

บทที่ 4

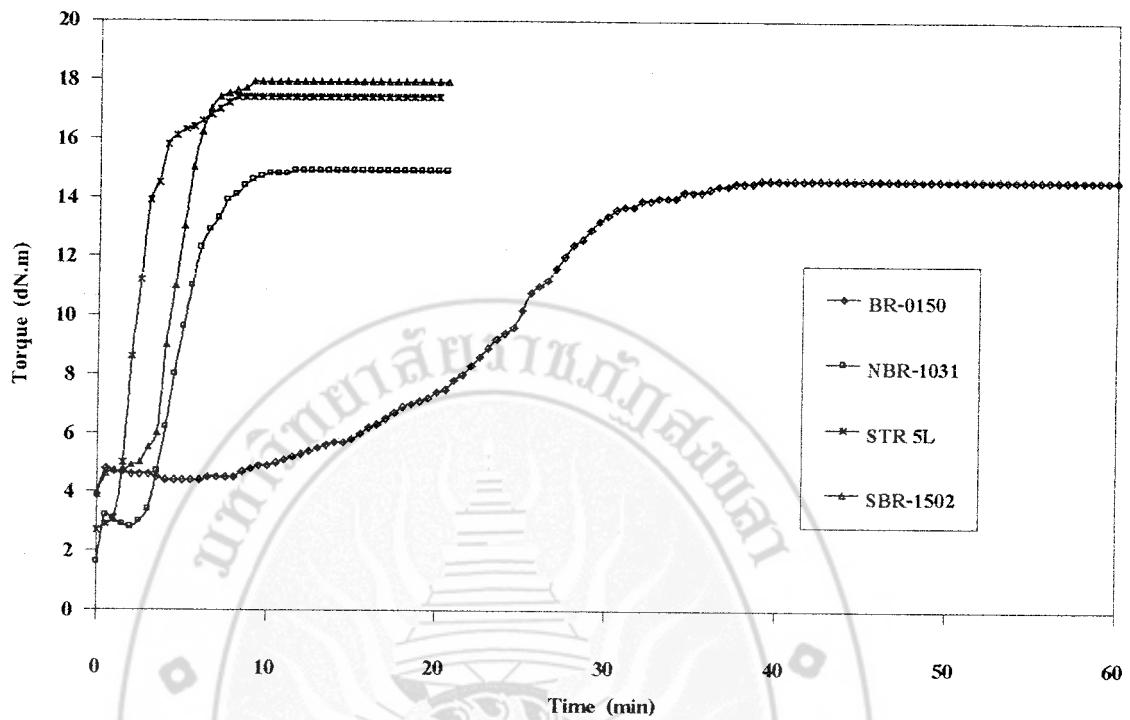
ผลและวิจารณ์ผลการทดสอบ

4.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะการวัดค่าในช่องยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ การทดสอบคุณลักษณะการวัดค่าในช่องยางสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ ยางเอสนีอาร์-1502 ยางในไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ซึ่งใช้ระบบกำมะถันปกติเปรียบเทียบ กับยางธรรมชาติ เกรดเอสที อาร์ 5 แล้ว โดยใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง ทำการทดสอบด้วยเครื่อง ODR รุ่น GOTECH GT-7070-S2 ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2084-81 ที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 ลักษณะการวัดค่าในช่อง

การทดสอบลักษณะการวัดค่าในช่องยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ โดยทั่วไป ทดสอบเป็นเวลา 40 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตามวิธีดำเนินการทดสอบในหัวข้อ 3.3.2 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.1

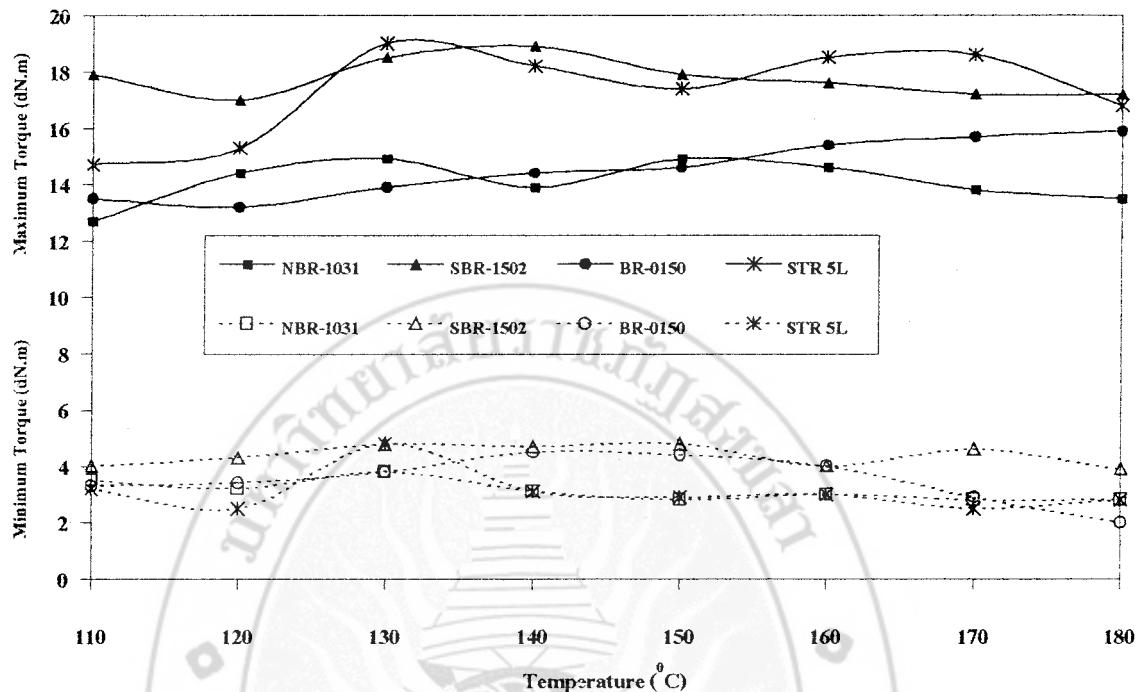
จากรูปที่ 4.1 ลักษณะการวัดค่าในช่องยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ในระบบกำมะถันปกติ ยางเอสทีอาร์ 5 แล้ว สามารถวัดค่าในช่องได้เร็วกว่ายางสังเคราะห์โดยทั่วไป (บัญชธรรม, 2530) เนื่องจากยางเอสทีอาร์ 5 แล้ว มีพื้นระบุที่ว่องไวต่อปฏิกริยา ส่วนยางเอสนีอาร์ -1502 มีพื้นระบุที่ว่องไวในปฏิกริยาแต่ว่องไวน้อยกว่าพื้นระบุในยางเอสทีอาร์ 5 แล้ว ทำให้ยางเอสนีอาร์-1502 วัดค่าในช่องช้ากว่ายางเอสทีอาร์ 5 แล้ว ส่วนยางในไตรล์-1031 ระยะเวลาในการวัดค่าในช่องช้ากว่ายางเอสที อาร์ 5 แล้ว และยางบีอาร์-1502 ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง (พรพรณ, 2540) ส่วนยางบีอาร์-0150 พื้นระบุจะไม่ว่องไว การวัดค่าในช่องช้ากว่ายางชนิดอื่นๆ



รูปที่ 4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเอสพีอาร์ 5 แมล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนโตรลีต์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

4.1.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์โดยทำการทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดสอบเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.2

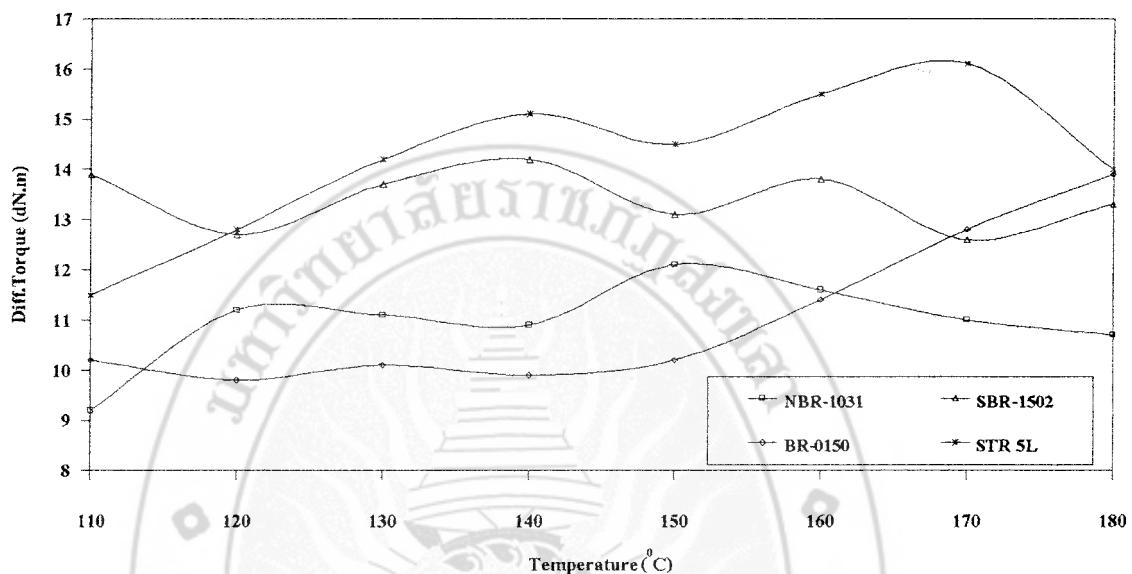


รูปที่ 4.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนโตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัดcame ในชั้ดระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล กับยางเอสบีอาร์-1502 จะมีค่าสูงใกล้เคียงกัน ส่วนยางไนโตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 จะมีค่าแรงบิดสูงสุดต่ำกว่ายางเอสที อาร์ 5 แอล และยางเอสบีอาร์-1502 เพราะยางเอสทีอาร์ 5 แอล มีโครงสร้างที่มีกึ่งก้านสาขามากกว่า ยางบีอาร์-0150 ทำให้มีความแข็งแรง และมีค่าแรงบิดสูงสุดสูงกว่า ส่วนยางเอสบีอาร์-1502 และยางไนโตรล์-1031 มีโครงสร้างที่มีกึ่งก้านสาขาน้อย กีอ ยางเอสบีอาร์-1502 มีหมู่ส์ไตรีน ซึ่งมีความแข็ง แรงทำให้ค่าแรงบิดสูงสุดสูง ส่วนยางไนโตรล์-1031 จะมีหมู่ไนโตรล์ซึ่งสามารถแตกตัวไปเป็นพันธะ ไฮโดรเจนจะมีความแข็งแรงน้อย และกำมะถันไม่ค่อยกระจายในยางไนโตรล์-1031 ทำให้ค่านมอคูลัส และความแข็งแรงต่ำ (พรพรม, 2540)

4.1.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดในรูปที่ 4.2 นำมาคำนวณจะได้ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด ได้ผลการทดลองดังรูป

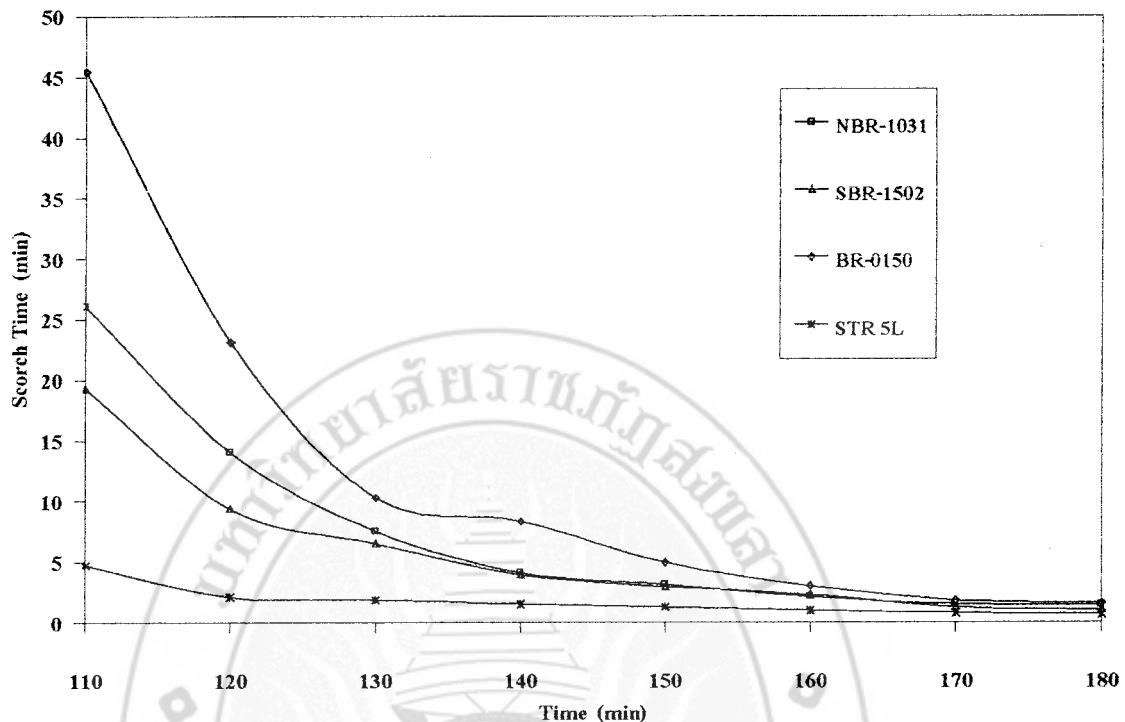


รูปที่ 4.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัดค่าในชุดวัดระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล กับยางสังเคราะห์พบว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล กับยางเอสบีอาร์-1502 มีค่าสูงสุด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาวัลภาชนะชีดีทำให้พันธะเรื่อนโยงแข็งแรงกว่ายางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150

4.1.4 ระยะเวลาที่สามารถดูประรูปได้

ระยะเวลาที่สามารถดูประรูปได้ของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ จะกิดขึ้นเร็วหรือช้า แตกต่างกันแสดงดังรูป

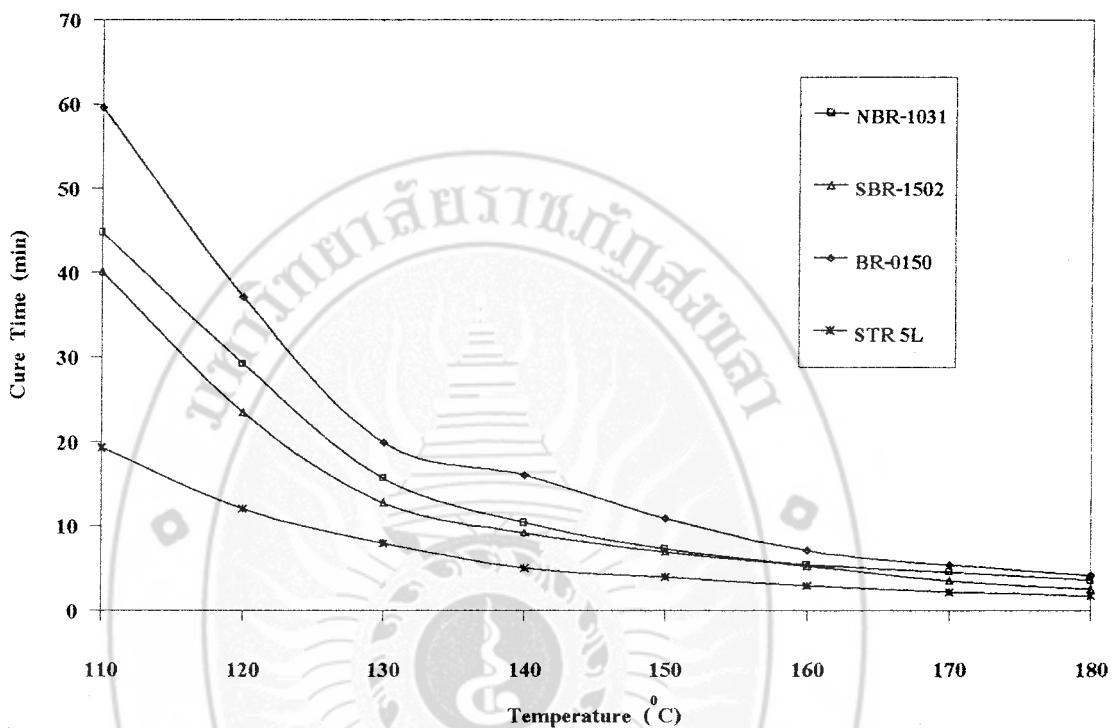


รูปที่ 4.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสนีโอาร์-1502, ยางไนโตรล์-1031 และ ยางบีโอาร์-0150 ที่วัสดุในเครื่องหุงต้มสำหรับกำมะถันปอกตี ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากราฟจะเห็นได้ว่าด้วยเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวที่สุด โดยเฉพาะที่ อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากยางบีโอาร์-0150 ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาทำให้พันธะเชื่อมโยงในยางเกิดขึ้นได้ ช้ากว่ายางชนิดอื่น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ส่วนยางอีก 3 ชนิด จะมี ความแตกต่างกันไม่นัก จากราฟยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้สั้นสุด เนื่อง จากยางเอสทีอาร์ 5 แอล มีความว่องไวต่อปฏิกิริยากว่ายางสังเคราะห์ รองลงมาคือ ยางเอสนีโอาร์-1502 และยางไนโตรล์-1031 การที่ยางเอสทีอาร์ 5 แอล ว่องไวเนื่องจากมีหมู่ Methyl (CH_3) อยู่ซึ่งเป็นหมู่ที่ ให้อิเล็กตรอน

4.1.5 ระยะเวลาในการวัลคานิซ์

ระยะเวลาในการวัลคานิซ์ของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส จะเห็นความแตกต่างดังรูป

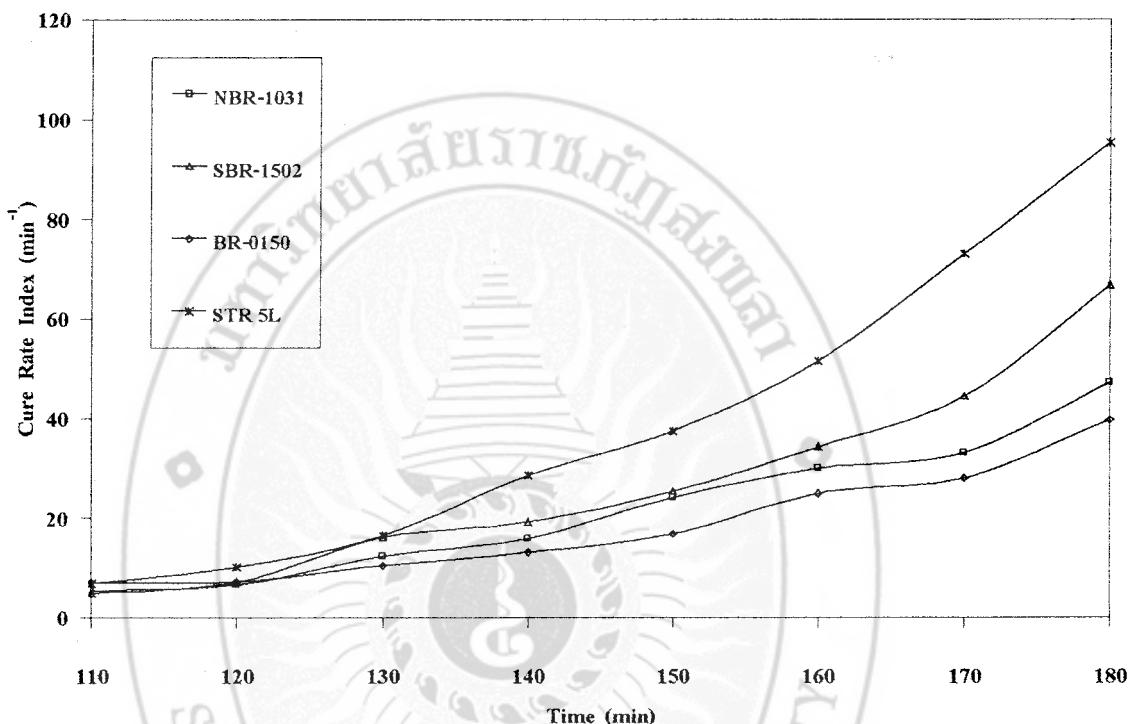


รูปที่ 4.5 ระยะเวลาในการวัลคานิซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอลด, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนโตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลคานิซ์ด้วยระบบกำมะถันปกคิ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นว่าระยะเวลาในการวัลคานิซ์ของยางธรรมชาติ กับยางสังเคราะห์ ให้ผลเช่นเดียว กับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และระยะเวลาในการวัลคานิซ์ก็จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วยเช่นกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการวัลคานิซ์ก็จะสั้นลง ยางบีอาร์-0150 มีระยะเวลาในการวัลคานิซ์ ยาว เนื่องจากยางชนิดนี้จะมีความอิ่มตัวในโมเลกุลมาก พันธะคู่ไม่ว่องไว

4.1.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์

เมื่อทดสอบการวัลภาไนซ์ของยางแล้วจะได้ค่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลภาไนซ์สามารถนำมาคำนวณค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ ซึ่งสามารถออกประสิทธิภาพในการเกิดพันธะเชื่อม โดยของยางแต่ละชนิด ได้ดังรูป



รูปที่ 4.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

จากราฟเปรียบเทียบยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์มากที่สุด รองลงมาคือ เอสบีอาร์-1502 ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ตามลำดับ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับผลิต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลภาไนซ์และระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ ถ้าหากผลิต่างนี้ค่าน้อยค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์จะน้อยมาก และค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.1.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

เมื่อนำค่าแรงบิดที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ มาคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง

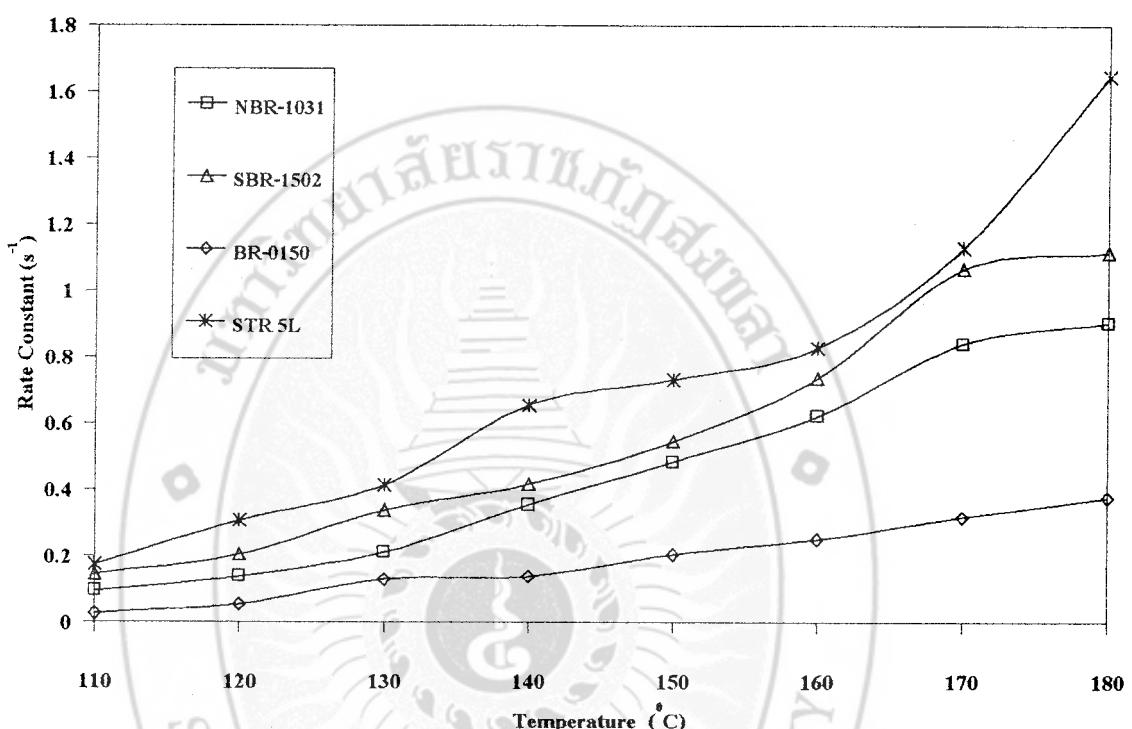
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางเอสทีอาร์ 5 แลด, ยางเอสนีโอาร์-1502, ยางไนโตรล์-1031 และยางบีโอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Rate constant (k), s ⁻¹			
	NBR-1031	SBR-1502	BR-0150	STR 5L
110	0.0933	0.1443	0.0202	0.1745
120	0.1380	0.2040	0.0536	0.3067
130	0.2106	0.3371	0.1272	0.4136
140	0.3547	0.4159	0.1316	0.6550
150	0.4837	0.5450	0.2045	0.7326
160	0.6226	0.7360	0.2511	0.8285
170	0.8408	1.0654	0.3170	1.1299
180	0.9022	1.1151	0.3755	1.6458

จากกรูปที่ 4.7 พบว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แลด จะมีค่ามากที่สุด เมื่อong จากปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นได้เร็วกว่ายางสังเคราะห์ และค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

จากโครงสร้างของยางเอสนีโอาร์-1502 จะคล้ายกับยางเอสทีอาร์ 5 แลด แต่มีพันธะคู่น้อยกว่า ดังนั้น โนเมเลกุลจึงไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (พรพรณ, 2540) การใช้งานจึงต้องใช้สารตัวเร่งในปริมาณที่มากกว่าที่ใช้ในยางเอสทีอาร์ 5 แลด แต่ในการทดลองนี้จะใช้ในสารเคมีในปริมาณที่เท่ากัน ทำให้ยางเอสนีโอาร์-1502 วัลคาไนซ์ช้ากว่ายางเอสทีอาร์ 5 แลด ดังนั้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสนีโอาร์-1502 จึงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับยางเอสทีอาร์ 5 แลด ยางบีโอาร์-0150 จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์น้อยกว่ายางชนิดอื่น และค่าจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัดค่าไนซ์จะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ของปฏิกิริยา การวัดค่าไนซ์ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และที่อุณหภูมิเดียวกันเมื่อค่าดัชนีความเร็วในการวัดค่าไนซ์มีค่านากทำให้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัดค่าไนซ์ มีค่านากขึ้นเช่นกัน



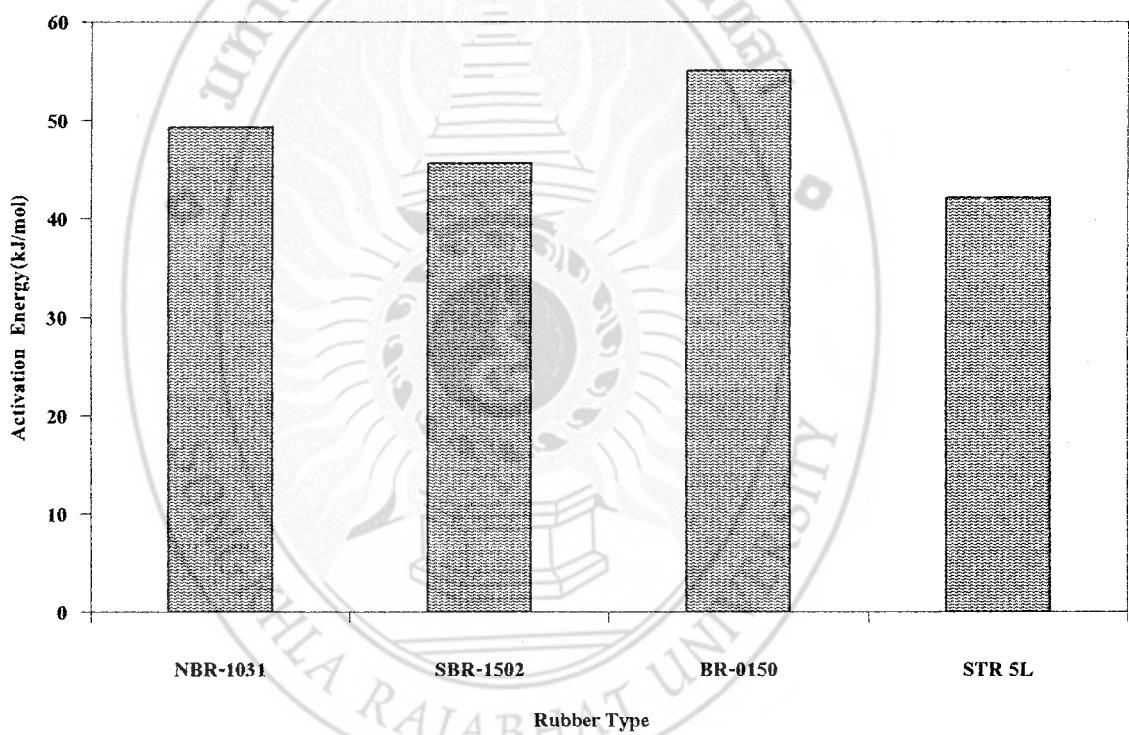
รูปที่ 4.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัดค่าไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัดค่าไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

4.1.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้น ได้จากการคำนวณความชันของกราฟ จะบ่งบอกปฏิกิริยาของยางแต่ละชนิดเทียบ กับอุณหภูมิคงตัว

ตารางที่ 4.2 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสนีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

Rubber Type	Activation energy (Ea), kJ/mol
NBR-1031	49.25
SBR-1502	45.66
BR-0150	55.07
STR 5L	42.16



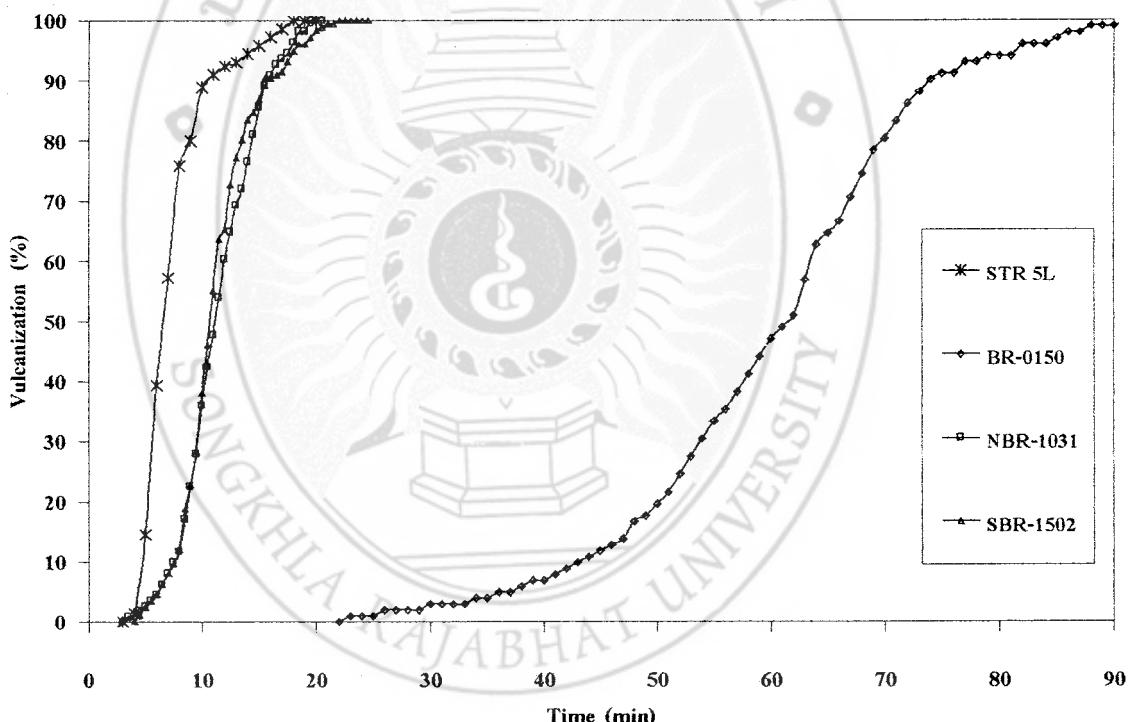
รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสนีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

จากราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานกระตุ้นของยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ พบว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล มีค่าพลังงานกระตุ้นน้อยกว่ายางเอสนีอาร์-1502 ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150

ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ายางเอสนีอาร์-1502 กับยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีค่าพลังงานกระตุ้นน้อย เนื่องจากว่ายางทั้งสองชนิดนี้จะมีพันธะคู่และไม่เลกูลที่คล้ายคลึงกัน (พรพรรณ, 2540) สามารถวัดค่าไนซ์ได้ด้วยระบบกำมะถันปกติเช่นเดียวกันส่วนยางบีอาร์-0152 และยางไนไตรล์-1031 จะมีค่าพลังงานกระตุ้นสูง การที่พลังงานกระตุ้นนี้ค่าสูงแสดงว่าปูนก็ริยาเกิดช้า แต่การเพิ่มอุณหภูมิสามารถช่วยให้อัตราของปูนก็ริยาเพิ่มเร็วได้ (กฤษณา, 2519) เมื่อพิจารณา率ปที่ 4.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปໄได้ยาวทำให้พลังงานกระตุ้นในการเกิดปูนก็ริยาสูง เนื่องจากปูนก็ริยาเกิดยากจะต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูง

4.1.9 ระดับการวัลค่าไนซ์

การเปรียบเทียบระดับการวัลค่าไนซ์ของยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ จะนำระดับการวัลค่าไนซ์ของยางแต่ละชนิดที่อุณหภูมนิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.9 ระดับการวัลค่าไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสนีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลค่าไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมนิ 150 องศาเซลเซียส

จากกราฟ พบร่างของเอกสาร 5 แสดง มีระดับการวัดค่าไนซ์เริ่วที่สุด รองลงมาคือ ย่างเอกสารบีอาร์-1502 ย่างในไตรล-1031 และย่างบีอาร์-0150 ความแตกต่างของระดับการวัดค่าไนซ์ของย่างที่เวลาและอุณหภูมิต่างกันนั้นมีผลมาจากการปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของย่าง ระบบการวัดค่าไนซ์และสารเคมีอื่นๆ ที่ผสมลงในสูตรย่าง(สาโหรและคณะ, 2541)

เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความเร็วในการวัดค่าไนซ์ในรูปที่ 4.6 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัดค่าไนซ์ในรูปที่ 4.7 ย่างเอกสาร 5 แสดง จะมีค่ามากทำให้ระดับของการวัดค่าไนซ์มากด้วยเช่นกัน

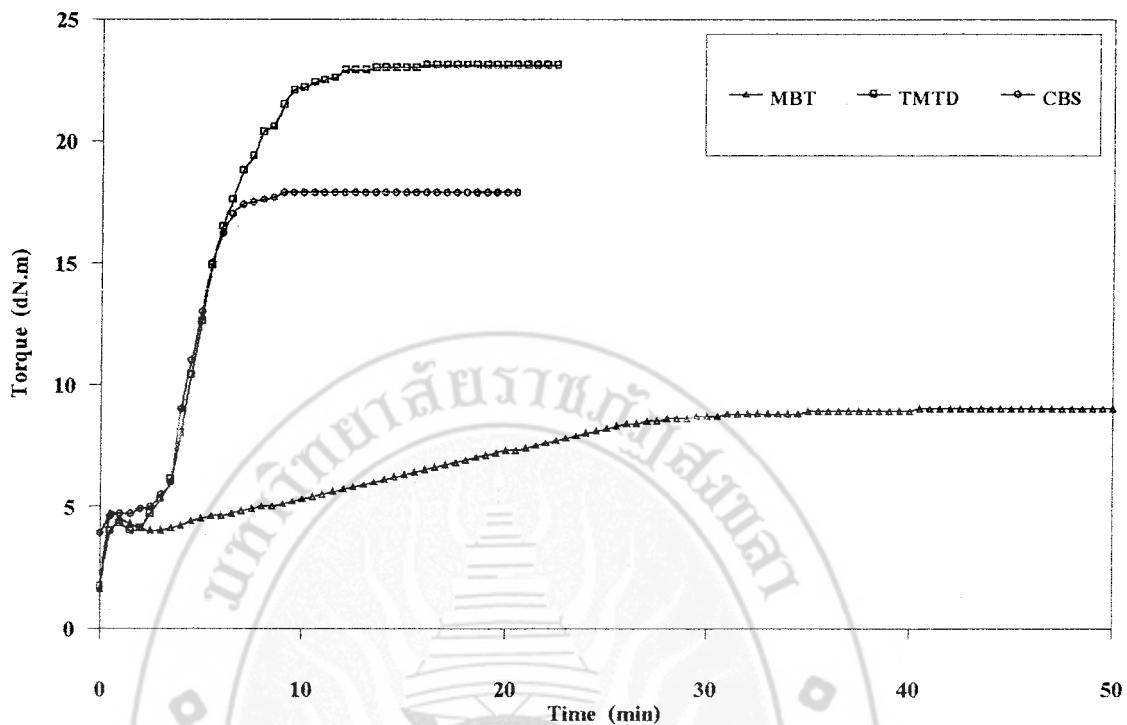
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัดค่าไนซ์ของย่างสังเคราะห์

ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัดค่าไนซ์ของย่างสังเคราะห์ 3 ชนิดคือ ย่างเอกสารบีอาร์-1502, ย่างอินบีอาร์-1031 และย่างบีอาร์-0150 ชั่งวัดค่าไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้สารตัวเร่ง 3 ชนิด คือ MBT, CBS และ TMTD ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัดค่าไนซ์ของย่างเอกสารบีอาร์-1502

4.2.1.1 ลักษณะการวัดค่าไนซ์

การวัดค่าไนซ์ย่างเอกสารบีอาร์-1502 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทดสอบค่าแรงบิดเป็นเวลา 50 นาทีโดยใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.10 ลักษณะการวัลค้านิช ของยางເອສນີອາຣ໌ທີ່ວັລຄາໄນ້ຈົວຍະບັນກຳນະດັນປົກຕິໂດຍໃຊ້ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่ອຸພນກູມ 150 ອັງສາແຫລເຊີຍສ

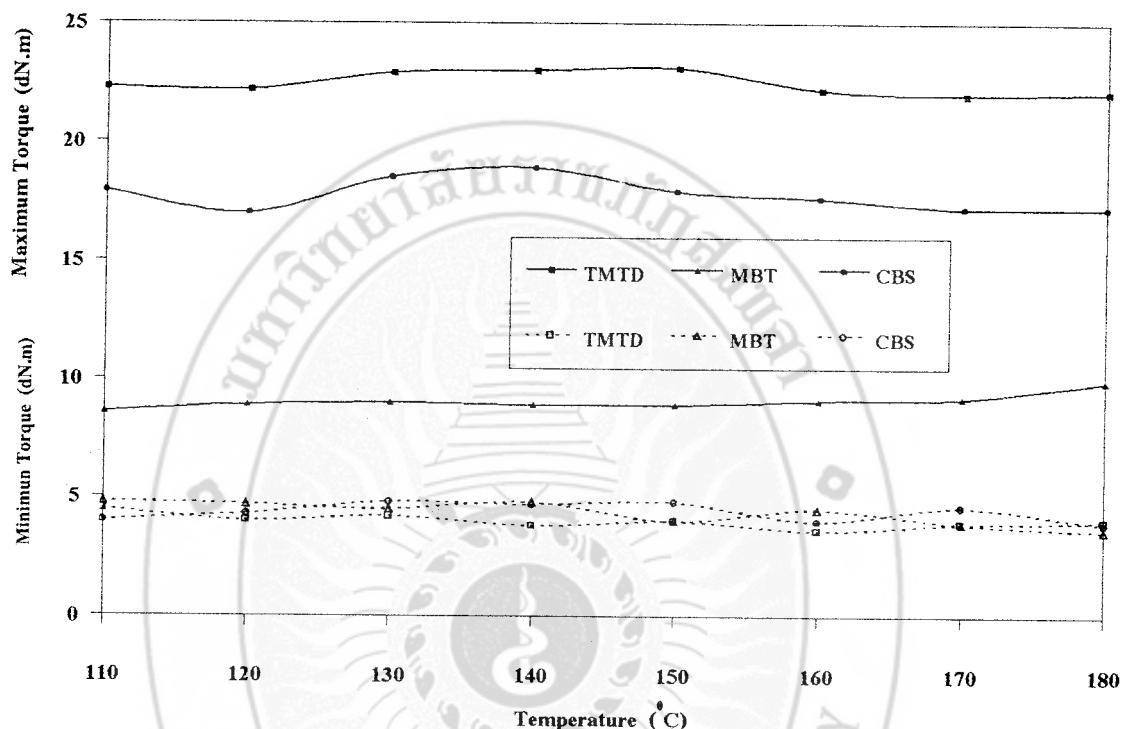
จากกราฟยางເອສນີອາຣ໌ທີ່ໃຊ້ MBT เป็นสารตัวเร่ง ຈະວັລຄາໄນ້ຈົກວ່າສາරົຕັວເຮັງອື່ນ ຈຶ່ງປົກຕິສາරົຕັວເຮັງໜີ້ຈຳເປັນຕົ້ນອາຄີວລາແລະອຸພນກູມໃນການກຳປົກກົດໄດ້ເວົ້ວວ່າການໃຊ້ MBT ເນື່ອຈາກ

ສ່ວນການໃຊ້ CBS ໃນยางເອສນີອາຣ໌ຈະທຳໄໝການວັລຄາໄນ້ເກີດໄດ້ເວົ້ວວ່າການໃຊ້ MBT ເນື່ອຈາກ CBS ມີເບີສອງໆ ຈຶ່ງເປັນສະເປົ້ນຕົວກະຕຸ້ນໃຫ້ສາරົຕັວເຮັງກຳປົກກົດໄດ້ເວົ້ວໜີ້

ການໃຊ້ TMTD ໃນยาง ເອສນີອາຣ໌ຈຶ່ງສາරົຕັວເຮັງໜີ້ຈະທຳໄໝເກີດການວັລຄາໄນ້ໄດ້ເວົ້ວ ທັງອຸພນກູມສູງແລະອຸພນກູມຕໍ່າ ເນື່ອຈາກ TMTD ຈະແຕກຕົວໃຫ້ກຳນະດັນອອກນາໄນຂະນະກຳປົກກົດຈະໜ່ວຍໃຫ້ການວັລຄາໄນ້ດຳແນນໄປໄປໄດ້ຢ່າງຮວດເຮົວແລະມີປະສິທິກາພ ແລະຍັງທຳໄໝກໍາຕ່າແຮງປົດສູງພຽງກຳນະດັນຈະເຊື່ອມໂຍງໂນເລຸກຂອງຍາກ ທຳໄໝຍາກນີ້ກວາມເຂົ້າໜີ້ (ພຣພຣມ, 2528)

4.2.1.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.11

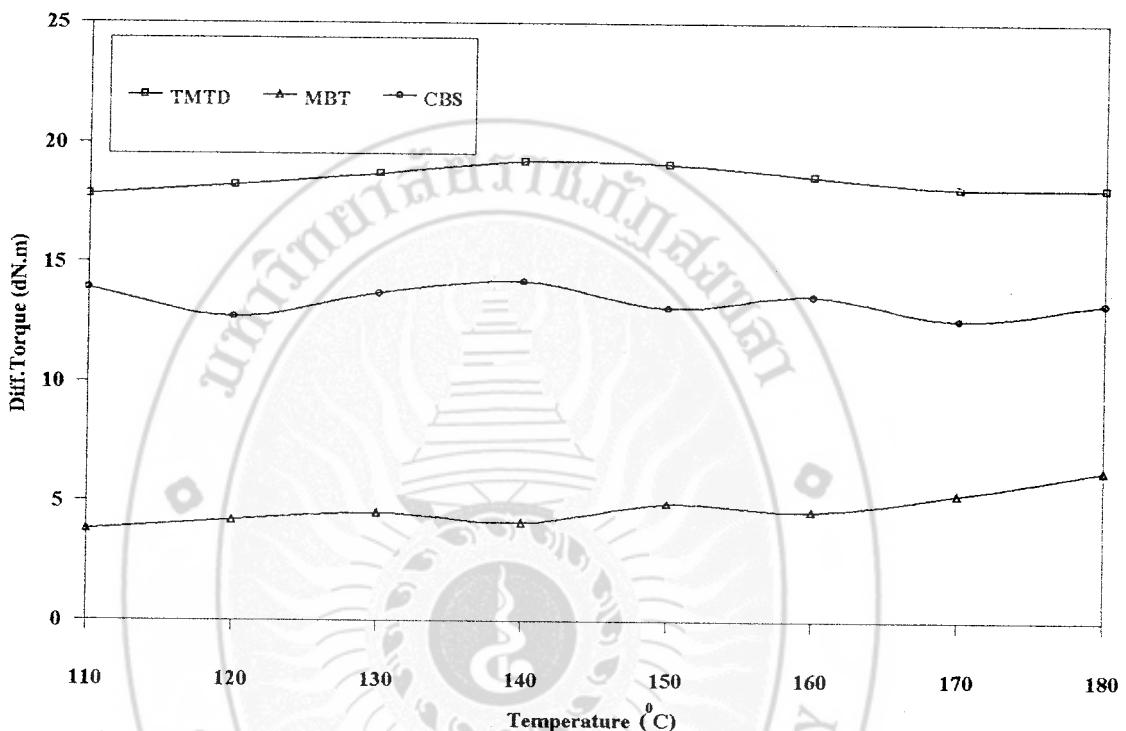


รูปที่ 4.11 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเส้นวีอาร์ที่วัดภายในชุดระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูป พบว่าค่าแรงบิดสูงสุดของยางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่ง มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ CBS และ MBT เนื่องจาก TMTD จะแตกตัวให้กำมะถันออกนำไปปฏิกริยา และยังทำให้ค่าแรงบิดสูง เพราะกำมะถันจะซึมน้ำโดยไม่เกิดข้อต่อข้อต่อ ทำให้ยางมีความแข็งขึ้น (พรพรรณ, 2528) ส่วน MBT มีค่าแรงบิดต่ำสุด ต่ำกว่าสารตัวเร่งชนิดอื่นเนื่องมาจาก MBT เป็นสารตัวเร่งที่ช่วยให้ยางนิ่มในการทดสอบ (พรพรรณ, 2528) ทำให้มีค่าต่ำ

4.2.1.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด ในรูปที่ 4.11 นำมาคำนวณจะได้ผลระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12

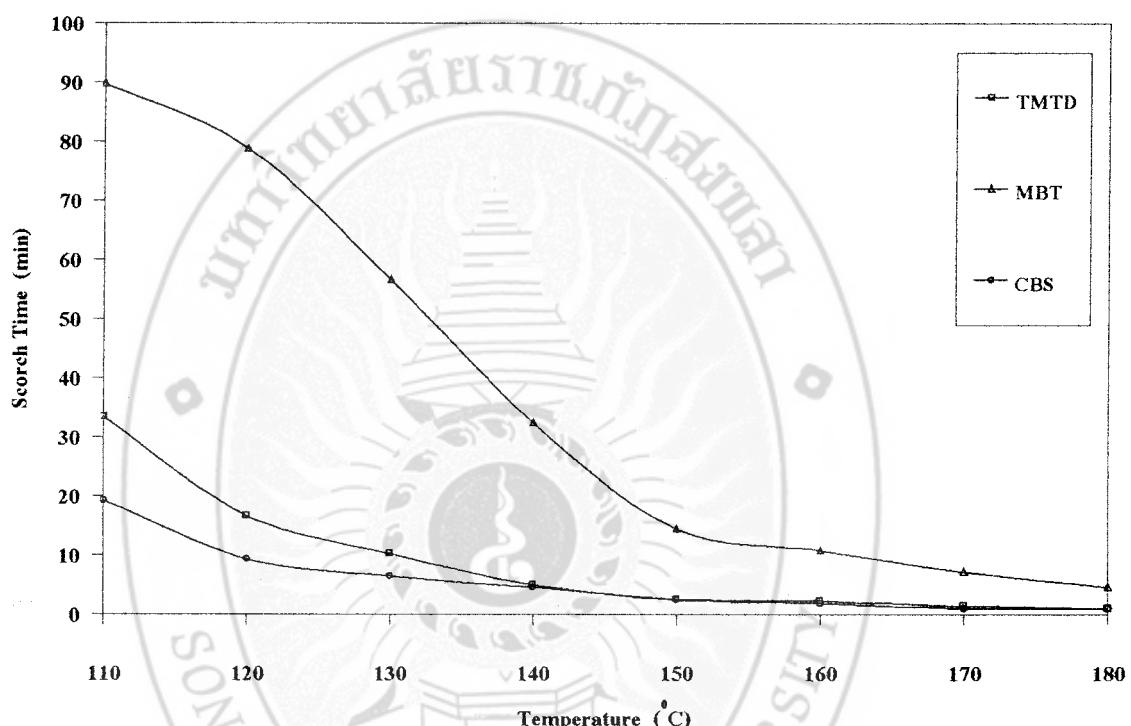


รูปที่ 4.12 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด ของยางเสบียาร์ทีวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากกราฟที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า TMTD จะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ CBS และ MBT ตามลำดับ ซึ่งผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดจะบ่งบอกถึงพันธะเชื่อมโยงของยาง ถ้าผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด มีค่าน้อย แสดงว่ามีพันธะเชื่อมโยงสูง ซึ่งความแข็งแรงของพันธะเกิดจากกำมะถันที่มีอยู่ใน TMTD

4.2.1.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

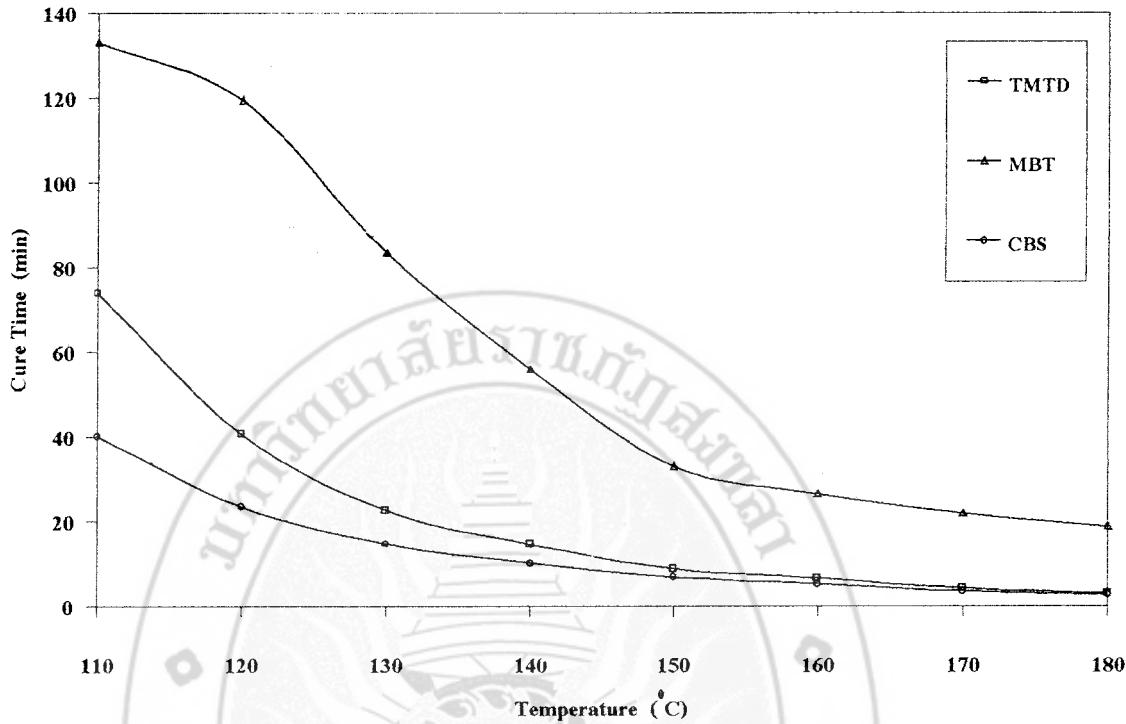
จากรูปที่ 4.13 ลักษณะการพิมพ์ที่ใช้ CBS และ TMTD มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้เร็ว ส่วน MBT มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ในช่วงอุณหภูมิ 110-140 องศาเซลเซียส ชา้ ลักษณะการพิมพ์ความชันมาก แต่ในช่วงอุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียสระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้นิ่ง กันทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 4.13 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางเอสบีอาร์ที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

4.2.1.5 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์

การทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ของยางเอสบีอาร์ที่ใช้สารตัวเร่ง ชนิดต่างๆ ได้ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ ดังรูปที่ 4.14



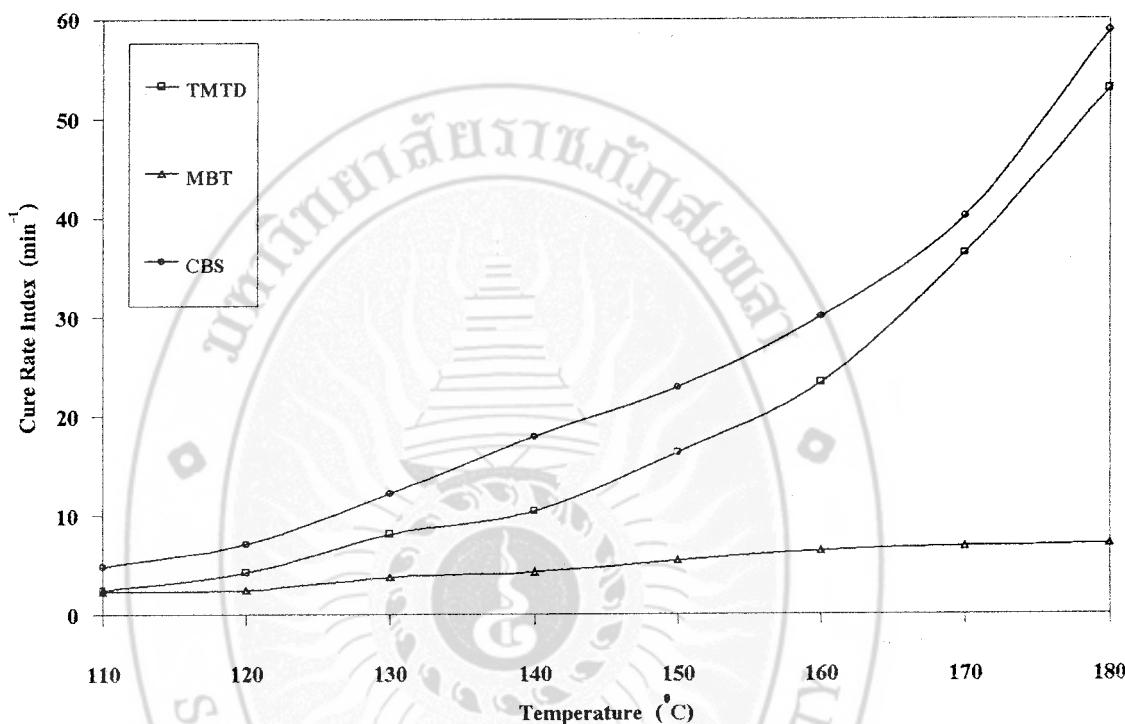
รูปที่ 4.14 ระยะเวลาในการวัลภาในช่องย่างอสบีอาร์ที่วัลภาในช่องด้วยระบบกำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่า yang ที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งมีระยะเวลาในการวัลภาในช่องเร็วที่สุด รองลงมาคือ TMTD และ MBT ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบสารตัวเร่งกัน ไฮอาโซลและไฮซูแรมแล้วจะพบว่าจะต้องใช้ไฮอาโซลในปริมาณที่มากกว่า รวมทั้งอุณหภูมิในการวัลภาในช่องสูงกว่าด้วย (พรพรรณ, 2528) นั่นคือ TMTD มีระยะเวลาในการวัลภาในช่องสั้นกว่า MBT

4.2.1.4 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์

เมื่อทดสอบการวัลภาไนซ์ของยางแล้วจะได้ค่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลภาไนซ์สามารถนำมาคำนวณค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ ซึ่งสามารถออกแบบสิทธิภาพในพันธะชื่อมโยงของยางแต่ละชนิดได้ดังรูป



รูปที่ 4.15 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางอ่อนนิ่วที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางที่ใช้ CBS น้อยที่สุด รองลงมาคือ TMTD และ MBT การที่ใช้ MBT แล้วมีค่าเร็วที่สุดนั้นมีความสัมพันธ์กับรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 คือ ถ้าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และระยะเวลาในการวัลภาไนซ์น้ำค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ก็จะน้อยลงด้วย

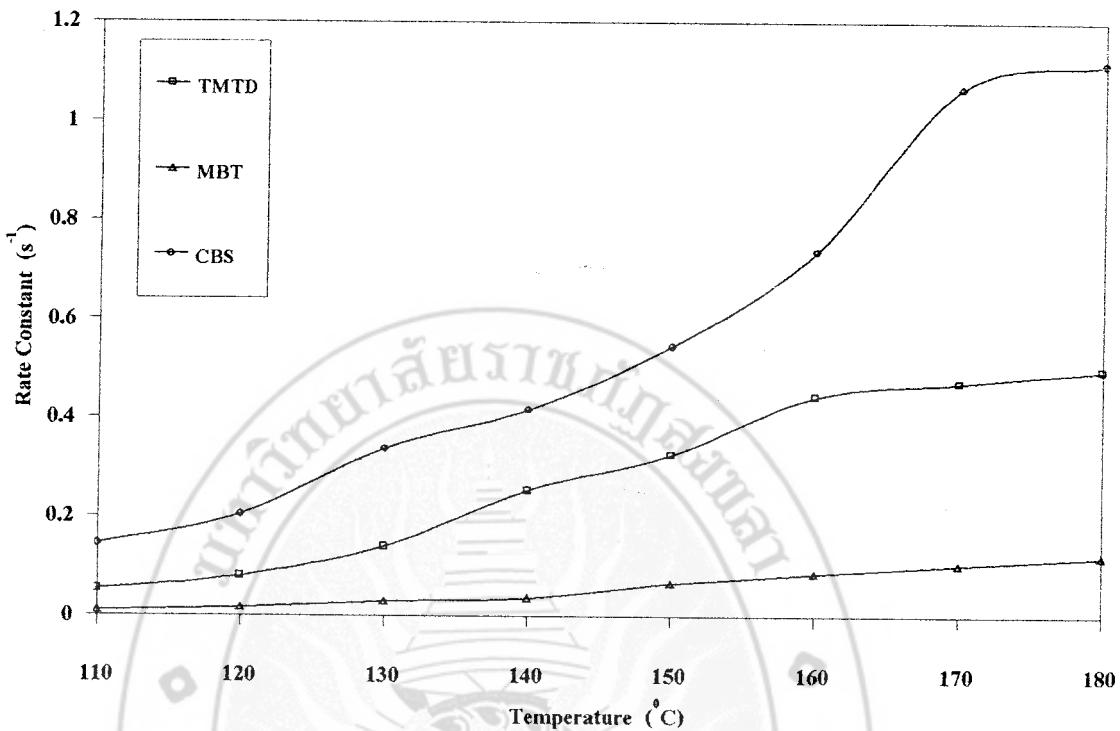
4.2.1.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ ของยางเอสบีอาร์-1502 ที่วัลภาไนซ์คัวระบบ
กำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่ อุณหภูมิ
110 - 180 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Rate Constant (k), s ⁻¹		
	TMTD	MBT	CBS
110	0.0521	0.0094	0.1443
120	0.0789	0.0155	0.2040
130	0.1392	0.0283	0.3371
140	0.2528	0.0358	0.4159
150	0.3237	0.0658	0.5450
160	0.4425	0.0850	0.7360
170	0.4714	0.1027	1.0654
180	0.4961	0.1190	1.1151

จากรูปที่ 4.16 ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ ในระบบกำมะถันปกติพบว่า ที่ อุณหภูมิสูงขึ้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากรูป จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการทดสอบต่ำ ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส) ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าอุณหภูมนี้ผลต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์

จากรูปที่ 4.15 ดังนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางที่ใช้ CBS จะมีค่ามาก ดังนั้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะมีค่ามากด้วยเช่นกัน และยางที่ใช้ MBT จะมีค่าทั้งสองน้อย



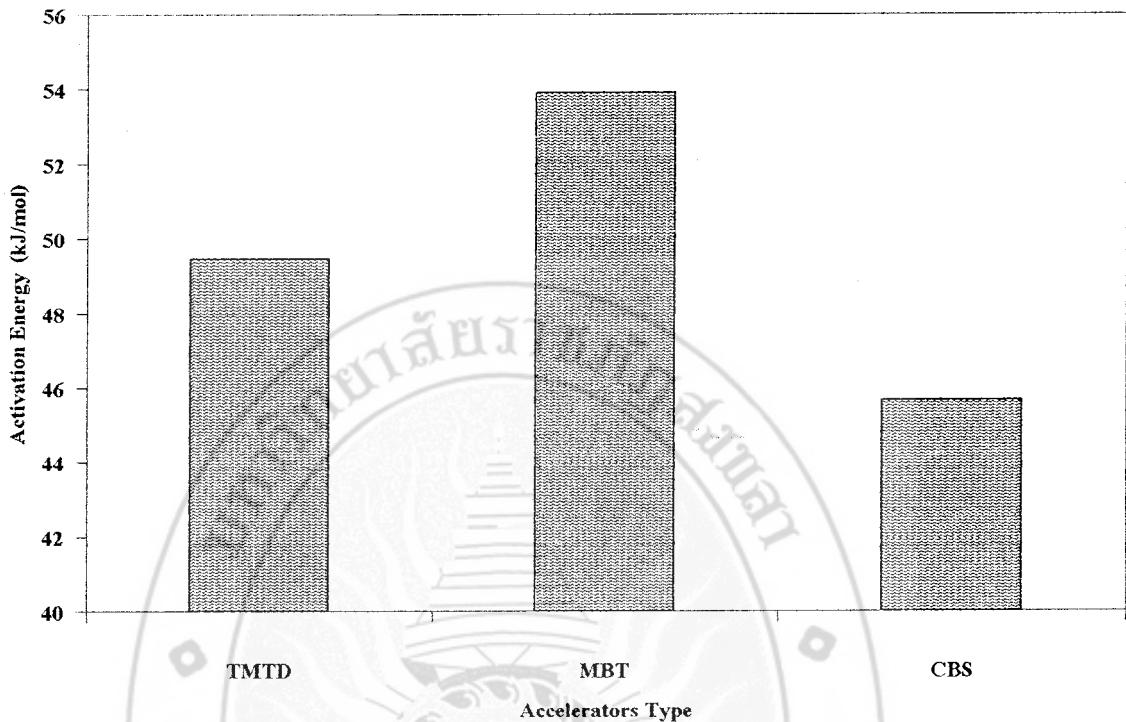
รูปที่ 4.16 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

4.2.1.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้น ได้จากการคำนวณความชันของกราฟ จะบ่งบอกปฏิกิริยาของยางแต่ละชนิด เทียบกับอุณหภูมิคงตาราง

ตารางที่ 4.4 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสบีอาร์-1502 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 100-180 องศาเซลเซียส

Accelerator Type	Activation energy (Ea), kJ/mol
TMTD	49.44
MBT	53.89
CBS	45.66

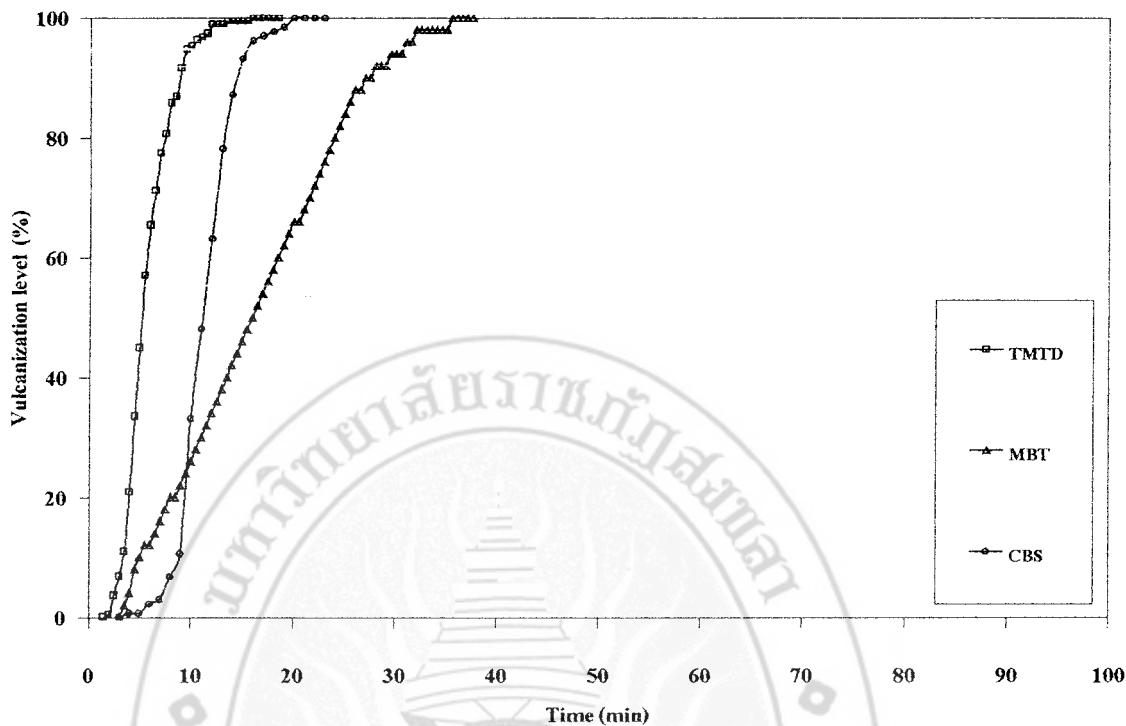


รูปที่ 4.17 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์คัวระบบที่มีความถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวร่วง ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.17 พลังงานกระตุ้นของยางที่ใช้ CBS จะมีค่าต่ำสุด แสดงว่าปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดได้เร็ว นั่นคือ ระยะเวลาในการแปรรูปจะสั้น ส่วน MBT จะมีพลังงานกระตุ้นสูงสุด นั่นคือปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า (โภณ, 2543)

4.2.1.9 ระดับการวัลคาไนซ์

การเปรียบเทียบระดับการวัลคาไนซ์ของยางอสบีอาร์ จะนำระดับการวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวร่วงชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



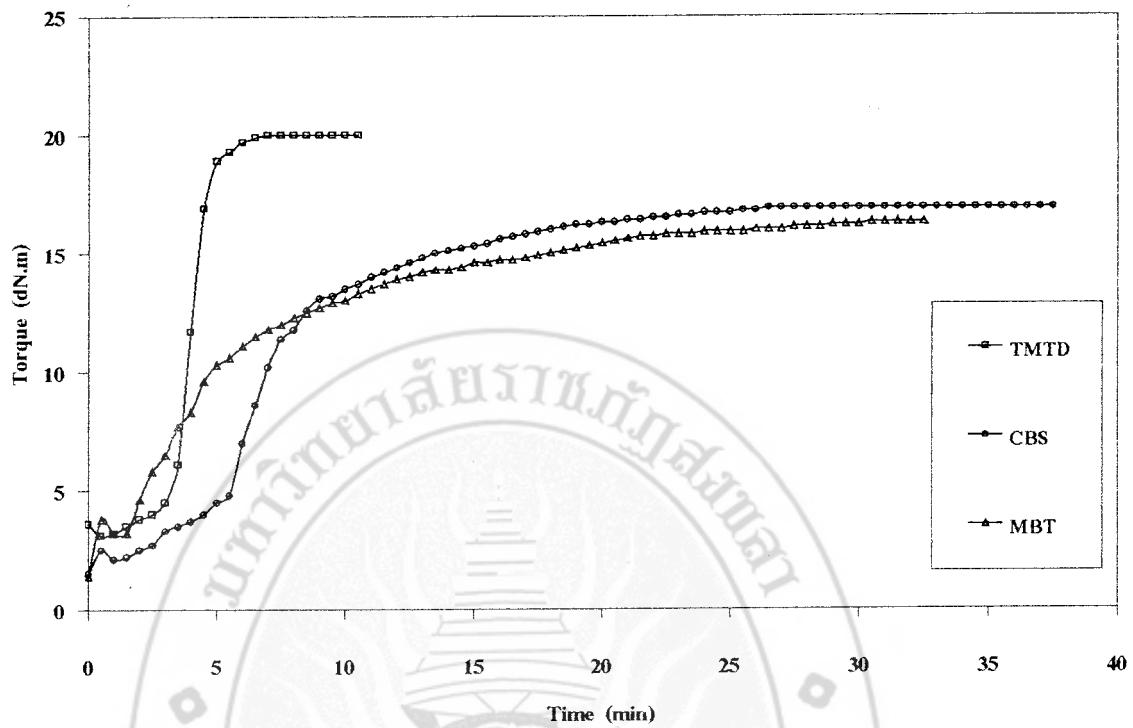
รูปที่ 4.18 ระดับการวัลค่าไนซ์ของยางเอสบีอาร์ที่วัลค่าไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่ายาง เอสบีอาร์ ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่ง จะเริ่มเกิดการวัลค่าไนซ์ช้า แต่การวัลค่าไนซ์ที่ระดับ 100 % จะเกิดขึ้นได้เร็ว ส่วน MBT จะเริ่มเกิดการวัลค่าไนซ์เร็ว แต่การวัลค่าไนซ์ที่ระดับ 100 % จะเกิดขึ้นได้ช้า และ CBS จะเริ่มเกิดการวัลค่าไนซ์และ การวัลค่าไนซ์ที่ระดับ 100 % จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการใช้ MBT และ TMTD เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าดรรชนีการวัลค่าไนซ์และค่าคงที่ปฏิกิริยาของยางที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีค่ามากที่สุด จึงทำให้ระดับการวัลค่าไนซ์มีค่ามากดังจะเห็นจากความชันของกราฟ

4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลค่าไนซ์ของยางในไตรล์-1031

4.2.2.1 ลักษณะการวัลค่าไนซ์

การทดสอบค่าแรงบิดของยางในไตรล์-1031 ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังรูป



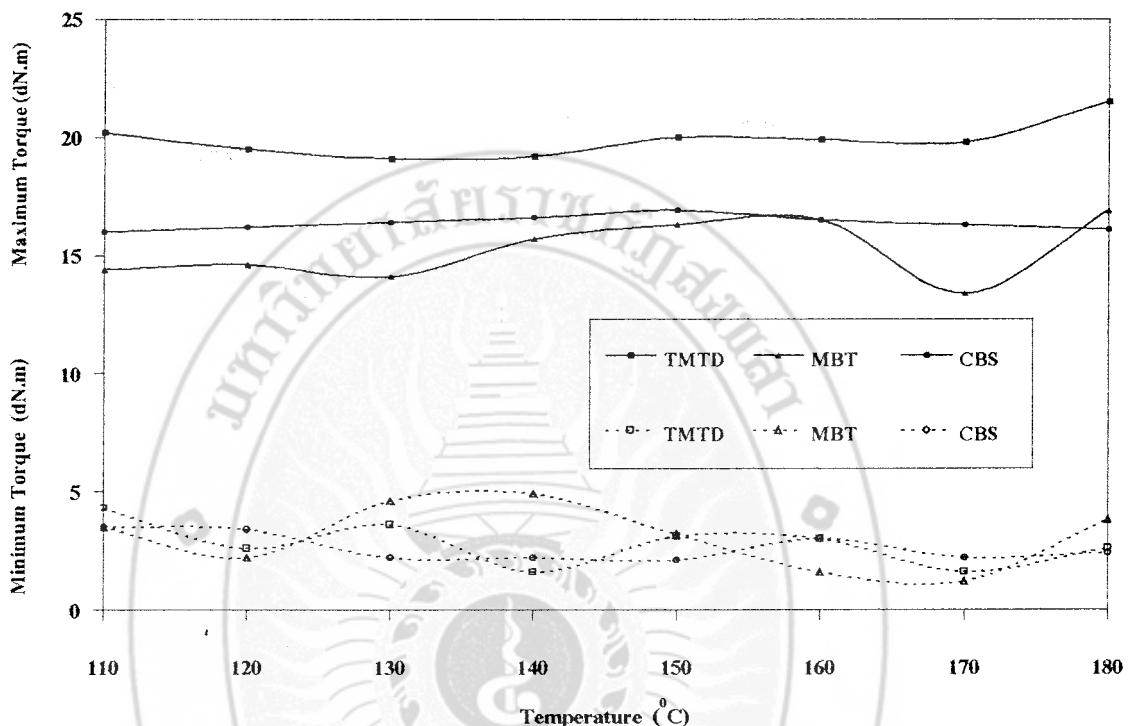
รูปที่ 4.19 ลักษณะการวัลคайнซ์ของยางในไครล์ ที่วัลคайнซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.19 ยางในไครล์ จะมีพันธะคู่สามารถวัลคайнซ์ได้ในระบบกำมะถันปกติ ยางที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง จะมีลักษณะการวัลคайнซ์ที่ก่อนข้างช้ากว่าสารตัวเร่งอื่น เนื่องจาก MBT จำเป็นต้องใช้เวลานานและต้องอาศัยความร้อนเพื่อเร่งให้เกิดการวัลคайнซ์ และกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบ flat cure สำหรับยาง ในไครล์ ที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีลักษณะการวัลคайнซ์ที่คล้ายกับ MBT คือ จะใช้เวลาในการวัลคайнซ์นาน และมีค่าแรงบิดที่ใกล้เคียงกัน กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบ flat cure การใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะทำให้เกิดการวัลคайнซ์เร็ว เนื่องจาก TMTD สามารถที่จะแตกตัวให้กำมะถัน ดังนั้นจึงช่วยเร่งให้การวัลคайнซ์เกิดได้เร็วขึ้น และให้ค่าแรงบิดที่สูงกว่าสารตัวเร่งชนิดอื่น จากรูปเห็นได้ว่า TMTD จะทำให้การเริ่มต้นวัลคайнซ์ช้า (delayed action) แต่เวลาในการวัลคайнซ์สั้น

4.2.2.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

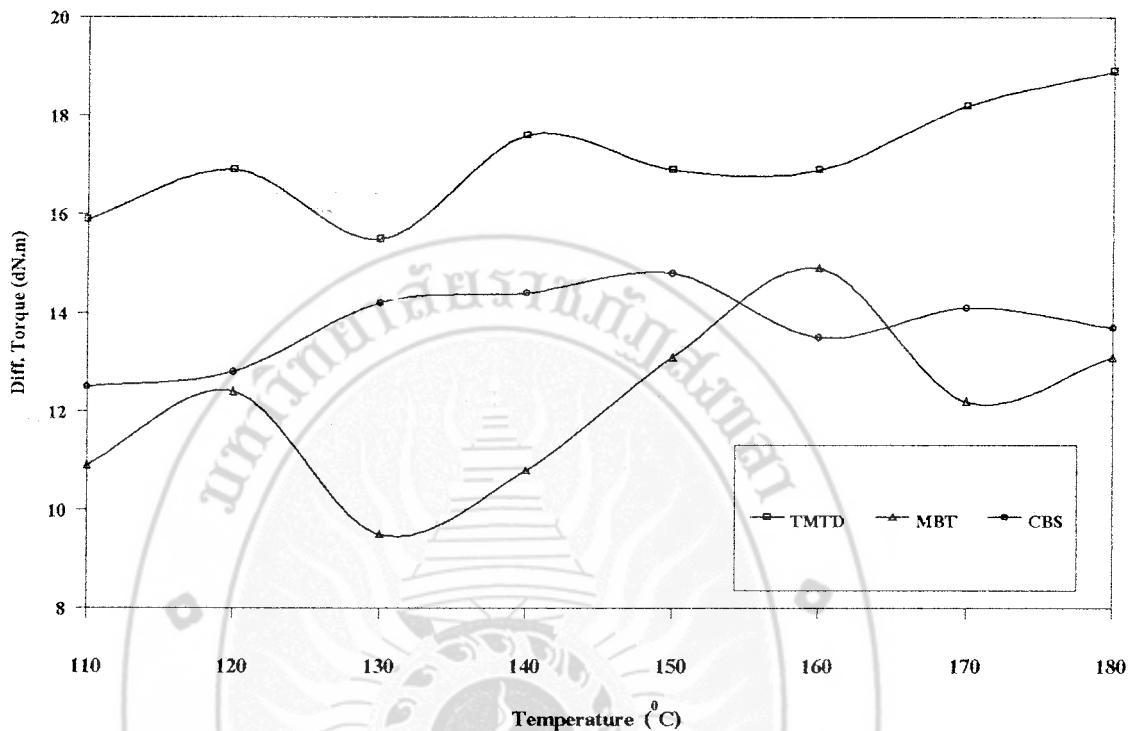
เซลเซียส



รูปที่ 4.20 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางในไตรล็อกวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่ายางที่ใช้ TMTD มีค่าแรงบิดสูงสุดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับสารตัวเร่งชนิดนี้จะช่วยเพิ่มพนธะในการเชื่อมโยงดี รองลงมาคือ MBT และ CBS เมื่อเทียบ MBT เมื่อเปรียบเทียบให้เท่ากันนั้นจะทำให้ยางยืดหยุ่นมากกว่า TMTD และ MBT กับ CBS จะให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับ TMTD ในปฏิกรณ์จะใช้ MBT ในการวัลคาไนซ์

4.2.2.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดค่าสุด และค่าแรงบิดสูงสุด

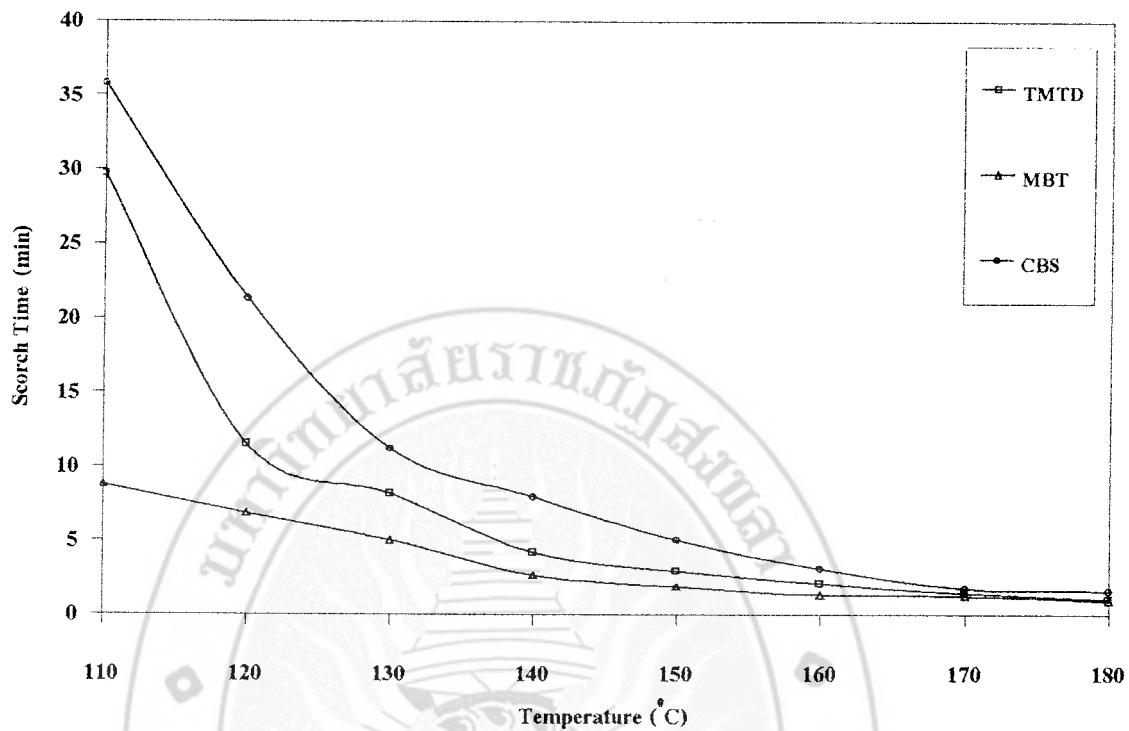


รูปที่ 4.21 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดค่าสุดของยางในไตรล์ที่วัดค่าในชุดระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.20 ยางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะให้ค่าแรงบิดสูงสุดสูงกว่าสารตัวเร่งอื่น เนื่องจากกำมะถันที่อยู่ใน TMTD เป็นตัวช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงในพันธะคิชชิ่น ส่วน MBT จะมีค่าค่าสุด เนื่องจากสารตัวเร่งชนิดนี้เป็นตัวที่ช่วยให้ยางนิ่มในการบดผสาน (พรพรม, 2528)

4.2.2.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

ทดสอบการวัดค่าในชุดของยางในไตรล์-1031 ทำการทดสอบหาค่าแรงบิด โดยใช้อุณหภูมิ 110- 180 องศาเซลเซียส ได้ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ดังรูปที่ 4.22

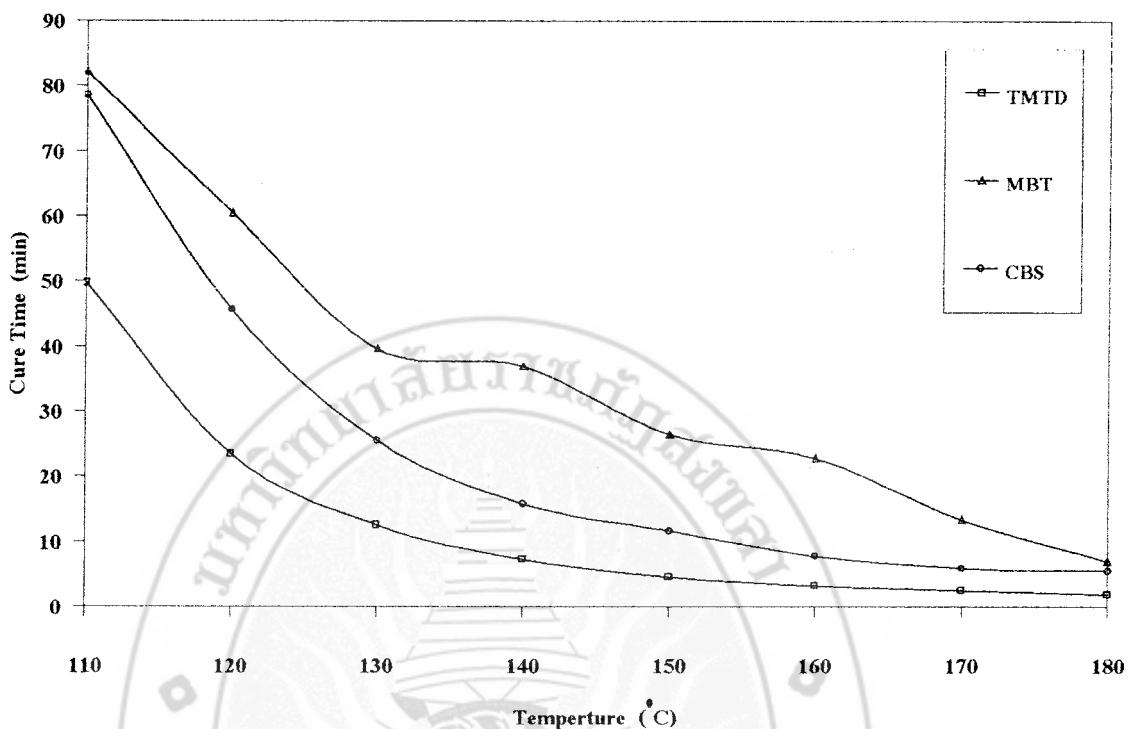


รูปที่ 4.22 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางในไครล์ที่วัลคานิซึ่งด้วยระบบ กำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่ายางที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งจะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวสุด เนื่องจาก CBS เป็นสารตัวเร่งที่ delayed action หรือ มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวกว่า MBT เพราะเมื่อ CBS ได้รับความร้อนจะแตกตัวออกให้ MBT และเบสออกม่า รองลงมาคือ TMTD และ MBT ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้จะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.2.2.5 ระยะเวลาในการวัลคานิซ

การทดสอบลักษณะการวัลคานิซของยางที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้เวลาในการวัลคานิซดังรูป

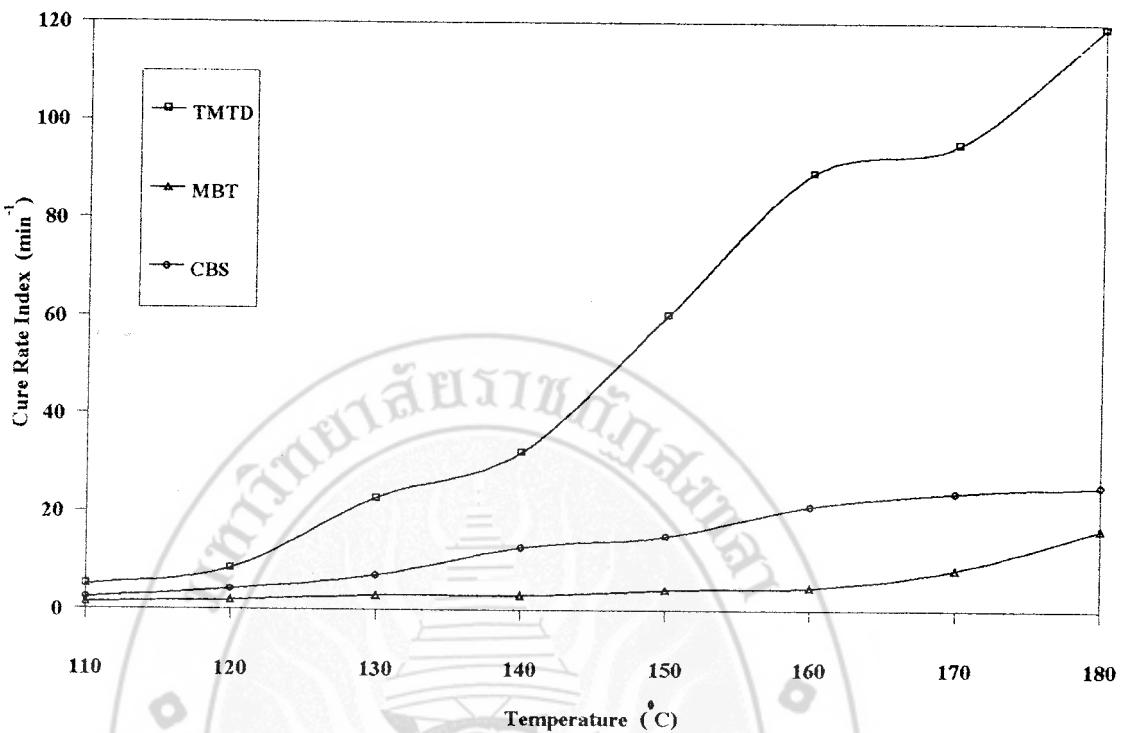


รูปที่ 4.23 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางในไตรเลที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบ กำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.23 พบว่ายางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งมีระยะเวลาในการวัลภาไนซ์เร็วที่สุดเนื่องจากไชยแรมจัดเป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วในการวัลภาไนซ์สูงเป็นพิเศษ โดยเฉพาะ TMTD มีระยะเวลาในการวัลภาไนซ์เร็วที่สุด (พรพรม, 2528) รองลงมาคือ CBS และ MBT เนื่องจาก MBT ต้องใช้ร่วมกับสารตัวเร่งชนิดอื่นจึงจะมีระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ได้เร็ว หรือต้องเพิ่มอุณหภูมิในการวัลภาไนซ์ (พรพรม, 2528) จึงจะช่วยให้ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์เร็วขึ้น ส่วน CBS จะต้องแตกตัวให้ MBT กับเบนสกอนจึงจะเกิดปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ การที่ CBS วัลภาไนซ์เร็วกว่า MBT อาจเนื่องจากเบนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย

4.2.2.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์

เมื่อทดสอบการวัลภาไนซ์ของยางแล้วจะได้ระยะเวลาที่สามารถปรับรูปได้และระยะเวลาในการวัลภาไนซ์นำมาคำนวณค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ แสดงความสัมพันธ์ดังรูป



รูปที่ 4.24 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาในช่องยาง ในไตรล์ที่วัลภาในช่องระบบ กำมะถันปักติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

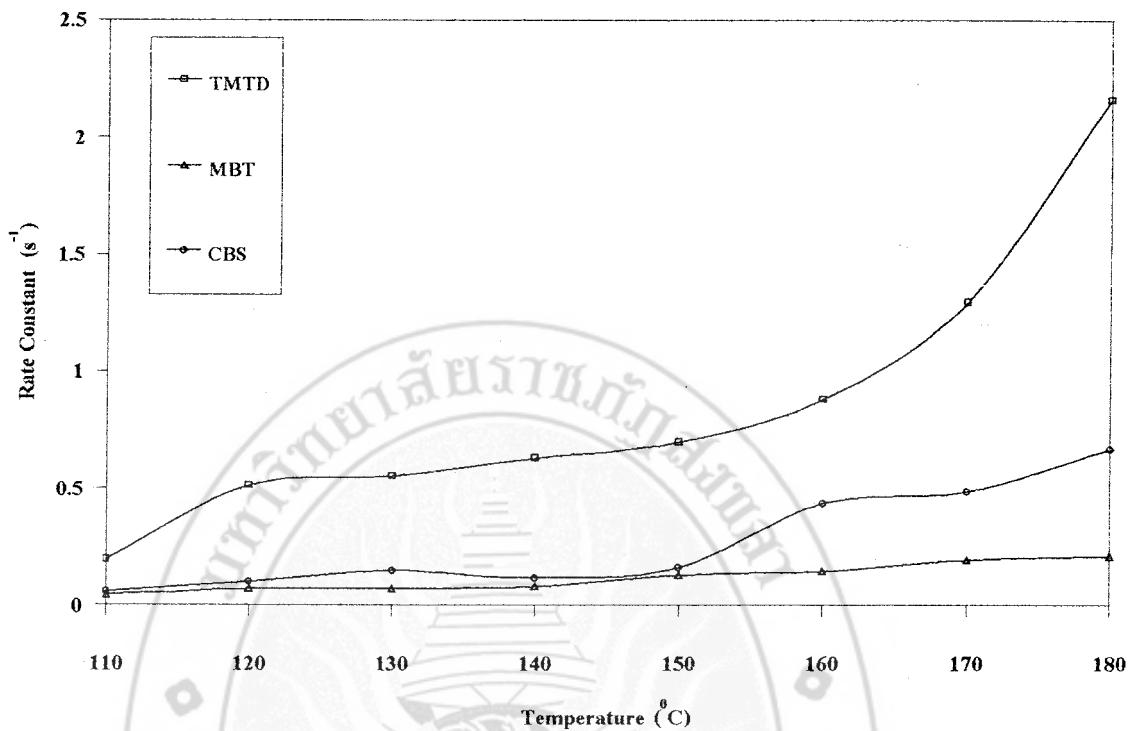
จากรูปที่ 4.24 พบร่วางที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่งมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาในช่องยาง อุณหภูมิ 110-140 องศาเซลเซียสค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาในช่องยางต่ำอย่างมาก แต่พอในช่วงอุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียสค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาในช่องยางขึ้นมาก รองลงมาคือ CBS และ TMTD ตามลำดับ พบร่วางที่ใช้ CBS และ TMTD เป็นสารตัวเร่งความชันของกราฟทั้งสองเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ จะยิ่งเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ก็จะยิ่งเปลี่ยนแปลงไปให้ลดน้อยตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.2.2.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาในช่อง

เมื่อนำค่าแรงบิดที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไปหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาในช่อง แล้วสามารถเห็นความแตกต่างของยางแต่ละชนิด ซึ่งสามารถใช้ในการวัลภาในช่องยางในไตรล์ที่ใช้สารตัวเร่งแต่ละชนิด ดังตาราง

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางในไตรส์-1031 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ
กำมะถันบักติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารគัวเรง ทดสอบที่ อุณหภูมิ
110 – 180 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Rate constant (k), s ⁻¹		
	TMTD	MBT	CBS
110	0.1958	0.0450	0.0586
120	0.5117	0.0695	0.1012
130	0.5527	0.0706	0.1479
140	0.6285	0.0798	0.1169
150	0.6977	0.1291	0.1619
160	0.8794	0.1447	0.4350
170	1.2950	0.1931	0.4855
180	2.1595	0.2082	0.6663



รูปที่ 4.25 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ของยางในไตรล์ที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมนั้นคือจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เท่า โดยจะเพิ่มขึ้นเป็นเดือน โดยออกซ์ฟอร์มแคนเซบล

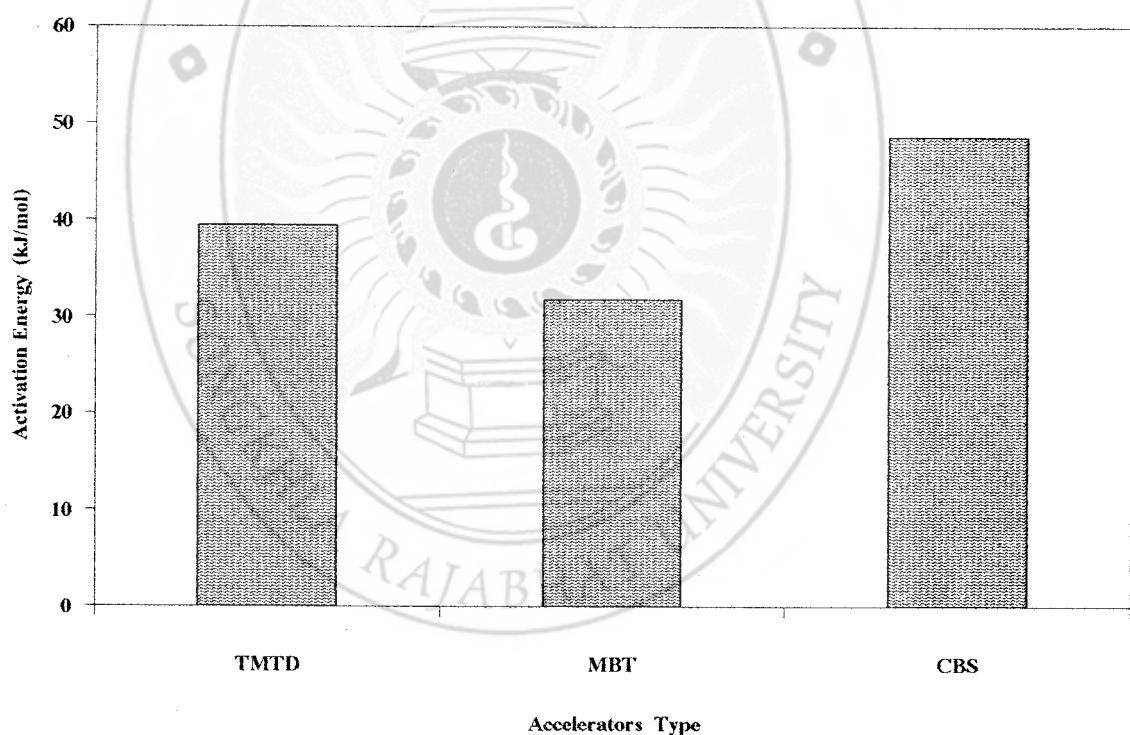
จากรูปที่ 4.25 ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ของยางในไตรล์ ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีค่ามากสุด รองลงมา คือ CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง เนื่องจากเมื่อเกิดการวัลภาไนซ์ช้าก็จะทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ต่ำลงด้วย และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการวัลภาไนซ์จะเกิดขึ้นไดเร็ว ทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์เพิ่มขึ้นมากัน สังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น MBT จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาวัลภาไนซ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าระบบอื่น เนื่องจากปฏิกิริยาของสารตัวเร่งชนิดนี้จะเกิดขึ้นช้า

4.2.2.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้น ได้นำจาก การค้านวณค่าความชันของกราฟเทียบกับอุณหภูมิ แสดงถึงปฏิกิริยาการวัลคาในซ์ของยางในไตรล์-1031 ที่ใช้สารตัวเร่งค่างชนิดกัน ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางในไตรล์-1031 ที่วัลคาในซ์ด้วยระบบกำมะถันปักดิ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 100-180 องศาเซลเซียส

Accelerator Type	Activation energy (Ea), kJ/mol
TMTD	39.41
MBT	31.72
CBS	48.58

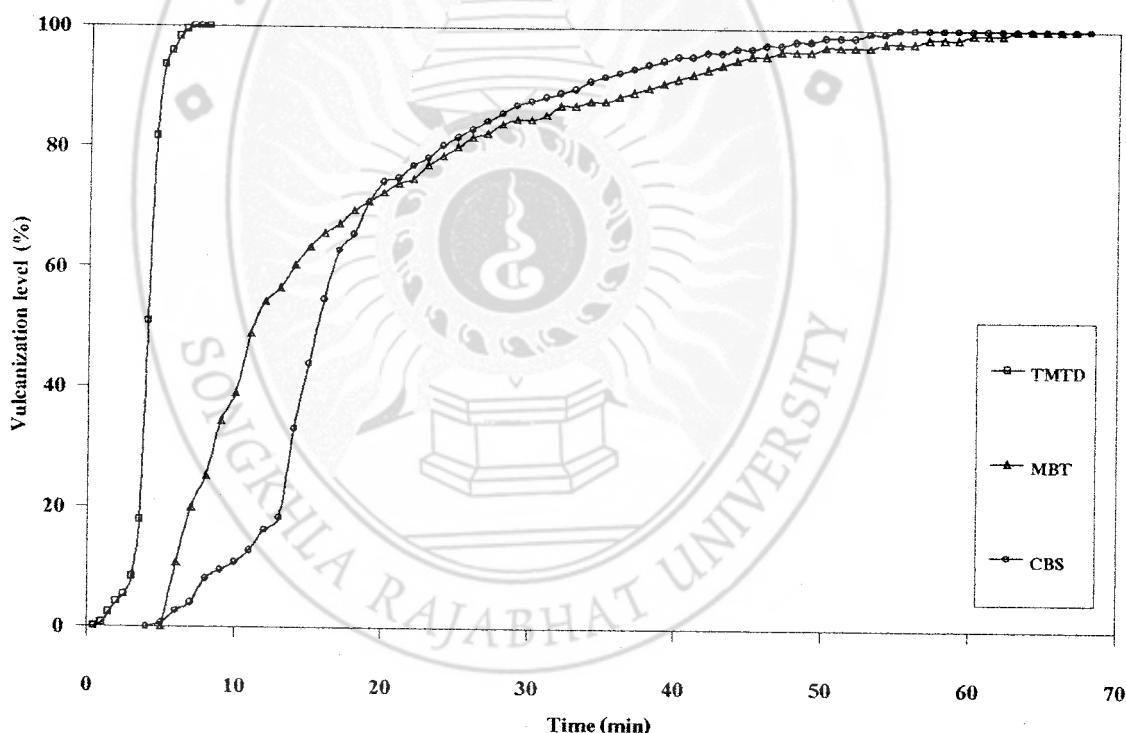


รูปที่ 4.26 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางในไตรล์ที่วัลคาในซ์ด้วยระบบ กำมะถันปักดิโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

พลังงานที่น้อยที่สุดที่ไม่เลกุลต้องมีขยะชนกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เรียกว่าพลังงานกระตุ้น เมื่อ พลังงานที่มีพลังงานเหล่านี้เท่ากับพลังงานกระตุ้น หรือมากกว่าพลังงานกระตุ้นเข้าชนกัน จะทำให้พันธะ สลายตัวพร้อม ๆ กับมีการสร้างพันธะใหม่ขึ้น ถ้าพลังงานสูง ไม่ถึงพลังงานกระตุ้นปฏิกิริยาจะไม่เกิด (โภกณและคณะ, 2543) จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานกระตุ้นของยางในไตรล์ที่ใช้ MBT จะมีค่าต่ำสุดนั่นคือ ปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว จากรูปที่ 4.22 MBT จะมีระยะเวลาในการแปรรูปสั้น เนื่องจาก พลังงานกระตุ้นต่ำ

4.2.2.9 ระดับการวัลคาไนซ์

การเปรียบเทียบระดับการวัลคาไนซ์ของยางในไตรล์-1031 จะนำระดับการวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



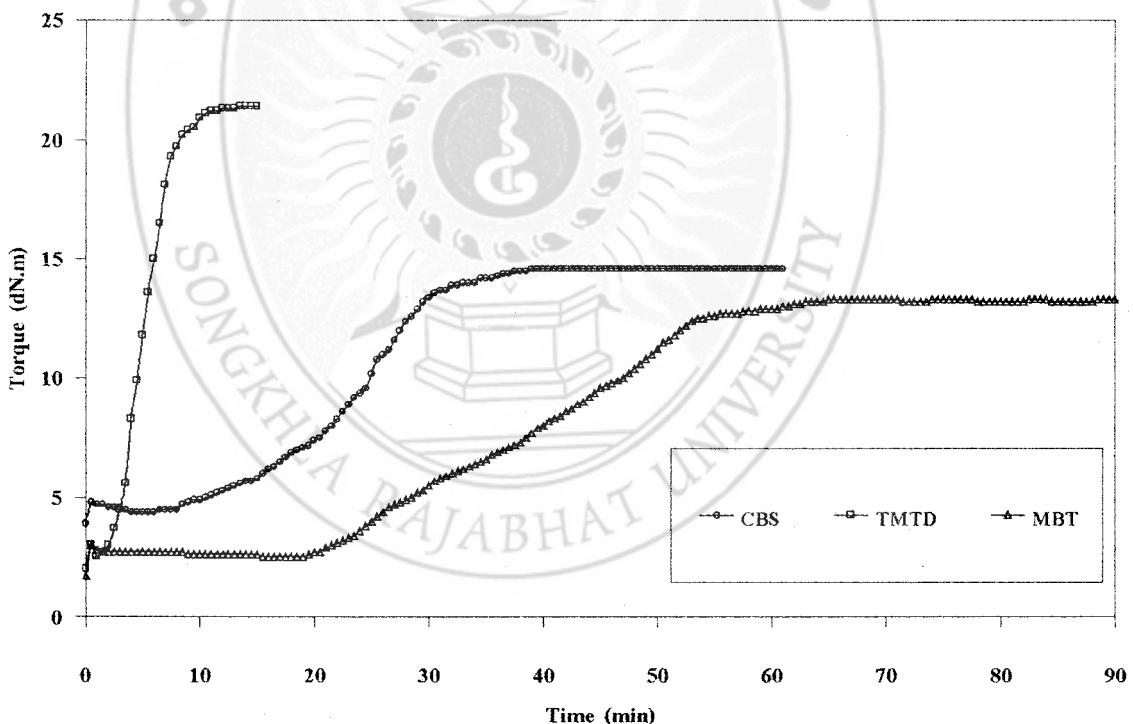
รูปที่ 4.27 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางในไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.27 ยังในไตรร์ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะเริ่มเกิดการวัลค่าในช่วงและการวัลค่าในช่วงที่ระดับ 100 % จะเริ่มเกิดได้เร็ว CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง จะเริ่มเกิดการวัลค่าในช่วงและการวัลค่าในช่วงที่ระดับ 100 % จะเกิดช้ากว่า การที่ TMTD มีระดับการวัลค่าในช่วงเร็วที่สุด เนื่องมาจากสารเคมีหมุนนี้มีระยะเวลาการวัลค่าในช่วงที่เร็วกว่าหมุนอื่น ๆ และ MBT มีระดับการวัลค่าในช่วงช้าสุดเนื่องจากสารเคมีชนิดนี้จะต้องใช้ร่วมกับสารตัวเร่งชนิดอื่นจึงจะได้ผลดี หรือไม่ก็ต้องเพิ่มอุณหภูมิการทดสอบให้สูงขึ้น (พรพรวณ, 2528) ยังที่ใช้ TMTD จะมีค่าคงที่ปฏิกริยาและค่าดัชนีการวัลค่าในช่วงมากจึงทำให้ระดับการวัลค่าในช่วงมีค่ามากด้วย

4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลค่าในช่วงของยางบีอาร์-0150

4.2.3.1 ลักษณะการวัลค่าในช่วง

การทดสอบลักษณะการวัลค่าในช่วงของยางบีอาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ โดยทำการทดสอบค่าแรงบิดเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูป



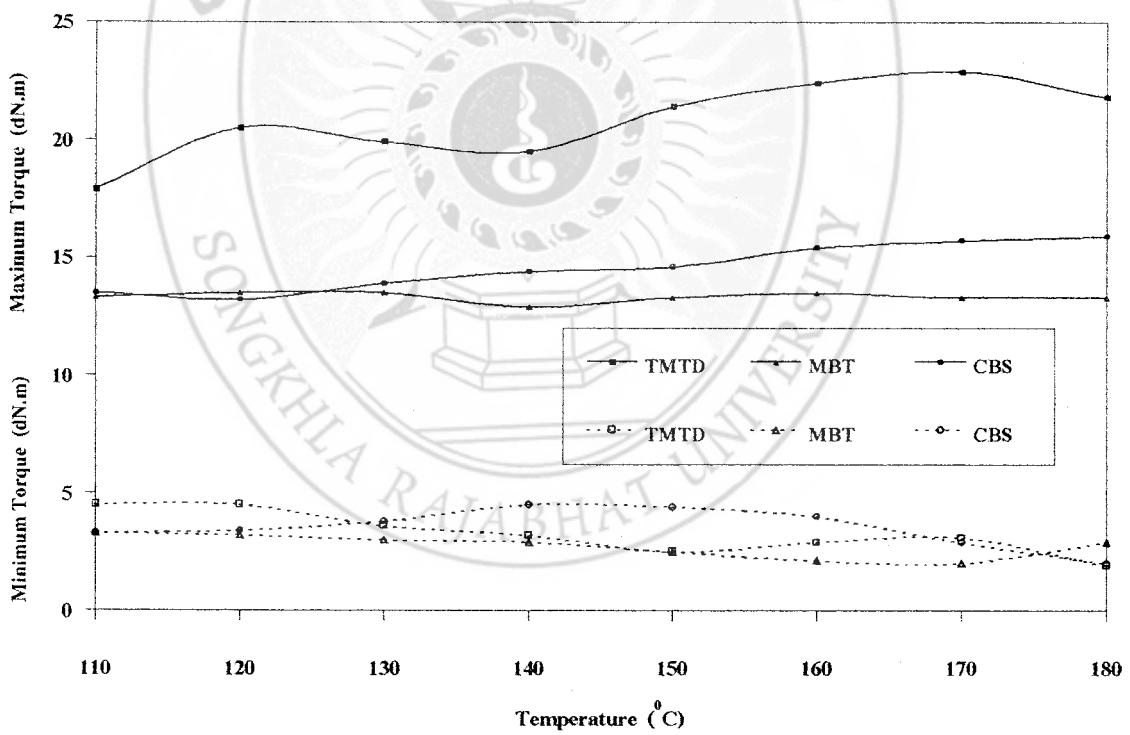
รูปที่ 4.28 ลักษณะการวัลค่าในช่วงของยางบีอาร์ที่วัลค่าในช่วงด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ยางบีอาร์ ที่วัลค่าในชีรในระบบกำมะถันปกติโดยการใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง คือให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าการใช้สารตัวเร่งชนิดอื่น เพราะยางชนิดนี้ค่อนข้างนิ่มและเมื่อใช้ MBT ชีรสารตัวเร่งชนิดนี้เมื่อผสมเข้าไปในยางจะช่วยให้ยางนิ่ม และยางชนิดนี้มีพันธะคู่น้อยทำให้ไม่เกิดกลุ่มไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อใช้ MBT เป็นสารตัวเร่งยังทำให้วัลค่าในชีรเกิดขึ้นช้า

การใช้ CBS และ TMTD ในยางบีอาร์ จะทำให้วัลค่าในชีรเกิดได้เร็วเมื่อลักษณะ Graf ที่คล้ายกัน จากรูปเห็นได้ว่า สารตัวเร่งทั้งสองชนิด จะทำให้การเริ่มต้นวัลค่าในชีรช้า (delayed action) แต่เวลาในการวัลค่าในชีรสั้นลง แต่ TMTD จะเกิดการวัลค่าในชีรเร็วกว่าเล็กน้อย และค่าแรงบิดก็สูงกว่าด้วย ส่วนลักษณะ Graf จะเป็นแบบ flat cure

4.2.3.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ทดสอบค่าแรงบิดของยางบีอาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.29

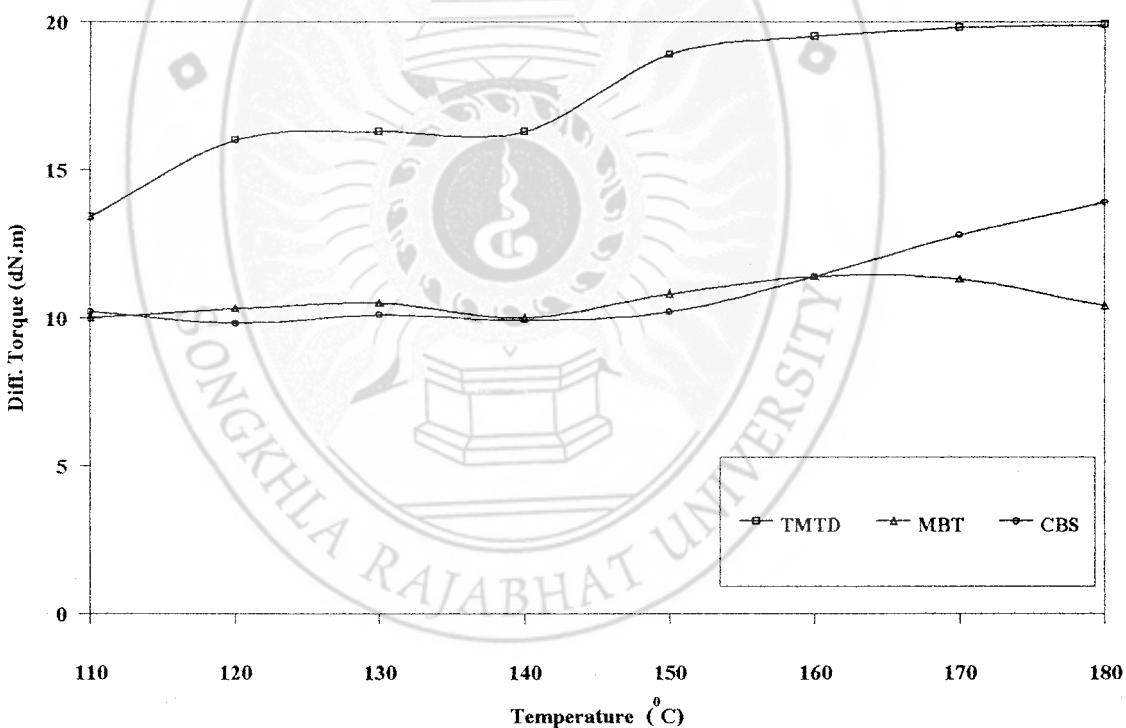


รูปที่ 4.29 ค่าแรงบิดต่ำสุด และค่าแรงบิดสูงสุดของยางบีอาร์ที่วัลค่าในชีรด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของรูปพนว่าค่าแรงบิดสูงสุดของยางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งมีค่าสูงที่สุด เมื่องจาก TMTD จะให้กำลังถันออกมากกว่าให้ปูนก็ริยามีการเชื่อม ไอยกันอย่างแข็งแรง รองลงมาคือ CBS และ MBT ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุดในช่วงอุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส ยางที่ใช้ CBS มีค่าสูงแต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 140 และ 170 องศาเซลเซียส ยางที่ใช้ CBS มีค่าต่ำลง การที่ MBT มีค่าแรงบิดสูงสุดต่ำสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดที่ต่ำสุดเนื่องมาจากสารตัวเร่งชนิดนี้จะช่วยให้ยางนิ่ม (พรพรรณ, 2528)

4.2.3.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดในรูปที่ 4.29 นำมาคำนวณหาค่าผลต่างระหว่างแรงบิดต่ำสุดกับค่าแรงสูงสุด ดังแสดงในรูป

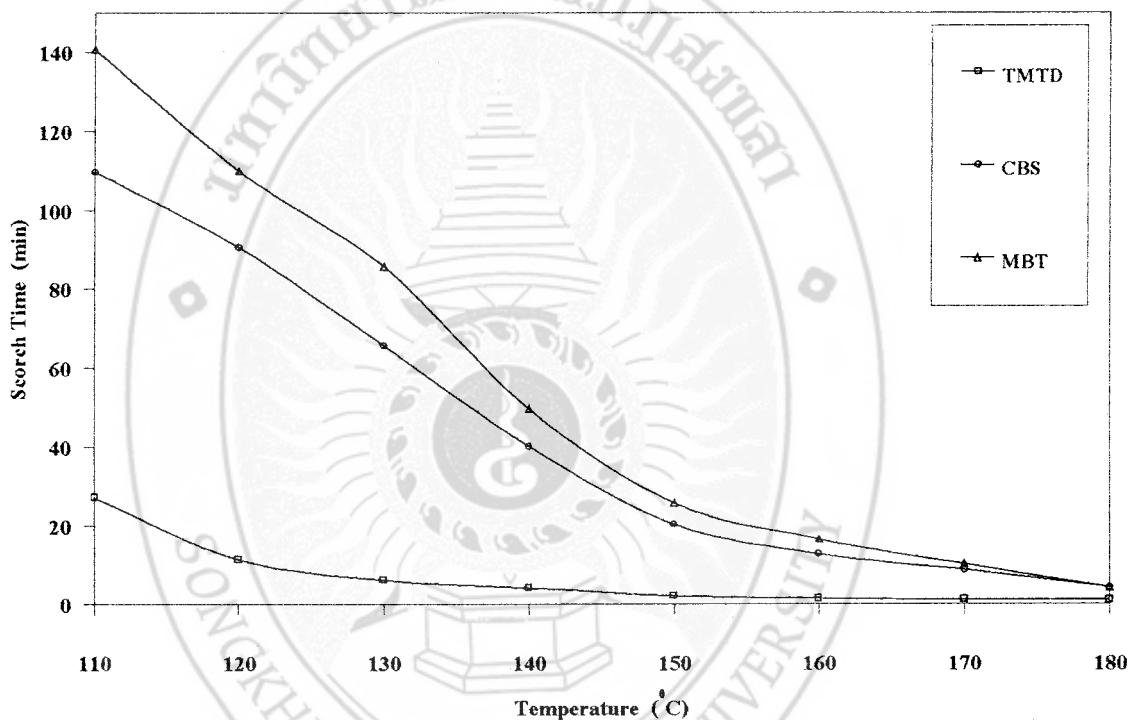


รูปที่ 4.30 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางบีอาร์ทีวัลคานีซ์ด้วยระบบกำมะถันปอกดิ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.30 TMTD จะมีค่าผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุด สูงกว่าสารตัวเร่งชนิดอื่น เช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.29 ส่วน MBT จะมีค่าต่ำสุด

4.2.3.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

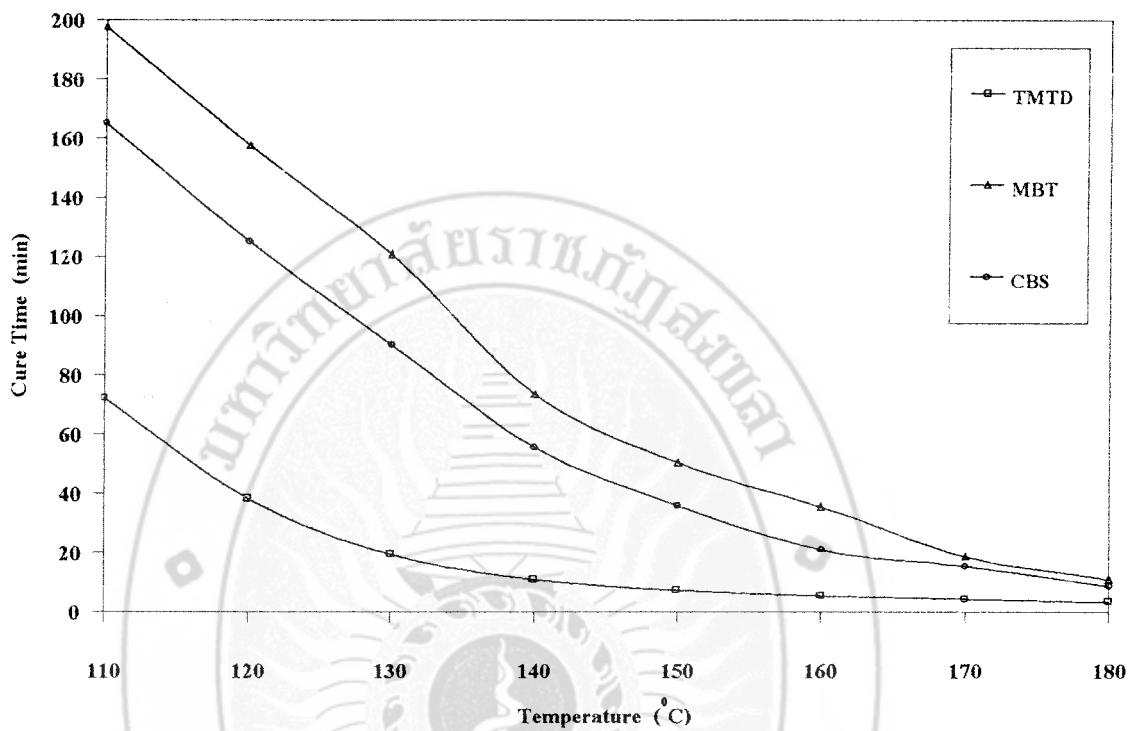
ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางบีโอาร์ที่ใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ แสดงดังรูป



รูปที่ 4.31 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางบีโอาร์ที่วัลภาไนซ์ดีบราบกานะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.31 TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้สั้นกว่าสารตัวเร่งชนิดอื่น และจะมีค่าน้อยลง ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ CBS และ MBT

4.2.3.5 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์

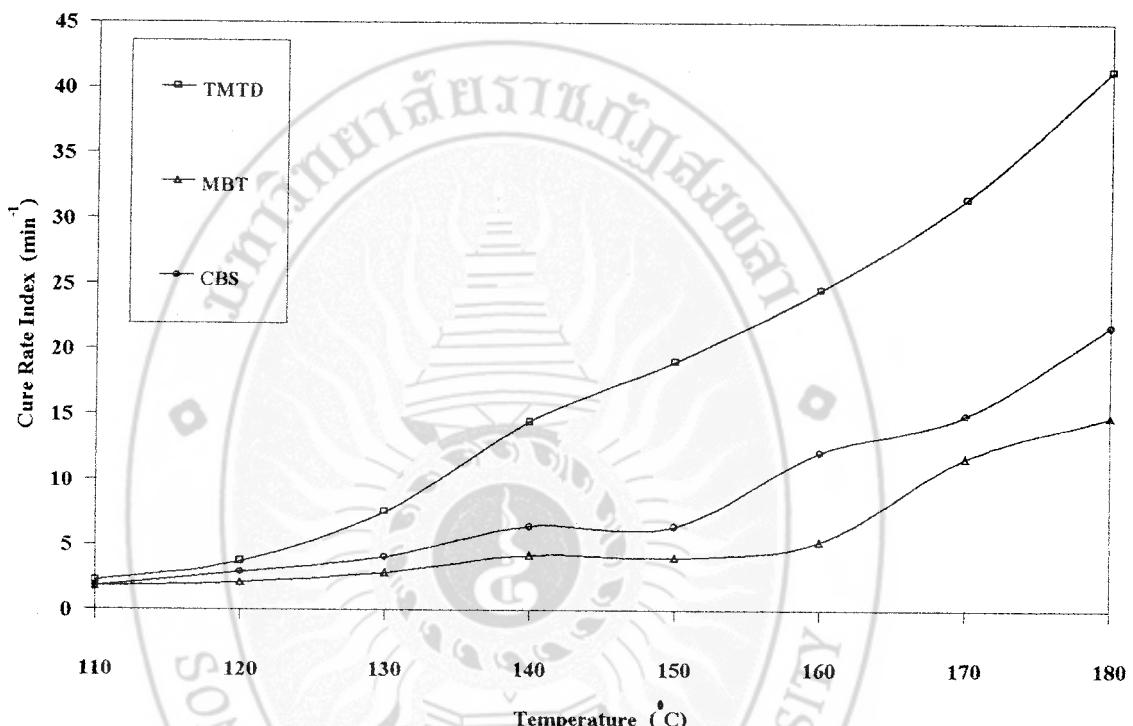


รูปที่ 4.32 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางบีอาร์ที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.32 จากลักษณะของการฟรีไซด์ ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางที่ใช้ TMTD จะสั้น และจะยิ่งสั้นลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เพราะกำมะถันใน TMTD จะช่วยให้เกิดการวัลภาไนซ์ได้เร็ว ส่วน CBS และ MBT จะมีระยะเวลายาว เนื่องจากยางบีอาร์จะไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาและยังใช้สารตัวเร่งที่ไม่ว่องไวก็จะทำให้ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์เกิดช้า แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิเห็นได้จากที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์จะสั้นมาก

4.2.3.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์

เมื่อทำการทดสอบการวัลภาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส จะได้ค่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ นำมาคำนวณหาค่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ ของยางบีอาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง แสดงการเปรียบเทียบดังรูป



รูปที่ 4.33 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางบีอาร์ที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูป พนวยางบีอาร์ที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์มากกว่า จาก TMTD เป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์เกิดขึ้นได้เร็ว ส่วน MBT เป็นสารตัวเร่งที่ไม่ว่องไวค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์จึงมีค่าน้อย และค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.2.3.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

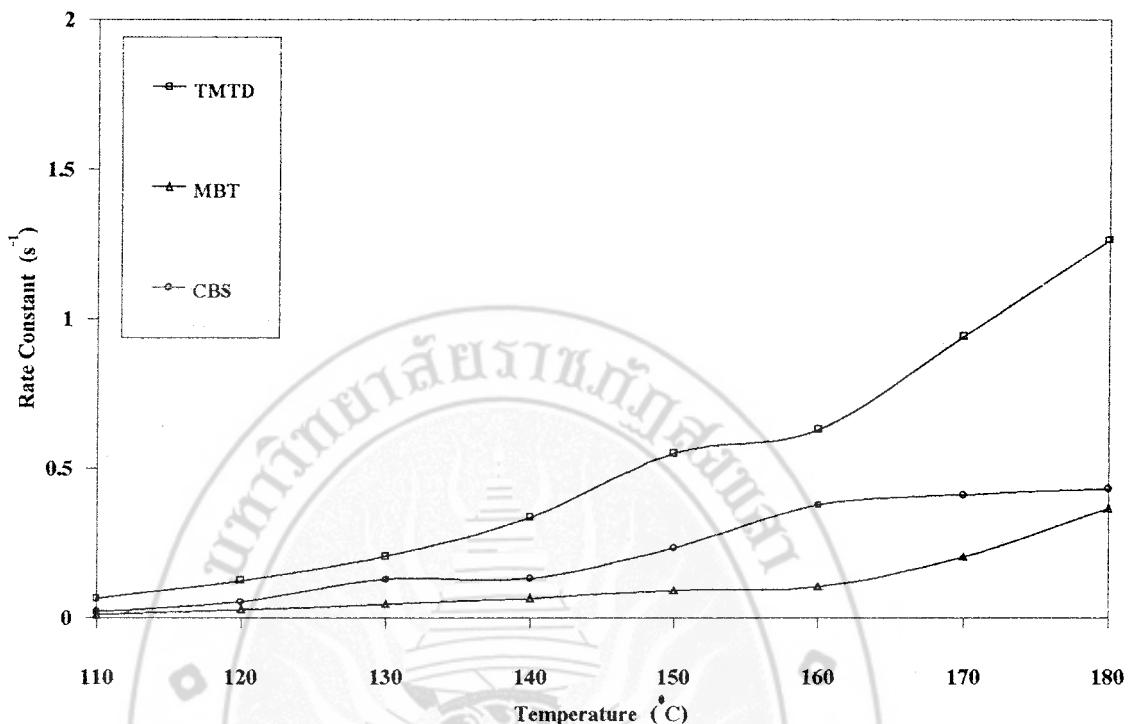
เมื่อนำมาค่าแรงบิดที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิที่ 110-180 องศาเซลเซียส ไปคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ จะเห็นความแตกต่างของยางบีอาร์ที่ใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน ดังตาราง

**ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบคำนวณ
ปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180
องศาเซลเซียส**

Temperature (°C)	Rate constant (k) ,s ⁻¹		
	TMTD	MBT	CBS
110	0.0625	0.0094	0.0194
120	0.1231	0.0267	0.0536
130	0.2049	0.0430	0.1272
140	0.3351	0.0639	0.1316
150	0.5496	0.0908	0.2332
160	0.6287	0.1024	0.3766
170	0.9391	0.2029	0.4094
180	1.2616	0.3646	0.4308

จากรูปที่ 4.34 แสดงค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยาง BR จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ MBT เป็นสารตัวเร่งค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก และจากรูปที่ 4.33 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ MBT ก็มีค่าน้อยด้วยเช่นกัน ส่วน TMTD และ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ และค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มากขึ้นตามอุณหภูมิโดยให้ก้าวที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งถ้าหากการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นเร็ว ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็จะมีค่านากด้วย



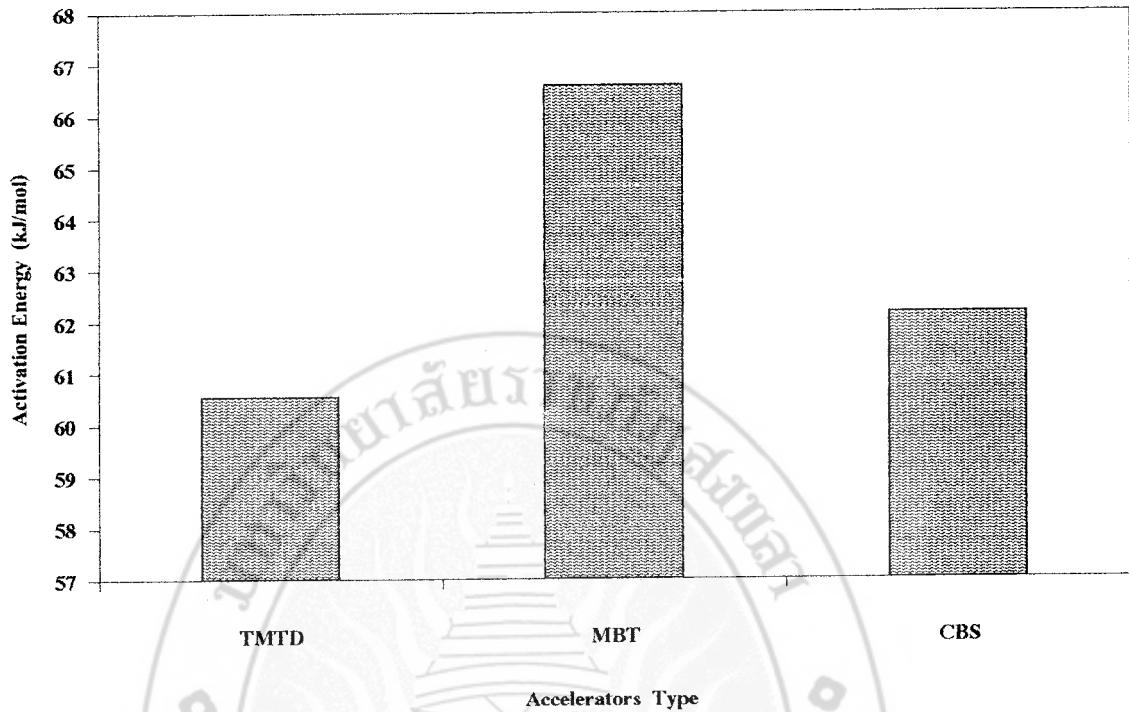
รูปที่ 4.34 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

4.2.3.8 ค่าพลังงานกระตุน

พลังงานกระตุนได้มาจากการคำนวณค่าความชันของกราฟเทียบกับอุณหภูมิ แสดงถึงปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางบีอาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.8 ค่าพลังงานกระตุนของยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 100-180 องศาเซลเซียส

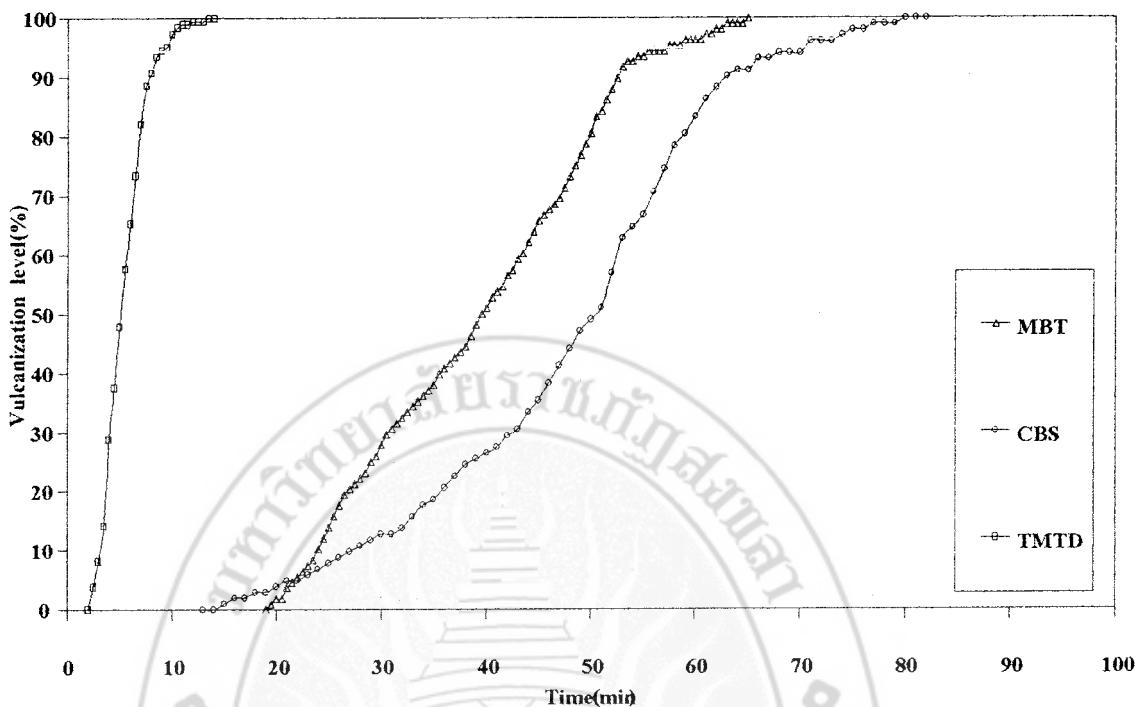
Accelerator Type	Activation energy (Ea), kJ/mol
TMTD	60.54
MBT	66.59
CBS	62.15



รูปที่ 4.35 ค่าพลังงานกระตุ้นยางบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟพบว่ายางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งมีพลังงานกระตุ้นต่ำสุด และค่าระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะสั้น ส่วน MBT มีพลังงานกระตุ้นสูงสุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อพลังงานกระตุ้นมีค่าสูงอย่างมากยิ่งขึ้น แล้วค่าพลังงานกระตุ้นจะมีค่ามากกว่าทั้งการเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มเร็วขึ้นด้วย (กฤษณา, 2519)

4.2.3.9 ระดับการวัลคาไนซ์
ระดับการวัลคาไนซ์ของยางบีอาร์-0150 จะนำระดับการวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.36 ระดับการวัลภาไนซ์ของยางบีอาร์ที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.36 ยาง BR ที่ใช้ TMTD จะเริ่มเกิดการวัลภาไนซ์และระดับของการวัลภาไนซ์ที่ 100 % ของ TMTD จะเกิดขึ้นได้เร็ว และค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์และค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ก็มากด้วย รองลงมาคือ CBS และ MBT จะเริ่มเกิดการวัลภาไนซ์ช้าสุด ระดับของการวัลภาไนซ์ที่ 100 % ก็ช้า ระดับของการวัลภาไนซ์เกิดขึ้นช้า แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าอย่างมาก

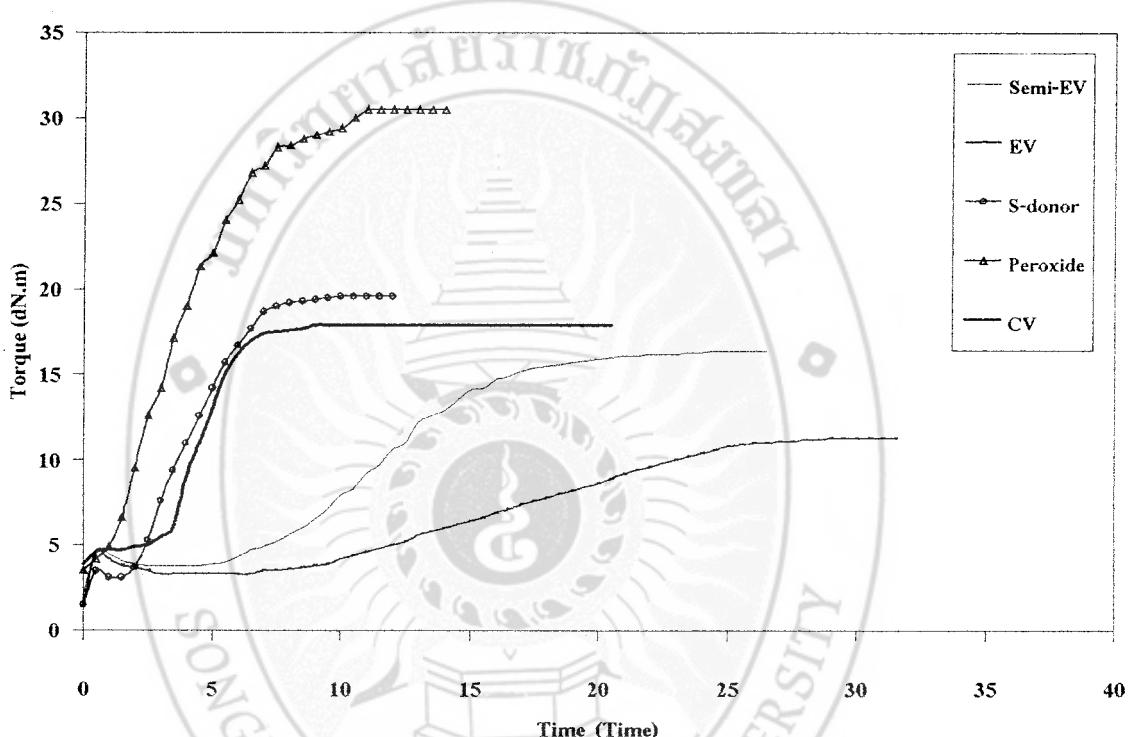
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบวัลภาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลภาไนซ์ของยางสังเคราะห์ 3 ชนิดคือ ยาง เอสบีอาร์-1502, ยางเอ็นบีอาร์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ซึ่งใช้ระบบวัลภาไนซ์ 5 ระบบ คือ ระบบ กำมะถันปกติ (CV), ระบบเซมิอีวี (Semi-EV), ระบบอีวี (EV), ระบบสารให้กำมะถัน (S-donor) และระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ตามวิธีดำเนินการทดลองข้อ 3.3.4

ศึกษาอิทธิพลของระบบวัลภาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลภาไนซ์ของยางสังเคราะห์ 3 ชนิดคือ ยาง เอสบีอาร์-1502, ยางเอ็นบีอาร์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ซึ่งใช้ระบบวัลภาไนซ์ 5 ระบบ คือ ระบบ กำมะถันปกติ (CV), ระบบเซมิอีวี (Semi-EV), ระบบอีวี (EV), ระบบสารให้กำมะถัน (S-donor) และระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ตามวิธีดำเนินการทดลองข้อ 3.3.4

4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบการวัลค่าไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลค่าไนซ์ของยางเอสนีอาร์-1502

4.3.1.1 ลักษณะการวัลค่าไนซ์

ทดสอบลักษณะการวัลค่าไนซ์ของยางเอสนีอาร์-1502 ในระบบการวัลค่าไนซ์ต่าง ๆ ที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผลดังรูป



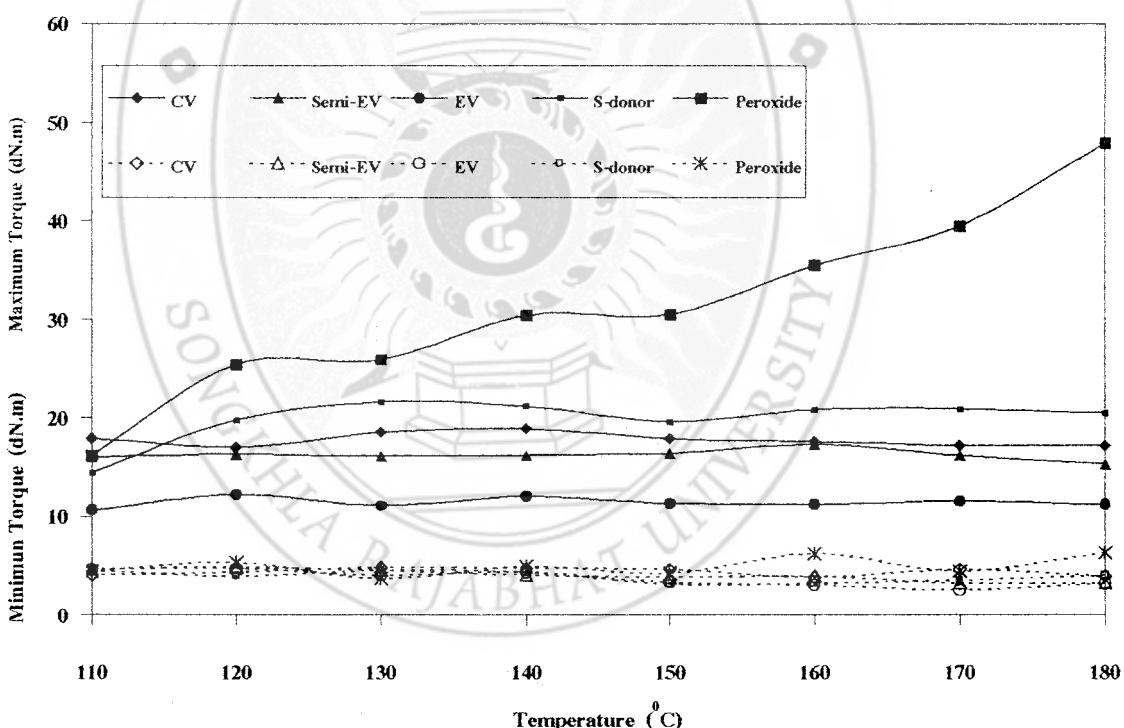
รูปที่ 4.37 ลักษณะการวัลค่าไนซ์ของยางเอสนีอาร์ในระบบวัลค่าไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ยางเอสนีอาร์ จะมีลักษณะโดยทั่วไปก็จะต้องใช้วิถีในการวัลค่าไนซ์ที่ค่อนข้างนาน เนื่องจาก ในโมเลกุลของยางเอสนีอาร์ นี้จะมีบิวทาไคอินเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการวัลค่าไนซ์ในยาง การใช้ CBS ซึ่ง CBS มีเบสอยู่ เปนสจะเป็นตัวกระตุนให้สารตัวเร่งทำงานปฏิกิริยาแก้ยาง ได้เร็วขึ้น ยางเอสนีอาร์ ในระบบเหมือนอิฐวัลค่าไนซ์รึกว่าระบบกำมะถันปกติ ยางเอสนีอาร์ ที่วัลค่าไนซ์ในระบบอิฐ เห็นได้

ว่าการวัลค่าในซีซั่นก็ขึ้นช้ากว่าระบบเคมีอิวี และระบบกำมะถันปกติ และค่าแรงบิดต่ำกว่า เนื่องจากระบบนี้จะมีกำมะถันอยู่น้อยทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงน้อย

ลักษณะการวัลค่าในซีในระบบเปอร์ออกไซด์ ให้วาลาในการสุกของยางช้า แต่ค่าแรงบิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนถึงจุดหนึ่งค่าแรงบิดก็จะตกลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน เนื่องจากระบบเปอร์ออกไซด์นี้ไม่สามารถเร่งให้เกิดการวัลค่าในซีให้เร็วขึ้นเหมือนระบบกำมะถันปกติซึ่งจะเร่งโดยการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง แต่ระบบเปอร์ออกไซด์นี้เราไม่สามารถเพิ่มปริมาณเปอร์ออกไซด์ได้ เพราะจะให้ผลเหมือนเดิม ดังนั้นการเร่งให้เกิดการวัลค่าในซีให้เร็วขึ้นก็จะต้องเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์แตกตัวโดยการใช้ความร้อนหรือทำปฏิกิริยากับสารเเก๊อื่น เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเรื่องของโมเลกุลยางค่าแรงบิดจะสูงขึ้น แต่ระบบเปอร์ออกไซด์นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง

4.3.1.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

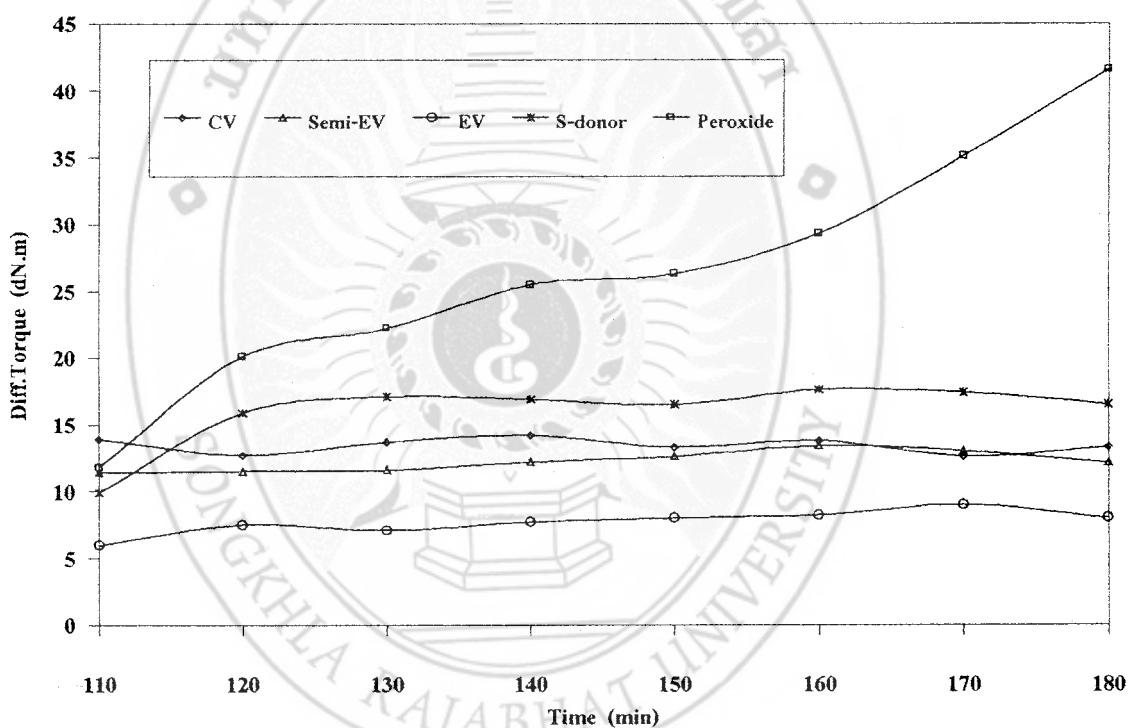


รูปที่ 4.38 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอกสาร ในระบบวัลค่าในซีต่างๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-150 องศาเซลเซียส

จากราฟเปรียบเทียบค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดคำสุด ในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าแรงบิดสูงสุดที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์แตกตัวโดยใช้ความร้อน และทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น (พรพรรณ, 2528) ส่วนในระบบอื่น ๆ ค่าแรงบิดจะอยู่ในแนวเดียวกัน

4.3.1.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดคำสุด

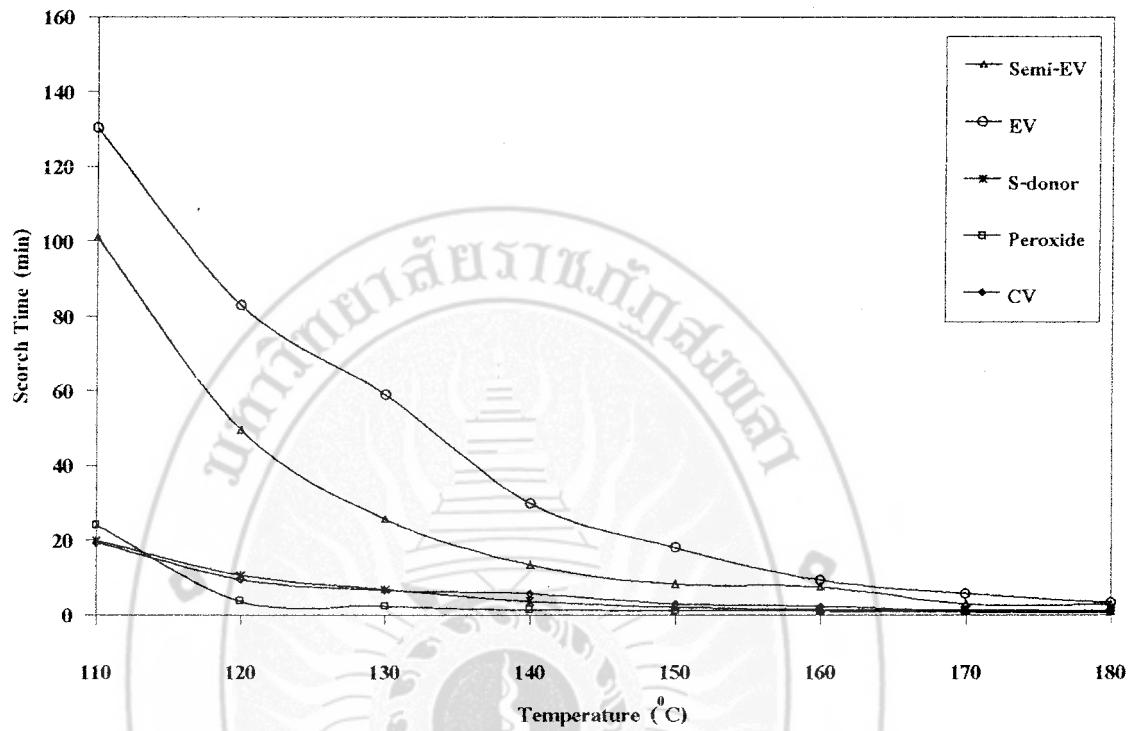
ทดสอบลักษณะการวัลภาในช่องยางเอสบีอาร์-1502 ในระบบวัลภาในช่อง ๆ ที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส ได้ค่าแรงบิดสูงสุดและคำสุดมาคำนวณได้ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดคำสุดกับค่าแรงบิดสูงสุด ดังรูป



รูปที่ 4.39 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดคำสุดของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลภาในช่องๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส

จากรูปจะเห็นว่าผลต่างระหว่างค่าแรงบิดคำสุดกับค่าแรงบิดสูงสุดในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนในระบบอื่น ๆ ก็มีค่าไม่ต่างกันมาก

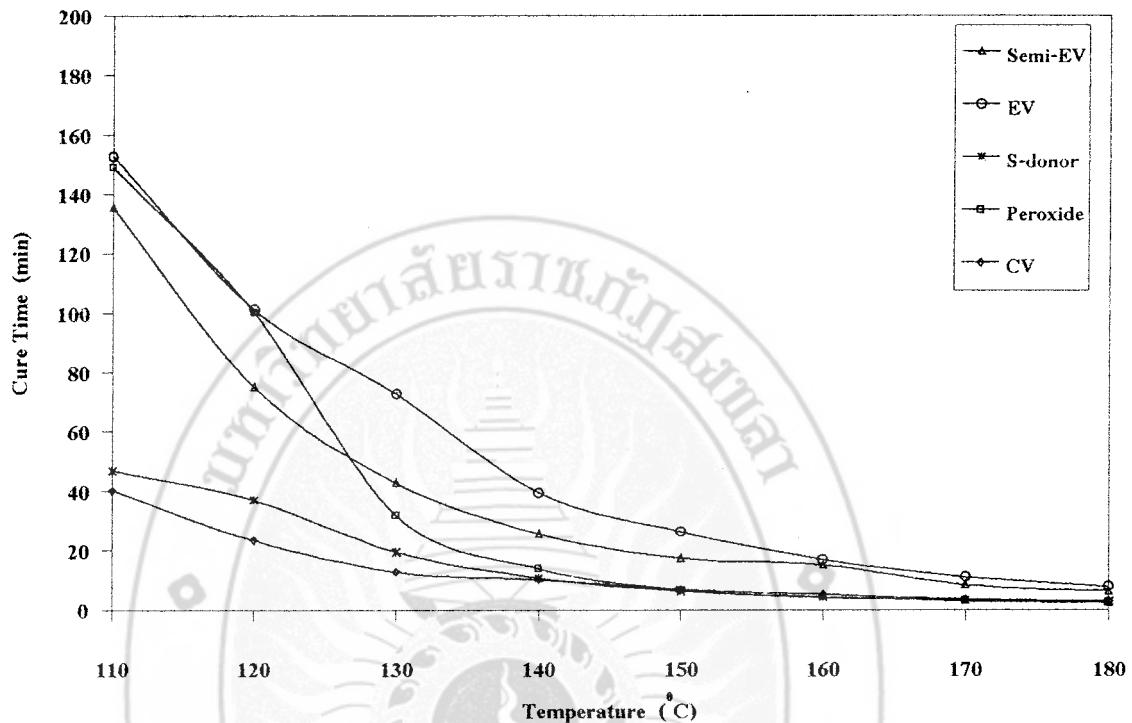
4.3.1.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้



รูปที่ 4.40 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลภาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110- 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.40 พบร่วมกันของระบบเปลอร์ออกไซด์จะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้น้อยกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากเปลอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับยางได้เร็ว ส่วนระบบกำมะถันปกติจะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้มากกว่าระบบวัลภาไนซ์อื่น ๆ

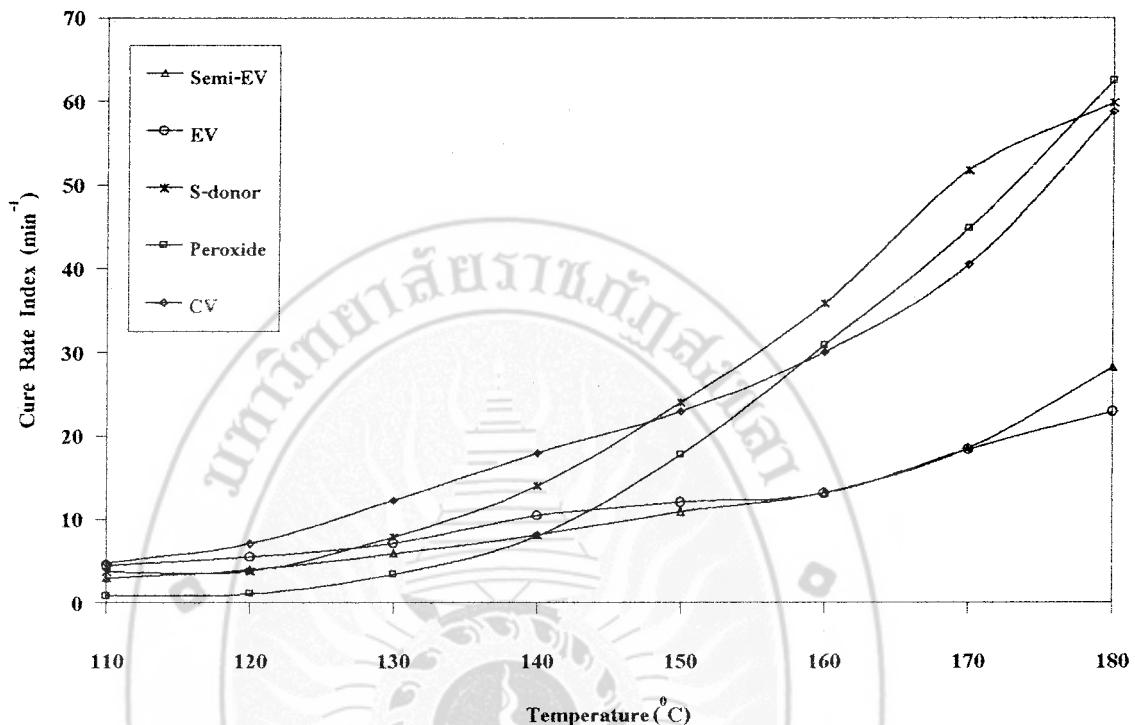
4.3.1.5 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์



รูปที่ 4.41 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลภาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.41 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปักติจะน้อย เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบนี้เหมาะสม ส่วนระบบอิวิจะมีระยะเวลาในการวัลภาไนซ์มากที่สุด เนื่องจากระบบนี้จะใช้สารตัวเร่งปริมาณมาก และใช้กำมะถันปริมาณน้อยกว่าระบบกำมะถันปักติ จากผลการทดลองนี้เห็นว่าสารตัวเร่งมีอิทธิพลน้อยกว่ากำมะถัน

4.3.1.6 ค่าดัชนีความเร็วในการ vulcanization



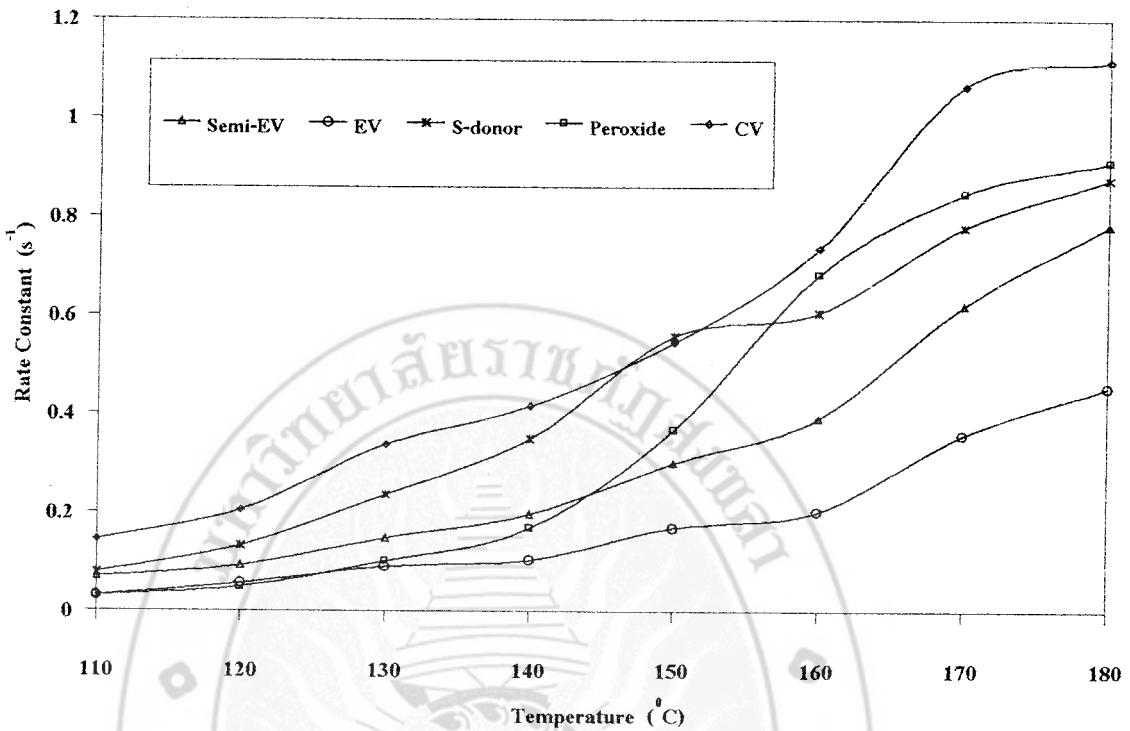
รูปที่ 4.42 ค่าดัชนีความเร็วในการ vulcanization ของยางอสบีอาร์ ในระบบ vulcanization ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.42 ค่าดัชนีความเร็วในการ vulcanization จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งทุกระบบ vulcanization จะให้ผลลัพธ์เดียวกัน และที่อุณหภูมิต่ำค่าดัชนีความเร็วในการ vulcanization จะมีค่าน้อยมาก และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4.3.1.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางเอสบีอาร์-1502 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ
ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Rate constant (k), s ⁻¹				
	CV	Semi-EV	EV	S-donor	Peroxide
110	0.1143	0.0695	0.0874	0.0756	0.0377
120	0.2040	0.0915	0.1399	0.1553	0.0901
130	0.3371	0.1473	0.3049	0.2612	0.1157
140	0.4159	0.1963	0.3582	0.2986	0.2046
150	0.5450	0.3001	0.5312	0.4096	0.4249
160	0.7360	0.3913	0.7051	0.6061	0.6553
170	1.0654	0.6195	0.9565	0.7786	0.7490
180	1.1151	0.7819	1.3072	0.8760	1.3272



รูปที่ 4.43 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ของยางอ่อนสีขาวในระบบวัลภาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

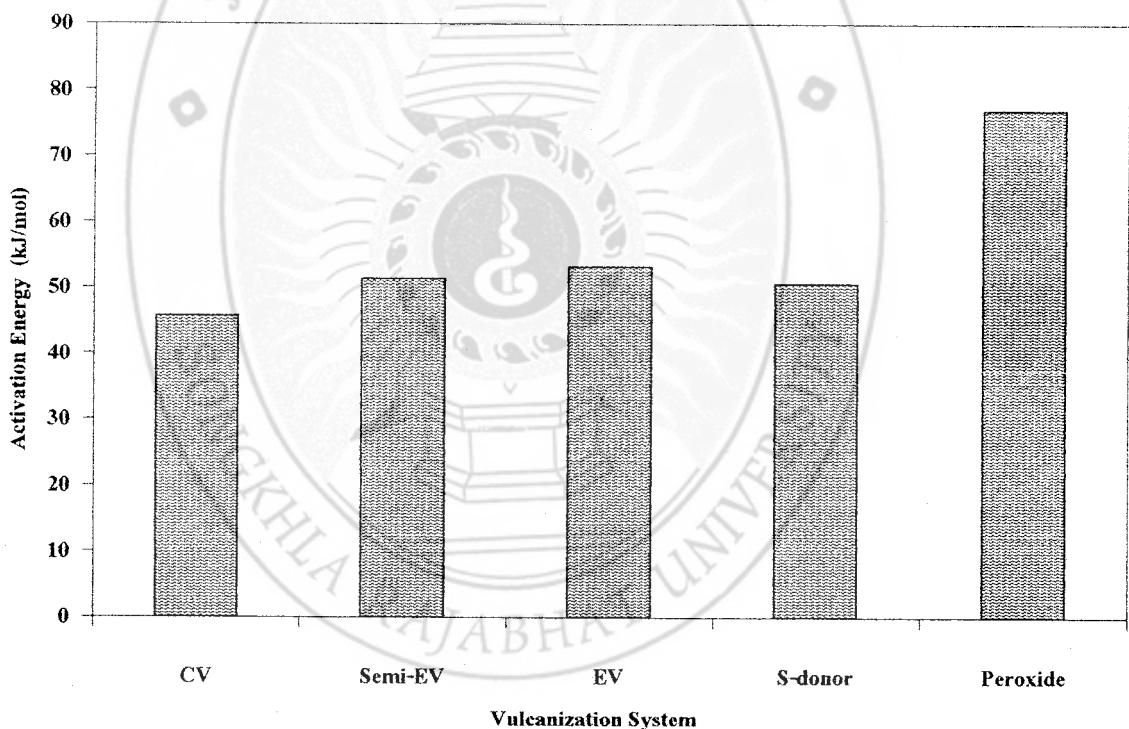
จากลักษณะของกราฟพบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน แต่สังเกตว่าที่อุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียสค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะเพิ่มขึ้นมาก จากรูป จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการทดสอบต่ำ ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกระบบการวัลภาไนซ์ แต่มีอุณหภูมิสูงขึ้น (อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส) ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์จะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าอุณหภูมนี้ผลต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์ (โสกณและคณะ, 2543)

จากรูปที่ 4.42 ระบบเคมีอิวมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์น้อยสุด ทำให้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลภาไนซ์น้อยด้วยเช่นกัน

4.3.1.8 ค่าพลังงานกราดตื้น

ตารางที่ 4.10 ค่าพลังงานกราดตื้นของยางเอสบีอาร์-1502 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110- 180 องศาเซลเซียส

Vulcanization System	Activation Energy (Ea), kJ/mol
CV	45.66
Semi-EV	51.29
EV	53.14
S-donor	50.62
Peroxide	76.96

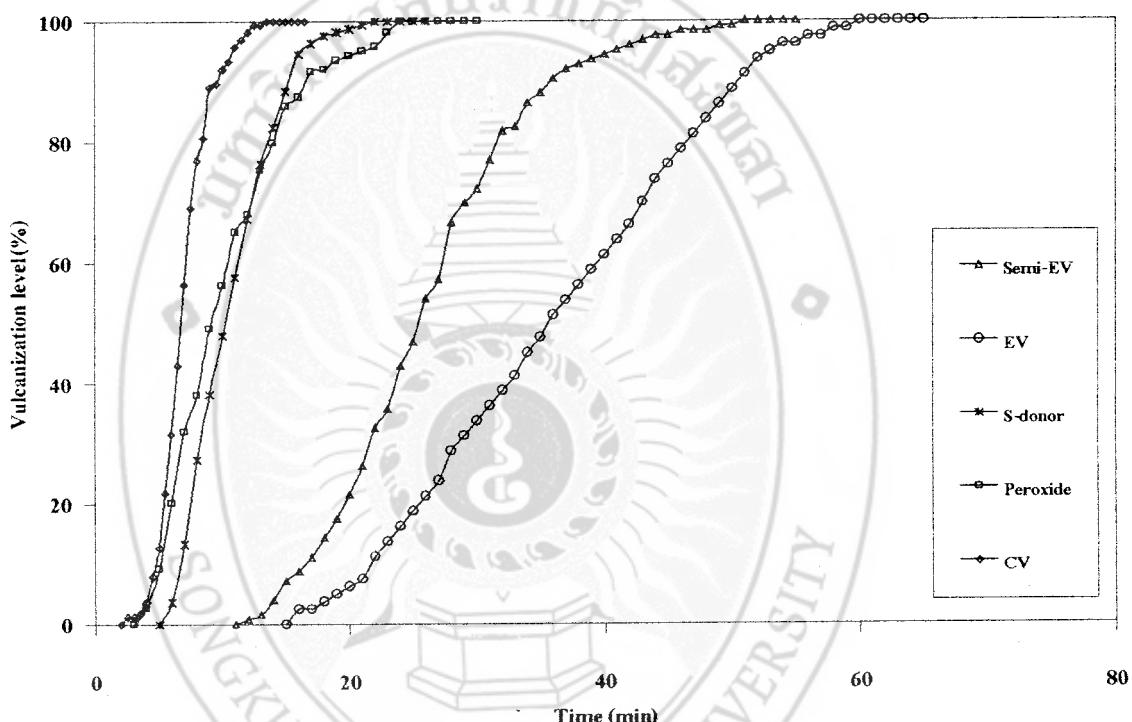


รูปที่ 4.44 พลังงานกราดตื้นของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.44 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสบีอาร์ ที่ทำการทดสอบโดยการประนีประนอมการวัลคาในชั้ห้อง 5 ระบบ พบว่าระบบเปอร์ออกไซด์มีพลังงานกระตุ้นสูงแต่ปฏิกิริยาเกิดได้น้อย ในขณะที่ระบบกำมะถันปกติมีพลังงานกระตุ้นต่ำแต่ปฏิกิริยาเกิดได้มาก (กฤษณา, 2519)

4.3.1.9 ระดับการวัลคาในชั้ห้อง

ระดับการวัลคาในชั้ห้องของยางเอสบีอาร์ จะนำระดับการวัลคาในชั้ห้องในระบบวัลคาในชั้ห้อง ๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.45 ระดับการวัลคาในชั้ห้องของยางเอสบีอาร์ ในระบบวัลคาในชั้ห้อง ๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

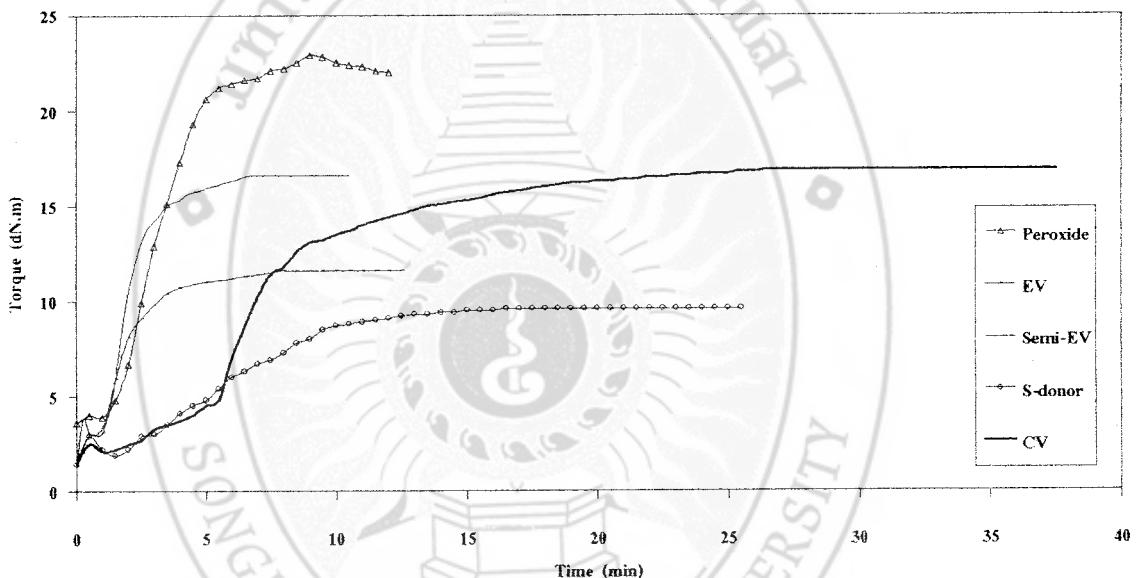
จากรูปพบว่าระดับการวัลคาในชั้ห้องของยางที่วัลคาในชั้ห้องเปอร์ออกไซด์มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ ระบบกำมะถันปกติ , ระบบสารให้กำมะถัน, ระบบเซนิอีวี และ ระบบอีวี ตามลำดับ

จากผลการทดลองค่าดัชนีความเร็วในการวัดค่าไนซ์ระบบที่มีอิฐห้องน้ำอยู่ในห้องน้ำ แสดงค่าคงที่ปั๊กกริยาการวัดค่าไนซ์ที่น้อยด้วย จึงทำให้ระดับการวัดค่าไนซ์นิ่ามีน้อยด้วย และระบบเปอร์ออกไซด์จะมีระยะเวลาในการแปรรูปสั้นลงทำให้ระดับการวัดค่าไนซ์นิ่ามาก

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบการวัดค่าไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัดค่าไนซ์ของยางในไตรล์-1031

4.3.2.1 ลักษณะการวัดค่าไนซ์

ทำการทดสอบลักษณะการวัดค่าไนซ์ของยางในไตรล์-1031 ในระบบวัดค่าไนซ์ทั้ง 5 ระบบทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูป

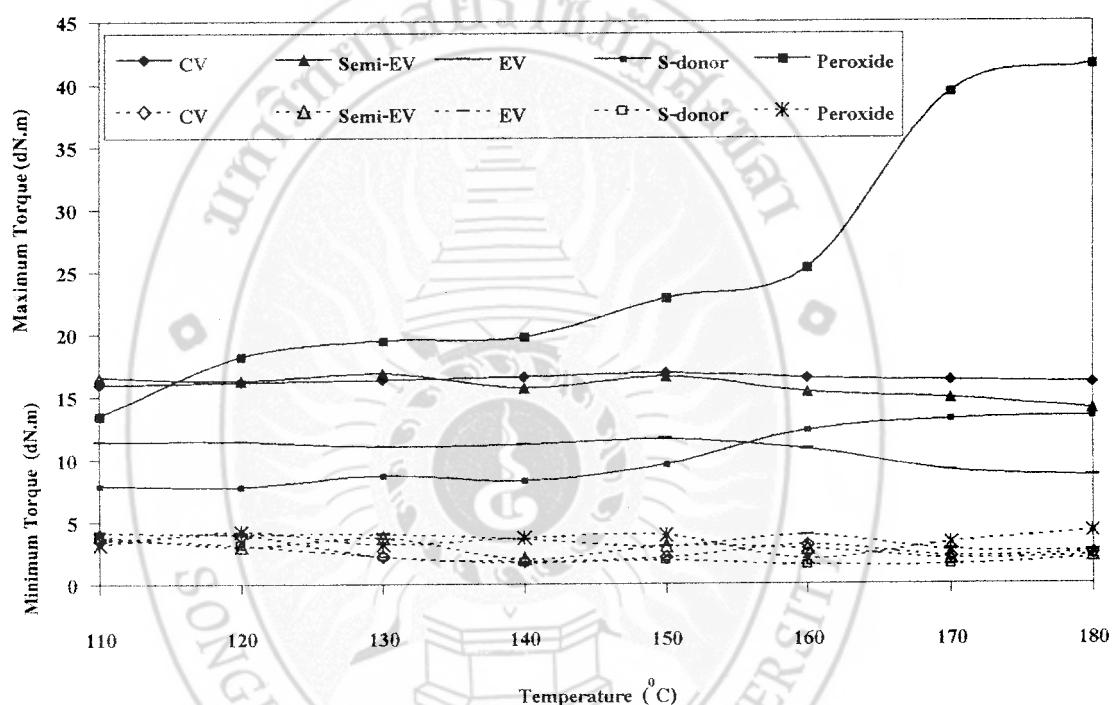


รูปที่ 4.46 ลักษณะการวัดค่าไนซ์ของยางในไตรล์ในระบบวัดค่าไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.46 ยางในไตรล์ ระบบเคมีอิวี โดยระบบนี้จะใช้กำมะถันและสารตัวเร่งรักษาด้วย ระหว่างระบบกำมะถันปกติและระบบอิวี ผลคือ ยางที่วัดค่าไนซ์ในระบบเคมีอิวีจะวัดค่าไนซ์เร็วกว่า ระบบกำมะถันปกติ เนื่องจากระบบเคมีอิวีจะมีปริมาณสารตัวเร่งมากกว่าชั้นสารตัวเร่งมีผลทำให้การวัดค่าไนซ์เกิดเร็วขึ้น ในระบบอิวี ซึ่งระบบนี้จะใช้กำมะถันปริมาณน้อยและใช้ปริมาณสารตัวเร่งมาก ทำให้การใช้กำมะถันเชื่อมโยงแต่ละพื้นที่มีประสิทธิภาพมาก แต่ละพื้นที่เชื่อมโยง จะมีกำมะถันอยู่

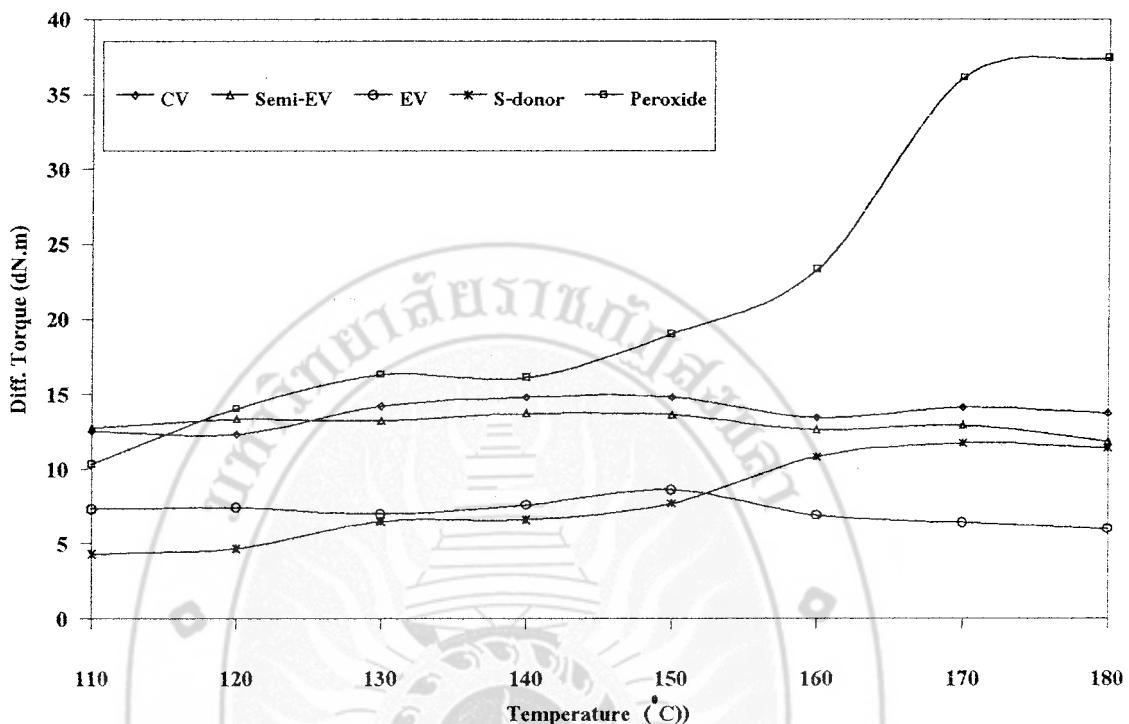
เพียง 1 หรือ 2 อะตอมเท่านั้น การที่ใช้สารตัวเร่งปริมาณมากทำให้การวัลภาไนซ์เกิดเร็วกว่าระบบชนิดอิฐ และระบบกำมะถันบ่อกดิ ระบบสารให้กำมะถันในที่นี้จะใช้ TMTD เป็นสารให้กำมะถันเวลาในการวัลภาไนซ์จะช้า ระบบเปอร์ออกไซด์ เวลาในการสุกของยางก็จะช้า ค่าแรงบิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดหนึ่งค่าแรงบิดก็จะคงลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน

4.3.2.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด



รูปที่ 4.47 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางในไตรล์ ในระบบวัลภาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

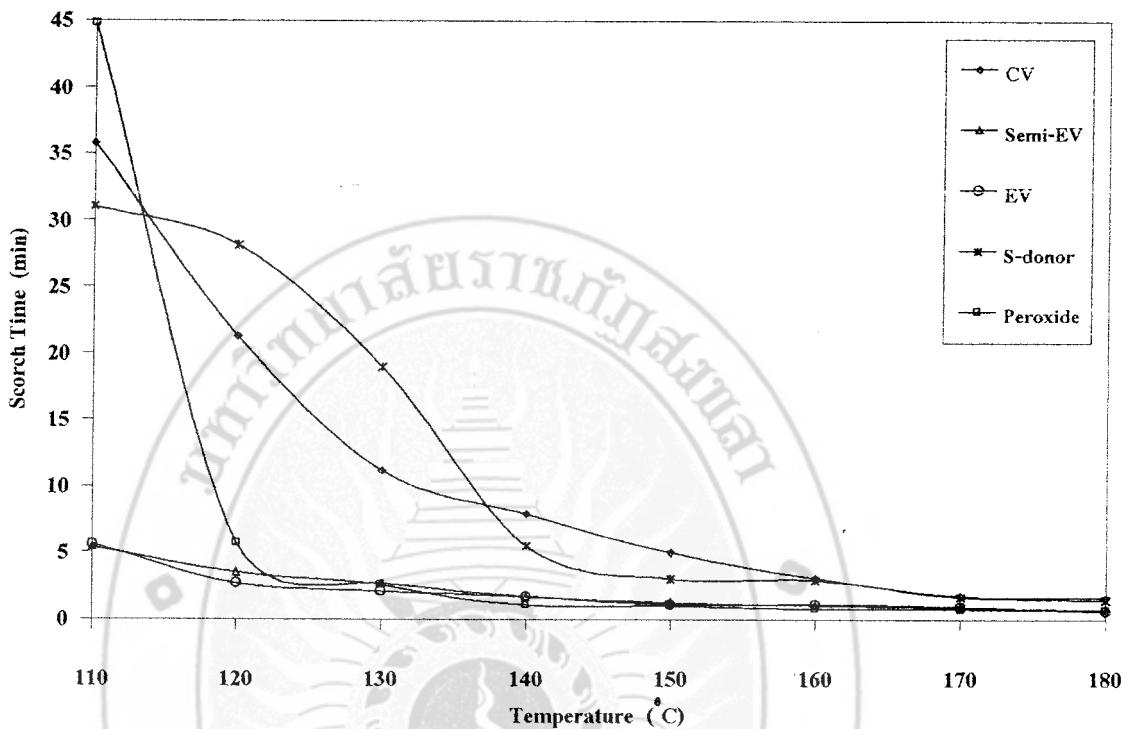
4.3.2.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดกับค่าแรงบิดสูงสุด



รูปที่ 4.48 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางในไตรล์ในระบบวัลภาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.47 ลักษณะของรูปป驴ว่ายางที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบเบอร์ออกไซด์มีค่าแรงบิดสูงสุด สูงที่สุด และเพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รองลงมา กีอิ ระบบกำมะถันปกติ, ระบบเซนิอีวี, ระบบ อีวี และระบบสารให้กำมะถัน ส่วนผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดระบบเบอร์ ออกไซด์มีค่าสูงสุด

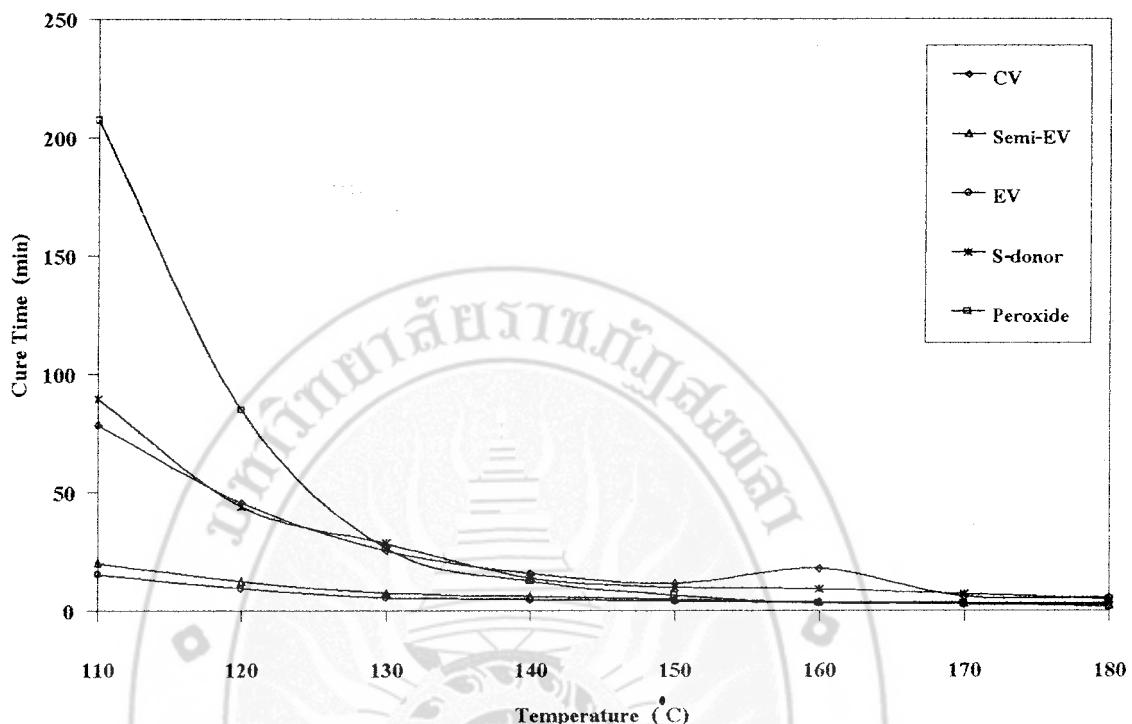
4.3.2.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้



รูปที่ 4.49 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางในไตรล์ ในระบบวัลภาในช์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.49 พนว่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางที่วัลภาในช์ด้วยระบบเซนอีวีสั้นที่สุด รองลงมา กีอ ระบบอีวี, ระบบเปอร์ออกไซด์, ระบบกำมะถันปกติ และระบบสารให้กำมะถัน ตามลำดับ ในช่วงอุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส ระบบเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลงมากอย่างชัดเจน ส่วนระบบสารให้กำมะถัน ในช่วงอุณหภูมิ 110-140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวและจะสั้นลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

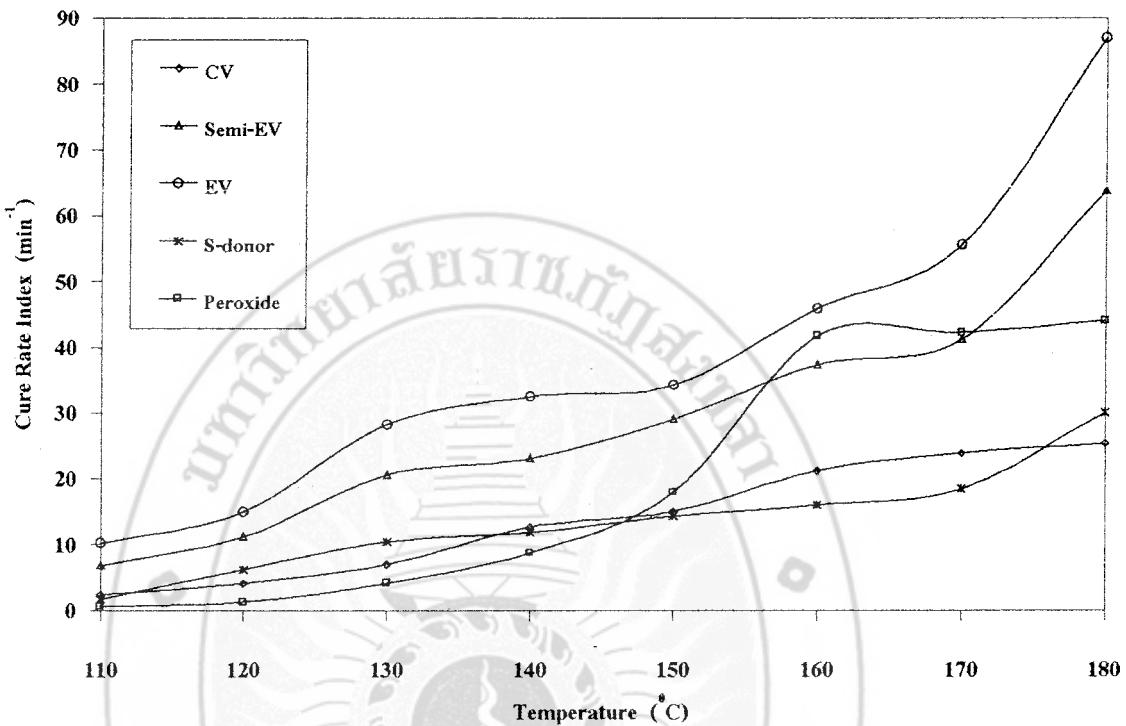
4.3.2.5 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์



รูปที่ 4.50 ระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางในไตรล์ในระบบวัลภาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟพบว่าระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบอีวีสันที่สุดรองลงมา คือ ระบบเซมิอีวี ระบบกำมะถันปกติ ระบบสารให้กำมะถัน และระบบเปลอร์ออกไซด์พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นระยะเวลาในการวัลภาไนซ์ของยางทุกระบบจะมีค่าน้อยลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะระบบเปลอร์ออกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการวัลภาไนซ์จะลดลงมาก

4.3.2.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์



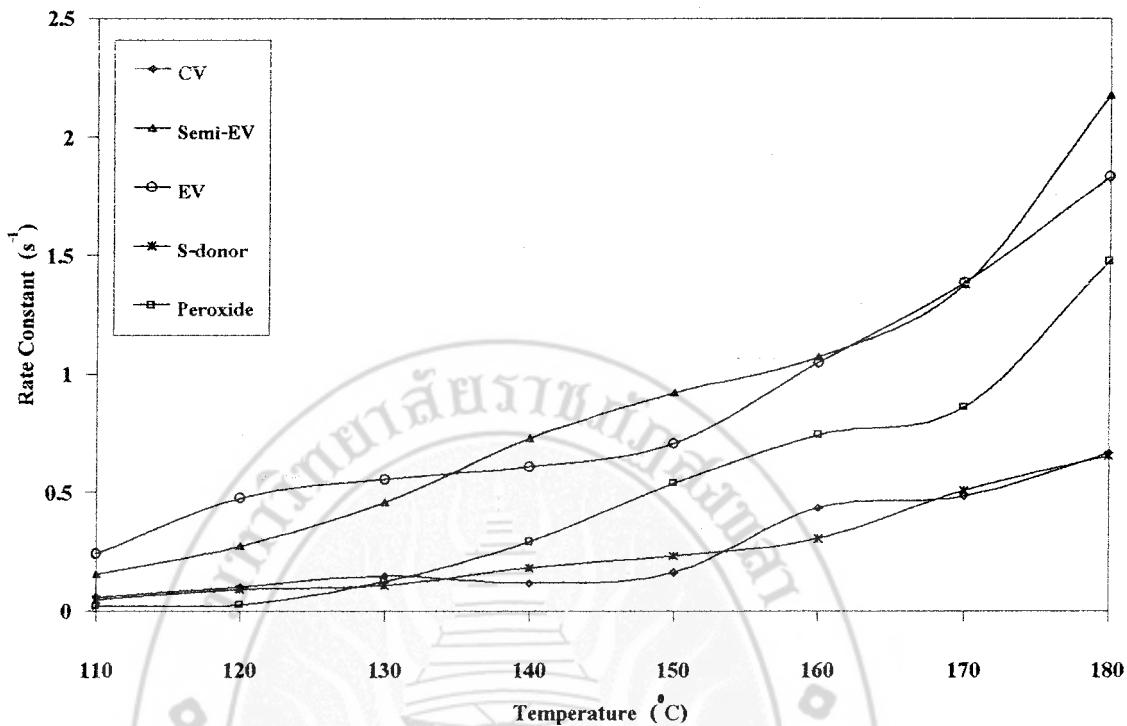
รูปที่ 4.51 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางในไตรล์ในระบบวัลภาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางที่วัลภาไนซ์ในระบบเบอร์ออกไซด์ในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียส จะต่ำ แต่พอในช่วงอุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส จะสูง ในขณะที่ระบบอิวี และระบบเซมิอิวีมีค่าสูงและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนระบบสารให้กำมะถัน และระบบกำมะถันปกติ จะมีค่าต่ำกว่า 2 ระบบแรก

4.3.2.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางในไตรล์-1031 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Rate constant (k), s ⁻¹				
	CV	Semi-EV	EV	S-donor	Peroxide
110	0.0586	0.1540	0.2412	0.0479	0.0194
120	0.1012	0.2725	0.4759	0.0901	0.0267
130	0.1479	0.4593	0.5566	0.1090	0.1247
140	0.1169	0.7282	0.6083	0.1829	0.2918
150	0.1619	0.9194	0.7078	0.2318	0.5392
160	0.4350	1.0720	1.0477	0.3056	0.7430
170	0.4855	1.3778	1.3863	0.4054	0.8606
180	0.6663	2.1747	1.8326	0.6539	1.4755



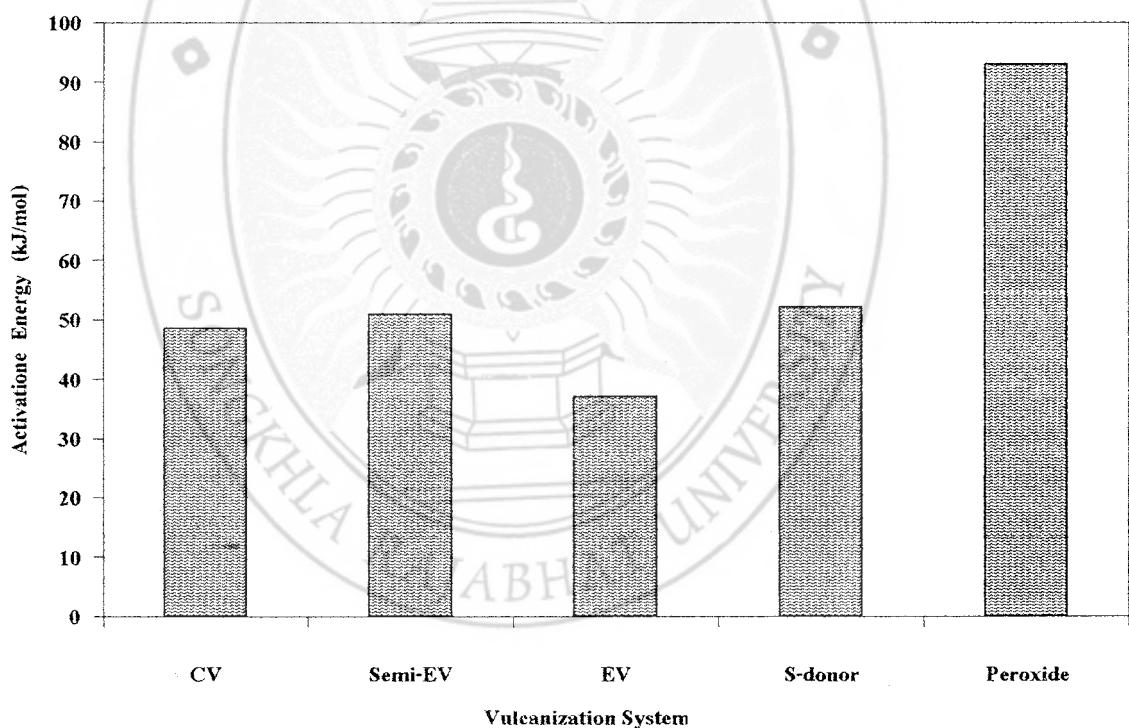
รูปที่ 4.52 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางในไตรอลในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟพบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมนั้นคือจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยาง NBR ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีค่ามากสุด รองลงมาคือระบบแซมบิวี ระบบบิวี และน้อยที่สุดคือระบบกำมะถันปกติที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง เนื่องจากเมื่อเกิดการวัลคาไนซ์ช้าก็จะทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ต่ำลง ด้วย และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการวัลคาไนซ์จะเกิดขึ้นไดเร็ว ทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น เช่นกัน สังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น MBT จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าระบบอื่น เนื่องจากปฏิกิริยาของสารตัวเร่งชนิดนี้จะเกิดขึ้นช้า

4.3.2.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.12 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางในไตรล์-1031 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

Vulcanization System	Activation energy (Ea), kJ/mol
CV	50.46
Semi-EV	50.86
EV	37.09
S-donor	50.16
Peroxide	93.08

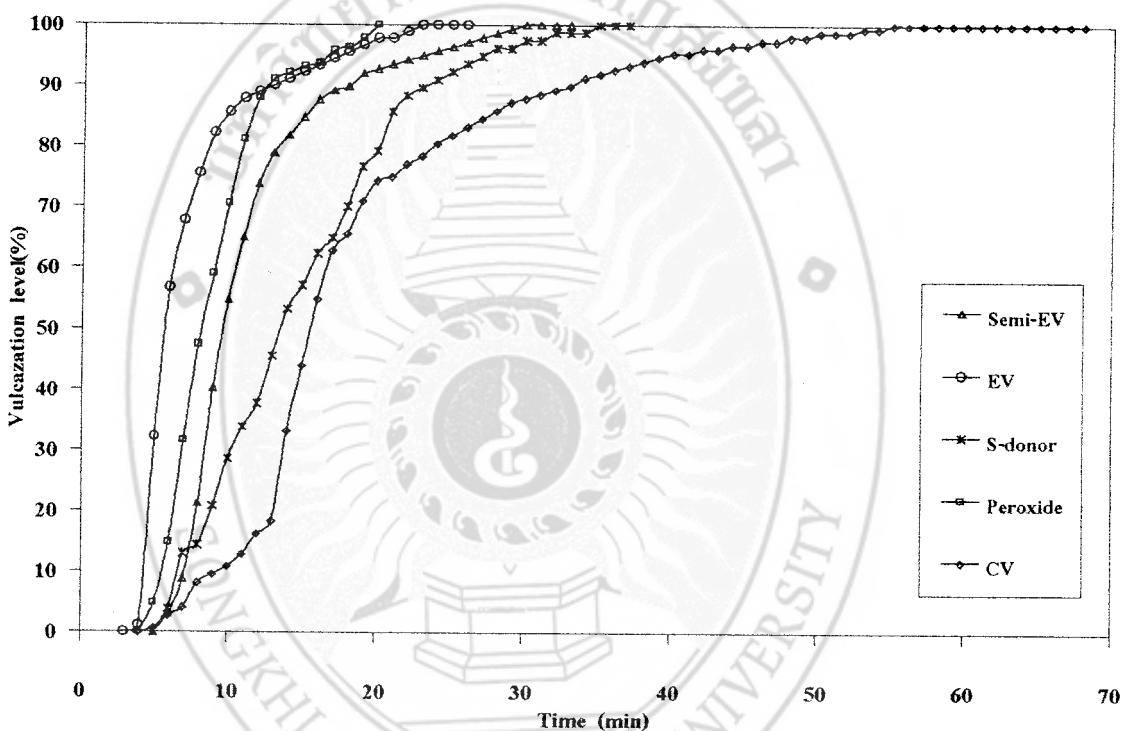


รูปที่ 4.53 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางในไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ ซึ่งในระบบกำมะถันปักดิจะทำการแพร่ชนิดของสารตัวเร่ง 3 ชนิด สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ เปอร์ออกไซด์ > ระบบเซนอีวี > ระบบกำมะถันปักดิ > ระบบสารให้กำมะถัน > ระบบอีวี

4.3.2.9 ระดับการวัลคาไนซ์

ระดับการวัลคาไนซ์ของยางในไตรล์ จะนำระดับการวัลคาไนซ์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



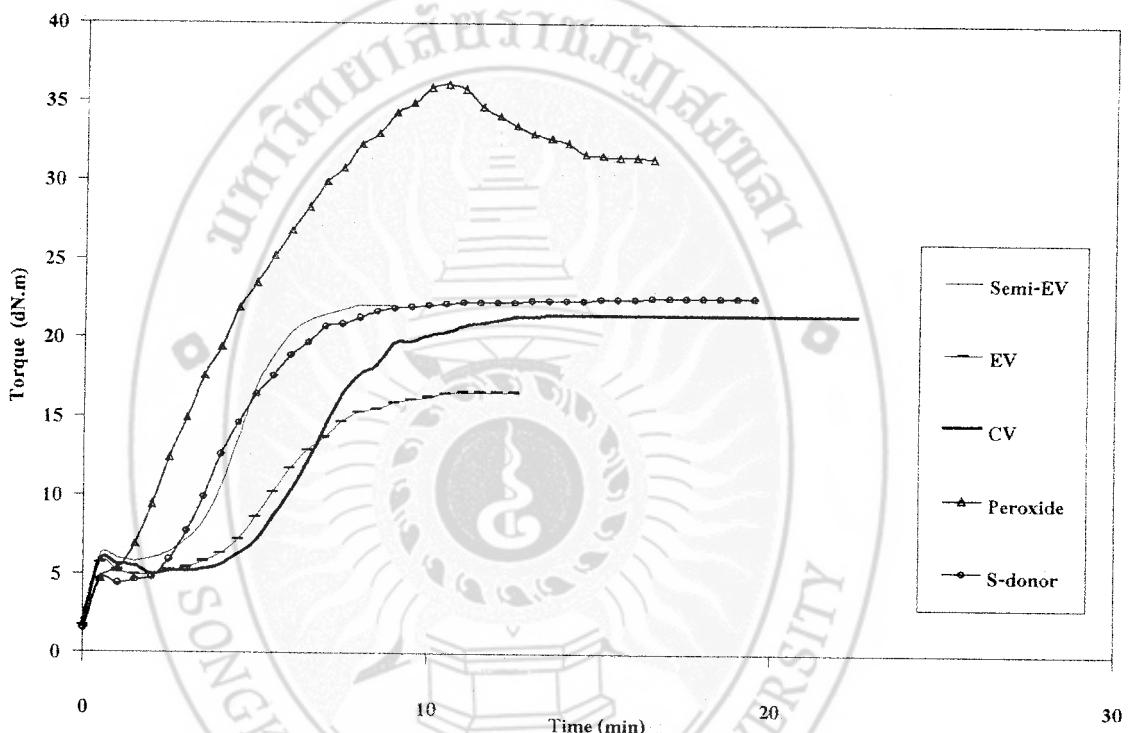
รูปที่ 4.54 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางในไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าระดับการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวีเร็วที่สุด รองลงมาคือระบบเปอร์ออกไซด์, ระบบกำมะถันปักดิ, ระบบเซนอีวี และระบบสารให้กำมะถัน ซึ่งระบบกำมะถันปักดิในช่วงแรกมีระดับการวัลคาไนซ์ที่เร็ว แต่หลังจาก 70 % จะมีระดับการวัลคาไนซ์ช้าลง

4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบการวัลค่าไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลค่าไนซ์ของยางบีอาร์-0150

4.3.3.1 ลักษณะการวัลค่าไนซ์

ทดสอบค่าแรงบิดของยางบีอาร์-0150 ในระบบวัลค่าไนซ์ต่าง ๆ โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป

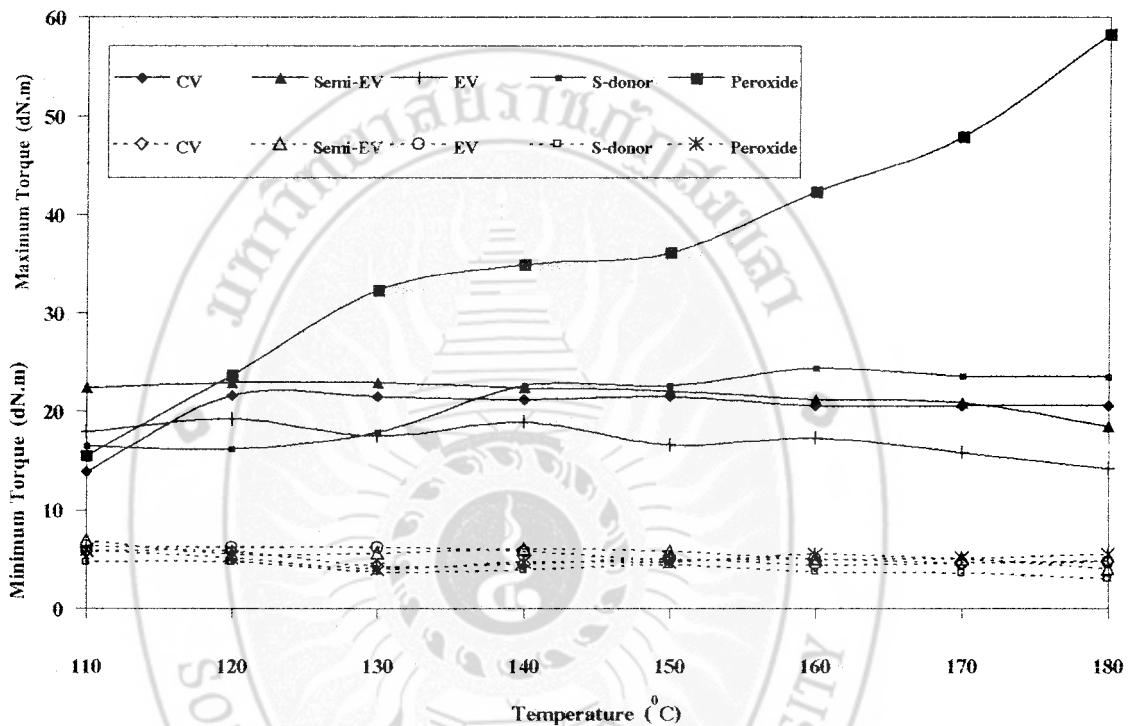


รูปที่ 4.55 ลักษณะการวัลค่าไนซ์ของยางบีอาร์ในระบบวัลค่าไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.55 ยางบีอาร์ระบบเปอร์ออกไซด์วัลค่าไนซ์เร็วกว่าระบบสารให้กำเนดลัน ค่าแรงบิดของยางชนิดนี้ในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าแรงบิดสูงกว่ายางชนิดอื่น ๆ มาก ระบบกำเนดลันปกติจะวัลค่าไนซ์ช้ากว่าระบบอื่น ๆ มาก

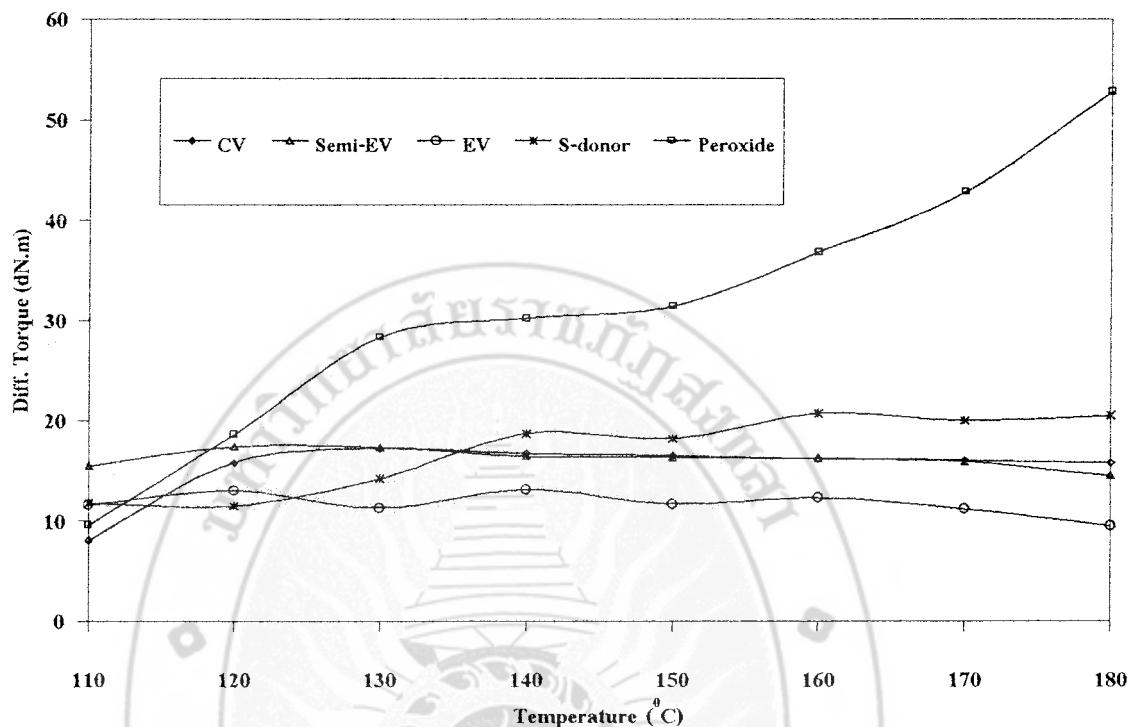
4.3.3.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์โดยทำการทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบดังรูป



รูปที่ 4.56 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางนิลาร์ในระบบวัสดุค้านซึ่งต่างๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

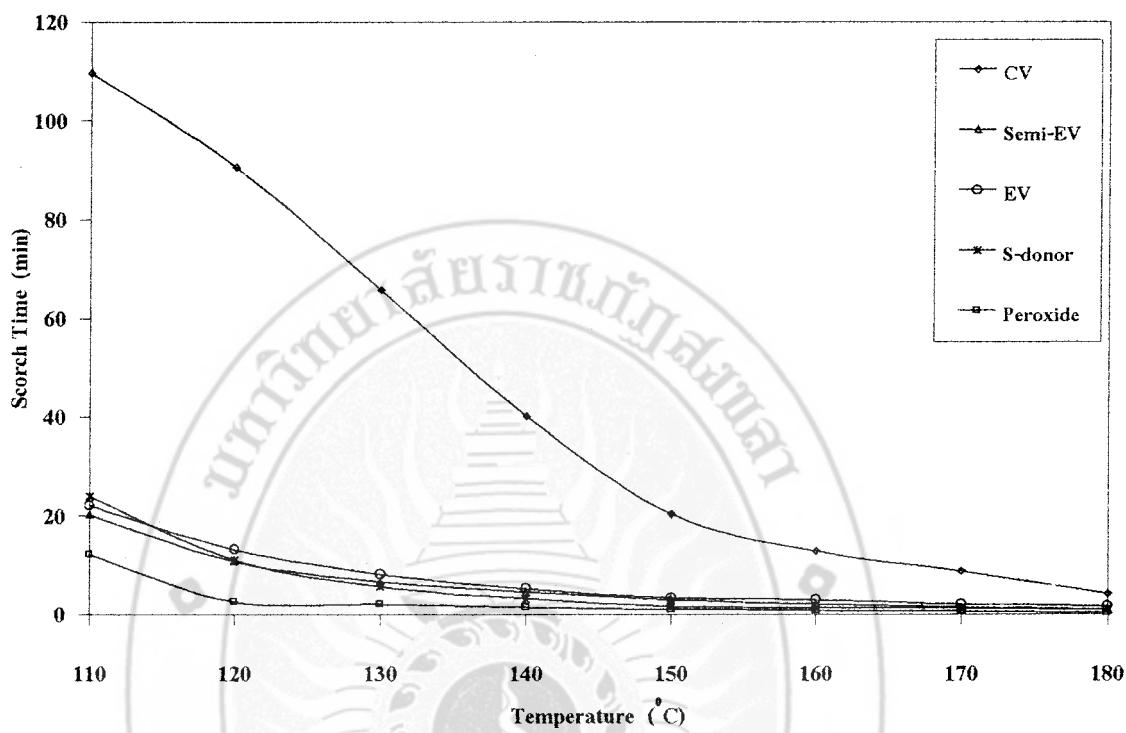
4.3.3.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด



รูปที่ 4.57 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางบีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.56 ลักษณะของรูปผืนยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์มีค่าแรงบิดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมา คือ ระบบเซมิอีวี, ระบบกำเนะถันปกติ, ระบบสารให้กำมะถัน และระบบอีวี ตามลำดับ และในระบบเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสมีค่าแรงบิดสูงสุดต่ำที่สุด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็มีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุดทุกระบบทามที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก และรูปที่ 4.57 ก็อธิบายได้ชัดเจนกว่านั้น

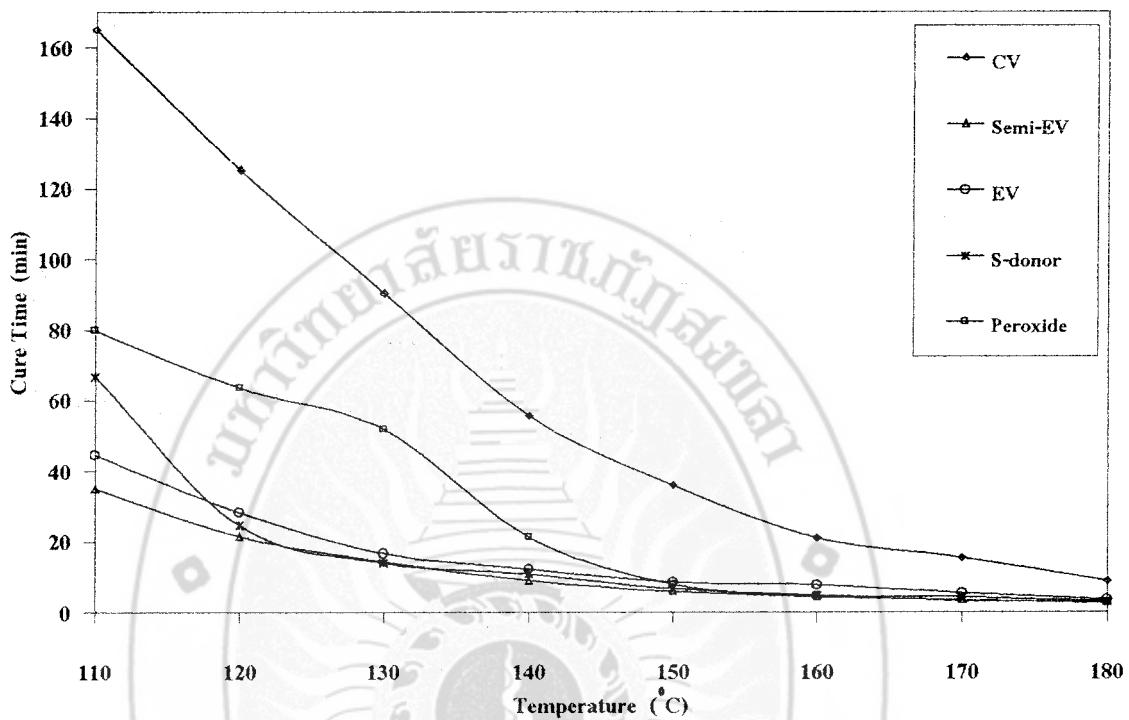
4.3.3.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้



รูปที่ 4.58 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางบีอาร์ในระบบวัลคานิซึ่ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของรูปพนวยยางที่วัลคานิซึด้วยระบบเปลอร์อกไชค์สันที่สุด รองลงมา คือ ระบบสารให้กำมะถัน, ระบบเซมิอีวี, ระบบอีวี และระบบกำมะถันปกติ ตามลำดับ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นระยะเวลาที่สามารถแปรรูปของยางทุกระบบทะเร็วขึ้น โดยเฉพาะระบบเปลอร์อกไชค์ ในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียส จะลดลงอย่างรวดเร็ว มากกว่าระบบอื่น

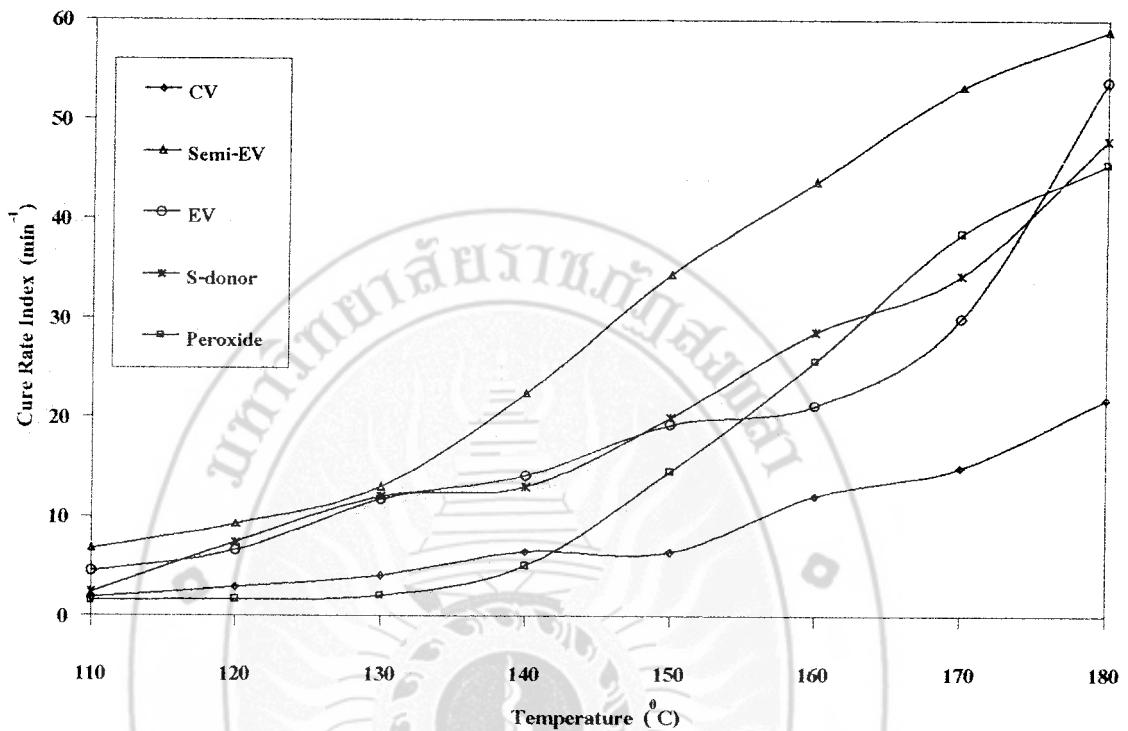
4.3.3.5 ระยะเวลาในการวัลค่าไนซ์



รูปที่ 4.59 ระยะเวลาในการวัลค่าไนซ์ของยางบีอาร์ ในระบบวัลค่าไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.59 ลักษณะของรูปเป็นว่าระยะเวลาในการวัลค่าไนซ์ของยางที่วัลค่าไนซ์ด้วยระบบเซมิ อีวีสั้นสุด รองลงมา กีอ ระบบสารให้กำมะถัน, ระบบอีวี, ระบบเปอร์ออกไซด์ และระบบกำมะถัน ปกติ

4.3.3.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์



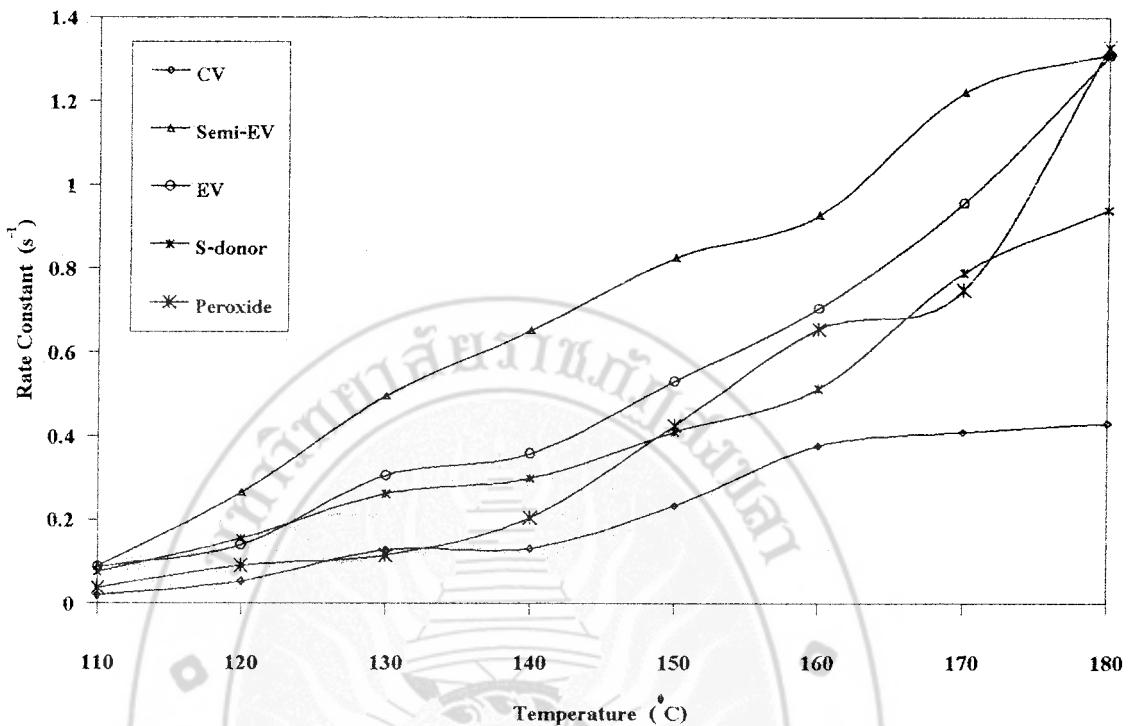
รูปที่ 4.60 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางบีอาร์ในระบบวัลภาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.60 จากรูปปัพบ้วค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์ของยางที่วัลภาไนซ์ด้วยระบบเช้มิอิว จะมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลภาไนซ์มาก แต่ในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเปอร์ออกไซด์จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงในการแตกตัว

4.3.3.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลค่าไนซ์

ตารางที่ 4.13 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลค่าไนซ์ ของยางบีอาร์-0150 ในระบบวัลค่าไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Rate constant (k), s ⁻¹				
	CV	Semi-EV	EV	S-donor	Peroxide
110	0.0194	0.0876	0.0874	0.0756	0.0377
120	0.0536	0.2640	0.1399	0.1553	0.0901
130	0.1272	0.4956	0.3049	0.2612	0.1157
140	0.1316	0.6511	0.3582	0.2986	0.2046
150	0.2332	0.8255	0.5312	0.4096	0.4249
160	0.3766	0.9273	0.7051	0.5128	0.6553
170	0.4094	1.2206	0.9565	0.7898	0.7490
180	0.4308	1.3122	1.3072	0.9402	1.3272



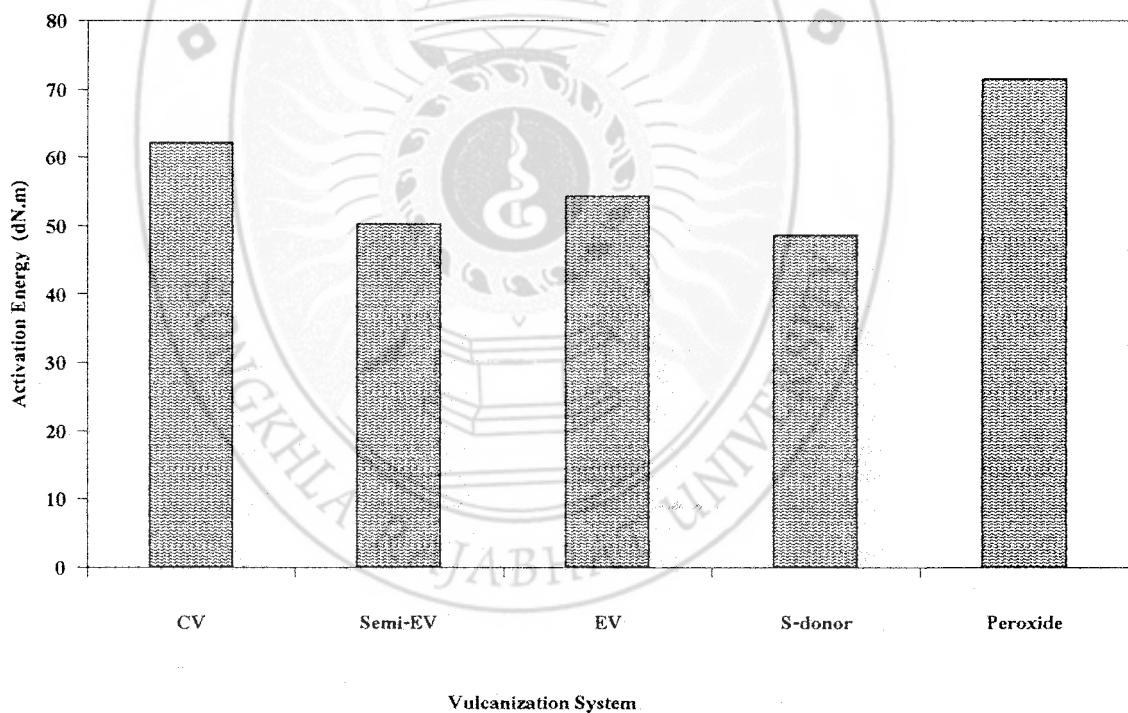
รูปที่ 4.61 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางบีโอาร์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ด้วยระบบการวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ พบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และระบบการวัลคาไนซ์ ซึ่งถ้าหากการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นเร็ว ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็จะมีค่ามากด้วย และพบว่าระบบชนิอิวิจจะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์มากสุด และค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ก็มีค่ามากด้วย

4.3.3.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.14 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางบีอาร์-0150 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

Vulcanization System	Activation energy (Ea), kJ/mol
CV	62.15
Semi-EV	50.19
EV	54.35
S-donor	48.60
Peroxide	71.44

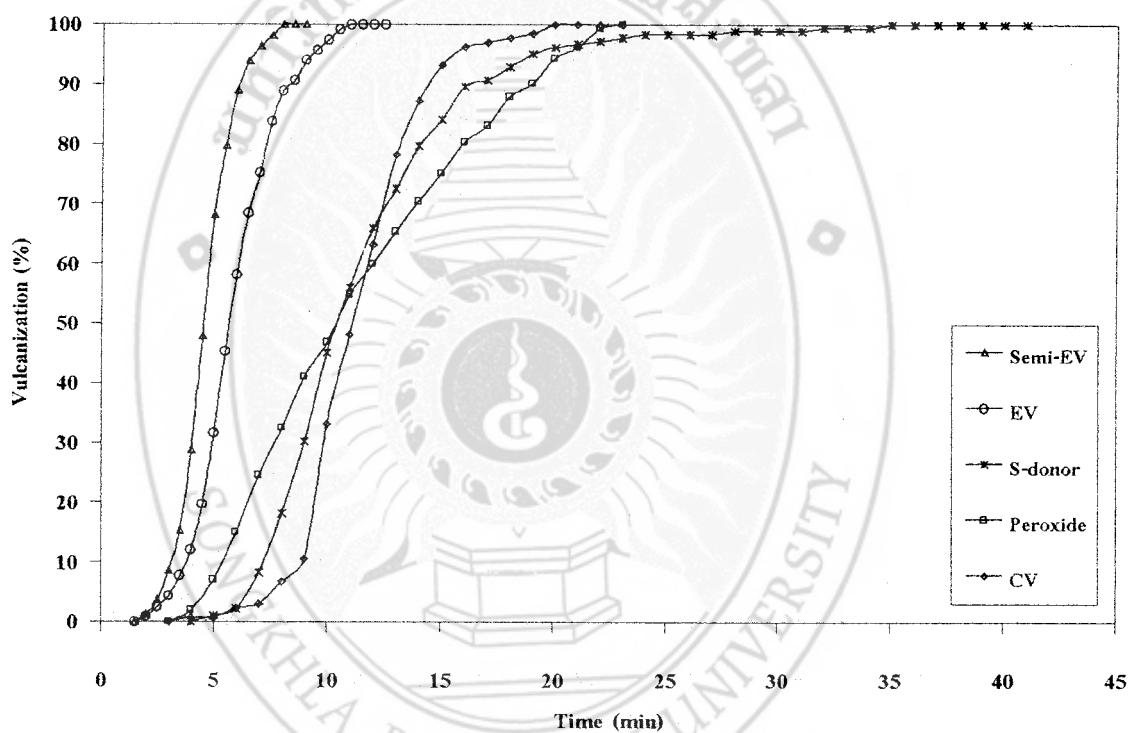


รูปที่ 4.62 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางบีอาร์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าพลังงานกระตุ้นที่วัลคาไนซ์ค่าวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ นำมาคำนวณค่า พลังงานกระตุ้น ผลที่ได้นามແแสดงการเปรียบเทียบ เรียงลำดับได้ดังนี้ ระบบเปอร์ออกไซด์ > ระบบ กำมะถันปกติ > ระบบอีวี > ระบบเซมิอีวี > ระบบสารให้กำมะถัน เมื่อเปรียบเทียบระบบกำมะถันปกติ จะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวที่สุด ทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นมีค่าสูง

4.3.3.9 ระดับการวัลคาไนซ์

ระดับการวัลคาไนซ์ ของยางบีอาร์-0150 จะนำระดับการวัลคาไนซ์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.63 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางบีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของรูปพบว่าระดับการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ค่าวัลคาไนซ์ที่ระบบเซมิอีวีจะเร็วที่สุด รองลงมา คือ ระบบอีวี, ระบบเปอร์ออกไซด์, ระบบสารให้กำมะถัน และระบบกำมะถันปกติ ซึ่ง ระบบนี้จะเริ่มต้นวัลคาไนซ์ช้า จะเห็นว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์และค่าคงที่ปฏิกิริยาการ

วัลภาไนซ์ในระบบเช้มอีวีก็มีค่ามากเช่นเดียวกับระดับการวัลภาไนซ์ ซึ่งจะมีความทันมากกว่าระบบ
วัลภาไนซ์อื่นๆ

