บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง

จากการทดสอบยางผสมสูตรตัวอย่าง T458 โดยทำการผสมสารต่าง ๆ ตามสัดส่วนที่กำหนด ด้วยเครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์แล้ว นำมาทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั่น ที่อุณหภูมิ 130, 140, 150, 160, 170, 180 °C เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง ได้ข้อมูลการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง T458 ตารางที่ ก.1 รูปที่ ก.1

1. จากกราฟการทดสอบ ที่อุณหภูมิต่ำ การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 130 ° C ค่าแรงบิดค่อยๆ เพิ่มขึ้นและยังไม่ถึงจุดสูงสุดหรือจุดสมดุลจนสิ้นสุดเวลาการทดสอบ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้มีค่าต่ำเกินไป ส่วนการทดสอบที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 180 °C ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นกลับค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดการเชื่อมโยงอย่างรวดเร็ว เมื่อมาถึงจุดสูงสุดแล้วยังได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของพันธะ ทำให้ค่าแรงบิดลดลง ที่อุณหภูมิ 150-160 °C ค่าแรงบิดหลังจุดสูงสุดจะลดลงอย่างช้าๆ

การเสื่อมสลายของพันธะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการบ่มชิ้นงานไม่ควรทำที่อุณหภูมิสูงมากนัก เนื่องจากถ้ามีการบ่มเกินเวลาเพียงเล็กน้อย สมบัติของชิ้นงานก็จะเสื่อมลงจากจุดที่พอเหมาะ

การเลือกช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดสอบสูตร T458 ควรใช้ช่วงอุณหภูมิการบ่มที่ 150-160 °C เนื่องจากไม่ใช้เวลานานเกินไปและการบ่มเกินเวลาเล็กน้อยก็จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติมากนัก

2. การหาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (ค่า E)

ค่า cure หรือค่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา แปรตามอุณหภูมิทดสอบ

การทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่า cure จะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เป็นไปตามสมการพื้นฐานของอารีเนียส

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ดังแสดงในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.2 รูปที่ ก.2 กราฟความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง สามารถหาค่าความชันและนำมาคำนวนหาค่า E ได้ดังนี้คือ

จากสมการ (2.17)

$$Ln(cure) = -E/R\ (1/T) + C$$

ค่าความชัน = $-E/R = -10496$

ค่า R = 1.987 cal/mol.K

ค่า E = 20856 cal/mol

3. ค่าสมมูลของการบ่ม

กำหนดค่าอุณหภูมิอ้างอิง 150 °C

ค่า t90 จากการวัดด้วยเครื่องมือทดสอบได้ค่า 14.03 นาที

คำนวนค่า relative rate ที่อุณหภูมิอื่นๆได้จากสมการ (2.15)

$$r1/r2 = e^{(-E/R)(1/T1-1/T2)}$$

ให้ r2 = อัตราเร็วที่อุณหภูมิอ้างอิง = 1

T2 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ = 423.16 K

E (จาก 1.2) = 20856 cal/mol

สามารถคำนวนค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิอื่นๆได้ ดังแสดงข้อมูลในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.3

จากค่า relative rate นำมาคำนวนค่าเวลาที่ให้ปริมาณการบ่ม เท่ากันกับปริมาณการบ่มที่อุณหภูมิอ้างอิง ได้ดังนี้

ปริมาณการบ่ม(cure amount)= rate X time

ที่อุณหภูมิอ้างอิง = 1 X 14.03

= 14.03

T175396083

หาค่าเวลาที่ให้ปริมาณการบ่ม เท่ากันกับการบ่มที่อุณหภูมิอ้างอิง ที่อุณหภูมิอื่นๆ ได้ดังนี้

ตัวอย่างการหาค่าที่อุณหภูมิ 160 °C

$$r(160) \times t90(160) = 14.03$$

$$t90(160) = 14.03/1.77$$

$$t90(160) = 7.91 \text{ นาที}$$

$$t90 \text{ จากการวัด} = 7.90 \text{ นาที}$$

ค่า error = (ค่าจากการคำนวน-ค่าจากการวัด)/ค่าจากการคำนวน X100

= 0.17 %

ค่า relative rate ค่า t90 จากการคำนวน และค่า error แสดงดังตาราง ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.3-ก.4

จากข้อมูลดังตาราง เห็นได้ว่า ค่า t90 ที่อุณหภูมิใดๆ สามารถคำนวนได้ เมื่อทราบค่า E และค่าปริมาณการบ่มที่อุณหภูมิอ้างอิง

<u>การศึกษาผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง</u>

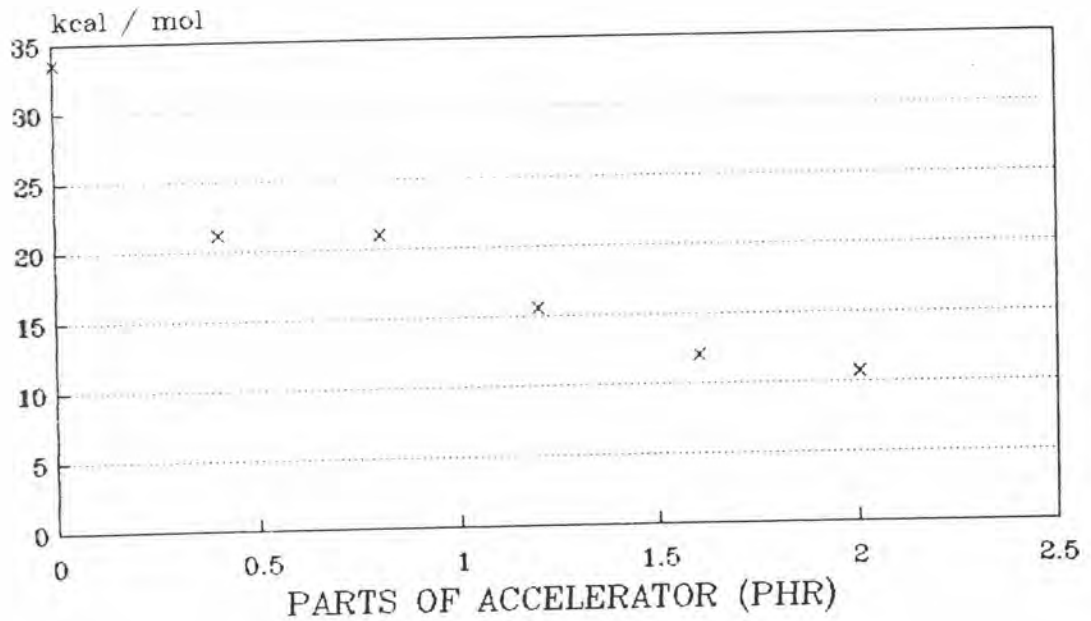
จากการทดสอบยางผสมสูตรตัวอย่าง T458-2, T458-3, T458-4, T458-5, T458-6, T458-7 โดยปรับสัดส่วนของสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์ นำมาทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั่น ที่อุณหภูมิ 150,160,170,180 ° C เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยางได้ข้อมูลการทดสอบในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.5-ก.28 รูปที่ ก.3-ก.14

1. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง มีค่าในทำนองเดียวกันกับการทดลองที่ 1 สามารถหาค่า E ของแต่ละสูตรได้ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า E ของยางสูตรทดลองในวิธีการทดลองที่ 2

PART OF ACCELERATOR	ACTIVATION ENERGY
0.00	33558.55
0.40	21145.09
0.80	20980.09
1.20	15477.34
1.60	12010.10
2.00	10711.85

2. จากข้อมูลค่า E ของสูตรต่างๆ นำมาศึกษาความสัมพันธ์กับปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาโดยการพลอตกราฟ ได้ดังรูป 4.1

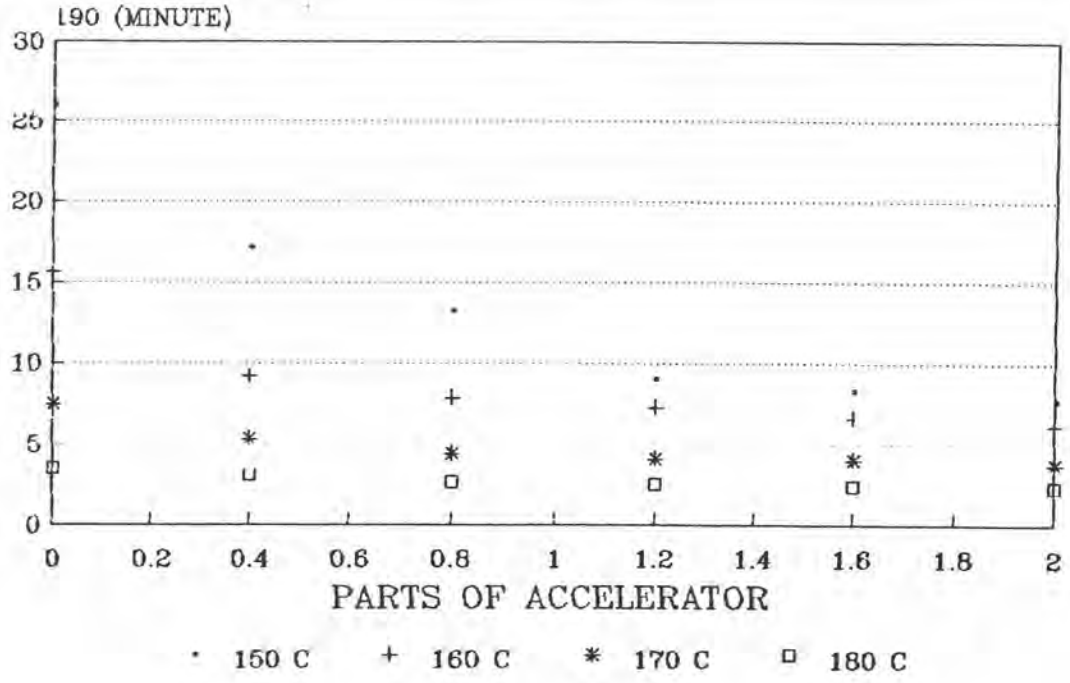


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E กับปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา

ค่า E มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา นั่นคือสารเร่งปฏิกิริยามีผลให้ค่าพลังงานกระตุ้นลดลง ทำให้เกิดการบ่มได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบค่า t90 ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่า t90 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา ดังรูป 4.2

การลดลงของค่า t90 หรือแสดงถึงการเกิดการเชื่อมโยงได้เร็วขึ้นของระบบมีผลเนื่องมาจากปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา ที่ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว

ผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาแสดงอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิต่ำ(150°C) ในขณะที่อุณหภูมิสูง(180°C) ค่า t90 ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงมากนัก

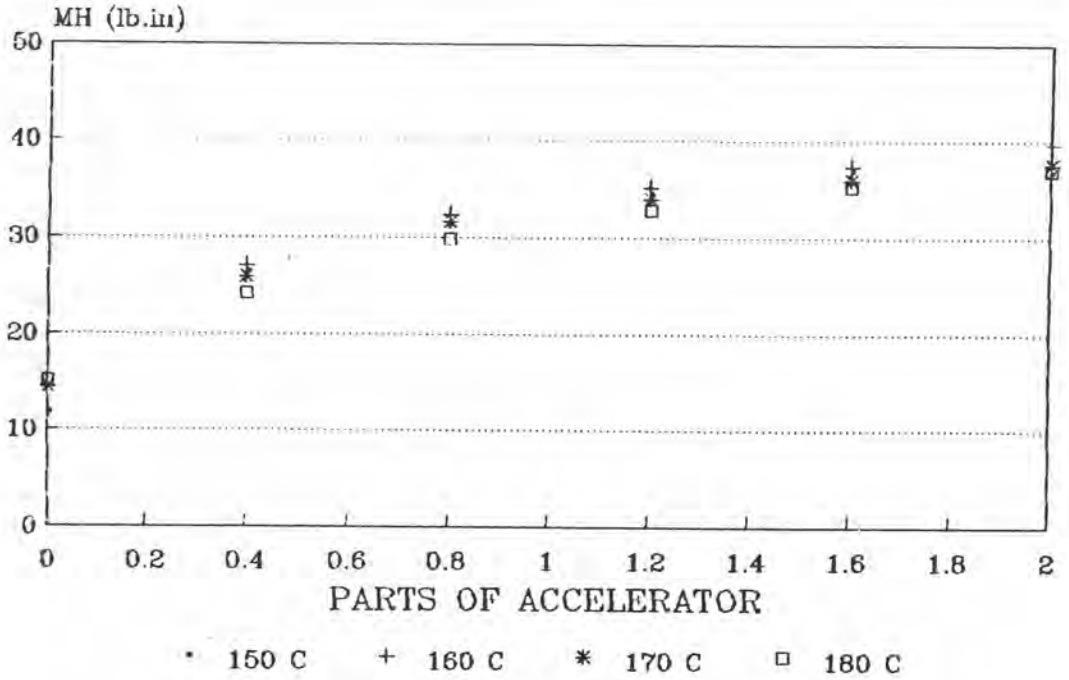


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่า t90 กับปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ

3. ผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อค่า MH

ค่า MH (shear modulus) เป็นค่าที่แสดงถึงสมบัติทางกายภาพของยาง ค่า MH ของยางสูตรเดียวกัน ที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.3 ที่ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ค่า MH มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้การเพิ่มของค่า MH มีผลมาจากการใช้ปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น สารเชื่อมโยงบางส่วนได้มาจากการแตกตัวของสารเร่งปฏิกิริยา ทำให้การเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น โครงร่างตาข่ายจากการเชื่อมโยงจึงแข็งแรงไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้ง่าย



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MH กับปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ

<u>การศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง</u>

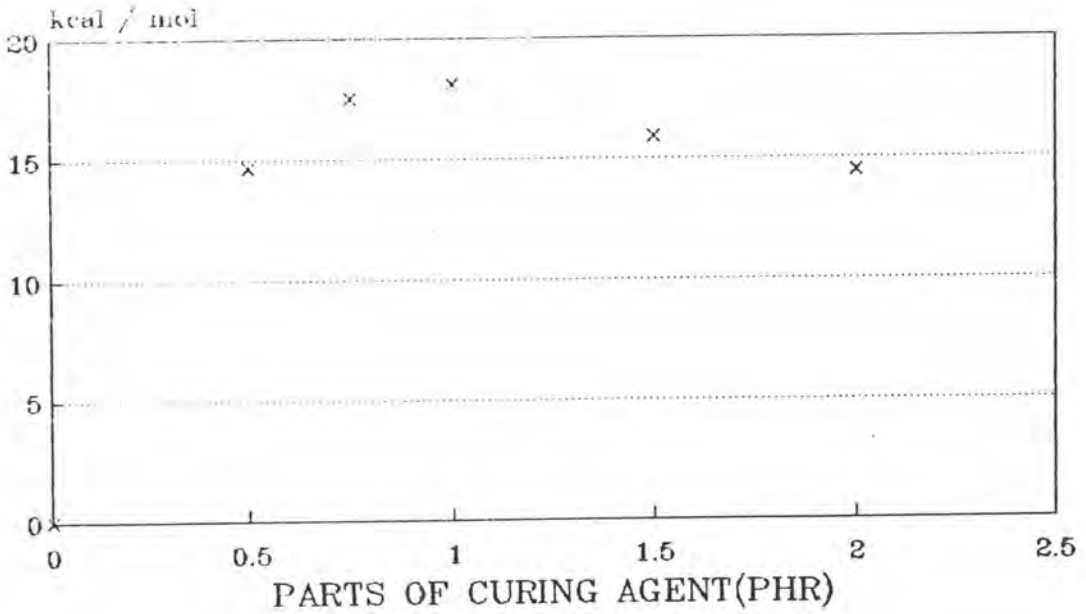
จากการทดสอบยางผสมสูตรตัวอย่าง T458-S1, T458-S2, T458-S21,T458-S3, T458-S4, T458-S5 โดยปรับสัดส่วนของสารเชื่อมโยงที่ใช้ แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์ นำมาทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั่นที่อุณหภูมิ 150,160,170,180 °C เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงและอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยางได้ดังข้อมูลในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.29-ก.48 รูปที่ ก.15-ก.25

1. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง มีค่าในทำนองเดียวกันกับการทดลองที่ 1 สามารถหาค่า E ของแต่ละสูตรได้ดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า E ของยางสูตรทดลองในวิธีการทดลองที่ 3

PART OF CURING AGENT	ACTIVATION ENERGY
0.00	0.00
0.50	14652.07
0.75	17499.77
1.00	18070.01
1.50	15884.17
2.00	14425.43

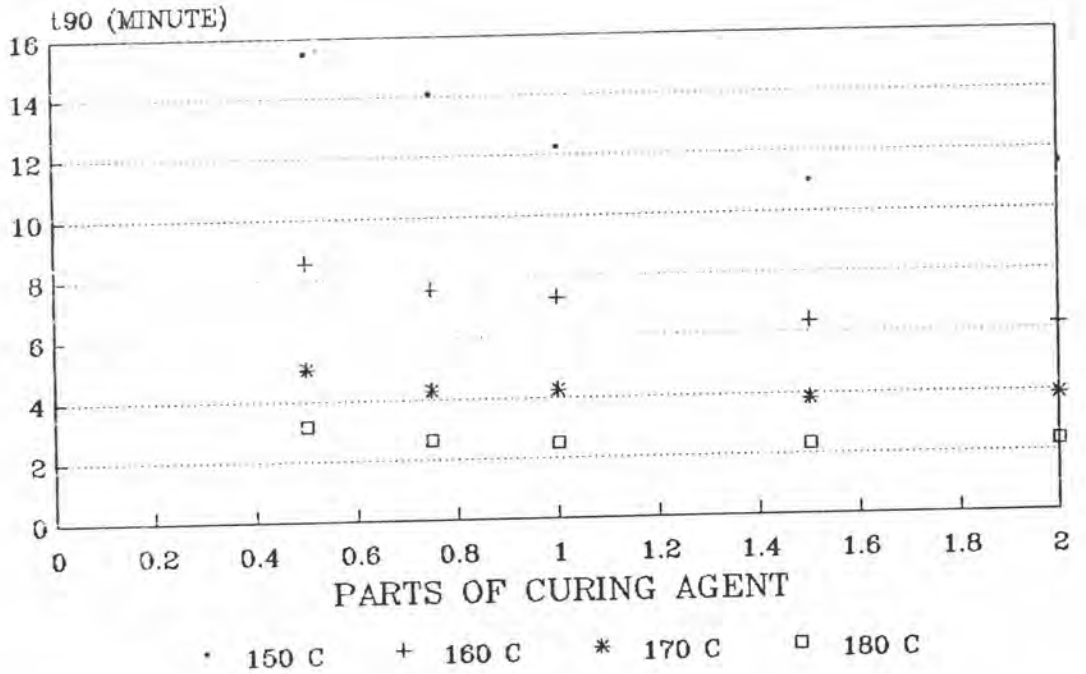
2. จากข้อมูลค่า E ของสูตรต่างๆ นำมาศึกษาความสัมพันธ์กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยการพลอตกราฟ ได้ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E กับปริมาณของสารเชื่อมโยง

ค่า E ของสูตรต่างๆ ไม่คงที่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมโยง เมื่อเปรียบเทียบค่า t90 ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่า t90 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมโยง ดังรูป 4.5

การลดลงของค่า t90 หรือหมายถึงการเกิดการเชื่อมโยงได้เร็วขึ้น มีผลเนื่องมาจากการใช้สารเชื่อมโยงมาก ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงเกิดขึ้นได้มากกว่า



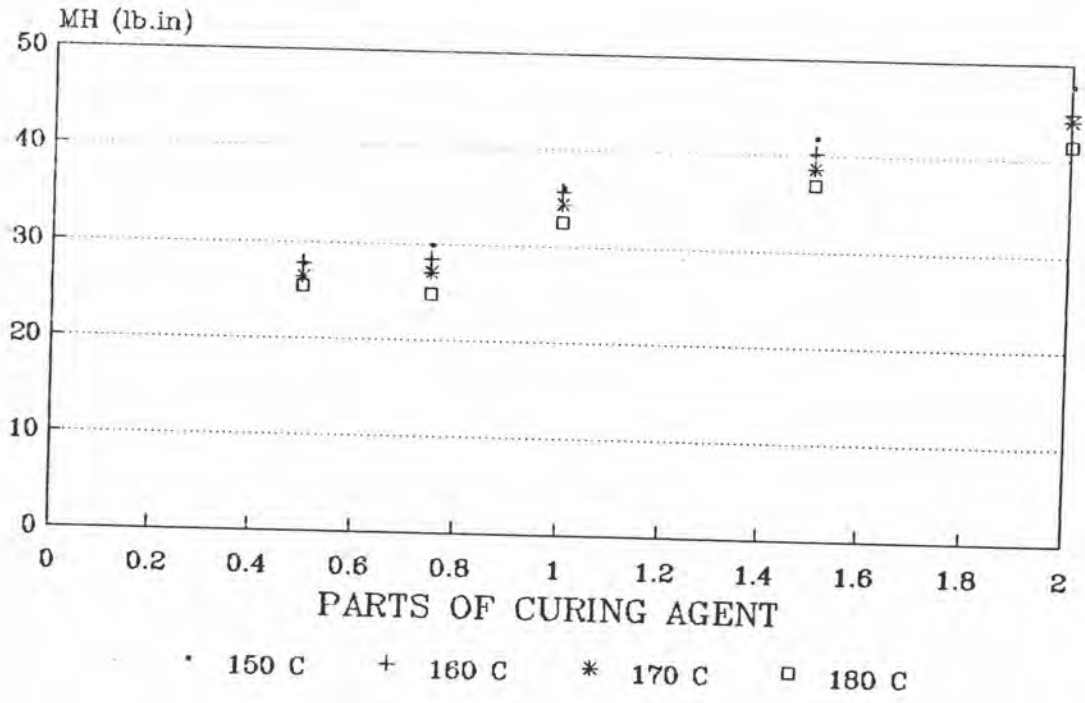
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของค่า t90 กับปริมาณสารเชื่อมโยงที่อุณหภูมิต่างๆ

3. ผลของปริมาณสารเชื่อมโยงที่มีต่อค่า MH

ค่า MH (shear modulus) เป็นค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของยาง ค่า MH ของยางสูตรเดียวกัน ที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.6 ที่ปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ค่า MH มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่า MH มีผลจากการใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงมาก ทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้มากขึ้น โครงร่างตาข่ายจากการเชื่อมโยงมีจุดเชื่อมโยงมากและมีความแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MH กับปริมาณสารเชื่อมโยงที่อุณหภูมิต่างๆ

การศึกษาผลของชนิดของยางที่ใช้ที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง

จากการทดลอง ได้ปรับชนิดของยางที่ใช้จากยางธรรมชาติเป็นยางสังเคราะห์คือ ยางสไตรีน-บิวทะไดอีน ในสูตร T458-R1, T458-R3 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.49-ก.56 รูปที่ ก.26-ก.29

1. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการบ่ม เป็นไปในทำนองเดียวกันกับ วิธีที่ 1
2. การหาค่า E สามารถคำนวนได้ดังนี้

   สูตร T458-R1 ค่า E = 16392 cal/mol

   สูตร T458-R3 ค่า E = 16987 cal/mol
3. การหาค่าสมมูลของการบ่มทำได้เช่นเดียวกับวิธีการที่ 1
4. จากกราฟการทดสอบที่อุณหภูมิสูง ยางสังเคราะห์จะมีค่า MH ค่อนข้างคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับ สูตรยางธรรมชาติซึ่งเกิดการเสื่อมสลายของพันธะเห็นได้อย่างชัดเจน แสดงว่ายางสังเคราะห์ สไตรีน-บิวทะไดอีน มีความคงทนต่อความร้อนได้ดีกว่ายางธรรมชาติ