

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

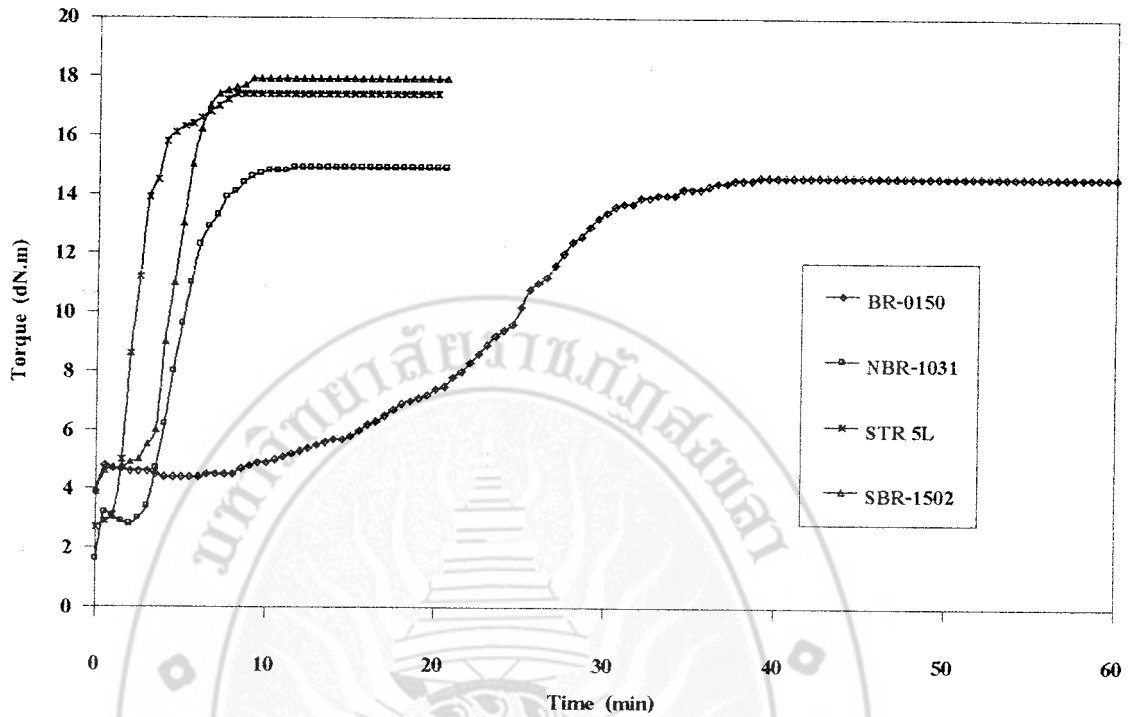
4.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์

การทดสอบคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ ยางเอสบีอาร์-1502 ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ซึ่งใช้ระบบกำมะถันปกติเปรียบเทียบ กับยางธรรมชาติเกรดเอสทีอาร์ 5 แอล โดยใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง ทำการทดสอบด้วยเครื่อง ODR รุ่น GOTECH GT-7070-S2 ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2084-81 ที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 40 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตามวิธีดำเนินการทดลองในหัวข้อ 3.3.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1

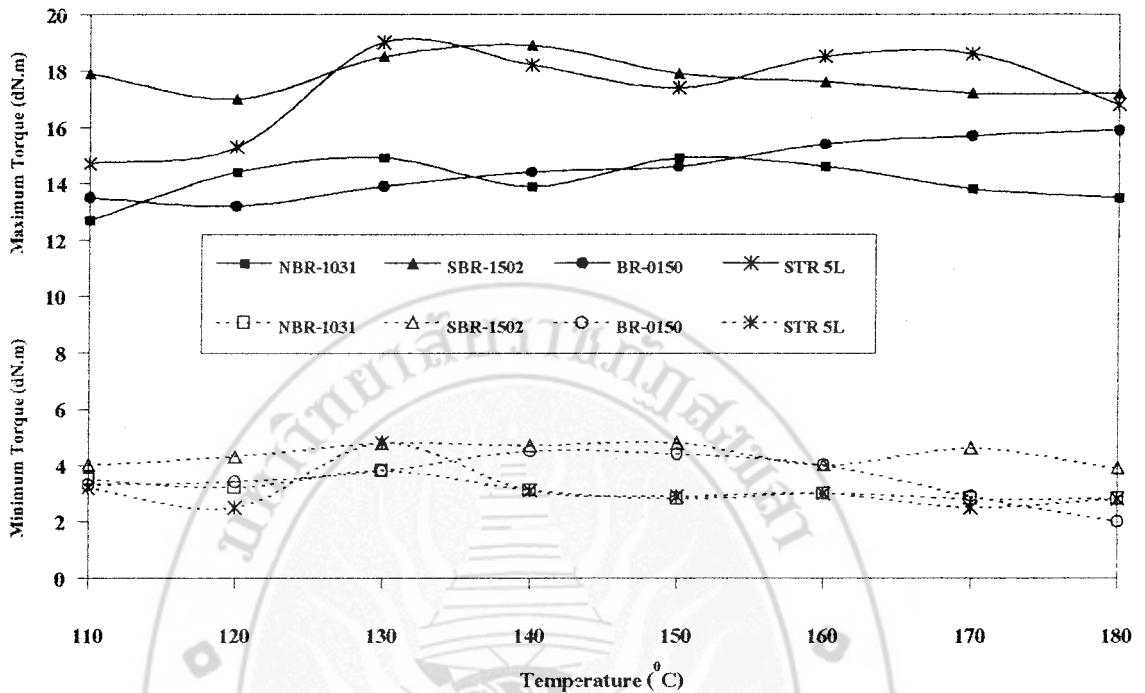
จากรูปที่ 4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ในระบบกำมะถันปกติ ยางเอสทีอาร์ 5 แอล สามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่ายางสังเคราะห์โดยทั่วไป (บุญธรรม, 2530) เนื่องจากยางเอสทีอาร์ 5 แอล มีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ส่วนยางเอสบีอาร์ -1502 มีพันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยาแต่ว่องไวน้อยกว่าพันธะคู่ในยางเอสทีอาร์ 5 แอล ทำให้ยางเอสบีอาร์-1502 วัลคาไนซ์ช้ากว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล ส่วนยางไนไตรล์-1031 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะช้ากว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล และยางเอสบีอาร์-1502 ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง (พรพรรณ, 2540) ส่วนยางบีอาร์-0150 พันธะคู่จะไม่ว่องไว การวัลคาไนซ์จึงช้ากว่ายางชนิดอื่นๆ



รูปที่ 4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

4.1.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ โดยทำการทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดสอบเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.2

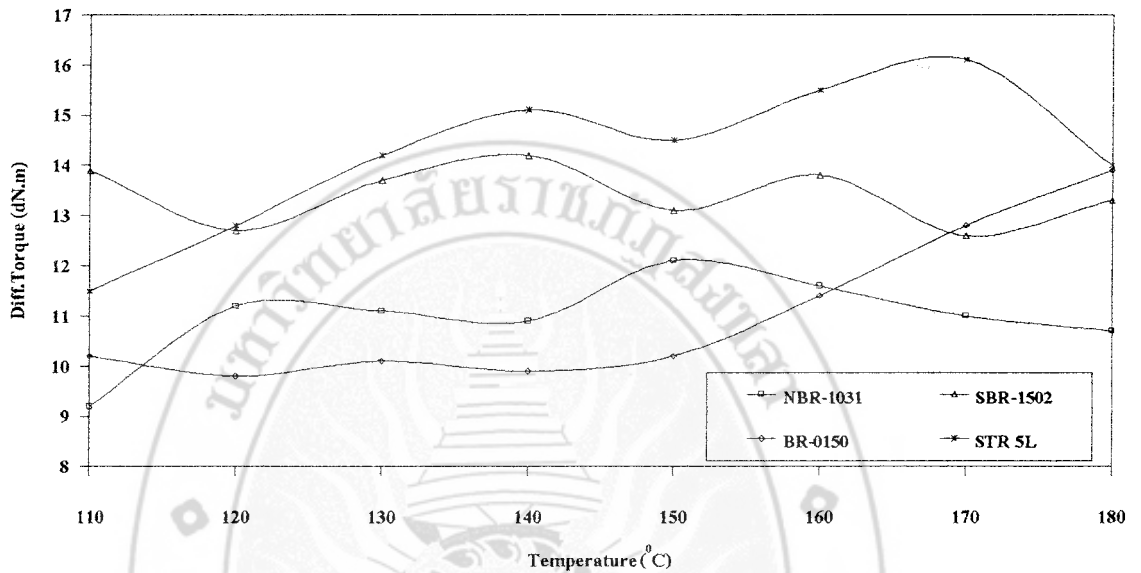


รูปที่ 4.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัดค่าในซีด้วยระบบก้ำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล กับยางเอสบีอาร์-1502 จะมามีค่าสูงใกล้เคียงกัน ส่วนยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 จะมีค่าแรงบิดสูงสุดต่ำกว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล และยางเอสบีอาร์-1502 เพราะยางเอสทีอาร์ 5 แอล มีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขามากกว่า ยางบีอาร์-0150 ทำให้มีความแข็งแรง และมีค่าแรงบิดสูงสุดสูงกว่า ส่วนยางเอสบีอาร์-1502 และยางไนไตรล์-1031 มีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขาเช่นกัน คือ ยางเอสบีอาร์-1502 มีหมู่สไตรีน ซึ่งมีความแข็งแรงทำให้ค่าแรงบิดสูงสุดสูง ส่วนยางไนไตรล์-1031 จะมีหมู่ไนไตรล์ซึ่งสามารถแตกตัวไปเป็นพันธะไฮโดรเจนจะมีความแข็งแรงน้อย และก้ำมะถันไม่ค่อยกระจายในยางไนไตรล์-1031 ทำให้ค่ามอดูลัสและความแข็งแรงต่ำ (พรพรรณ, 2540)

4.1.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดในรูปที่ 4.2 นำมาคำนวณจะได้ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด ได้ผลการทดลองดังรูป

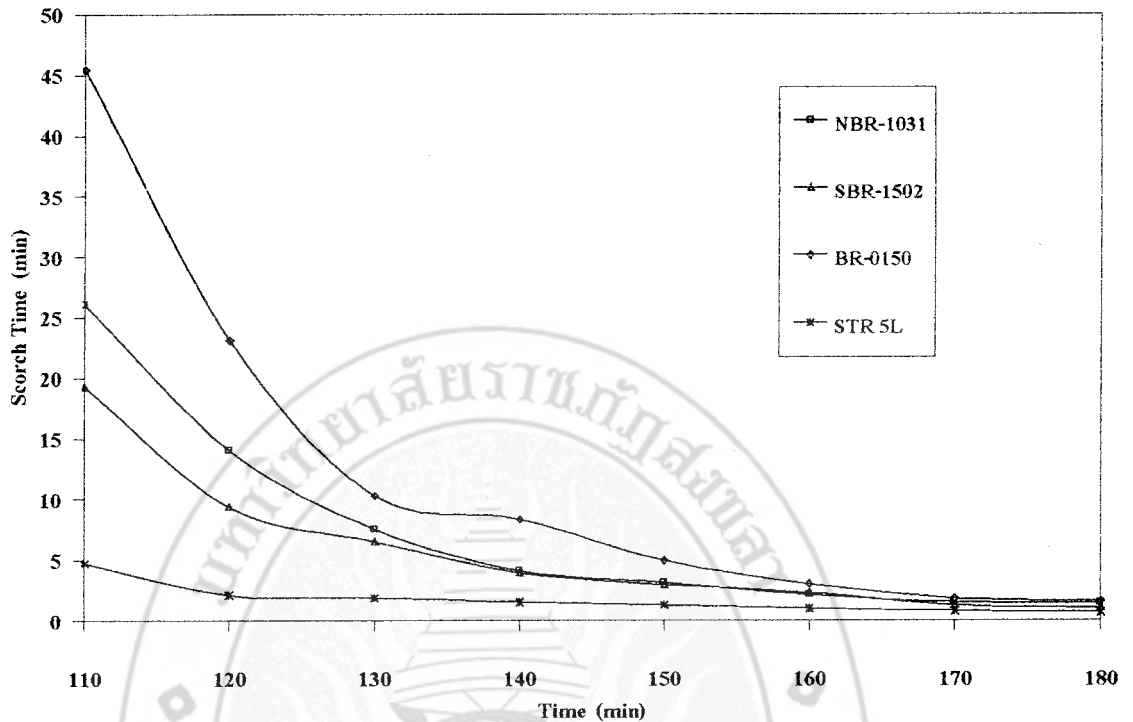


รูปที่ 4.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

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

4.1.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ จะเกิดขึ้นเร็วหรือช้า แตกต่างกันแสดงดังรูป

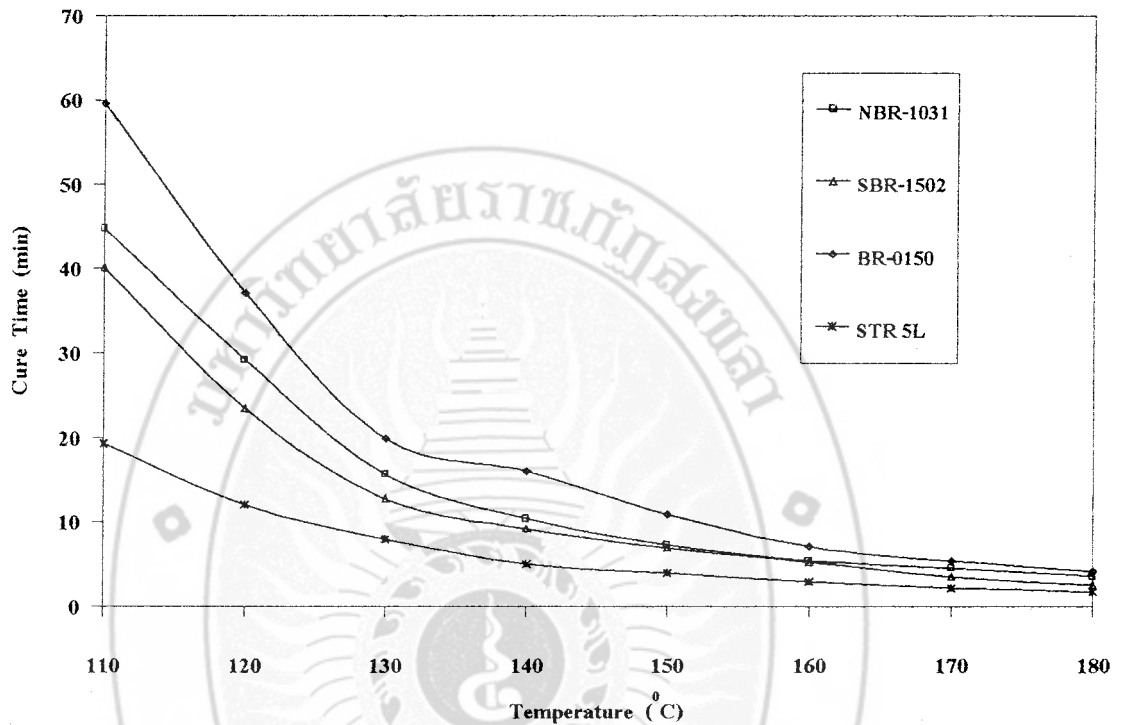


รูปที่ 4.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ที่วัดค่าในชั่วโมงด้วยระบบกัมมันตภาพรังสีทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ชัดเจนว่ายางบีอาร์-0150 มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวที่สุด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากยางบีอาร์-0150 ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาทำให้พันธะเชื่อมโยงในยางเกิดขึ้นได้ช้ากว่ายางชนิดอื่น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเร็วขึ้น ส่วนยางอีก 3 ชนิด จะมีความแตกต่างกันไม่มาก จากกราฟยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้สั้นสุด เนื่องจากยางเอสทีอาร์ 5 แอล มีความว่องไวต่อปฏิกิริยากว่ายางสังเคราะห์ รองลงมาคือ ยางเอสบีอาร์-1502 และยางไนไตรล์-1031 การที่ยางเอสทีอาร์ 5 แอล ว่องไวเนื่องจากมีหมู่ Methyl (CH_3) อยู่ซึ่งเป็นหมู่ที่ให้อิเล็กทรอนิกส์

4.1.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์

ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส จะเห็นความแตกต่างดังรูป

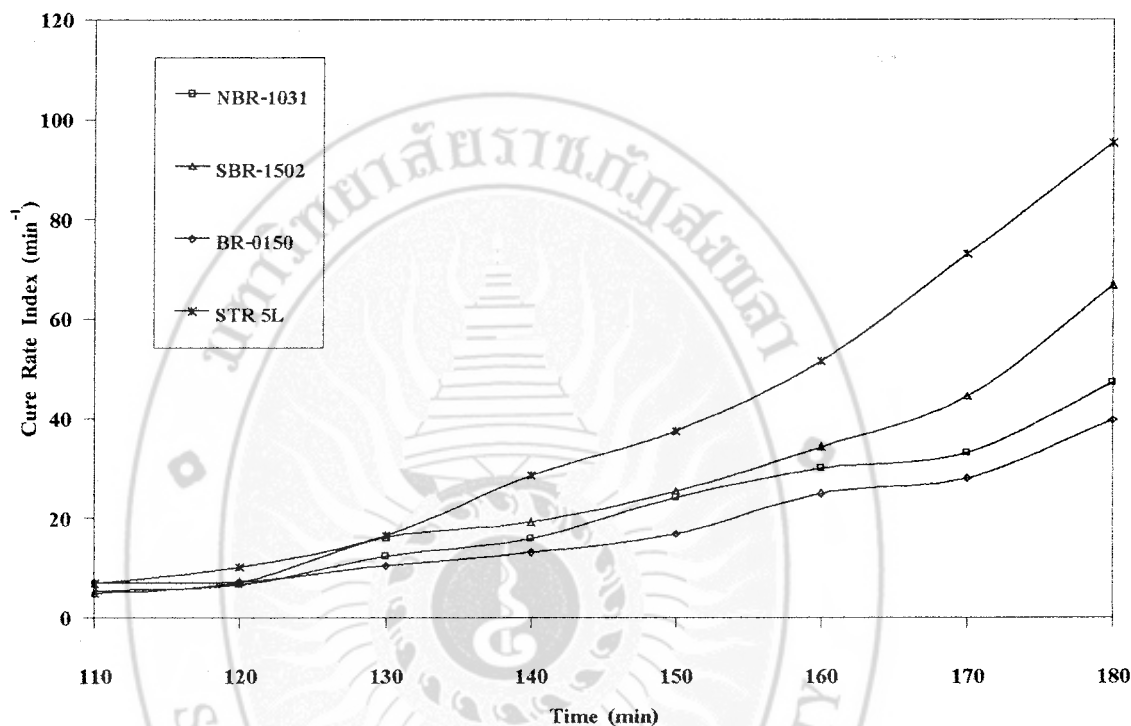


รูปที่ 4.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นว่าระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ กับยางสังเคราะห์ ให้ผลเช่นเดียวกับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ก็จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วยเช่นกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ก็จะสั้นลง ยางบีอาร์-0150 มีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ยาว เนื่องจากยางชนิดนี้จะมีควมอึดตัวใน โมเลกุลมาก พันธะคู่ไม่ว่องไว

4.1.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์

เมื่อทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางแล้วจะได้ค่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์สามารถนำมาคำนวณค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ ซึ่งสามารถบอกประสิทธิภาพในการเกิดพันธะเชื่อมโยงของยางแต่ละชนิดได้ดังรูป



รูปที่ 4.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส

จากกราฟเปรียบเทียบยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มากที่สุด รองลงมาคือ เอสบีอาร์-1502 ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ตามลำดับ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ ถ้าหากผลต่างมีค่าน้อยค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์จะมีค่ามาก และค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.1.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

เมื่อนำค่าแรงบิดที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ มาคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง

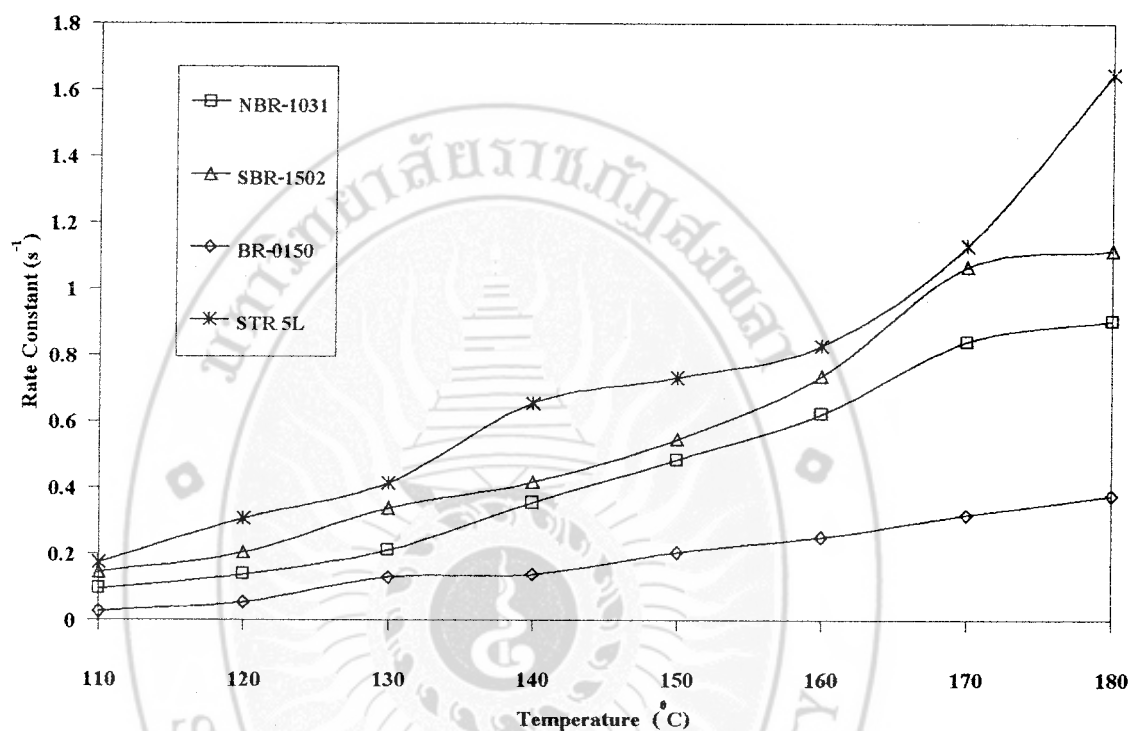
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมะถันปกติ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

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

จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นได้เร็วกว่ายางสังเคราะห์ และค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

จากโครงสร้างของยางเอสบีอาร์-1502 จะคล้ายกับยางเอสทีอาร์ 5 แอล แต่มีพันธะคู่น้อยกว่า ดังนั้นโมเลกุลจึงไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (พรพรรณ, 2540) การใช้งานจึงต้องใช้สารตัวเร่งในปริมาณที่มากกว่าที่ใช้ในยางเอสทีอาร์ 5 แอล แต่ในการทดลองนี้จะใช้ในสารเคมีในปริมาณที่เท่ากัน ทำให้ยางเอสบีอาร์-1502 วัลคาไนซ์ช้ากว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล ดังนั้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์-1502 จึงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับยางเอสทีอาร์ 5 แอล ยางบีอาร์-0150 จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์น้อยกว่ายางชนิดอื่น และค่าจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์จะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และที่อุณหภูมิเดียวกันเมื่อค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มีค่ามากทำให้ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ มีค่ามากขึ้นเช่นกัน



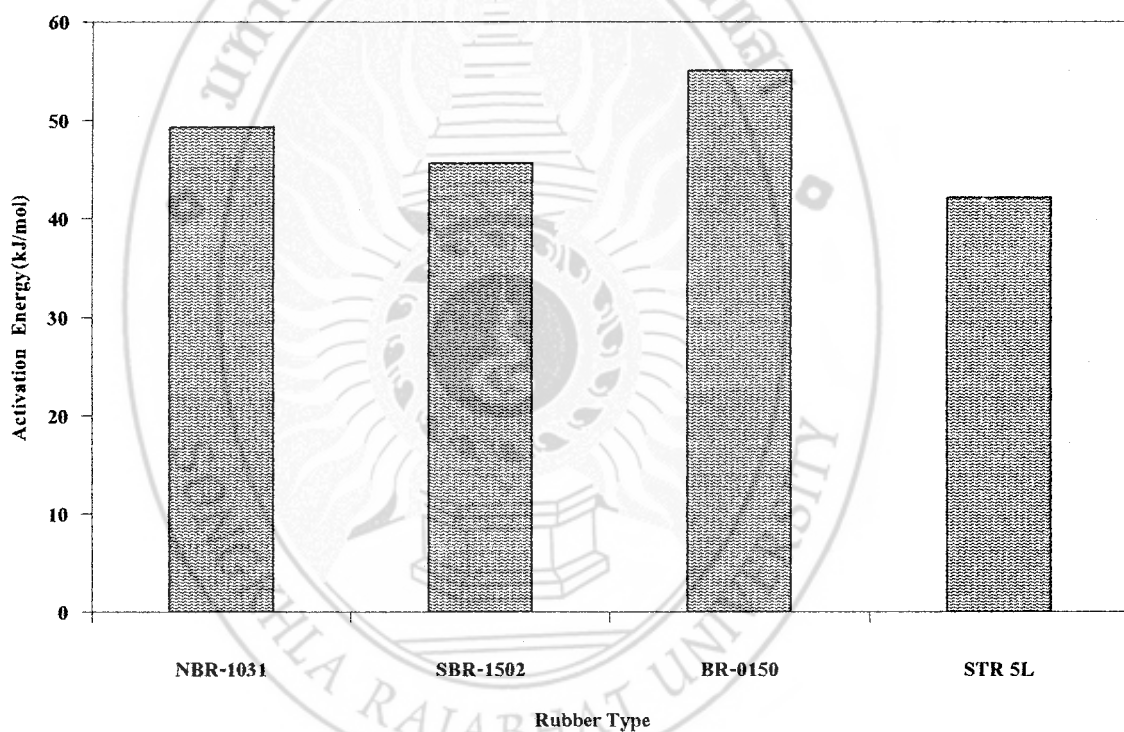
รูปที่ 4.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสทีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบียาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส

4.1.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้นได้จากการคำนวณความชันของกราฟ จะบ่งบอกปฏิกิริยาของยางแต่ละชนิดเทียบกับอุณหภูมิดังตาราง

ตารางที่ 4.2 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสตีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-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



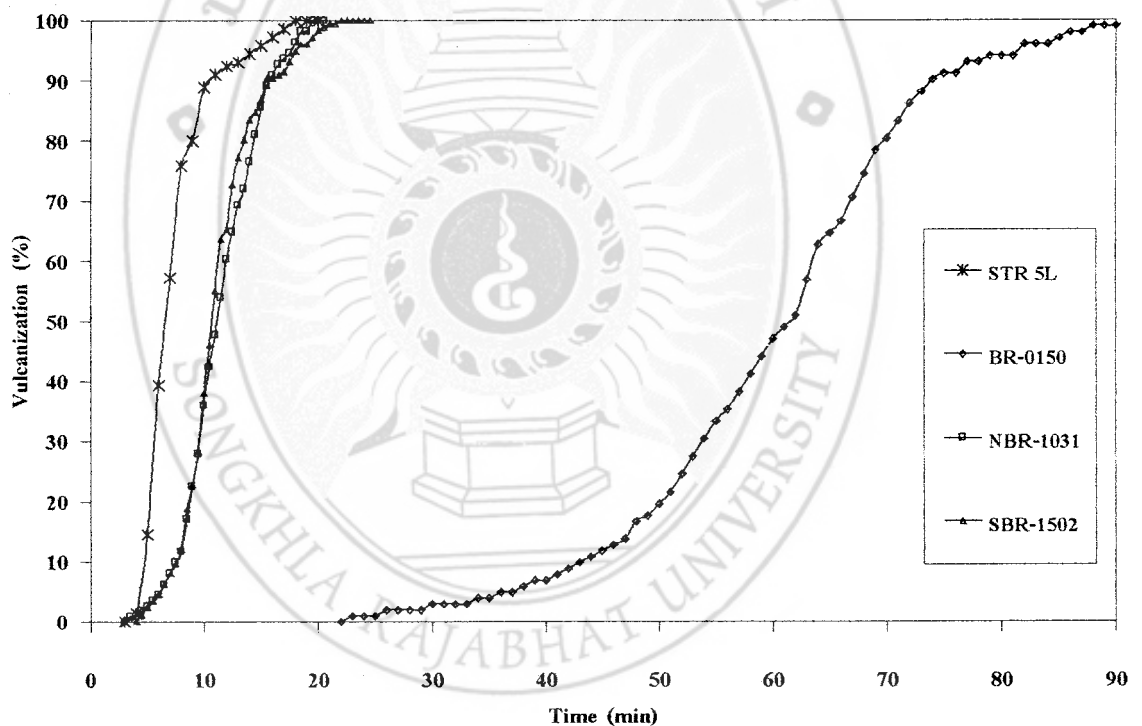
รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสตีอาร์ 5 แอล, ยางเอสบีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และ ยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส

จากกราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานกระตุ้นของยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ พบว่ายางเอสตีอาร์ 5 แอล มีค่าพลังงานกระตุ้นน้อยกว่ายางเอสบีอาร์-1502 ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150

ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ายางเอสปีอาร์-1502 กับยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีค่าพลังงานกระตุ้นน้อย เนื่องจากว่ายางทั้งสองชนิดนี้จะมีพันธะคู่และโมเลกุลที่คล้ายคลึงกัน (พรพรรณ, 2540) สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยระบบกำมะถันปกติเช่นเดียวกันส่วนยางบีอาร์-0152 และยางไนไตรล์-1031 จะมีค่าพลังงานกระตุ้นสูง การที่พลังงานกระตุ้นมีค่าสูงแสดงว่าปฏิกิริยาเกิดช้า แต่การเพิ่มอุณหภูมิสามารถช่วยให้อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มเร็วได้ (กฤษณา, 2519) เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาว ทำให้พลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาสูง เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดยากจะต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูง

4.1.9 ระดับการวัลคาไนซ์

การเปรียบเทียบระดับการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ จะนำระดับการวัลคาไนซ์ของยางแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.9 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางเอสทีอาร์ 5 แอล, ยางเอสปีอาร์-1502, ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ ด้วยระบบกำมะถันปกติ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากกราฟ พบว่ายางเอสทีอาร์ 5 แอล มีระดับการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด รองลงมาคือ ยางเอสบีอาร์-1502 ยางไนไตรล์-1031 และยางบีอาร์-0150 ความแตกต่างของระดับการวัลคาไนซ์ของยางที่เวลาและอุณหภูมิต่างกันนั้นมีผลมาจากปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของยาง ระบบการวัลคาไนซ์และสารเคมีอื่นๆ ที่ผสมลงในสูตรยาง(สาโรชและคณะ, 2541)

เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ในรูปที่ 4.6 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ในรูปที่ 4.7 ยางเอสทีอาร์ 5 แอล จะมีค่ามากทำให้ระดับของการวัลคาไนซ์มากด้วยเช่นกัน

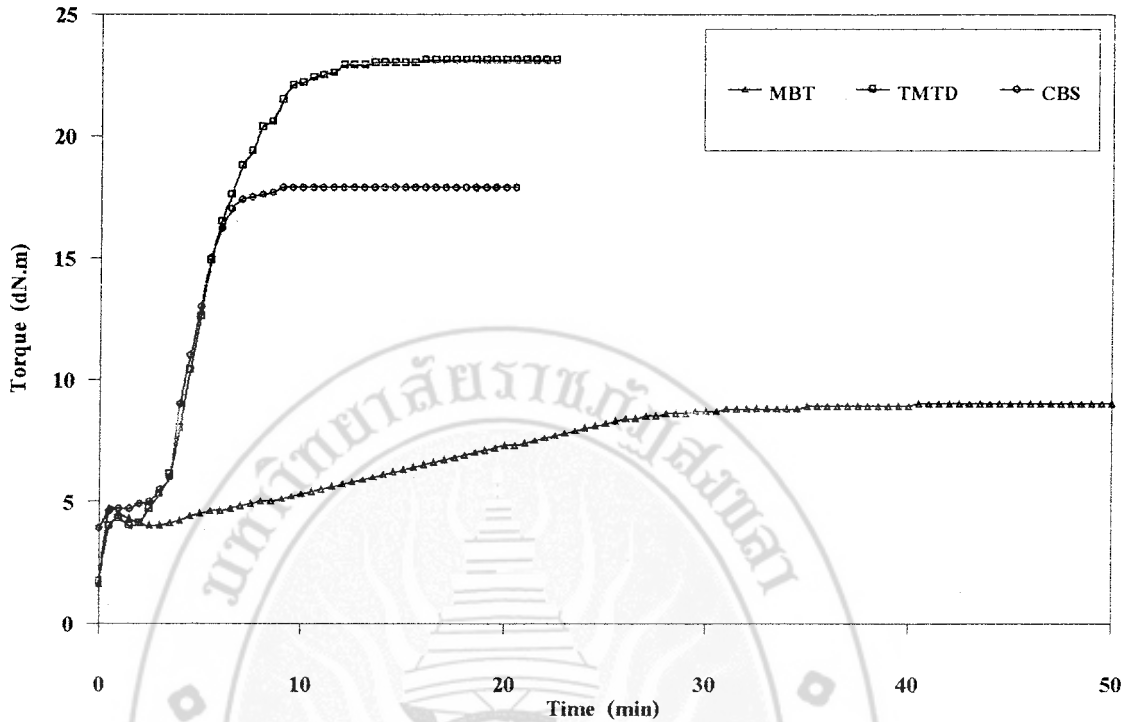
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสังเคราะห์

ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสังเคราะห์ 3 ชนิดคือ ยางเอสบีอาร์-1502, ยางเอ็นบีอาร์-1031 และยางบีอาร์-0150 ซึ่งวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้สารตัวเร่ง 3 ชนิด คือ MBT, CBS และ TMTD ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์-1502

4.2.1.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

การวัลคาไนซ์ยางเอสบีอาร์-1502 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทดสอบค่าแรงบิดเป็นเวลา 50 นาทีโดยใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.10 ลักษณะการวัลคาไนซ์ ของยางเอสปีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

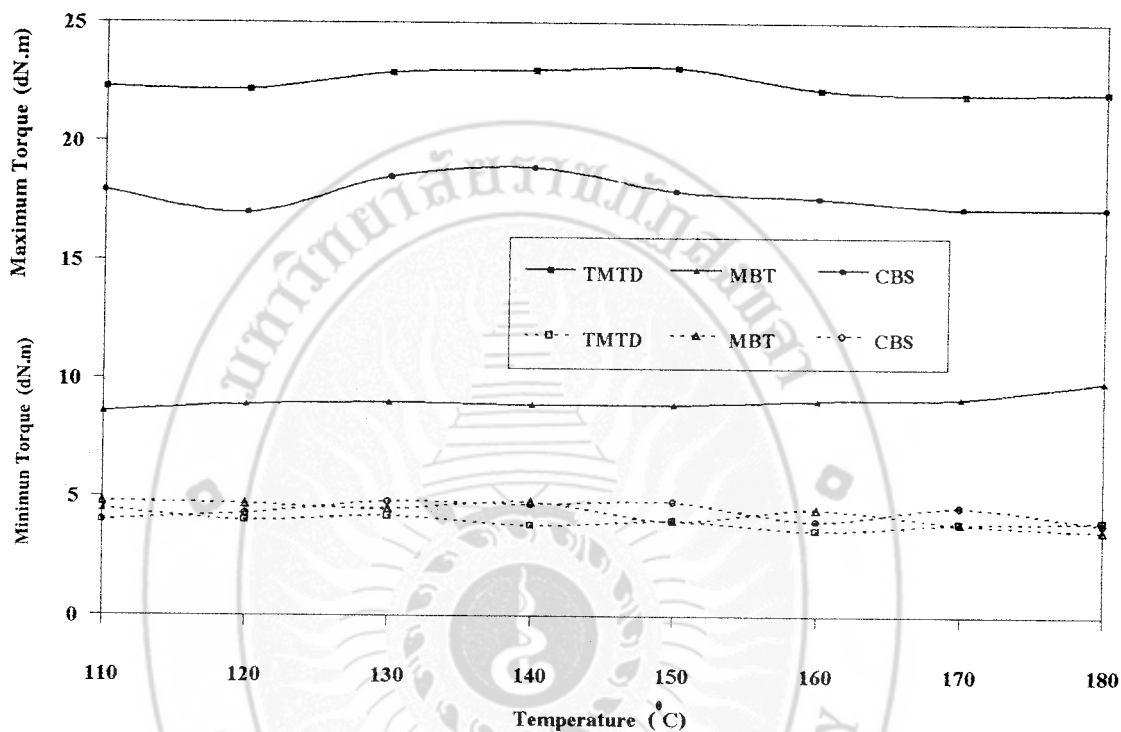
จากกราฟยางเอสปีอาร์ ที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง จะวัลคาไนซ์ช้ากว่าสารตัวเร่งอื่น ซึ่งปกติสารตัวเร่งชนิดนี้จำเป็นต้องอาศัยเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนข้างนาน

ส่วนการใช้ CBS ในยางเอสปีอาร์จะทำให้การวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วกว่าการใช้ MBT เนื่องจาก CBS มีเบสอยู่ ซึ่งเบสจะเป็นตัวกระตุ้นให้สารตัวเร่งทำปฏิกิริยากับยางได้เร็วขึ้น

การใช้ TMTD ในยาง เอสปีอาร์ซึ่งสารตัวเร่งชนิดนี้จะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็ว ทั้งอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ เนื่องจาก TMTD จะแตกตัวให้กำมะถันออกมาในขณะที่ทำปฏิกิริยาซึ่งกำมะถันจะช่วยให้การวัลคาไนซ์ดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และยังทำให้ค่าแรงบิดสูงเพราะกำมะถันจะเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง ทำให้อย่างมีความแข็งแรงขึ้น (พรพรรณ, 2528)

4.2.1.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.11

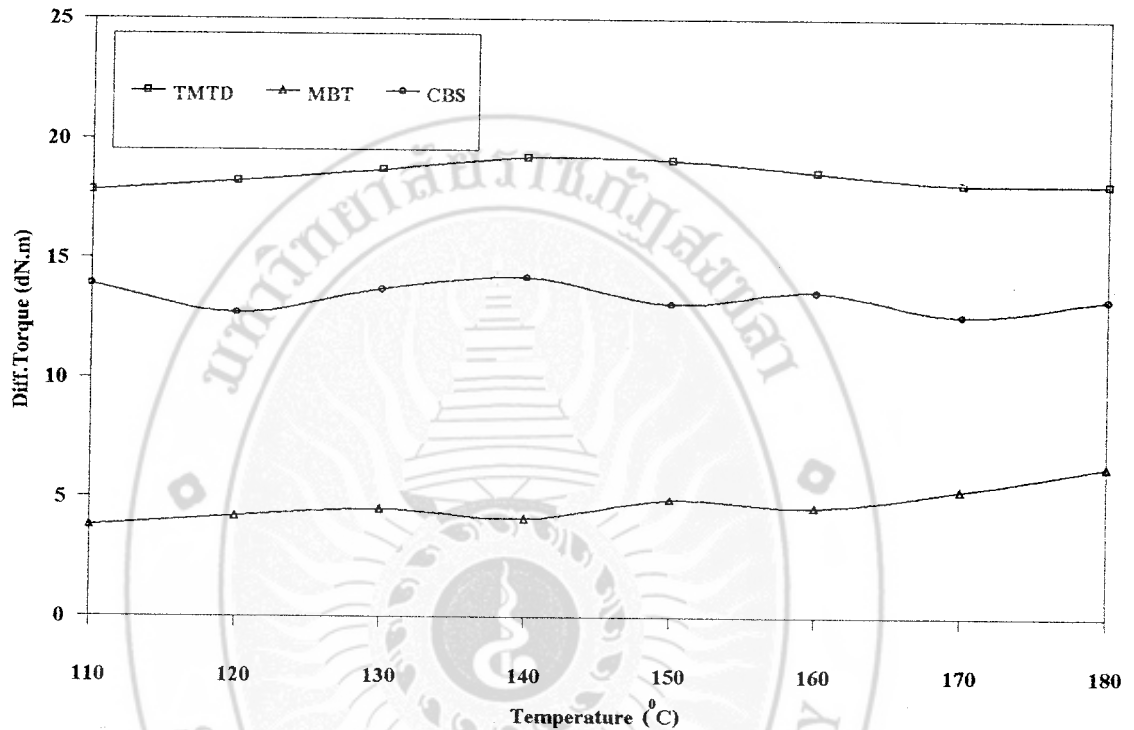


รูปที่ 4.11 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูป พบว่าค่าแรงบิดสูงสุดของของยางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ CBS และ MBT เนื่องจาก TMTD จะแตกตัวให้กำมะถันออกมาในขณะที่ทำปฏิกิริยา และยังทำให้ค่าแรงบิดสูงเพราะกำมะถันจะเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง ทำให้ยางมีความแข็งแรงขึ้น (พรพรรณ, 2528) ส่วน MBT มีค่าแรงบิดต่ำสุด ต่ำกว่าสารตัวเร่งชนิดอื่นเนื่องจาก MBT เป็นสารตัวเร่งที่ช่วยให้ยางนุ่มในการบดผสม (พรพรรณ, 2528) ทำให้มีค่าต่ำ

4.2.1.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด ในรูปที่ 4.11 นำมาคำนวณจะได้ผลระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12

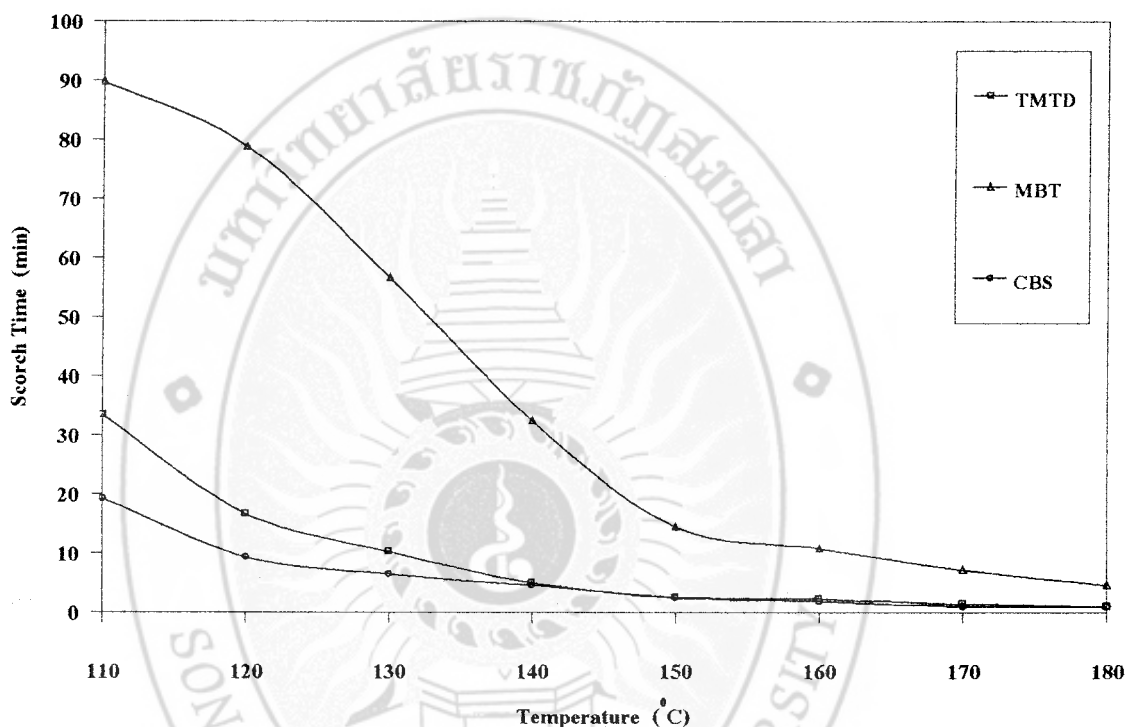


รูปที่ 4.12 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด ของยางเอสปีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

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

4.2.1.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

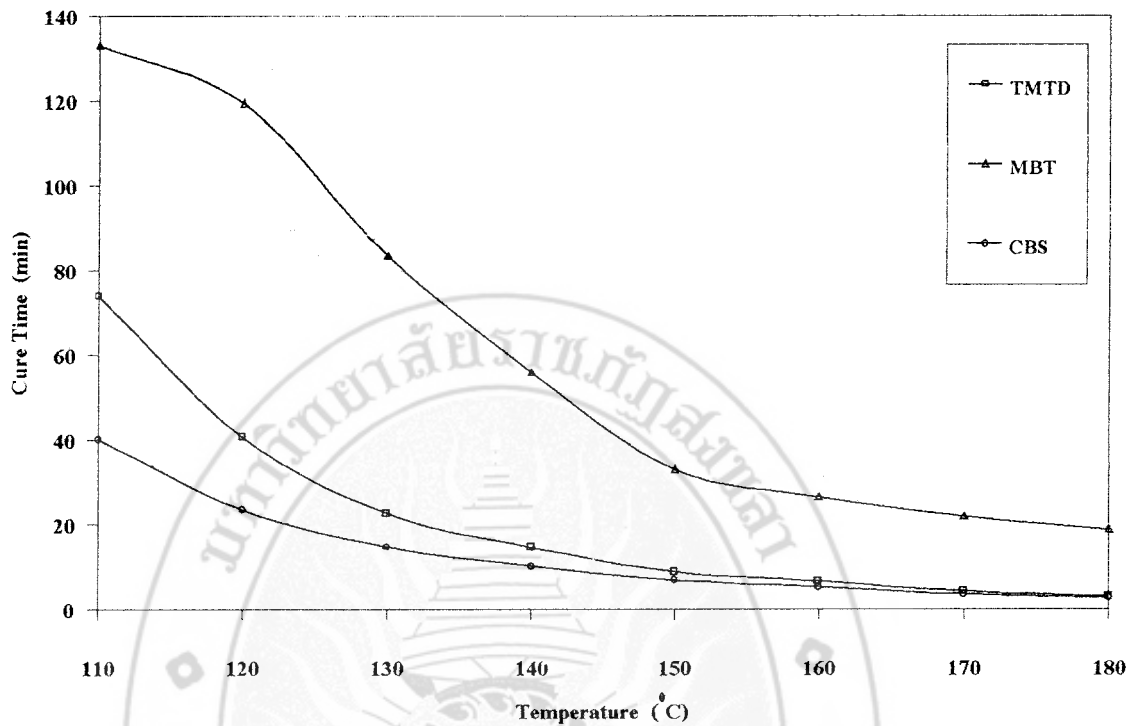
จากรูปที่ 4.13 ลักษณะกราฟของที่ใช้ CBS และ TMTD มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้เร็ว ส่วน MBT มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ในช่วงอุณหภูมิ 110-140 องศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะกราฟมีความชันมาก แต่ในช่วงอุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียสระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชนิด



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

4.2.1.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์

การทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ของยางเอสปีอาร์ที่ใช้สารตัวเร่ง ชนิดต่างๆ ได้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ ดังรูปที่ 4.14



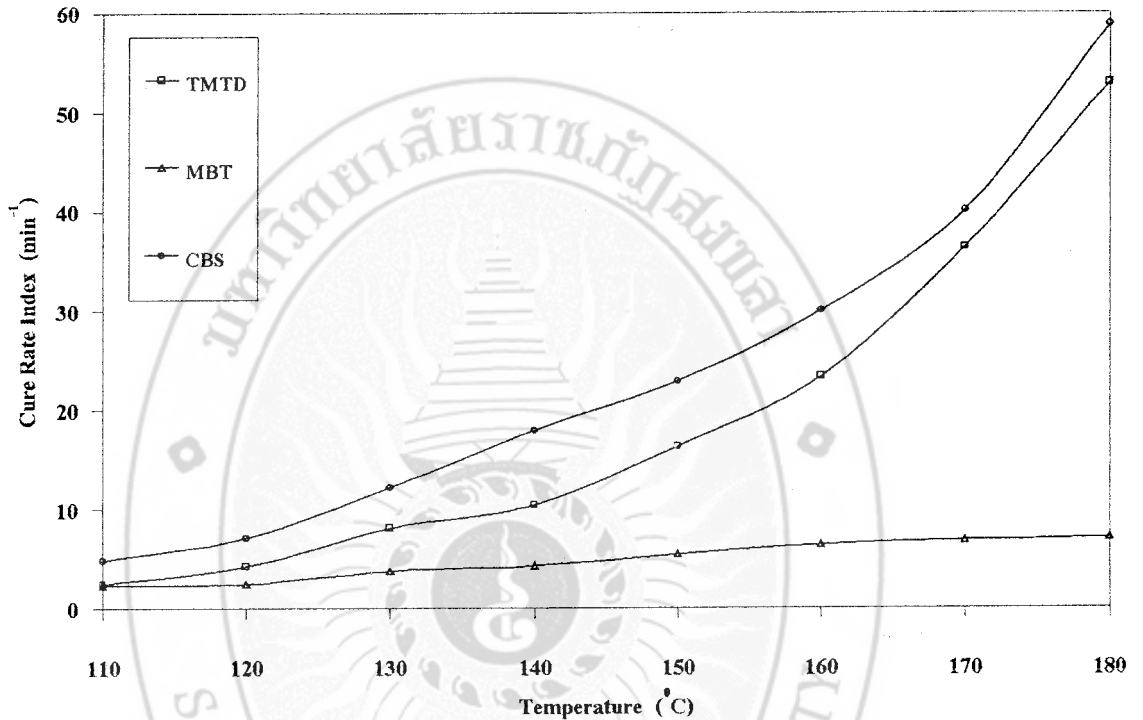
รูปที่ 4.14 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่ายางที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด รองลงมาคือ TMTD และ MBT ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบสารตัวเร่งกลุ่มไฮโอโซลและไฮยูเรมแล้วจะพบว่าจะต้องใช้ไฮโอโซลในปริมาณที่มากกว่า รวมทั้งอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่สูงกว่าด้วย (พรพรรณ, 2528) นั่นคือ TMTD มีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์สั้นกว่า MBT

4.2.1.4 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์

เมื่อทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางแล้วจะได้ค่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์สามารถนำมาคำนวณค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ ซึ่งสามารถบอกประสิทธิภาพในพันธะเชื่อมโยงของยางแต่ละชนิดได้ดังรูป



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

จากรูปพบว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ CBS น้อยที่สุด รองลงมาคือ TMTD และ MBT การที่ใช้ MBT แล้วมีค่าเร็วที่สุดนั้นมีความสัมพันธ์กับรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 คือ ถ้าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ช้าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ก็จะน้อยด้วย

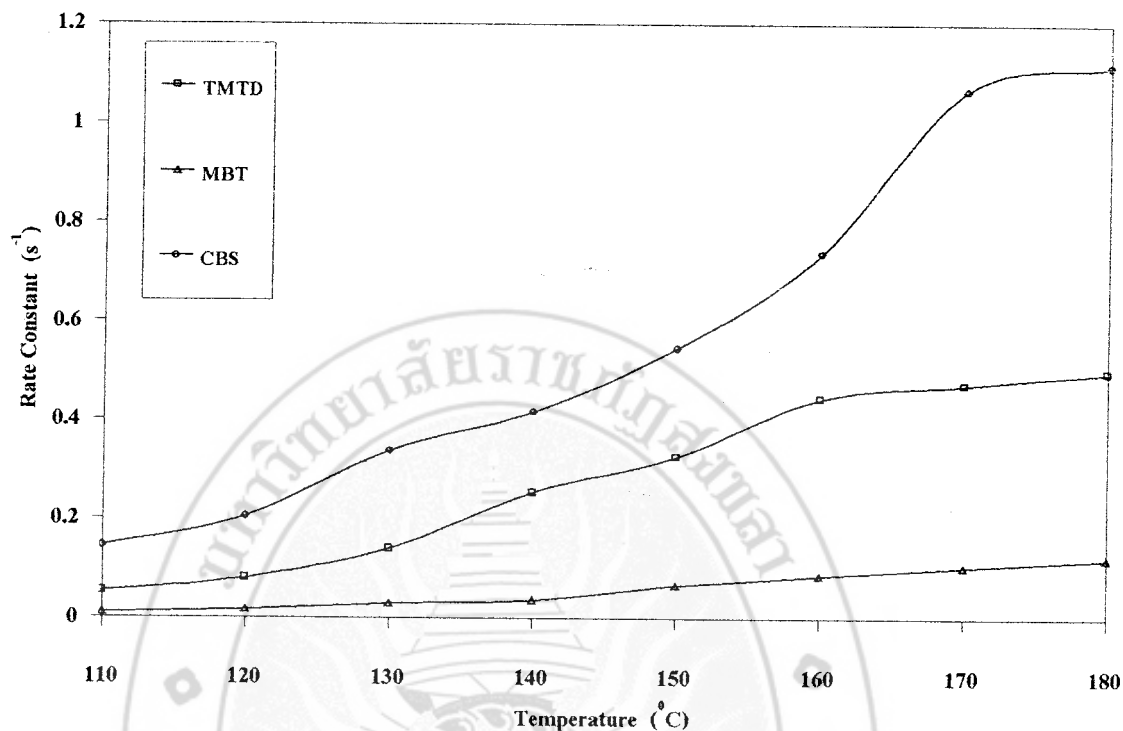
4.2.1.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางเอสปีอาร์-1502 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ
กำหนดปฏิกิริยาโดยใช้ 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 ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสปีอาร์ ในระบบกำหนดปฏิกิริยาพบว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากรูป จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิตดสอบต่ำ ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส) ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าอุณหภูมิมิผลต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.15 คำนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ CBS จะมีค่ามาก ดังนั้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็จะมีค่ามากด้วยเช่นกัน และยางที่ใช้ MBT จะมีค่าทั้งสองน้อย



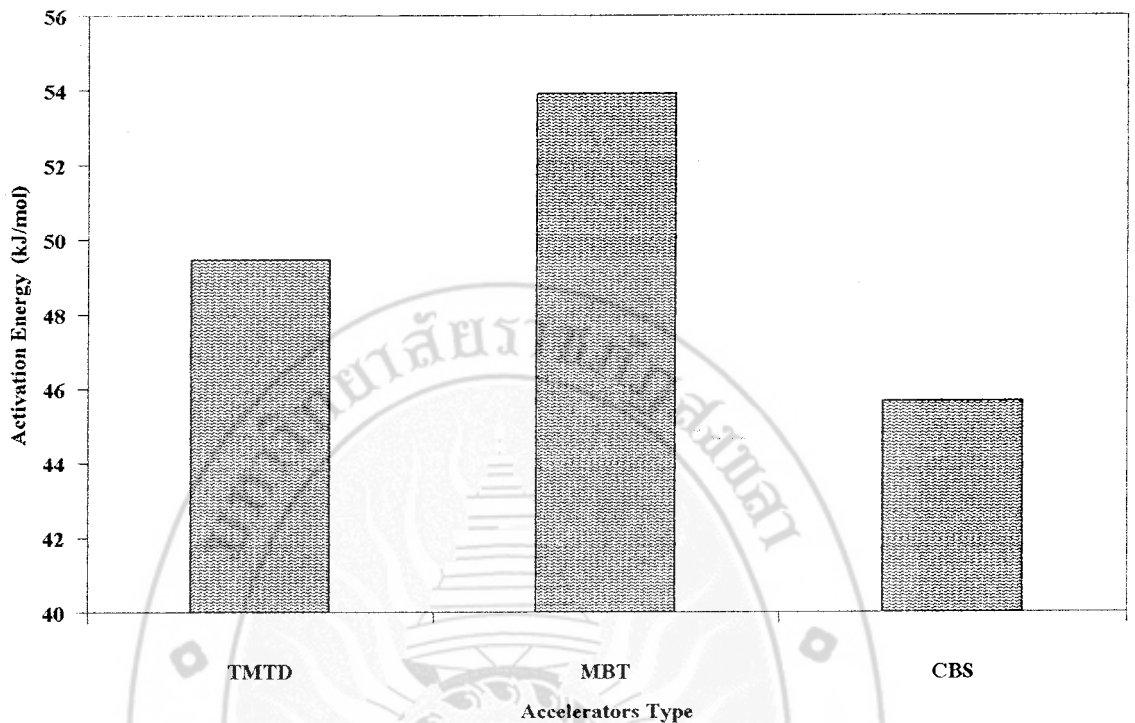
รูปที่ 4.16 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

4.2.1.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้นได้จากการคำนวณความชันของกราฟ จะบ่งบอกปฏิกิริยาของยางแต่ละชนิดเทียบกับอุณหภูมิดังตาราง

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

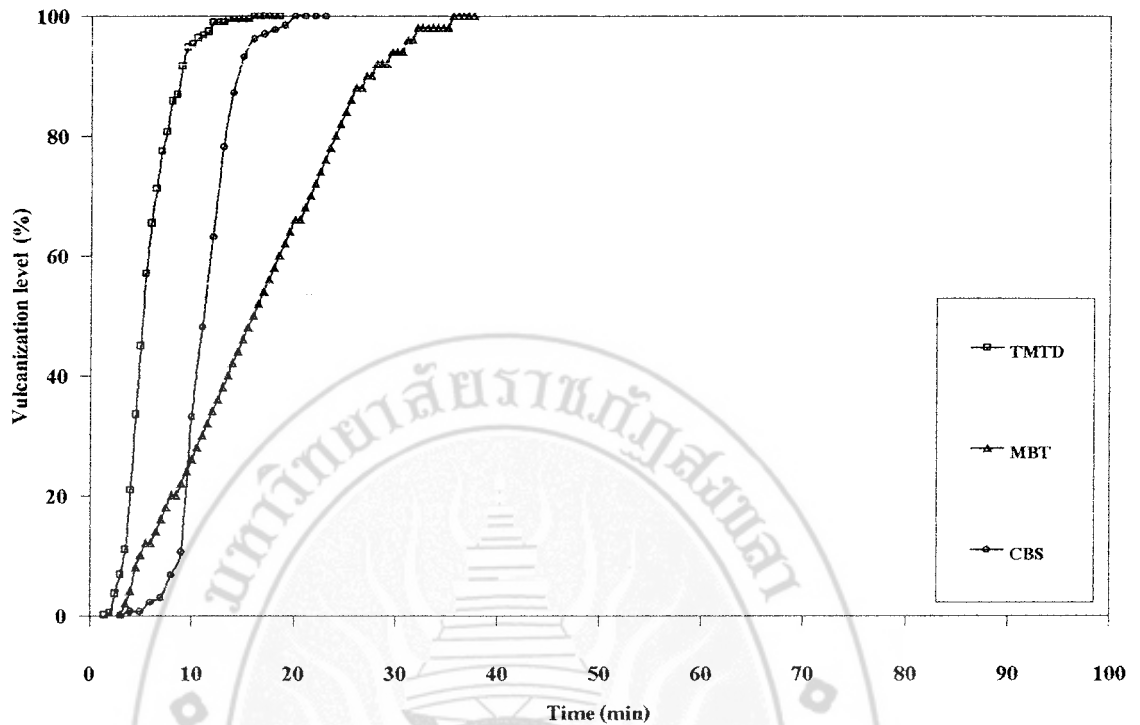


รูปที่ 4.17 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

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

4.2.1.9 ระดับการวัลคาไนซ์

การเปรียบเทียบระดับการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ จะนำระดับการวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



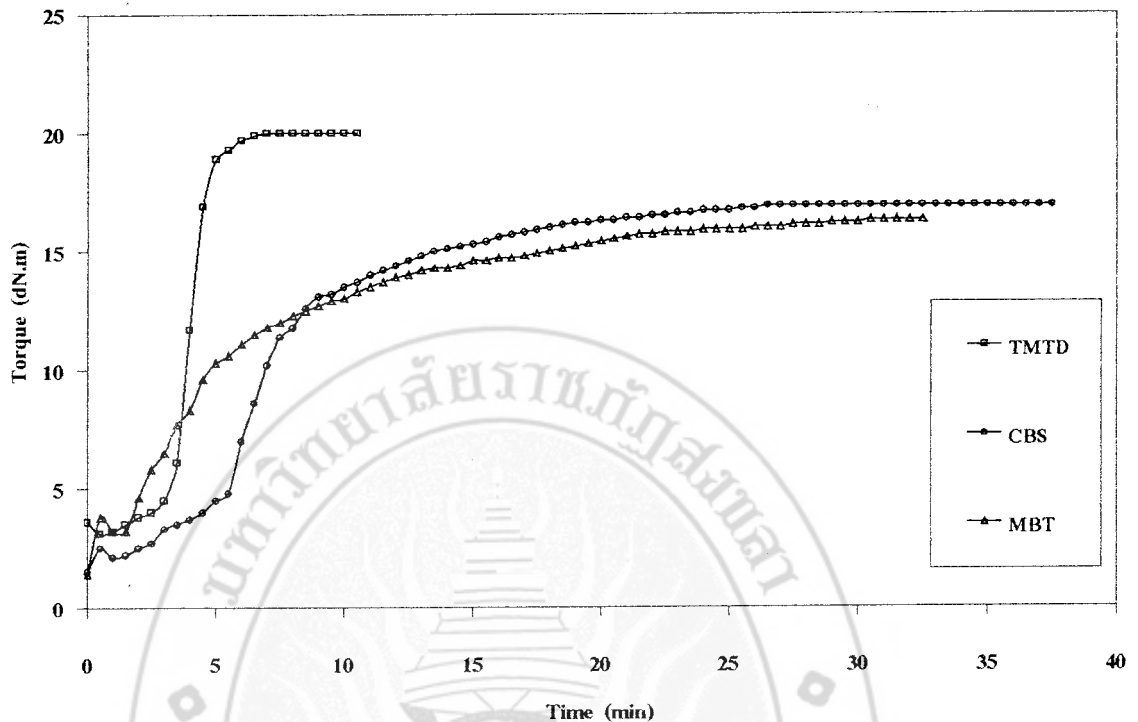
รูปที่ 4.18 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่ายาง เอสบีอาร์ ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่ง จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ช้า แต่การวัลคาไนซ์ที่ระดับ 100% จะเกิดขึ้นได้เร็ว ส่วน MBT จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์เร็ว แต่การวัลคาไนซ์ที่ระดับ 100% จะเกิดขึ้นได้ช้า และ CBS จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์และการวัลคาไนซ์ที่ระดับ 100% จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการใช้ MBT และ TMTD เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าครรหิการวัลคาไนซ์และค่าคงที่ปฏิกิริยาของยางที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีค่ามากที่สุด จึงทำให้ระดับการวัลคาไนซ์มีค่ามากดังจะเห็นจากความชันของกราฟ

4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์-1031

4.2.2.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

การทดสอบค่าแรงบิดของยางไนไตรล์-1031ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังรูป

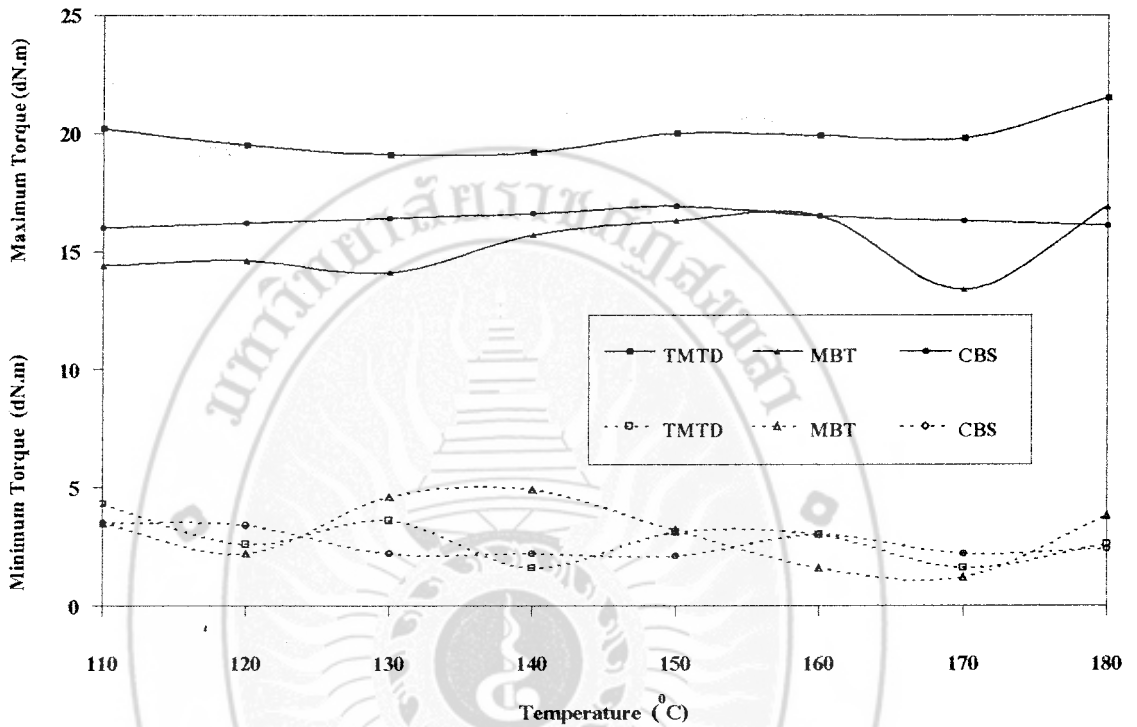


รูปที่ 4.19 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.19 ยางไนไตรล์ จะมีพันธะคู่สามารถวัลคาไนซ์ได้ในระบบกำมะถันปกติ ยางที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง จะมีลักษณะการวัลคาไนซ์ที่ค่อนข้างช้ากว่าสารตัวเร่งอื่น เนื่องจาก MBT จำเป็นต้องใช้เวลานานและต้องอาศัยความร้อนเพื่อเร่งให้เกิดการวัลคาไนซ์ และกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบ flat cure สำหรับยางไนไตรล์ที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีลักษณะการวัลคาไนซ์ที่คล้ายกับ MBT คือ จะใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นาน และมีค่าแรงบิดที่ใกล้เคียงกัน กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบ flat cure การใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์เร็ว เนื่องจาก TMTD สามารถที่จะแตกตัวให้กำมะถัน ดังนั้นจึงช่วยเร่งให้การวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วขึ้น และให้ค่าแรงบิดที่สูงกว่าสารตัวเร่งชนิดอื่น จากรูปเห็นได้ว่า TMTD จะทำให้การเริ่มต้นวัลคาไนซ์ช้า (delayed action) แต่เวลาในการวัลคาไนซ์สั้น

4.2.2.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

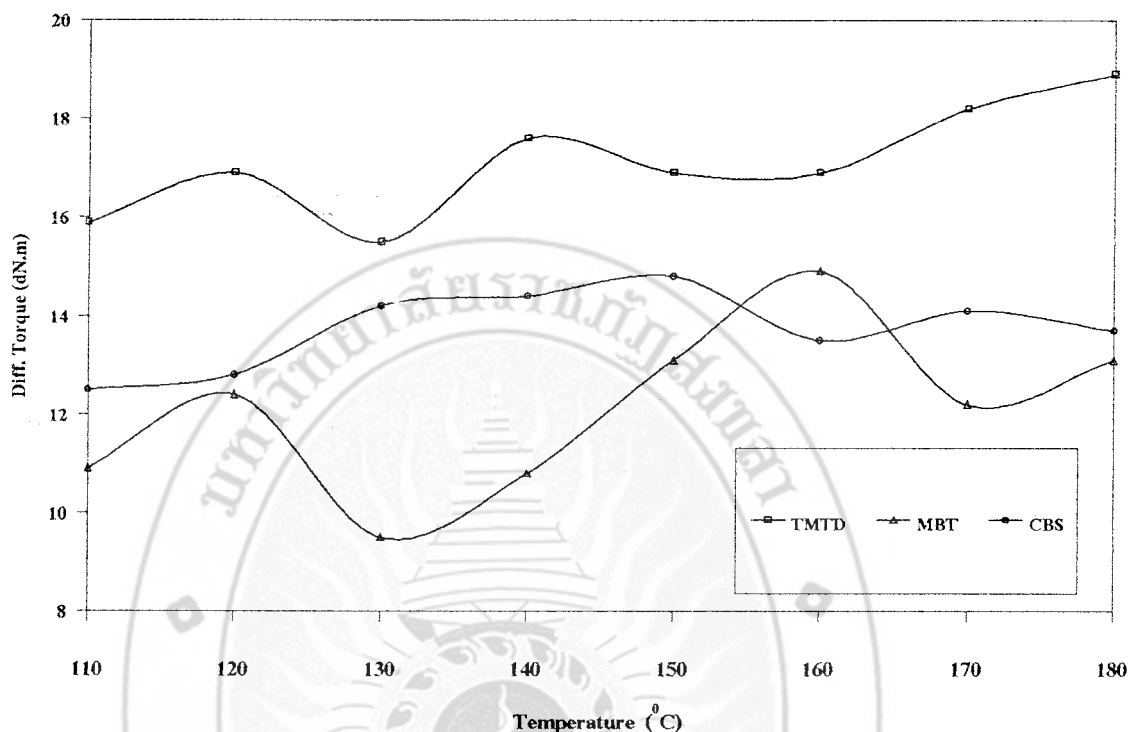
ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 110 – 180 องศาเซลเซียส



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

จากรูปพบว่ายางที่ใช้ TMTD มีค่าแรงบิดสูงสุดสูงที่สุด เนื่องจากสารตัวเร่งชนิดนี้จะช่วยเพิ่มพันธะในการเชื่อมโยงดี ร่องลงมา คือ MBT และ CBS เนื่องจาก MBT เมื่อบดผสมจะทำให้ยางยึดยิ่งนุ่มจึงทำให้ค่าแรงบิดสูงสุดต่ำสุด และ MBT กับ CBS จะให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากในปฏิกิริยาจะใช้ MBT ในการวัลคาไนซ์

4.2.2.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุด และค่าแรงบิดสูงสุด

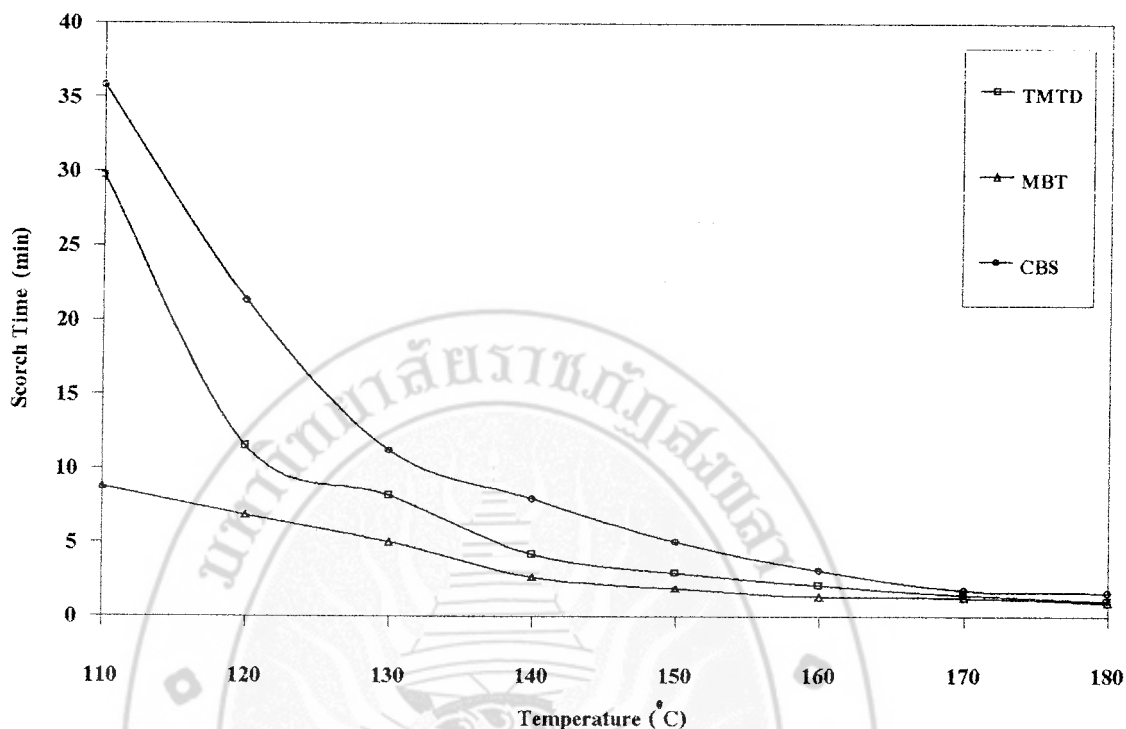


รูปที่ 4.21 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.20 ยางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะให้ค่าแรงบิดสูงสุดสูงกว่าสารตัวเร่งอื่น เนื่องจากกำมะถันที่อยู่ใน TMTD เป็นตัวช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงในพันธะดีซัลไฟด์ ส่วน MBT จะมีค่าต่ำสุด เนื่องจากสารตัวเร่งชนิดนี้เป็นตัวที่ช่วยให้ยางนิ่มในการบดผสม (พรพรรณ, 2528)

4.2.2.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

ทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์-1031 ทำการทดสอบหาค่าแรงบิด โดยใช้อุณหภูมิ 110- 180 องศาเซลเซียส ได้ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ดังรูปที่ 4.22

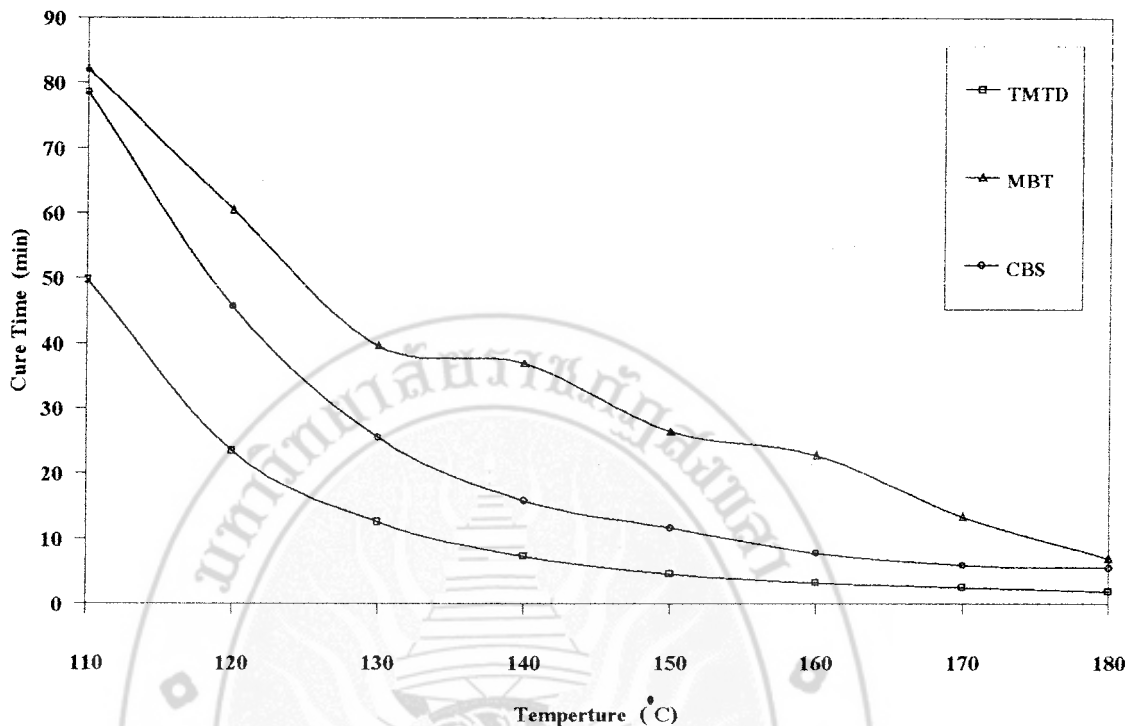


รูปที่ 4.22 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ กำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่ายางที่ใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งจะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวสุด เนื่องจาก CBS เป็นสารตัวเร่งที่ delayed action หรือ มีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ยาวกว่า MBT เพราะ เมื่อ CBS ได้รับความร้อนจะแตกตัวออกให้ MBT และเบสออกมา รองลงมาคือ TMTD และ MBT ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้จะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.2.2.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์

การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ได้เวลาในการวัลคาไนซ์ดังรูป

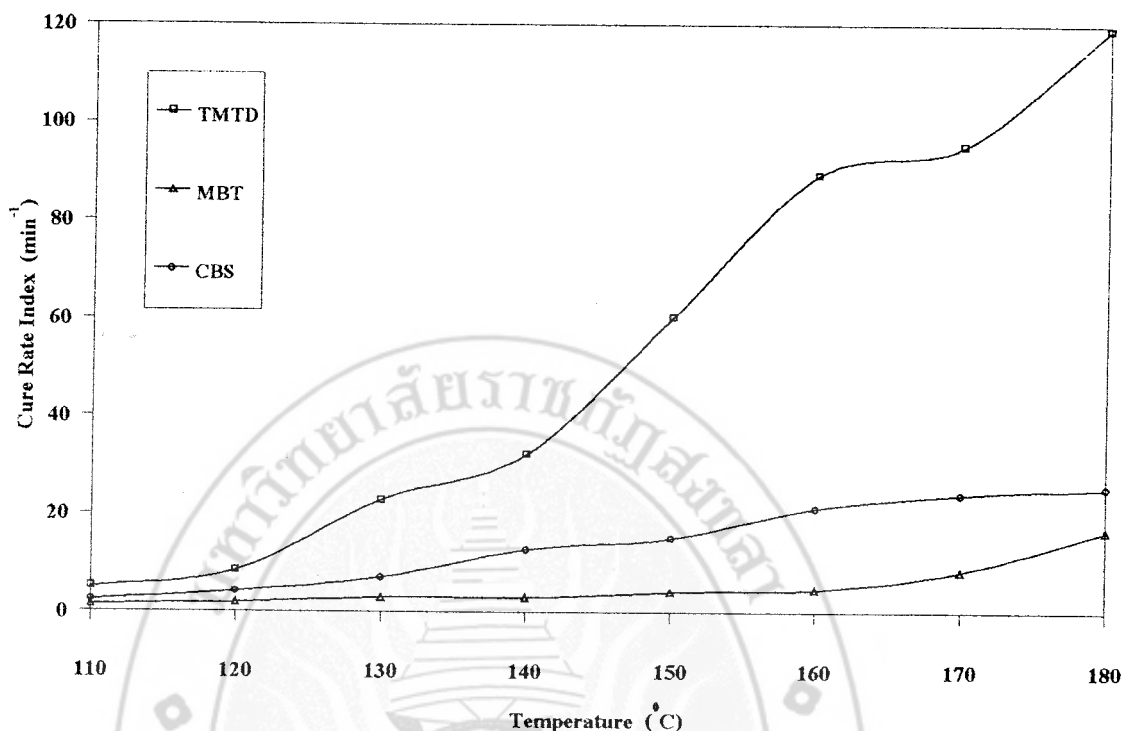


รูปที่ 4.23 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ กำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.23 พบว่ายางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วที่สุดเนื่องจาก ไทยูเรมจัดเป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วในการวัลคาไนซ์สูงเป็นพิเศษ โดยเฉพาะ TMTD มีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด (พรพรรณ, 2528) รองลงมาคือ CBS และ MBT เนื่องจาก MBT ต้องใช้ร่วมกับสารตัวเร่งชนิดอื่นจึงจะมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ได้เร็ว หรือต้องเพิ่มอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ (พรพรรณ, 2528) จึงจะช่วยให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วขึ้น ส่วน CBS จะต้องแตกตัวให้ MBT กับเบสก่อนจึงจะเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ การที่ CBS วัลคาไนซ์เร็วกว่า MBT อาจเนื่องจากเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย

4.2.2.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์

เมื่อทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางแล้วจะได้ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์นำมาคำนวณค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ แสดงความสัมพันธ์ดังรูป



รูปที่ 4.24 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ กำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

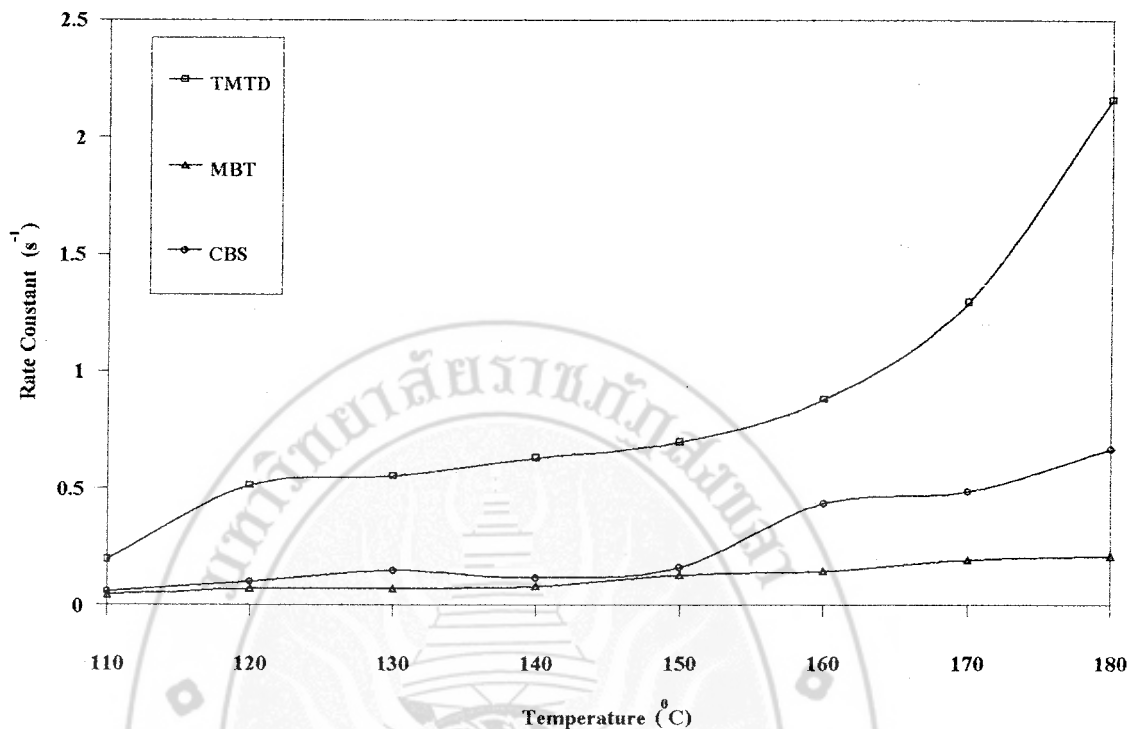
จากรูปที่ 4.24 พบว่ายางที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่งมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์เร็ว ในช่วงอุณหภูมิ 110-140 องศาเซลเซียสค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย แต่พอในช่วงอุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียสค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มีความชันมากขึ้น รองลงมายางที่ใช้ CBS และ TMTD ตามลำดับ พบว่ายางที่ใช้ CBS และ TMTD เป็นสารตัวเร่งความชันของกราฟทั้งสองเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ จะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปทีละน้อยตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.2.2.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

เมื่อนำค่าแรงบิดที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไปหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์แล้วสามารถเห็นความแตกต่างของยางแต่ละชนิด อธิบายถึงปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ที่ใช้สารตัวเร่งแต่ละชนิด ดังตาราง

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางไนไตรล์-1031 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ
 กำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่ อุณหภูมิ
 110 – 180 องศาเซลเซียส

Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	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 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ นั่นคือจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เท่า โดยจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

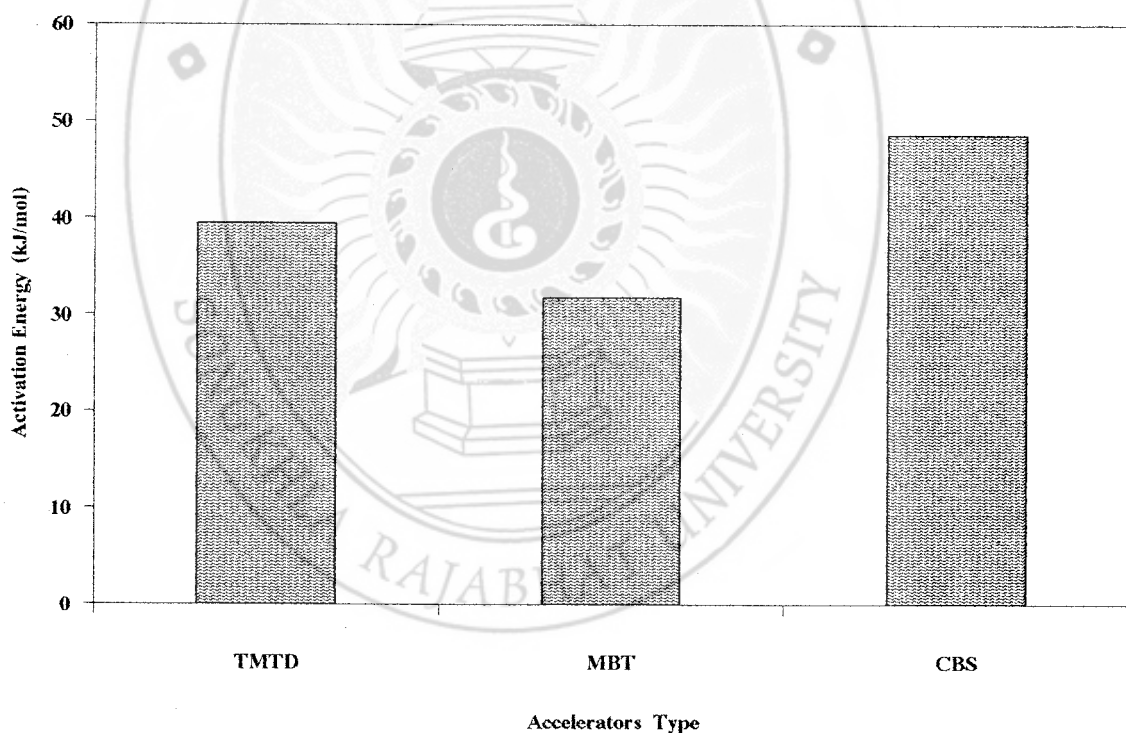
จากรูปที่ 4.25 ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง เนื่องจากเมื่อเกิดการวัลคาไนซ์ซาก็จะทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ต่ำลงด้วย และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการวัลคาไนซ์จะเกิดขึ้นได้เร็ว ทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน สังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น MBT จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าระบบอื่น เนื่องจากปฏิกิริยาของสารตัวเร่งชนิดนี้จะเกิดขึ้นช้า

4.2.2.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้นได้มาจากการคำนวณค่าความชันของกราฟเทียบกับอุณหภูมิ แสดงถึงปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์-1031 ที่ใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางไนไตรล์-1031 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ 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

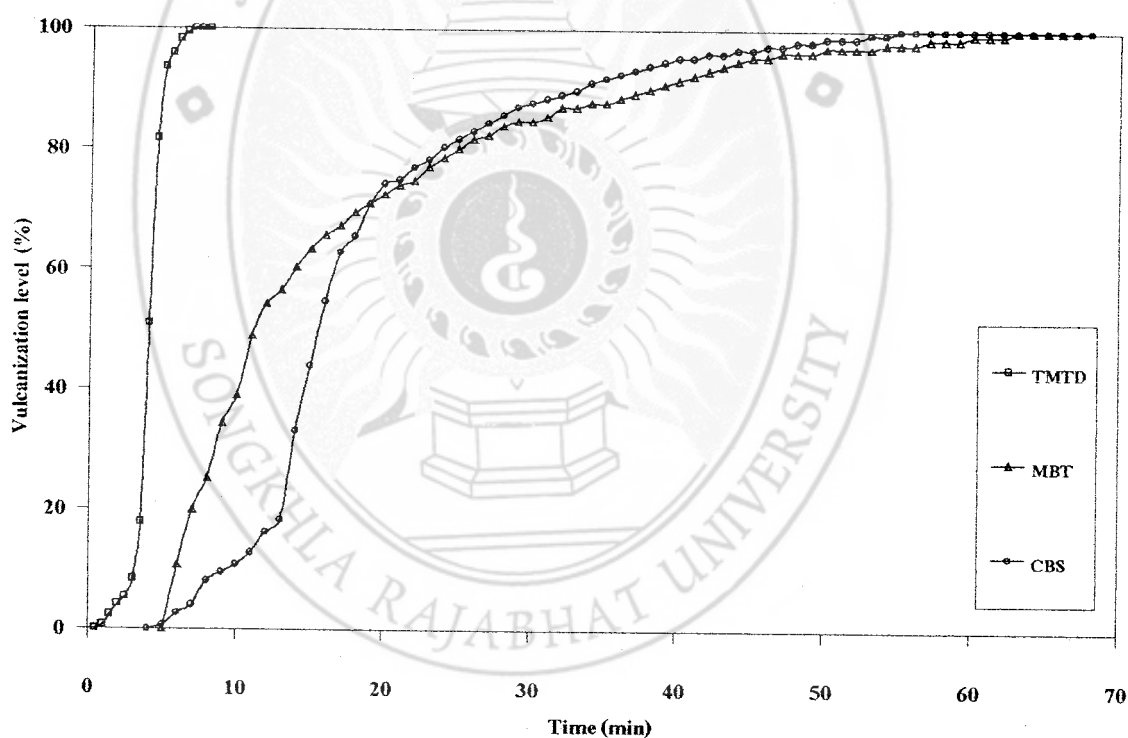


รูปที่ 4.26 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ กำมะถันปกติโดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

พลังงานที่น้อยที่สุดที่โมเลกุลต้องมีขณะชนกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เรียกว่าพลังงานกระตุ้น เมื่อพลังงานที่มีพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานกระตุ้น หรือมากกว่าพลังงานกระตุ้นเข้าชนกัน จะทำให้พันธะสลายตัวพร้อม ๆ กับการสร้างพันธะใหม่ขึ้น ถ้าพลังงานสูงไม่ถึงพลังงานกระตุ้นปฏิกิริยาจะไม่เกิด (โสภณและคณะ, 2543) จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานกระตุ้นของยางไนไตรล์ที่ใช้ MBT จะมีค่าต่ำสุดนั่นคือ ปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว จากรูปที่ 4.22 MBT จะมีระยะในการแปรรูปสั้น เนื่องพลังงานกระตุ้นต่ำ

4.2.2.9 ระดับการวัลคาไนซ์

การเปรียบเทียบระดับการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์-1031 จะนำระดับการวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



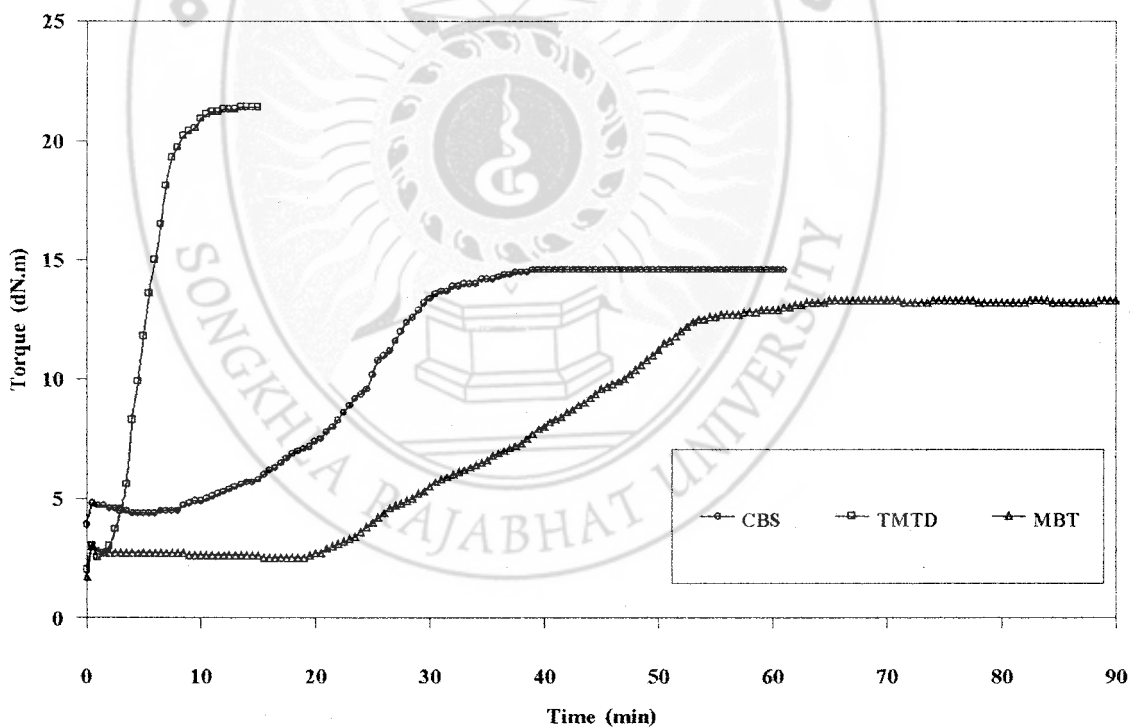
รูปที่ 4.27 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมันตภาพรังสี โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.27 ยางไนไตรด์ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ และการวัลคาไนซ์ที่ระดับ 100 % จะเริ่มเกิดได้เร็ว CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ และการวัลคาไนซ์ที่ระดับ 100 % จะเกิดขึ้นช้า การที่ TMTD มีระดับการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้มีระยะเวลาการวัลคาไนซ์ที่เร็วกว่าหม้ออื่น ๆ และ MBT มีระดับการวัลคาไนซ์ช้าที่สุดเนื่องจากสารเคมีชนิดนี้จะต้องใช้ร่วมกับสารตัวเร่งชนิดอื่นจึงจะได้ผลดี หรือไม่ก็ต้องเพิ่มอุณหภูมิการทดสอบให้สูงขึ้น (พรพรรณ, 2528) ยางที่ใช้ TMTD จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาและค่าดัชนีการวัลคาไนซ์มากจึงทำให้ระดับการวัลคาไนซ์มีค่ามากด้วย

4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเร่งต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางบีมาร์-0150

4.2.3.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางบีมาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ โดยทำการทดสอบก่อนแรงบิดเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูป



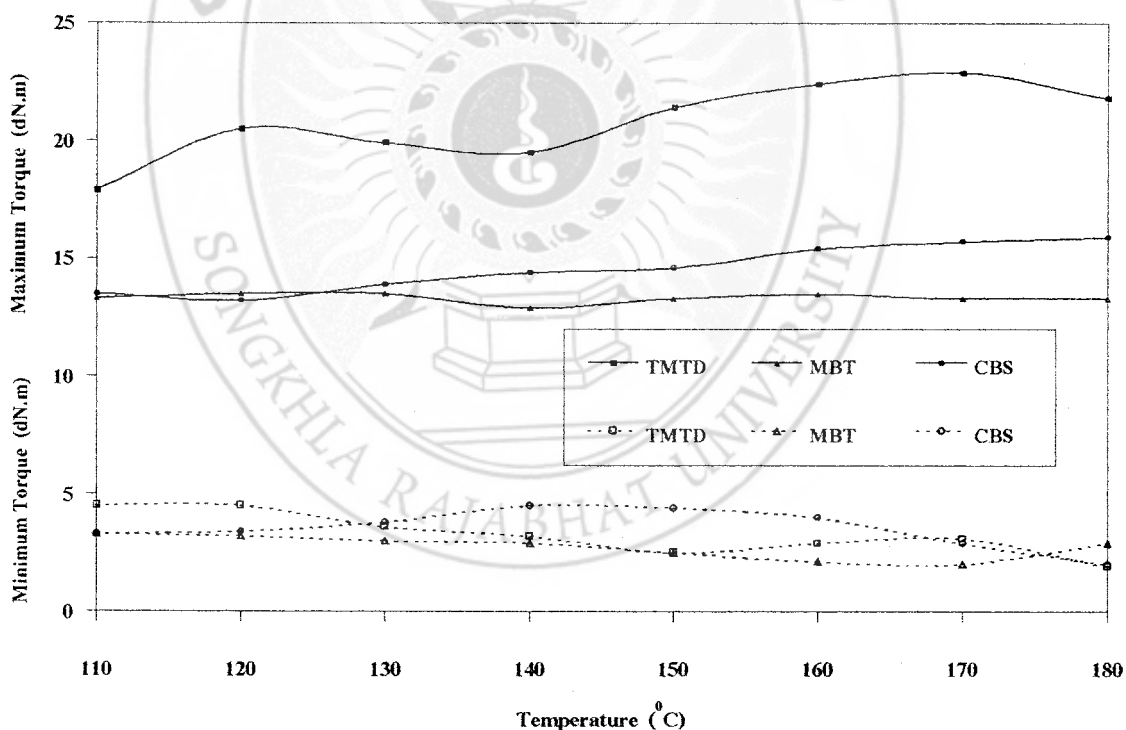
รูปที่ 4.28 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางบีมาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ยางบิโอาร์ ที่วัลคาไนซ์ในระบบกำมะถันปกติโดยการใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง คือให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าการใช้สารตัวเร่งชนิดอื่น เพราะยางชนิดนี้ค่อนข้างนิ่มและเมื่อใช้ MBT ซึ่งสารตัวเร่งชนิดนี้เมื่อผสมเข้าไปในยางจะช่วยให้ยางนิ่ม และยางชนิดนี้มีพันธะคู่ค่อนข้างน้อยทำให้โมเลกุลไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อใช้ MBT เป็นสารตัวเร่งยิ่งทำให้การวัลคาไนซ์เกิดขึ้นช้า

การใช้ CBS และ TMTD ในยางบิโอาร์ จะทำให้การวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วมีลักษณะกราฟที่คล้ายกัน จากรูปเห็นได้ว่า สารตัวเร่งทั้งสองชนิด จะทำให้การเริ่มต้นวัลคาไนซ์ช้า (delayed action) แต่เวลาในการวัลคาไนซ์สั้นลง แต่ TMTD จะเกิดการวัลคาไนซ์เร็วกว่าเล็กน้อย และค่าแรงบิดก็สูงกว่าด้วย ส่วนลักษณะกราฟจะเป็นแบบ flat cure

4.2.3.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

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

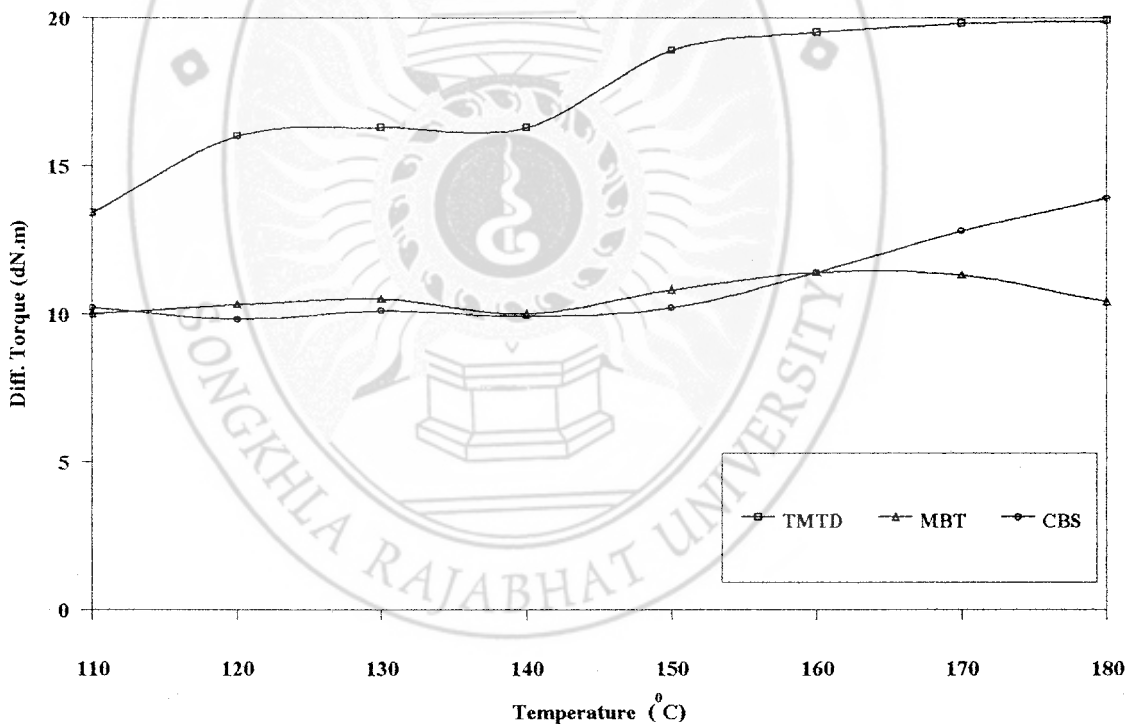


รูปที่ 4.29 ค่าแรงบิดต่ำสุด และค่าแรงบิดสูงสุดของยางบิโอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของรูปพบว่าค่าแรงบิดสูงสุดของยางที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งมีค่าสูงที่สุด เนื่องจาก TMTD จะให้กำมะถันออกมาช่วยให้ปฏิกิริยามีการเชื่อมโยงกันอย่างแข็งแรง รองลงมาคือ CBS และ MBT ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุดในช่วงอุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส ยางที่ใช้ CBS มีค่าสูง แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 140 และ 170 องศาเซลเซียส ยางที่ใช้ CBS มีค่าต่ำลง การที่ MBT มีค่าแรงบิดสูงสุดต่ำสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดที่ต่ำสุดเนื่องจากสารตัวเร่งชนิดนี้จะช่วยให้ยาง นิ่ม (พรพรรณ, 2528)

4.2.3.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดในรูปที่ 4.29 นำมาคำนวณหาผลต่างระหว่างแรงบิดต่ำสุดกับค่าแรงสูงสุด ดังแสดงในรูป

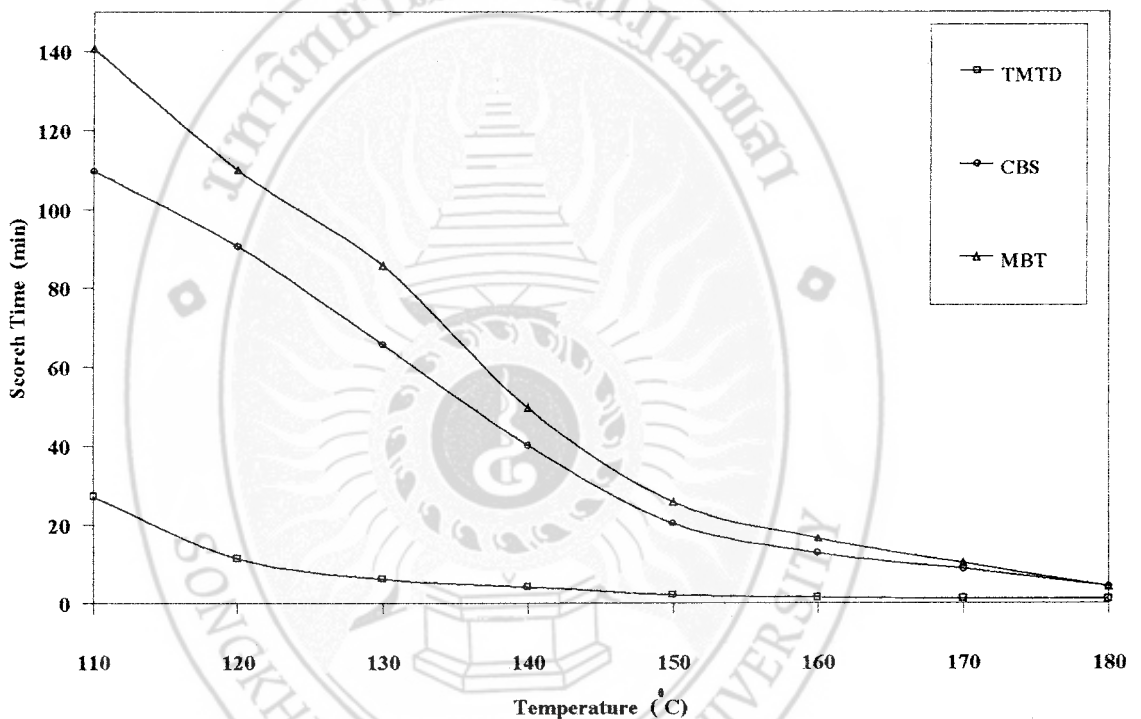


รูปที่ 4.30 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางป้อนที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ กำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.30 TMTD จะมีค่าผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุด สูงกว่าสารตัวแรงชนิดอื่น เช่นเดียวกับกับรูปที่ 4.29 ส่วน MBT จะมีค่าต่ำสุด

4.2.3.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้

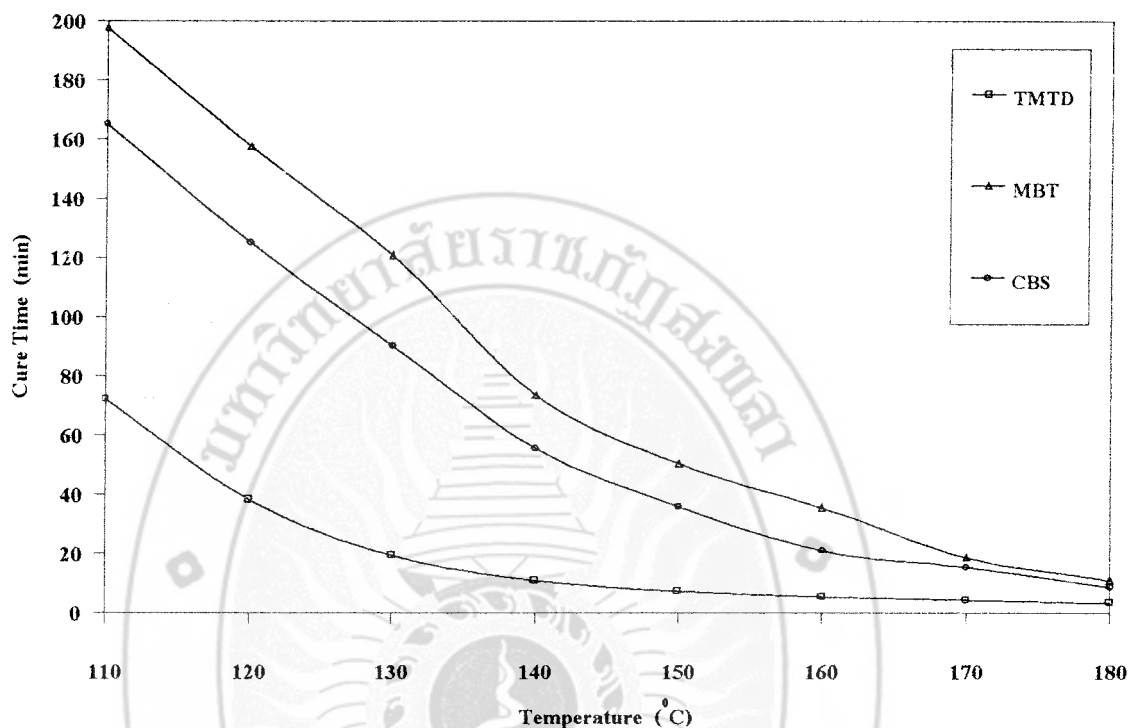
ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางบิโออาร์ที่ใช้สารตัวแรงต่างชนิดกัน ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ แสดงดังรูป



รูปที่ 4.31 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางบิโออาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวแรง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.31 TMTD เป็นสารตัวแรงจะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้สั้นกว่าสารตัวแรงชนิดอื่น และจะมีค่าน้อยลง ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ CBS และ MBT

4.2.3.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์

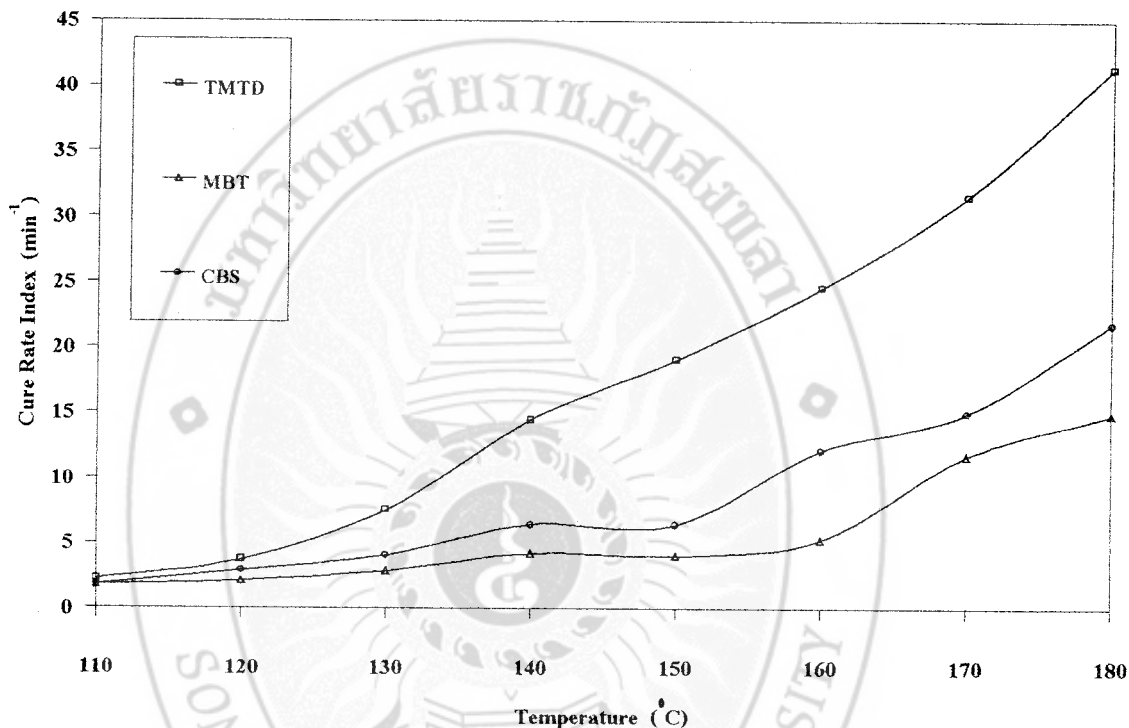


รูปที่ 4.32 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางบิวาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.32 จากลักษณะของกราฟระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ TMTD จะสั้น และจะยิ่งสั้นลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เพราะกำมะถันใน TMTD จะช่วยให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็ว ส่วน CBS และ MBT จะมีระยะเวลายาว เนื่องจากยางบิวาร์จะไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาและยังใช้สารตัวเร่งที่ไม่ว่องไวก็จะทำให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เกิดช้า แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ เห็นได้จากที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะสั้นมาก

4.2.3.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์

เมื่อทำการทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส จะได้ค่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ นำมาคำนวณหาค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ ของยางบิอาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง แสดงการเปรียบเทียบดังรูป



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

จากรูป พบว่ายางบิอาร์ที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มากเนื่องจาก TMTD เป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นได้เร็ว ส่วน MBT เป็นสารตัวเร่งที่ไม่ว่องไวค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์จึงมีค่าน้อย และค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

4.2.3.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

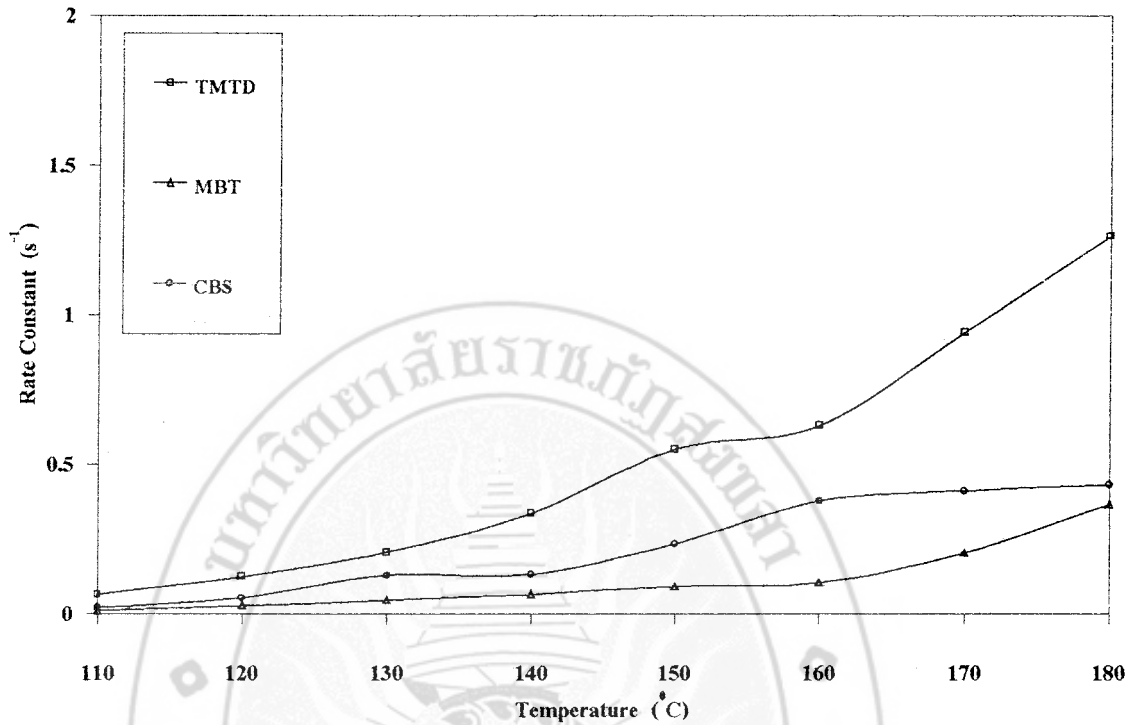
เมื่อนำค่าแรงบิดที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิที่ 110-180 องศาเซลเซียส ไปคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ จะเห็นความแตกต่างของยางบีอาร์ที่ใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน ดังตาราง

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางบีอาร์-0150 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน ปลูกโดยใช้ 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 เป็นสารตัวเร่งค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นน้อยมาก และจากรูปที่ 4.33 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ MBT ก็มีค่าน้อยด้วยเช่นกัน ส่วน TMTD และ CBS เป็นสารตัวเร่ง จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ และค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มากขึ้นตามอุณหภูมิโดยให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งถ้าหากการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นเร็ว ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็จะมีค่ามากด้วย



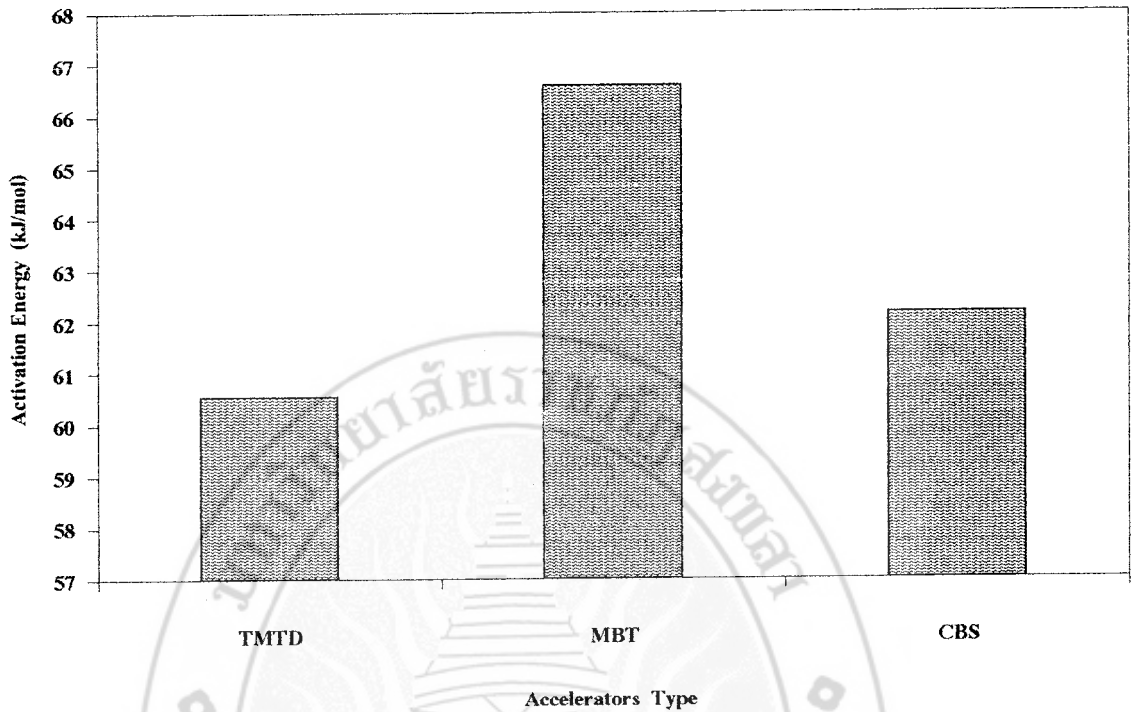
รูปที่ 4.34 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางบิวอาร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

4.2.3.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

พลังงานกระตุ้นได้มาจากการคำนวณค่าความชันของกราฟเทียบกับอุณหภูมิ แสดงถึงปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางบิวอาร์-0150 ที่ใช้สารตัวเร่งต่างชนิดกัน ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.8 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางบิวอาร์-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

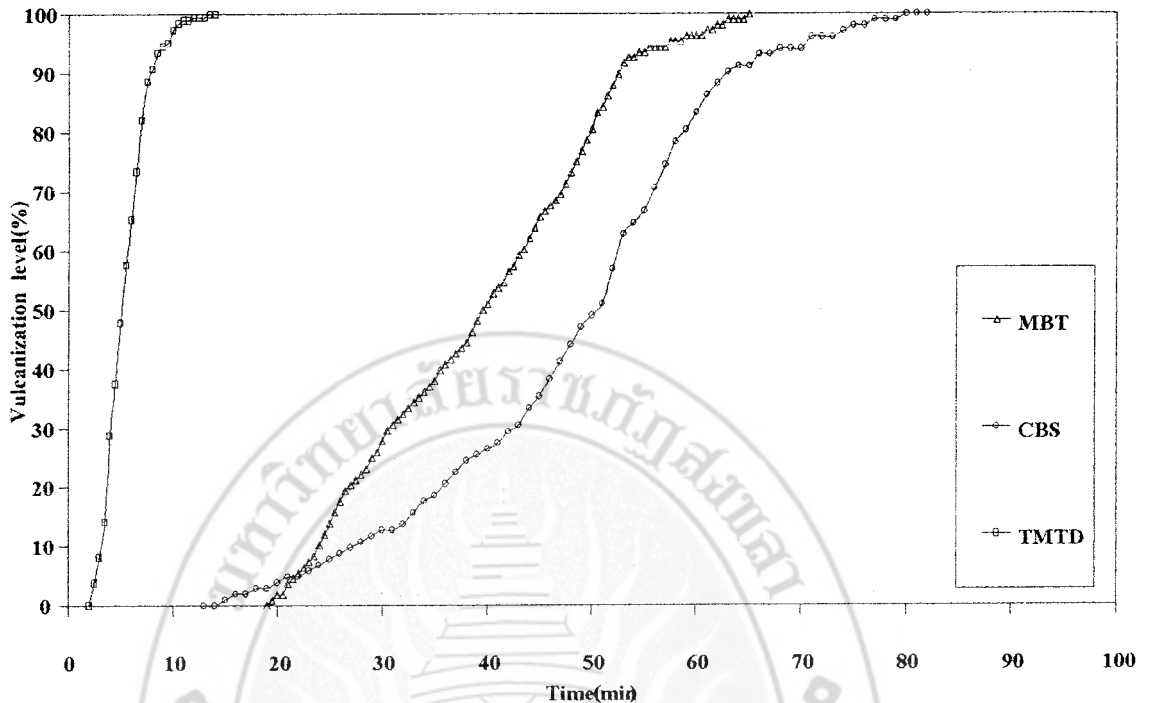


รูปที่ 4.35 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางปียอร์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ โดยใช้ TMTD, CBS และ MBT เป็นสารตัวเร่ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 110 - 180 องศาเซลเซียส

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

4.2.3.9 ระดับการวัลคาไนซ์

ระดับการวัลคาไนซ์ของยางปียอร์-0150 จะนำระดับการวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวเร่งชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกับกันอย่างชัดเจน



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

จากรูปที่ 4.36 ยาง BR ที่ใช้ TMTD จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์และระดับของการวัลคาไนซ์ที่ 100 % ของ TMTD จะเกิดขึ้นได้เร็ว และค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์และค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็มากด้วย รองลงมา คือ CBS และ MBT จะเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ช้าสุด ระดับของการวัลคาไนซ์ที่ 100 % ก็ช้า ระดับของการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นช้า แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นน้อย

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบวัลคาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสังเคราะห์

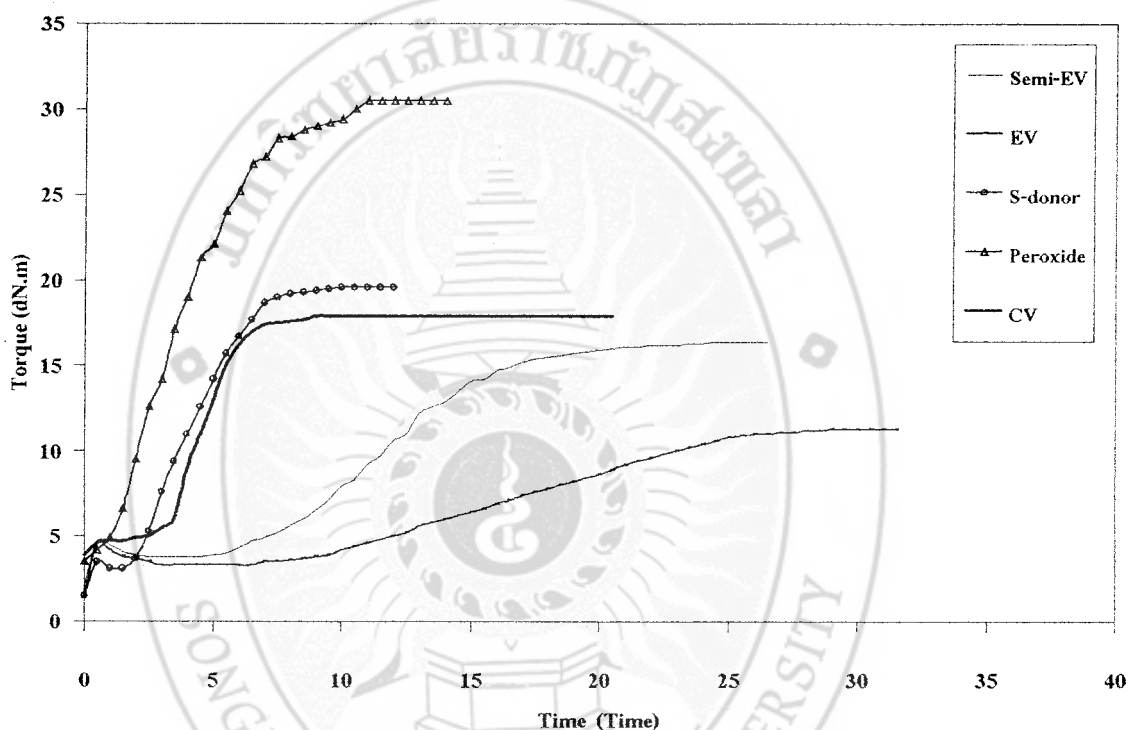
ศึกษาอิทธิพลของระบบวัลคาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสังเคราะห์ 3 ชนิดคือ ยางเอสบีมาร์-1502, ยางเอ็นบีมาร์-1031 และ ยางบีมาร์-0150 ซึ่งใช้ระบบวัลคาไนซ์ 5 ระบบ คือ ระบบกำมะถันปกติ (CV), ระบบเซมิอีวี (Semi-EV), ระบบอีวี (EV), ระบบสารให้กำมะถัน (S-donor) และระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ตามวิธีดำเนินการทดลองข้อ 3.3.4

4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบการวัลคาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของ

ยางเอสบิอาร์-1502

4.3.1.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

ทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเอสบิอาร์-1502 ในระบบการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผลดังรูป



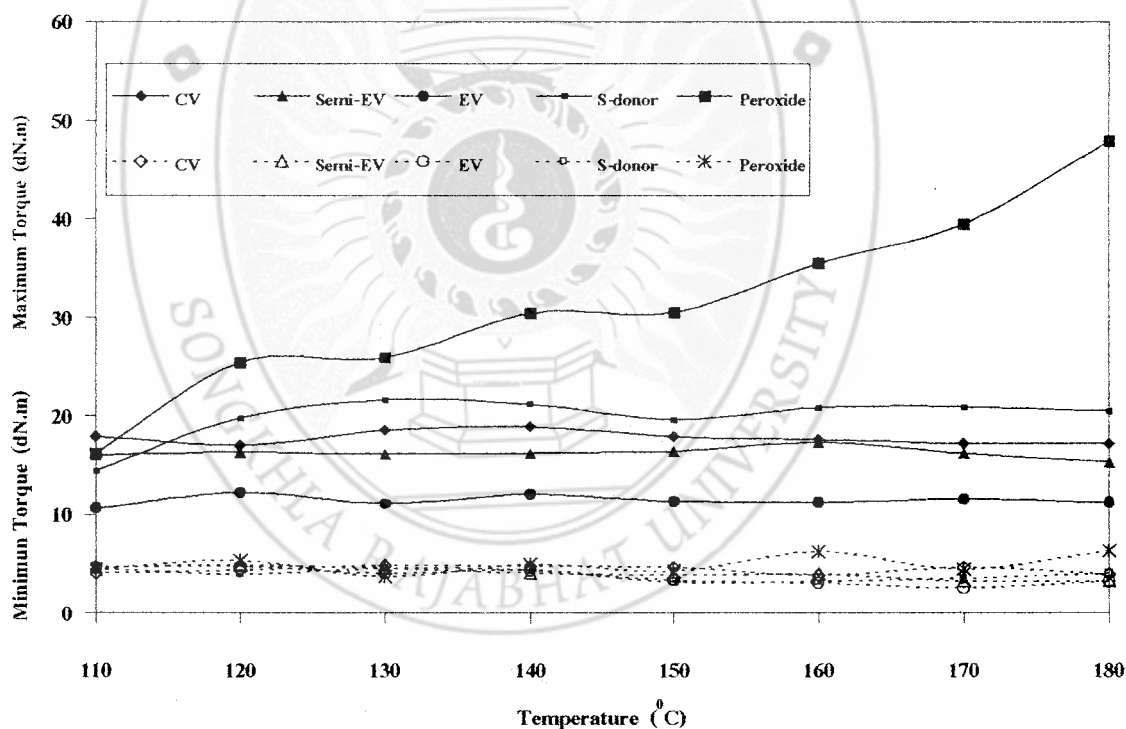
รูปที่ 4.37 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเอสบิอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ยางเอสบิอาร์ จะมีลักษณะโดยทั่วไปคือจะต้องใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ที่ค่อนข้างนาน เนื่องจาก โมเลกุลของยางเอสบิอาร์ นี้จะมีวิทาไดอินเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ในยาง การใช้ CBS ซึ่ง CBS มีเบสอยู่ เบสจะเป็นตัวกระตุ้นให้สารตัวเร่งทำปฏิกิริยากับยางได้เร็วขึ้น ยางเอสบิอาร์ ในระบบเคมีอีวีจะวัลคาไนซ์เร็วกว่าระบบกำมะถันปกติ ยางเอสบิอาร์ ที่วัลคาไนซ์ในระบบอีวี เห็นได้

ว่าการวัดคาบไนซ์จะเกิดขึ้นช้ากว่าระบบเคมีอีวี และระบบกำมะถันปกติ และค่าแรงบิดต่ำกว่า เนื่องจากระบบนี้จะมีกำมะถันอยู่น้อยทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงน้อย

ลักษณะการวัดคาบไนซ์ในระบบเปอร์ออกไซด์ ให้ความเวลาในการสุกของยางช้า แต่ค่าแรงบิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดหนึ่งค่าแรงบิดก็จะตกลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน เนื่องจากระบบเปอร์ออกไซด์นี้ไม่สามารถเร่งให้เกิดการวัดคาบไนซ์ให้เร็วขึ้นเหมือนระบบกำมะถันปกติซึ่งจะเร่งโดยการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง แต่ระบบเปอร์ออกไซด์นี้เราไม่สามารถเพิ่มปริมาณเปอร์ออกไซด์ได้เพราะจะให้ผลเหมือนเดิม ดังนั้นการเร่งให้เกิดการวัดคาบไนซ์ให้เร็วขึ้นก็จะต้องเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์แตกตัวโดยการใช้ความร้อนหรือทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุลยางค่าแรงบิดจะสูงขึ้น แต่ระบบเปอร์ออกไซด์นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง

4.3.1.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

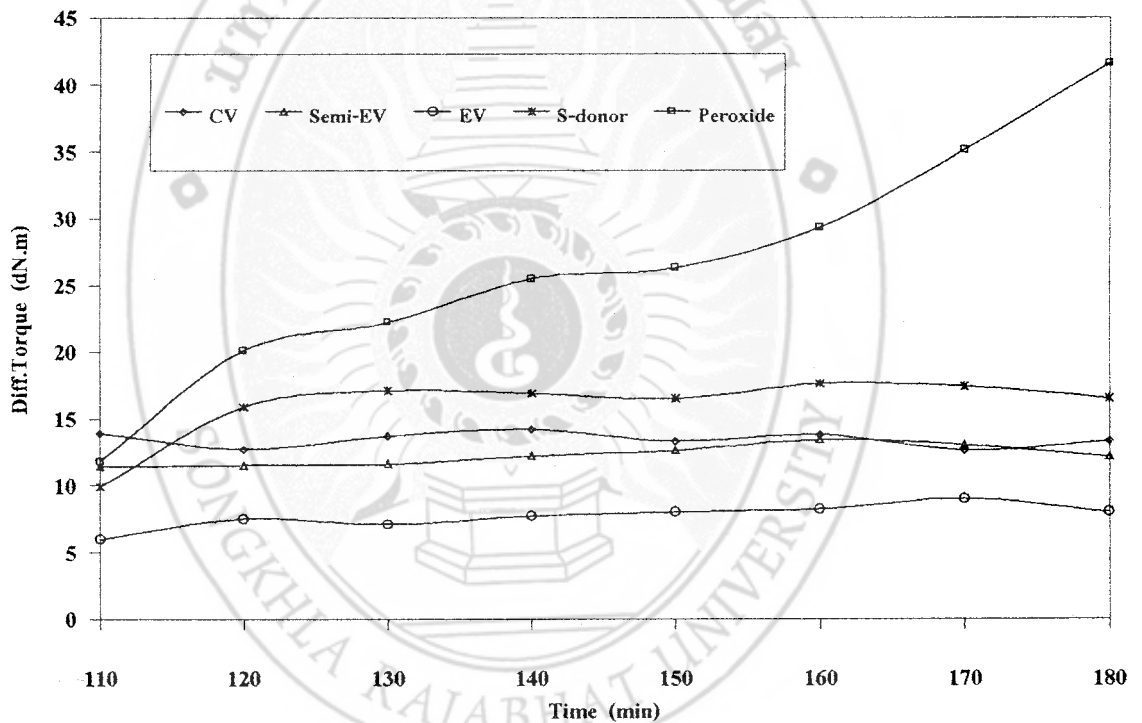


รูปที่ 4.38 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสบิอาร์ ในระบบวัดคาบไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-150 องศาเซลเซียส

จากกราฟเปรียบเทียบค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด ในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าแรงบิดสูงสุดที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์แตกตัวโดยใช้ความร้อน และ ทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น (พรพรรณ, 2528) ส่วนในระบบอื่น ๆ ค่าแรงบิดจะอยู่ในแนวเดียวกัน

4.3.1.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด

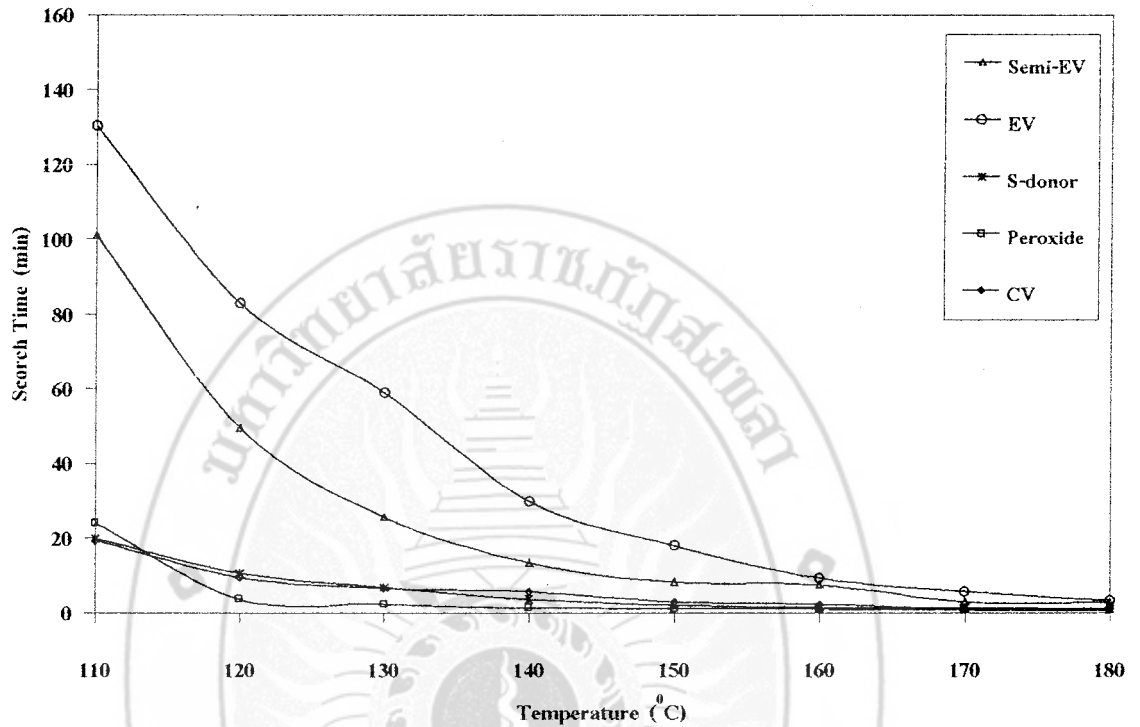
ทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเอสปีอาร์-1502 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส ได้ค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุดมาคำนวณได้ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดกับค่าแรงบิดสูงสุด ดังรูป



รูปที่ 4.39 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางเอสปีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส

จากรูปจะเห็นว่าผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดกับค่าแรงบิดสูงสุดในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนในระบบอื่น ๆ ก็มีค่าไม่ต่างกันมาก

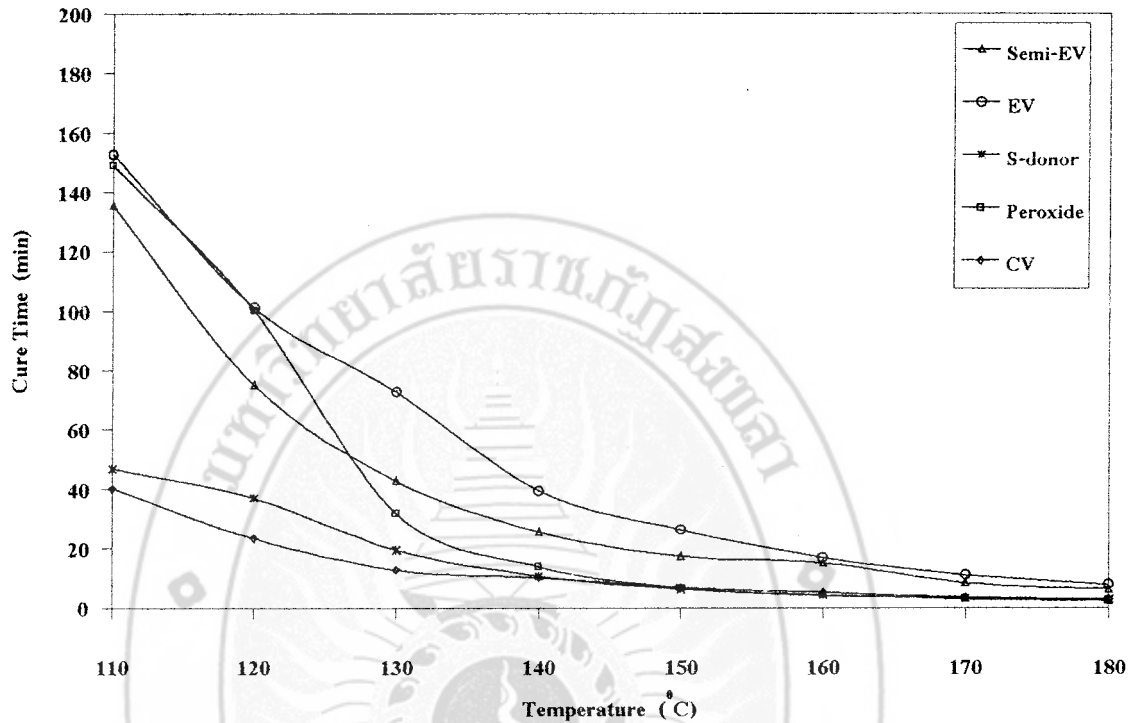
4.3.1.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้



รูปที่ 4.40 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางเอสบิโอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110- 180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.40 พบว่าระบบเปอร์ออกไซด์จะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้น้อยกว่าระบบอื่น ๆ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับยางได้เร็ว ส่วนระบบกำมะถันปกติจะมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้มากกว่าระบบวัลคาไนซ์อื่น ๆ

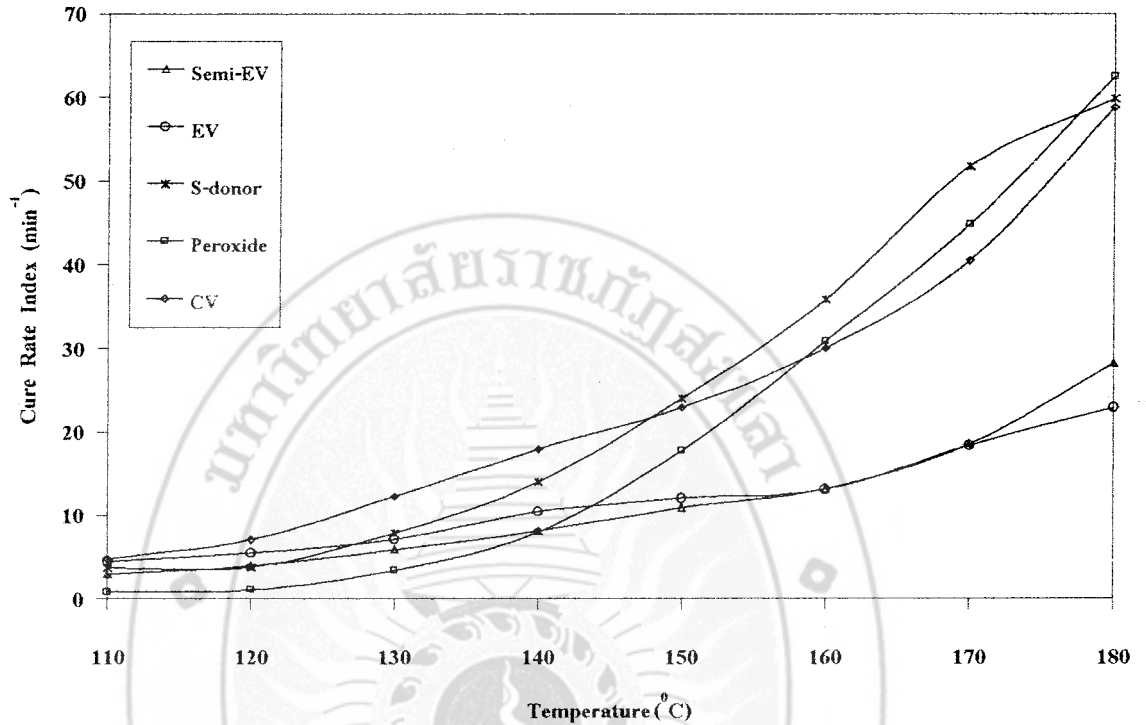
4.3.1.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.41 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางเอสปีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.41 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติจะน้อย เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบนี้เหมาะสม ส่วนระบบอีวีจะมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์มากที่สุด เนื่องจากระบบนี้จะใช้สารตัวเร่งปริมาณมาก และใช้กำมะถันปริมาณน้อยกว่าระบบกำมะถันปกติ จากผลการทดลองนี้เห็นว่าสารตัวเร่งมีอิทธิพลน้อยกว่ากำมะถัน

4.3.1.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์



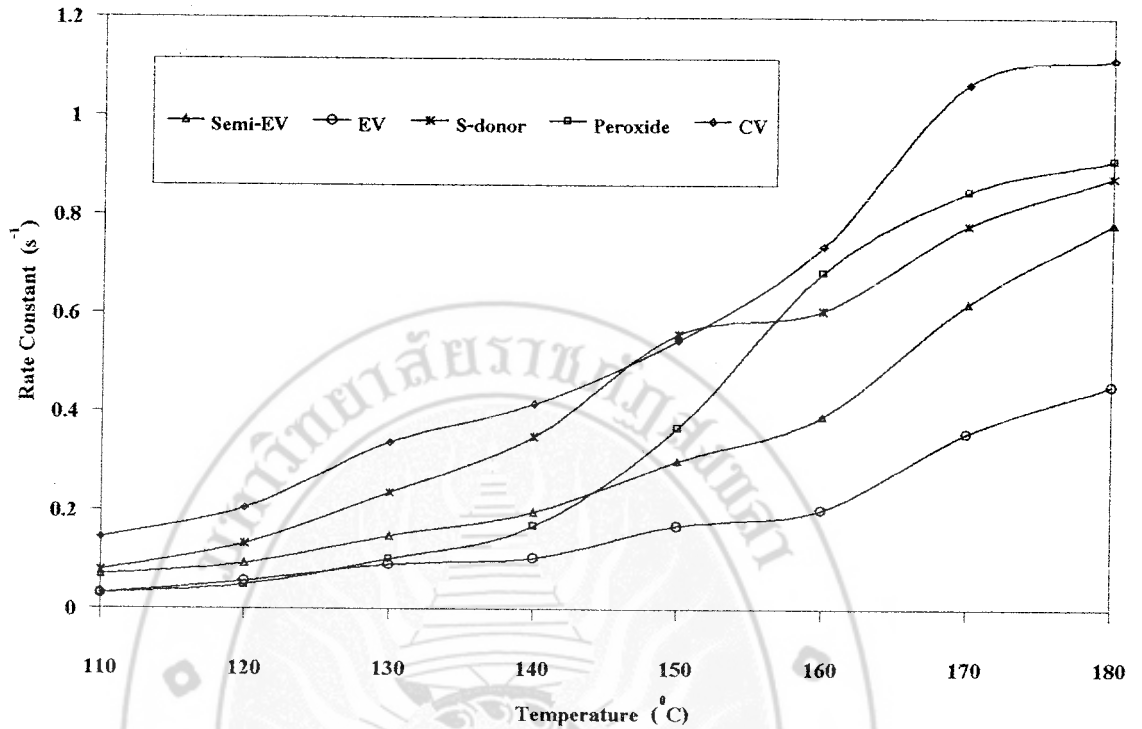
รูปที่ 4.42 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางเอสปีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.42 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งทุกระบบวัลคาไนซ์จะให้ผลเช่นเดียวกัน และที่อุณหภูมิต่ำค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์จะมีค่าน้อยมาก และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4.3.1.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางเอสปีอาร์-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 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

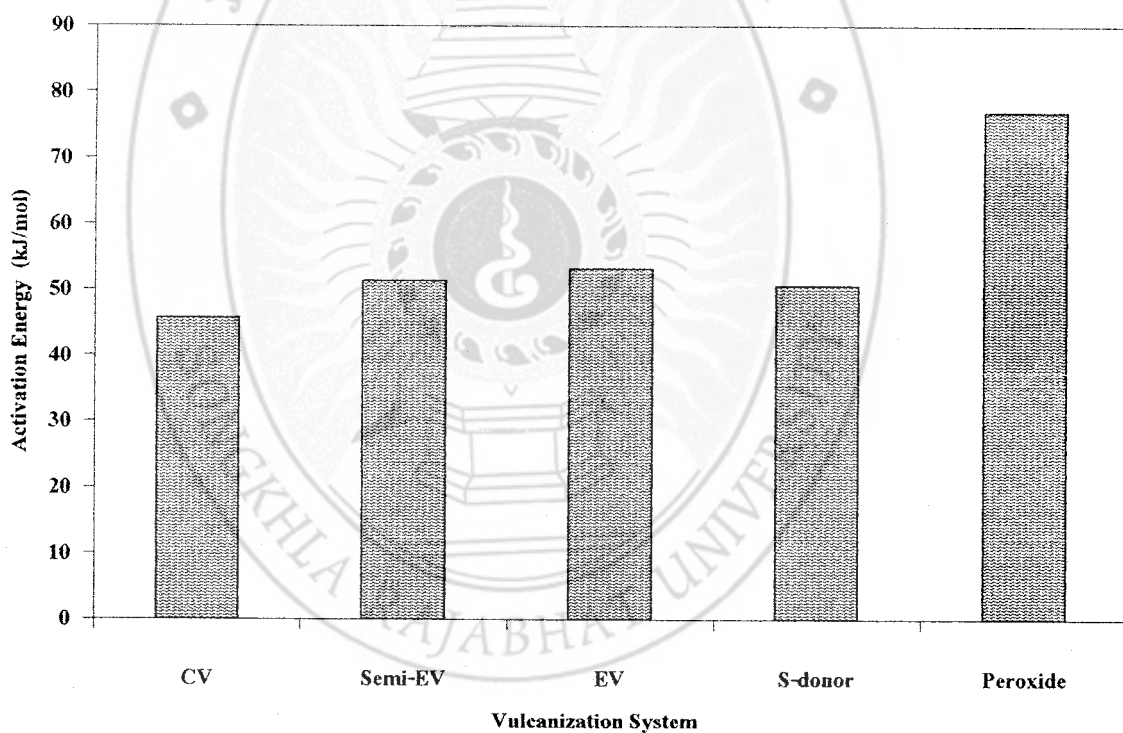
จากลักษณะของกราฟพบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนระบบเปอร์ออกไซด์ก็จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน แต่สังเกตว่าที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียสค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นมาก จากรูป จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการทดสอบต่ำ ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกระบบการวัลคาไนซ์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส) ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าอุณหภูมิมิผลต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ (โสภณและคณะ, 2543)

จากรูปที่ 4.42 ระบบเคมีอีวีมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์น้อยสุด ทำให้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์น้อยด้วยเช่นกัน

4.3.1.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.10 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางเอสบีอาร์-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

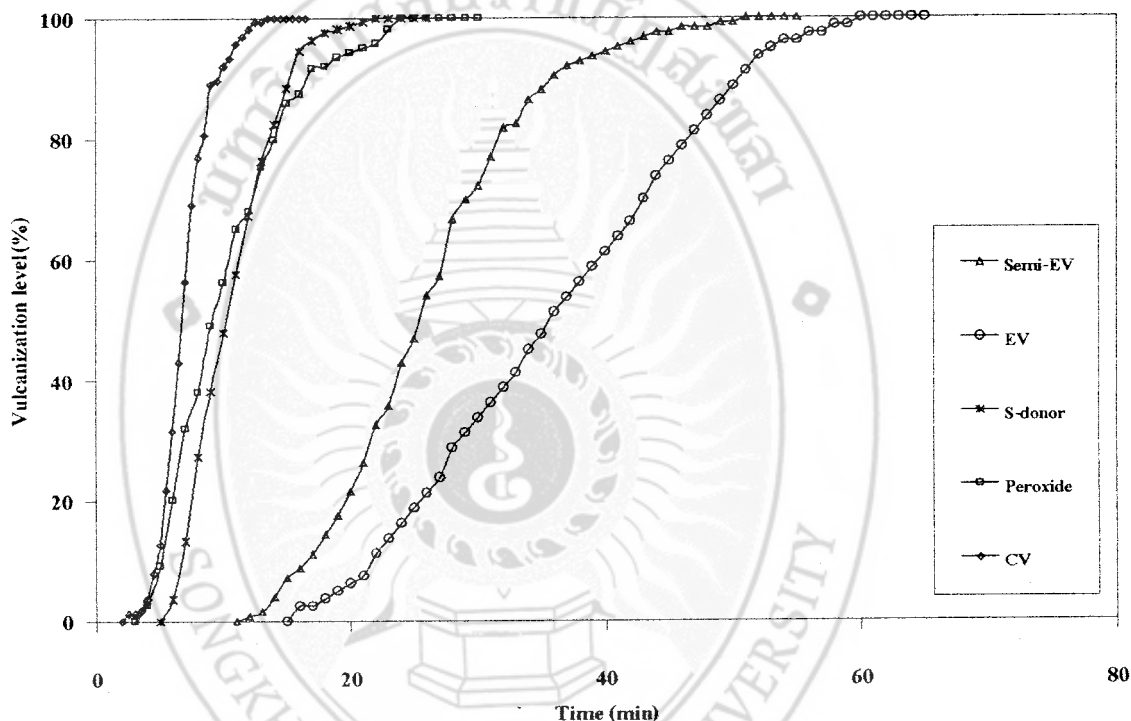


รูปที่ 4.44 พลังงานกระตุ้นของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

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

4.3.1.9 ระดับการวัลคาไนซ์

ระดับการวัลคาไนซ์ ของยางเอสบีอาร์ จะนำระดับการวัลคาไนซ์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกับกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.45 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางเอสบีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

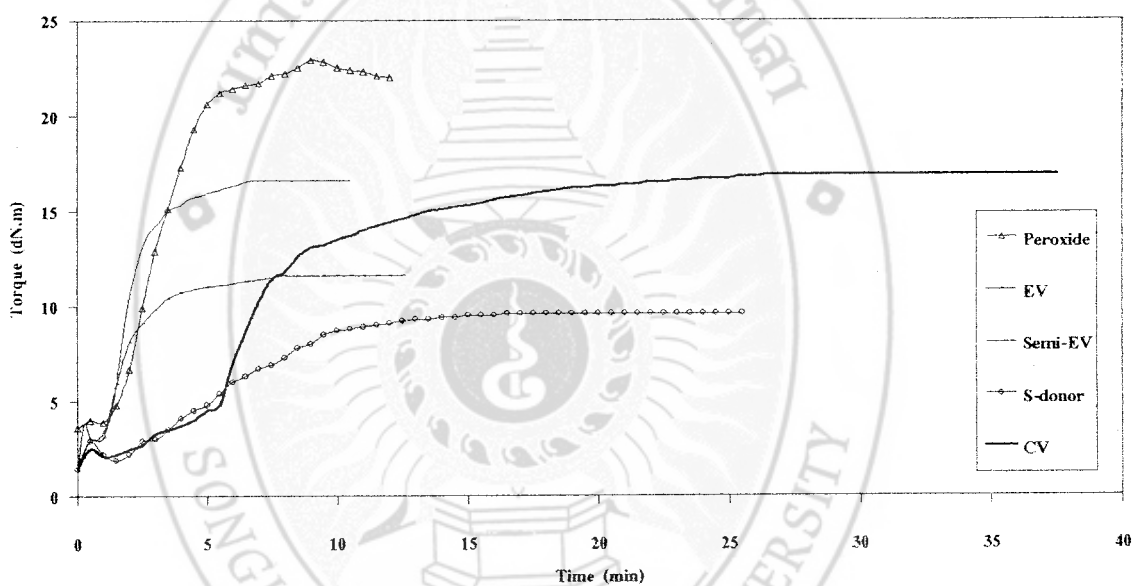
จากรูปพบว่าระดับการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ ระบบกำมะถันปกติ ,ระบบสารให้กำมะถัน, ระบบเคมีอีวี และ ระบบอีวี ตามลำดับ

จากผลการทดลองค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ระบบอีวีจะมีค่าน้อยสุด และค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็น้อยด้วย จึงทำให้ระดับการวัลคาไนซ์มีค่าน้อยด้วย และระบบเปอร์ออกไซด์จะมีระยะเวลาในการแปรรูปสั้นจึงทำให้ระดับการวัลคาไนซ์มีค่ามาก

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบการวัลคาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์-1031

4.3.2.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

ทำการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์-1031 ในระบบวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ ทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูป

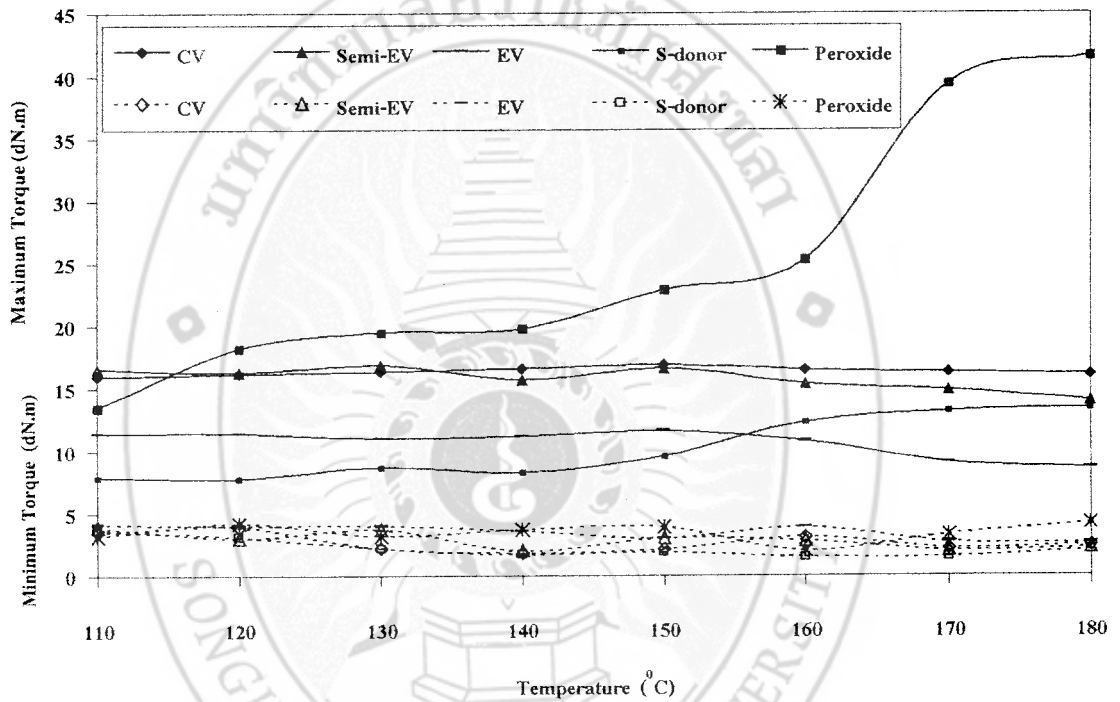


รูปที่ 4.46 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.46 ยางไนไตรล์ ระบบเคมีอีวี โดยระบบนี้จะใช้กำมะถันและสารตัวเร่งกึ่งกลางระหว่างระบบกำมะถันปกติและระบบอีวี ผลคือ ยางที่วัลคาไนซ์ในระบบเคมีอีวีจะวัลคาไนซ์เร็วกว่าระบบกำมะถันปกติ เนื่องจากระบบเคมีอีวีจะมีปริมาณสารตัวเร่งมากกว่าซึ่งสารตัวเร่งมีผลทำให้การวัลคาไนซ์เกิดเร็วขึ้น ในระบบอีวี ซึ่งระบบนี้จะใช้กำมะถันปริมาณน้อยและใช้ปริมาณสารตัวเร่งมาก ทำให้การใช้กำมะถันเชื่อม โยงแต่ละพันธะมีประสิทธิภาพมาก แต่ละพันธะเชื่อม โยง จะมีกำมะถันอยู่

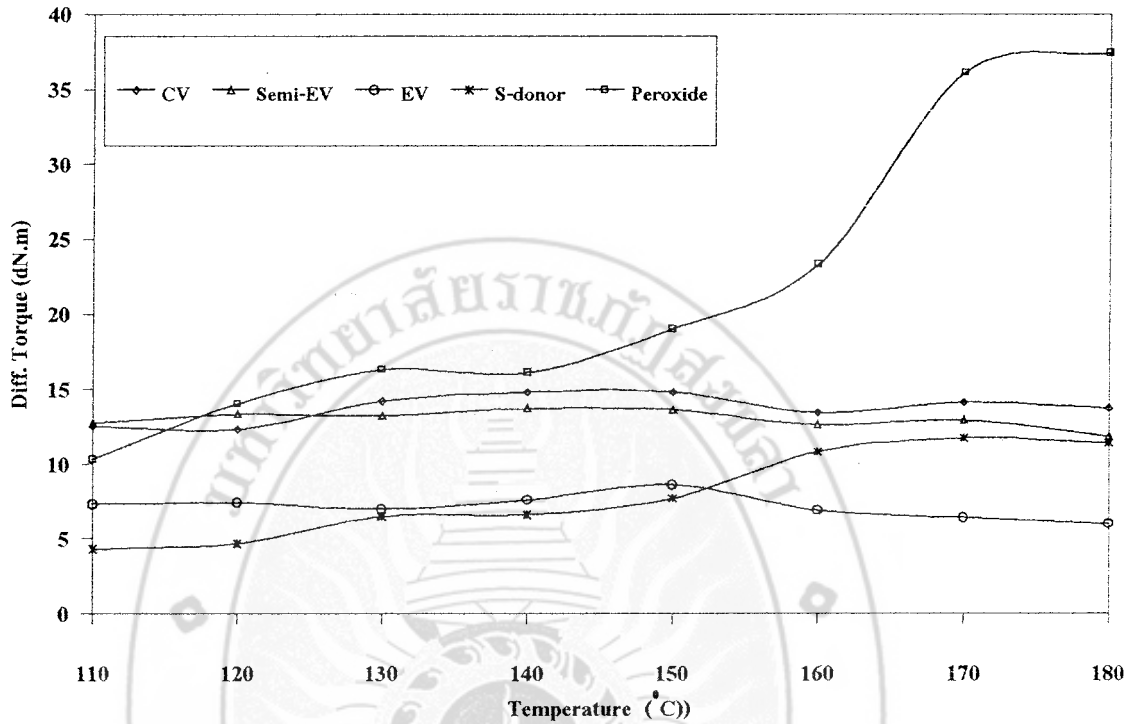
เพียง 1 หรือ 2 อะตอมเท่านั้น การที่ใช้สารตัวเร่งปริมาณมากทำให้การวัลคาไนซ์เกิดเร็วกว่าระบบเซมิอีวี และระบบกำมะถันปกติ ระบบสารให้กำมะถันในที่นี้จะใช้ TMTD เป็นสารให้กำมะถันเวลาในการวัลคาไนซ์จะช้า ระบบเปอร์ออกไซด์เวลาในการสุกของยางก็จะช้า ค่าแรงบิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงจุดหนึ่งค่าแรงบิดก็จะตกลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน

4.3.2.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด



รูปที่ 4.47 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางไนไตรล์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

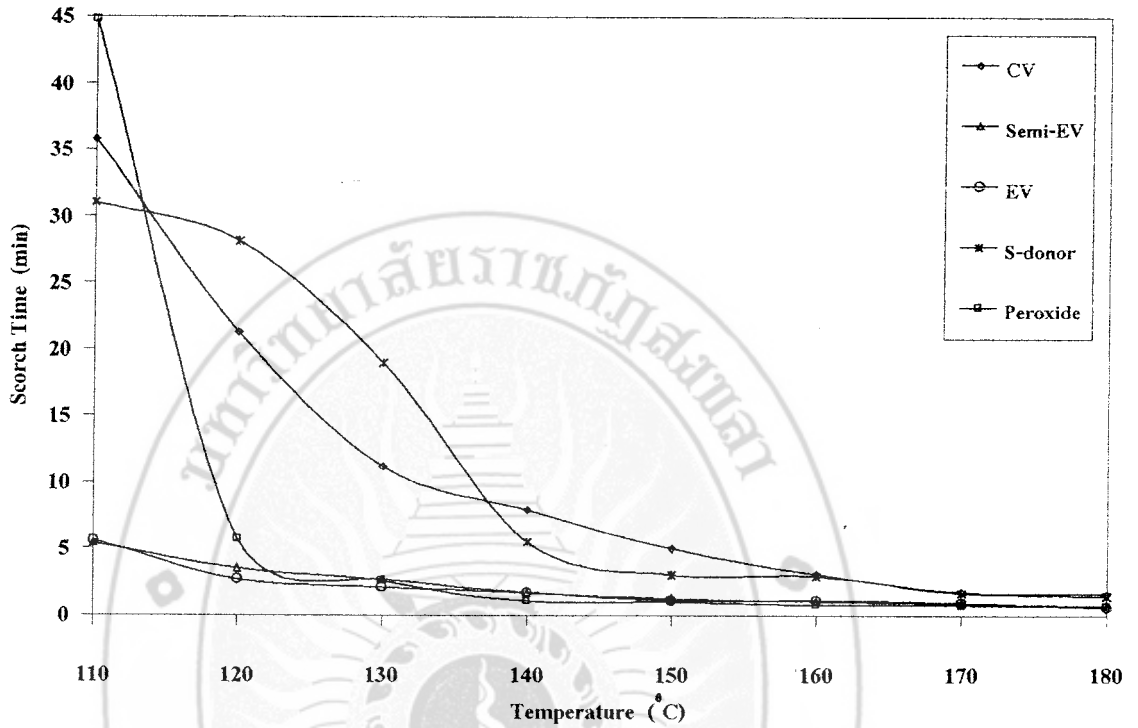
4.3.2.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดต่ำสุดกับค่าแรงบิดสูงสุด



รูปที่ 4.48 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.47 ลักษณะของรูปพบว่ายางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์มีค่าแรงบิดสูงสุดสูงที่สุด และเพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รองลงมา คือ ระบบกำมะถันปกติ, ระบบเซมิอีวี, ระบบอีวี และระบบสารให้กำมะถัน ส่วนผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดระบบเปอร์ออกไซด์มีค่าสูงสุด

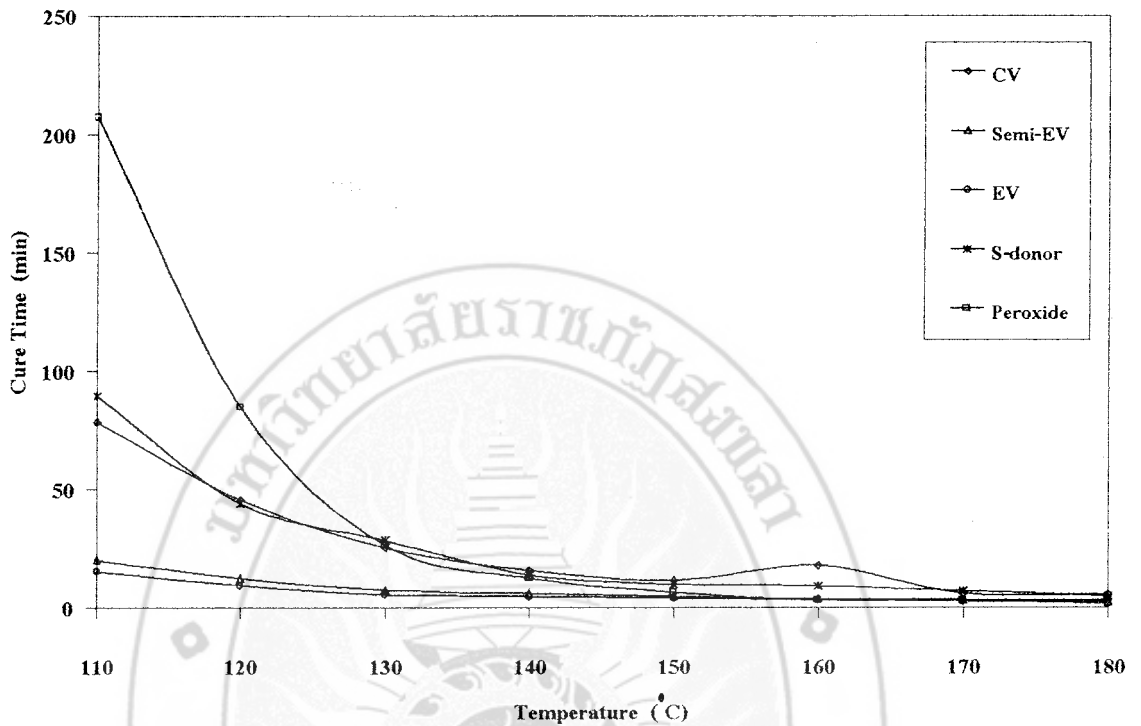
4.3.2.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้



รูปที่ 4.49 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางไนไตรล์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

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

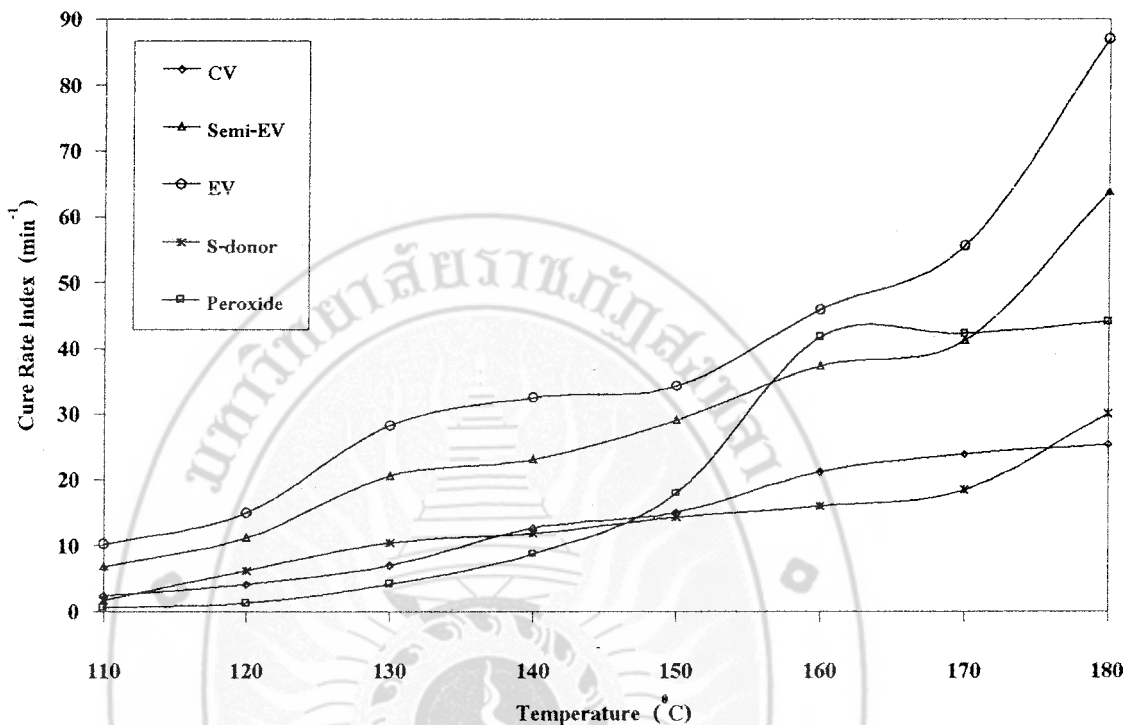
4.3.2.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.50 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟพบว่าระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวีที่ลดลงมากที่สุด รองลงมา คือ ระบบเคมีอีวี, ระบบกำมะถันปกติ, ระบบสารให้กำมะถัน และระบบเปอร์ออกไซด์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางทุกระบบจะมีค่าน้อยลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะระบบเปอร์ออกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะลดลงมาก

4.3.2.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์



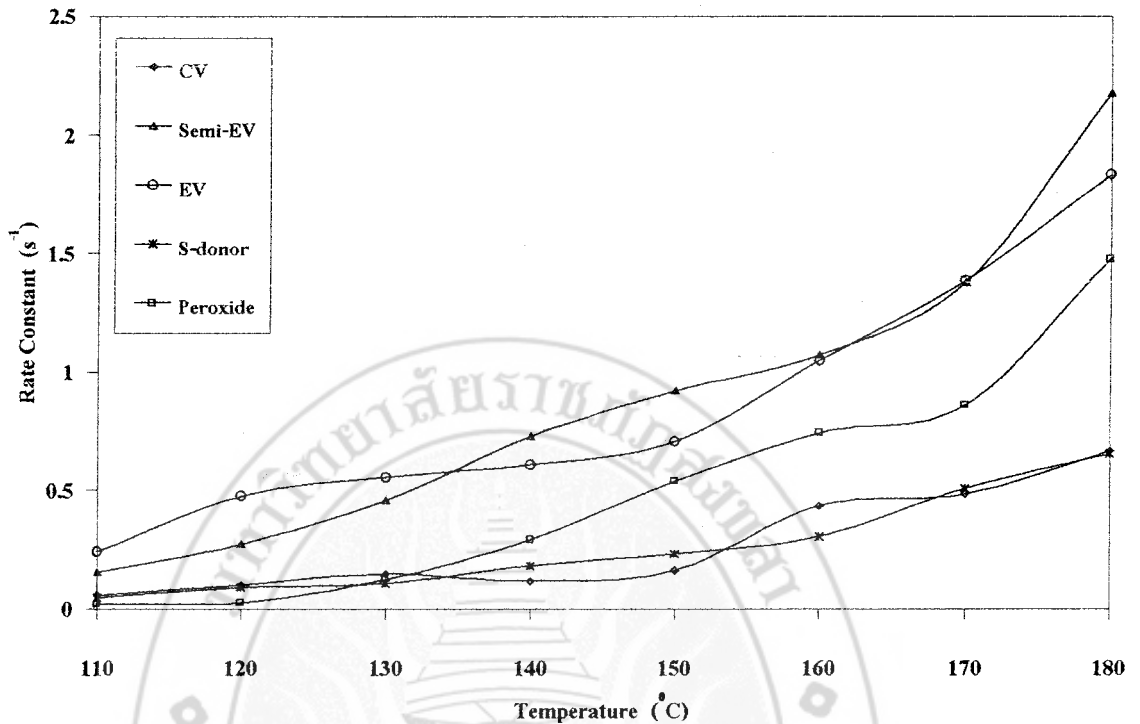
รูปที่ 4.51 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ในระบบเปอร์ออกไซด์ในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียส จะต่ำ แต่พอในช่วงอุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส จะสูง ในขณะที่ระบบอีวี และระบบเคมีอีวีมีค่าสูงและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนระบบสารให้กำมะถัน และระบบกำมะถันปกติ จะมีค่าต่ำกว่า 2 ระบบแรก

4.3.2.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางไนไตรล์-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



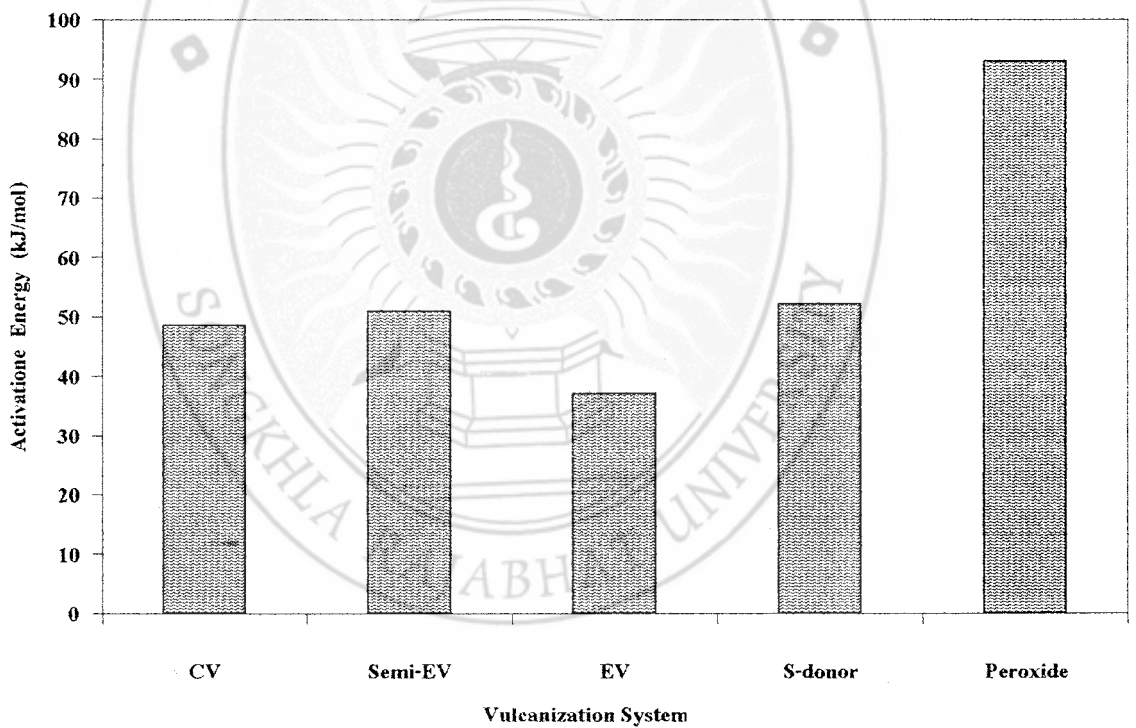
รูปที่ 4.52 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟพบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ นั่นคือจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยาง NBR ระบบกำมะถันปกติที่ใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือระบบเซมิอีวี ระบบอีวี และน้อยที่สุดคือระบบกำมะถันปกติที่ใช้ MBT เป็นสารตัวเร่ง เนื่องจากเมื่อเกิดการวัลคาไนซ์ช้าก็ทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ต่ำลงด้วย และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการวัลคาไนซ์จะเกิดขึ้นได้เร็ว ทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน สังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น MBT จะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าระบบอื่นเนื่องจากปฏิกิริยาของสารตัวเร่งชนิดนี้จะเกิดขึ้นช้า

4.3.2.8 ค่าพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.12 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางไนไตรล์-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

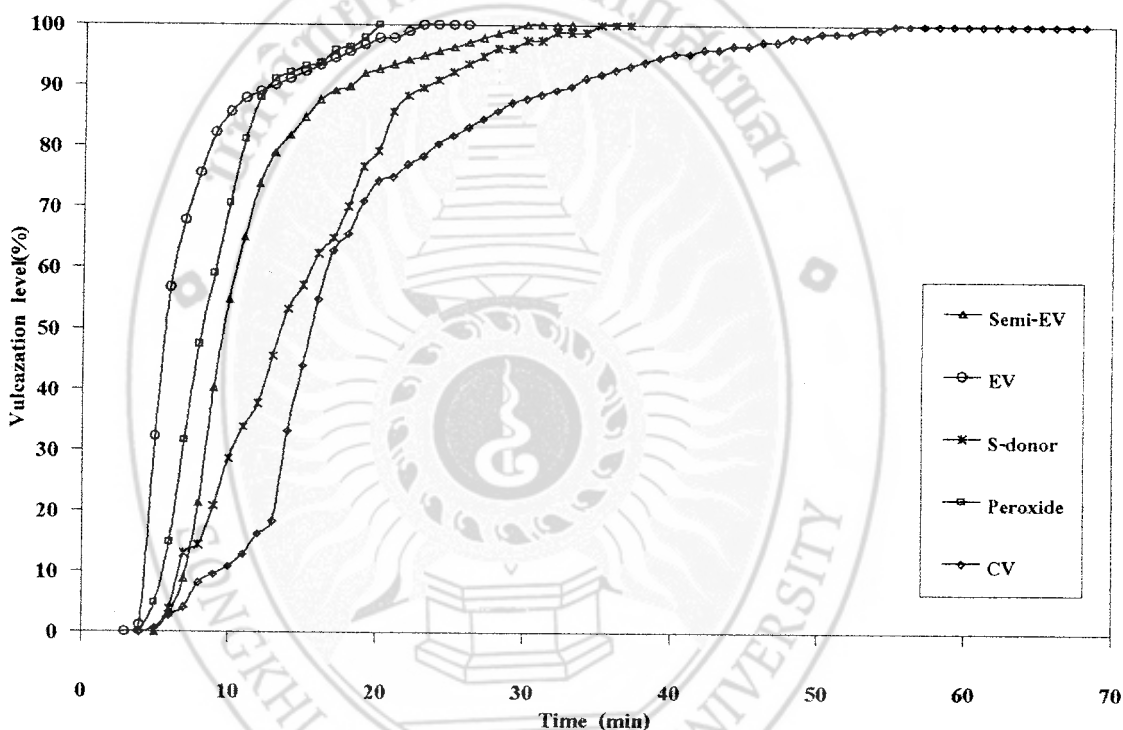


รูปที่ 4.53 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ ซึ่งในระบบกำมะถันปกติจะทำการแปรชนิดของสารตัวเร่ง 3 ชนิด สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ เปอร์ออกไซด์ > ระบบเคมีอีวี > ระบบกำมะถันปกติ > ระบบสารให้กำมะถัน > ระบบอีวี

4.3.2.9 ระดับการวัลคาไนซ์

ระดับการวัลคาไนซ์ ของยางไนไตรล์ จะนำระดับการวัลคาไนซ์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจน



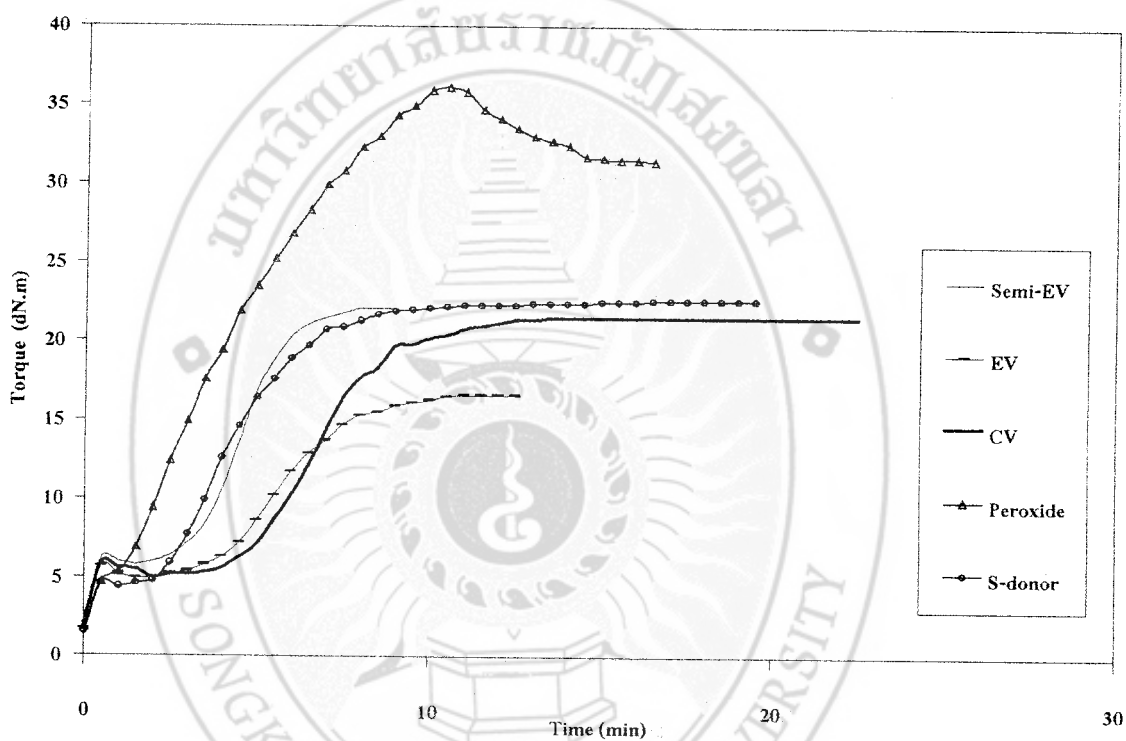
รูปที่ 4.54 ระดับการวัลคาไนซ์ของยางไนไตรล์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าระดับการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวีเร็วที่สุด รองลงมาคือระบบเปอร์ออกไซด์, ระบบกำมะถันปกติ, ระบบเคมีอีวี และระบบสารให้กำมะถัน ซึ่งระบบกำมะถันปกติในช่วงแรกมีระดับการวัลคาไนซ์ที่เร็ว แต่หลังจาก 70 % จะมีระดับการวัลคาไนซ์ช้าลง

4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของระบบการวัดคาไนซ์ต่อคุณลักษณะการวัดคาไนซ์ของ ยางบิโอาร์-0150

4.3.3.1 ลักษณะการวัดคาไนซ์

ทดสอบค่าแรงบิดของยางบิโอาร์-0150 ในระบบวัดคาไนซ์ต่าง ๆ โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป

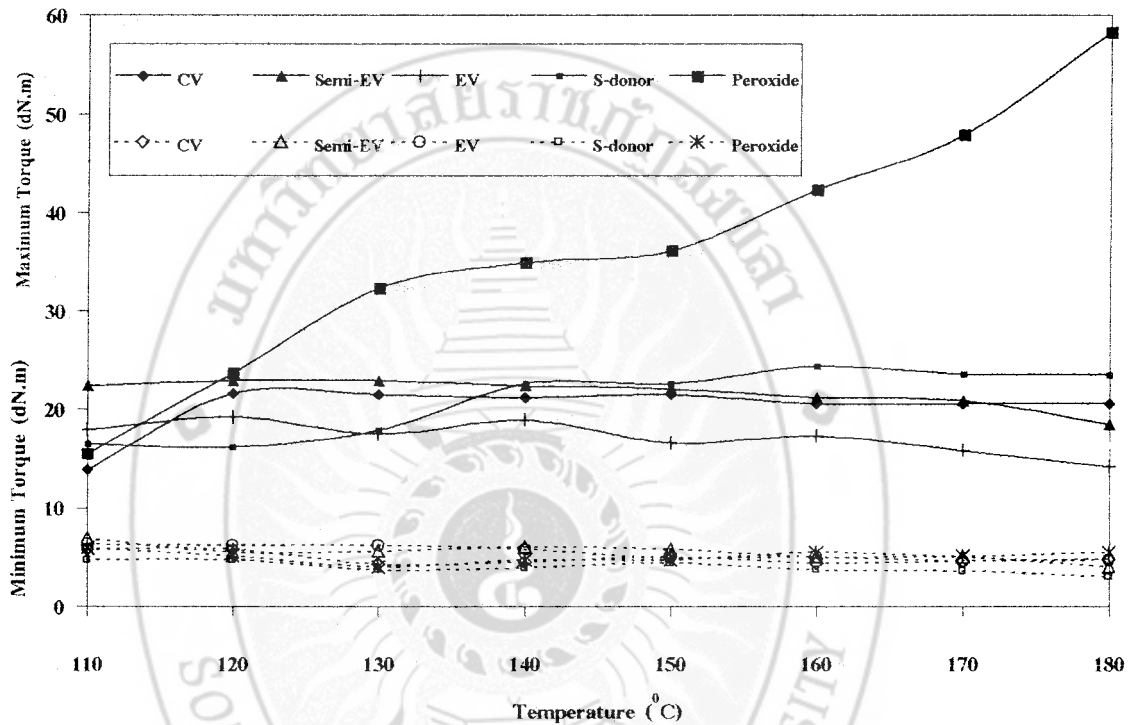


รูปที่ 4.55 ลักษณะการวัดคาไนซ์ของยางบิโอาร์ในระบบวัดคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.55 ยางบิโอาร์ระบบเปอร์ออกไซด์วัดคาไนซ์เร็วกว่าระบบสารให้กำมะถัน ค่าแรงบิดของยางชนิดนี้ในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าแรงบิดสูงกว่าชนิดอื่น ๆ มาก ระบบกำมะถันปกติจะวัดคาไนซ์ช้ากว่าระบบอื่น ๆ มาก

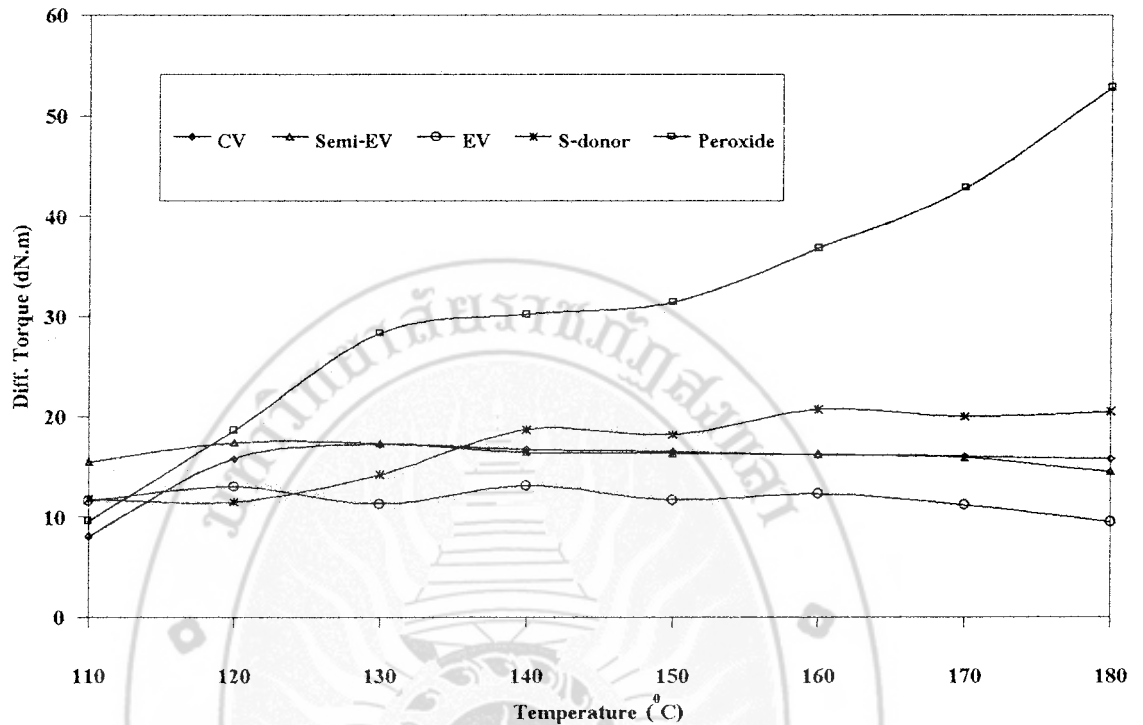
4.3.3.2 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุด

ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ โดยทำการทดสอบค่าแรงบิดที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบดังรูป



รูปที่ 4.56 ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าแรงบิดต่ำสุดของยางมีอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

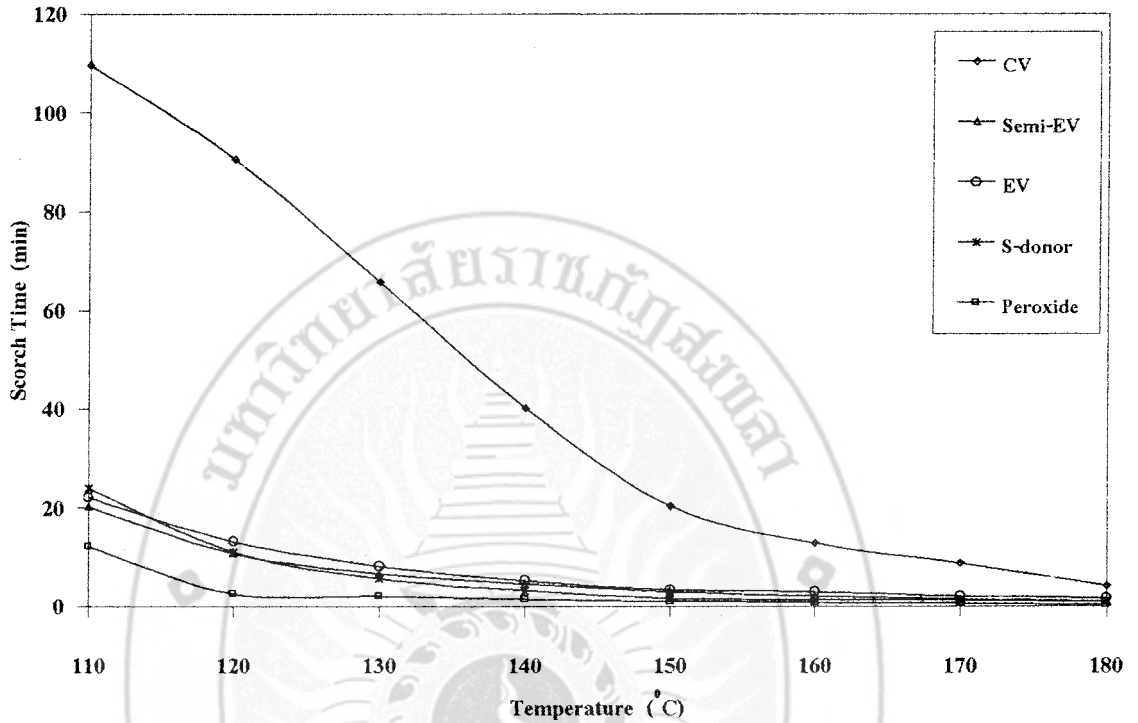
4.3.3.3 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด



รูปที่ 4.57 ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางบิโออีวีในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110–180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.56 ลักษณะของรูปพบว่ายางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์มีค่าแรงบิดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมา คือ ระบบเซมิอีวี, ระบบกำมะถันปกติ, ระบบสารให้กำมะถัน และระบบบิอีวี ตามลำดับ และในระบบเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสมีค่าแรงบิดสูงสุดต่ำที่สุด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็มีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุดทุกระบบจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และรูปที่ 4.57 ก็อธิบายได้เช่นเดียวกัน

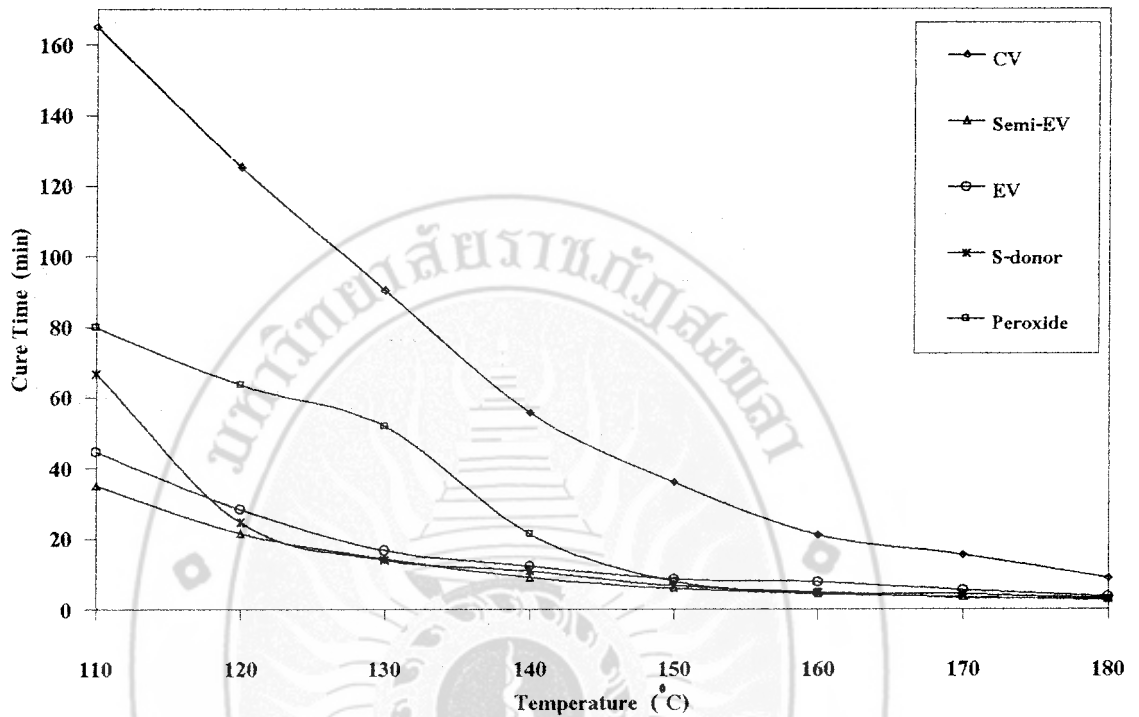
4.3.3.4 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้



รูปที่ 4.58 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางบีดาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของรูปพบว่ายางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์สั้นที่สุด รองลงมา คือ ระบบสารให้กำมะถัน, ระบบเคมีอีวี, ระบบอีวี และระบบกำมะถันปกติ ตามลำดับ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นระยะเวลาที่สามารถแปรรูปของยางทุกระบบจะเร็วขึ้น โดยเฉพาะระบบเปอร์ออกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียส จะลดลงอย่างรวดเร็ว มากกว่าระบบอื่น

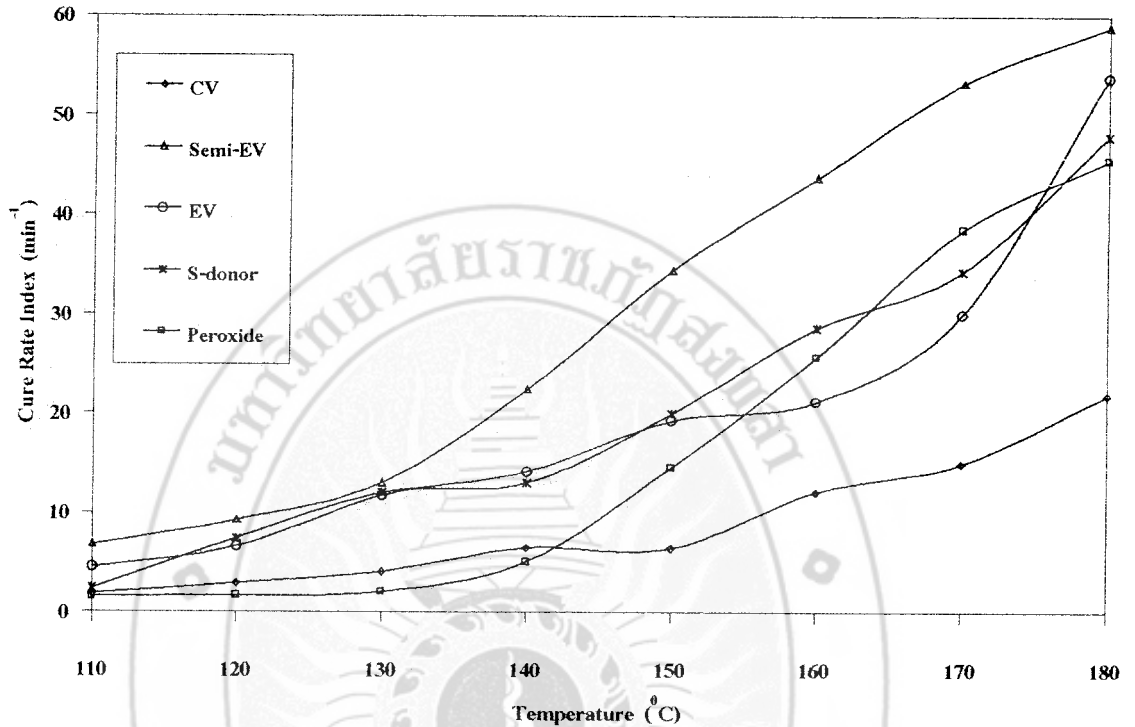
4.3.3.5 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.59 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางบีมาร์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.59 ลักษณะของรูปพบว่าระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเคมี อีวีสั้นสุด รองลงมา คือ ระบบสารให้กำมะถัน, ระบบอีวี, ระบบเปอร์ออกไซด์ และระบบกำมะถัน ปกติ

4.3.3.6 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์



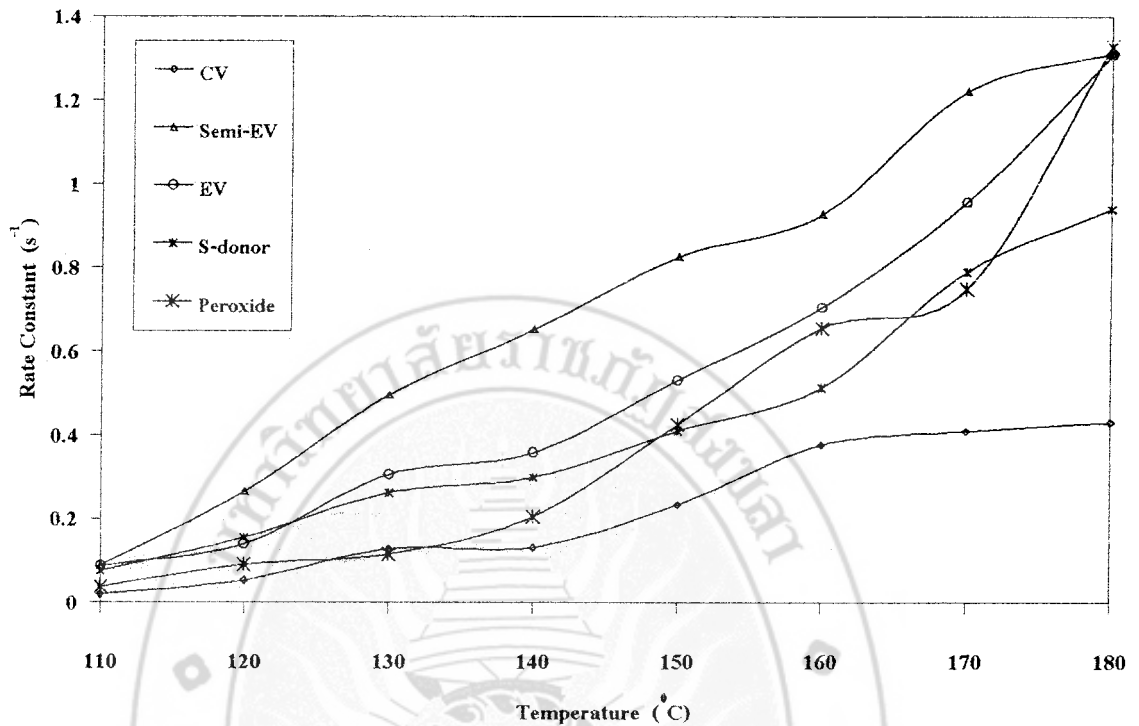
รูปที่ 4.60 ค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางบิอาร์ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.60 จากรูปพบว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี จะมีค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์มาก แต่ในระบบเปอร์ออกไซด์จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเปอร์ออกไซด์จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงในการแตกตัว

4.3.3.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.13 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ของยางบิวอาร์-0150 ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง 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



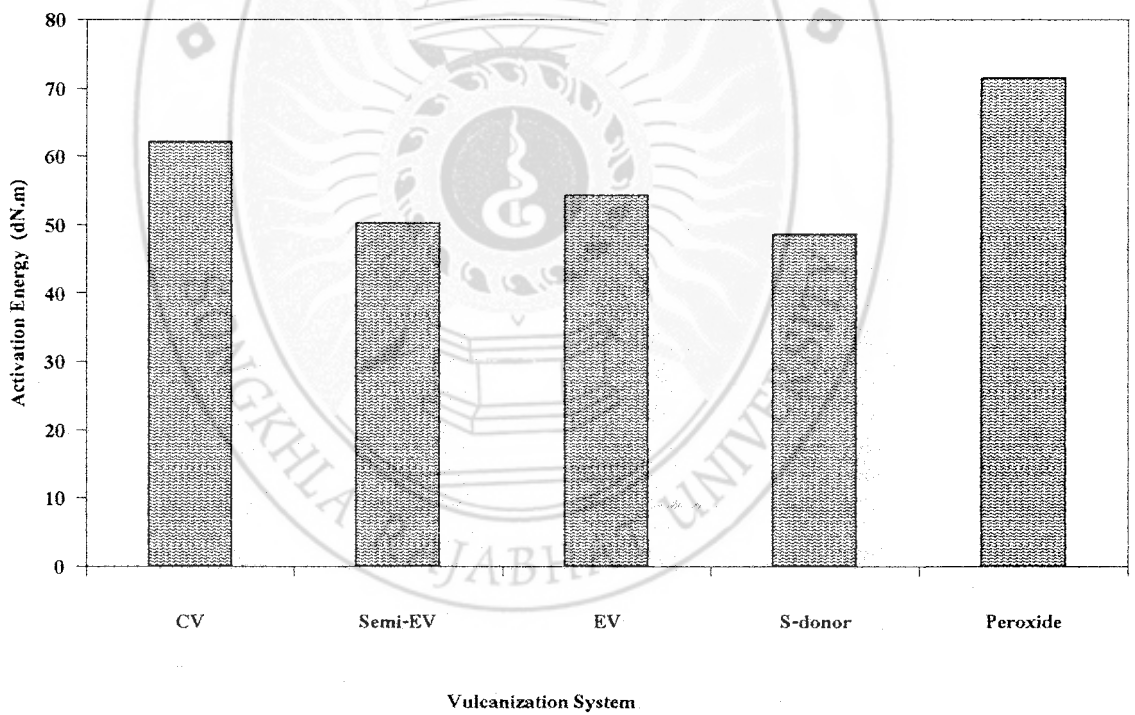
รูปที่ 4.61 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางบิวาร์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่ อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากลักษณะของกราฟค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ด้วยระบบการวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ พบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และระบบการวัลคาไนซ์ ซึ่งถ้าหากการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นเร็ว ค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็จะมีค่ามากด้วย และพบว่าระบบเคมีอีวีจะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์มากที่สุด 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

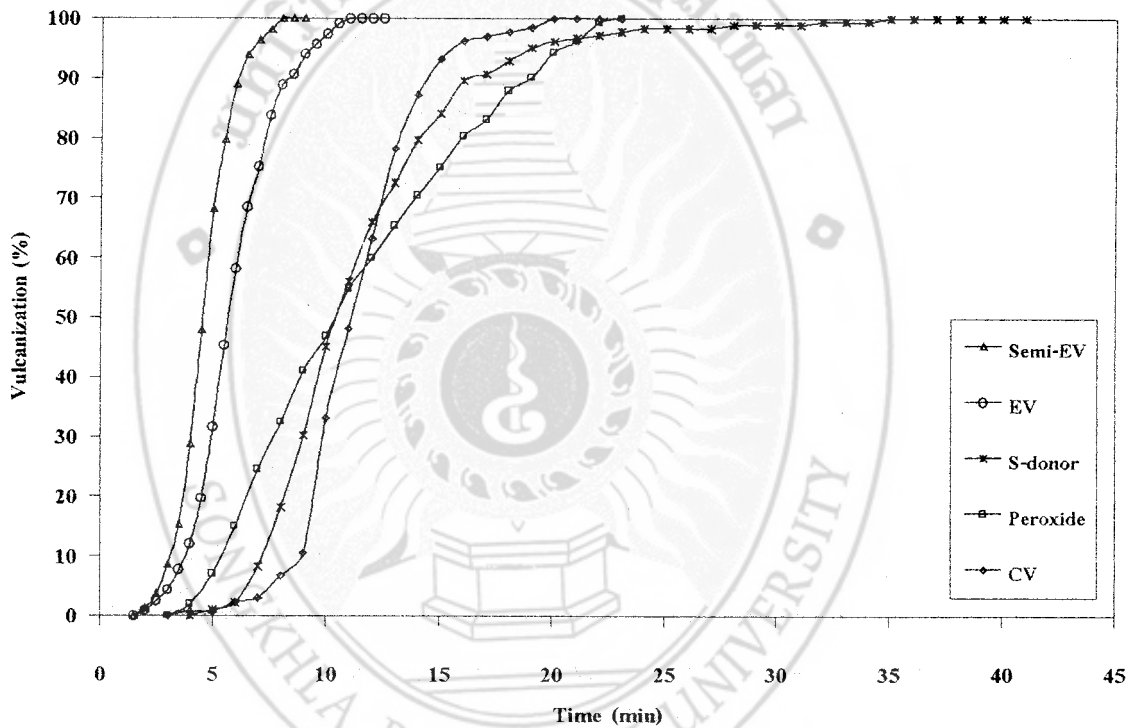


รูปที่ 4.62 ค่าพลังงานกระตุ้นของยางบีอาร์ ในระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 110-180 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าค่าพลังงานกระตุ้นที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบวัลคาไนซ์ทั้ง 5 ระบบ นำมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้น ผลที่ได้นำมาแสดงการเปรียบเทียบ เรียงลำดับได้ดังนี้ ระบบเปอร์ออกไซด์ > ระบบกำมะถันปกติ > ระบบอีวี > ระบบเคมีอีวี > 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

จากลักษณะของรูปพบว่าระดับการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเคมีอีวีจะเร็วที่สุด รองลงมา คือ ระบบอีวี , ระบบเปอร์ออกไซด์, ระบบสารให้กำมะถัน และระบบกำมะถันปกติ ซึ่งระบบนี้จะเริ่มต้นวัลคาไนซ์ช้า จะเห็นว่าค่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์และค่าคงที่ปฏิกิริยาการ

วัลคาไนซ์ในระบบเซมิอ็อกไซด์มีค่ามากเช่นเดียวกับระดับการวัลคาไนซ์ ซึ่งจะมีความชันมากกว่าระบบ วัลคาไนซ์อื่นๆ

