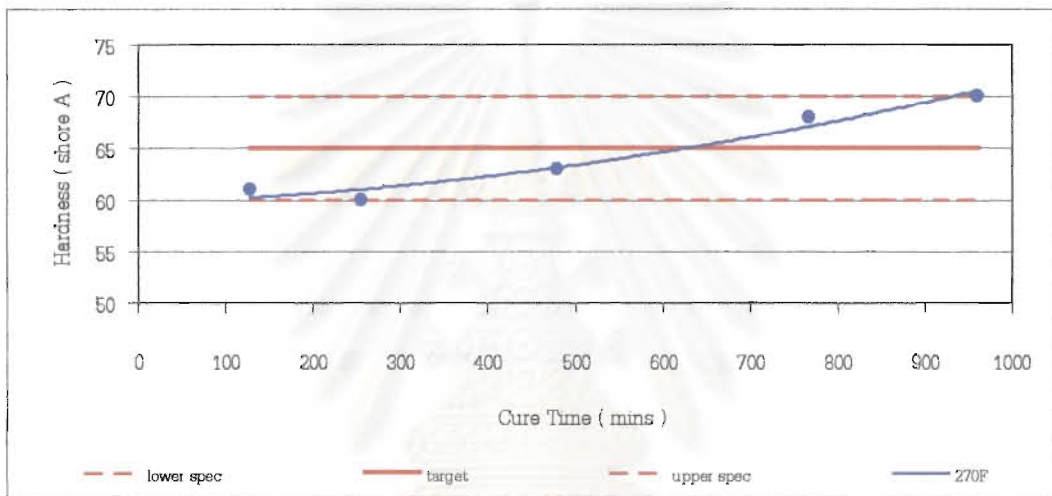
รูปที่ 4.12 : ความยืดขณะขาด สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์

4.1.1.4 ความแข็ง

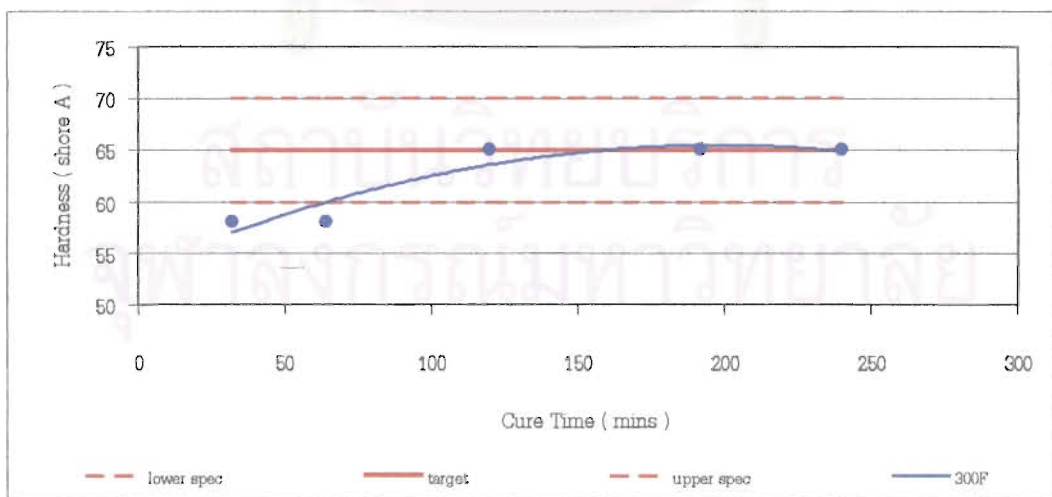
ความแข็งเป็นสมบัติที่แสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักกดทับและสะท้อนถึงระดับการเกิดโครงสร้างเชื่อมโยงร่างแหในยางที่บ่ม และสามารถประเมินได้จากการวัดแรงต้านการกดของหัวเข็มของเครื่องมือทดสอบ จากนั้นแปลงค่าอยู่ในรูปหน่วย shore พบว่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.16 ทั้งนี้เนื่องจากพันธะร่างแห เช่นเดียวกับสมบัติการต้านแรงดึง และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มสูงขึ้น ความแข็งมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิด ปรากฏการณ์การบ่มต่ำกว่าที่ต้องการ ดังเหตุผลในสมบัติการต้านแรงดึงเช่นกัน และระดับความแข็งที่เหมาะสมแก่การผลิตแบบลดเดอริในอุตสาหกรรม

คือ ช่วงพิกัด 60 ถึง 70 shore A ดังแสดงเป็นเส้นปะ ค่าเฉลี่ยของช่วงพิกัดดังกล่าว คือ 65 shore A ดังแสดงเป็นเส้นทึบ

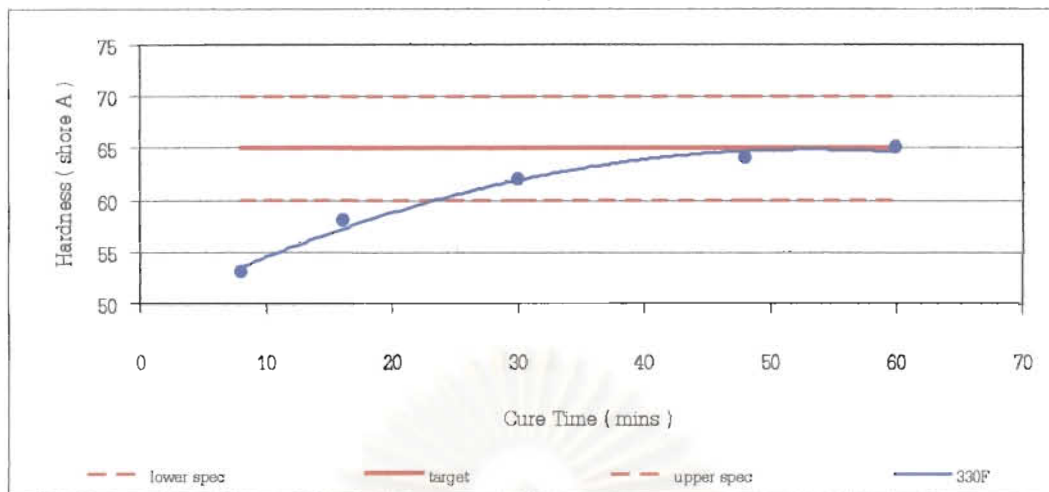
ความแข็งในระดับที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมตั้งแต่ระยะเวลาการบ่ม 120 นาทีขึ้นไป สำหรับการบ่ม ณ อุณหภูมิ 270 องศาฟาเรนไฮท์ ระยะเวลาการบ่ม 60 ถึง 240 นาที สำหรับการบ่ม ณ อุณหภูมิ 300 องศาฟาเรนไฮท์ ระยะเวลาการบ่ม 24 ถึง 60 นาที สำหรับการบ่ม ณ อุณหภูมิ 330 องศาฟาเรนไฮท์ และ ระยะเวลาการบ่ม 8 ถึง 15 นาที สำหรับการบ่ม ณ อุณหภูมิ 360 องศาฟาเรนไฮท์



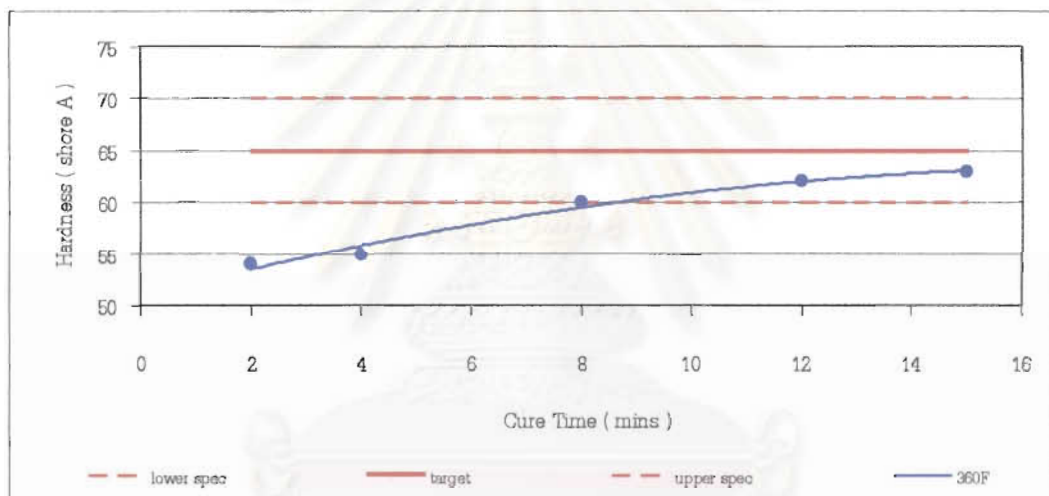
รูปที่ 4.13 : ความแข็ง สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์



รูปที่ 4.14 : ความแข็ง สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์



รูปที่ 4.15 : ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์



รูปที่ 4.16 : ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์

4.1.1.5 การเสื่อมสภาพของยางจากความร้อน

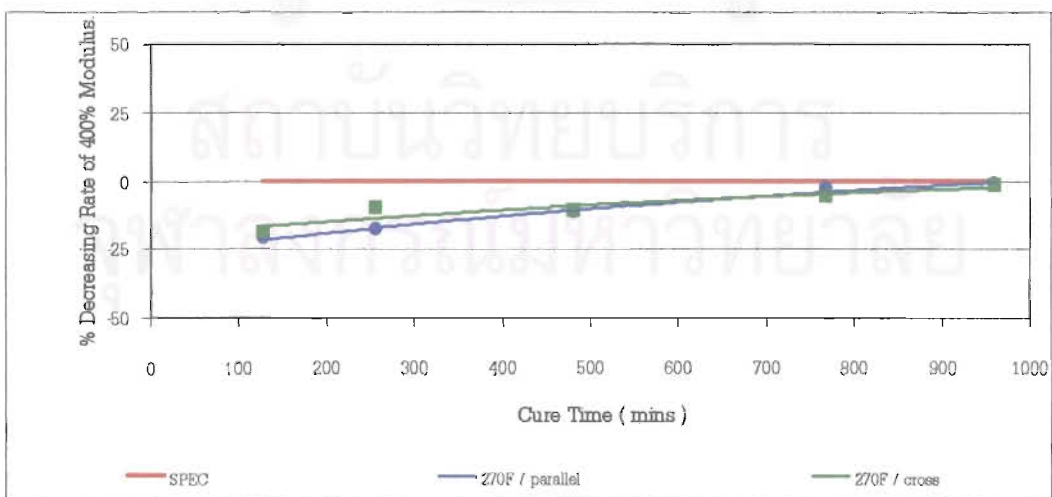
อัตราการเสื่อมสภาพของยาง แสดงถึงความสามารถในการรักษาสมบัติ หลังจากได้รับการบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

หากขึ้นทดสอบเกิดลักษณะ การบ่มต่ำกว่าที่ต้องการ นั้น แสดงว่าเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มเติม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะเพิ่ม ทำให้สมบัติมอดูลัสที่ 400% การต้านแรงดึง และความแข็ง จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น อัตราการเสื่อมสภาพของยาง จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งมีทิศทางกลับกันกับ ความยืดหยุ่นขนาด จะมีอัตราการเสื่อมสภาพของยาง จะมีค่าเป็นบวก

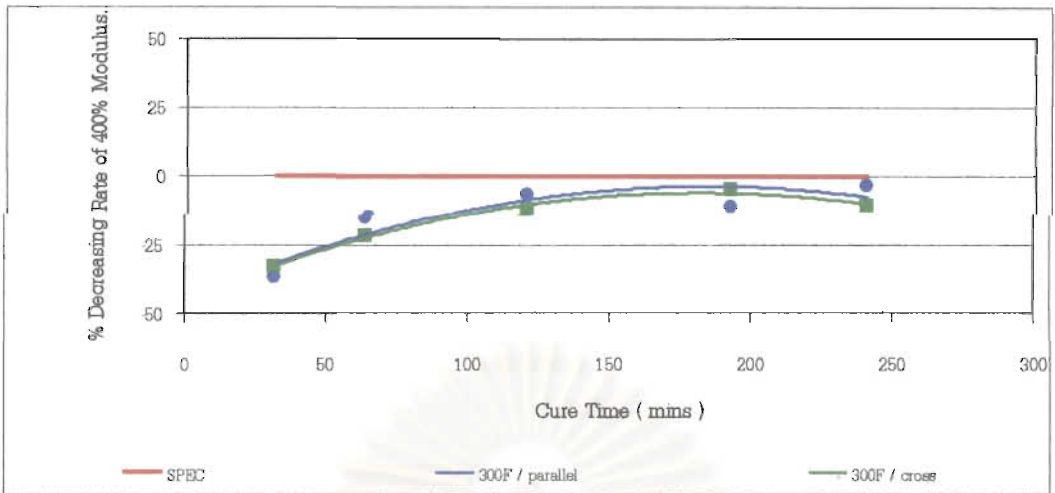
และสำหรับขั้นตอนทดสอบเกิดลักษณะ การบ่มสูงกว่าที่ต้องการ แสดงว่าเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มเติม จะไม่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะ ทำให้สมบัติมอดูลัสที่ 400% การต้านแรงดึง และความแข็ง จะเท่าเดิม หรือเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งในบางครั้ง เกิดการเสื่อมสภาพของยาง จะทำให้สมบัติข้างต้นลดลง ดังนั้น อัตราการเสื่อมสภาพของยาง จะมีค่าเป็นบวก ระดับอัตราการเสื่อมสภาพของยาง ซึ่งเหมาะแก่การผลิตแบลคเดอร์ในอุตสาหกรรม คือ ช่วงพิกัดที่ไม่สูงกว่า 0 เปอร์เซนต์ ดังแสดงเป็นเส้นทึบ ซึ่งหมายถึง ขึ้นยางต้องบ่มสุกพอดี

อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับ ทุกรายการ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 , 330 และ 360 องศาฟาเรนไฮต์ ในทิศแนวขนาน และตั้งฉากกับแนวรีด จากเครื่องรีดยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ถึง 4.28 อัตราการเสื่อมสภาพของยาง จากทิศทางการทดสอบทั้งสองแนว ณ ทุกอุณหภูมิการบ่มที่ศึกษา ไม่มีความแตกต่างกัน

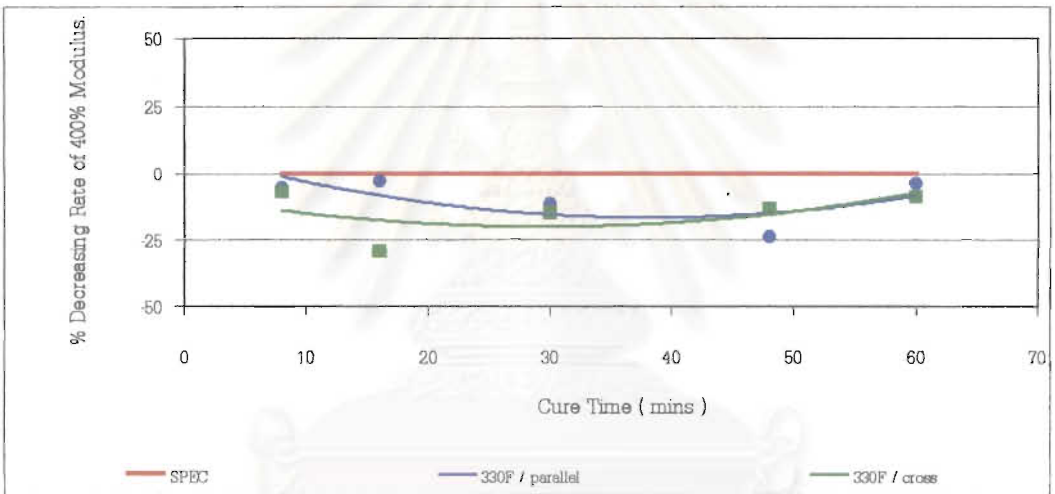
- อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับ มอดูลัสที่ 400 % ดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.20 เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการเสื่อมสภาพของยาง เพิ่มขึ้นในทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม ซึ่งอัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับมอดูลัสที่ 400 % ที่เหมาะแก่การผลิตแบลคเดอร์ คือ ตลอดช่วงระยะเวลาการบ่มที่ทุกช่วงอุณหภูมิ



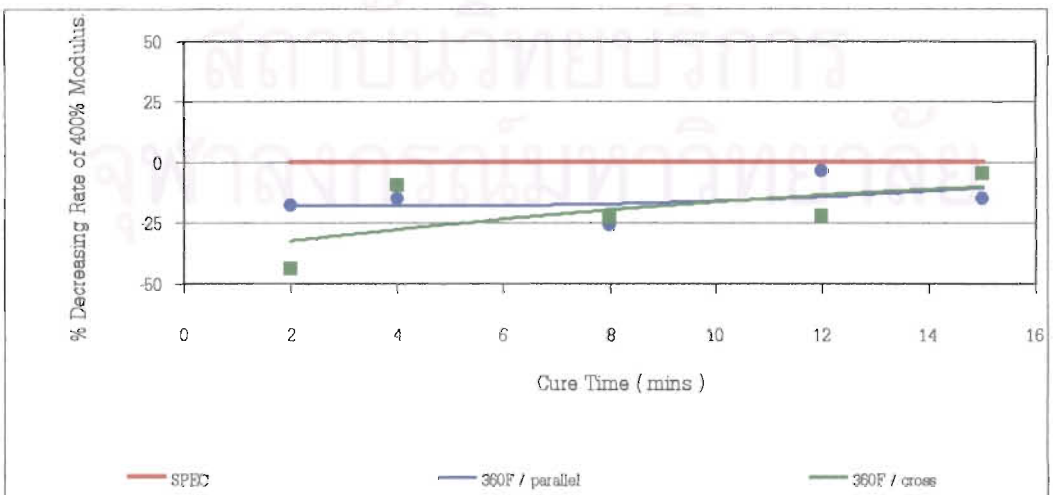
รูปที่ 4.17 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ มอดูลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.18 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ โมดูลัสที่ 400 % สำหรับ การอบที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์

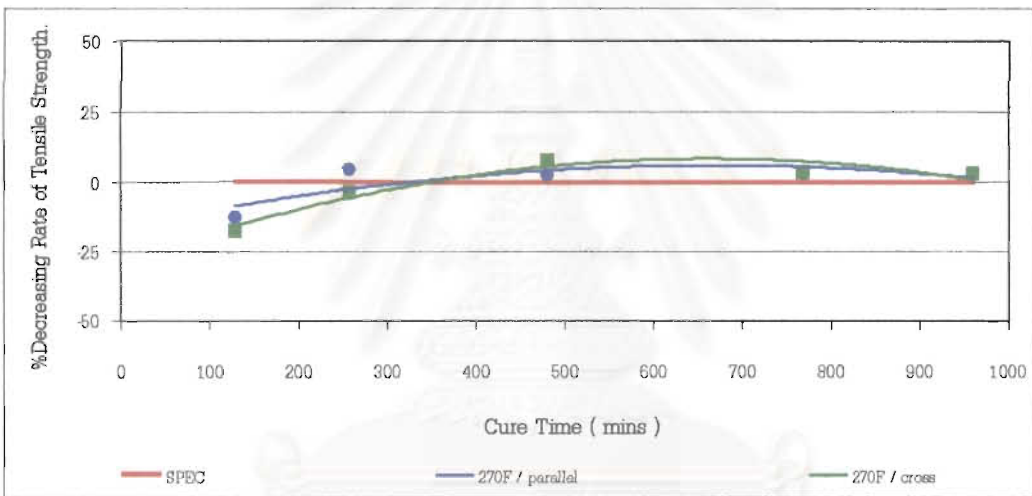


รูปที่ 4.19 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ โมดูลัสที่ 400 % สำหรับ การอบที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์

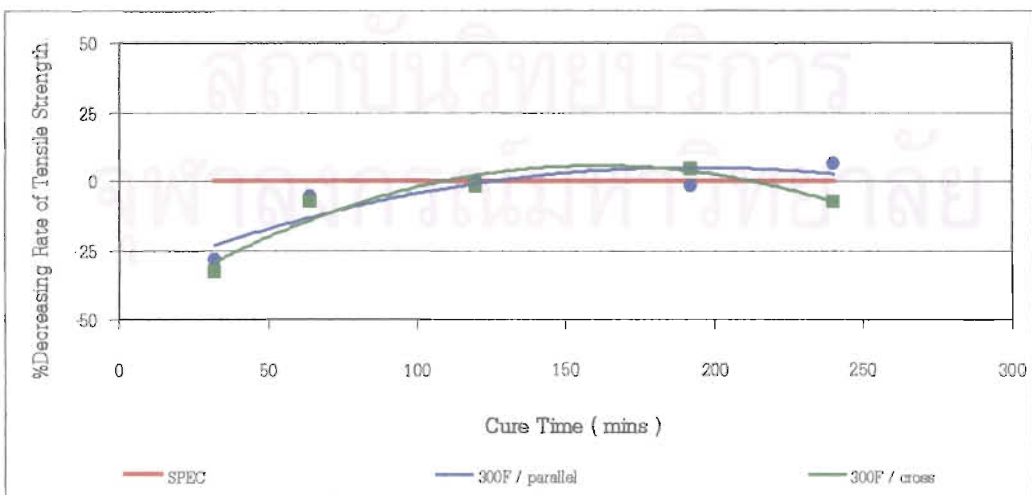


รูปที่ 4.20 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ โมดูลัสที่ 400 % สำหรับ การอบที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์

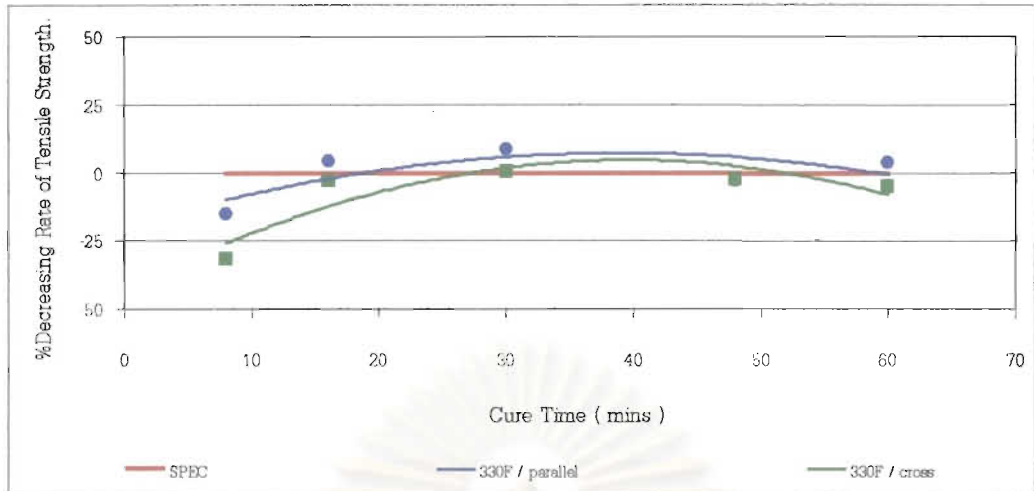
- อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับ การต้านแรงดึง ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการเสื่อมสภาพของยาง เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุดหนึ่งจะมีแนวโน้มที่ลดลง การบ่มที่ อุณหภูมิ 270 องศาฟาเรนไฮท์ ที่มีอัตราการเสื่อมสภาพของยาง เหมาะแก่การผลิตแบบลดเดอร์ คือ 120 ถึง 220 นาที การบ่มที่ อุณหภูมิ 300 องศาฟาเรนไฮท์ ที่มีอัตราการเสื่อมสภาพของยาง เหมาะแก่การผลิต คือ 30 ถึง 60 นาที การบ่มที่อุณหภูมิ 330 องศาฟาเรนไฮท์ ที่มีอัตราการเสื่อมสภาพของยาง เหมาะแก่การผลิต คือ 8 ถึง 12 นาที และ การบ่มที่อุณหภูมิ 360 องศาฟาเรนไฮท์ทุกช่วงเวลาการบ่มที่ให้อัตราการเสื่อมสภาพของยาง เหมาะแก่การผลิต



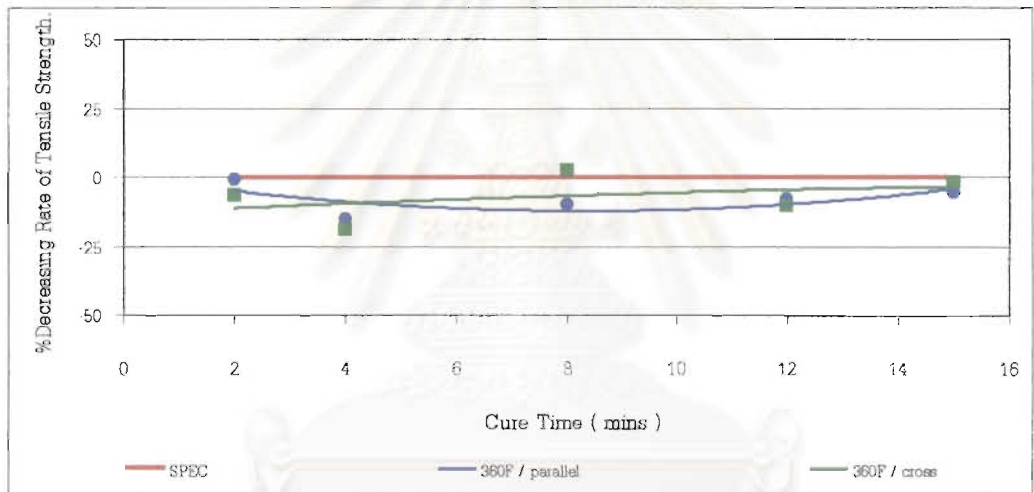
รูปที่ 4.21 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮท์



รูปที่ 4.22 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์

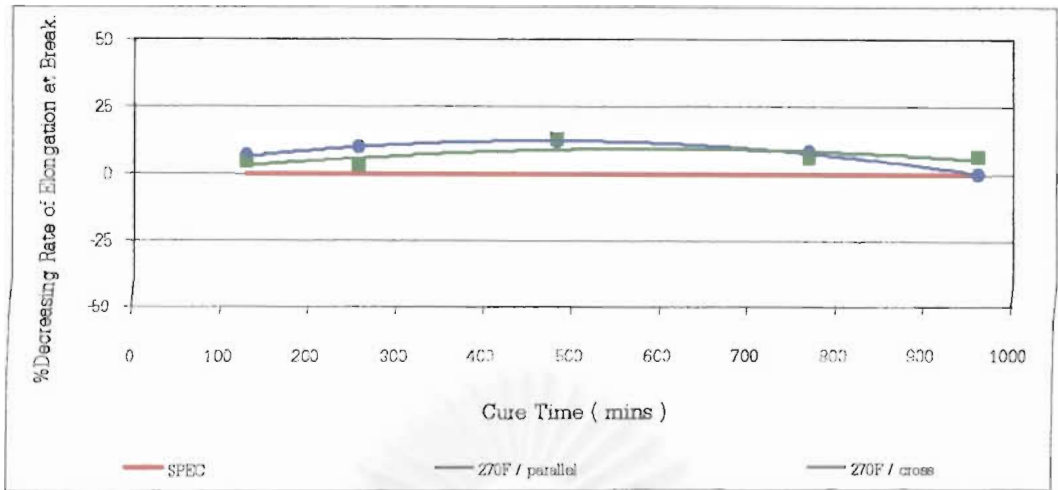


รูปที่ 4.23 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์

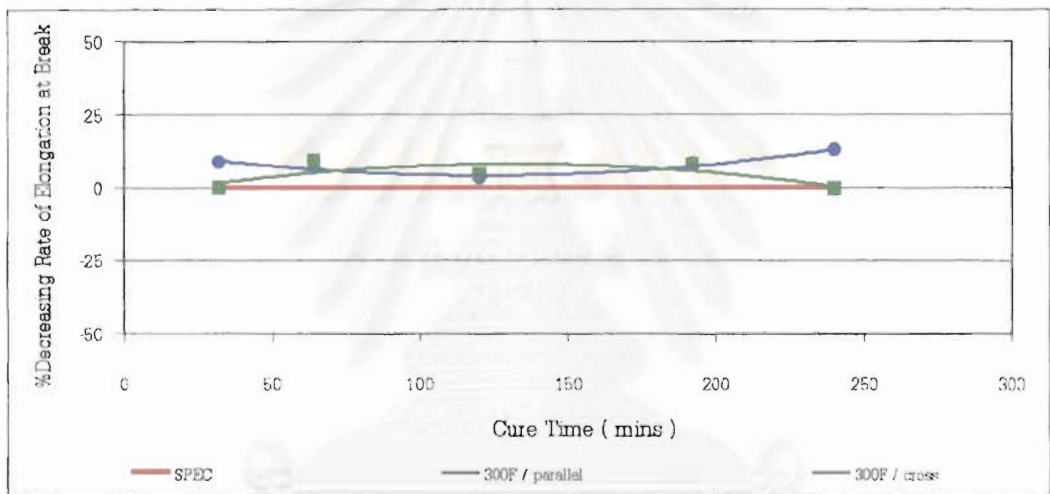


รูปที่ 4.24 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์

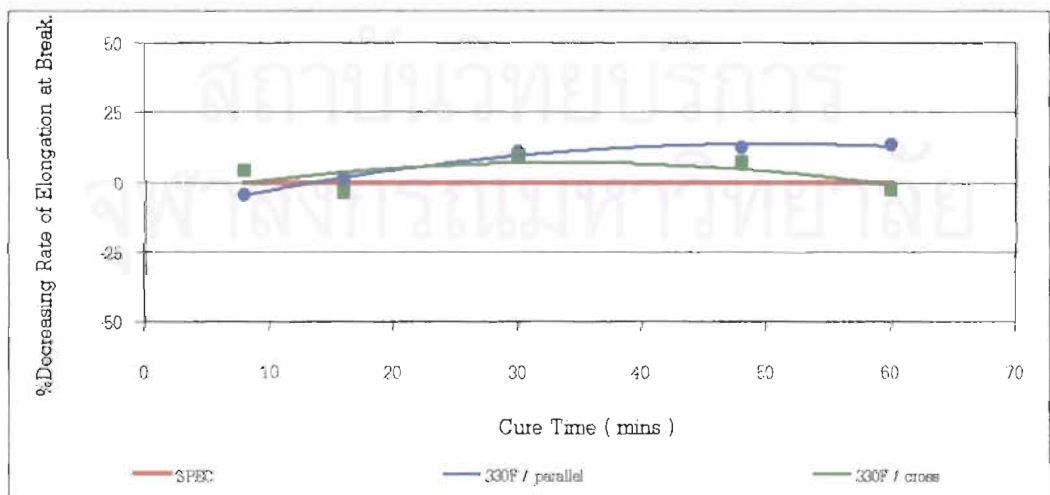
- อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับ ความยืดขนาด ดังรูปที่ 4.25 ถึง 4.28 เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการเสื่อมสภาพของยาง มีแนวโน้มลดลง และไม่มีช่วงเวลาที่ใช้ในการบ่ม ซึ่ง อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับความยืดขนาด ที่เหมาะแก่การผลิตแบลด์เดอร์



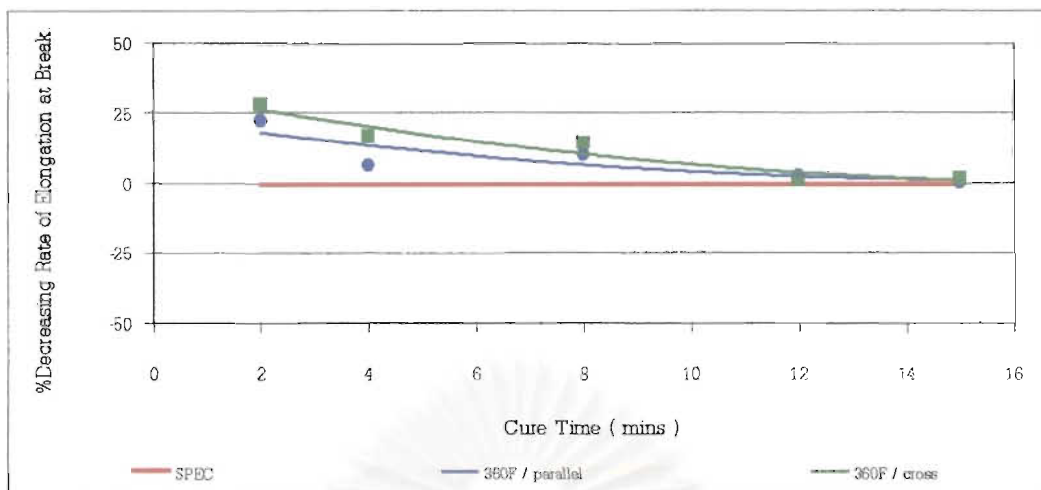
รูปที่ 4.25 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความยืดขณะขาด สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.26 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความยืดขณะขาด สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์

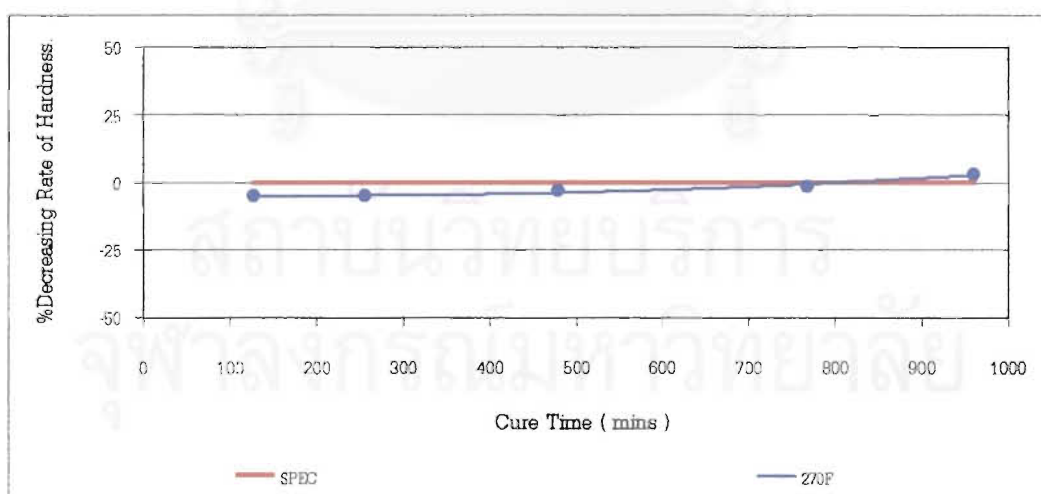


รูปที่ 4.27 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความยืดขณะขาด สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์

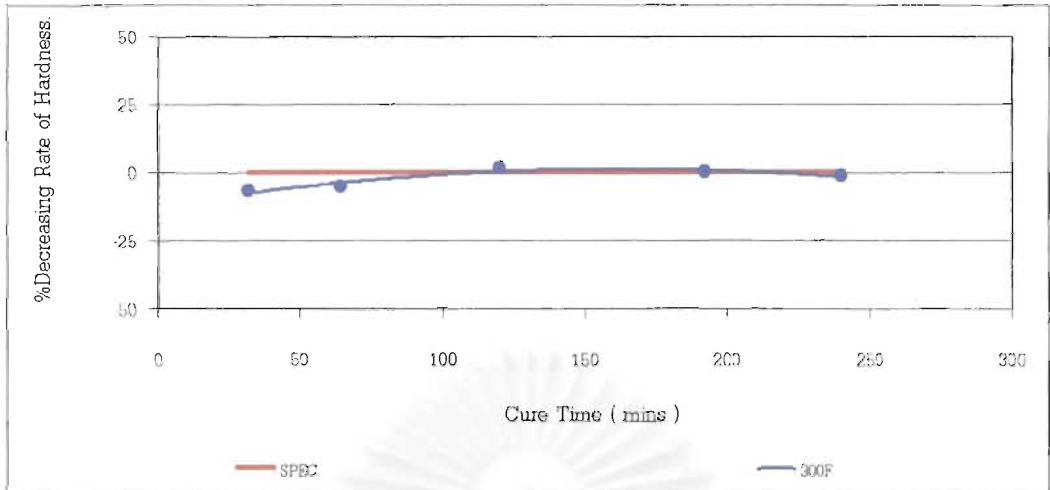


รูปที่ 4.28 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความยืดขณะขาด สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์

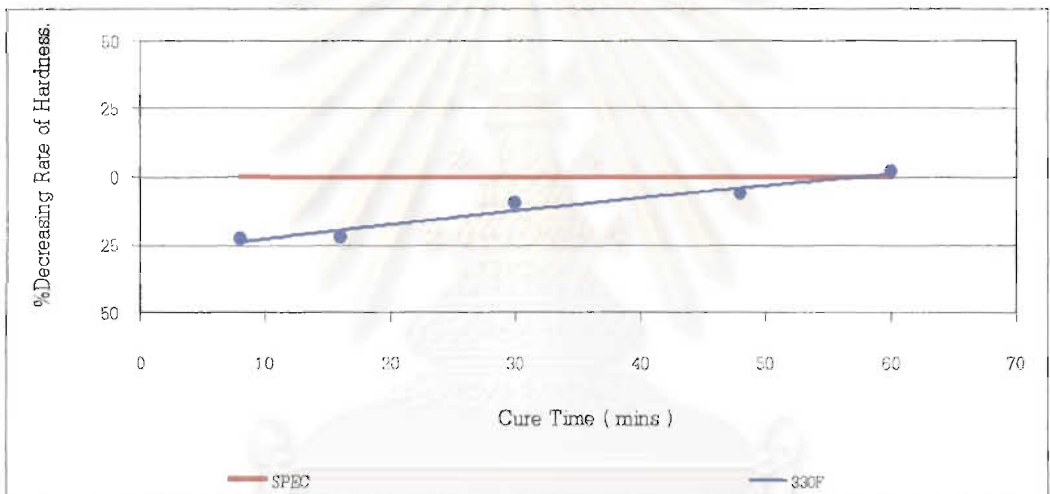
- อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับ ความแข็ง ดังรูปที่ 4.29 ถึง 4.32 เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการเสื่อมสภาพของยางเพิ่มขึ้น และ ทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการบ่ม ที่ให้อัตราการเสื่อมสภาพของยาง สำหรับความแข็ง เหมาะแก่การผลิตแบตเตอรี่



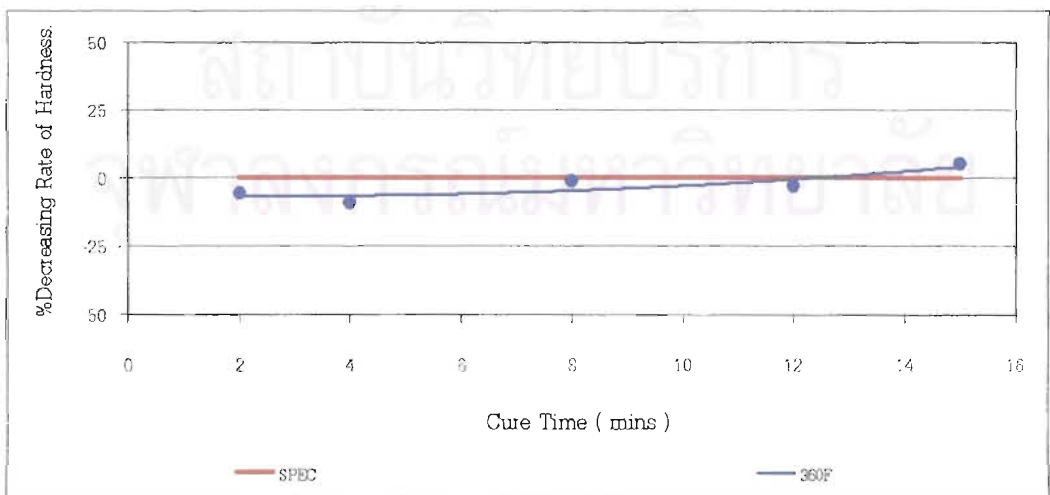
รูปที่ 4.29 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.30 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์



รูปที่ 4.31 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์



รูปที่ 4.32 : อัตราการเสื่อมสภาพ ของ ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์

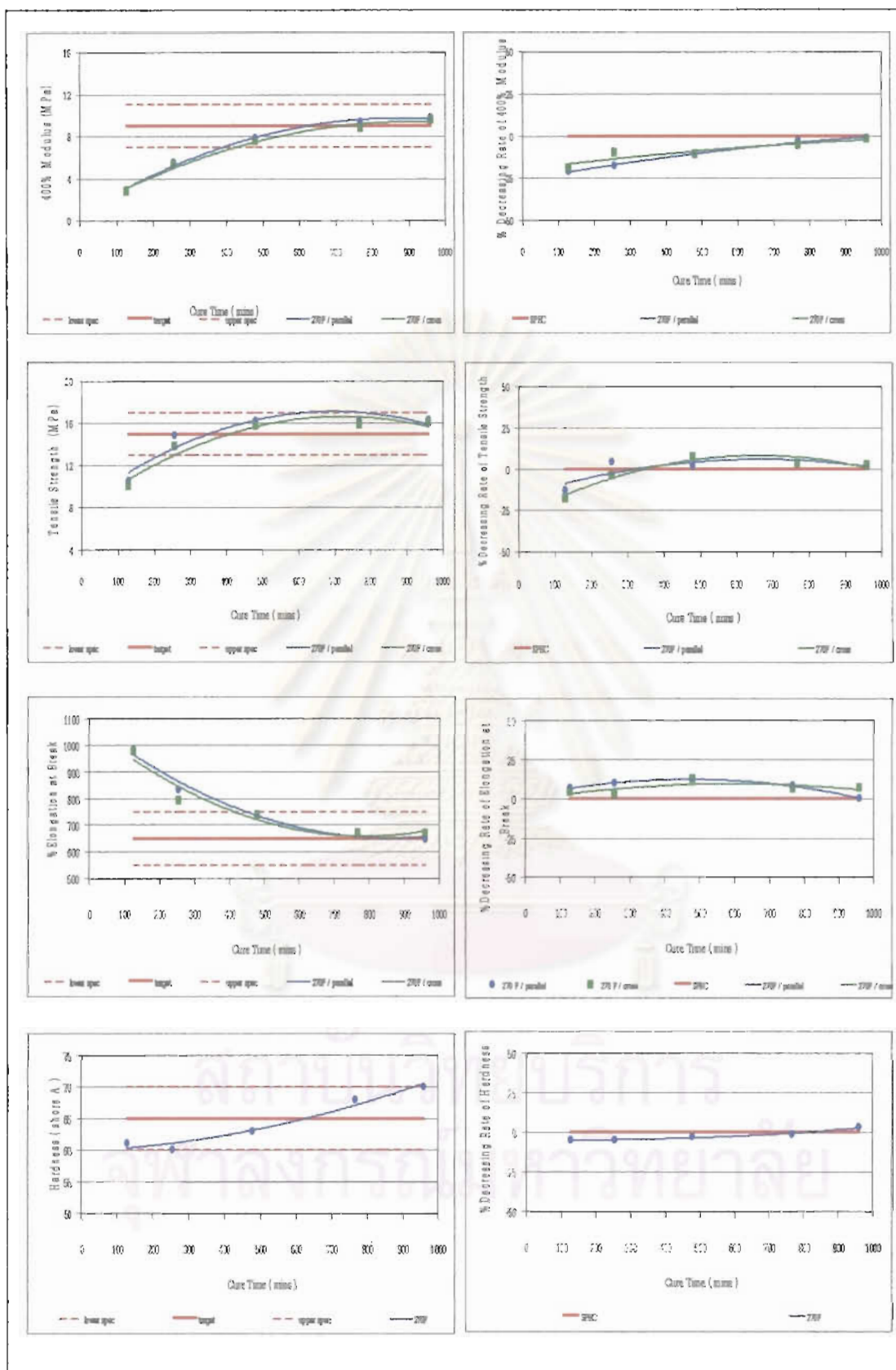
จากผลการศึกษาสสมบัติเชิงกลในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังแสดงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับอุณหภูมิการบ่มยางที่อุณหภูมิต่างกัน ในรูปที่ 4.33 ถึง 4.36 และสรุปในตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและช่วงพิกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม จะเห็นว่า สมบัติ มอดูลัสที่ 400 % การต้านแรงดึง และความยืดหยุ่นของขึ้นทดสอบ ไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างขึ้นตัวอย่างที่เตรียมโดยรีดในเวลานาน และตั้งฉากกับแนวรีดของเครื่องรีดยาง ดังนั้น การดำเนินการต่อไป จึงทำการศึกษาเฉพาะขึ้นทดสอบขนานกับแนวรีดของเครื่องรีดยาง เท่านั้น

การบ่มขึ้นทดสอบ ที่ 360 องศาฟาเรนไฮท์ ให้สมบัติ มอดูลัสที่ 400 % ความยืดหยุ่น และอัตราการเสื่อมสภาพจากการบ่มเร่งด้วยความร้อน ไม่ผ่านตามข้อกำหนด เนื่องจาก ยางมีสมบัติเป็นฉนวน การเคลื่อนที่ของความร้อนจากผิวแบบพิมพ์ไปสู่ชั้นยางใช้เวลานาน แต่เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการบ่มสั้น ทำให้ความร้อนเคลื่อนที่สู่ชั้นยางได้ไม่ดี จึงเกิดลักษณะที่เรียกว่า การบ่มต่ำกว่าที่ต้องการ

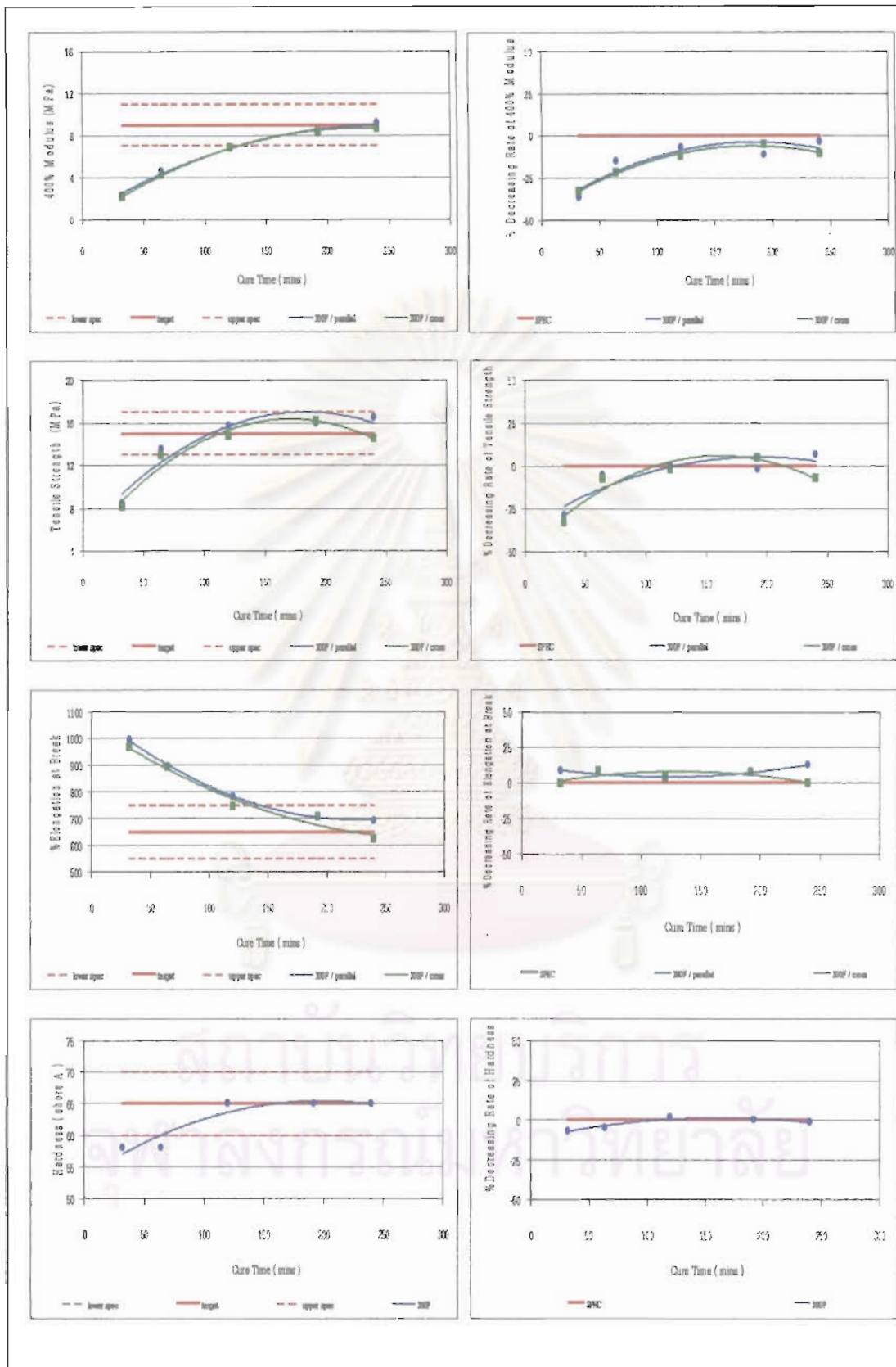
การบ่มขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 360 องศาฟาเรนไฮท์ เช่นที่ 270 300 และ 360 องศาฟาเรนไฮท์ ให้สมบัติต่าง ๆ ผ่านตามข้อกำหนด เฉพาะการบ่มด้วยเวลานาน

การบ่มด้วยเวลานาน จะให้สมบัติก่อนการบ่มเร่งที่ดี แต่ภายหลังจากการบ่มเร่งที่ต่ำกว่าการบ่มเร่งด้วยเวลาดสั้น ทั้งนี้เนื่องจาก ชั้นยางได้รับความร้อนเป็นเวลานาน จึงเกิดลักษณะที่เรียกว่า การบ่มมากกว่าที่ต้องการ

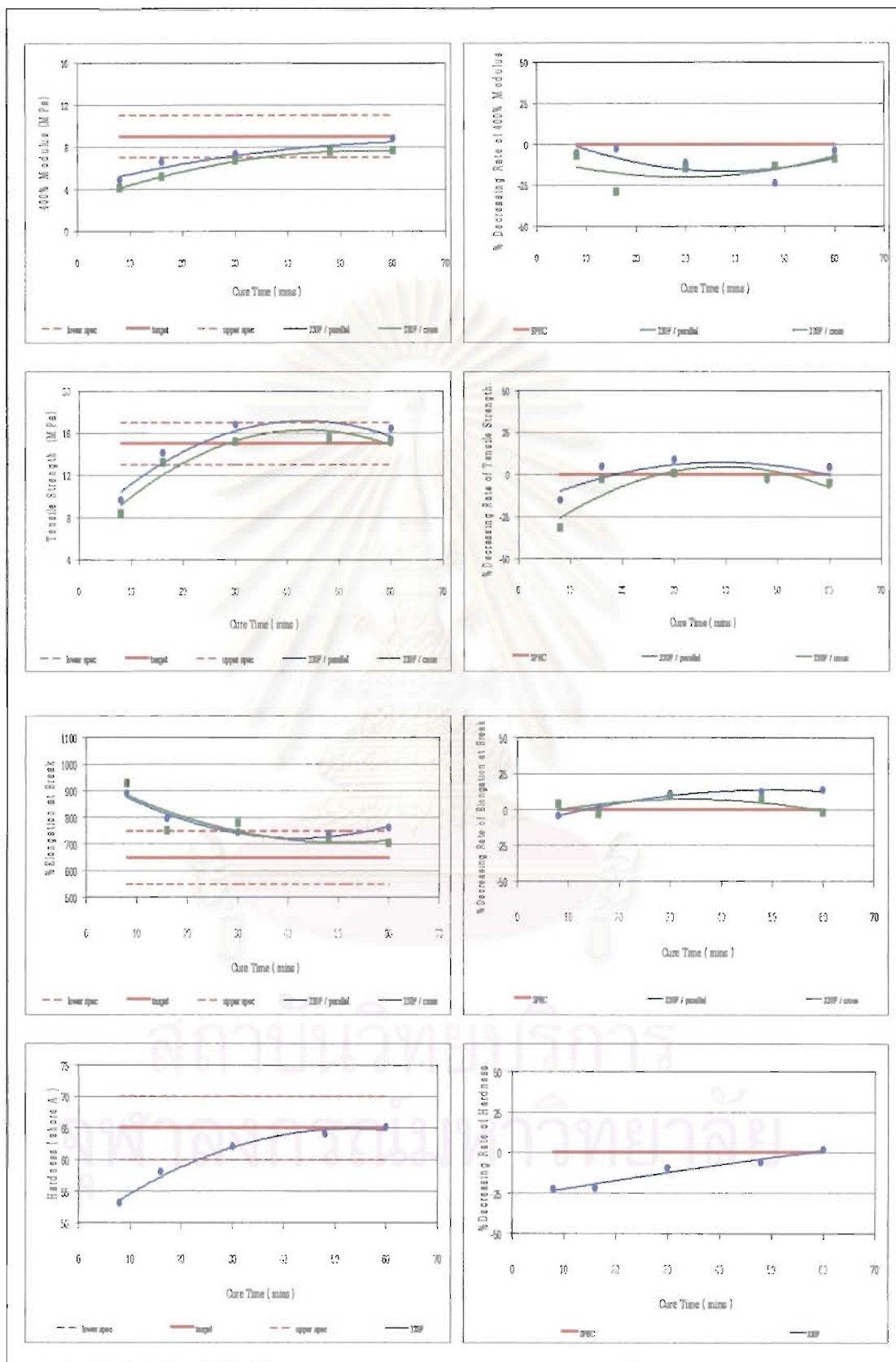
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



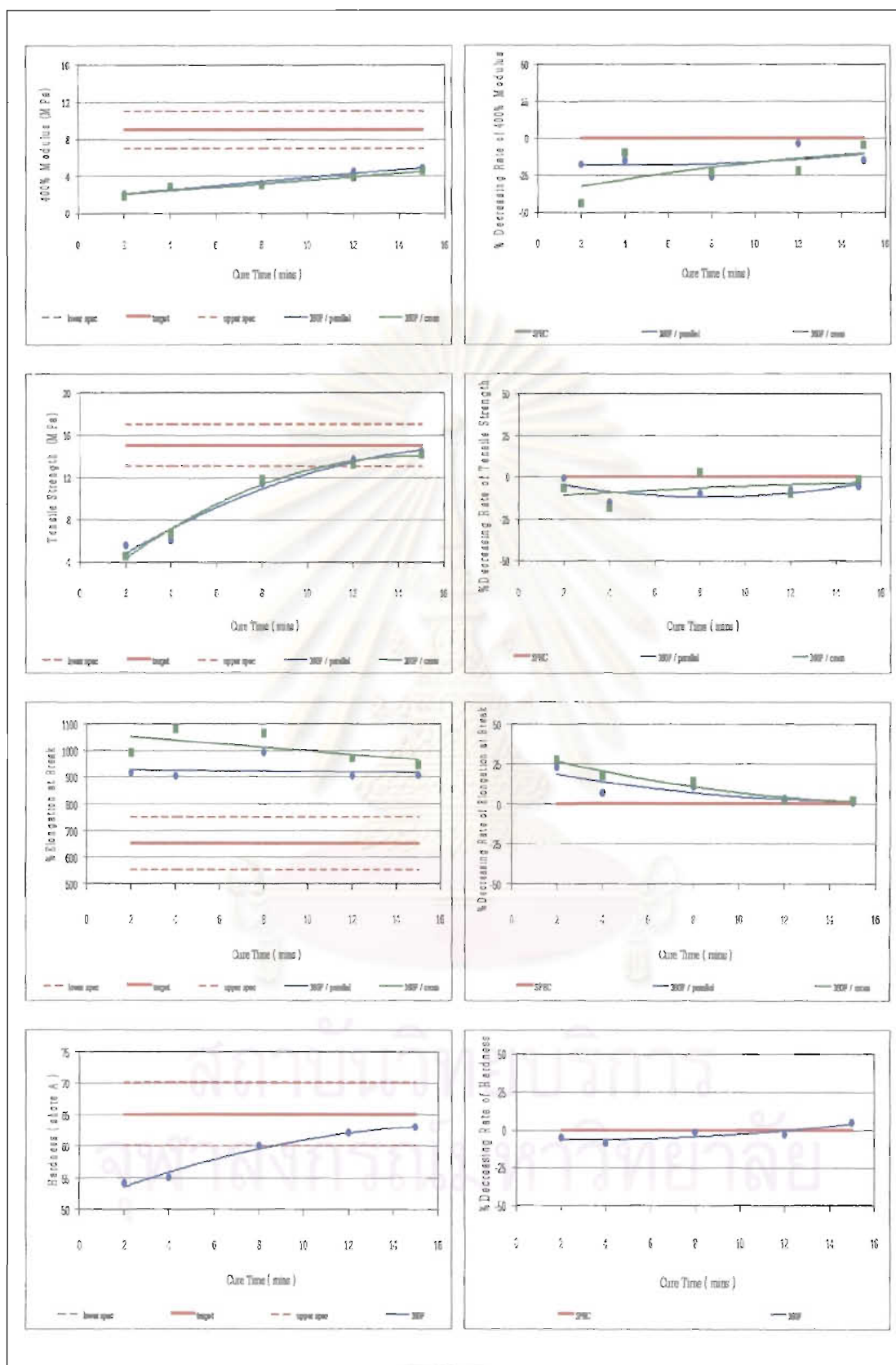
รูปที่ 4.33 : สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับ การบ่มยางที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.34 : สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับ การบ่มยางที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.35 : สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับการบ่มยางที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 4.36 : สมบัติเชิงกลต่าง ๆ สำหรับการบ่มยางที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์

ตารางที่ 4.1 : การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ที่อยู่ในช่วงพิกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม
ของชิ้นตัวอย่าง ที่ปม ณ อุณหภูมิและช่วงเวลาต่างกัน

สมบัติ	เวลาที่ใช้ในการปมที่เหมาะสม (นาที) ที่ การปมที่อุณหภูมิต่าง ๆ (องศาฟาเรนไฮต์)			
	270	300	330	360
มอดูลัสที่ 400 %	มากกว่า 400	มากกว่า 125	มากกว่า 40	ไม่มี
การต้านแรงดึง	มากกว่า 250	75 - 195	20 - 50	มากกว่า 11
ความยืดขนาด	มากกว่า 450	มากกว่า 140	มากกว่า 30	ไม่มี
ความแข็ง	มากกว่า 120	60 - 240	24 - 60	8 - 15
อัตราการเสื่อมสภาพสำหรับ มอดูลัสที่ 400 %	ทุกช่วงเวลา	ทุกช่วงเวลา	ทุกช่วงเวลา	ทุกช่วงเวลา
อัตราการเสื่อมสภาพสำหรับ การต้านแรงดึง	120 - 220	30 - 60	8 - 12	ทุกช่วงเวลา
อัตราการเสื่อมสภาพสำหรับ ความยืดขนาด	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
อัตราการเสื่อมสภาพสำหรับ ความแข็ง	ทุกช่วงเวลา	ทุกช่วงเวลา	ทุกช่วงเวลา	ทุกช่วงเวลา

ผลการวิจัยสภาวะการบ่มต่อสมบัติยางให้ได้พิกัดสภาวะการบ่ม เพื่อให้ได้ชั้นยางที่มีสมบัติเหมาะแก่แบลด์เดอร์ ดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 : สภาวะการบ่มที่ให้สมบัติในระดับที่เหมาะสมแก่การผลิตแบลด์เดอร์ในอุตสาหกรรม

เวลาที่ใช้ในการบ่มยาง (นาที)		
270 องศาฟาเรนไฮต์	300 องศาฟาเรนไฮต์	330 องศาฟาเรนไฮต์
384	96	24
480	120	30
768	192	48
960	240	60

4.1.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มในห้องปฏิบัติการ

ทำการบ่มขึ้นทดสอบตามสภาวะที่ใช้ในการบ่มยาง ตามตารางที่ 4.2 จากนั้นเตรียมขึ้นตัวอย่าง ขนาดนไปกับแนวรีดจากเครื่องรีดยาง และทำการทดสอบ ดังนี้.

4.1.2.1 มอดูลัสที่ 400%

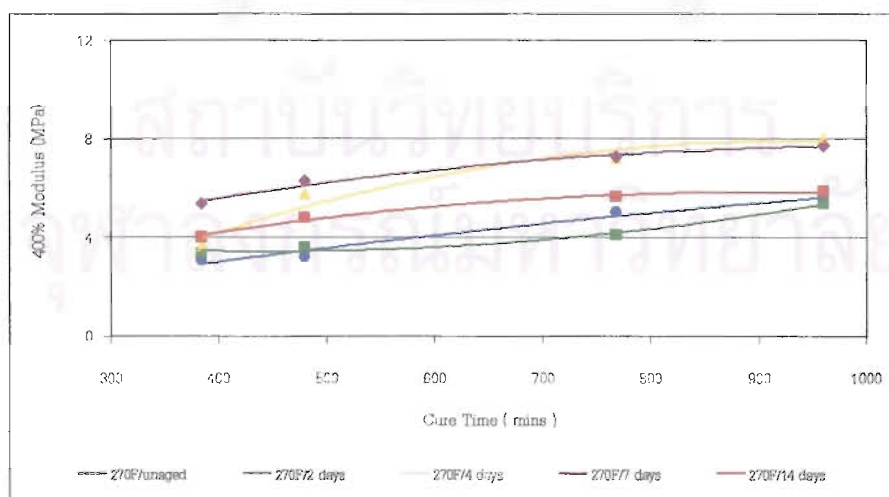
ผลการทดสอบ ค่ามอดูลัสที่ 400 % ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 ถึง 4.39 ค่ามอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นไปกับระยะเวลาของการบ่ม ในทุกอุณหภูมิที่ใช้บ่ม สำหรับการบ่มที่ 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ นั้น มอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง จากนั้นมีแนวโน้มลดลง ส่วนการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ มอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลา

สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า

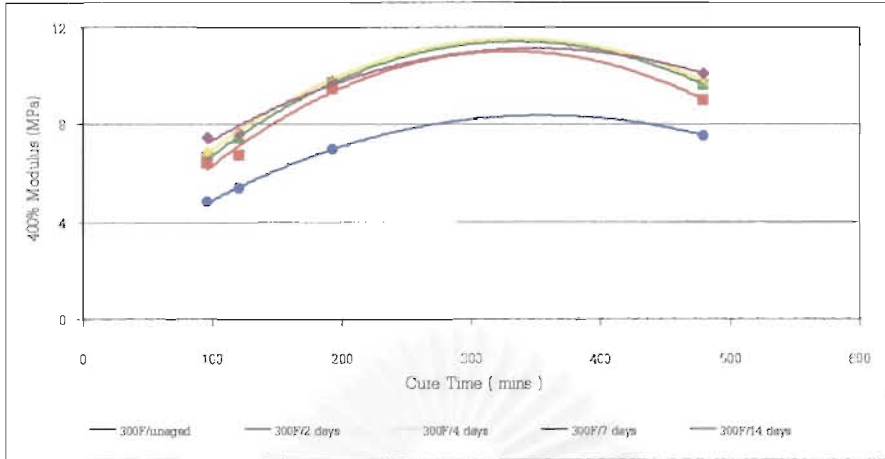
การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ให้มอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่มขึ้น จาก 2 ถึง 7 วัน สำหรับตัวอย่างที่บ่มที่เวลา 380 ถึง 500 นาที และมอดูลัสที่ 400 % ลดลงเมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่บ่มเวลามากกว่า 500 นาที และการบ่มเร่งเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ขึ้นตัวอย่างมีค่ามอดูลัสที่ 400 % ลดลงในทุกช่วงเวลากการบ่ม

การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ให้มอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่มขึ้น และการบ่มเร่งเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ขึ้นตัวอย่างมีค่ามอดูลัสที่ 400 % ลดลงในทุกช่วงเวลากการบ่ม

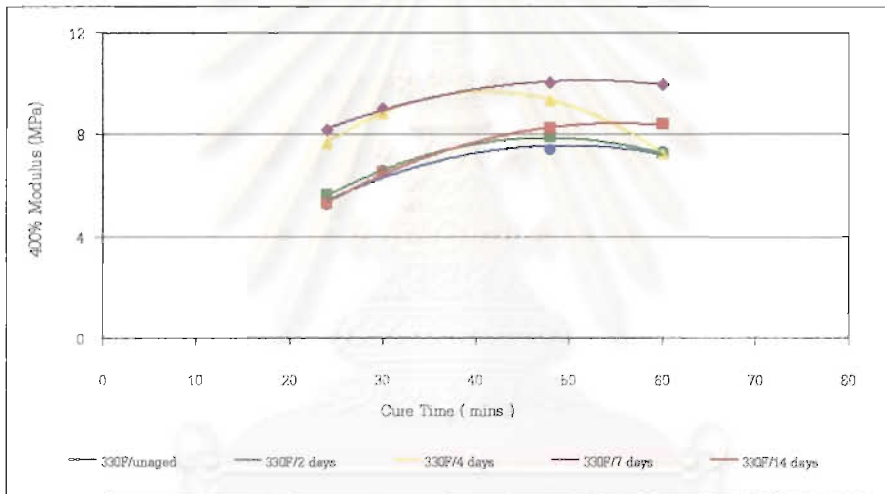
การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ให้มอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาบ่มเร่งที่ 4 และ 7 วัน ส่วนการบ่มเร่งเป็นเวลา 2 วัน ไม่ให้ความแตกต่าง ซึ่งการบ่มเร่งเป็นเวลา 4 วัน สำหรับขึ้นทดสอบที่บ่มที่เวลา 40 นาทีขึ้นไป จะให้สมบัติที่ต่ำลงมาก และการบ่มเร่งเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ขึ้นตัวอย่างมีค่ามอดูลัสที่ 400 % ลดลงในทุกช่วงเวลากการบ่ม



รูปที่ 4.37 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.38 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ.

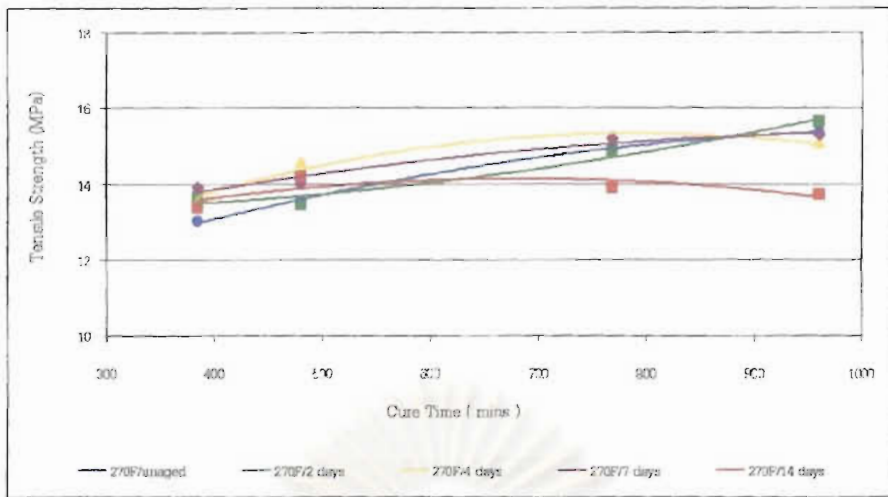


รูปที่ 4.39 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ

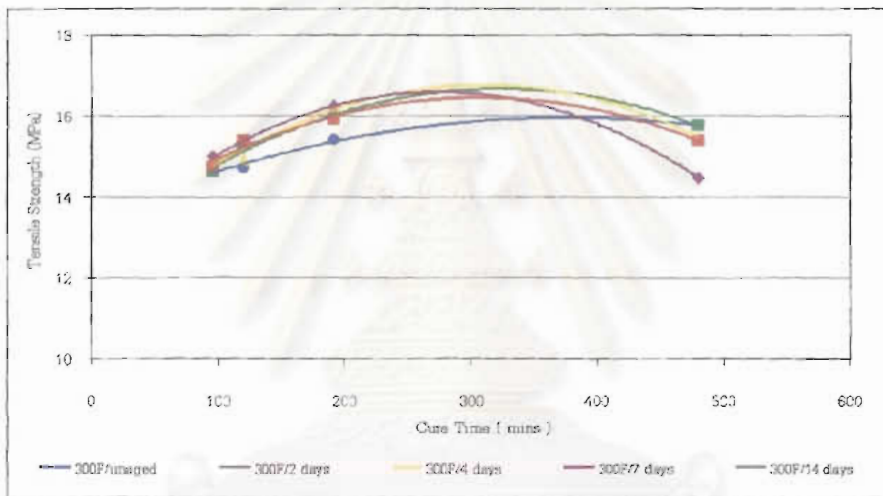
4.1.2.2 การต้านแรงดึง

ผลการทดสอบ การต้านแรงดึง ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.40 ถึง 4.42 มีพฤติกรรมคล้ายกับมอดูลัสที่ 400 %

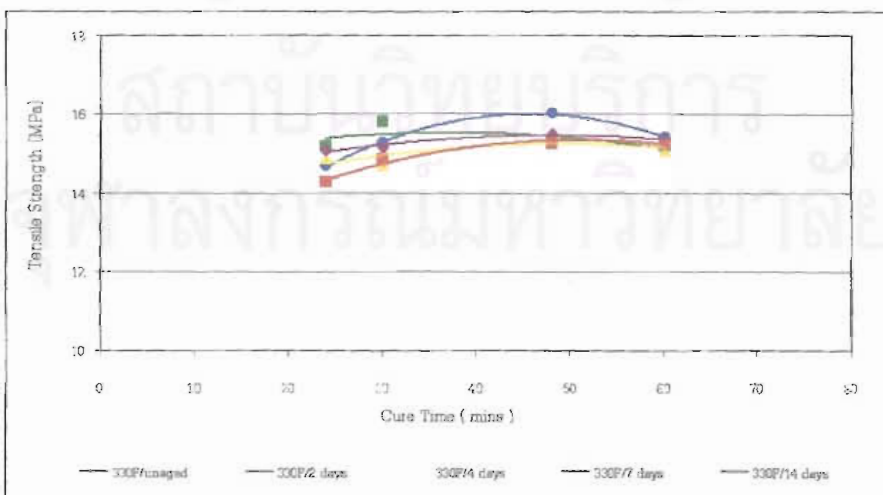
สำหรับการบ่มแรงด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า มีพฤติกรรมคล้ายกับมอดูลัสที่ 400 % เช่นกัน



รูปที่ 4.40 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.



รูปที่ 4.41 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.42 : การต้านแรงดึง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

4.1.2.3 ความยืดหยุ่นขนาด

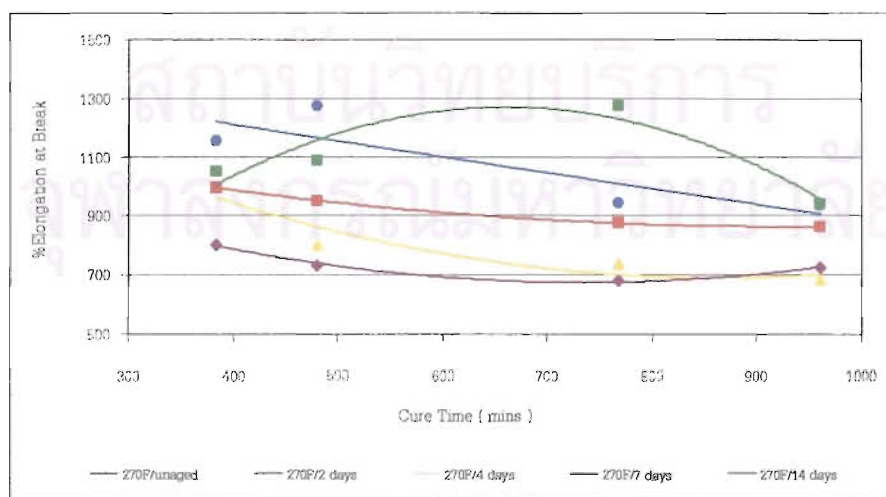
ผลการทดสอบ ความยืดหยุ่นขนาด ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.43 ถึง 4.45 ความยืดหยุ่นขนาดลดลงไปกับระยะเวลาของการบ่ม ในทุกอุณหภูมิที่ใช้บ่ม ความยืดหยุ่นขนาดลดลงจนถึงจุดหนึ่ง จากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่

สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า

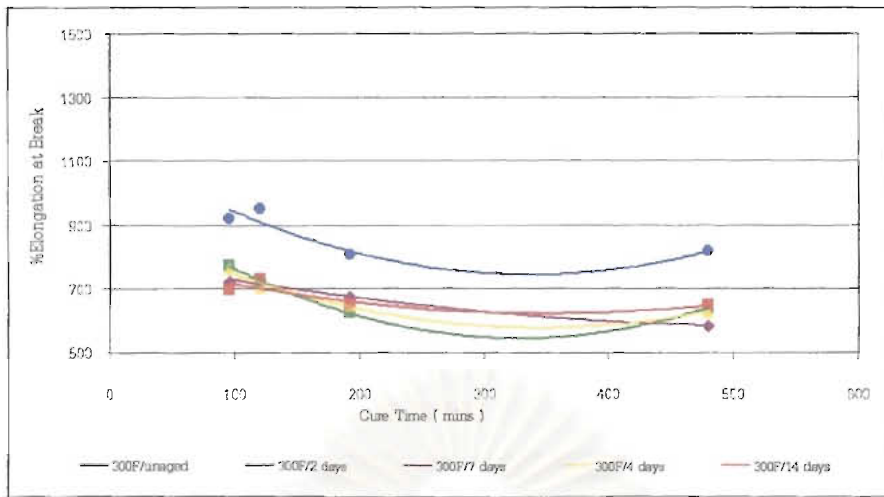
การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ให้ค่าความยืดหยุ่นขนาด ลดลงเมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นการบ่มเร่งเป็นเวลา 2 วัน และการบ่มเร่งเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ขึ้นตัวอย่างมีค่าความยืดหยุ่นขนาด เพิ่มขึ้นในทุกช่วงระยะเวลาการบ่ม

การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ให้ค่าความยืดหยุ่นขนาด ลดลงเมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่มขึ้น

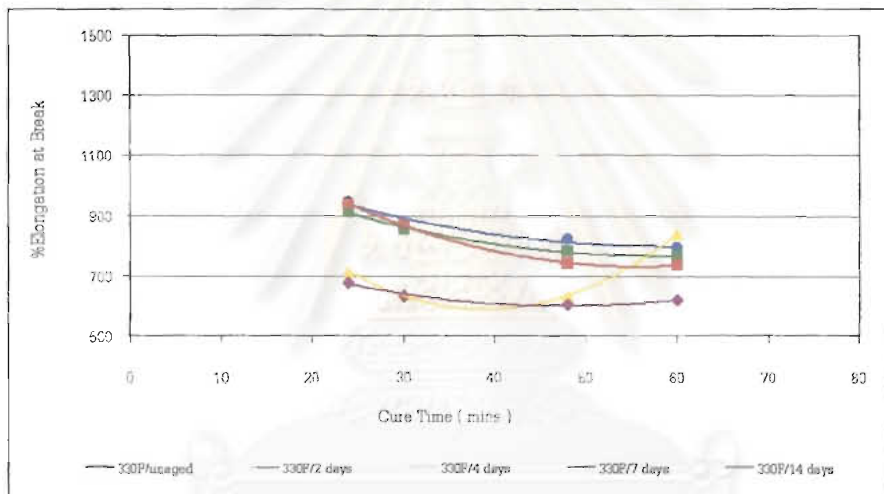
การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ในช่วงต้นที่เวลาบ่ม 20 ถึง 30 นาที การบ่มเร่งไม่แสดงความแตกต่างสำหรับการยืดหยุ่นขนาด จากนั้นเมื่อเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ค่าความยืดหยุ่นขนาด ลดลงเมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่ม ยกเว้นการบ่มเร่งเป็นเวลา 4 วัน เมื่อบ่มเป็นเวลามากกว่า 40 นาที ทำให้ ค่าความยืดหยุ่นขนาดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.43 : ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.



รูปที่ 4.44 : ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.



รูปที่ 4.45 : ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

4.1.2.4 ระยะเวลา bench mark หลังขาด

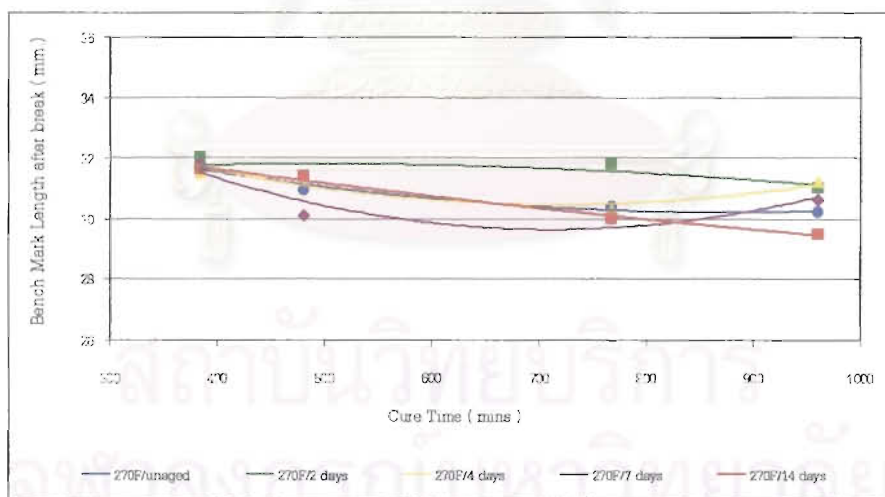
ระยะเวลา bench mark หลังขาด แสดงถึงสมบัติการคืนกลับสภาพเดิม หลังจากถูกยืดจนขาด ซึ่งสามารถประเมินได้จากการทดสอบการต้านทานแรงดึง และความยืดหยุ่นขนาด ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.46 ถึง 4.48 ระยะเวลา bench mark หลังขาด ลดลงไปกับระยะเวลาของการบ่ม ในทุกอุณหภูมิที่ใช้บ่ม เนื่องจาก เมื่อเวลาที่ใช้บ่มเพิ่มขึ้น โมเลกุลเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้มีความเป็นอีลาสติกเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมาจากการเกิด

พันธะเชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้ขึ้นทดสอบกลับคืนสู่สภาพเดิม เมื่อสิ้นสุดแรงมากระทำ จะเป็นผลดีต่อสมบัติของแบลคเดอร์ เมื่อมีการใช้แบลคเดอร์เป็นเวลานาน ๆ คือ การยืดและหดแบลคเดอร์เป็นเวลานาน ๆ นั้นเอง จะทำให้แบลคเดอร์มีขนาดใหญ่กว่าชุดหนีบแบลคเดอร์เข้ากับชุดกระบอกสูบ ทำให้ น้ำร้อน ไอน้ำ และแรงดัน รั่วออกมาได้

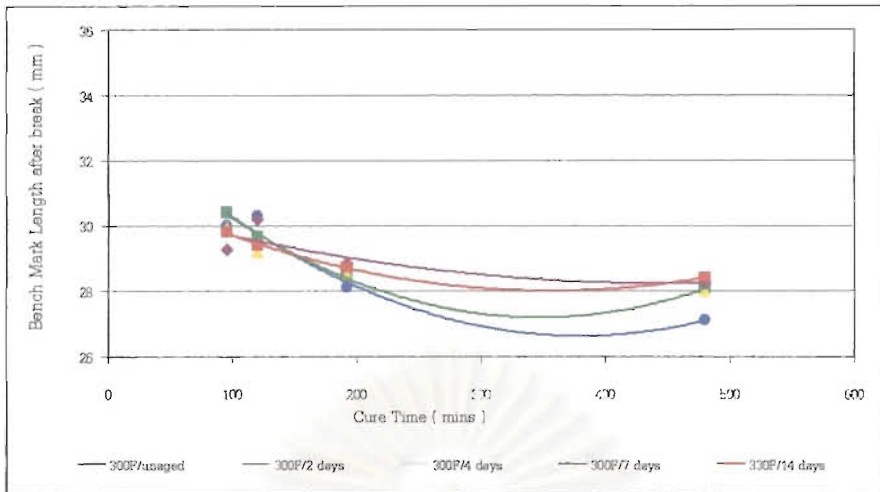
สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า

การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ระยะ bench mark หลังขาด มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อเวลาบ่มเร่งที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ที่เวลาการบ่มสั้น คือ น้อยกว่า 200 นาที เมื่อเวลาการบ่มมากกว่า 200 นาที เมื่อ ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มเร่งเพิ่มขึ้น ระยะ bench mark หลังขาด จะเพิ่มขึ้น

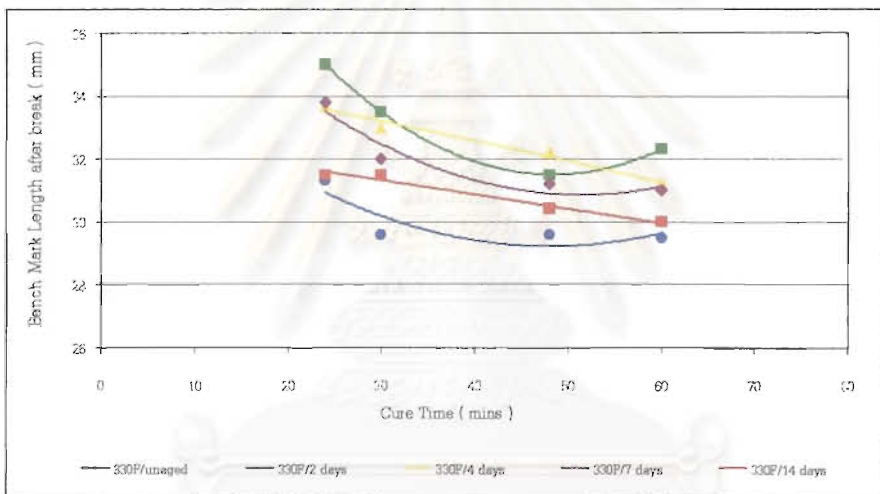
การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มเร่งเพิ่มขึ้น ระยะ bench mark หลังขาด จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.46 : ระยะ bench mark หลังขาดสำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.



รูปที่ 4.47 : ระยะ bench mark หลังขาดสำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเวลาที่เวลาต่าง ๆ.

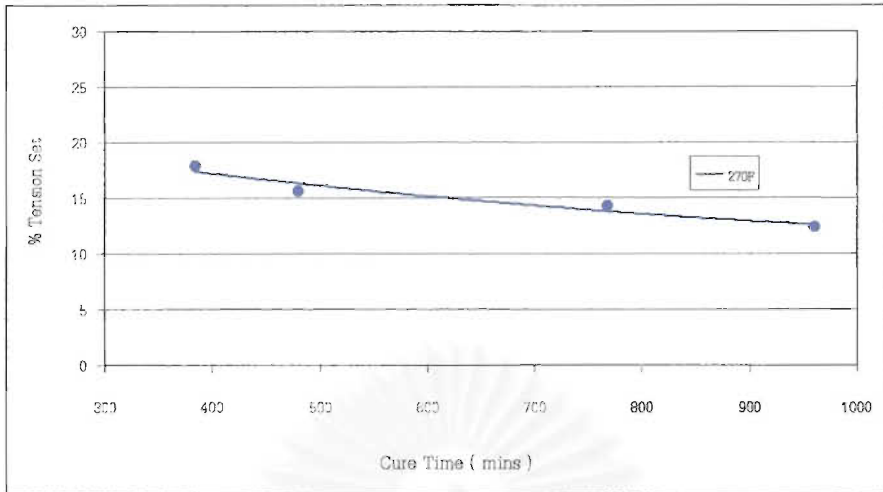


รูปที่ 4.48 : ระยะ bench mark หลังขาดสำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเวลาที่เวลาต่าง ๆ

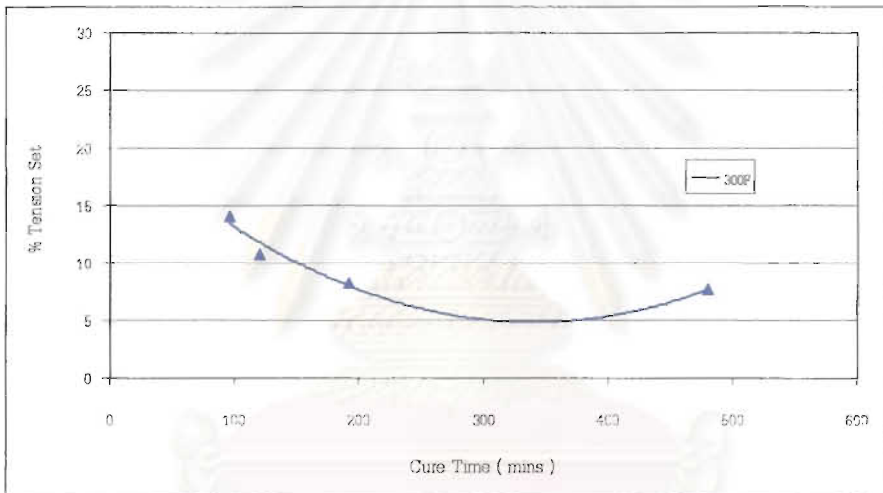
4.1.2.5

ความคงตัวหลังจากยึด

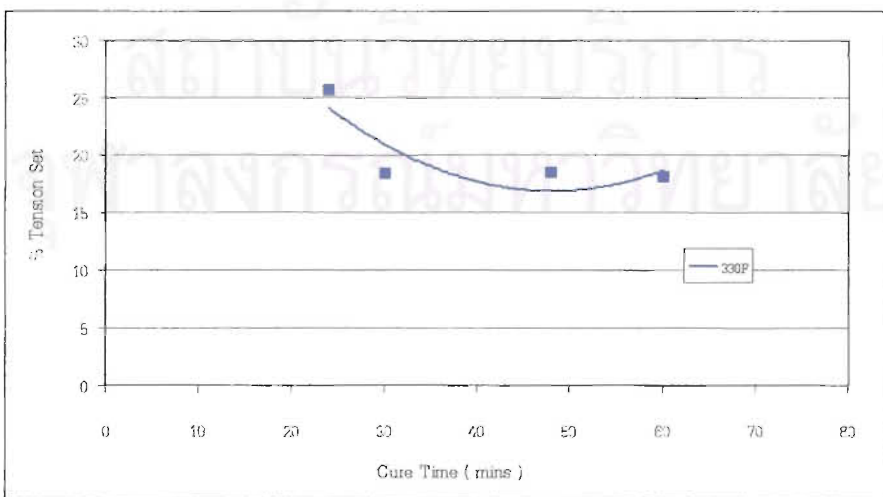
ความคงตัวหลังจากยึด แสดงสมบัติเดียวกับ ระยะ bench mark หลังขาด แตกต่างกันเพียง ความคงตัวหลังจากยึด คือสมบัติของชิ้นทดสอบที่คืนกลับหลังจากยึดแล้ว 400 เปอร์เซ็นต์จากระยะเดิม ซึ่งสมบัติ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.49 ถึง 4.51



รูปที่ 4.49 : ความคงตัวหลังจากยึด สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์.



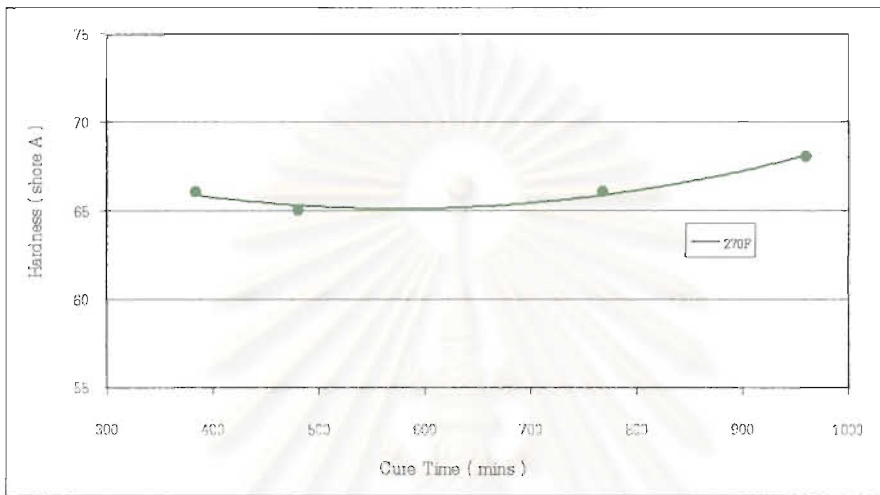
รูปที่ 4.50 : ความคงตัวหลังจากยึด สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์.



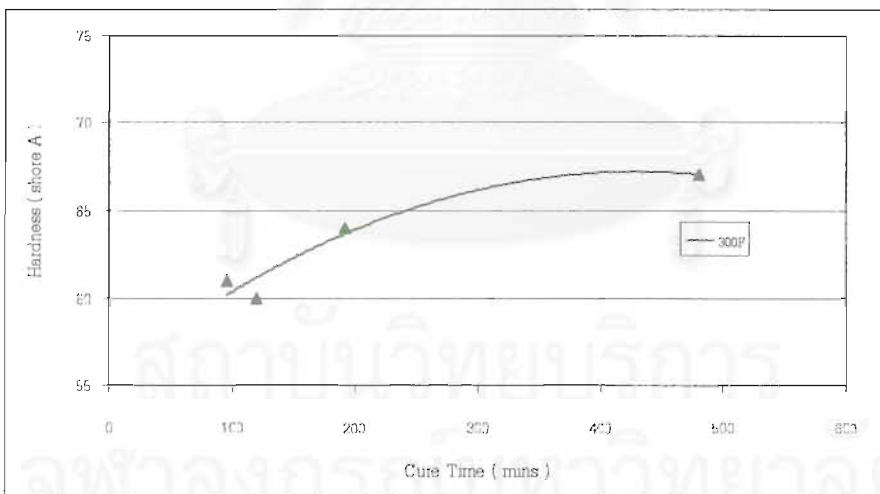
รูปที่ 4.51 : ความคงตัวหลังจากยึด สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์

4.1.2.6 ความแข็ง

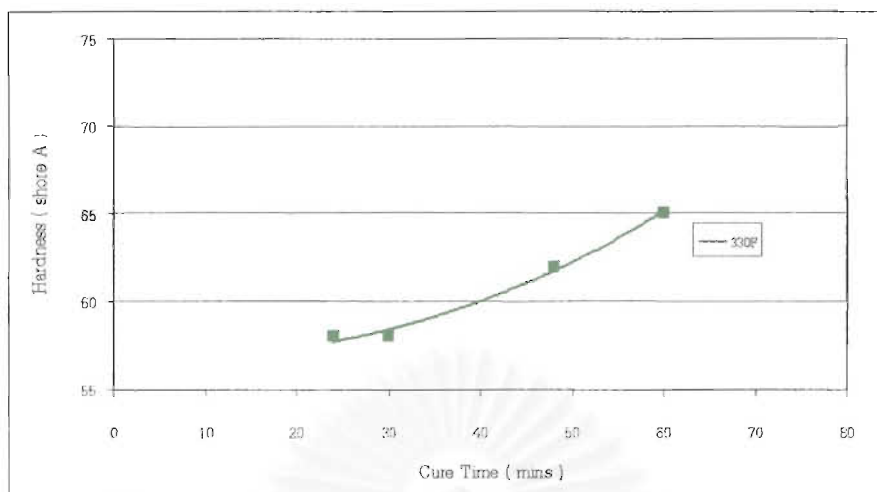
ความแข็ง ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.52 ถึง 4.54 แนวโน้มดังรายละเอียดในข้อ 4.1.1.4



รูปที่ 4.52 : ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์.



รูปที่ 4.53 : ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์.



รูปที่ 4.54 : ความแข็ง สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์

4.1.2.7 การต้านการฉีกขาด

การต้านการฉีกขาด เป็นสมบัติที่แสดงความแข็งแรงของชั้นทดสอบ เช่นเดียวกับ การต้านแรงดึง แต่แตกต่างกันเพียง การต้านการฉีกขาด คือแรงที่กระทำตั้งฉากกับการขาดของชั้นทดสอบ โดยการต้านแรงดึงนั้น คือแรงที่กระทำในทิศเดียวกับการขาดของชั้นทดสอบ ซึ่งสมบัติ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.55 ถึง 4.57

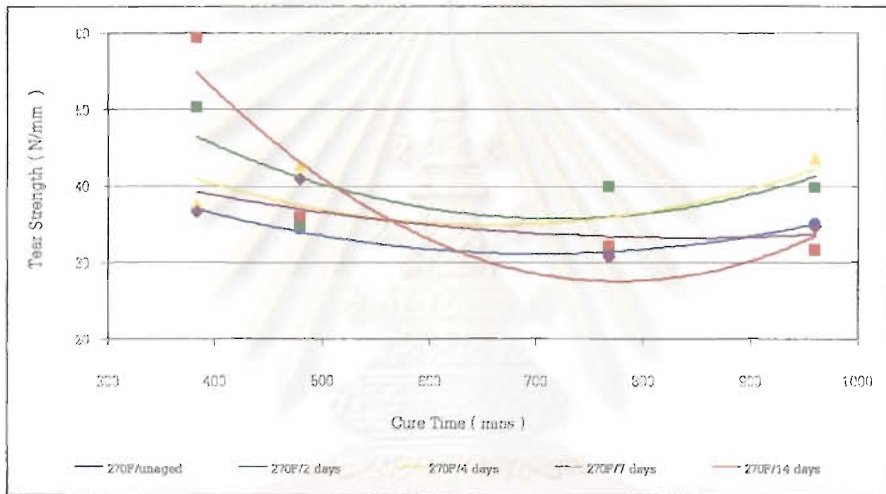
การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ นั้น การต้านการฉีกขาด ลดลงไปกับระยะเวลาของการบ่ม ในทุกอุณหภูมิที่ใช้บ่ม จนถึงที่เวลา 700 นาที จะเริ่มคงที่หรือเพิ่มขึ้นไม่มาก สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ นั้น การต้านการฉีกขาด เพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลา และ สำหรับการบ่มที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์ การต้านการฉีกขาด เพิ่มขึ้น จนถึงเวลาที่ใช้บ่ม 45 นาที จะเริ่มลดลง

สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า

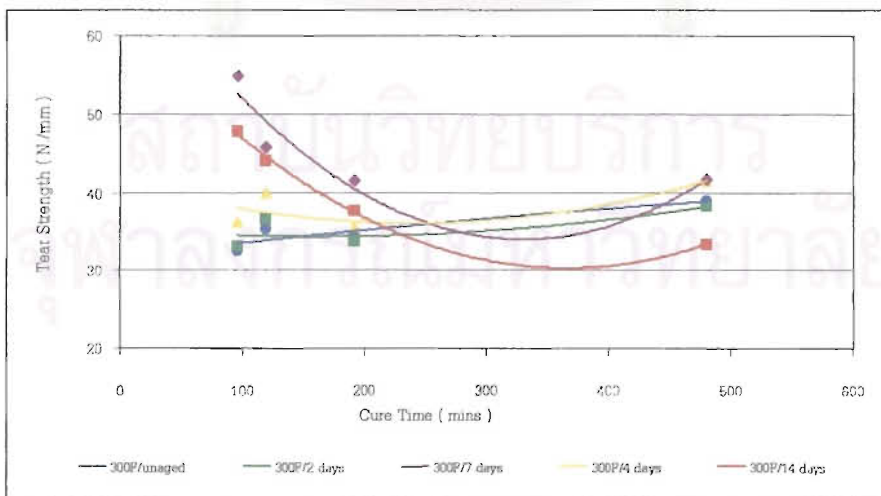
การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ให้สมบัติการต้านการฉีกขาดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่บ่มเร่ง และการบ่มเร่งเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ชิ้นตัวอย่างมีค่าการต้านการฉีกขาด ลดลงในทุกช่วงเวลากการบ่ม

การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ให้มอดูลัสที่ 400 % เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาบ่มแรงที่เพิ่มขึ้น และการบ่มแรงเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ขึ้นตัวอย่างมีค่ามอดูลัสที่ 400 % ลดลงในทุกช่วงเวลาการบ่ม

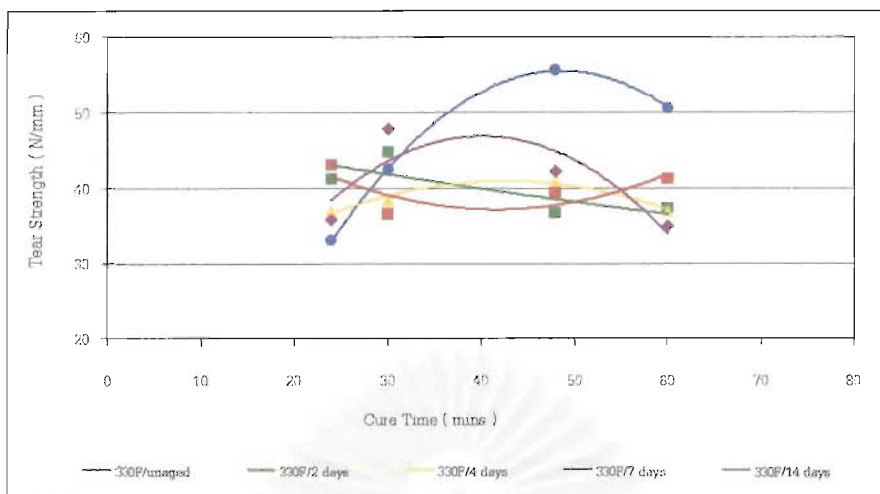
การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ให้การด้านการฉีกขาดเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน สำหรับการบ่มแรงที่ 2 และ 4 วัน ส่วนการบ่มแรงเป็นเวลา 7 และ 14 วัน ให้สมบัติที่ต่ำลงมาก เมื่อเวลาที่ใช้บ่มขึ้นทดสอบมากกว่า 320 นาที สมบัติจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.55 : การด้านการฉีกขาด สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ.



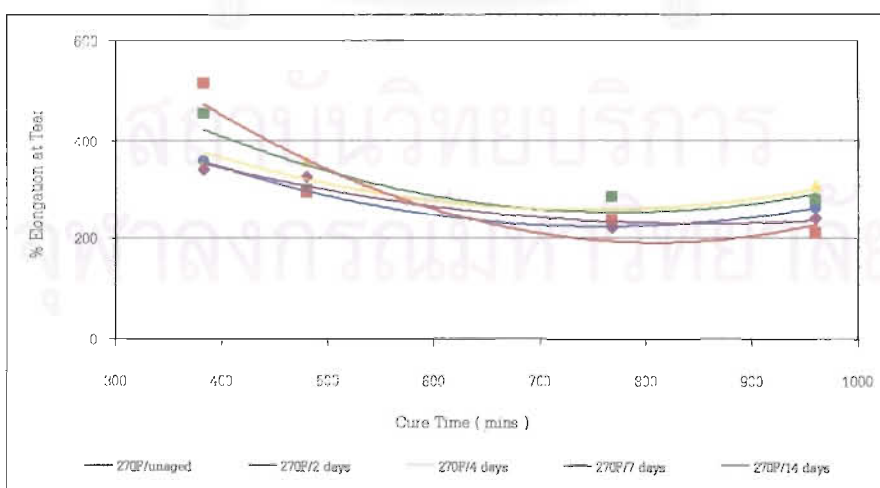
รูปที่ 4.56 : การด้านการฉีกขาด สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ.



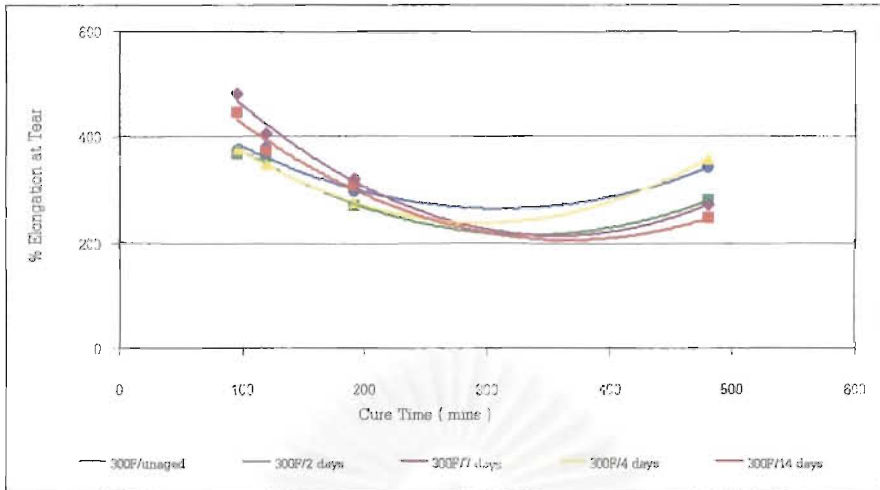
รูปที่ 4.57 : การดำเนินการฉีกขาด สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

4.1.2.8 ความยืดการฉีกขาด

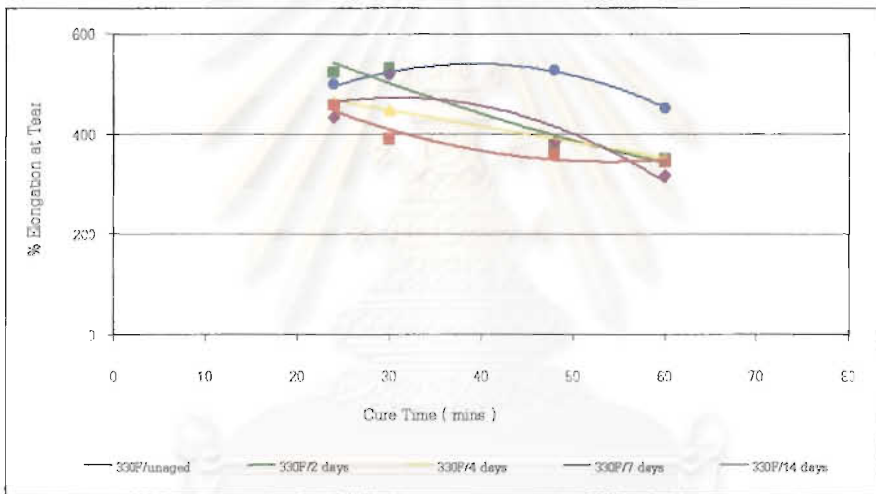
ความยืดการฉีกขาด เป็นสมบัติที่แสดงเช่นเดียวกับ ความยืดขณะขาด แต่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับความแตกต่างของ การต้านทานฉีกขาด และการต้านแรงดึง ซึ่งสมบัติ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.58 ถึง 4.60 แนวโน้มเช่นเดียวกับ 4.1.2.7



รูปที่ 4.58 : ความยืดการฉีกขาด สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.



รูปที่ 4.59 : ความยืดการฉีกขาด การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮท์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ.

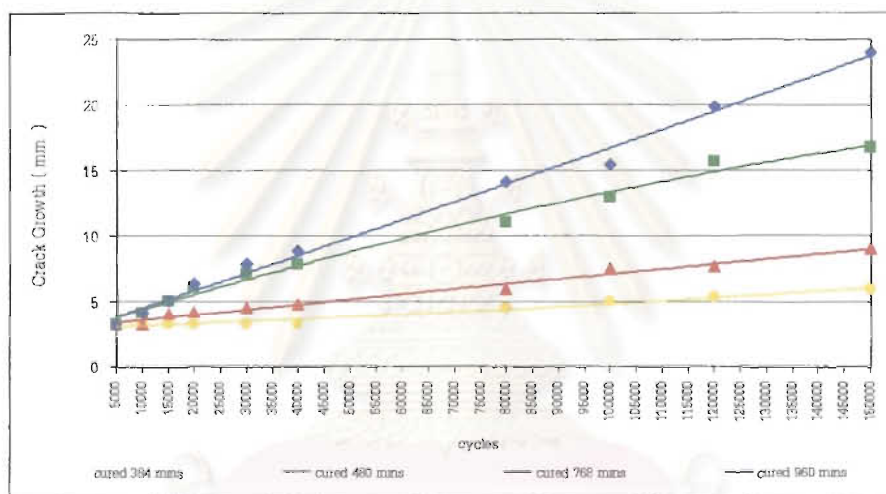


รูปที่ 4.60 : ความยืดการฉีกขาด สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮท์และบ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

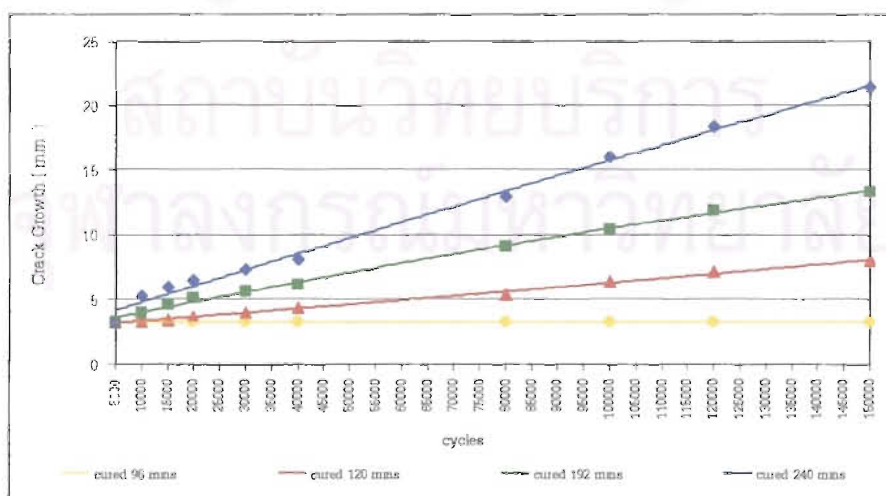
4.1.2.9 การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก

การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก เป็นสมบัติที่แสดง ความทนทาน ต่อการหักงอขึ้นทดสอบ โดยพิจารณาจากการวัดขนาดของรอยแตกที่เกิดขึ้น ณ จำนวนรอบที่ใช้ในการหักงอ เป็นสมบัติที่แสดงถึงสมรรถนะของแบลด์เดอร์เช่นเดียวกัน เนื่องจากแบลด์เดอร์ต้องมีการยืด-หด ซึ่งคล้ายกับการหักงอ หากแบลด์เดอร์มีความบกพร่องจากระบบการผลิตของตัวแบลด์เดอร์เอง เช่น มีสารเคมีที่ไม่กระจายตัวอยู่ในเนื้อยาง ทำให้เกิดการแยกของเนื้อยาง ซึ่งอาจจะมองด้วยตา

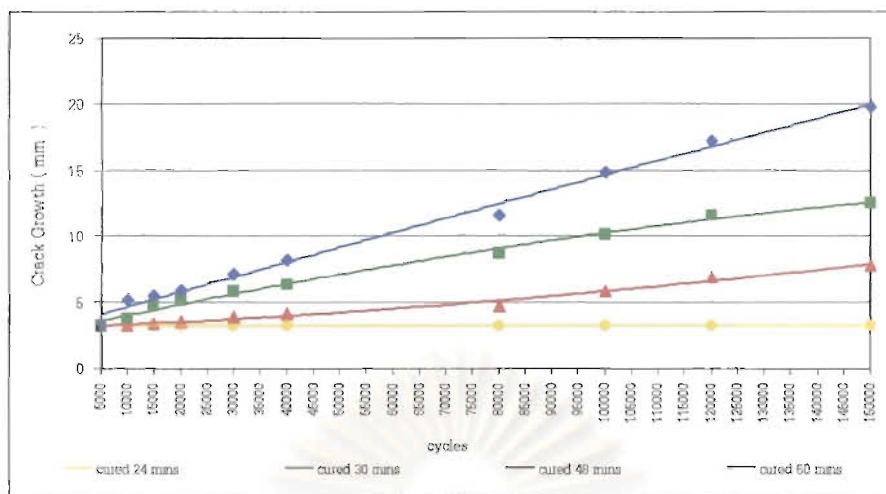
เปล่าไม่ได้ แต่เมื่อมีการใช้แบริดเดอร์ ซึ่งเท่ากับเป็นการหักงอที่ตำแหน่งที่เกิดรอยแยก หากสมบัติดังกล่าวต่ำ จะทำให้แบริดเดอร์มีอายุสั้นกว่าปกติ สมบัตินี้เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติการต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตกต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากการที่เกิพ่นระเหิมโยงมากขึ้น โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ซึ่งการหักงอนี้ อาจทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่มากกว่าความสามารถของโมเลกุลเอง ทำให้เกิดการแตกเกิดขึ้น ซึ่งสมบัติ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.61 ถึง 4.63 และไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนสำหรับการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม



รูปที่ 4.61 : การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์.



รูปที่ 4.62 : การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก สำหรับการบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์.



รูปที่ 4.63 : การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์

4.1.2.10 การต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์

การต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ แสดงสมบัติเช่นเดียวกับการต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก แตกต่างเพียงไม่มีการบากรอยแตกเริ่มต้น ดังเช่นการทดสอบการต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก และทำการเดินเครื่องทดสอบติดต่อกันตลอด 250,000 รอบ ซึ่งสมบัติ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.64 ถึง 4.75 และตารางที่ ก-12

สมบัตินี้เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติการต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ต่ำลง เช่นเดียวกับการการต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้บ่มสูงขึ้น ทำให้ สมบัติการต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์ต่ำลงเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.64 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 364 นาที



รูปที่ 4.65 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 480 นาที



รูปที่ 4.66 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 768 นาที



รูปที่ 4.67 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 960 นาที



รูปที่ 4.68 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 96 นาที



รูปที่ 4.69 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 120 นาที



รูปที่ 4.70 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบีบที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 192 นาที



รูปที่ 4.71 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบีบที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 240 นาที



รูปที่ 4.72 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบีบที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 24 นาที



รูปที่ 4.73 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 30 นาที



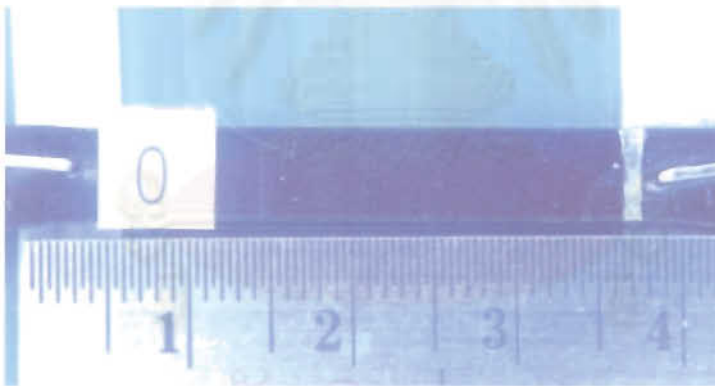
รูปที่ 4.74 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 48 นาที



รูปที่ 4.75 : ความต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์
สำหรับการบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 60 นาที

4.1.2.11 ความต้านทานต่อไอโซน

ความต้านทานต่อไอโซน เป็นสมบัติที่แสดง ความทนทานต่อการบ่มเร่ง ด้วยบรรยากาศที่มีไอโซนปริมาณสูง ภายในตู้ปิด โดยพิจารณาจากการวัดขนาดของรอยแตกที่เกิดขึ้น เป็นสมบัติที่แสดงถึงจำนวนจำนวนพันธะที่ไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นในสายโซ่ โดย เมื่อมีพันธะที่ไม่อิ่มตัวในสายโซ่มาก จะทำให้ การต้านต่อไอโซนลดลง คือ เกิดรอยแตกเป็นจำนวนมาก พันธะที่มีความไม่อิ่มตัวในสายโซ่เกิดจากการบ่มที่ไม่สมบูรณ์ หรือ เกิดการบ่มต่ำกว่าที่ต้องการ แสดงว่า การบ่มที่เวลานาน จะทำให้ได้การบ่มที่สมบูรณ์กว่าการบ่มที่เวลาสั้น และที่ การบ่มที่อุณหภูมิสูง จะให้การบ่มที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งสมบัติ ณ สภาวะการบ่ม 270 , 300 และ 330 องศาฟาเรนไฮต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.76 ถึง 4.88 การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม ทำให้ความต้านทานต่อไอโซนต่ำลง และเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานต่อไอโซนสูงขึ้น



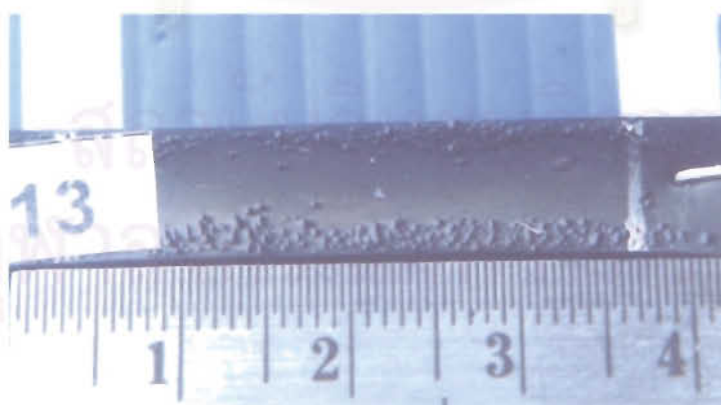
รูปที่ 4.76 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่าง ก่อนทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน



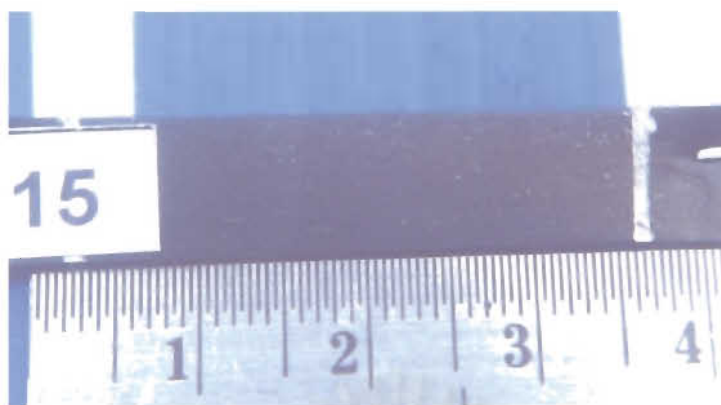
รูปที่ 4.77 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 364 นาที



รูปที่ 4.78 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 480 นาที



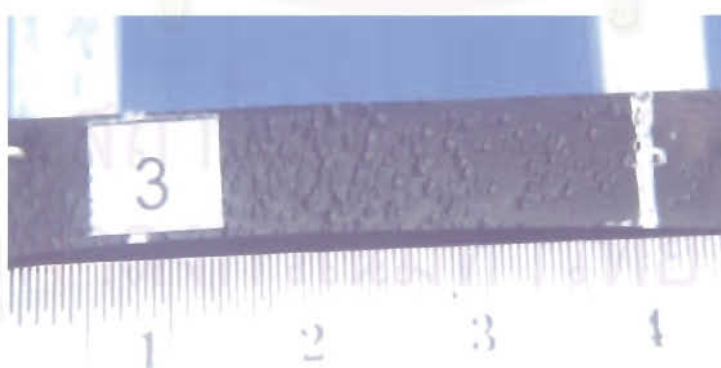
รูปที่ 4.79 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับการบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 768 นาที



รูปที่ 4.80 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับ การบ่มที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 960 นาที



รูปที่ 4.81 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 96 นาที



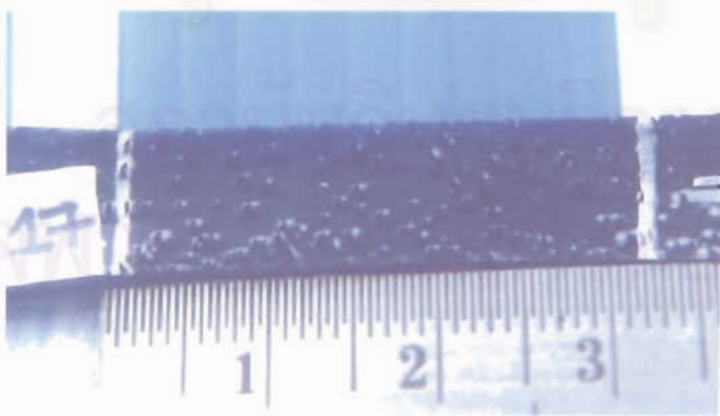
รูปที่ 4.82 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 120 นาที



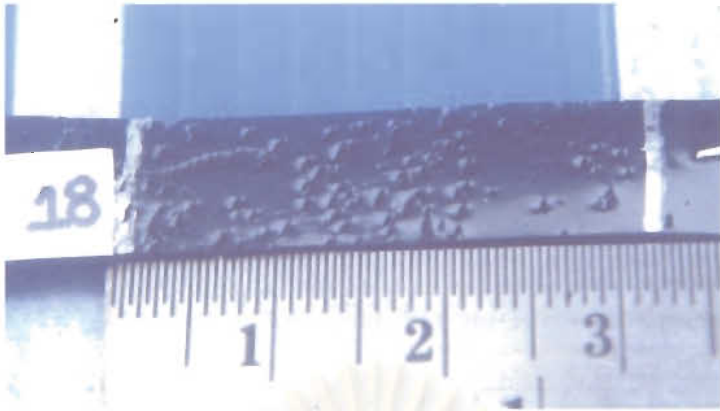
รูปที่ 4.83 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 192 นาที



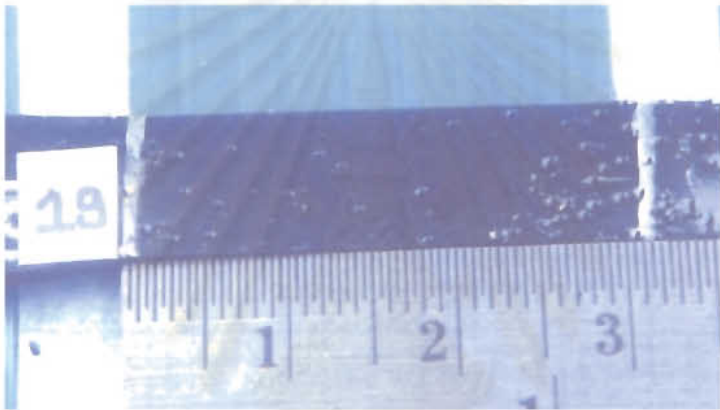
รูปที่ 4.84 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน สำหรับ การบ่มที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 240 นาที



รูปที่ 4.85 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 24 นาที



รูปที่ 4.86 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 30 นาที



รูปที่ 4.87 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 48 นาที



รูปที่ 4.88 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน
สำหรับ การบ่มที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 60 นาที

เนื่องจากการบ่มชิ้นทดสอบตาม ตารางที่ 4.2 นั้น ได้สรุปสมบัติต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์แทนระดับของสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.3 เพื่อให้สะดวกต่อการประเมินผล เนื่องจากมีรายการทดสอบเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.3 : การเปรียบเทียบสมบัติของชิ้นตัวอย่าง ที่ทำการบ่มตาม ตารางที่ 4.2

สภาวะการบ่ม		โมดูลัส ที่ 400%		การขึ้นแรงดึง		ความยืดหยุ่นขนาด		ระยะ bench mark หลังขาด		ความคงตัวหลังตากแดด		ความแข็งแรง	การขึ้นการฉีกขาด		ความยืดหยุ่นการฉีกขาด		การขึ้นทานต่อการเติบโตของรอยแตก	การขึ้นทานต่อความล้าด้านพลาสติก	ความขึ้นทานต่อไอออน	ผลสรุป			
อุณหภูมิ	เวลา(นาที)	ปกติ	บ่มแรง	ปกติ	บ่มแรง	ปกติ	บ่มแรง	ปกติ	บ่มแรง	ปกติ	บ่มแรง		ปกติ	บ่มแรง	ปกติ	บ่มแรง							
270 องศาฟาเรนไฮต์		384	★★	★★	★★	★	★	★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★			
		480	★★	★★	★★	★★	★	★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★		
		768	★★	★★	★★	★★	★	★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	
		960	★★	★★	★	★	★	★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	
300 องศาฟาเรนไฮต์		96	★★	★★	★★	★★	★★	★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★		
		120	★	★★	★★	★★	★★	★★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	
		192	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	
		240	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★
330 องศาฟาเรนไฮต์		24	★	★	★★	★★	★★	★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★		
		30	★	★	★★	★★	★★	★★	★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★	★	
		48	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★	★
		60	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★	★

หมายเหตุ : ★★★ แสดงว่า ดีเยี่ยม, ★★ แสดงว่า ดี, ★ แสดงว่า พอใช้ และ □ แสดงว่า ปรับปรุง

การป้อนขึ้นทดสอบ ที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ด้วยเวลาสั้น จะให้สมบัติ การต้านแรงดึง , การต้านการฉีกขาด และความยืดการฉีกที่ดีกว่า การป้อนที่เวลานาน สำหรับก่อนการป้อนแรง และ หลังจากการป้อนแรง และสมบัติการต้านการเติบโตของรอยต่อก็เช่นกัน ซึ่งสมบัติดังกล่าวแสดงถึง สมรรถนะของแบลด์เดอร์ แต่ในทางกลับกัน การป้อนที่เวลานาน ให้สมบัติด้านความคงตัวหลังจาก ยืด และระยะ bench mark หลังขาด ดีกว่าการป้อนที่เวลานั้น เนื่องจาก สมบัติทั้งสอง เกิดจากมี ความเป็นอีลาสติกเพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น นำให้ขึ้นทดสอบกลับคืนสู่ สภาพเดิม ซึ่งจะเป็นผลดีต่อสมบัติของแบลด์เดอร์ เมื่อมีการใช้แบลด์เดอร์เป็นเวลานาน ๆ คือการ ยืดและหด แบลด์เดอร์เป็นเวลานาน ๆ นั้นเอง จะทำให้แบลด์เดอร์มีขนาดที่ใหญ่กว่าชุดหนีบแบ ลด์เดอร์เข้ากับชุดกระบอกสูบ ทำให้น้ำร้อน , ไอน้ำ และความดัน รั่วออกมาได้ อย่างไรก็ตาม จาก การประเมินโดยรวมแล้ว การป้อนที่เวลาสั้น ให้สมบัติที่ดีกว่าการป้อนที่เวลานาน.

สำหรับการป้อนขึ้นทดสอบ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือ 300 องศาฟาเรนไฮต์ นั้น พบว่า การ ป้อนที่ระยะเวลา 192 นาทีนั้น ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด ซึ่งการป้อนที่ระยะเวลาสั้นกว่านั้น เกิด ปัญหาเดียวกับข้างต้น ซึ่งเช่นเดียวกับ การป้อนขึ้นทดสอบที่ 330 องศาฟาเรนไฮต์ สำหรับเวลาใน การป้อนทุกการทดลอง ให้สมบัติที่ไม่น่าสนใจ สำหรับการป้อนที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ที่ระยะเวลา 240 นาที นั้นมีสมบัติจากการป้อนแรงต่ำ ซึ่งแสดงว่า ได้ป้อนจนถึงจุดสูงสุดแล้ว เมื่อได้รับความร้อน เพิ่มจากการป้อนแรง ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ.

สำหรับ สมบัติด้านการต้านทานต่อไอโซน จะแสดงถึง จำนวนพันธะที่ไม่อิ่มตัวที่เกิด ขึ้นในสายโซ่ โดย เมื่อมีพันธะที่ไม่อิ่มตัวในสายโซ่มาก จะทำให้ การต้านต่อไอโซนลดลง คือ เกิด รอยแตกเป็นจำนวนมาก พันธะที่มีความไม่อิ่มตัวในสายโซ่ เกิดจากการป้อนที่ไม่สมบูรณ์ หรือ เกิด การป้อนต่ำกว่าที่ต้องการ แสดงว่า การป้อนที่เวลานาน จะทำให้ได้การป้อนที่สมบูรณ์กว่าการป้อนที่ เวลาสั้น และที่ การป้อนที่อุณหภูมิสูง จะให้การป้อนที่ไม่สมบูรณ์.

สภาวะที่ให้สมบัติโดยรวมดี คือ

- การป้อนที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ที่ระยะเวลาสั้น ซึ่งจะใช้เวลามาก
- การป้อนที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ที่ระยะเวลานานปานกลาง ซึ่งหากนานมาก จะ เกิดการเสื่อมสภาพ

ดังนั้นสภาวะการป้อนแบลด์เดอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ทำการป้อนที่อุณหภูมิที่ต่ำที่ยอม รับได้โดยที่ไม่ลดปริมาณการผลิต และเวลาที่ใช้ป้อนต้องไม่สูง จนเกิดการเสื่อมสภาพ

4.2 การหาสภาวะการป้อนที่เหมาะสมสำหรับแบลคเดอรัยารถจักรยานยนต์ในอุตสาหกรรม

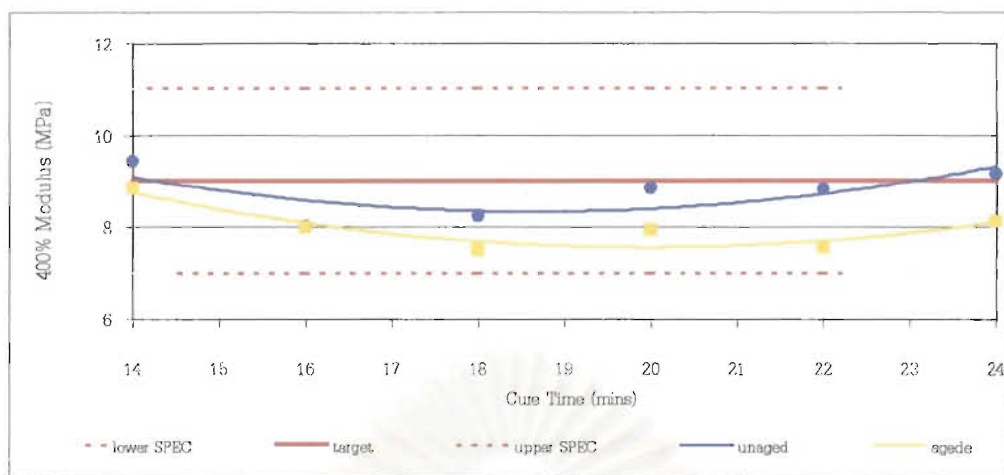
จากข้อสรุปใน 4.1 และข้อจำกัดที่เครื่องอบแบลคเดอรัยที่ใช้ในสายการผลิตจริงไม่สามารถปรับแต่งอุณหภูมิได้ จึงทำการผลิตแบลคเดอรัยที่ อุณหภูมิปกติ คือ 375 องศาฟาเรนไฮท์ และข้อมูลจากการหาเวลาที่สามารถเริ่มป้อนแบลคเดอรัย ของบริษัทฯ ได้ว่า สามารถป้อนได้ที่เวลา 13 นาที ซึ่งเวลาดังกล่าวสามารถผลิตแบลคเดอรัยได้ แต่แบลคเดอรัยที่ทำการป้อนที่เวลาดังกล่าว มีสมบัติไม่ผ่านตามข้อกำหนด ดังนั้น จึงทำการป้อนแบลคเดอรัย โดยกระบวนการผลิตปกติ ที่ 14 , 16 , 18 , 20 , 22 และ 24 นาที จำนวนอย่างละ 3 ลูก

4.2.1 มอดูลัสที่ 400%

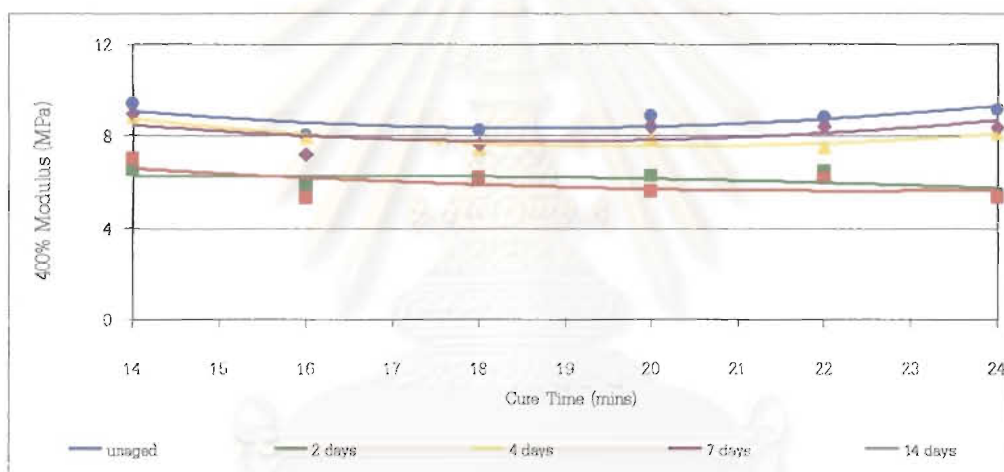
ผลการทดสอบ ค่ามอดูลัสที่ 400 % ดังแสดงในรูปที่ 4.89 ถึง 4.90 ให้ค่ามอดูลัสที่ 400 % ทุกช่วงเวลาเหมาะสมที่จะใช้งานในอุตสาหกรรม และลดต้นทุนจนถึงจุดหนึ่ง คือ เวลาที่ใช้ป้อน 19 นาที จากนั้นจะเพิ่มขึ้น

สำหรับการป้อนเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า มอดูลัสที่ 400 % ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการป้อนเร่ง และ แบลคเดอรัยที่ป้อนด้วยระยะเวลานาน จะให้การลดลงของสมบัติหลังการป้อนเร่งมากกว่าแบลคเดอรัยที่ป้อนด้วยระยะเวลาสั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.89 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับแบลคเดออร์ ที่ไม่บ่มแรงและบ่มแรง 96 ชั่วโมง

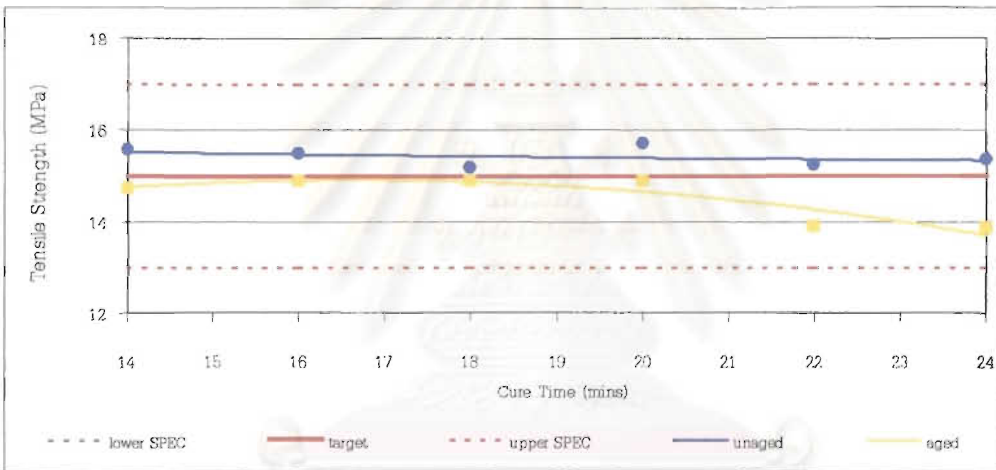


รูปที่ 4.90 : มอดูลัสที่ 400 % สำหรับแบลคเดออร์ ที่บ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ

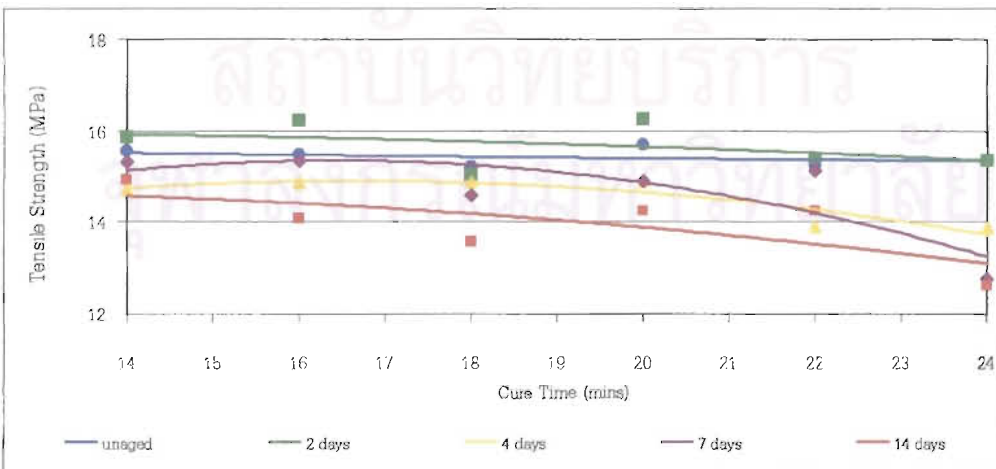
4.2.2 การต้านแรงดึง

ผลการทดสอบ การต้านแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 4.91 ถึง 4.92 ให้ค่าการต้านแรงดึง เหมาะสมที่จะใช้งานในอุตสาหกรรมทุกช่วงเวลาการบ่ม และมีแนวโน้มคงที่

สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า แสดงพฤติกรรมคล้ายกับโมดูลัสที่ 400 %



รูปที่ 4.91 : การต้านแรงดึง สำหรับเบลดเดอร์ ที่ไม่บ่มเร่งและบ่มเร่ง 96 ชั่วโมง.



รูปที่ 4.92 : การต้านแรงดึง สำหรับเบลดเดอร์ ที่บ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

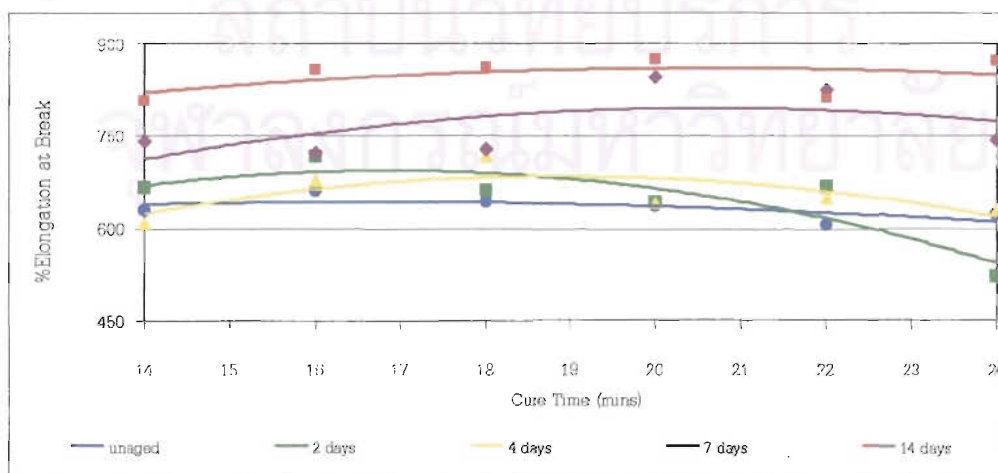
4.2.3 ความยืดหยุ่นขนาด

ผลการทดสอบ ความยืดหยุ่นขนาด ดังแสดงในรูปที่ 4.93 ถึง 4.94 ให้ค่าความยืดหยุ่นขนาด เหมาะสมที่จะใช้งานในอุตสาหกรรมทุกช่วงเวลากการบ่ม และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น

สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า ความยืดหยุ่นขนาด เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเร่ง และ แบลดเดอร์ที่บ่มด้วยระยะเวลา นาน มากกว่า 20 นาที จะให้การเพิ่มขึ้นของสมบัติหลังการบ่มเร่งมากกว่า แบลดเดอร์ที่บ่มด้วยระยะเวลาสั้น



รูปที่ 4.93 : ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับแบลดเดอร์ ที่ไม่บ่มเร่งและบ่มเร่ง 96 ชั่วโมง.

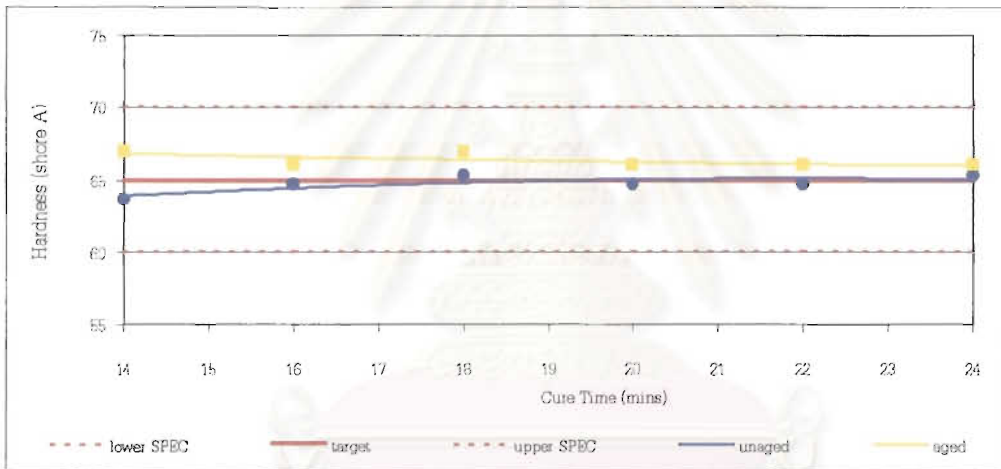


รูปที่ 4.94 : ความยืดหยุ่นขนาด สำหรับแบลดเดอร์ ที่บ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

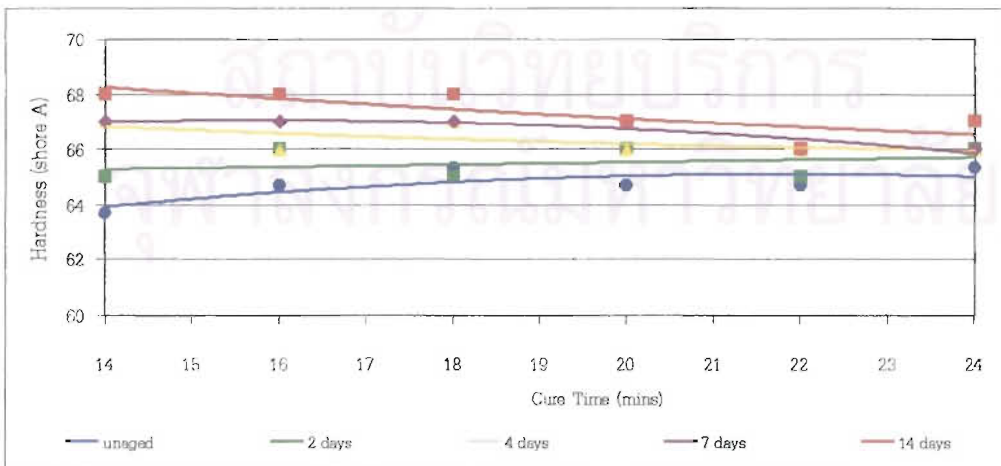
4.2.4 ความแข็ง

ผลการทดสอบ ความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4.95 ถึง 4.96 ให้ค่าความแข็งเหมาะสมที่จะใช้งานในอุตสาหกรรมทุกช่วงเวลาการบ่ม และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น

สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเร่ง และ เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการบ่มแบบลดเดอริ จะให้การเพิ่มขึ้นของสมบัติหลังการบ่มเร่งน้อยลง



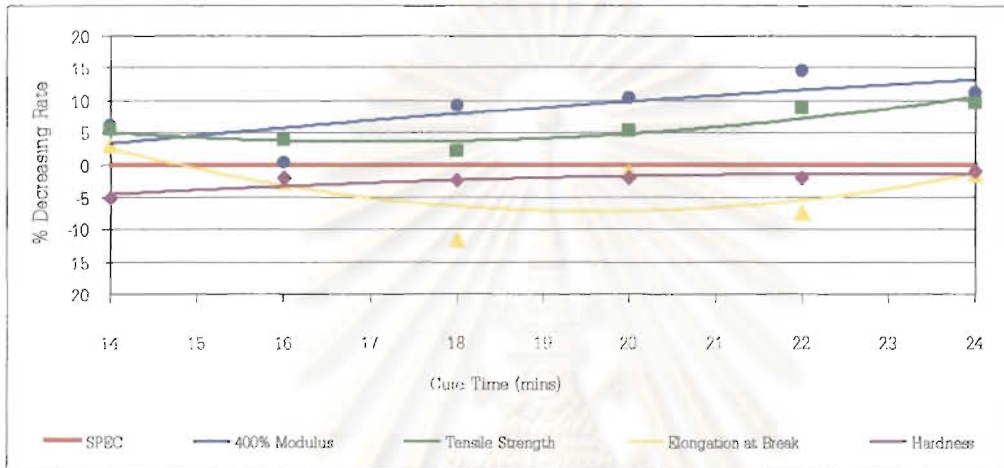
รูปที่ 4.95 : ความแข็ง สำหรับแบลคเดอริที่ไม่บ่มเร่งและบ่มเร่ง 96 ชั่วโมง.



รูปที่ 4.96 : ความแข็ง สำหรับแบลคเดอริที่บ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

4.2.5 อัตราการเสื่อมสภาพหลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อน เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

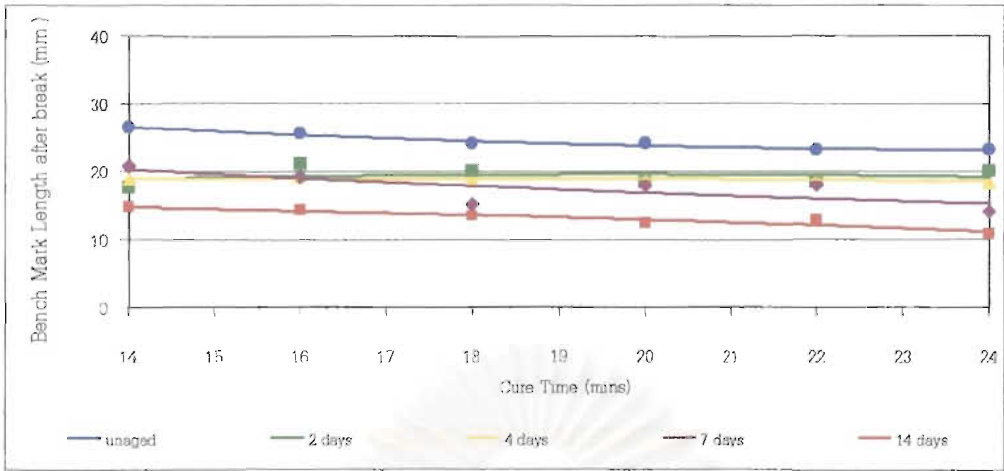
ผลการทดสอบ อัตราการเสื่อมสภาพหลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.97 เฉพาะค่าความยืดหยุ่นขนาด และความแข็ง เหมาะสมที่จะใช้งานในอุตสาหกรรมทุกช่วงเวลากการ



รูปที่ 4.97 : อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติ ของแบลคเดอร์

4.2.6 ระยะเวลา bench mark หลังขาด

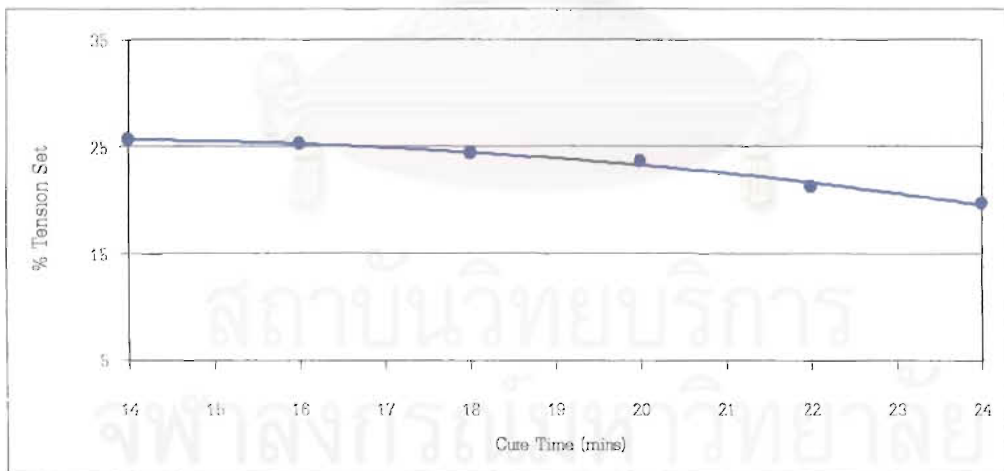
ผลการทดสอบ ระยะเวลา bench mark หลังขาด ดังแสดงในรูปที่ 4.98 เมื่อเพิ่มเวลาการบ่มแบลคเดอร์ ทำให้สมบัติดังกล่าวลดลงเพียงเล็กน้อย สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า ระยะเวลา bench mark หลังขาด ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเร่ง



รูปที่ 4.98 : ระยะ bench mark หลังขาด สำหรับเบดเดอร์ ที่บ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ

4.2.7 ความคงตัวหลังจากยึด

ผลการทดสอบ ความคงตัวหลังจากการยึด แสดงในรูปที่ 4.99 เมื่อเพิ่มเวลาการบ่มเบดเดอร์ ทำให้สมบัติดังกล่าวลดลง

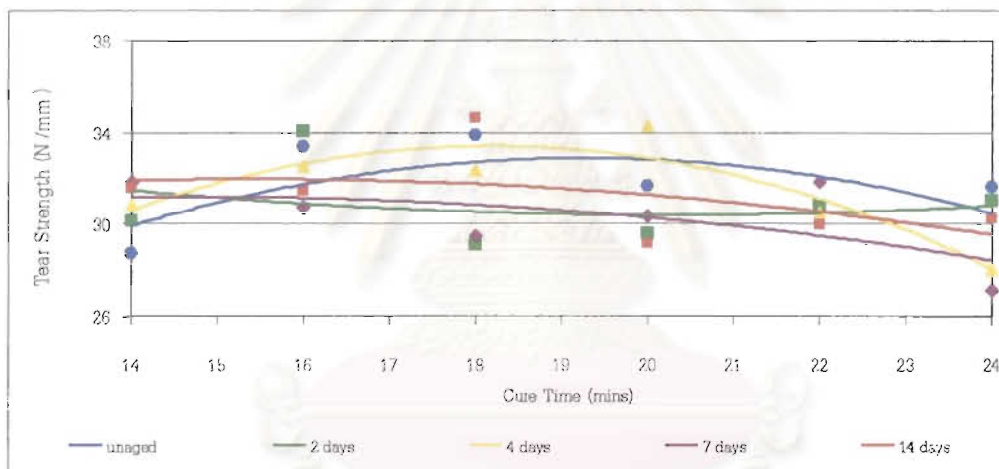


รูปที่ 4.99 : ความคงตัวหลังจากยึด สำหรับเบดเดอร์

4.2.8 การต้านการฉีกขาด

ผลการทดสอบ การต้านการฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 4.100 ให้ค่าการต้านการฉีกขาด เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง คือ เวลาที่ใช้บ่ม 19 นาที จากนั้นจะลดลง

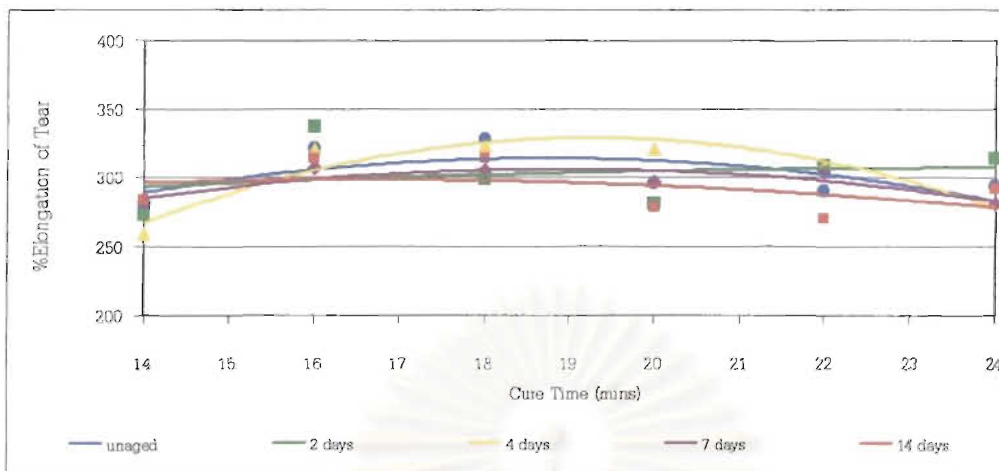
สำหรับการบ่มเร่งด้วยความร้อนภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 2 , 4 , 7 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่า การต้านการฉีกขาด เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเร่ง สำหรับแบลตเตอร์ที่บ่มด้วยระยะเวลาสั้น ระหว่าง 14 ถึง 16 นาที และจะลดลงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเร่ง สำหรับแบลตเตอร์ที่บ่มด้วยระยะเวลานาน มากกว่า 16 นาที



รูปที่ 4.100 : การต้านการฉีกขาด สำหรับแบลตเตอร์ ที่บ่มเร่งที่เวลาต่าง ๆ

4.2.9 ความยืดการฉีกขาด

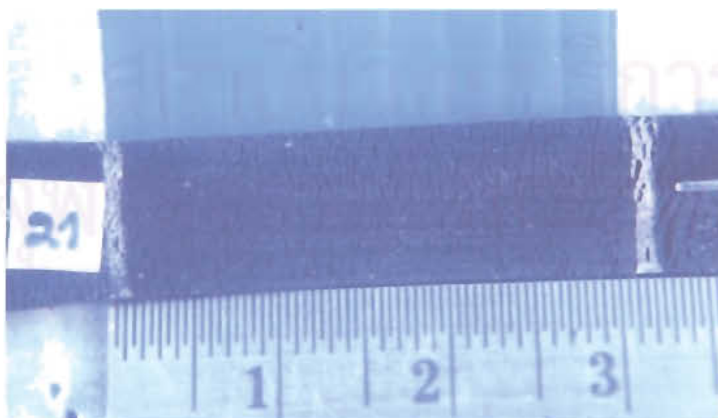
ผลการทดสอบ ความยืดการฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 4.101 ให้ค่าพฤติกรรมการคลายกับการต้านการฉีกขาด



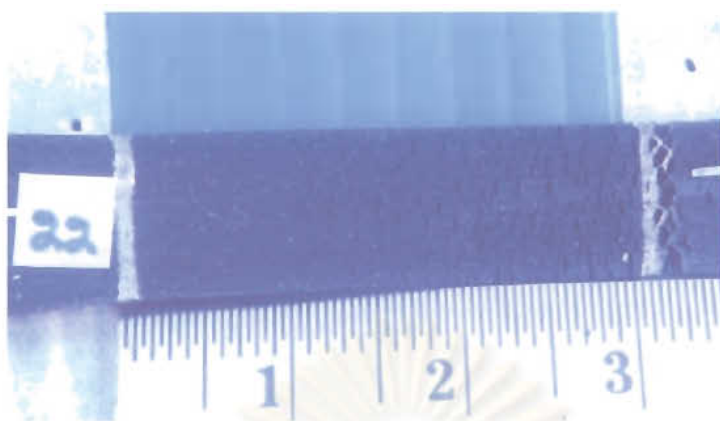
รูปที่ 4.101 : ความยืดการฉีกขาด สำหรับแบลด์เดอร์ ที่บ่มแรงที่เวลาต่าง ๆ

4.2.10 ความต้านทานต่อไอโซน

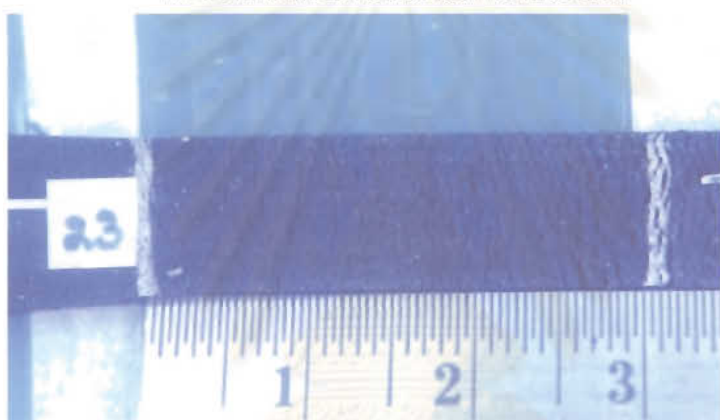
ผลการทดสอบ ความต้านทานต่อไอโซน ดังแสดงในตารางที่ ข-9 และ ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่เตรียมจากแบลด์เดอร์ ที่ทำการทดสอบความต้านทาน ไอโซน แสดงในรูปที่ 4.102 ถึง 4.107 ในทุกช่วงเวลาที่ใช้บ่มแบลด์เดอร์ ให้สมบัติ ดังกล่าวที่ไม่แตกต่างกัน คือ พบรอยแตกขนาดใหญ่ และมีจำนวนมาก



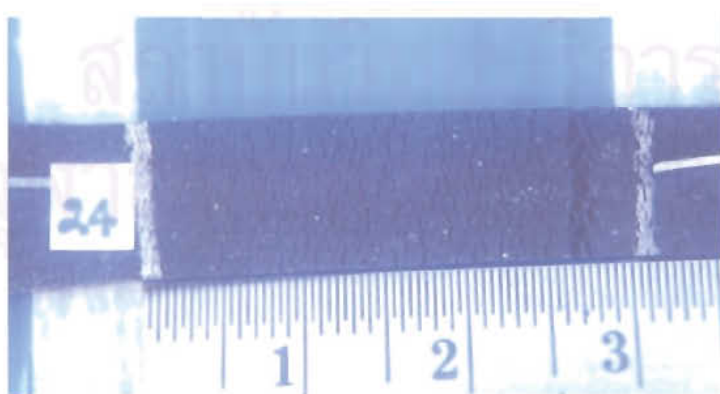
รูปที่ 4.102 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างของแบลด์เดอร์ บ่มเวลา 14 นาที ที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.



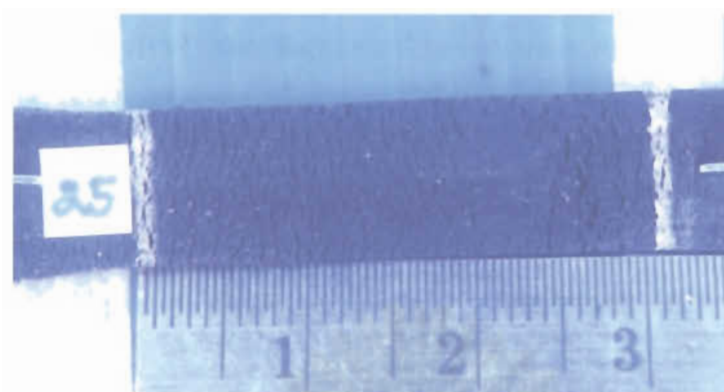
รูปที่ 4.103 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างของแบลคเดอร์ บ่มเวลา 16 นาที
 ที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.



รูปที่ 4.104 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างของแบลคเดอร์ บ่มเวลา 18 นาที
 ที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.



รูปที่ 4.105 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างของแบลคเดอร์ บ่มเวลา 20 นาที
 ที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.



รูปที่ 4.106 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างของแบลคเดอริ์ บ่มเวลา 22 นาที
 ที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.

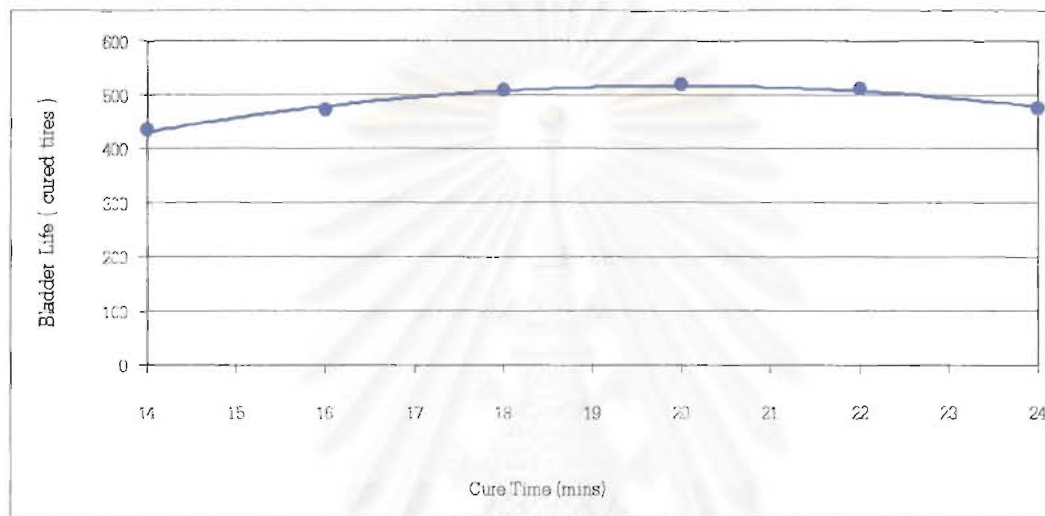


รูปที่ 4.107 : ลักษณะของชิ้นตัวอย่างของแบลคเดอริ์ บ่มเวลา 24 นาที
 ที่ทำการทดสอบความต้านทานต่อไอโซน

ได้สรุปสมบัติต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์แทนระดับของสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.4
 โดยรวมกับส่วนที่ 4.3

4.3 การหาสภาวะการบ่มที่เหมาะสมสำหรับแบลคเดอรัยารถจักรยานยนต์ในอุตสาหกรรม โดยพิจารณาถึงอายุการใช้งาน

ทำการผลิตแบลคเดอรัยในส่วนี้เป็นการผลิตตามขั้นในอุตสาหกรรม โดยใช้สภาวะในการบ่ม ณ อุณหภูมิ 375 องศาฟาเรนไฮท์ ที่เวลา 14 16 18 20 22 และ 24 นาที และดำเนินการผลิตแบลคเดอรัยภายใต้สภาวะเหล่านี้ อย่างละ 10 ลูก



รูปที่ 4.108 : อายุการใช้งานของแบลคเดอรัยที่ผลิตตามขั้นตอนในอุตสาหกรรม โดยบ่มที่เวลาต่าง ๆ กัน

จากรายละเอียดใน ข้อ 4.2 และจากผลที่แสดงในรูปที่ 4.108 ทำให้สามารถสรุปผลโดยรวมดังตารางที่ 4.4 กล่าวคือ เมื่อเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติโดยรวมของแบลคเดอรัยดีขึ้น และอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มถึงจุดหนึ่งกลับทำให้สมบัติโดยรวมต่ำลง ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะสมบัติเชิงกล และ สมบัติด้านพลศาสตร์ และอายุการใช้งาน สำหรับแบลคเดอรัยที่บ่มด้วยเวลา 20 นาที และ 22 นาที ไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาถึงความสม่ำเสมอของอายุการใช้งาน โดยพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล จะเห็นว่า อายุการใช้งานของแบลคเดอรัยที่บ่มด้วย 20 นาที มีความผันแปรมากโดยผลการทดสอบอายุการใช้งานกระจายตั้งแต่ 486 ถึง 553 ครั้ง ซึ่งไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่แบลคเดอรัยที่บ่มด้วยเวลา 22 นาที มีอายุการใช้งานกระจายตั้งแต่ 500 ถึง 519 ครั้ง โดยความสม่ำเสมอของคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในอุตสาหกรรม ดังนั้น การบ่มแบลคเดอรัยที่ 22 นาทีให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด

แบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบทุกลูก ในทุกช่วงเวลาที่ใช้ป่ม มีข้อบกพร่องก่อนหมดอายุการใช้งานลักษณะเดียวกัน คือ เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ณ ตำแหน่งที่โดยชุดหนีบจับ และไม่ทำให้เกิดข้อบกพร่องกับยางรถจักรยานยนต์ที่ได้

ตารางที่ 4.4 : การเปรียบเทียบสมบัติของขึ้นตัวอย่างจากแบตเตอรี่

สภาวะการป่ม	อุณหภูมิ	เวลา(นาที)	โมดูลัส ที่ 400%		การต้านแรงดึง		ความยืดหยุ่นขาด		ความแข็งแรง		การเสื่อมสภาพโดยรวม		ระบบ bench mark		หลังขาด		ความคงตัวหลังจกยึด		การต้านการกัดกรอด		ความยืดการกัดกรอด		ความต้านทานต่อโอโซน	อายุการใช้งาน	ผลสรุป
			ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง	ปกติ	ป่มแรง					
375 องศาฟาเรนไฮต์		14	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★	★	★★★	★★★	★★★	★★★		★	★★	
		16	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★		★	★	
		18	★★★	★	★★★	★★★	★★★		★★★	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★		★★	★★	
		20	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★★★		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★		★★	★★
		22	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★★★		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★		★★★	★★★
		24	★★★		★★★	★★★	★★★		★★★	★★★		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★		★	

หมายเหตุ : ★★★ แสดงว่า ดีเยี่ยม , ★★ แสดงว่า ดี , ★ แสดงว่า พอใช้ และ □ แสดงว่า ปรับปรุง

สภาวะที่ใช้ในการป่มแบตเตอรี่ในกระบวนการผลิตที่ให้สมบัติด้านกายภาพ สมบัติด้านผลศาสตร์ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยรวมเหมาะสม คือ สภาวะการป่มที่ เวลาการป่มมาก แต่เมื่อมีการป่มจนถึงจุดหนึ่งแล้ว กลับทำให้สมบัติต่าง ๆ โดยรวมต่ำลง ดังนั้น จากการทดลอง พบว่า การป่มที่ 22 นาที คือ สภาวะการป่มที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงรายละเอียด ในตารางที่ 4.5 ที่ใช้ข้อมูลพื้นฐาน จากภาคผนวก ข.

จากตารางที่ 4.5 และภาคผนวก ข. กล่าวคือ แบตเตอรี่ที่ผลิตได้จากสภาวะที่ได้ จากการศึกษานี้ครั้งนี้ คือ ป่มที่อุณหภูมิเช่นเดียวกับการผลิตในอุตสาหกรรม และเพิ่มเวลาการ ป่มนานขึ้น 2 นาที คือ ป่มเป็นเวลา 22 นาที ซึ่งการเพิ่มเวลาดังกล่าว ไม่กระทบต่อกำลังการผลิต ในอุตสาหกรรม เนื่องจาก การผลิตแบตเตอรี่ในปัจจุบันไม่ได้ดำเนินการผลิตเต็มกำลังการผลิต

ตารางที่ 4.5 : การเปรียบเทียบการป้อนด้วยสภาวะเดิม และการป้อนด้วยสภาวะที่ได้จากการทดลอง.

รายละเอียด	หน่วย	สภาวะเดิม	สภาวะจาก การทดลอง	ผลต่าง
1. อุณหภูมิที่ใช้ป้อน	°F	375	375	0
2. เวลาที่ใช้ป้อน	นาที/ลูก	20	22	+2
3. จำนวนแบลคเดอร์ที่ผลิต	ลูก/กะ	14	14	0
4. อายุการใช้งานของแบลคเดอร์.	เส้น/ลูก	400	500	+100
5. จำนวนกะที่ใช้แบลคเดอร์.	กะ/ลูก	6	7	+1
6. จำนวนยางที่ป้อนได้.	เส้นปี	74,462	74,632	+170
7. จำนวนแบลคเดอร์ที่ใช้.	ลูก/ปี	186	149	-37

โดยการเพิ่มเวลาการป้อนมากขึ้น 2 นาที ทำให้อายุการใช้งานของแบลคเดอร์เพิ่มขึ้น 25 % จากพิกัดในอุตสาหกรรมสำหรับอายุการใช้งานของแบลคเดอร์ที่ป้อนด้วยเวลา 20 นาที คือ 400 เส้นต่อลูก ซึ่งหากใช้แบลคเดอร์ มากกว่าพิกัดดังกล่าว มีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่องหรือตำหนิที่ย่างจรจักรยานยนต์ แม้ว่าแบลคเดอร์ยังคงสภาพ

การเพิ่มอายุการใช้งานนั้น ส่งผลให้ในอุตสาหกรรมสามารถลดการสูญเสียเวลาในการผลิต ทำให้ผลผลิตยางจักรยานยนต์เพิ่มขึ้น และที่สำคัญที่สุดสามารถประหยัดแบลคเดอร์ได้ถึง 37 ลูกต่อปี ซึ่งคุ้มกับพลังงานที่ป้อนสำหรับการผลิตแบลคเดอร์ที่เพิ่มเวลาการป้อนขึ้น 2 นาทีต่อลูก ซึ่งทำการวิเคราะห์เฉพาะเครื่องป้อนยางจักรยานยนต์เพียง 1 เครื่องเท่านั้น แต่ในอุตสาหกรรมปกติมีเครื่องป้อนยางจักรยานยนต์จำนวน 30 เครื่อง ดังนั้นสามารถประหยัดแบลคเดอร์ได้ถึง 1,100 ลูก ราคาของแบลคเดอร์สำหรับยางจักรยานยนต์นี้มีราคาไม่สูง คือ 200 บาทต่อลูก ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 222,000 บาทต่อปี

ในอุตสาหกรรมสามารถนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับการผลิตแบลคเดอร์สำหรับรถยนต์หรือรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีราคาสูง จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในอุตสาหกรรมได้เป็นจำนวนมาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- 5.1.1. ทิศทางการรีดยางแนวขนานและตั้งฉากกับแนวการรีดยางของเครื่องรีดยาง ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของส่วนผสมยางสำหรับแบลตเตอร์
- 5.1.2. สภาวะที่ใช้ในการปมเพื่อให้ได้แบลตเตอร์ที่ให้สมบัติต่าง ๆ เหมาะแก่การผลิตในอุตสาหกรรม คือ การปมที่อุณหภูมิต่ำ ด้วยเวลานาน การปมที่อุณหภูมิสูง หรือการปมด้วยเวลาสั้น อาจเกิดลักษณะที่เรียกว่า การปมต่ำกว่าที่ต้องการ แต่การปมเป็นเวลานานจนเกินไป จะเกิดการปมเกินกว่าที่ต้องการ
- 5.1.3. สภาวะที่ใช้ในการปมส่วนผสมยางสำหรับแบลตเตอร์ในห้องปฏิบัติการ ที่ให้สมบัติด้านกายภาพ และด้านพลศาสตร์โดยรวมเหมาะสม คือ การปมที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ ที่เวลาในการปมระหว่าง 384 ถึง 480 นาที และ การปมที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ ที่เวลาในการปมระหว่าง 120 ถึง 192 นาที
- 5.1.4. สภาวะที่ใช้ในการปมแบลตเตอร์ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่ให้สมบัติด้านกายภาพ ด้านพลศาสตร์ และอายุการใช้งานของแบลตเตอร์ โดยรวมที่เหมาะสมที่สุด คือ สภาวะการปมเป็นเวลา 22 นาที ที่ 375 องศาฟาเรนไฮต์ เป็น สภาวะการปมที่เหมาะสมที่สุด และอายุการใช้งานของแบลตเตอร์เพิ่มขึ้น 100 ครั้ง จากเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1. การวิจัยนี้มีจำนวนการเตรียมแบตเตอรี่ ณ สภาวะต่าง ๆ และการทดสอบจำนวนมาก หากมีการประยุกต์ เทคนิคการออกแบบการทดลอง จะสามารถช่วยลดจำนวนตัวอย่างการทดสอบ แต่ยังคงมีข้อมูลเพียงพอแก่การวิเคราะห์ทางสถิติได้
- 5.2.2. ควรมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มแบตเตอรี่ เนื่องจากผลที่ได้จากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อให้สมบัติด้านกายภาพ ด้านพลศาสตร์และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยอุณหภูมิที่ใช้บ่ม มีผลที่ชัดเจนมากกว่าเวลาที่ใช้บ่ม
- 5.2.3. งานวิจัยนี้สามารถขยายเพื่อศึกษาโครงสร้างเชื่อมโยง และผลของสภาวะการบ่ม เช่น อุณหภูมิ และเวลา ต่อระดับความเชื่อมโยงในแบตเตอรี่ที่ทำจากยางได้

รายการอ้างอิง

1. H.Nagano. TECHNICAL APPROACHES TO IMPROVE THE LIFE OF CURING MEMBERS (Technical Information). Elastomers Department , Exxon Chemical Japan , 1986.
2. H.Nagano. ISOBUTYLENE BASED POLYMERS FOR CURING MEMBERS (Technical Information). Eddie , Tommy & Associated Limited : Tire Industry Sector , Polymer Technology Center , Exxon Chemical International - ASIA, 1992.
3. บุญธรรม นิธิอุทัย . ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และคุณสมบัติ. แผนกวิชาเทคโนโลยีโพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2530.
4. บุญธรรม นิธิอุทัย , พรพรรณ นิธิอุทัย และ ปรีชา ป็องภัย. สารเคมีสำหรับยาง และเทคนิคการออกสูตรยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2530.
5. C.MOORE. BAG-O-METIC BLADDERS COMPOUNDING AND PROCESSING GUIDELINES (Technical Information). Essochem Europe Inc , Exxon Chemicals , Elastomers Department , Japan , 1978.
6. Geck, Joseph C.; HAMILTON, FLOYD E. APPARATUS FOR POSITIONING AND CURING A PRE-SHAPED TIRE CARCASS (Patent). Canada Patent number 10091408 , Uniroyal Inc , 1980.
7. Athey, John E. TIRE CURING PRESS CENTER MECHANISM. (Patent). Canada Patent number 1060615 , Mc Neil Corporation , 1979.
8. Samir Majumdar , CURING MEMBERS TECHNOLOGY (Customer Seminar Information). Butyl Polymers Asia – Pacific , Exxon Mobil Chemical , 2000
9. Russell A.Mazzero , Normana Boisseau , Sung W.Hong , FUNCTIONS AND MECHANISM OF ANTIDEGRADANTS TO PREVENT POLYMER DEGRADATION. Tire and Technology International 1994 : 36-46.
10. D.Khastgir , A COMPARATIVE STUDY OF STEP CURING AND CONTINUOUS CURING METHODS. Rubber World January 1994 : 28-31.

11. Scheiderich, Robert F. , Comper, Louis F. TREATED TIRE CURING BLADDER, TREATMENT COMPOSITION THEREFOR AND METHOD OF CURING TIRES. (Patent). Canada Patent number 1217293 , Goodyear Tire & Rubber Company , 1987.
12. Anders H. Johansson , MORE UNIFORM BLADDER LIFE WITH RESIN DISPERSION. Tire and Technology International 1995 : 84-92.
13. D.S.Tracey , LONG LASTING TIRE CURING BLADDERS. Tire and Technology International 1996 : 97-102.
14. Alberto Ramperti , DISPERSION AGENTS FOR OPTIMISED VULCANISATION. Tire and Technology International 1999 : 39-44.
15. ASTM D 412-98a. Standard Test Methods for VULCANIZED RUBBER AND THERMOPLASTIC ELASTOMERS-TENSION. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1998.
16. ASTM D 430-95. Standard Test Methods for RUBBER DETERIORATION-DYNAMIC FATIGUE. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1995.
17. ASTM D 573-88 (reapproved 1994). Standard Test Methods for RUBBER-DETERIORATION IN AN AIR OVEN. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1994.
18. ASTM D 813-95. Standard Test Methods for RUBBER DETERIORATION-CRACK GROWTH. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1995.
19. ASTM D 2240-97. Standard Test Methods for RUBBER PROPERTY-DUROMETER HARDNESS. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1997.
20. ASTM D 3183-84 (reapproved 1992). Standard Test Methods for RUBBER- PREPARATION OF PIECES OF TEST PURPOSES FROM PRODUCTS. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1992.
21. ASTM D 3767-84 (reapproved 1992). Standard Test Methods for RUBBER – MEASUREMENT OF DIMENSIONS. (Standard Method). American Society for Testing of Materials , 1992.

22. JIS K 6301-1995. RESISTANCE TO OZONE CRACKING TEST. (Standard Method).
Japanese International Standard , 1995.
23. MICHELIN. Dechirabilite Z a Chaud sur Chambres a Air ,PM 00072 MM072IKL.
(Test Method). Michelin/CGR-PLSAT , 1988.




สถาบันวิทยบริการ



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.
การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการป่ม
โดยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 (ต่อ) : สมบัติของหินทดสอบที่แปรตาม ตารางที่ 3.1

360 deg.F. / 182 deg.C.					330 deg.F. / 166 deg.C.					300 deg.F. / 149 deg.C.					270 deg.F. / 132 deg.C.					TEMP. (°F)	Time (mins)	%Elongation at Break			Hardness (Shore A)							
15 15m	12 12m	8 8m	4 4m	2 2m	60 1h	48 48m	30 30m	16 16m	8 8m	240 4h 16m	192 3h 12m	120 2h	64 1h 4m	32 32m	960 16h	768 12h 48m	480 8h	256 4h 16m	128 2h 8m			parallel			cross			1	2	3	median	
911.0	982.8	1042.7	871.6	992.9	776.4	735.7	742.8	781.4	911.5	691.7	709.7	781.1	864.0	994.6	646.0	673.8	740.9	836.8	982.4	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
903.2	901.0	951.9	900.0	913.5	705.1	735.0	753.1	795.3	861.4	693.0	725.8	802.3	893.7	994.6	650.9	661.6	744.3	788.9	994.5	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
890.1	898.5	990.2	899.6	311.3	760.2	737.9	683.8	833.9	886.7	679.1	686.0	743.5	913.9	984.8	646.6	670.3	714.7	831.6	956.3	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
903.2	901.0	990.2	899.6	913.5	760.2	735.7	742.8	795.3	886.7	691.7	709.7	781.1	893.7	994.6	646.6	670.3	740.9	831.6	982.4	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
930.4	997.4	1063.1	1116.8	986.0	717.1	726.4	778.6	748.1	887.8	687.8	676.8	717.9	889.6	964.2	667.8	645.6	737.3	793.2	902.2	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
944.5	966.5	995.8	1078.5	992.9	674.1	718.8	752.6	718.1	926.3	621.4	732.8	770.1	852.9	965.4	659.0	675.0	739.6	786.3	994.5	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
961.5	968.6	1082.3	1078.2	993.0	702.5	634.6	777.5	788.6	940.4	604.2	706.1	746.7	909.9	994.5	672.6	671.2	737.8	814.7	974.1	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
944.5	968.6	1063.1	1078.5	992.9	702.5	718.8	777.5	748.1	926.3	621.4	706.1	746.7	889.6	965.4	667.8	671.2	737.8	793.2	974.1	1	2	3	982.4	994.5	956.3	982.4	994.5	956.3	62	63	64	63
62	61	58	52	54	65	64	62	58	50	65	66	67	58	59	70	68	63	60	61	1	2	3	62	61	58	62	61	58	62	61	58	61
63	62	60	55	52	65	64	63	58	55	65	66	65	58	57	73	68	65	59	61	1	2	3	63	62	59	63	62	59	63	62	59	61
64	64	62	57	55	65	65	60	56	53	65	64	64	61	58	68	65	63	62	61	1	2	3	64	64	62	64	64	62	64	64	62	61
63	62	60	55	54	65	64	62	58	53	65	65	65	58	58	70	68	63	60	61	1	2	3	63	62	59	63	62	59	63	62	59	61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 : สมบัติของชิ้นทดสอบที่แปดตาม ตารางที่ 3.1 และแผนการประเมินแรงดึงตามรูของ
ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.

360 deg.F. / 182 deg.C.					330 deg.F. / 166 deg.C.					300 deg.F. / 149 deg.C.					270 deg.F. / 132 deg.C.					TEMP. (°F)	Time (mins)	400 % Modulus (MPa)						Tensile Strength (MPa)							
15	12	8	4	2	60	48	30	16	8	240	192	120	64	32	960	768	480	256	128			1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2
15m	12m	8m	4m	2m	1h	48m	30m	16m	8m	4h 16m	3h 12m	2h	1h 4m	32m	16h	12h 48m	8h	4h 16m	2h 8m	parallel	parallel														
5.54	4.58	4.03	3.06	2.34	9.38	9.32	8.45	6.94	5.23	9.92	9.15	7.37	5.23	3.21	9.91	9.66	8.78	6.49	3.46	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
5.59	4.6	3.84	3.34	2.33	9.11	9.23	8.19	6.74	6.02	9.05	9.09	7.83	5.3	3.25	9.69	9.9	8.91	6.24	3.72	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	2	3	median	1	
5.59	4.81	4.22	3.16	2.24	8.72	9.71	8.03	6.54	6.11	9.49	8.98	6.63	5.19	2.92	9.94	9.64	8.71	6.66	3.46	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	3	median	1	2		
5.59	4.80	4.03	3.16	2.33	9.11	9.32	8.19	6.74	5.11	9.49	9.09	7.37	5.23	3.21	9.91	9.66	8.78	6.49	3.46	median	1	2	3	median	1	2	3	median	median	1	2	3			
4.56	4.75	3.82	2.98	2.68	8.29	8.53	7.72	6.63	4.56	9.47	8.9	7.29	4.84	2.85	9.77	9.27	8.25	6.03	3.43	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
5.07	4.75	3.7	3.04	2.75	8.41	8.51	7.47	6.94	4.3	9.62	8.52	7.66	5.26	2.89	9.65	9.03	8.39	5.7	3.33	2	3	median	1	2	3	median	2	3	median	1	2	3	median	1	
4.75	4.53	3.64	3.13	2.61	8.21	8.74	7.69	6.56	4.41	9.81	8.76	7.62	5.18	2.74	9.78	9.44	8.36	5.86	3.28	3	median	1	2	3	median	2	3	median	1	2	3	median	1		
4.75	4.75	3.70	3.04	2.68	8.29	8.53	7.69	6.63	4.41	9.62	8.76	7.62	5.18	2.85	9.77	9.27	8.36	5.86	3.33	3	median	1	2	3	median	2	3	median	1	2	3	median	1		
15.21	15.1	12.97	7.06	6.85	15.66	15.26	15.62	13.8	11.53	15.45	16.41	15.9	14.83	10.99	15.83	15.78	15.2	14.49	12.39	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
15.08	14.74	11.91	6.89	5.57	16.31	16.37	13.61	12.81	9.73	14.2	16.32	15.18	14.31	10.92	15.75	15.99	16.16	14.11	11.19	2	3	median	1	2	3	median	2	3	median	1	2	3	median	1	
15.36	14.77	12.49	6.69	5.17	15.76	16.03	15.34	13.47	11.1	15.75	15.58	15.68	14.26	10.12	16.73	15.56	15.89	14.23	11.88	3	median	1	2	3	median	3	median	1	2	3	median	1			
15.21	14.77	12.49	6.89	5.57	15.76	16.03	15.34	13.47	11.10	15.45	16.32	15.68	14.31	10.92	15.83	15.78	15.89	14.23	11.88	median	1	2	3	median	median	1	2	3	median	1	2	3			
14.68	14.55	12.67	7.3	6.38	16.02	16.8	15.32	13.01	11.09	15.6	15.47	14.9	13.93	10.39	15.66	15.33	14	14.1	11.79	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
14.38	13.88	11.1	9.81	4.87	16.17	14.89	14.93	13.93	10.41	15.62	14.43	15.83	13.99	11.35	15.13	14.93	14.58	14.39	11.93	2	3	median	1	2	3	median	2	3	median	1	2	3	median	1	
13.99	14.5	11.57	7.96	4.38	15.89	15.86	15.14	13.58	11.09	16.22	15.53	14.99	13.3	10.75	16.32	15.33	15.76	14.51	11.6	3	median	1	2	3	median	3	median	1	2	3	median	1			
14.38	14.50	11.57	7.96	4.87	16.02	15.80	15.14	13.58	11.09	15.62	15.47	14.99	13.93	10.75	15.66	15.33	14.58	14.39	11.79	3	median	1	2	3	median	3	median	1	2	3	median	1			

ตารางที่ ก-2 (ต่อ) : สมบัติของหินทดสอบที่ป้อนตาม ตารางที่ 3.1 และแผนการประเมินแรงดึงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.

360 deg.F. / 182 deg.C.					330 deg.F. / 166 deg.C.					300 deg.F. / 149 deg.C.					270 deg.F. / 132 deg.C.					TEMP. (°F)	Time (mins)	%Elongation at Break						Hardness (Shore A)			
15	12	8	4	2	60	48	30	16	8	240	192	120	64	32	960	768	480	256	128			parallel			cross			1	2	3	median
15m	12m	8m	4m	2m	1h	48m	30m	16m	8m	4h 16m	3h 12m	2h	1h 4m	32m	16h	12h 48m	8h	4h 16m	2h 8m	1	2	3	median	1	2	3	median				
888.9	888.3	919.6	886.9	733.6	643.7	638.2	677.3	786.0	930.5	590.9	672.3	759.1	878.6	904.8	633.2	606.6	643.4	751.7	916.0	1	2	3	median	1	2	3	median				
905.6	865.8	889.1	827.6	710.9	675.3	674.9	593.1	729.4	795.7	606.7	654.7	757.9	830.5	921.4	647.2	614.1	676.2	764.3	842.3	1	2	3	median	1	2	3	median				
899.0	877.5	883.8	844.5	678.0	660.3	648.2	664.1	785.1	927.9	627.5	647.3	833.4	801.6	910.0	669.9	615.6	652.4	740.7	915.9	1	2	3	median	1	2	3	median				
899.0	877.5	889.1	844.5	710.9	660.3	648.2	664.1	785.1	927.9	606.7	654.7	759.1	830.5	910.0	647.2	614.1	652.4	751.7	915.9	1	2	3	median	1	2	3	median				
927.1	964.6	969.4	801.8	696.0	721.2	671.5	706.6	766.7	899.0	625.4	643.8	715.4	843.4	944.6	624.6	644.5	623.2	736.8	921.5	1	2	3	median	1	2	3	median				
905.9	933.8	874.6	977.0	738.7	721.0	646.0	716.0	775.4	840.6	616.1	674.4	731.9	811.4	994.4	609.2	613.7	645.4	794.6	948.6	1	2	3	median	1	2	3	median				
936.8	957.8	914.6	899.2	719.5	691.7	678.0	702.7	796.0	891.4	634.1	653.1	710.0	789.4	968.6	659.2	631.0	658.6	770.8	932.3	1	2	3	median	1	2	3	median				
927.1	957.8	914.6	899.2	719.5	721.0	671.5	706.6	775.4	891.4	625.4	653.1	715.4	811.4	968.6	624.6	631.0	645.4	770.8	932.3	1	2	3	median	1	2	3	median				
60	64	60	59	57	68	66	68	65	65	66	65	64	61	60	68	68	62	63	64	1	2	3	median	1	2	3	median				
55	63	61	60	58	64	68	67	71	65	67	66	63	62	62	88	89	65	62	63	1	2	3	median	1	2	3	median				
60	64	62	61	56	63	68	70	74	66	61	66	64	58	52	71	72	68	63	67	1	2	3	median	1	2	3	median				
60	64	61	60	57	64	68	68	71	65	66	65	64	61	62	68	69	65	63	64	1	2	3	median	1	2	3	median				

สถาบันวิทยบริการ

ตารางที่ ก-3 : อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติต่าง ๆ จากการบ่มเร่งด้วยความร้อน
ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

Cure Law		400 % Modulus (MPa)						Tensile Strength (MPa)					
TEMP. (°C)	Time (mins)	parallel			cross			parallel			cross		
		unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing
270 deg.F. / 132 deg.C.	12h 2h 8m	2.86	3.46	-21.0	2.8	3.33	-18.9	10.51	11.88	-13.04	10.01	11.78	-17.8
	256 4h 16m	5.52	6.49	-17.6	5.34	5.86	-9.7	14.82	14.23	3.98	13.83	14.39	-4.0
	480 8h	7.87	8.78	-11.6	7.55	8.36	-10.7	16.2	15.89	1.91	15.73	14.58	7.3
	768 12h 48m	9.41	9.66	-2.7	8.8	9.27	-5.3	16.24	15.78	2.83	15.81	15.33	3.0
	960 16h	9.77	9.91	-1.4	9.59	9.77	-1.9	16.28	15.83	2.76	16.06	15.66	2.4
300 deg.F. / 149 deg.C.	32 22m	2.35	3.21	-36.6	2.15	2.85	-32.6	8.49	10.92	-28.62	8.1	10.75	-32.7
	64 1h 4m	4.56	5.23	-14.7	4.26	5.18	-21.6	13.54	14.31	-5.69	12.94	13.93	-7.7
	120 2h	6.9	7.37	-6.8	6.81	7.62	-11.9	15.7	15.66	0.13	14.71	14.99	-1.9
	192 3h 12m	8.18	9.09	-11.1	8.37	8.76	-4.7	16	16.32	-2.00	16.18	15.47	4.4
	240 4h 16m	9.16	9.49	-3.6	8.69	9.62	-10.7	16.49	15.45	6.31	14.53	15.62	-7.5
330 deg.F. / 166 deg.C.	8 8m	4.83	5.11	-5.8	4.11	4.41	-7.3	9.64	11.1	-15.15	8.41	11.09	-31.9
	16 16m	6.62	6.74	-3.4	5.13	6.63	-29.2	14.06	13.47	4.20	13.19	13.68	-3.0
	30 30m	7.33	8.19	-11.7	6.88	7.69	-15.1	16.8	15.34	8.69	15.18	15.14	0.3
	48 48m	7.53	9.32	-23.8	7.51	8.53	-13.6	15.53	16.03	-3.22	15.4	15.8	-2.6
	60 1h	8.75	9.11	-4.1	7.5	8.29	-9.1	16.39	15.76	3.84	15.24	16.02	-5.1
360 deg.F. / 182 deg.C.	2 2m	1.98	2.33	-17.7	1.86	2.68	-44.1	5.51	5.67	-1.09	4.56	4.87	-6.8
	4 4m	2.74	3.16	-15.3	2.77	3.04	-9.7	5.97	6.89	-15.41	6.69	7.96	-19.0
	8 8m	3.19	4.03	-26.3	3.01	3.7	-22.9	11.36	12.49	-10.04	11.83	11.57	2.2
	12 12m	4.44	4.6	-3.6	3.88	4.75	-22.4	13.64	14.77	-8.28	13.15	14.6	-10.3
	4.85 5.59	4.85	5.59	-15.3	4.53	4.75	-4.9	14.4	16.21	-5.63	14.11	14.38	-1.9

ตารางที่ ก-3 (ต่อ) : อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติต่าง ๆ จากการบ่มเร่งด้วยความร้อน
ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

Cure Law		%Elongation at Break						Hardness		
TEMP. (°F)	Time (mins)	parallel			cross			(Shore A)		
		unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing
270 deg.F. / 132 deg.C.	12h 2h 8m	982.4	915.9	6.8	974.1	932.3	4.3	61	64	-4.9
	28h 4h 16m	831.6	751.7	9.6	793.2	770.8	2.8	60	63	-5.0
	48h 8h	740.9	652.4	11.9	737.8	645.4	12.5	63	65	-3.2
	76h 12h 48m	670.3	614.1	8.4	671.2	631.0	6.0	68	69	-1.5
	96h 16h	646.6	647.2	-0.1	667.8	624.6	6.5	70	68	2.9
300 deg.F. / 149 deg.C.	32 32m	994.6	910.0	8.5	965.4	968.6	-0.3	66	62	-6.9
	64 1h 4m	893.7	830.5	7.1	889.6	811.4	8.8	68	61	-5.2
	120 2h	791.1	769.1	2.8	746.7	715.4	4.2	65	64	1.5
	192 3h 12m	709.7	654.7	7.8	706.1	633.1	7.5	66	66	0.0
	240 4h 16m	651.7	606.7	12.3	621.4	625.4	-0.6	66	66	-1.5
330 deg.F. / 166 deg.C.	8 8m	666.7	927.9	-4.6	926.3	881.4	3.8	63	65	-22.6
	16 16m	795.3	785.1	1.3	748.1	775.4	-3.6	68	71	-22.4
	30 30m	742.8	864.1	10.6	777.5	706.5	9.1	62	68	-9.7
	48 48m	735.7	848.2	11.9	718.8	671.5	6.6	64	68	-6.3
	60 1h	760.2	660.3	13.1	702.5	721.0	-2.6	65	64	1.5
360 deg.F. / 182 deg.C.	2 2m	913.5	710.9	22.2	962.9	719.5	27.5	64	57	-5.6
	4 4m	899.6	844.5	6.1	1078.5	899.2	16.6	55	60	-9.1
	8 8m	890.2	889.1	10.2	1063.1	914.6	14.0	60	61	-1.7
	12 12m	901.0	877.5	2.6	966.6	957.8	1.1	62	64	-3.2
	15 903.2	899.0	877.5	0.5	944.5	927.1	1.8	63	60	4.8

ตารางที่ ก-4 : สมบัติ 400 % โมดูลัส ของหินทดสอบที่บ่มตาม ตารางที่ 4.2
และบ่มแรงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		400 % Modulus (MPa)																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
270 deg.F. / 132 deg.C.	384 6h 24m	5.21	5.39	5.13	5.2	5.57	5.61	5.63	5.6	7.89	7.46	7.68	7.7	8.19	8.33	8.18	8.2	5.26	5.07	5.53	5.3
	480 8h	6.57	6.16	6.59	6.6	6.52	6.48	6.9	6.5	8.67	9.06	8.83	8.8	9.3	8.9	8.99	9.0	6.52	6.38	6.51	6.5
	768 12h 48m	7.56	7.38	7.31	7.4	7.9	8.11	7.5	7.9	9.48	9.23	9.35	9.4	10	10.05	10.19	10.1	8.31	8.09	8.21	8.2
	960 16h	7.27	7.34	7.24	7.3	7.1	7.21	7.54	7.2	7.12	7.26	7.69	7.3	9.96	9.76	10.1	10.0	8.11	8.39	8.45	8.4
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	4.80	5.06	4.84	4.8	6.64	6.46	6.80	6.6	6.76	7.23	6.92	6.9	7.54	7.29	7.47	7.5	6.99	6.44	6.31	6.4
	120 2h	5.44	5.37	5.14	5.4	7.65	7.40	7.43	7.4	7.65	7.69	7.51	7.7	7.62	7.68	7.35	7.6	6.95	6.72	5.59	6.7
	192 3h 12m	6.98	6.83	7.33	7.0	9.79	9.44	9.70	9.7	10.01	9.88	9.47	9.9	9.55	9.78	9.72	9.7	9.00	9.44	9.95	9.4
	240 4h	7.55	7.09	7.53	7.5	9.52	9.61	9.78	9.6	9.88	9.65	9.77	9.8	10.23	10.07	10.01	10.1	9.66	8.99	8.55	9.0
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	3.14	2.92	3.05	3.1	3.75	2.95	3.34	3.3	3.72	3.58	3.61	3.6	5.58	5.36	5.33	5.4	4.11	3.67	3.99	4.0
	30 30m	3.50	2.87	3.21	3.2	4.26	3.58	3.60	3.6	5.76	5.77	5.66	5.8	6.18	6.32	6.27	6.3	4.80	4.92	4.40	4.8
	48 48m	4.99	4.87	5.20	5.0	4.47	4.02	4.06	4.1	7.20	7.10	7.28	7.2	7.14	7.31	7.24	7.2	5.62	5.56	5.70	5.6
	60 1h	5.54	4.04	5.79	5.5	5.31	5.65	5.37	5.4	8.09	8.03	7.92	8.0	7.53	7.71	7.72	7.7	5.58	5.92	5.83	5.8

ตารางที่ ก-5 : สมบัติ การต้านแรงดึง ของชั้นทดสอบที่บ่มตาม ตารางที่ 4.2 และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Tensile Strength (MPa)																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
270 deg.F. / 132 deg.C.	384 6h 24m	14.86	14.36	14.68	14.7	15.19	14.86	15.33	15.2	14.70	15.24	14.88	14.9	15.70	14.48	15.07	15.1	14.6	14.0	14.3	14.3
	480 8h	14.67	15.25	16.08	15.3	15.78	16.01	15.50	15.8	15.33	14.00	14.70	14.7	15.36	14.96	15.15	15.2	14.8	15.0	14.3	14.8
	768 12h 48m	16.25	16.00	15.89	16.0	15.58	14.95	15.24	15.2	15.44	15.33	15.38	15.4	16.03	15.49	15.13	15.5	14.9	15.7	15.3	15.3
	960 16h	14.74	16.02	15.39	15.4	15.18	14.77	15.69	15.2	14.55	15.07	15.49	15.1	15.20	15.41	15.33	15.3	15.4	15.1	15.2	15.2
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	14.83	14.66	14.67	14.7	14.63	15.44	14.06	14.6	15.31	14.32	14.95	15.0	15.53	14.38	14.99	15.0	15.4	14.5	14.8	14.8
	120 2h	14.71	15.01	14.32	14.7	15.34	14.77	15.29	15.3	15.27	14.93	14.56	14.9	15.39	15.32	15.59	15.4	15.4	15.1	15.6	15.4
	192 3h 12m	15.40	15.96	14.80	15.4	16.07	15.98	15.35	16.0	16.24	16.29	15.99	16.2	16.25	16.16	16.45	16.3	15.1	16.0	15.9	15.9
	240 4h	15.76	15.88	14.33	15.8	16.04	15.42	15.75	15.8	15.30	15.91	15.47	15.5	15.01	14.31	14.46	14.5	15.2	15.4	15.4	15.4
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	13.00	12.99	13.45	13.0	13.98	13.63	13.11	13.6	12.61	13.54	14.20	13.5	13.90	14.25	13.82	13.9	13.3	13.4	13.4	13.4
	30 30m	12.88	14.14	13.24	13.5	13.43	14.36	12.37	13.4	14.90	14.59	13.19	14.6	13.43	14.19	13.15	14.0	14.1	14.2	14.9	14.2
	48 48m	14.46	14.98	15.05	15.0	13.94	14.84	15.27	14.8	15.13	15.30	15.14	15.2	14.66	14.08	13.75	15.2	13.9	13.7	14.2	13.9
	60 1h	15.54	15.35	14.91	15.4	15.23	15.79	15.64	15.6	14.77	15.09	15.31	15.1	15.22	15.28	15.33	15.3	13.5	13.9	13.7	13.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 : สมบัติ ความยืดหยุ่นขาด ของชิ้นทดสอบที่ป้อนตาม ตารางที่ 4.2
และป้อนแรงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		% Elongation at Break																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
270 deg.F. / 132 deg.C.	394 6h 24m	945.62	891.99	972.03	945.6	963.34	900.33	912.57	912.6	702.39	751.09	714.65	714.7	704.28	667.58	678.00	678.0	950.7	937.0	926.3	937.0
	480 8h	854.11	874.48	895.18	874.5	870.90	855.21	809.86	855.2	683.38	596.91	637.63	637.6	633.90	635.42	674.59	635.4	870.1	850.9	869.7	869.7
	768 12h 48m	822.55	812.14	824.99	822.6	809.82	750.79	783.31	783.3	634.00	645.90	633.54	634.0	635.95	590.71	603.63	603.6	718.0	757.4	743.6	743.6
	960 16h	763.25	794.65	801.24	794.7	764.55	739.51	791.78	764.6	839.52	880.54	811.19	839.5	608.15	644.97	618.87	618.9	744.5	704.8	736.7	736.7
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	956.09	920.45	918.18	920.5	789.97	775.83	704.99	770.0	763.10	726.02	772.73	763.1	731.84	666.77	721.31	721.3	697.1	679.9	709.8	697.1
	120 2h	959.69	948.56	891.51	948.6	735.53	710.62	725.02	725.0	719.69	702.70	679.79	702.7	728.03	730.56	722.75	728.0	680.1	730.0	738.2	730.0
	192 3h 12m	805.32	831.78	762.65	805.3	621.01	637.56	622.30	622.3	647.92	656.82	634.35	647.9	680.33	670.67	652.97	670.7	597.2	650.0	653.5	650.0
	240 4h	817.71	816.18	725.45	816.2	650.88	629.95	638.99	639.0	628.33	645.47	624.28	628.3	583.10	564.32	584.23	583.1	646.5	663.9	624.0	646.5
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	1152.85	1132.41	1182.43	1152.9	1050.25	1267.52	1037.22	1050.3	999.66	999.62	999.64	999.6	802.10	820.54	788.93	802.1	991.1	1004.5	994.9	994.9
	30 30m	1272.97	1273.03	1066.60	1273.0	978.54	1244.64	1086.73	1086.7	800.76	802.63	725.67	800.8	727.90	826.80	730.97	731.0	951.6	932.2	989.9	951.6
	48 48m	961.74	941.15	937.18	941.2	1036.44	1273.08	1273.06	1273.1	738.47	741.25	721.37	738.5	702.38	678.86	670.60	678.9	873.8	844.8	902.8	873.8
	60 1h	933.74	1272.94	897.55	933.7	982.14	940.27	939.48	940.3	673.89	683.73	695.60	683.7	723.09	722.20	726.85	723.1	828.3	879.1	862.0	862.0

จุฬาลง

ตารางที่ ก-7 : สมบัติ ระยะ bench mark หลังขาด ของชิ้นทดสอบที่บ่มตาม ตารางที่ 4.2 และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Bench Mark Length after break (mm.)																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
270 deg.F. / 132 deg.C.	384 6h 24m	32.10	30.54	31.74	31.7	32.00	32.00	32.40	32.0	31.50	31.40	31.50	31.5	31.80	31.80	31.50	31.8	31.60	31.60	31.50	31.6
	480 8h	30.60	30.94	31.50	30.9	31.40	31.30	31.40	31.4	31.20	31.40	31.40	31.4	30.10	30.00	30.10	30.1	31.40	31.30	31.50	31.4
	768 12h 48m	30.30	30.40	30.80	30.4	31.80	31.60	31.90	31.8	30.20	30.50	30.30	30.3	30.00	30.00	29.80	30.0	30.00	30.02	30.00	30.0
	960 16h	30.00	30.20	30.80	30.2	31.00	31.00	30.80	31.0	31.20	31.20	31.40	31.2	30.60	30.70	30.40	30.6	29.50	29.60	29.50	29.5
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	30.90	29.80	30.00	30.0	31.00	30.40	30.00	30.4	29.96	29.62	30.38	30.0	29.42	29.20	29.26	29.3	30.00	29.54	29.80	29.8
	120 2h	30.30	30.30	29.40	30.3	29.66	30.00	29.42	29.7	29.14	29.40	29.20	29.2	30.20	30.26	29.42	30.2	29.30	29.40	29.60	29.4
	192 3h 12m	28.10	28.30	27.30	28.1	28.42	28.44	28.04	28.4	28.54	28.52	28.10	28.5	28.82	29.20	28.74	28.8	28.44	28.72	28.90	28.7
	240 4h	27.10	27.10	27.20	27.1	27.60	28.20	28.06	28.1	28.00	27.60	28.00	28.0	28.10	28.24	28.32	28.2	28.40	28.40	28.20	28.4
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	31.50	31.30	31.20	31.3	35.00	35.00	34.80	35.0	33.60	33.70	33.70	33.7	33.60	33.80	33.90	33.8	31.50	31.40	31.50	31.5
	30 30m	29.80	29.40	29.60	29.6	33.60	33.50	33.50	33.5	33.00	33.00	33.10	33.0	32.00	32.00	32.20	32.0	31.50	31.20	31.50	31.5
	48 48m	28.80	29.80	29.60	29.6	31.50	31.30	31.60	31.5	32.20	32.20	32.10	32.2	31.20	31.00	31.20	31.2	30.40	30.70	30.20	30.4
	60 1h	29.30	29.50	29.50	29.5	32.00	32.30	32.30	32.3	31.20	31.40	31.10	31.2	31.00	31.00	31.20	31.0	30.00	30.00	29.80	30.0

ตารางที่ ๓-8 : สมบัติ ความคงตัวหลังจากยืด และ ความแข็ง ของหินทดสอบ
 ที่มอดตาม ตารางที่ 4.2

Cure Law	TEMP. (°F)	Time (mins)	Tension Set				Hardness (shore A)				
			1	2	3	median	%	1	2	3	median
330 deg.F. / 166 deg.C.		60 1h	29.30	29.50	29.50	29.50	18.00	66	65	64	65
		48 48m	28.80	29.80	29.60	29.60	18.40	62	65	61	62
		30 30m	29.80	29.40	29.60	29.60	18.40	55	58	58	58
		24 24m	31.50	31.30	31.20	31.40	25.60	58	60	53	58
300 deg.F. / 149 deg.C.		240 4h	27.70	26.90	26.90	26.90	7.60	67	65	67	67
		192 3h 12m	26.90	27.36	27.06	27.06	8.24	67	64	64	64
		120 2h	27.80	27.60	27.70	27.70	10.80	60	60	60	60
		96 1h 36m	28.30	28.70	28.80	28.50	14.00	61	64	59	61
270 deg.F. / 132 deg.C.		960 16h	28.00	28.20	27.90	28.10	12.40	68	68	67	68
		768 12h 48m	28.70	28.40	28.80	28.55	14.20	68	66	65	66
		480 8h	29.10	28.70	28.80	28.90	15.60	65	65	65	65
		384 6h 24m	29.30	29.60	30.00	29.45	17.80	66	68	63	66

ตารางที่ ก-9 : สมบัติ การต้านการฉีกขาด ของชั้นทดสอบที่ป้อนตาม ตารางที่ 4.2
และป้อนแรงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Tear Strength (N./mm.)																			
TEMP. (° F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average
270 deg.F. / 132 deg.C.	384 6h 24m	35.867	37.561	36.644	36.69	55.20	49.67	46.09	50.32	40.22	36.94	35.70	37.62	36.84	37.90	35.16	36.63	60.1	60.5	57.4	59.34
	480 8h	34.358	35.005	33.625	34.33	34.06	36.89	33.64	34.86	39.26	43.23	45.72	42.74	39.96	42.47	40.72	41.05	36.4	31.6	39.6	35.86
	768 12h 48m	30.344	31.112	31.985	31.15	39.05	39.39	41.10	39.85	32.35	35.57	29.68	32.53	32.44	27.71	32.20	30.79	31.74	34.77	29.48	31.99
	960 16h	34.207	38.929	32.013	35.05	38.18	40.45	40.47	39.70	41.40	41.13	48.00	43.51	34.15	35.78	33.94	34.62	33.3	32.0	29.6	31.63
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	31.37	34.30	31.45	32.37	31.47	35.44	31.99	32.97	40.10	33.63	34.73	36.15	56.70	52.32	55.53	54.85	42.1	60.8	50.4	47.79
	120 2h	33.36	39.32	32.96	35.22	36.83	34.37	38.08	36.43	34.38	40.50	44.75	39.88	42.60	54.01	40.72	45.77	41.1	45.2	45.5	43.93
	192 3h 12m	34.93	39.08	29.56	34.52	30.12	37.28	33.60	33.67	35.20	35.72	35.31	35.41	40.71	39.78	43.72	41.40	37.88	38.75	35.89	37.51
	240 4h	38.15	44.88	33.39	38.80	40.79	35.76	37.79	38.11	54.59	30.97	38.90	41.49	45.52	45.04	34.07	41.54	34.7	31.2	34.0	33.29
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	33.50	33.36	32.29	33.05	40.45	40.51	42.39	41.12	34.23	35.42	41.24	36.96	32.91	38.94	35.38	35.74	42.8	43.5	42.8	43.03
	30 30m	43.54	40.78	42.79	42.37	48.23	43.48	42.36	44.69	38.61	36.61	39.73	38.32	51.97	42.98	48.31	47.76	37.7	35.4	36.4	36.50
	48 48m	56.06	57.94	52.68	55.56	39.90	36.17	33.62	36.56	39.39	41.46	41.60	40.82	41.09	41.35	43.86	42.10	34.40	45.21	38.04	39.22
	60 1h	49.63	53.97	47.98	50.53	37.51	36.79	37.35	37.22	34.85	37.54	38.31	36.90	34.62	33.65	36.44	34.90	40.8	39.0	43.6	41.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-10 : สมบัติ ความยืดการฉีกขาด ของชั้นทดสอบที่บ่มตาม ตารางที่ 4.2
และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		% Elongation at TEAR																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average
270 deg.F. / 132 deg.C.	384 6h 24m	350	356	362.5	356.2	487.50	443.75	425.00	452.1	368.75	337.50	350.00	352.1	356.25	343.75	318.75	339.6	525.0	510.2	508.5	514.6
	480 8h	293.75	300	293.75	295.8	287.50	318.75	287.50	297.9	337.50	356.25	375.00	356.3	318.75	312.50	343.75	325.0	295.9	261.4	318.8	292.0
	768 12h 48m	212.5	225	231.25	222.9	275.00	287.50	287.50	283.3	231.25	256.25	218.75	235.4	231.25	200.00	231.25	220.8	234.2	243.7	228.7	235.5
	960 16h	256.25	281.96	243.75	260.7	268.75	281.25	281.25	277.1	300.00	287.50	337.50	308.3	231.25	250.00	237.50	239.6	218.8	209.6	199.9	209.4
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	375.00	362.50	387.50	375.0	356.25	387.50	362.50	368.8	406.25	356.25	368.75	377.1	481.25	468.75	493.75	481.3	418.8	462.5	456.3	445.8
	120 2h	350.00	418.75	362.50	377.1	356.25	362.50	368.75	362.5	343.75	375.00	331.25	350.0	387.50	450.00	375.00	404.2	350.0	387.5	381.3	372.9
	192 3h 12m	287.50	337.50	262.50	295.8	243.75	287.00	275.00	268.6	275.00	281.25	268.75	275.0	300.00	318.75	343.75	320.8	298.0	312.5	306.3	305.6
	240 4h	287.50	353.75	381.25	340.8	287.50	262.50	287.50	279.2	387.50	393.75	293.75	358.3	306.25	250.00	256.25	270.8	250.0	231.3	256.3	245.8
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	493.75	500.00	493.75	495.8	518.75	518.75	525.00	520.8	450.00	450.00	493.75	464.6	406.25	456.25	431.25	431.3	451.6	449.4	467.0	456.0
	30 30m	525.00	512.50	512.50	516.7	543.75	525.00	518.75	529.2	450.00	431.25	456.25	445.8	543.75	493.75	518.75	518.8	382.4	389.3	396.0	389.2
	48 48m	512.50	550.00	512.50	525.0	406.25	375.00	351.77	377.7	381.25	387.50	400.00	389.6	381.25	375.00	393.75	383.3	335.9	398.2	345.7	359.9
	60 1h	437.50	462.50	450.00	450.0	360.00	350.00	360.00	350.0	331.25	362.50	362.50	352.1	318.75	306.25	325.00	316.7	347.3	326.3	366.9	343.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-11 : สมบัติ การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก ของหินทดสอบ
 ที่มอดูลตาม ตารางที่ 4.2 และปริมาณแรงด้วยควมร่อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Cut Length (mm.)																
TEMP. (°F)	Time (mins)	330 deg.F. / 166 deg.C.				300 deg.F. / 149 deg.C.				270 deg.F. / 132 deg.C.				5,000 cycles	10,000 cycles	15,000 cycles	20,000 cycles	30,000 cycles
		60 1h	48 48m	30 30m	24 24m	240 4h	192 3h 12m	120 2h	96 1h 36m	960 16h	768 12h 48m	480 8h	384 6h 24m					
	1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	average	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	1	5.2	3.8	3.2	3.2	5.2	3.8	3.3	3.2	3.9	4.3	3.2	3.2	5.2	3.8	3.2	3.2	3.2
	2	5.2	3.7	3.2	3.2	5.2	4.0	3.5	3.2	4.2	3.5	3.2	3.2	5.2	3.7	3.2	3.2	3.2
	3	5.0	3.6	3.2	3.2	5.2	4.0	3.2	3.2	4.5	4.4	3.2	3.2	5.0	3.6	3.2	3.2	3.2
	average	5.1	3.7	3.2	3.2	5.2	3.9	3.3	3.2	4.2	4.1	3.2	3.2	5.1	3.7	3.2	3.2	3.2
	1	5.8	4.8	3.4	3.2	5.8	4.7	3.4	3.2	4.8	5.3	4.0	3.2	5.8	4.8	3.4	3.2	3.2
	2	5.4	4.8	3.2	3.2	5.9	4.6	3.6	3.2	5.0	4.9	4.0	3.2	5.4	4.8	3.2	3.2	3.2
	3	5.4	4.5	3.5	3.2	6.0	4.5	3.3	3.2	5.2	4.9	3.9	3.2	5.4	4.5	3.5	3.2	3.2
	average	5.5	4.7	3.4	3.2	5.9	4.6	3.4	3.2	5.0	5.0	4.0	3.2	5.5	4.7	3.4	3.2	3.2
	1	6.1	5.3	3.6	3.2	6.3	5.2	3.5	3.2	5.8	6.4	4.2	3.2	6.1	5.3	3.6	3.2	3.2
	2	5.7	5.4	3.8	3.2	6.6	5.1	3.8	3.2	6.4	6.4	4.1	3.2	5.7	5.4	3.8	3.2	3.2
	3	5.7	5.1	3.5	3.2	6.4	5.1	3.4	3.2	6.8	5.5	4.2	3.2	5.7	5.1	3.5	3.2	3.2
	average	5.8	5.3	3.6	3.2	6.4	5.1	3.6	3.2	6.3	6.1	4.2	3.2	5.8	5.3	3.6	3.2	3.2
	1	6.9	5.9	4.0	3.2	7.0	5.5	4.1	3.2	6.5	8.3	4.7	3.2	6.9	5.9	4.0	3.2	3.2
	2	7.2	5.6	3.8	3.2	7.5	5.5	4.2	3.2	6.5	9.0	4.3	3.2	7.2	5.6	3.8	3.2	3.2
	3	7.1	6.0	3.8	3.2	7.4	5.9	3.7	3.2	8.2	6.2	4.4	3.2	7.1	6.0	3.8	3.2	3.2
	average	7.1	5.8	3.9	3.2	7.3	5.6	4.0	3.2	7.1	7.8	4.5	3.2	7.1	5.8	3.9	3.2	3.2

ตารางที่ ก-11 (ต่อ) : สมบัติ การต้านทานต่อการเติบโตของรอยแตก ของหินทดสอบ
 ที่ป้อนตาม ตารางที่ 4.2 และปมเร่งตั้งยดความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน ๆ กัน.

Cure Law														
TEMP. (°F)	Time (mins)	Cut Length (mm.)												
		40,000 cycles			80,000 cycles			100,000 cycles			120,000 cycles		150,000 cycles	
330 deg.F. / 166 deg.C.	300 deg.F. / 149 deg.C.	270 deg.F. / 132 deg.C.	60	48	30	24	240	192	120	96	960	768	480	384
			1h	48m	30m	24m	4h	3h 12m	2h	1h 36m	16h	12h 48m	8h	6h 24m
	1	8.0	6.4	4.0	3.2	7.6	6.0	4.6	3.2	5.0	10.2	5.1	3.2	
	2	8.2	6.3	4.1	3.2	8.2	5.9	4.4	3.2	7.6	9.0	4.5	3.2	
	3	8.3	6.3	4.1	3.2	8.1	6.5	3.9	3.2	10.8	7.2	4.6	3.2	
	average	8.2	6.3	4.1	3.2	8.0	6.1	4.3	3.2	7.8	8.8	4.7	3.2	
	1	11.8	8.9	4.8	3.2	13.0	8.7	5.7	3.2	6.8	16.1	6.4	5.3	
	2	11.7	8.5	4.6	3.2	13.3	8.0	5.7	3.2	9.8	14.8	5.0	4.2	
	3	11.4	8.7	4.7	3.2	12.4	10.3	4.6	3.2	16.3	11.4	6.3	4.1	
	average	11.6	8.7	4.7	3.2	12.9	9.0	5.3	3.2	11.0	14.1	5.9	4.5	
	1	15.0	10.5	5.9	3.2	16.0	10.4	6.7	3.2	8.5	19.4	8.4	5.6	
	2	14.6	9.8	5.7	3.2	17.3	9.2	6.7	3.2	12.1	17.5	6.4	4.5	
	3	14.7	9.9	5.7	3.2	14.8	11.6	5.5	3.2	18.2	13.4	7.7	4.9	
	average	14.8	10.1	5.8	3.2	16.0	10.4	6.3	3.2	12.9	15.5	7.5	5.0	
	1	17.5	11.8	7.0	3.2	17.5	12.2	7.2	3.2	13.2	21.4	8.9	5.9	
	2	17.1	11.6	7.1	3.2	22.1	10.6	7.2	3.2	13.3	21.0	6.8	4.0	
	3	17.1	11.5	6.7	3.2	15.3	12.5	7.0	3.2	20.4	17.0	7.2	6.0	
	average	17.2	11.6	6.9	3.2	18.3	11.8	7.1	3.2	15.6	19.8	7.6	5.3	
	1	20.0	12.6	7.8	3.2	22.0	13.3	7.9	3.2	25.4	25.4	10.6	7.5	
	2	19.9	12.5	7.7	3.2	13.1	12.1	8.2	3.2	15.0	21.0	9.4	4.4	
	3	19.4	12.3	7.8	3.2	19.2	14.6	7.5	3.2	9.6	25.4	7.0	5.8	
	average	19.8	12.5	7.8	3.2	18.1	13.3	7.9	3.2	16.7	23.9	9.0	5.9	

ตารางที่ ก-12 : สมบัติ การต้านทานต่อการล้าด้านพลศาสตร์

และสมบัติการต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยไอโซน

ของชั้นทดสอบที่บ่มตาม ตารางที่ 4.2

Cure Law		Grade					
TEMP. (°F)	Time (mins)	Dynamic Fatigue			Ozone Resistance		
		1	2	3	1	2	3
270 deg.F. / 132 deg.C.	384 6h 24m	1	1	1	C-5	C-5	C-5
	480 8h	1	1	1	C-5	C-5	C-5
	768 12h 48m	1	1	1	eB-4	eB-5	eB-4
	960 16h	1	1	1	A-1	A-1	A-1
300 deg.F. / 149 deg.C.	96 1h 36m	1	1	1	B-5	B-5	B-5
	120 2h	1	1	1	B-5	B-5	B-5
	192 3h 12m	2	3	3	A-4	B-4	B-4
	240 4h	8	8	7	A-3	A-2	A-2
330 deg.F. / 166 deg.C.	24 24m	0	0	0	C-5	C-5	C-5
	30 30m	1	1	2	B-5	B-4	B-4
	48 48m	10	10	9	A-4	A-4	A-4
	60 1h	10	10	10	eA-4	aA-3	eA-3



ภาคผนวก ข.
การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปั๊มแบตเตอรี่
ในอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข. : การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่มแบลด์เดอร์ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ ข-1 : สมบัติ 400 % โมดูลัส ของชั้นทดสอบของแบลด์เดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		400 % Modulus (MPa)																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
375 deg.F.	14	8.5	9.5	9.4	9.4	6.55	6.71	6.42	6.6	8.11	9.08	8.83	8.8	8.04	9.25	8.97	9.0	6.99	7.05	7.03	7.0
	16	7.81	8.44	8.02	8.0	5.9	5.75	5.8	5.8	7.42	7.99	8.05	8.0	7.04	7.16	7.29	7.2	5.28	5.29	5.87	5.3
	18	8.08	8.24	9	8.2	5.9	6.13	6.08	6.1	7.17	7.49	7.88	7.5	7.63	7.66	7.38	7.6	6.22	5.92	6.34	6.2
	20	8.56	8.83	8.83	8.8	6.18	6.44	6.23	6.2	8.22	7.39	7.92	7.9	8.39	8.66	8.33	8.4	5.59	5.68	5.42	5.6
	22	8.77	8.81	8.97	8.8	6.38	6.48	6.46	6.5	7.47	7.89	7.53	7.5	8.21	8.45	8.38	8.4	6.13	6.08	6.22	6.1
	24	9	9.63	9.13	9.1	5.34	5.4	5.46	5.4	8.11	8.23	8.09	8.1	8.33	8.37	8.59	8.4	5.24	5.33	5.38	5.3

ตารางที่ ข-2 : สมบัติ การต้านแรงดึง ของชั้นทดสอบจากแบลด์เดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Tensile Strength (MPa)																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median
375 deg.F.	14	15.54	15.55	15.7	15.6	15.86	16.47	15.18	15.9	15.18	14.72	4.02	14.7	15.31	16.19	15.27	15.3	14.93	14.96	14.55	14.9
	16	15.78	15.34	15.47	15.5	16.36	15.37	16.22	16.2	14.88	14.87	14.67	14.9	15.09	15.45	15.32	15.3	14.06	13.22	14.92	14.1
	18	15.32	15.19	15.17	15.2	15.02	14.84	15.49	15.0	14.72	14.93	14.88	14.9	14.59	14.78	14.33	14.6	13.56	13.98	12.79	13.6
	20	15.7	15.8	15.34	15.7	16.22	16.44	16.23	16.2	14.88	14.59	14.99	14.9	14.98	14.89	14.76	14.9	14.37	14.21	14.24	14.2
	22	14.84	15.67	15.23	15.2	15.23	15.38	15.83	15.4	13.79	14.06	13.89	13.9	15.12	15.53	15.02	15.1	14.24	14.53	14.11	14.2
	24	15.33	15.7	15.27	15.3	15.34	15.26	15.32	15.3	13.86	13.55	14.29	13.9	12.05	12.73	13.01	12.7	12.61	12.22	13.02	12.6

ตารางที่ ข-3 : สมบัติ ความยืดขณะขาด ของชั้นทดสอบจากเบลดเดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ
และบ่มแรงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		% Elongation at Break																					
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days					
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median		
375 deg.F.	14	627.15	627.15	627.15	627.2	680.27	680.27	680.27	664.4	663.28	663.28	663.28	608.0	608.0	608.0	608.0	759.46	759.46	759.46	740.9	806.70	806.70	806.70
	16	689.94	689.94	689.94	660.5	716.26	716.26	716.26	716.3	677.54	677.54	677.54	677.5	677.5	677.5	677.5	734.16	734.16	734.16	722.5	888.76	888.76	888.76
	18	654.83	654.83	654.83	642.6	661.53	661.53	661.53	661.5	704.51	704.51	704.51	717.2	717.2	717.2	717.2	728.30	728.30	728.30	728.3	851.87	851.87	851.87
	20	639.79	639.79	639.79	635.7	641.56	641.56	641.56	641.6	637.26	637.26	637.26	642.7	642.7	642.7	642.7	845.97	845.97	845.97	844.2	873.87	873.87	873.87
	22	598.14	598.14	598.14	606.3	667.01	667.01	667.01	667.0	651.42	651.42	651.42	651.4	651.4	651.4	651.4	824.96	824.96	824.96	825.0	812.98	812.98	812.98
	24	629.79	629.79	629.79	621.5	622.15	622.15	622.15	522.2	630.73	630.73	630.73	630.7	630.7	630.7	630.7	824.34	824.34	824.34	742.3	871.42	871.42	871.42

ตารางที่ ข-4 : ระยะ bench mark หลังขาด ของชั้นทดสอบจากเบลดเดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ
และบ่มแรงด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Bench Mark Length After Break (mm.)																							
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days							
		1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median	1	2	3	median				
375 deg.F.	14	31.6	31.6	31.4	31.6	29.7	29.0	29.4	29.4	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.7	29.7	30.0	30.2	30.6	30.2	28.7	28.9	28.7	28.7	
	16	31.4	31.5	31.2	31.4	30.4	30.0	30.3	30.3	29.8	29.8	29.8	29.6	29.8	29.8	29.8	30.0	29.8	29.4	29.8	28.6	28.5	28.7	28.6	
	18	31.0	31.6	30.9	31.0	30.0	28.8	30.1	30.0	29.8	29.7	29.6	29.7	29.7	29.7	29.7	28.8	28.5	28.8	28.8	28.4	28.4	28.5	28.4	
	20	31.0	30.8	31.1	31.0	29.6	29.6	29.8	29.6	29.7	29.7	29.4	29.7	29.7	29.7	29.7	29.8	29.5	29.2	29.5	29.5	28.1	28.3	28.0	28.1
	22	30.9	30.7	30.8	30.8	29.6	28.9	29.8	29.6	29.7	29.6	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.5	29.6	29.1	29.5	29.5	28.2	28.2	28.3	28.2
	24	30.9	30.8	30.6	30.8	30.0	30.0	29.4	30.0	29.6	29.5	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	28.5	28.8	28.5	28.5	28.5	27.7	27.3	27.9	27.7

ตารางที่ ข-5 : สมบัติ ความแข็ง และ ความคงตัวหลังจากยึด
ของชิ้นทดสอบจากแปลดเดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ

Cure Law		Hardness				Tension Set				%
TEMP.	Time	(Shore A)				(mm.)				
(°F)	(mins)	1	2	3	average	1	2	3	median	
375 deg.F.	14	64	63	64	64	31.50	31.30	31.40	31.40	25.6
	16	65	63	66	65	31.30	31.30	31.40	31.30	25.2
	18	65	65	66	65	31.10	31.20	31.10	31.10	24.4
	20	65	63	66	65	30.80	30.90	30.90	30.90	23.6
	22	65	65	64	65	30.20	30.30	30.30	30.30	21.2
	24	65	65	66	65	29.90	29.90	30.00	29.90	19.6

ตารางที่ ข-6 : สมบัติ การต้านการฉีกขาด ของชิ้นทดสอบจากแปลดเดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ
และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Tear Strength (N/mm.)																			
TEMP.	Time	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average
375 deg.F.	14	28.37	27.57	30.19	28.7	29.40	29.90	31.05	30.1	31.42	31.68	29.38	30.8	32.87	32.02	30.60	31.8	32.71	31.82	30.23	31.6
	16	35.22	33.05	31.80	33.4	35.37	34.02	32.68	34.0	33.13	32.01	32.55	32.6	29.12	31.88	31.22	30.7	32.22	30.80	31.33	31.5
	18	35.11	32.83	33.65	33.9	28.44	29.77	29.03	29.1	32.57	32.79	31.86	32.4	29.20	29.81	29.37	29.5	34.17	34.57	35.22	34.7
	20	30.00	32.70	32.27	31.7	29.10	30.04	29.52	29.6	34.15	34.32	34.45	34.3	30.77	30.45	29.89	30.4	28.41	29.03	29.89	29.1
	22	31.15	30.05	30.35	30.5	30.95	30.55	30.92	30.8	30.56	30.66	30.42	30.5	32.01	31.67	31.82	31.8	29.71	29.92	30.21	29.9
	24	31.39	33.77	29.77	31.6	31.05	31.02	30.93	31.0	27.82	28.38	27.95	28.1	27.00	27.08	27.23	27.1	30.88	30.26	29.54	30.2

ตารางที่ ข-7 : สมบัติ ความยืดการฉีกขาด ของชิ้นทดสอบจากแบลคเดอริ์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน.

Cure Law		Elongation of Tear (%)																			
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged				2 days				4 days				7 days				14 days			
		1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average	1	2	3	average
375 deg.F.	14	288	263	281	277	275	263	281	273	263	263	250	258	281	288	275	281	293	286	270	283
	16	331	319	313	321	338	331	342	337	319	325	320	321	300	313	306	306	319	310	312	314
	18	344	331	306	327	294	303	298	298	318	331	320	323	300	311	302	304	316	309	317	314
	20	281	313	294	296	286	281	275	281	318	320	323	320	294	298	296	296	276	279	280	278
	22	300	281	288	290	306	312	306	308	300	315	311	309	306	305	301	304	269	286	254	270
	24	294	306	281	294	313	317	311	314	281	292	272	282	281	279	283	281	291	291	293	292

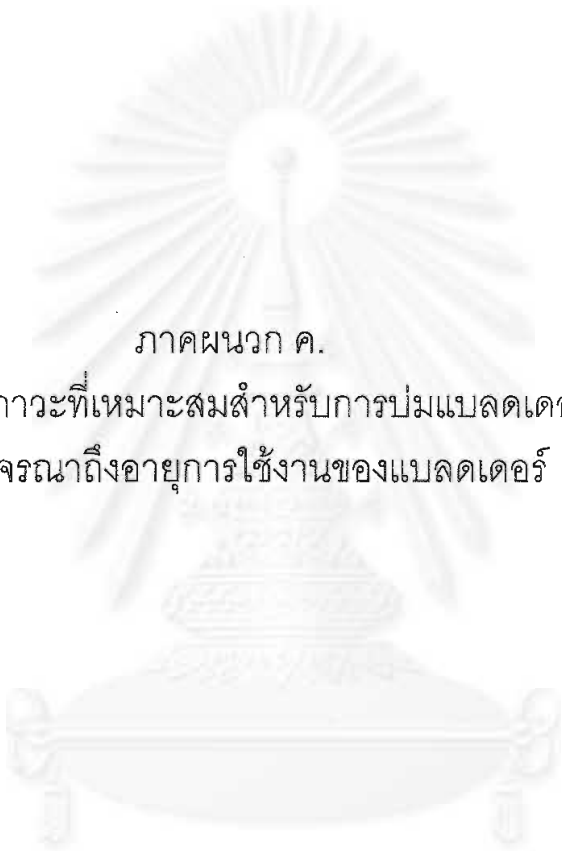
ตารางที่ ข-8 : อัตราการเสื่อมสภาพของสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบจากแบลคเดอริ์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ และบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.

Cure Law		400 % Modulus (MPa)			Tensile Strength (MPa)			Elongation at Break (%)			Hardness (shore A)		
TEMP. (°F)	Time (mins)	unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing	unaged	aged	% Decreasing
		375 deg.F.	14	9.40	8.83	6.1	15.55	14.72	5.3	627.15	608.01	3.05	64
16	8.02		7.99	0.4	15.47	14.87	3.9	660.49	677.54	-2.58	65	66	-2.1
18	8.24		7.49	9.1	15.19	14.88	2.0	642.61	717.24	-11.61	65	67	-2.6
20	8.83		7.92	10.3	15.70	14.88	5.2	635.74	642.69	-1.09	65	66	-2.1
22	8.81		7.53	14.5	15.23	13.89	8.8	606.25	651.42	-7.45	65	66	-2.1
24	9.13		8.11	11.2	15.33	13.86	9.6	621.49	630.73	-1.49	65	66	-1.0

ตารางที่ ข-9 : สมบัติ การต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยโอโซน
ของชิ้นทดสอบจากเบลดเดอร์ ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ.

Cure Law		Grade of		
TEMP. (°F)	Time (mins)	Ozone Resistance		
		1	2	3
375 deg.F.	14	C-5	C-5	C-5
	16	C-5	C-5	C-5
	18	C-5	C-5	C-5
	20	C-5	C-5	C-5
	22	C-5	C-5	C-5
	24	C-5	C-5	C-5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค.

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปั๊มแบตเตอรี่
โดยพิจารณาถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ภาคผนวก ค. : การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม โดยพิจารณาถึงอายุการใช้งานของแบลด์เดอร์.

ตารางที่ ค-1 : อายุการใช้งานของแบลด์เดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ.

Cure Law		Bladder Life											
TEMP. (°F)	Time (mins)	(Amount of Cured Tires)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SD	average
375 deg.F.	14	425	429	436	455	420	437	448	438	435	437	10.2	436
	16	485	467	491	462	455	467	487	495	462	451	15.9	472
	18	520	500	531	499	521	503	496	509	501	506	11.6	509
	20	531	499	553	522	511	524	516	511	486	520	18.0	517
	22	500	502	511	502	515	513	508	514	512	519	6.4	510
	24	465	483	501	477	485	481	463	456	469	488	13.7	475

ตารางที่ ค-2 : ลักษณะข้อบกพร่องของแบลด์เดอร์ที่บ่มตามเวลาต่าง ๆ.

Cure Law		ลักษณะข้อบกพร่องของแบลด์เดอร์
TEMP. (°F)	Time (mins)	
375 deg.F.	14	เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ในตำแหน่งที่โดนชุดหนีบจับ
	16	เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ในตำแหน่งที่โดนชุดหนีบจับ
	18	เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ในตำแหน่งที่โดนชุดหนีบจับ
	20	เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ในตำแหน่งที่โดนชุดหนีบจับ
	22	เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ในตำแหน่งที่โดนชุดหนีบจับ
	24	เนื้อยางขาดเป็นแผลเล็ก ๆ ในตำแหน่งที่โดนชุดหนีบจับ



ภาคผนวก ง.
การคำนวณหาสมบัติต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง. : การคำนวณหาสมบัติต่าง ๆ.

1. โมดูลัสที่ 400 %.

$$\text{โมดูลัสที่ 400 \% (MPa)} = \frac{F}{A}$$

โดย F คือ แรงที่ใช้ดึงจน bench mark ยืดออกเป็น 4 เท่าจากความยาวเดิม หน่วย คือ นิวตัน.

A คือ พื้นที่หน้าตัด ของชิ้นทดสอบ ที่บริเวณของ bench mark หน่วย คือ ตารางมิลลิเมตร.

$$A = \text{ความกว้าง} \times \text{ความหนา}$$

ความกว้างของชิ้นทดสอบที่บริเวณ bench mark = 5 มิลลิเมตร

จากการทดสอบได้ใช้ เครื่องทดสอบความต้านแรง ดังรูปที่ 3.4 ที่มีการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ดังนั้น รายงานผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง จะคำนวณค่าโมดูลัสที่ 400 % ให้ทันที.

2. การต้านแรงดึง.

ใช้สูตรเดียวกับการคำนวณหา โมดูลัสที่ 400 % ยกเว้น F ที่ใช้ คือ แรงที่ใช้ดึงจนชิ้นทดสอบขาด และทดสอบโดย เครื่องทดสอบความต้านแรง ดังรูปที่ 3.4 เช่นกัน.

3. ความยืดขนาด.

$$\text{ความยืดขนาด (\%)} = \frac{M - B}{B} \times 100$$

โดย M คือ ระยะ bench mark ก่อนขาด หน่วย คือ มิลลิเมตร.

B คือ ระยะ bench mark เริ่มต้น (25 มิลลิเมตร).

4. การต้านการฉีกขาด.

$$\text{การต้านการฉีกขาด (N/mm.)} = \frac{F}{G}$$

โดย F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด หน่วย คือ นิวตัน.

B คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ หน่วย คือ มิลลิเมตร.

5. ความยืดการฉีกขาด.

$$\text{ความยืดการฉีกขาด (\%)} = \frac{M - B}{B} \times 100$$

โดย M คือ ระยะที่หัวจับเคลื่อนที่ก่อนขาด หน่วย คือ มิลลิเมตร.

B คือ ระยะเริ่มต้น (80 มิลลิเมตร).

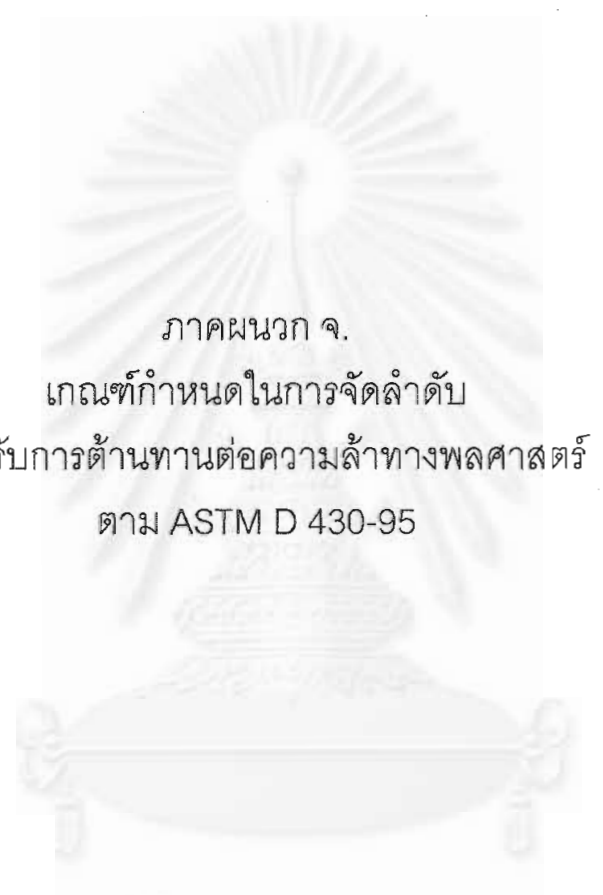
6. อัตราการเสื่อมสภาพจากการบ่มเร่งด้วยความร้อน.

$$\text{อัตราการเสื่อมสภาพ (\%)} = \frac{R_1 - R_0}{R_0} \times 100$$

โดย R_0 คือ สมบัติเริ่มต้น.

R_1 คือ สมบัติที่ทดสอบหลังจากผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อนแล้ว.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ภาคผนวก จ.
เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ
สำหรับการต้านทานต่อความล้าทางพลศาสตร์
ตาม ASTM D 430-95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ : เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับการต้านทานต่อความล้าด้าน
พลศาสตร์ตาม ASTM D 430-95.

ตารางที่ จ-1 : เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับการต้านทานต่อความล้าด้านพลศาสตร์

ลำดับ 0	ไม่รอยรอยแตกเกิดขึ้น.
ลำดับ 1	รอยแตกที่เกิดขึ้น คล้ายปลายเข็ม ที่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้ โดยรอยดังกล่าว มีจำนวนน้อยกว่า 10 รอย และมีความยาวน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร.
ลำดับ 2	การจัดว่า เป็นลำดับ 2 เกิดจาก ดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> - รอยแตกคล้ายปลายเข็ม ที่มีขนาดมากกว่า 10 รอย หรือ - จำนวนของรอยแตกน้อยกว่า 10 รอย แต่มีขนาดรอยใหญ่กว่าปลายเข็ม และรอยนั้นไม่ลึก โดยที่รอยนั้นมีความยาวไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร.
ลำดับ 3	รอยแตก มีความยาวอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร.
ลำดับ 4	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวอยู่ระหว่าง 1.0 – 1.5 มิลลิเมตร (0.06 นิ้ว).
ลำดับ 5	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวอยู่ระหว่าง 1.5 – 3.0 มิลลิเมตร (0.12 นิ้ว).
ลำดับ 6	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวอยู่ระหว่าง 3.0 – 5.0 มิลลิเมตร (0.20 นิ้ว).
ลำดับ 7	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวอยู่ระหว่าง 5.0 – 8.0 มิลลิเมตร (0.31 นิ้ว).
ลำดับ 8	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวอยู่ระหว่าง 8.0 – 12.0 มิลลิเมตร (0.47 นิ้ว).
ลำดับ 9	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวอยู่ระหว่าง 12.0 – 15.0 มิลลิเมตร (0.60 นิ้ว).
ลำดับ 10	รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวมากกว่า 15 มิลลิเมตร แสดงว่า ชิ้นทดสอบเสียหายแบบสมบูรณ์ .



ภาคผนวก ข.
เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ
สำหรับการดำเนินงานต่อไอเซน
ตาม JIS K 6301-1995

สถาบันวิทยบริการ

จุฬา

ภาคผนวก จ : เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับการต้านทานต่อโอโซน ตาม JIS K 6301-1995.

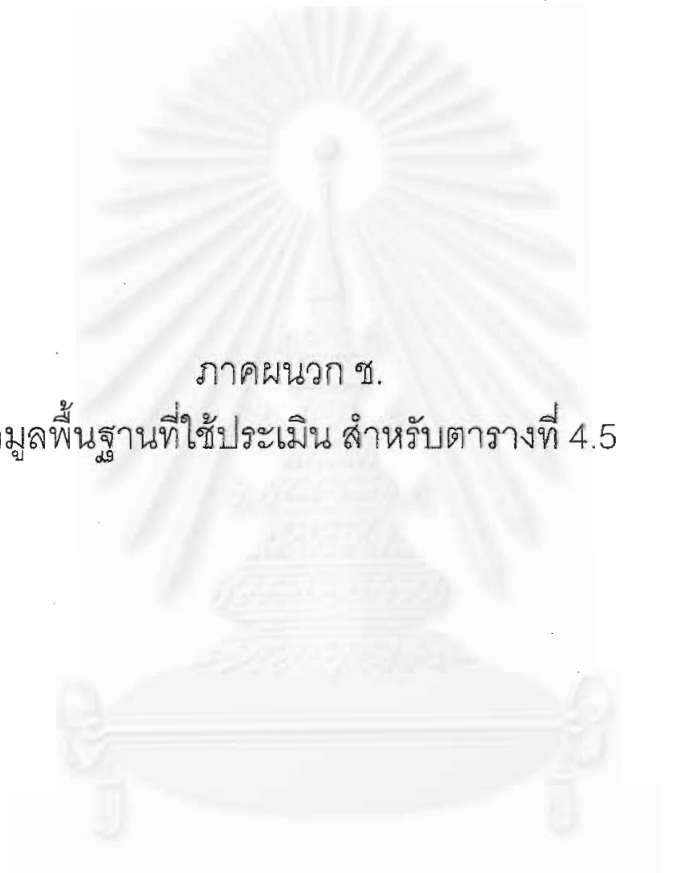
ตารางที่ จ-1 : เกณฑ์กำหนดในการจัดลำดับ สำหรับการต้านทานต่อโอโซน

จำนวนรอยแตก	ขนาดและความลึกของรอยแตก
A : รอยแตกมีน้อย	1 : ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า แต่มาสารที่ยืนยัน ได้โดยใช้แว่นขยายที่มีกำลังขยาย 10 เท่า.
B : รอยแตกมีมาก	2 : สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า.
C : รอยแตกมีมาก จนไม่สามารถนับได้	3 : ลึก และมีความยาวน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร. 4 : ลึก และมีความยาว ระหว่าง 1 – 3 มิลลิเมตร. 5 : มีขนาดมากกว่า 3 มิลลิเมตร.

หมายเหตุ

1. การบันทึกลำดับการเสื่อมสภาพโดยโอโซน ที่มีรอยแตกจำนวนน้อย และความลึกของรอยแตก สามารถเห็นได้ชัด ดังนั้น ลำดับของการเสื่อมสภาพ คือ A-4.
2. สำหรับรอยแตกที่เกิดขึ้นเฉพาะที่ขอบของชิ้นทดสอบ สามารถจัดลำดับ โดยใช้ eA-4.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ซ.
ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประเมิน สำหรับตารางที่ 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช : ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการประเมิน สำหรับตารางที่ 4.5

จากการเปรียบเทียบการปั๊มด้วยสภาวะเดิม และสภาวะที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.5 นี้ มีข้อมูลพื้นฐาน ดังนี้

1. การผลิตแบลดเดอร์ในปัจจุบัน ยังไม่ต้องการผลิตแบบเต็มกำลังการผลิตของเครื่องปั๊มแบลดเดอร์.
2. การป้อนพลังงานไอน้ำสำหรับเครื่องปั๊มแบลดเดอร์ มีการป้อนตลอดเวลา ซึ่งจะหยุดป้อนในวันหยุดเท่านั้น.
3. การผลิตยางจักรยานยนต์ พิจารณาที่ เครื่องปั๊มยางจักรยานยนต์ เพียง 1 เครื่อง เท่านั้น โดยการผลิตปกติที่ไม่มีการเสียเวลาการผลิตจากปัญหาต่าง ๆ ที่ 72 เส้นต่อกะ ซึ่งทำการผลิต 8 ชั่วโมงต่อกะ , 3 กะต่อวัน และ 351 วันต่อปี ซึ่งเป็นการผลิตปกติ.
4. อายุของแบลดเดอร์ จะพิจารณาที่จำนวนยางจักรยานยนต์ที่ผลิตได้.
5. อายุของแบลดเดอร์ สำหรับการผลิตปกติในอุตสาหกรรม คือ พิกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม.
6. การถอดเปลี่ยน แบลดเดอร์และการอุ่นแบลดเดอร์ในเครื่องปั๊มยางจักรยานยนต์ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง.



ภาคผนวก ญ.
ความหมายของคำที่ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ : ความหมายของคำที่ใช้

Accelerator	สารเคมีที่ช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา.
Activator	สารเคมีที่ใช้กระตุ้นสารเร่งการเกิดปฏิกิริยา.
Ageing	การเสื่อมสภาพ.
Banbury Mixer	เครื่องผสมยางแบบปิด โดยบานบุรี คือ ชื่อผู้ผลิต.
Bead	ลวดขอบล้อของยางรถยนต์ ที่สัมผัสกับกระทะล้อของรถยนต์.
Bench Mark	ระยะเริ่มต้น หรือ ขนาดเริ่มต้น สำหรับการทดสอบ โดยในการทดสอบนี้ มีขนาด 25 มิลลิเมตร.
Bladder	อุปกรณ์ช่วยผลิตที่ใส่ที่ตรงกลางของแบบพิมพ์ในกระบวนการบ่มยางรถยนต์.
Bladder Dope	สารละลายที่ที่แบลดเดอร์ที่ใช้ในกระบวนการบ่มยางรถยนต์ เพื่อให้แบลดเดอร์ ติดกับผลิตภัณฑ์.
Carbon Black	ผงเขม่าดำ.
Castor Oil	น้ำมันละหุ่ง.
Cross Linking	การเชื่อมโยงของพันธะทางเคมี.
Cure	การบ่มโดยความร้อน หรือ การวัลคาไนซ์.
Cured Tire	ยางรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้ว (ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป)
Die	แบบสำหรับเครื่องรีดยางที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ.
Double Bond	พันธะคู่.
Dynamic Property	สมบัติด้านพลศาสตร์.
Elongation at Break	การยืดจนขาด.
Extrude	การรีดยางผ่านแบบ.
Final Stock	ยางมาสเตอร์แบทซ์ที่นำมาผสมสารเคมีที่จะทำให้เกิด,เร่ง หรือ กระตุ้นกระบวนการบ่ม ให้ครบตามสูตร.
Flexing	การหักงอ.
Green Tire	ยางรถยนต์ที่ประกอบขึ้นส่วนต่าง ๆ เสร็จแล้ว แต่ยังไม่ผ่านกระบวนการบ่ม.
HAF Carbon Black	เขม่าดำที่มีสมบัติด้านทานต่อการสึกหรอสูง.

Hydraulic Press	เครื่องบ่มยางแบบอัด โดยใช้ไฮดรอลิกเป็นตัวทำให้เกิดการเคลื่อนที่.
Masterbatch Stock	ยางที่ผสมสารเคมีต่าง ๆ ยกเว้นสารเคมีที่จะทำให้เกิด, แรง หรือ กระตุ้นกระบวนการบ่ม.
400 % Modulus	มอดูลัสที่ 400 % หรือ มอดูลัสที่เกิดจากการยืดออก 4 เท่าของความยาวเดิม.
Mold (mould)	แบบพิมพ์.
Mooney Value	หน่วยการวัดความนิ่มแข็งของยาง.
PHR	ส่วนต่อยางร้อยละ.
Physical Property	สมบัติทางเชิงกล.
Plasticizer	สารที่เพิ่มการยืดหยุ่น และความสามารถในการนำไปใช้งาน.
Post Cured	การให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยง หลังจากการบ่มปกติ.
Processing Aid	สารที่ช่วยในการผลิต.
Slug Bladder	สต็อกยางที่มีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมยาว ที่จะนำมาผลิตเบลดเดอร์.
Stock	ยางที่ผสมกับสารเคมี ตามสูตรที่กำหนด.
Straining	การกรอง สำหรับกระบวนการขึ้นรูป โดยการรูดยางผ่านตาข่ายเหล็ก เพื่อกรองสิ่งแปลกปลอมออกจากสต็อก.
Synthetic Rubber	ยางสังเคราะห์.
Tear Strength	การต้านการฉีกขาด.
Tensile Strength	การต้านแรงดึง.
Tension Set	การคงตัวหลังจากการยืด.
Tire Building	ขั้นตอนการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ มาประกอบ.
Tire Press	เครื่องบ่มยางรถยนต์.
Two-Roll Mill	เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง.
Unsaturation	ความไม่อิ่มตัวในสายโมเลกุล.
Vulcanizing Agent	สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการบ่ม.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอััจฉริมา วังเพ็ชร เกิดวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2515 ที่กรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา เทคโนโลยีการยาง ภาควิชาเทคโนโลยีการ
ยางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต
ปัตตานี ในปีการศึกษา 2535.

เข้าทำงานที่บริษัท ยางสยามพระประแดง จำกัด ที่จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่ง
เป็นบริษัทผลิตยางรถยนต์ในกลุ่มสยามมิชลิน ในปี 2536 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัด
การส่วนประกันคุณภาพวัตถุดิบ ฝ่ายประกันคุณภาพ.

