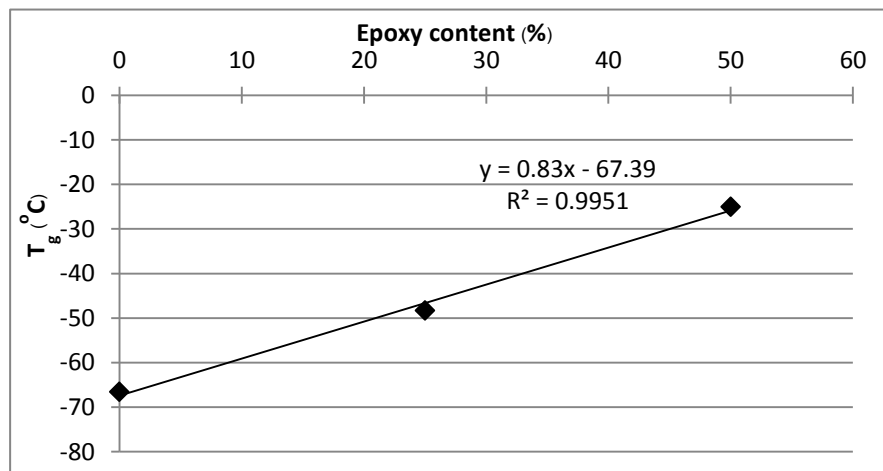


บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การหาปริมาณหมู่เอพอกซีในยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยาเอพอกซีเดชัน

การหาปริมาณหมู่เอพอกซีบนยาง ENR1 และยาง ENR2 ทำได้โดยคำนวณจากกราฟมาตรฐาน ที่พล็อตระหว่างค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วกับปริมาณหมู่เอพอกซีที่ทราบค่าของตัวอย่างยางธรรมชาติเอพอกซีไดซ์มาตรฐานที่มีปริมาณหมู่เอพอกซี 25% และ 50% โดยโมล โดยกราฟมาตรฐานเป็นดังรูปที่ 4.1 ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) กับปริมาณหมู่เอพอกซีของยางมาตรฐานที่มีปริมาณหมู่เอพอกซีเท่ากับ 0, 25 และ 50 % โดยโมล

จากรูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.83x - 67.39$ นำค่า T_g ของยาง ENR1 และ ENR2 ที่หาได้ด้วยเครื่อง DSC ไปแทนค่า y ในสมการ ก็จะรู้ปริมาณของหมู่เอพอกซี โดยปริมาณหมู่เอพอกซีของยาง ENR1 และ ENR2 ที่หาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า T_g ของยาง ENR1 และ ENR2 และปริมาณหมู่เอพอกซีที่คำนวณได้

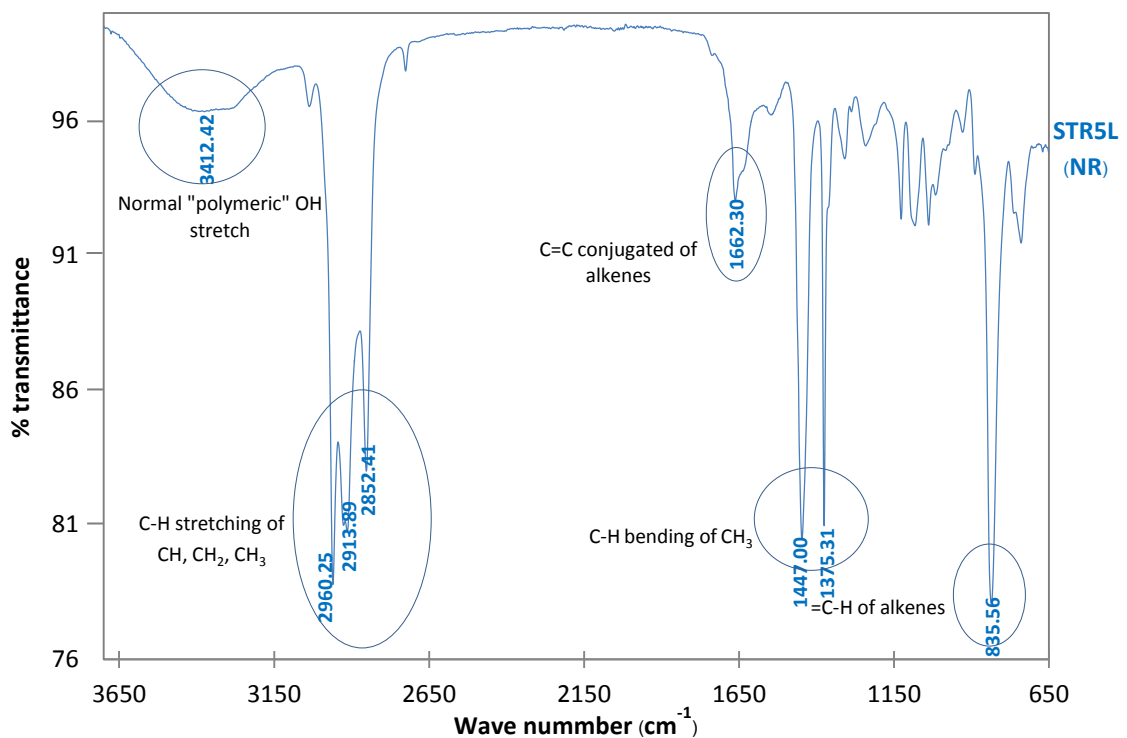
ชนิดของยาง	$T_{g \text{ onset}}$ (°C)	ปริมาณหมู่เอพอกซี (% mol)
ENR1	-57.15	10.94
ENR2	-47.21	24.15

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเติมกรดคลอโรอะซิติกลงไปในน้ำยาง ENR1 11 % โดยโมล ก็จะได้เป็นยาง CNR1 และเมื่อเติมกรดคลอโรอะซิติกลงไปในน้ำยาง ENR2 25 % โดยโมล ก็จะได้เป็นยาง CNR2

4.2 การศึกษาผลของการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่มีต่อโครงสร้างของยางธรรมชาติ

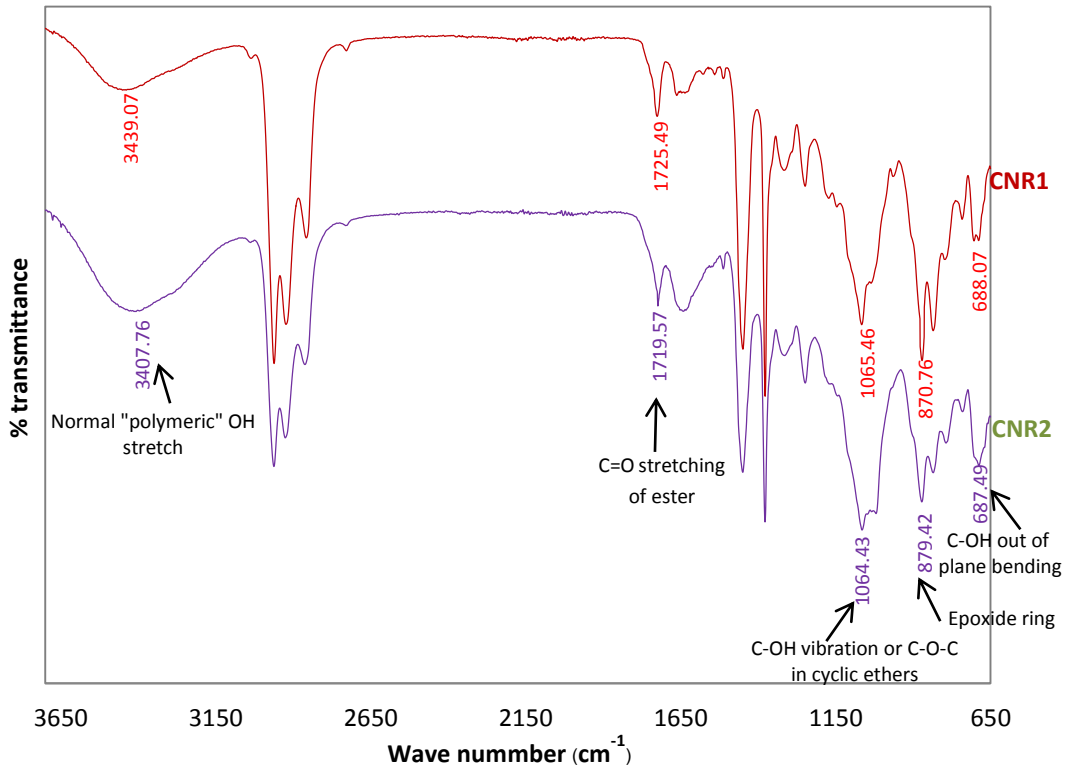
4.2.1 ผลการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลโดยใช้เทคนิค FTIR

การศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติที่ผ่านการเพิ่มหมู่ฟังก์ชัน จะใช้เทคนิค Fourier Transform-Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยทำการสแกนในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ $4,000-650\text{ cm}^{-1}$ โดย FTIR สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (STR5L) แสดงในรูปที่ 4.2



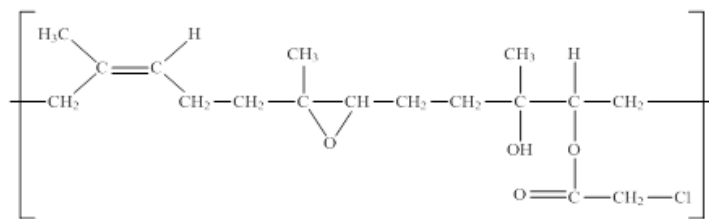
รูปที่ 4.2 FTIR สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (STR5L) ในช่วงเลขคลื่น $4,000-650\text{ cm}^{-1}$

จากรูปที่ 4.2 FTIR สเปกตรัมของยาง STR5L ปรากฏสัญญาณซึ่งบ่งบอกถึงโครงสร้างที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของยางธรรมชาติขึ้น ที่เลขคลื่นประมาณ $2960, 2913.89$ และ 2852.41 cm^{-1} ซึ่งเป็นโครงสร้างของ C-H stretching of CH, CH₂, CH₃ และที่เลขคลื่นประมาณ 1662.30 cm^{-1} ซึ่งเป็นโครงสร้างของ C=C conjugated of alkenes และที่เลขคลื่นประมาณ 1447.00 กับ 1375.31 cm^{-1} ซึ่งเป็นโครงสร้างของ C-H bending of CH₃ นอกจากนี้ยังปรากฏสัญญาณขึ้นที่เลขคลื่นประมาณ 835.56 cm^{-1} ซึ่งเป็นโครงสร้างของ =C-H of alkenes อีกด้วย ส่วน FTIR สเปกตรัมของยาง CNR1 และยาง CNR2 แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 FTIR สเปกตรัมของยาง CNR1 และยาง CNR2 ในช่วงเลขคลื่น 4,000-650 cm^{-1}

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าบนสายโซ่โพลีเมอร์ของยาง CNR มีหมู่ฟังก์ชันหลายๆ ชนิดเกิดขึ้นได้แก่ หมู่เอพอกซี ซึ่งปรากฏสัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ 870 cm^{-1} และที่ 1065 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณของ C-O-C ใน cyclic ethers และ C-OH [36] และยังมีปรากฏหมู่คาร์บอนิล (C=O) ของเอสเทอร์ ที่เลขคลื่นประมาณ 1700 cm^{-1} [37] นอกจากนี้ยังปรากฏหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่เลขคลื่นประมาณ 688 cm^{-1} และ 3400 cm^{-1} [38] แสดงว่าเมื่อหมู่เอพอกซีถูกเปิดวงด้วยกรดแล้วจะปรากฏหมู่ฟังก์ชันใหม่ขึ้น นอกจากนี้ยังอาจจะมีหมู่เอพอกซีบางส่วนที่ไม่ได้ถูกเปิดวงด้วยกรดหลงเหลืออยู่อีกด้วยซึ่งสามารถพบได้จากสัญญาณที่ปรากฏที่เลขคลื่นประมาณ 870 cm^{-1} อีกด้วยโดยโครงสร้างของยาง CNR ที่น่าจะเป็นจึงสรุปออกมาเป็นดังรูปที่ 4.4 ดังนี้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างโมเลกุลที่คาดว่าน่าจะเป็นของยาง CNR

ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนยาง CNR1 และยาง CNR2 นั้นสามารถเทียบได้โดยใช้ค่า “Transmittance intensity ratio” ซึ่งเป็นการนำค่า % transmittance ของหมู่ฟังก์ชันที่

เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันนั้นมาหารด้วยค่า % transmittance ของโครงสร้างอ้างอิง ซึ่งในที่นี้จะใช้พันธะคู่หรือ C=C โดยผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2-4.3

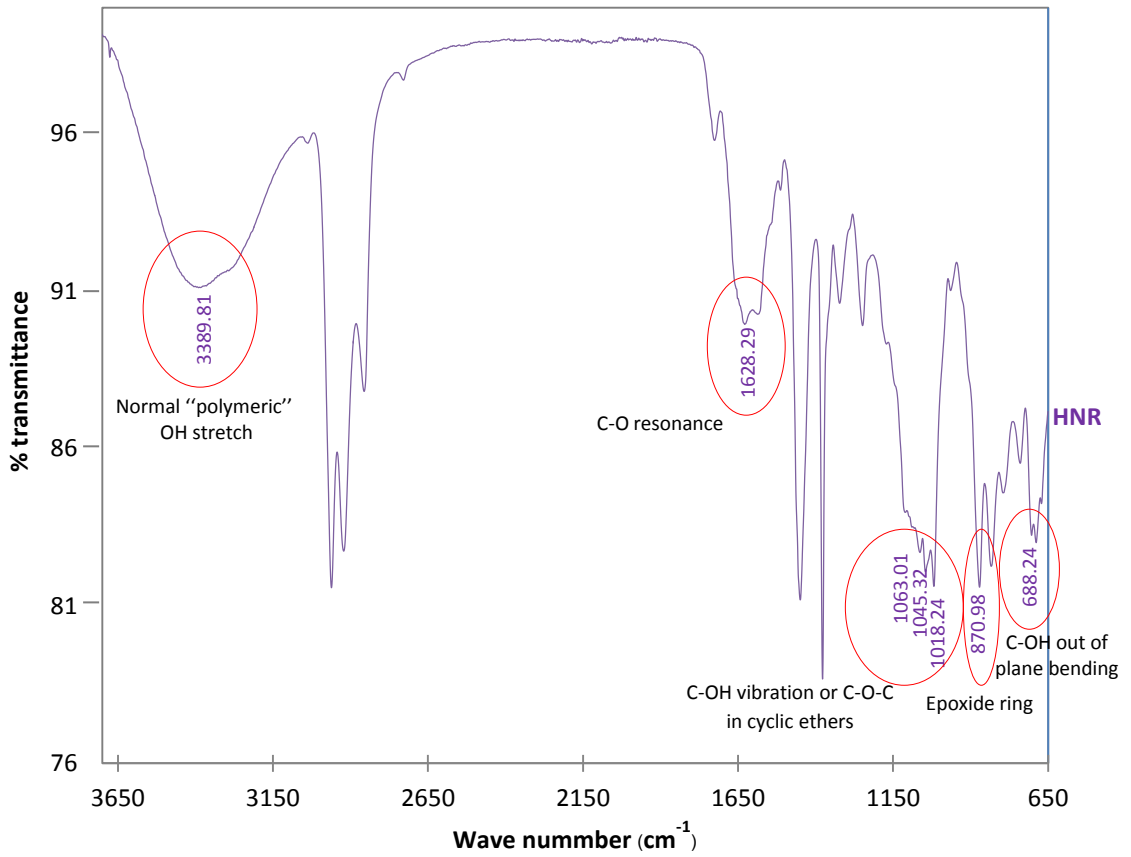
ตารางที่ 4.2 ค่า Transmittance intensity ratio ของ C=O เทียบกับ C=C ของยาง CNR1 และ CNR2

ตัวอย่างยาง	Wave number	Transmittance intensity ratio
ยาง CNR 1	1725.49 (C=O) : 1662.26 (C=C)	0.9916:1
ยาง CNR 2	1719.71 (C=O) : 1640.45 (C=C)	1.0051:1

ตารางที่ 4.3 ค่า Intensity ratio ของ OH เทียบกับ C=C ของยาง CNR1 และ CNR 2

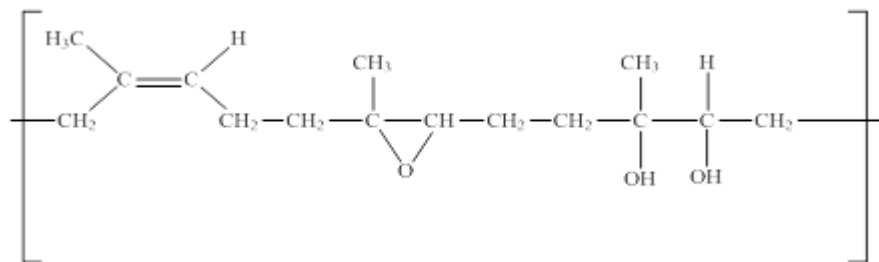
ตัวอย่างยาง	Wave number	Transmittance intensity ratio
ยาง CNR 1	3439.07 (OH) : 1662.26 (C=C)	0.9943:1
ยาง CNR 2	3407.76 (OH) : 1640.45 (C=C)	0.9372:1

ค่า transmittance intensity ratio ของ OH เทียบกับ C=C ของยาง CNR1 มีค่าเท่ากับ 0.9923 ในขณะที่ค่า transmittance intensity ratio ของ OH เทียบกับ C=C ของยาง CNR2 มีค่าเท่ากับ 0.9372 หรือหมายความว่ายาง CNR2 มีสัดส่วนของ % transmittance ของหมู่ OH ต่อ % transmittance ของ C=C ต่ำกว่าในกรณีของยาง CNR1 (Transmittance intensity ratio มีค่าน้อยกว่า) และเพราะ % transmittance เป็นส่วนกลับของ % absorbance ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ยาง CNR2 มีค่าสัดส่วนของ % absorbance ของหมู่ OH ต่อ C=C สูงกว่าในกรณีของยาง CNR1 หรือหมายความว่าปริมาณของหมู่ OH ของยาง CNR2 ที่เกิดขึ้น เทียบกับ C=C มีปริมาณมากกว่าของยาง CNR1 นั้นเอง ส่วนค่า Transmittance intensity-ratio ของหมู่ C=O เทียบกับ C=C ของยาง CNR1 และยาง CNR2 มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าทั้งยาง CNR1 และยาง CNR2 มีปริมาณของหมู่ C=O ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน แสดงว่ากระบวนการเปิดวงอีพอกซีด้วยกรดคลอโรอะซิติกของยาง CNR2 นั้นจะทำให้เกิดหมู่ OH มากกว่าที่จะเกิดเป็นหมู่ C=O ของเอสเทอร์นั่นเอง



รูปที่ 4.5 FTIR สเปกตรัมของยาง HNR ในช่วงเลขคลื่น 4,000-650 cm^{-1}

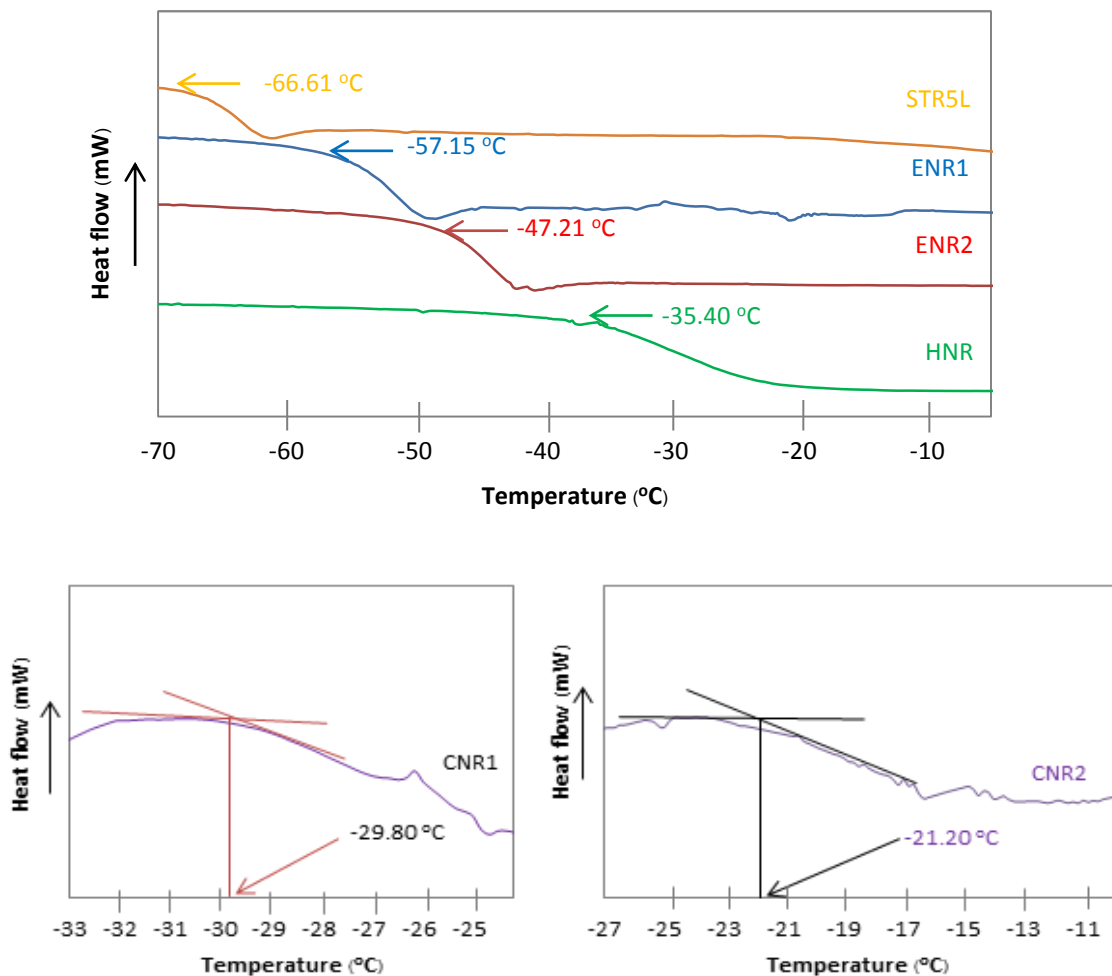
ในส่วนของยาง HNR รูปที่ 4.5 นั้นปรากฏหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดจากการที่วงอีพอกซีถูกเปิดวงด้วยความร้อนเกิดขึ้น [29] โดยดูได้จากสัญญาณที่ปรากฏที่เลขคลื่น 688.24 cm^{-1} [37] และ 3389.81 cm^{-1} นอกจากนี้ยังปรากฏสัญญาณขึ้นเด่นชัดที่เลขคลื่นประมาณ 1018.24, 1045.32, 1063.01 cm^{-1} ซึ่งเป็นของโครงสร้าง C-OH นอกจากนี้ยังปรากฏสัญญาณที่เลขคลื่น 1628.29 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณของ C-O resonance [39] และยังปรากฏหมู่คาร์บอนิลเกิดขึ้นที่เลขคลื่นประมาณ 1724 cm^{-1} ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่วงอีพอกซีถูกเปิดวงด้วยกรดในระหว่างปฏิกิริยาอีพอกซีเดชัน โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการสรุปโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ของยาง HNR ไว้ดังนี้



รูปที่ 4.6 โครงสร้างโมเลกุลที่คาดว่าน่าจะเป็นของยาง HNR [35]

4.2.2 ผลการศึกษาการตัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติจากเทคนิค DSC

ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของยาง มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของยาง โดยยางที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของยางจะทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ยาก ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันของยาง โดยยางที่มีอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันสูง จะส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ยากส่งผลให้ยางมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วสูง โดยค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของยางแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 Thermograms ของยางแต่ละชนิด

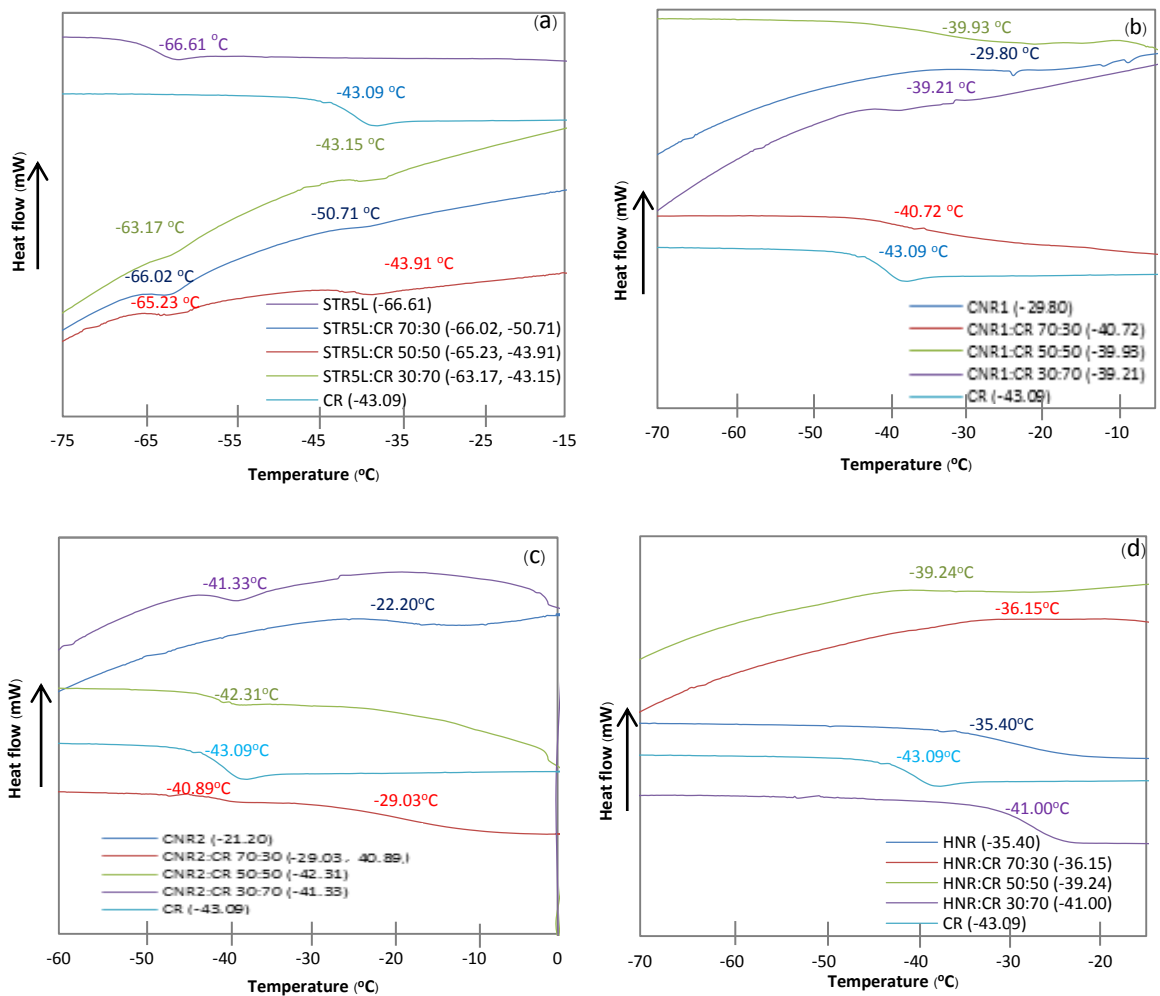
จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่า T_g ของยาง STR5L มีค่าต่ำที่สุดคือ $-66.61\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งบ่งบอกว่าสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติเคลื่อนไหวได้ง่ายเนื่องจากไม่มีหมู่ฟังก์ชัน ในขณะที่ยาง ENR1 และ ENR2 มีค่า T_g สูงกว่ายางธรรมชาติคือ -57.15 และ $-47.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ แสดงว่าโมเลกุลของยาง ENR เคลื่อนไหว

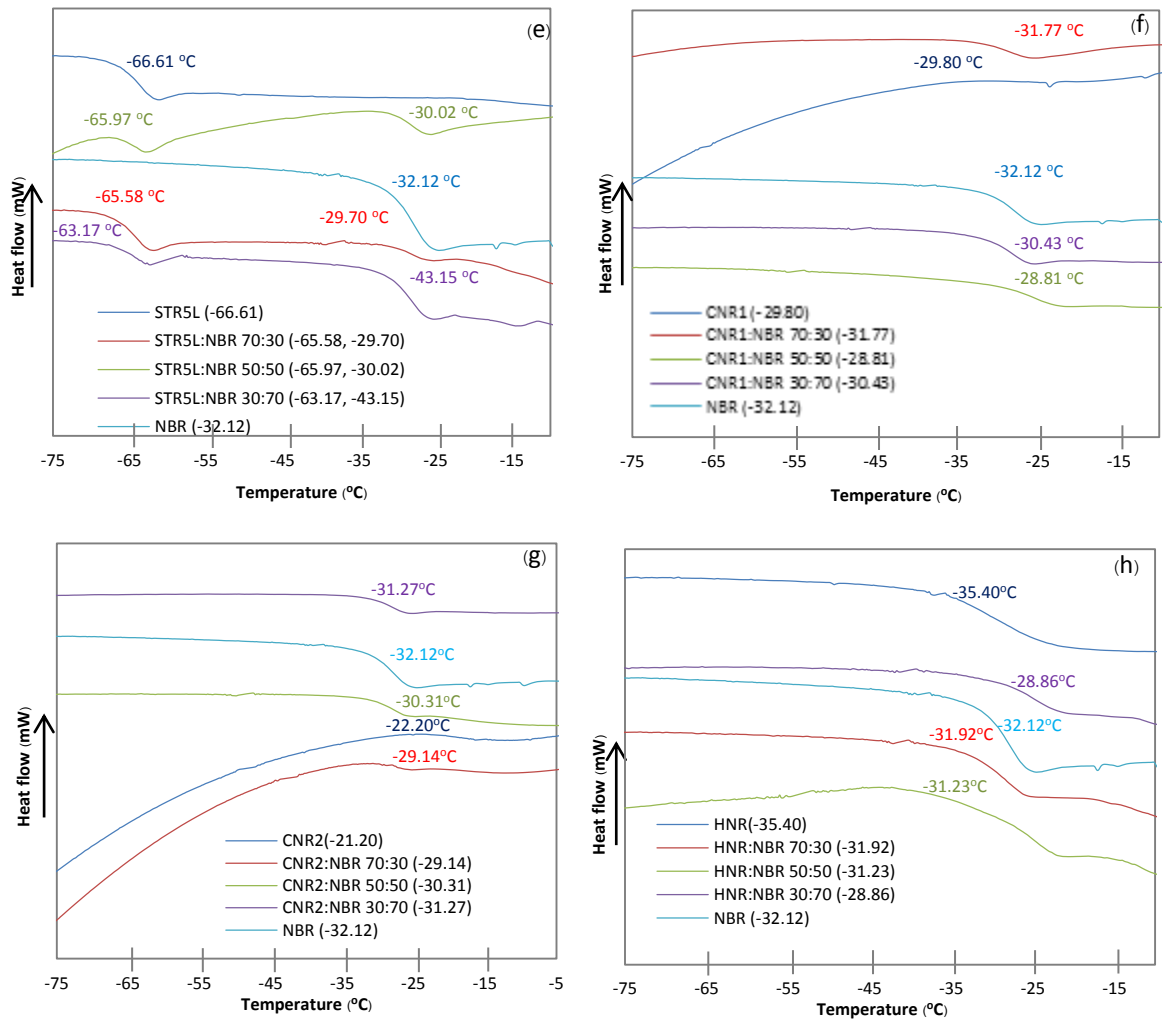
ได้ยากกว่า เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างหมู่อิพอกซี ขางที่มีหมู่อฟังก์ชันที่เตรียมได้คือขาง CNR1 ขาง CNR2 และขาง HNR มีค่า T_g สูงกว่าขาง ENR และเมื่อเปรียบเทียบค่า T_g ระหว่างขาง CNR1 กับขาง CNR2 พบว่าขาง CNR2 ($T_g = -21.20^\circ\text{C}$) มีค่าสูงกว่าขาง CNR1 ($T_g = -29.80^\circ\text{C}$) แสดงให้เห็นว่าขาง CNR2 น่าจะมีหมู่อฟังก์ชันในสายโซ่โมเลกุลสูงกว่าขาง CNR1 ทำให้โมเลกุลของขาง CNR2 เคลื่อนไหวได้ยากกว่าขาง CNR1 ส่วนขาง HNR มีค่า T_g ต่ำที่สุดคือ -35.40°C

4.3 การศึกษาสมบัติความเข้ากันได้ (Compatibility) ของยางผสม

4.3.1 ผลการศึกษาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) โดยใช้เทคนิค DSC

ความเข้ากันได้ของยางผสม จะพิจารณาจากอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ดังรูปที่ 4.9 (a)-(h) ดังนี้





รูปที่ 4.8 Thermograms ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง CNR1, (c) ยาง CNR2, (d) ยาง HNR และยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (e) ยาง STR5L, (f) ยาง CNR1, (g) ยาง CNR2 และ (h) ยาง HNR

จากรูปที่ 4.8 สามารถสรุปค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางผสมแต่ละชนิดออกมาได้เป็นตารางที่ 4.4 และ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางคลอโรพรีน (CR)

ปริมาณยาง CR (%w/w)	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว, $T_{g \text{ onset}}$ ($^{\circ}\text{C}$)			
	STR5L	CNR1	CNR2	HNR
0	-66.61	-29.80	-21.20	-35.40
30	-66.02, -50.71 ($\Delta T_g = 15.31$)	-40.72	-40.89, -29.03 ($\Delta T_g = 11.86$)	-36.15*
50	-65.23, -43.91 ($\Delta T_g = 21.32$)	-39.93	-42.31	-39.24*
70	-63.17, -43.15 ($\Delta T_g = 20.02$)	-39.21	-41.33	-41.00
100	-43.09			

** ยังไม่สามารถระบุค่า T_g ลงไปได้อย่างชัดเจน**

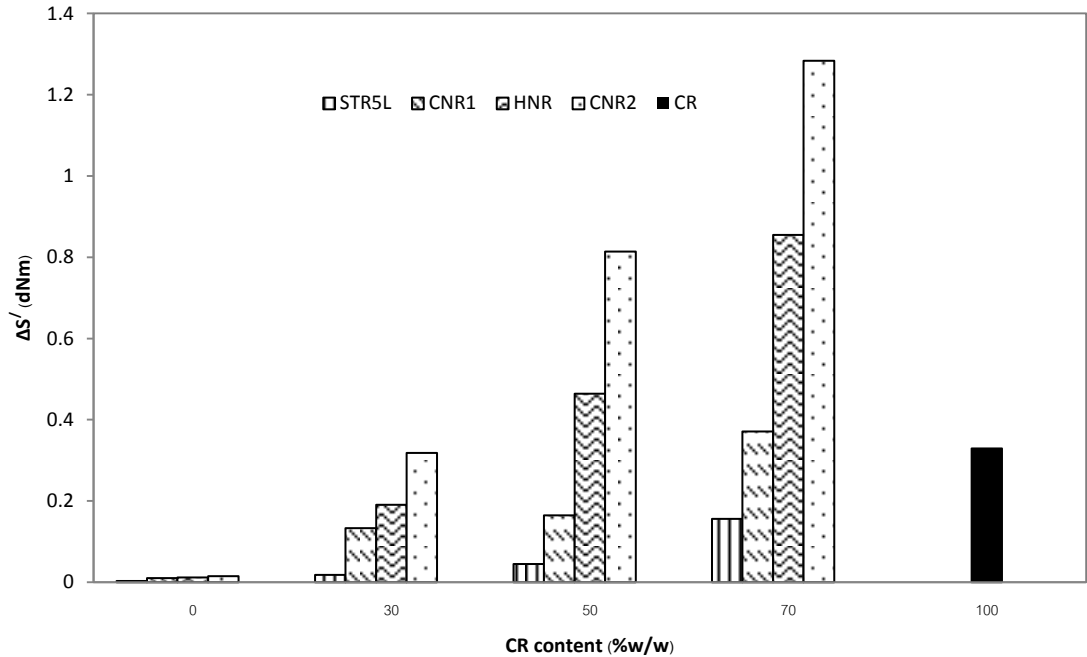
ตารางที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางไนไตรล์ (NBR)

ปริมาณยาง NBR (%w/w)	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว, $T_{g \text{ onset}}$ ($^{\circ}\text{C}$)			
	STR5L	CNR1	CNR2	HNR
0	-66.61	-29.80	-21.20	-35.40
30	-65.58, -29.70 ($\Delta T_g = 35.88$)	-31.77	-29.14	-31.92
50	-65.97, -30.02 ($\Delta T_g = 35.95$)	-28.81	-30.31	-31.23
70	-67.40, -31.29 ($\Delta T_g = 36.11$)	-28.43	-31.27	-28.86
100	-32.12			

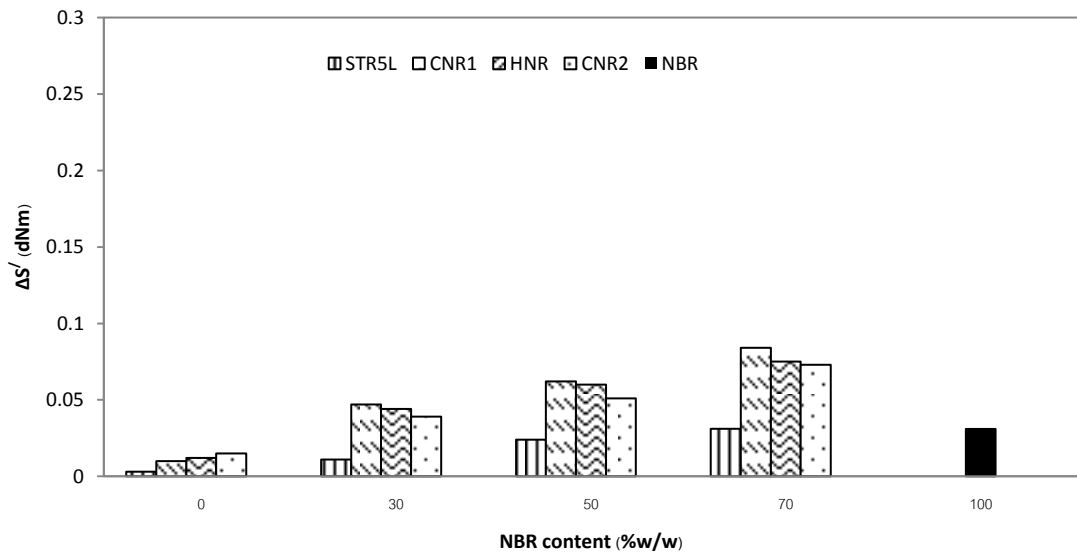
จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นว่าค่า T_g ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางคลอโรพรีนหรือกับยางไนไตรล์ จะแยกออกเป็นสองค่าแสดงว่ายาง STR5L กับยางสังเคราะห์ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และหากพิจารณาที่ผลต่างของค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (ΔT_g) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางคลอโรพรีน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของยางคลอโรพรีนมากขึ้นจาก 30 เป็น 70 % w/w แล้ว ค่า ΔT_g จะเพิ่มมากขึ้น โดยยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางไนไตรล์ก็ให้ผลคล้ายๆ กัน แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของยางสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์นั้นจะมีแนวโน้มเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลด้วยตัวเองมากกว่าที่จะเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของยาง STR5L ดังนั้นยาง STR5L กับยางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์จึงไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ส่วนในกรณีของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางสังเคราะห์ พบว่าค่า T_g ของยางผสมจะปรากฏเป็นค่าเดียว แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางความร้อนของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์ มีแนวโน้มรวมกันเป็นเนื้อเดียว แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน มีแนวโน้มที่สามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสได้ดีกับยางสังเคราะห์ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างขั้วบนสายโซ่โมเลกุล ยกเว้นในกรณีของยางผสมระหว่างยาง CNR2 กับยางคลอโรพรีนที่อัตราส่วน 70:30 ค่า T_g แยกเป็นสองค่า ซึ่งอาจเป็นเพราะที่อัตราส่วนนี้ สายโซ่โมเลกุลของยาง CNR2 มีแนวโน้มที่จะเกิดอันตรกิริยาดังกล่าวมากกว่า จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันให้กับยางธรรมชาติ จะช่วยให้สามารถผสมเข้ากันได้กับยางสังเคราะห์เช่นยางคลอโรพรีนและยางไนไตรล์ได้ดีขึ้น

4.3.2 ผลการศึกษาจากค่าผลต่างระหว่างแรงบิด ($S'_{max} - S'_{min}$, $\Delta S'$)

ความเข้ากันได้ของยางผสม นอกจากจะพิจารณาได้จากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของยางผสมแล้ว ยังสามารถพิจารณาได้จากอันตรกิริยาภายในโมเลกุลระหว่างยางผสม โดยหากยางผสมชนิดใดมีอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลด้วยตัวเองมาก ก็จะมีแนวโน้มที่ยางผสมนั้นจะสามารถผสมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน [16] โดยอันตรกิริยาภายในโมเลกุลระหว่างยางผสมสามารถวัดได้ โดยใช้เครื่อง RPA โดยการนำยางผสมแต่ละชนิดมาทำการออกแรงเฉือนด้วยหัวค้ายที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อยางผสมได้รับแรงเฉือนแล้ว โมเลกุลของยางผสมจะเกิดการเคลื่อนไหวและเกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน โดยอันตรกิริยาภายในยางผสมนั้นจะถูกวัดออกมาในรูปของค่าแรงบิดที่ยางผสมกระทำต่อหัวค้าย แบ่งออกเป็นค่าแรงบิดสูงสุด (S'_{max}) กับค่าแรงบิดต่ำสุด (S'_{min}) หากผลต่างระหว่างแรงบิดระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด (S'_{max}) กับค่าแรงบิดต่ำสุด (S'_{min}) ของยางผสมชนิดใดมีค่ามากก็แปลว่ายางผสมชนิดนั้น มีอันตรกิริยาภายในระหว่างโมเลกุลของยางผสมมาก โดยผลต่างของค่าแรงบิดของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ ที่มียางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์ผสมอยู่นั้น สรุปออกมาเป็นกราฟดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 ค่าผลต่างแรงบิดของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนและยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่มุ้งกัซันผสมอยู่ เมื่อทำการออกแรงเฉือนด้วยเครื่อง RPA ที่อุณหภูมิ 150 °C, 30 นาที



รูปที่ 4.10 ค่าผลต่างแรงบิดของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์และยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่มุ้งกัซันผสมอยู่ เมื่อทำการออกแรงเฉือนด้วยเครื่อง RPA ที่อุณหภูมิ 150 °C, 30 นาที

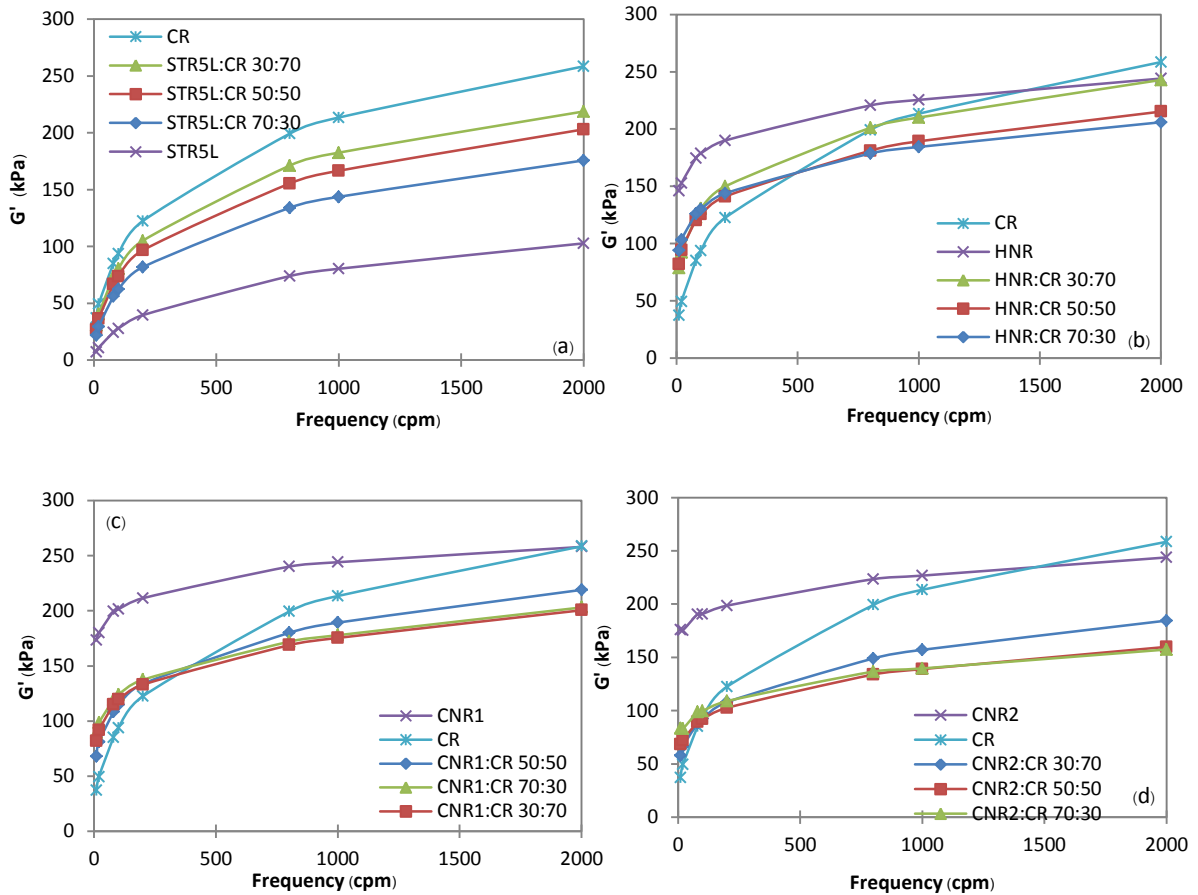
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่ายาง STR5L จะมีค่าผลต่างแรงบิดต่ำที่สุด ในขณะที่ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR จะมีค่าผลต่างแรงบิดมากกว่า และเมื่อผสมยางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์ลงไป ค่าผลต่างของแรงบิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน บ่งบอกถึงอันตรกิริยาภายในโมเลกุลมีค่าเพิ่มมากขึ้นและพบว่ายาง STR5L ที่มียางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์ผสมอยู่ จะมีค่าผลต่างแรงบิดต่ำ

กว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันทุกชนิด แสดงว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันสามารถเกิดอันตรกิริยากับยางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์ได้ดีกว่ายาง STR5L และจะสังเกตเห็นว่ายางผสมระหว่างยาง HNR หรือยาง CNR2 กับยางคลอโรพรีนที่อัตราส่วน 50:50 และ 30:70 จะมีค่าผลต่างแรงบิดสูงกว่ายางคลอโรพรีนเอง ในขณะที่ยางผสมระหว่างยาง CNR1 กับยางไนไตรล์ จะมีค่าผลต่างแรงบิดมากกว่ายางผสมระหว่างยาง HNR หรือยาง CNR2 กับยางไนไตรล์

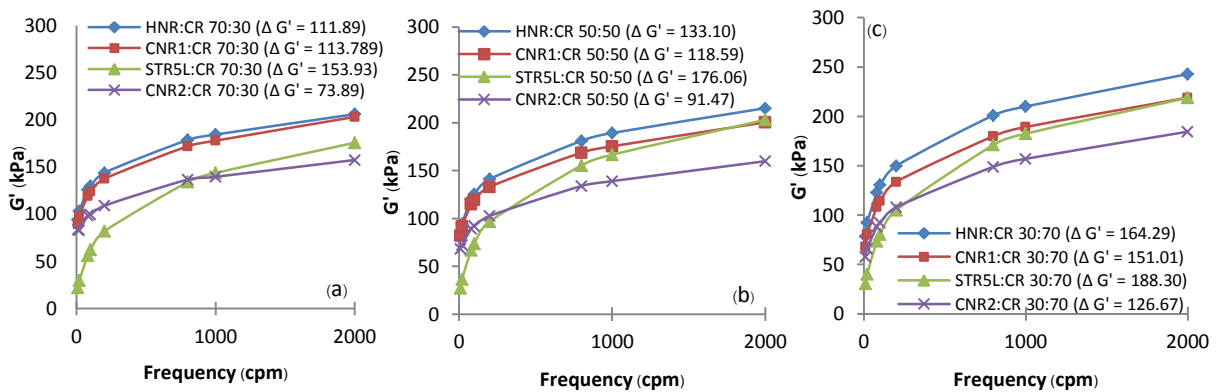
4.3.3 ผลการศึกษาจากค่าอิลาสติกมอดูลัส (G') และความสามารถในการไหลของยางผสม ($\tan \delta$) โดยใช้เทคนิค RPA

4.3.3.1 ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความถี่การออกแรงเหนือห้วงคาย (Frequency sweep)

ค่า G' ของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความถี่การออกแรงเหนือห้วงคายตั้งแต่ 10-2,000 cpm แสดงในรูปที่ 4.11 (a)-(d) พบว่าการเพิ่มความถี่การออกแรงเหนือห้วงคายจะทำให้ค่า G' มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความถี่ของการออกแรงเหนือห้วงคายจะทำให้ยางมีความเป็นอิลาสติกมากขึ้น และพบว่ายาง STR5L มีค่า G' ต่ำกว่ายางคลอโรพรีนที่ทุกๆความถี่ซึ่งอธิบายได้ว่ายางธรรมชาตินั้น มีอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลต่ำหรือแทบไม่มีเลย เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของยาง STR5L ไม่มีหมู่ฟังก์ชันใดๆอยู่ ซึ่งแตกต่างจากยางคลอโรพรีนซึ่งมีอะตอมของคลอรีนอยู่ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางคลอโรพรีนมีอันตรกิริยาระหว่างกันมากกว่าในกรณีของยาง STR5L และเมื่อเพิ่มความถี่ของห้วงคายมากขึ้น ก็จะทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางคลอโรพรีนเกิดอันตรกิริยาต่อกันมากขึ้น ส่งผลให้ค่า G' ของยางคลอโรพรีนมีค่าสูงกว่าของยาง STR5L และเมื่อผสมยางคลอโรพรีนลงไป ค่า G' ของยางผสมจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของยางคลอโรพรีนที่เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันนั้น พบว่าการผสมยางคลอโรพรีนลงไป จะทำให้ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนมีค่าต่ำกว่า ค่า G' ของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางคลอโรพรีนเอง และเมื่อพิจารณาการผสมที่อัตราส่วนเดียวกัน ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.12 (a)-(c) พบว่าในช่วงความถี่ต่างๆ ยางผสมระหว่างยางที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนจะมีค่า G' สูงกว่าในกรณีของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางคลอโรพรีน งานวิจัยของ Soares และคณะ [40] ซึ่งศึกษาผลของสารช่วยประสานที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน/ยางอะคริลิก ด้วยเครื่อง RPA ในโหมด Frequency sweep โดยพบว่า การเติมสารช่วยประสานลงไปจะทำให้ค่า G' ของ พอลิโพรพิลีน/ยางอะคริลิก สูงกว่าเมื่อไม่ได้ผสมสารช่วยประสาน โดยเฉพาะที่ความถี่ต่างๆ แสดงว่า หากพอลิเมอร์สามารถผสมเข้ากันได้ดีแล้วจะส่งผลให้ค่า G' ของ พอลิเมอร์มีค่าสูงกว่าซึ่งเป็นผลมาจากการที่สายโซ่โมเลกุลของยางผสมเกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน



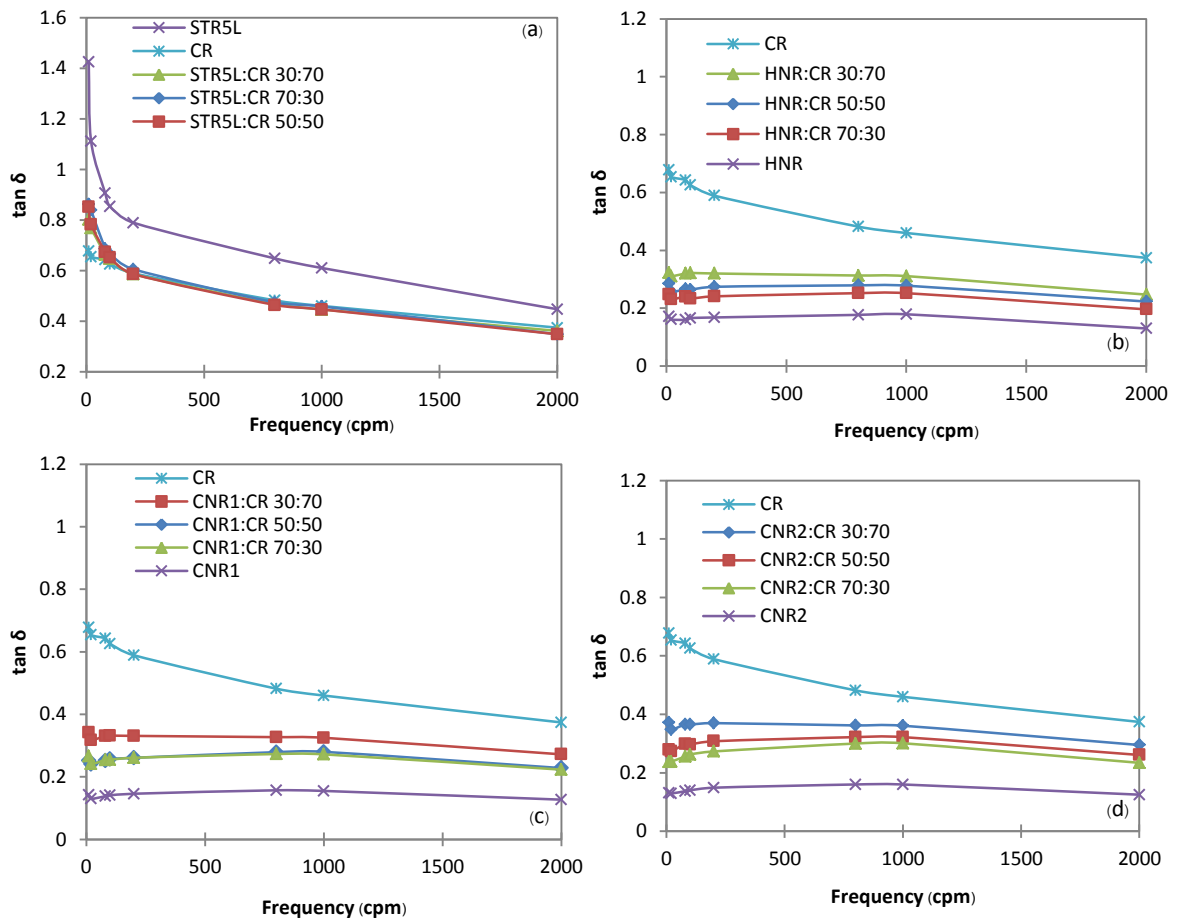
รูปที่ 4.11 ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองค์การแก้วของหัวคาย 7% คงที่



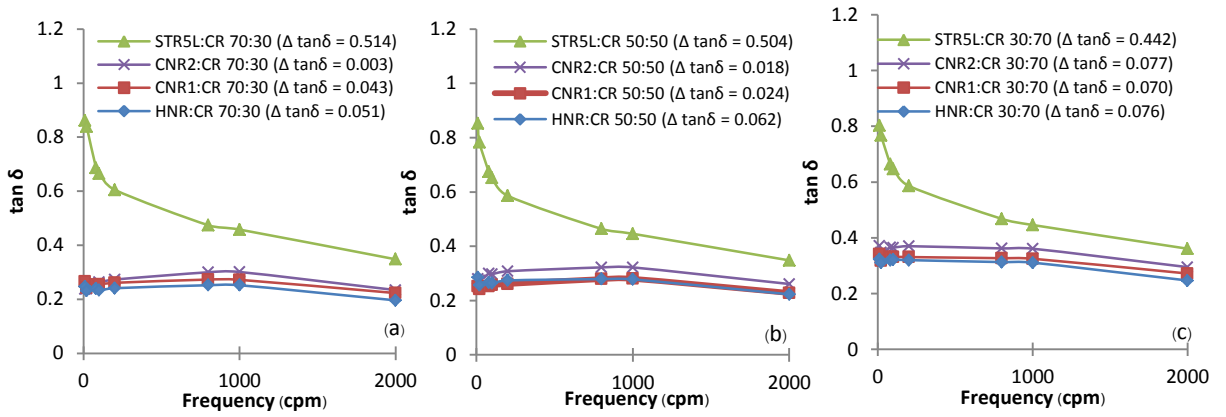
รูปที่ 4.12 ค่า G' ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองค์การแก้วของหัวคาย 7% คงที่

ส่วนความสามารถในการไหลของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความถี่การออกแรงเฉือนของหัวคาย สามารถพิจารณา

ได้จากค่า $\tan \delta$ (G''/G') ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 (a)-(d) ซึ่งพบว่า การเพิ่มความถี่ของหัวคายเป็นทำให้ค่า $\tan \delta$ ของยางแต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลง และเพราะค่า $\tan \delta$ คือค่าที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างค่า G'' ต่อค่า G' ดังนั้นการที่ค่า $\tan \delta$ ลดลงเมื่อความถี่ของการออกแรงเฉือนมีค่าเพิ่มมากขึ้นก็แสดงว่าเมื่อเพิ่มความถี่ของหัวคายเป็น จะเก็บพลังงานเอาไว้ในโมเลกุลมากขึ้น และเมื่อพิจารณาอย่างผสมที่อัตราส่วนเดียวกัน จะสังเกตเห็นว่ายางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางคลอโรพรีนมีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุดที่ทุกๆ อัตราส่วน ในขณะที่ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนที่อัตราส่วนต่างๆ มีค่า $\tan \delta$ ต่ำกว่าและมีแนวโน้มคงที่กว่า แสดงว่าสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้ดี ทำให้การเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลต่ำ [41] ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.14 (a)-(c)

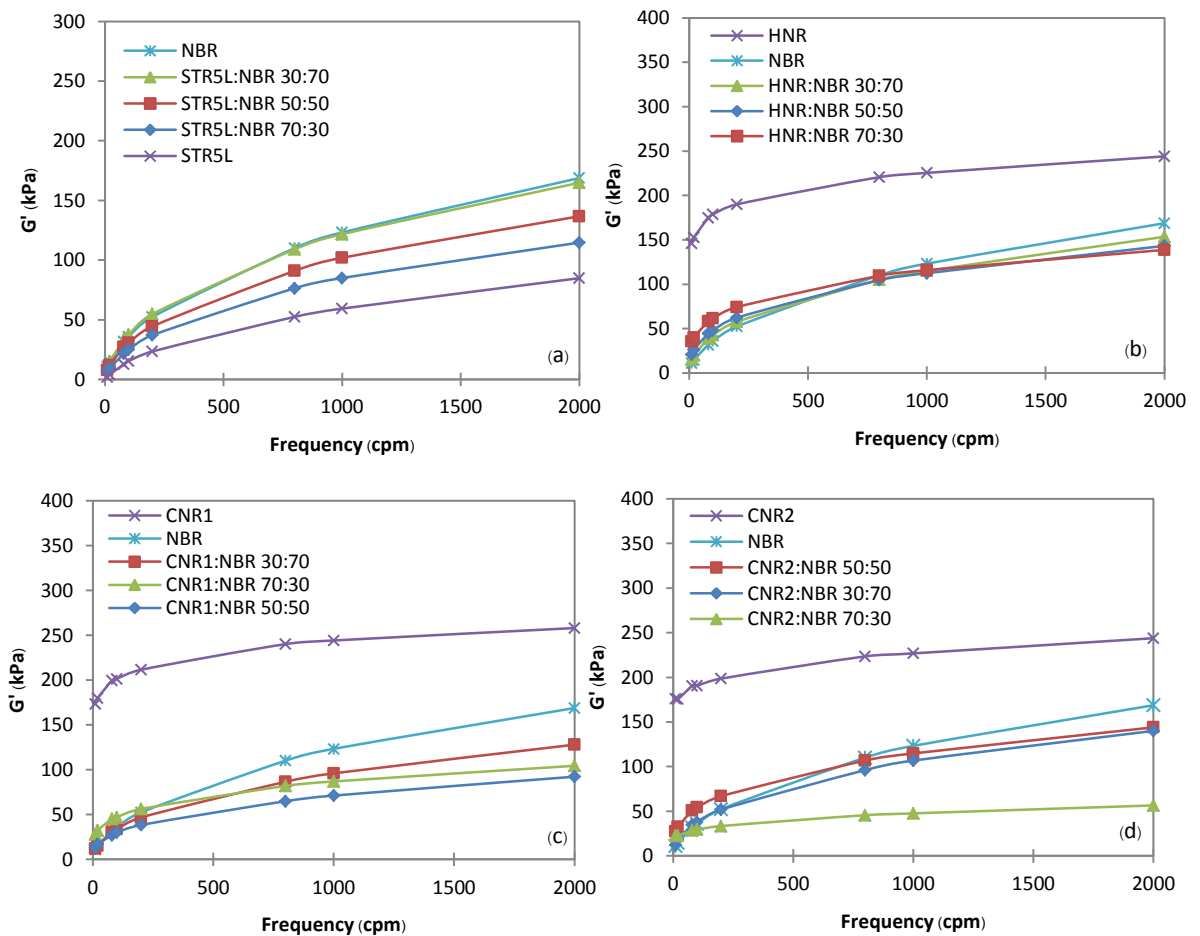


รูปที่ 4.13 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองศาการแก้วของหัวคายเป็น 7% คงที่



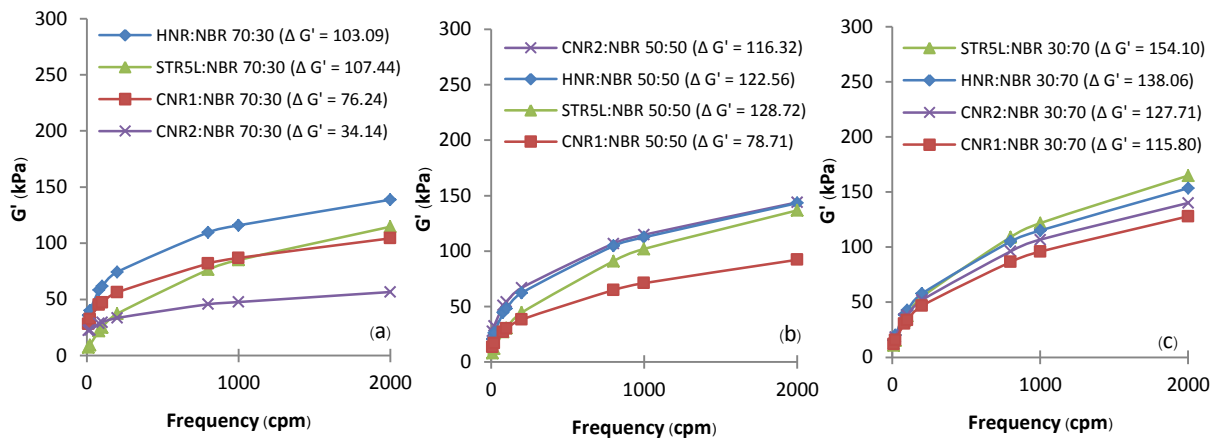
รูปที่ 4.14 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองศาการแกว่งของหัวคายน้อยกว่า 7% คงที่

ค่า G' ของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหน่วงฟังก์ชันกับยางไนไตรล์ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความถี่ แสดงในรูปที่ 4.15 (a)-(d)



รูปที่ 4.15 ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองศาการแกว่งของหัวคายน้อยกว่า 7% คงที่

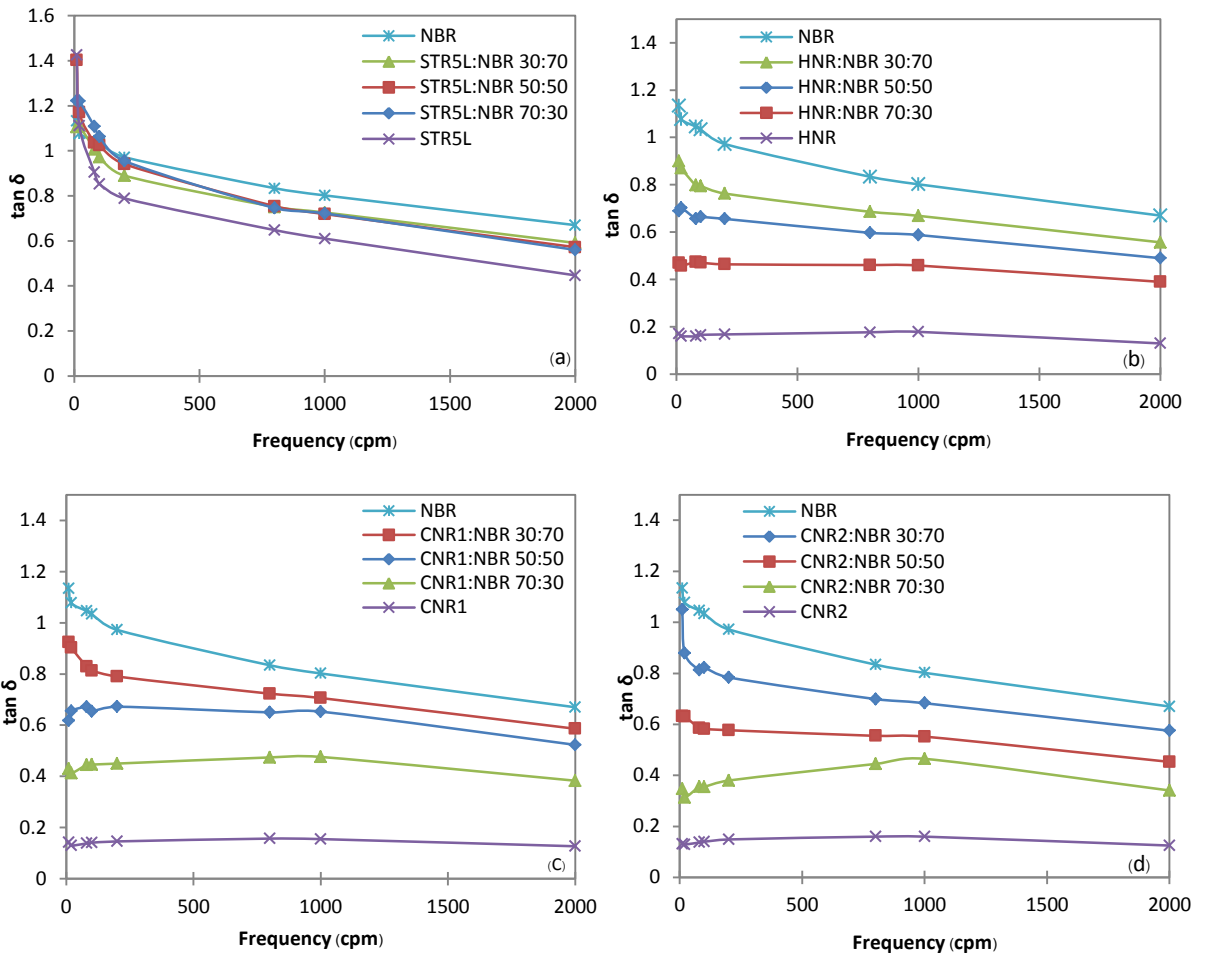
จากรูปพบว่า เมื่อเพิ่มความถี่ของการออกแรงเฉือน จะทำให้ค่า G' ของยางแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ยางธรรมชาติมีค่า G' ต่ำกว่ายางไนไตรด์ และเมื่อผสมยางไนไตรด์ลงไป ค่า G' จะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ยางที่มีหมู่ฟังก์ชันจะมีค่า G' สูงกว่ายางไนไตรด์และการเติมยางไนไตรด์ลงไป จะทำให้ค่า G' มีค่าลดลงกว่าของยางที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางไนไตรด์เองและพบว่า ที่อัตราส่วน 70:30 ยางผสมระหว่างยาง CNR2 กับยางไนไตรด์จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า G' น้อยที่สุด ในขณะที่อัตราส่วน 50:50 และ 30:70 ยางผสมระหว่างยาง CNR1 กับยางไนไตรด์จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า G' น้อยที่สุด หรือกล่าวได้ว่ายางผสมมีลักษณะโครงสร้างที่เรียกว่าเป็น “Gelled system” ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.16 (a)-(c)



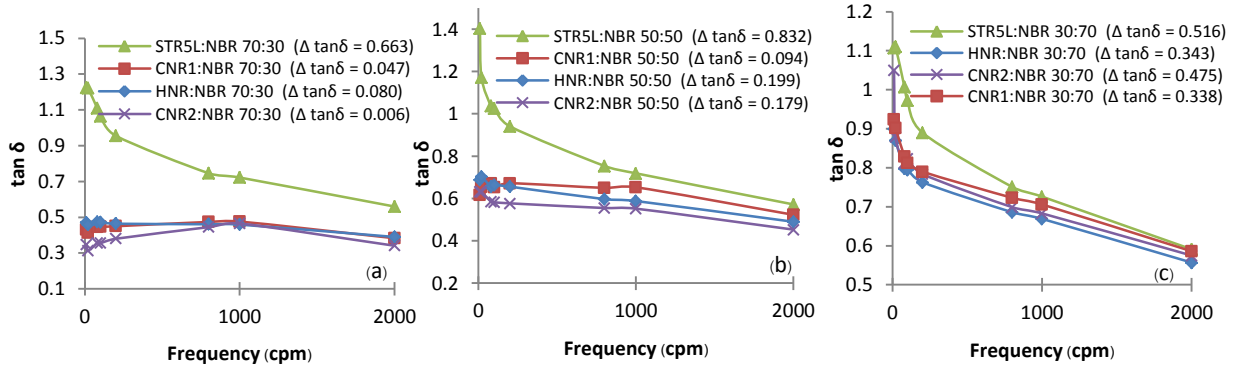
รูปที่ 4.16 ค่า G' ของยางผสมที่มียางไนไตรด์ผสมอยู่ (a) 30 %, (b) 50 %, (c) 70 %w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองศาการแกว่งของหัวด้าย 7% คงที่

ส่วนความสามารถในการไหลของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรด์ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความถี่การออกแรงเฉือนของหัวด้ายตั้งแต่ 10-2,000 cpm สามารถพิจารณาได้จากค่า $\tan \delta$ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 (a)-(d) พบว่าการเพิ่มความถี่การออกแรงเฉือนของหัวด้ายจะทำให้ค่า $\tan \delta$ ของยาง STR5L และยางไนไตรด์มีค่าลดลง ในขณะที่ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่า $\tan \delta$ ก่อนข้างคงที่เพราะยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันมีความสามารถในการไหลต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชัน และเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วยาง STR5L จะมีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด รองลงมาคือยางไนไตรด์ และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ จะมีค่าต่ำที่สุดและพบว่ายาง STR5L ที่ผสมยางไนไตรด์ลงไปจะมีค่า $\tan \delta$ มีค่าลดลง ในขณะที่ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรด์พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของยางไนไตรด์มากขึ้นจะทำให้ค่า $\tan \delta$ มีค่ามากขึ้น และเมื่อพิจารณายางผสมที่อัตราส่วนเดียวกัน จะสังเกตเห็นได้ว่ายางผสม

ของยาง STR5L กับยางไนไตรล์มีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด และมีค่ามากกว่ายางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มี หมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.18 (a)-(c)



รูปที่ 4.17 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองศาการแกว่งของหัว คาย 7% คงที่

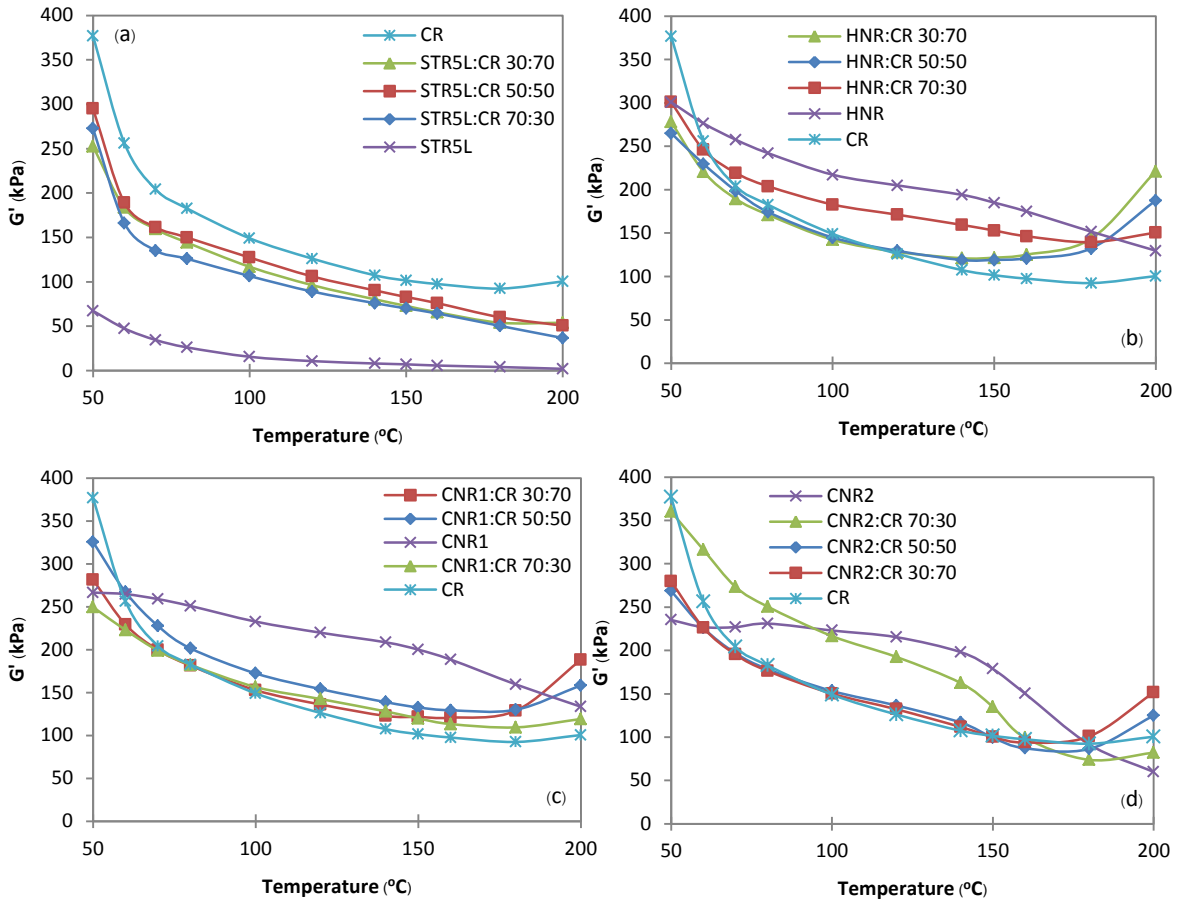


รูปที่ 4.18 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30 %, (b) 50 %, (c) 70 %w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm, 150 °C และองศาการแกว่งของหัว คาย 7% คงที่

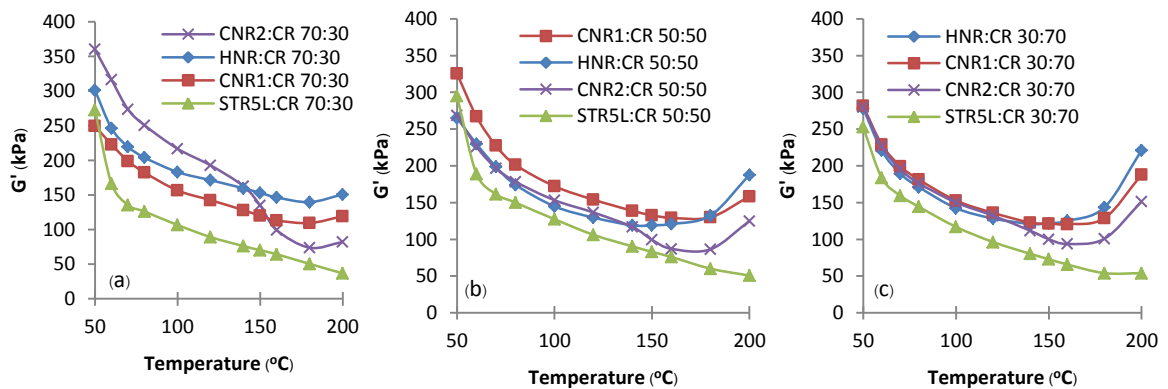
ในงานวิจัยของ Ibbelwaleed และคณะ [42] ซึ่งได้ทำการศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างยางไนไตรด์กับยาง HNBR โดยศึกษาพฤติกรรมการไหลของยางผสมโดยใช้เครื่อง RPA ในโหมดการทดสอบแบบ Frequency sweep แล้วพิจารณาค่า $\tan \delta$ ของยางผสม โดยจากการทดลองพบว่าในช่วงความถี่ต่ำๆ พฤติกรรมการไหลของยางผสมจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง โดยยางที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรงมากกว่า หรือมีปริมาณของโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกน้อยกว่าจะมีค่า $\tan \delta$ สูงกว่าหรือยางไหลได้ดีกว่า ในขณะที่ค่าความถี่สูง ค่า $\tan \delta$ จะสัมพันธ์กับอันตรกิริยาหรืออันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางมากกว่า ซึ่งจะเห็นว่าสายโซ่โมเลกุลของยางเมื่อมีปัจจัยจากภายนอกมากระทำ โมเลกุลของยางจะเกิดการเคลื่อนไหวโดยการเคลื่อนไหวนั้นจะมากหรือน้อยในช่วงแรกขึ้นอยู่กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสายโซ่โมเลกุลของยาง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของปัจจัยภายนอกมากขึ้น ความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของยางจะถูกจำกัดไว้กับอันตรกิริยาหรืออันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางมากกว่า และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.18 (a) จะเห็นว่าในช่วงความถี่ต่ำๆ ยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางไนไตรด์ จะมีค่า $\tan \delta$ สูงกว่ายางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรด์มาก แต่ที่ความถี่สูงๆ พบว่ายางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรด์จะมีค่าไม่ต่างจากตอนเริ่มต้นมากนัก ในขณะที่ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางไนไตรด์มีค่าลดลงมาก สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรด์ได้เป็นอย่างดี

4.3.3.2 ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวตาย (Temperature sweep)

ค่า G' ของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวตายตั้งแต่ 50-200 °C แสดงในรูปที่ 4.19 (a)-(d) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่า G' ลดลง ยาง STR5L มีค่า G' ต่ำกว่ายางคลอโรพรีน และเมื่อผสมกับยางคลอโรพรีน ค่า G' จะเพิ่มมากขึ้น ส่วนยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่า G' สูงกว่ายางคลอโรพรีน และพบว่า ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนมีแนวโน้มกลับมาสูงขึ้นในช่วง 180-200 °C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงๆ มีโอกาสที่สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับสายโซ่โมเลกุลของยางคลอโรพรีน จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันมากขึ้น และส่งผลให้สมบัติความเป็นอีลาสติกของยางผสมมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนเดียวกัน พบว่ายางผสมของยางธรรมชาติกับยางคลอโรพรีนมีค่า G' ต่ำที่สุด ยาง STR5L กับยางคลอโรพรีนเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลที่อุณหภูมิสูงได้ต่ำกว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.20 (a)-(c)



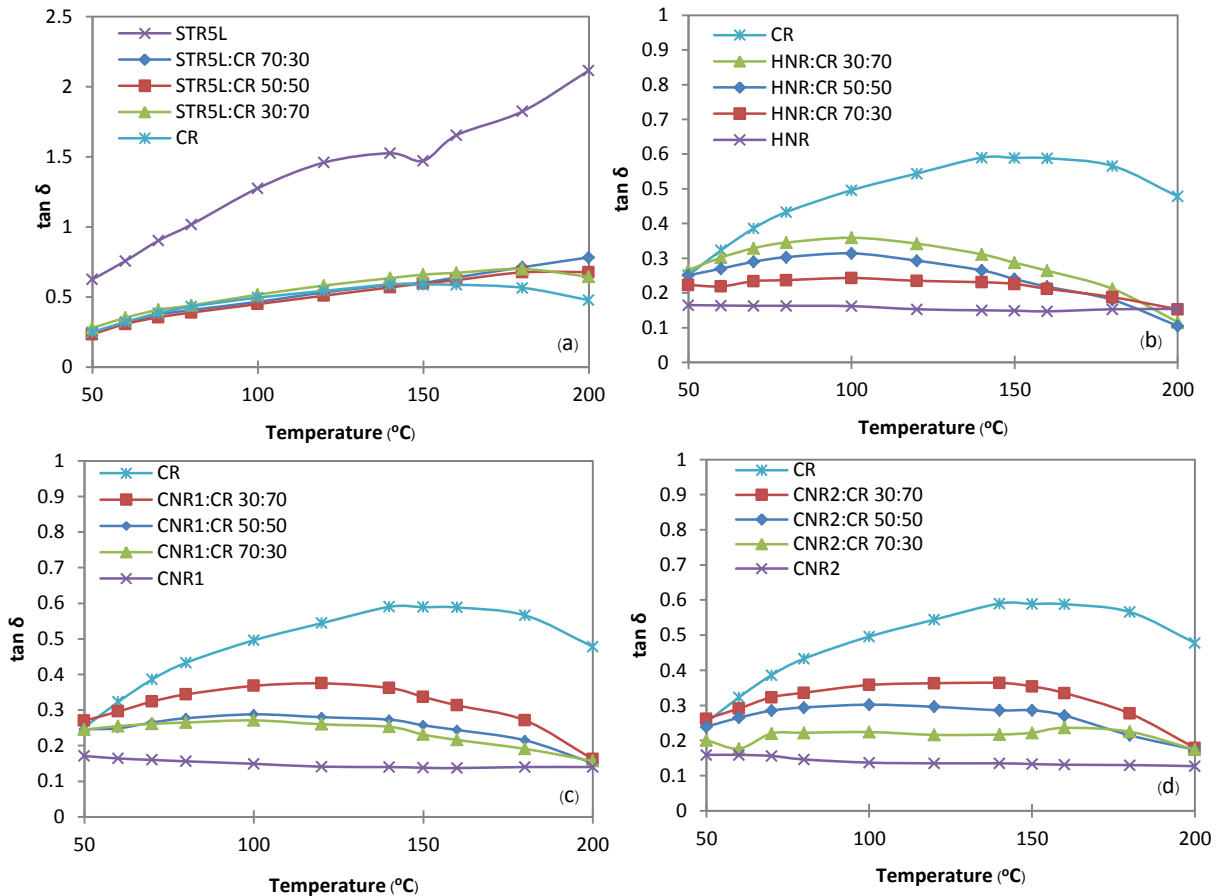
รูปที่ 4.19 ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวคายตั้งแต่ 50-200°C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวคาย 7% คงที่



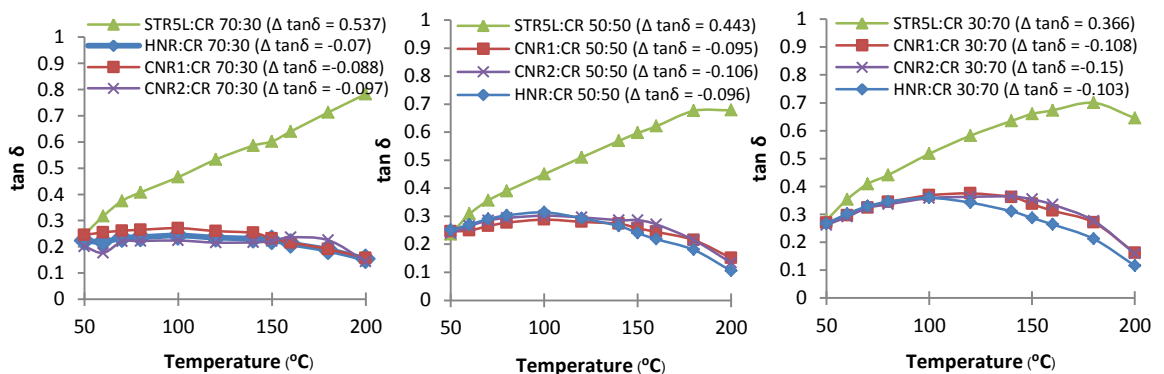
รูปที่ 4.20 ค่า G' ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C, ความถี่ของหัวคาย 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวคาย 7% คงที่

ส่วนค่า $\tan \delta$ ของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวคาย แสดงไว้ในรูปที่ 4.21 (a)-(d) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ค่า $\tan \delta$ ของยาง STR5L มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมียาง STR5L จะไหลขึ้นรูปดีขึ้น และพบว่ายาง STR5L มีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด ในขณะที่ยางที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่า $\tan \delta$ ต่ำ

และเมื่อผสมยางคลอโรพรีนลงไปในยาง STR5L จะทำให้ค่า $\tan \delta$ มีค่าลดลง ในขณะที่ยางที่มีหมู่ฟังก์ชันพบว่าเมื่อผสมยางคลอโรพรีนลงไปจะทำให้ ค่า $\tan \delta$ มีค่าสูงขึ้น และที่อัตราส่วนเดียวกันยางผสมของยาง STR5L กับยางคลอโรพรีน มีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด ผลที่ได้แสดงในรูปแบบที่ 4.22 (a)-(c)

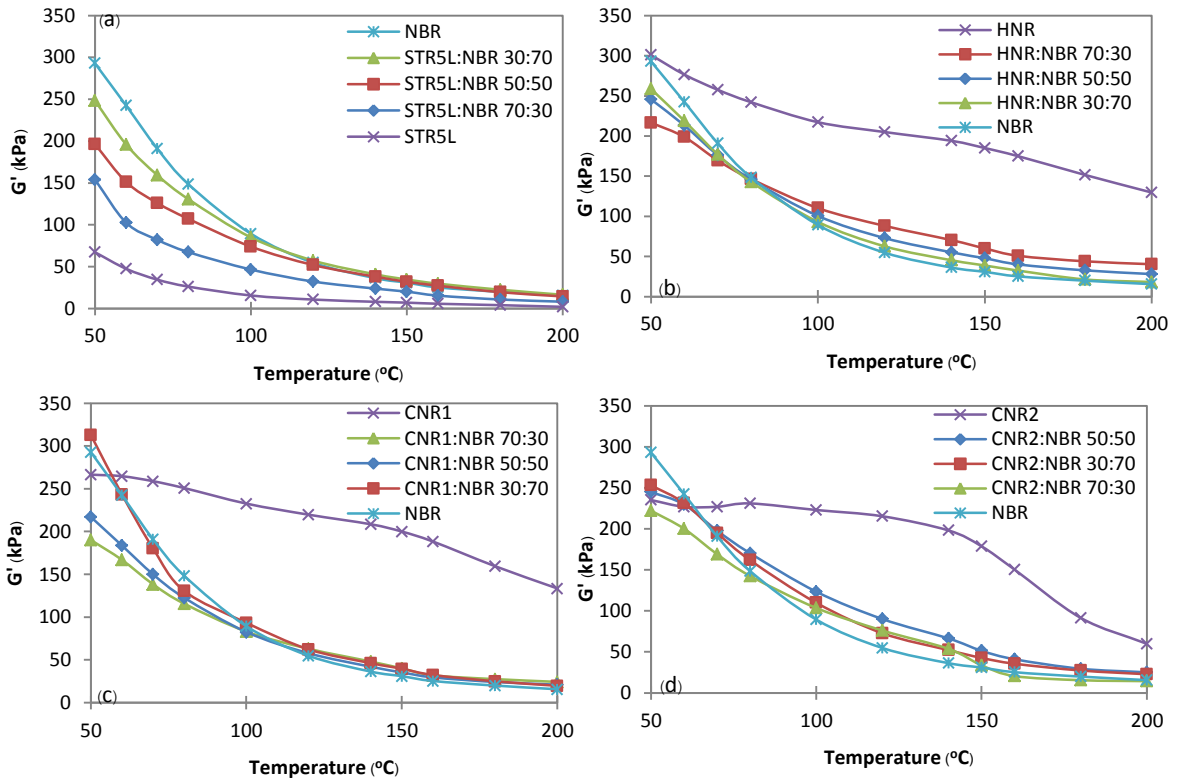


รูปที่ 4.21 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวคายตั้งแต่ 50-200 °C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวคาย 7% คงที่

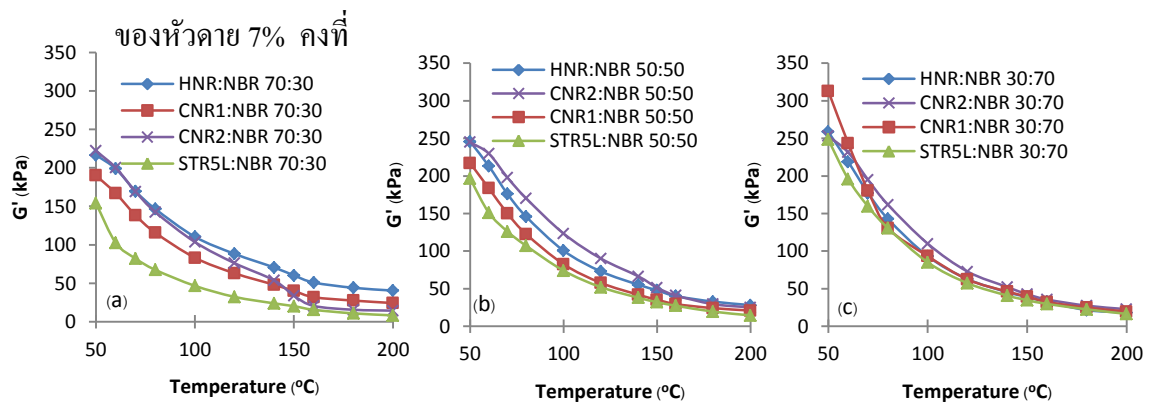


รูปที่ 4.22 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30 %, (b) 50 %, (c) 70 %w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C, ความถี่ของหัวคาย 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวคาย 7% คงที่

ค่า G' ของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยาง ไนไตรล์ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวคายนั้งแต่ 50-200 °C แสดงในรูปที่ 4.23 (a)-(d) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่า G' ลดลง ยาง STR5L มีค่า G' ต่ำกว่าในกรณีของยางไนไตรล์ และเมื่อผสมยางไนไตรล์ลงไปจะทำให้ค่า G' เพิ่มมากขึ้น ส่วนยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่า G' สูงกว่ายางไนไตรล์ และการผสมยางไนไตรล์ ทำให้ค่า G' ลดลง และที่อัตราส่วนเดียวกัน พบว่ายางผสมของยาง STR5L กับยางไนไตรล์ มีค่า G' ต่ำที่สุด ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.24 (a)-(c)

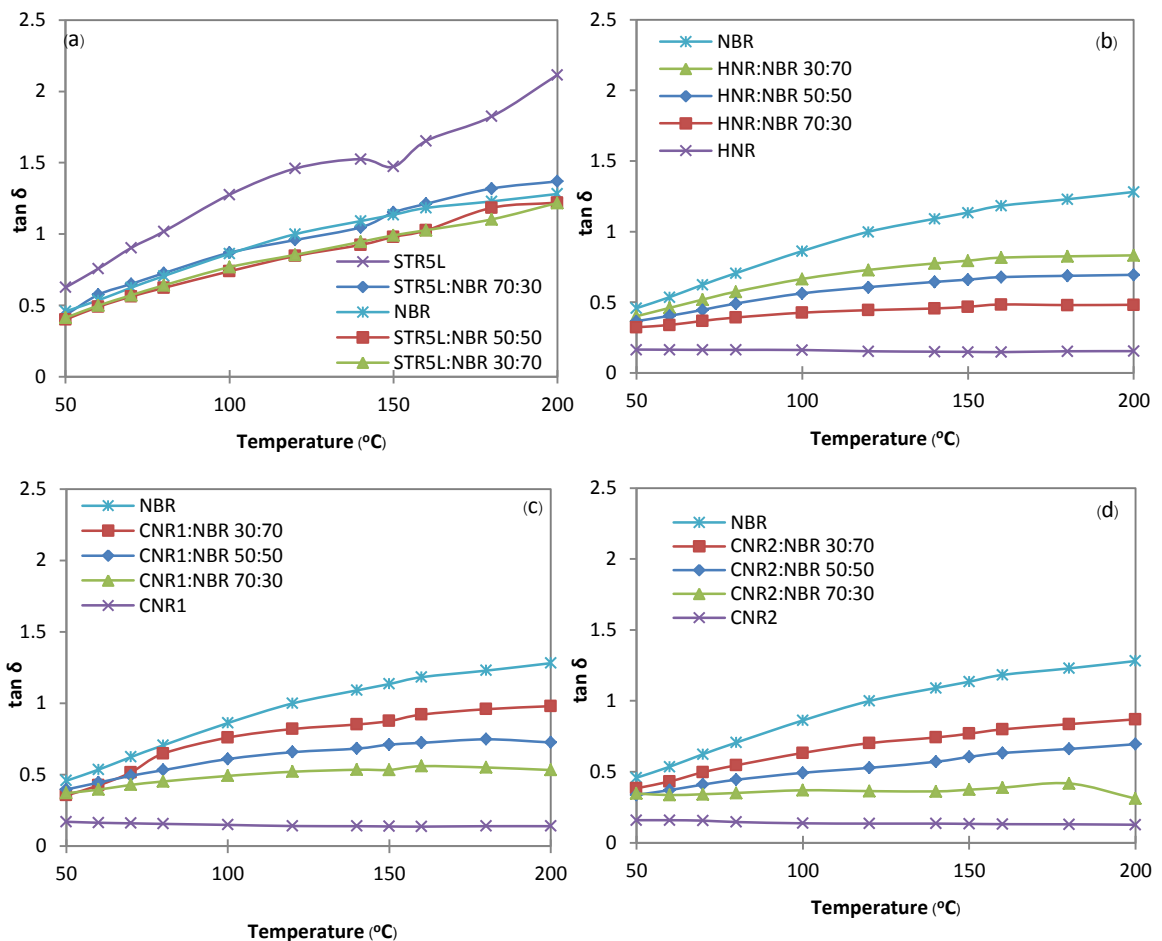


รูปที่ 4.23 ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวคายนั้งแต่ 50-200°C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่ง

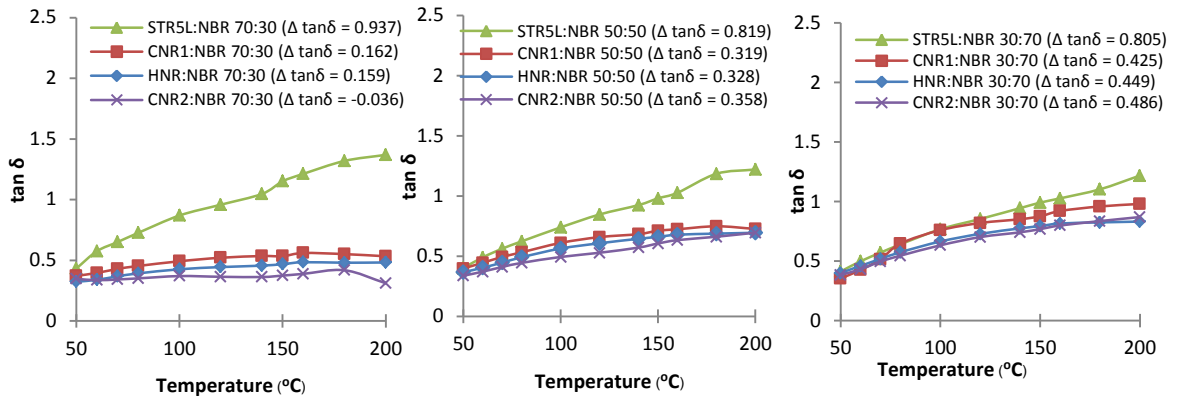


รูปที่ 4.24 ค่า G' ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C, ความถี่ของหัวคายน 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวคายน 7% คงที่

ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวคาย แสดงในรูปที่ 4.25 (a)-(d) พบว่าค่า $\tan \delta$ ของยาง STR5L มีค่าสูงมากที่สุดรองลงมาก็คือยางไนไตรล์ และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่า $\tan \delta$ ต่ำที่สุดและพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่า $\tan \delta$ ของยางแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของยาง STR5L ส่วนในกรณีของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิไม่ได้ทำให้ค่า $\tan \delta$ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปมากนัก แสดงว่า สายโซ่โมเลกุลของยางที่มีหมู่ฟังก์ชันเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันและทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ยาก ทำให้ค่า $\tan \delta$ มีค่าคงที่และพบว่าเมื่อผสมยางไนไตรล์ลงไปยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน จะทำให้ค่า $\tan \delta$ มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การผสมยางไนไตรล์ลงไปยาง STR5L จะทำให้ค่า $\tan \delta$ มีค่าลดลงและที่อัตราส่วนเดียวกัน พบว่ายางผสมของยาง STR5L กับยางไนไตรล์จะมีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด ในขณะที่ยางผสมของยาง CNR2 กับยางไนไตรล์จะมีค่า $\tan \delta$ ต่ำที่สุด ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.26 (a)-(c)



รูปที่ 4.25 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวคายตั้งแต่ 50-200 $^{\circ}\text{C}$ ที่ความถี่ 100 cpm และองค์การแก้วของหัวคาย 7% คงที่



รูปที่ 4.26 ค่า $\tan \delta$ ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C, ความถี่ของหัวค้าย 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวค้าย 7% คงที่

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 จะเห็นได้ว่ายาง STR5L จะมีค่า $\Delta \tan \delta$ (ค่า $\tan \delta$ ที่ 200 °C - ค่า $\tan \delta$ ที่ 50 °C) สูงที่สุดแสดงว่า สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติมีความสามารถในการเคลื่อนไหวได้ดีเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้นสายโซ่โมเลกุลของยาง STR5L จะยิ่งเลื่อนไหลหลุดออกจากรันมากขึ้น และพบว่าในกรณีของยางคลอโรพรีนและยางไนไตรล์จะมีค่า $\Delta \tan \delta$ ต่ำกว่ายาง STR5L แสดงว่าสายโซ่โมเลกุลของยางคลอโรพรีนและยางไนไตรล์ จะมีความสามารถในการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ต่ำกว่ายาง STR5L และการผสมยางคลอโรพรีนหรือยางไนไตรล์ลงไปยาง STR5L จะทำให้ค่า $\Delta \tan \delta$ ของยาง STR5L มีค่าลดลงตามปริมาณของยางคลอโรพรีนและยางไนไตรล์ ในขณะที่ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR พบว่าค่า $\Delta \tan \delta$ มีค่าติดลบแสดงว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของหัวค้ายมากขึ้นค่า $\tan \delta$ ของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันจะมีแนวโน้มลดต่ำลง แสดงว่า หมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่โมเลกุลเกิดอันตรกิริยาต่อกันมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่สายโซ่โมเลกุลของยาง STR5L จะเคลื่อนไหวได้ง่ายกว่า เพราะไม่มีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล ทั้งนี้เป็นที่น่าสนใจว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของยางคลอโรพรีนมากขึ้น ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนจะมีค่า $\Delta \tan \delta$ ติดลบเพิ่มมากขึ้น หมายความว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของยางคลอโรพรีนมากขึ้น ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนจะไหลได้ยากขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณของยางคลอโรพรีนจะทำให้เกิดอันตรกิริยาภายในระหว่างโมเลกุลของยางมากขึ้น ส่งผลให้ค่า $\Delta \tan \delta$ ติดลบเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่ายางผสมระหว่างยาง CNR2 กับยางคลอโรพรีนมีแนวโน้มเกิดอันตรกิริยากับยางคลอโรพรีนได้ดีที่สุดโดยดูได้จากค่า $\Delta \tan \delta$ ที่ติดลบหรือมีค่าต่ำมากที่สุดส่วนในกรณีของยางไนไตรล์พบว่ายาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันผสมเข้ากันกับยางไนไตรล์ได้ดียิ่งกว่าในกรณีของยางคลอโรพรีน โดยดูได้จากค่า $\Delta \tan \delta$ ซึ่งพบว่ายางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน มีค่า $\Delta \tan \delta$ น้อยกว่าของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์

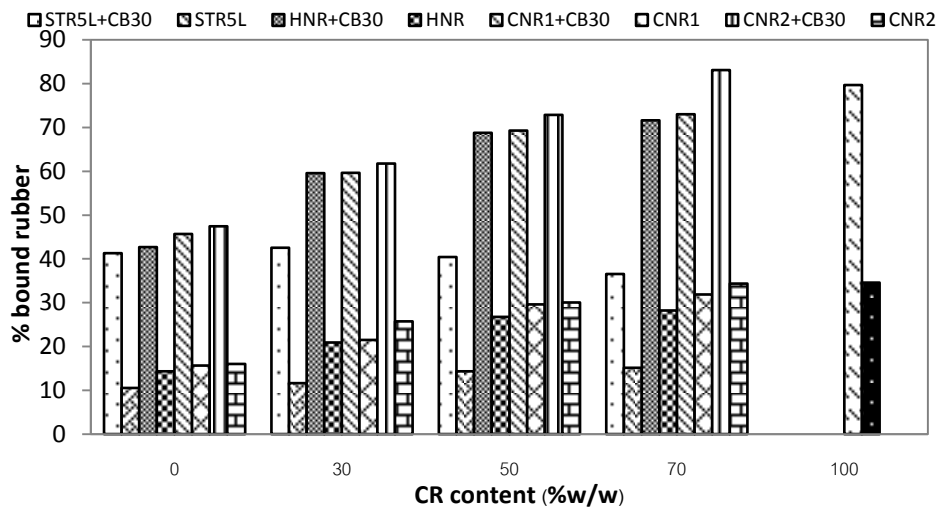
4.4 การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างยางผสมกับอนุภาคของเขม่าดำ

อันตรกิริยาระหว่างยางผสมกับสารตัวเติมเสริมแรง สามารถวิเคราะห์ได้จากค่าบาวด์รับเบอร์ (% bound rubber) และค่า G' ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเครียด (Strain sweep)

4.4.1 ค่าบาวด์รับเบอร์

4.4.1.1 ค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตระหว่างยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่

ค่าบาวด์รับเบอร์เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงอันตรกิริยาหรืออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของยางกับอนุภาคของสารตัวเติมเสริมแรงเช่น เขม่าดำ เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงปริมาณของยางที่ไม่ถูกสกัดเป็น % โดยค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตระหว่างยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.27 ดังนี้



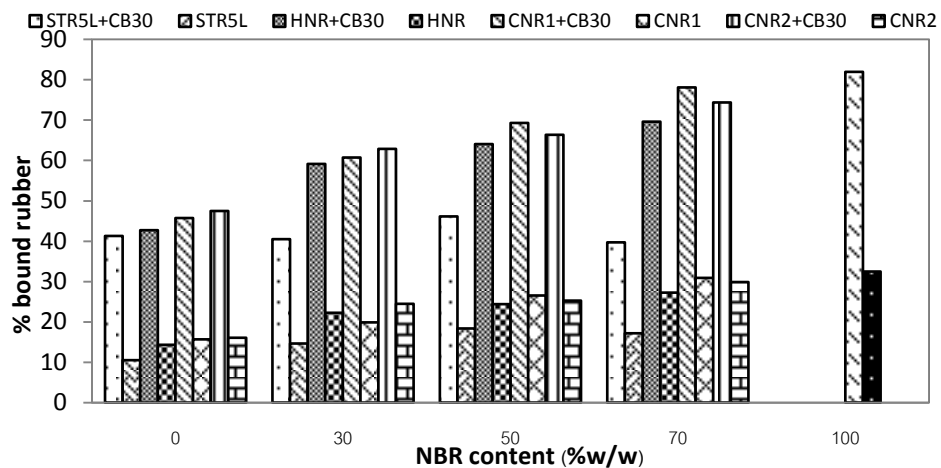
รูปที่ 4.27 แสดงค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตของยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อใช้สารละลายโทลูอีนเป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับยางที่ไม่ผสมเขม่าดำที่อัตราส่วนเดียวกัน

จากรูปที่ 4.27 พบว่าคอมโพสิตของยาง STR5L มีค่าบาวด์รับเบอร์ต่ำกว่าคอมโพสิตของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและเมื่อผสมยางคลอโรพรีนลงไปในยาง STR5L มากขึ้น ค่าบาวด์รับเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของยางคลอโรพรีนมากขึ้นอีก ค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตจะมีค่าลดลงซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่ยาง STR5L กับยางคลอโรพรีนไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้เกิดการกีดกันซึ่งกันและกันที่จะเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคเขม่าดำ ทำให้ค่า

บาวด์รับเบอร์มีค่าลดลง [4] ส่วนคอมโพสิตของยางที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มีคลอโรพรีนผสมอยู่ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อสัดส่วนของยางคลอโรพรีนในคอมโพสิตเพิ่มมากขึ้นค่าบาวด์รับเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

4.4.1.2 ค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตระหว่างยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่

ค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตระหว่างยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.28 ดังนี้



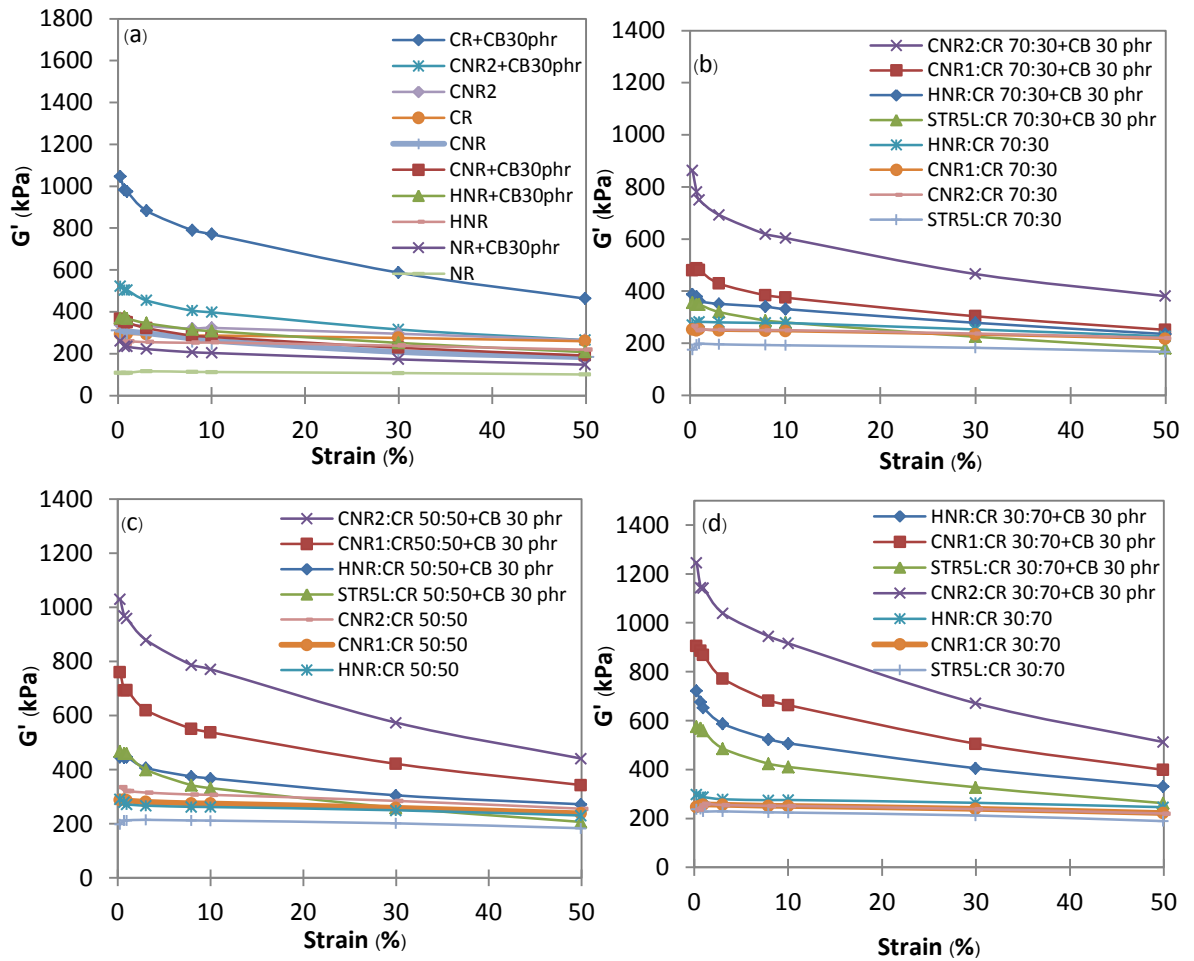
รูปที่ 4.28 แสดงค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตของยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อใช้สารละลายโทลูอินเป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับยางที่ไม่ผสมขม่าดำที่อัตราส่วนเดียวกัน

จากรูปที่ 4.28 พบว่าเมื่อผสมยางไนไตรล์ลงไปคอมโพสิตของยาง STR5L ค่าบาวด์รับเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของยางไนไตรล์เป็น 50% ค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิตมีค่าลดลง แต่คอมโพสิตของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ พบว่าค่าบาวด์รับเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัดส่วนของยางไนไตรล์เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากนิยามของค่าบาวด์รับเบอร์ คือส่วนของยางที่ไม่ถูกสกัดออกด้วยตัวทำละลายโทลูอิน ดังนั้นยางที่จะใช้ทดสอบจึงควรสามารถละลายในโทลูอินได้ดี ซึ่งในกรณีของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันนั้น เนื่องจากมีความเป็นขั้วสูงกว่ายาง STR5L ส่งผลให้ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายโทลูอินได้ต่ำดังที่แสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25 ปริมาณของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ถูกสกัดออกด้วยตัวทำละลายโทลูอิน จึงต่ำกว่าในกรณีของยาง STR5L และยางผสมของยาง STR5L ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยใช้เครื่อง RPA ในโหมดการทดสอบแบบ Strain sweep ซึ่งจะขอกว่าถึงในหัวข้อถัดไป

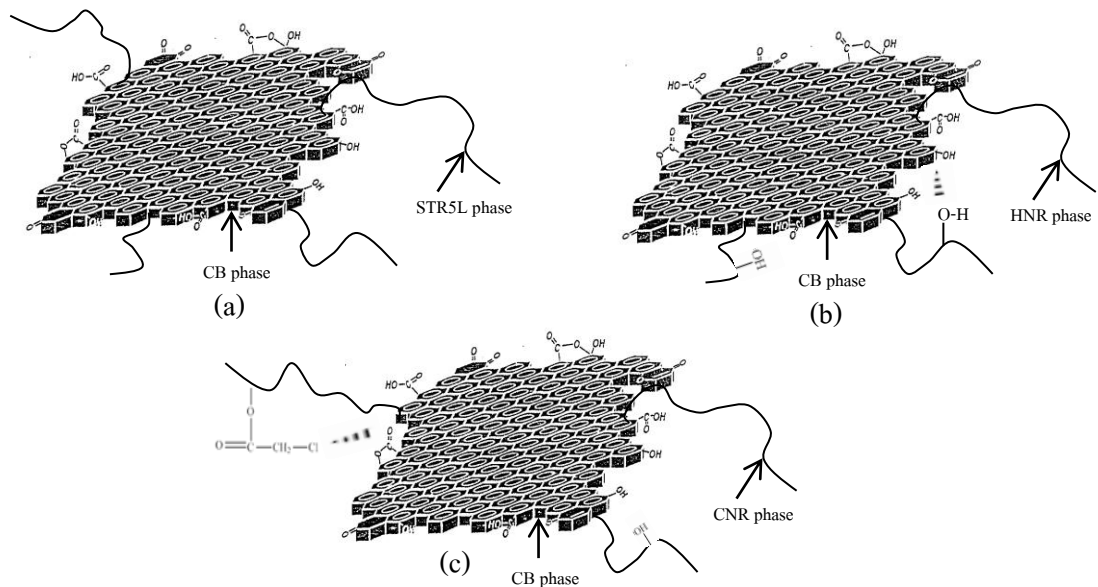
4.4.2 ค่า G' ของคอมโพสิตที่วัดในสถานะ Strain sweep

4.4.2.1 ค่า G' ของคอมโพสิตของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันกับยางคลอโรพรีน

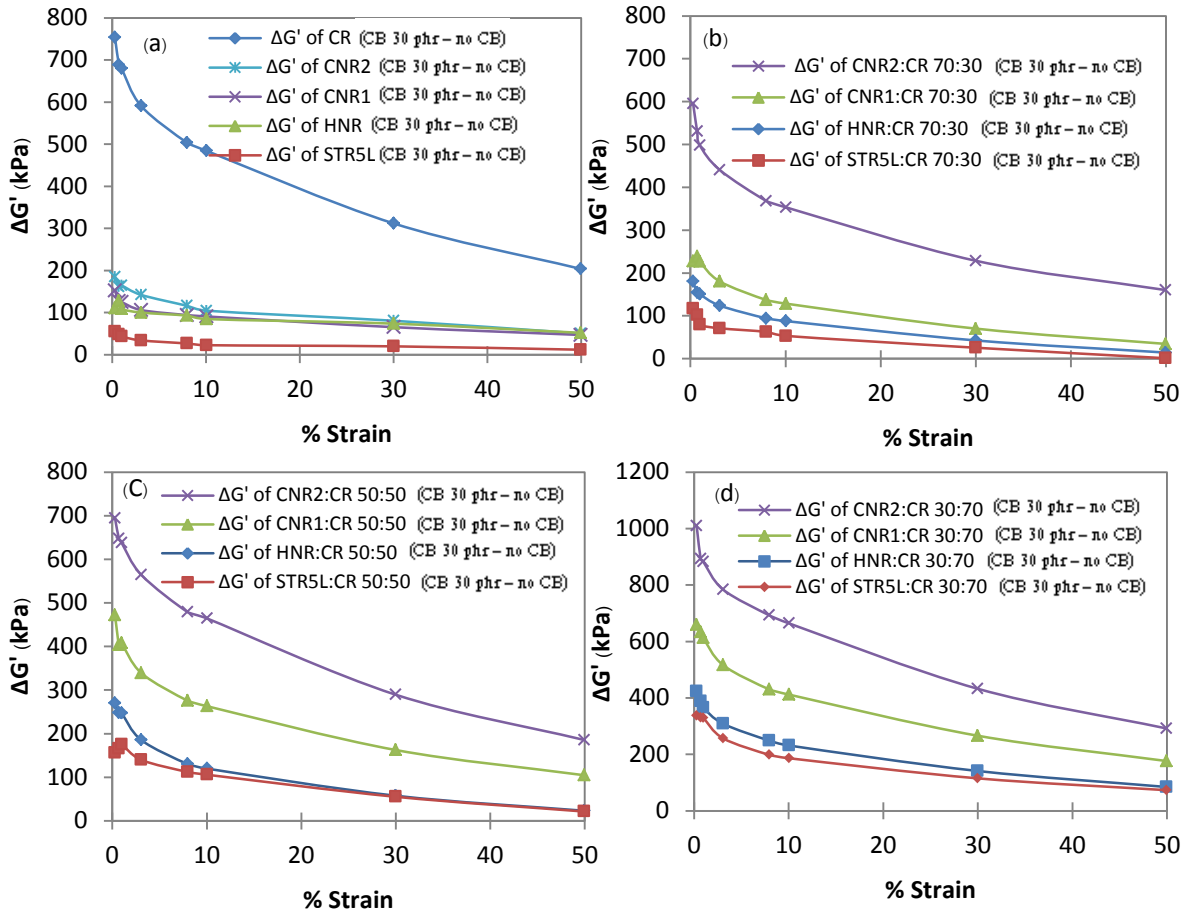
ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.29 (a)-(d) โดยค่า G' ณ ช่วงค่า % strain ต่ำๆนั้นจะบ่งบอกถึงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเขม่าดำด้วยตัวเอง (Filler-filler interaction) หากคอมโพสิตชนิดใดมีค่า G' สูง นั้นหมายถึงอนุภาคเขม่าดำในคอมโพสิต เกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้ดี โดยจะเห็นว่าคอมโพสิตของยางคลอโรพรีนมีค่า G' สูงที่สุด รองลงมาคือยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชัน และคอมโพสิตของยาง STR5L ตามลำดับ และเมื่อเพิ่ม % strain มากขึ้น อนุภาคเขม่าดำจะแยกออกจากกัน ค่า G' จะมีแนวโน้มลดลงเรียกว่า “Payne effect” ทั้งนี้ค่า G' ณ ช่วงค่า % strain สูงๆ จะบ่งบอกถึงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเขม่าดำกับสายโซ่โม่เลกุลของยาง (Filler-rubber interaction) จากรูปจะเห็นว่าที่ช่วงค่า % strain สูงๆนั้น ค่า G' ของคอมโพสิตของยางคลอโรพรีนและของยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชัน รวมถึงของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชัน จะมีค่าสูงกว่าในกรณีของยาง STR5L ผลที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคของเขม่าดำสามารถเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่โม่เลกุลของยางคลอโรพรีนและยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันได้ดีกว่ายาง STR5L ซึ่งน่าจะเป็นเพราะในกรณีของคอมโพสิตของยาง STR5L นั้น สายโซ่โม่เลกุลของยาง STR5L จะผสมกับอนุภาคของเขม่าดำในลักษณะที่เกิดการเกี่ยวพันกันเท่านั้น ในขณะที่ยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างหุ้มนึ่งกั้ชันบนสายโซ่โม่เลกุลกับหุ้มนึ่งกั้ชันบนผิวของอนุภาคเขม่าดำ ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อีกด้วย ดังที่แสดงในรูปที่ 4.30 อย่างไรก็ตามที่ช่วงค่า % strain สูงๆ ค่า G' ของคอมโพสิตจะได้รับอิทธิพลจากอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โม่เลกุลของยางเองด้วย (Rubber-rubber interaction) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชัน ซึ่งมีอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โม่เลกุลยางสูงกว่าในกรณีของยาง STR5L อยู่แล้ว ดังนั้นจึงต้องมีการนำค่า G' ของคอมโพสิตมาหักลบกับค่า G' ของยางผสมที่ไม่ได้ผสมอนุภาคเขม่าดำที่แสดงร่วมกันในรูปที่ 4.29 ผลต่างระหว่างค่า G' ก่อนและหลังการเติมอนุภาคเขม่าดำ ($\Delta G'$) โดยเฉพาะที่ช่วงค่า % strain สูงๆ จะบ่งบอกถึงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเขม่าดำกับสายโซ่โม่เลกุลของยาง โดยค่า $\Delta G'$ ของยางคลอโรพรีนและยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันกับยางคลอโรพรีนเป็นดังรูปที่ 4.31(a)-(d) จากรูปจะเห็นว่ายางคลอโรพรีนมีค่า $\Delta G'$ มากที่สุดรองลงมาคือยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันและยาง STR5L ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเขม่าดำสามารถเกิดอันตรกิริยากับโม่เลกุลของยางคลอโรพรีน และยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันได้ดีกว่ายาง STR5L และยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหุ้มนึ่งกั้ชันกับยางคลอโรพรีนจะมีค่า $\Delta G'$ สูงกว่าในกรณีของยาง STR5L



รูปที่ 4.29 แสดงค่า G' ของคอมโพสิตของยาง (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางคลอโรพรีน และของคอมโพสิตของยางที่ผสมยางคลอโรพรีนลงไป (b) 30%, (c) 50% และ (d) 70% w/w โดยเปรียบเทียบกัขางที่ไม่ผสมเขม่าดำ



รูปที่ 4.30 แบบจำลองแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเขม่าดำกับยาง (a) STR5L, (b) HNR, (c) CNR

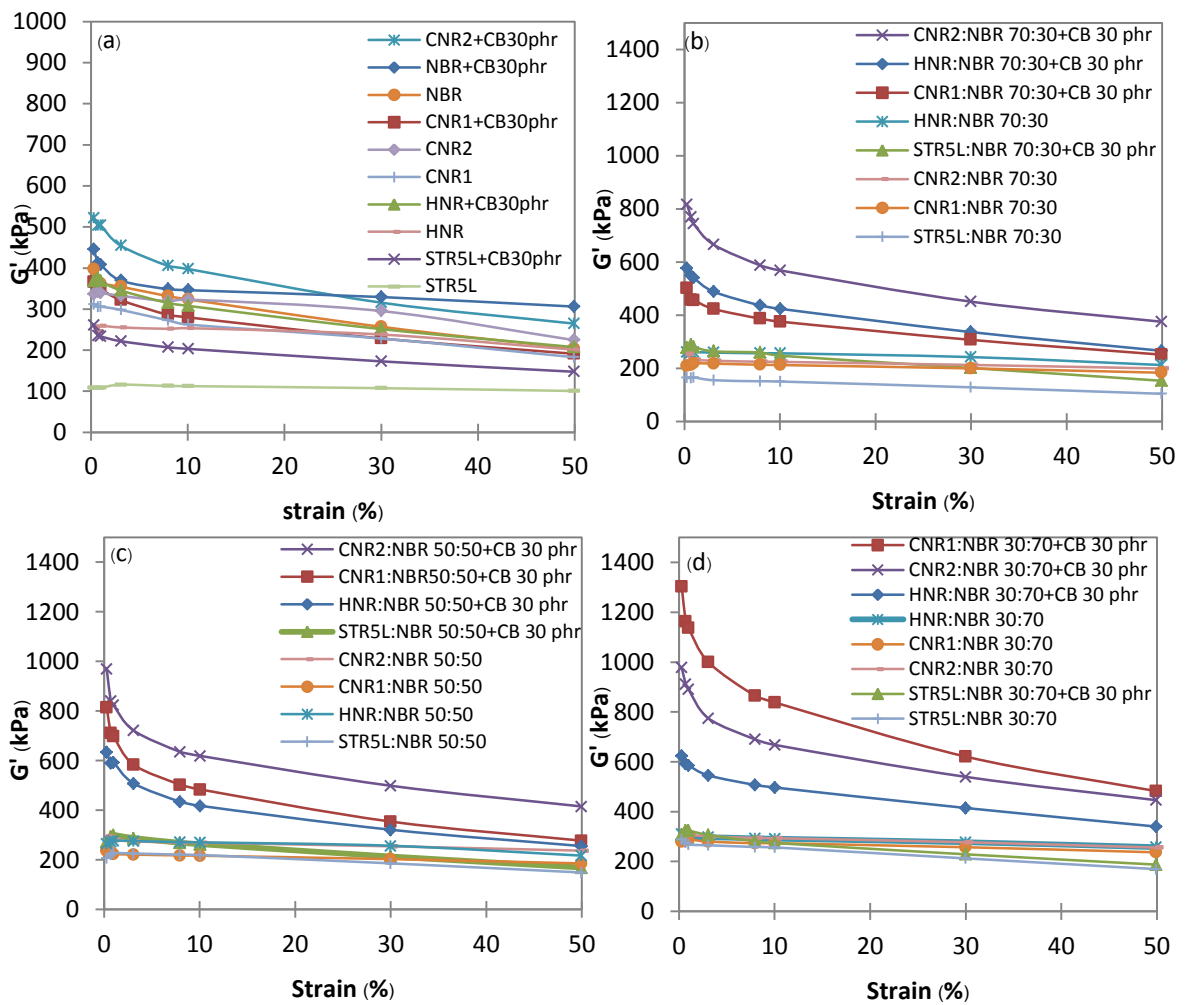


รูปที่ 4.31 แสดงค่า $\Delta G'$ ของ (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางคลอโรพรีน และของยางที่ผสมยางคลอโรพรีนลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w

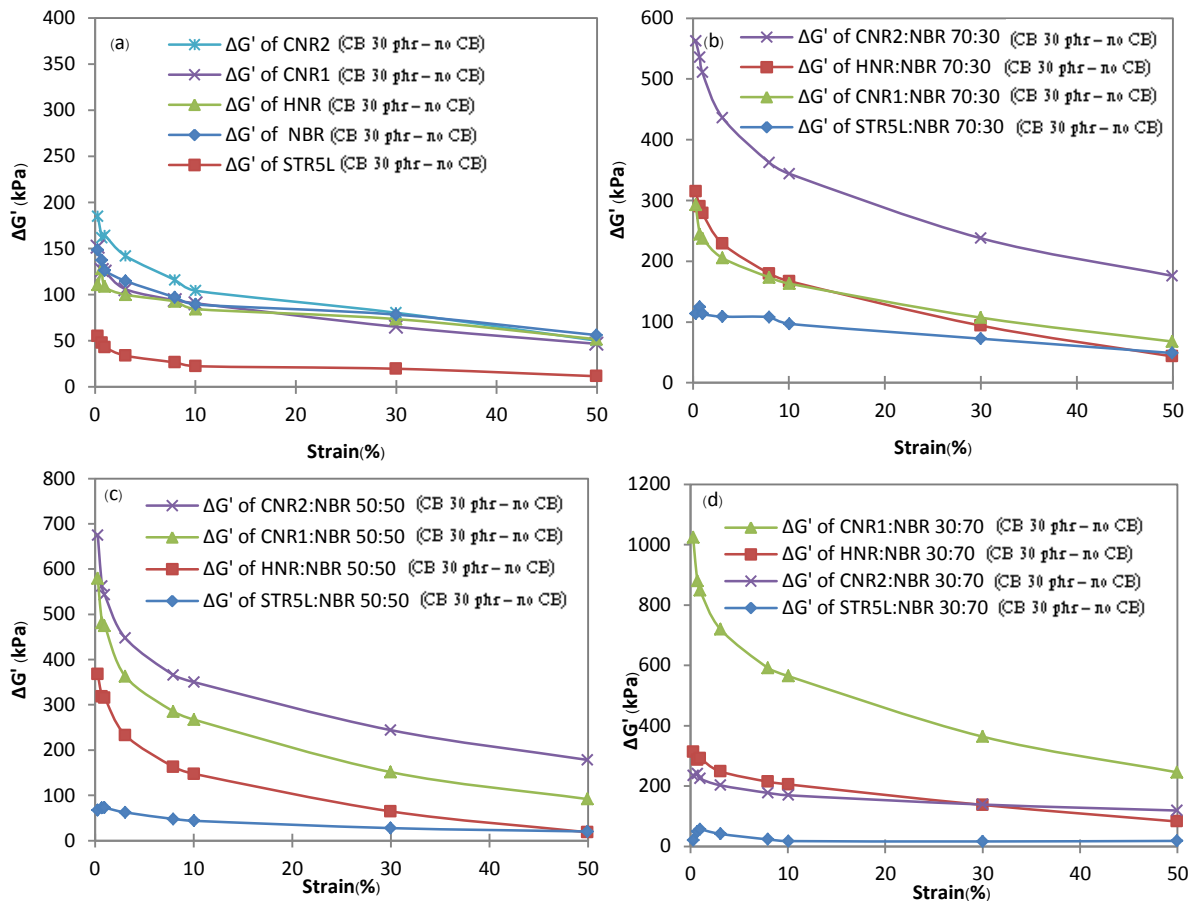
4.4.2.2 ค่า G' ของคอมโพสิตของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์

ค่า G' ของคอมโพสิตของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์ แสดงในรูปที่ 4.32 (a)-(d) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอมโพสิตของยาง CNR2 มีค่า G' สูงที่สุด รองลงมาคือคอมโพสิตของยางไนไตรล์ ส่วนยาง STR5L มีค่า G' ต่ำที่สุดและพบว่าคอมโพสิตของยางผสมของยาง CNR2 กับยางไนไตรล์จะมีค่า G' สูงที่สุดที่อัตราส่วนระหว่าง 70:30 และ 50:50 ในขณะที่ คอมโพสิตของยางผสมของยาง CNR1 กับยางไนไตรล์ที่อัตราส่วน 30:70 จะมีค่า G' สูงที่สุด ในขณะที่คอมโพสิตของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางไนไตรล์จะมีค่าต่ำสุดในทุกๆ อัตราส่วน ซึ่งสอดคล้องกับในกรณีของยางคลอโรพรีน ส่วนค่า $\Delta G'$ ของยางไนไตรล์และยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์แสดงในรูปที่ 4.33 (a)-(d) โดยจากรูปพบว่าให้ผลสอดคล้องกันกับในกรณีของยางคลอโรพรีนเช่นกัน นั่นคือยางสังเคราะห์ทั้งยางคลอโรพรีนและยางไนไตรล์ รวมไปถึงยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันทั้งยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR สามารถเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคเขม่าดำได้ดีกว่าในกรณีของยาง STR5L ซึ่งน่าจะเป็นผล

มาจากหมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่โมเลกุลของยางสังเคราะห์ และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของอนุภาคเขม่าดำได้ดีกว่าในกรณีของยาง STR5L และการผสมยางสังเคราะห์ทั้งยางคลอโรพรีนและยางไนไตรล์กับยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน จะส่งผลทำให้ยางผสมที่ได้นั้นเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคเขม่าดำได้ดีกว่ายางผสมระหว่างยางสังเคราะห์กับยาง STR5L ซึ่งน่าจะเป็นเพราะยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน เมื่อผสมเข้าด้วยกันแล้วจะยิ่งช่วยกันเพิ่มอันตรกิริยากับอนุภาคเขม่าดำได้ดียิ่งขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.32 แสดงค่า G' ของคอมโพสิตของยาง (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางไนไตรล์ และของคอมโพสิตของยางที่ผสมยางไนไตรล์ลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w โดยเปรียบเทียบกับยางที่ไม่ผสมเขม่าดำ



รูปที่ 4.33 แสดงค่า $\Delta G'$ ของ (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางไนไตรล์ และของยางที่ผสมยางไนไตรล์ลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w

4.5 พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์

4.5.1 ยางคอมปาวด์ของยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน
 พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ ได้แก่ ระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูปหรือ t_{s2} , ระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่ 90 % ของปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยงหรือ t_{90} , ค่าดัชนีการคงรูป (cure Rate Index, CRI) และค่าผลต่างแรงบิด ($\Delta S'$) แสดงไว้ในตารางที่ 4.6-4.9 และสรุปออกมาเป็นกราฟดังรูปที่ 4.34 (a)-(d) โดยพบว่ายางคลอโรพรีนมีค่า t_{s2} สูงที่สุด นั่นเพราะยางคลอโรพรีนมีระยะเวลาที่ยางไหลได้ก่อนจะเริ่มเกิดการคงรูปหรือค่า Mooney scorch time นานกว่ายาง STR5L [2] และพบว่ายางที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่า t_{90} ต่ำกว่ายาง STR5L ซึ่งจากงานวิจัยของ Ismail และ Leong [2] ได้ศึกษาพฤติกรรมการคงรูประหว่างยาง ENR กับยางคลอโรพรีน ได้อธิบายผลที่เกิดว่าเป็นผลมาจากหมู่ฟอกไซด์ในยาง STR5L ที่ช่วยกระตุ้นพันธะคู่ของยาง STR5L ให้ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาพันธะเชื่อมโยงด้วยกำมะถันมากขึ้น และพบว่ายาง STR5L และยางที่มีหมู่ฟังก์ชันมีค่าดัชนีการคงรูปหรือค่า CRI มากกว่ายางคลอโรพรีน และพบว่ายางคลอโรพรีนค่า $\Delta S'$ สูงที่สุด แสดง

ว่ายางคลอโรพรีนมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงสูงสุด และพบว่า การเติมยางคลอโรพรีนลงไปจะทำให้ค่าผลต่างแรงบิดของทั้งวัลคาไนเซทของยางผสมระหว่างยาง STR5L หรือยางที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของยางคลอโรพรีนที่ผสมลงไป

ตารางที่ 4.6 ค่าระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (t_{s2}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางคลอโรพรีน (CR)

ปริมาณยาง CR (%w/w)	t_{s2} (min)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	0.95	0.87	0.92	0.85
30	0.74	0.57	0.65	0.4
50	0.92	0.67	0.81	0.57
70	0.97	0.85	0.84	0.82
100	2.57			

ตารางที่ 4.7 ค่าระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่ 90 % (t_{90}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางคลอโรพรีน (CR)

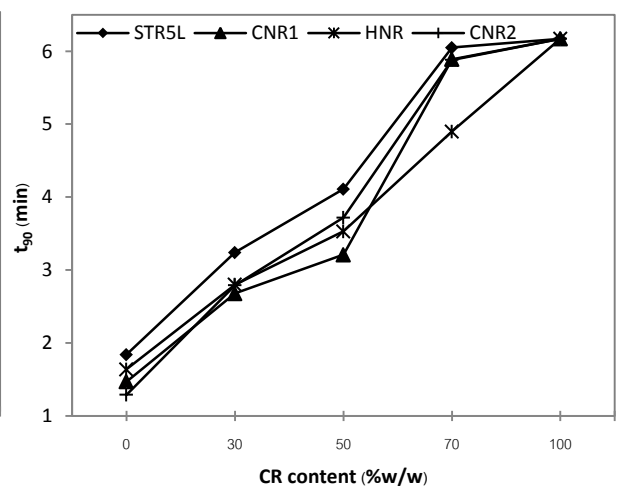
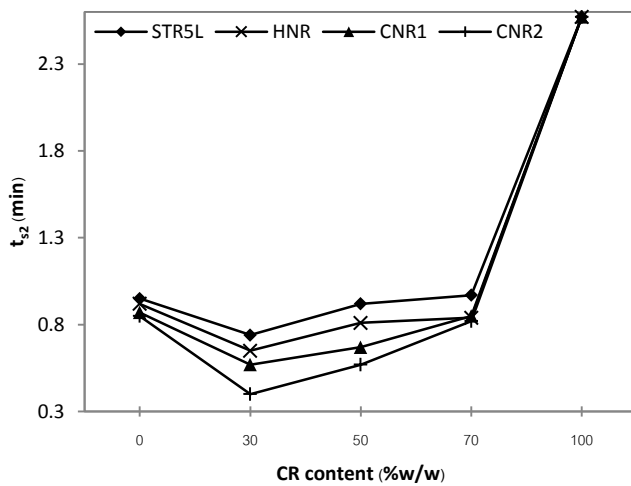
ปริมาณยาง CR (%w/w)	t_{90} (min)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	1.84	1.47	1.64	1.29
30	3.24	2.68	2.8	2.79
50	4.11	3.21	3.53	3.72
70	6.05	5.89	4.9	5.88
100	6.17			

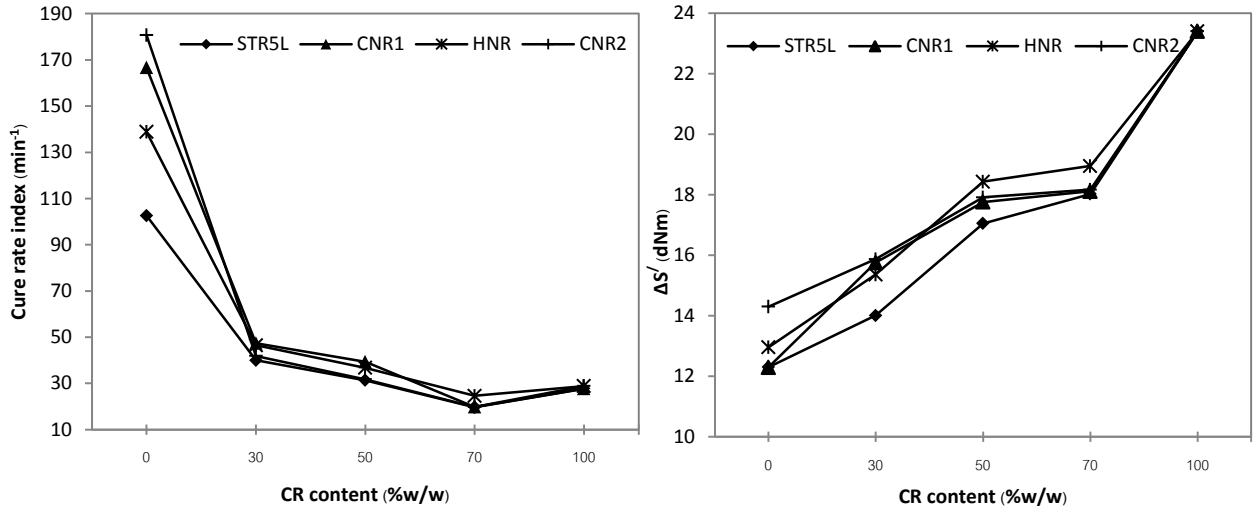
ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีการคงรูป (CRI) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางคลอโรพรีน (CR)

ปริมาณยาง CR (%w/w)	CRI (min ⁻¹)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	102.63	166.67	138.89	180.77
30	40.00	47.39	46.51	41.84
50	31.35	39.37	36.76	31.75
70	19.69	19.84	24.63	19.76
100	27.78			

ตารางที่ 4.9 ค่าผลต่างแรงบิด ($\Delta S'$) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางคลอโรพรีน (CR)

ปริมาณยาง CR (%w/w)	$\Delta S'$ (dNm)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	12.30	12.29	12.96	14.30
30	14.01	15.75	15.36	15.87
50	17.05	17.76	18.43	17.91
70	18.02	18.12	18.95	18.17
100	23.4			





รูปที่ 4.34 พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่ผสมยางคลอโรพรีน (a) t_{s2} , (b) t_{90} , (c) CRI, (d) $\Delta S'$

4.5.2 ยางคอมปาวด์ของยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์

พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ แสดงไว้ในตารางที่ 4.10-4.13 และสรุปออกมาเป็นกราฟดังรูปที่ 4.35 (a)-(d) โดยพบว่ายางไนไตรล์มีค่า t_{s2} ต่ำที่สุด และการผสมยาง STR5L หรือยางที่มีหมู่ฟังก์ชันลงไปจะช่วยให้ยางไนไตรล์มีค่า t_{s2} สูงขึ้นตามปริมาณของยางไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้น ยางไนไตรล์มีค่า t_{90} สูงที่สุดและการผสมยาง STR5L หรือยางที่มีหมู่ฟังก์ชันลงไปจะช่วยให้ยางไนไตรล์มีค่า t_{90} ลดลงซึ่งเรียกว่า “Dilution effect” โดยยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์มีค่า t_{90} ต่ำกว่าของยาง STR5L และพบว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันจะมีค่า CRI สูงกว่ายาง STR5L แสดงว่ายางที่มีหมู่ฟังก์ชันมีอัตราการเกิดพันธะเชื่อมโยงสูงกว่ายาง STR5L และพบว่ายาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันจะมีค่า $\Delta S'$ ต่ำกว่ายางไนไตรล์ แสดงว่ายางไนไตรล์มีปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงสูงกว่า

ตารางที่ 4.10 ค่าระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (t_{s2}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางไนไตรล์ (NBR)

ปริมาณยาง NBR (%w/w)	t_{s2} (min)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	0.95	0.87	0.92	0.85
30	0.94	0.72	0.78	0.75
50	0.85	0.7	0.73	0.72
70	0.8	0.69	0.7	0.68
100	0.67			

ตารางที่ 4.11 ค่าระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่ 90 % (t_{90}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางไนไตรล์ (NBR)

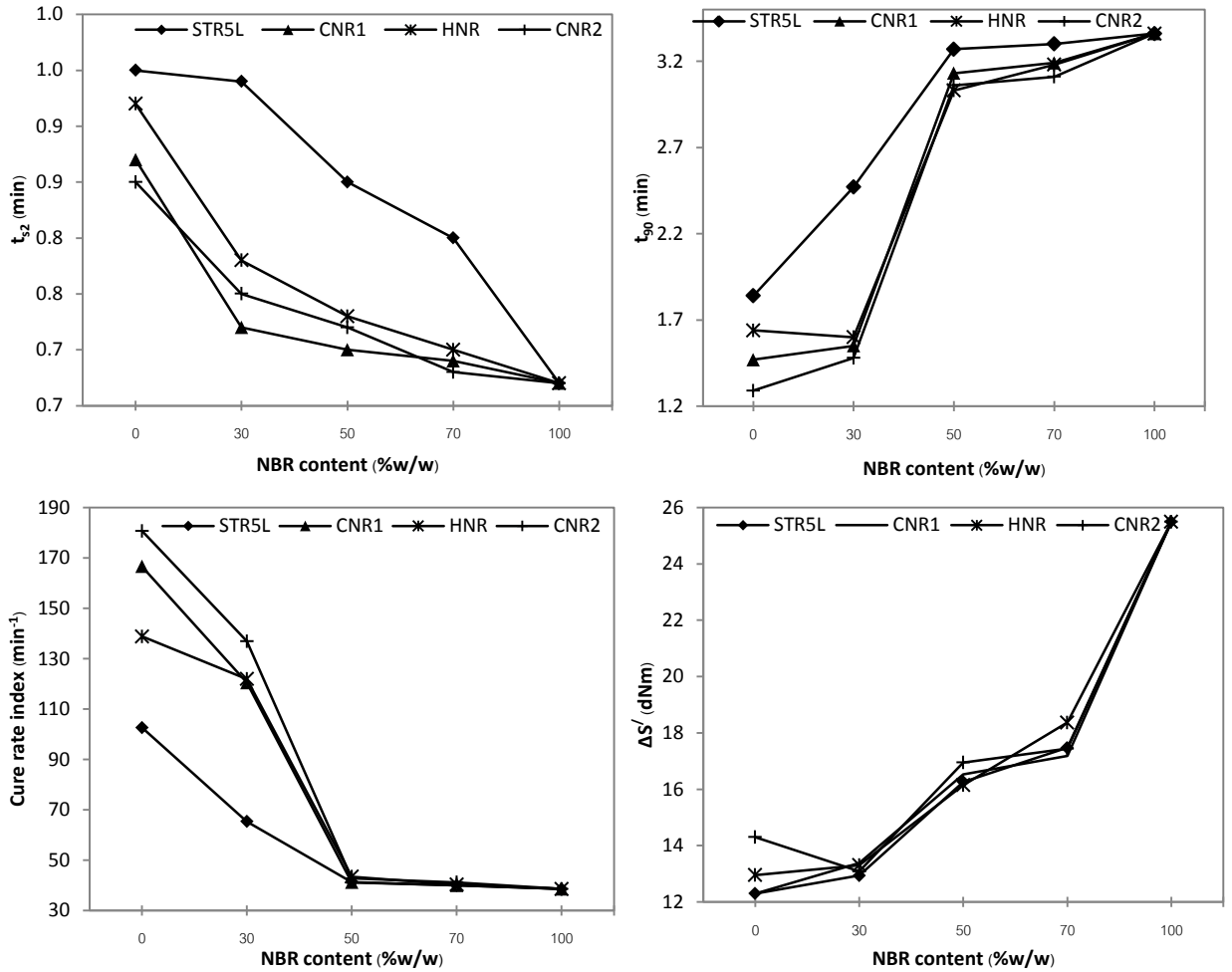
ปริมาณยาง NBR (%w/w)	t_{90} (min)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	1.84	1.47	1.64	1.29
30	2.47	1.55	1.6	1.48
50	3.27	3.13	3.03	3.06
70	3.3	3.19	3.18	3.11
100	3.36			

ตารางที่ 4.12 ค่าดัชนีการคงรูป (CRI) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางไนไตรล์ (NBR)

ปริมาณยาง NBR (%w/w)	CRI (min^{-1})			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	102.63	166.67	138.89	180.77
30	65.36	120.48	121.95	136.99
50	41.32	41.15	43.48	42.74
70	40.00	40.00	40.32	41.15
100	38.61			

ตารางที่ 4.13 ค่าผลต่างแรงบิด ($\Delta S'$) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยาง CNR2 และยาง HNR กับยางไนไตรล์ (NBR)

ปริมาณยาง NBR (%w/w)	$\Delta S'$ (dNm)			
	STR5L	CNR1	HNR	CNR2
0	12.30	12.29	12.96	14.30
30	12.94	13.39	13.31	13.09
50	16.26	16.53	16.14	16.95
70	17.48	17.18	18.37	17.44
100	25.49			



รูปที่ 4.35 พฤติกรรมการคงรูปของคอมปาวด์ที่ผสมยางไนไตรล์ (a) t_{s2} , (b) t_{90} , (c) CRI, (d) $\Delta S'$

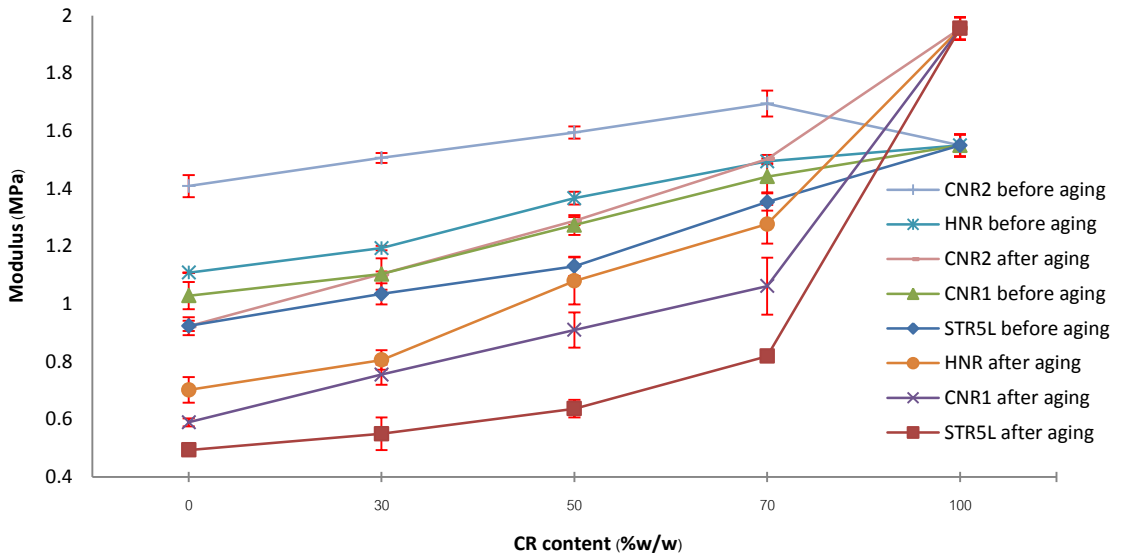
4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกลและการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยาง

4.6.1 ศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง

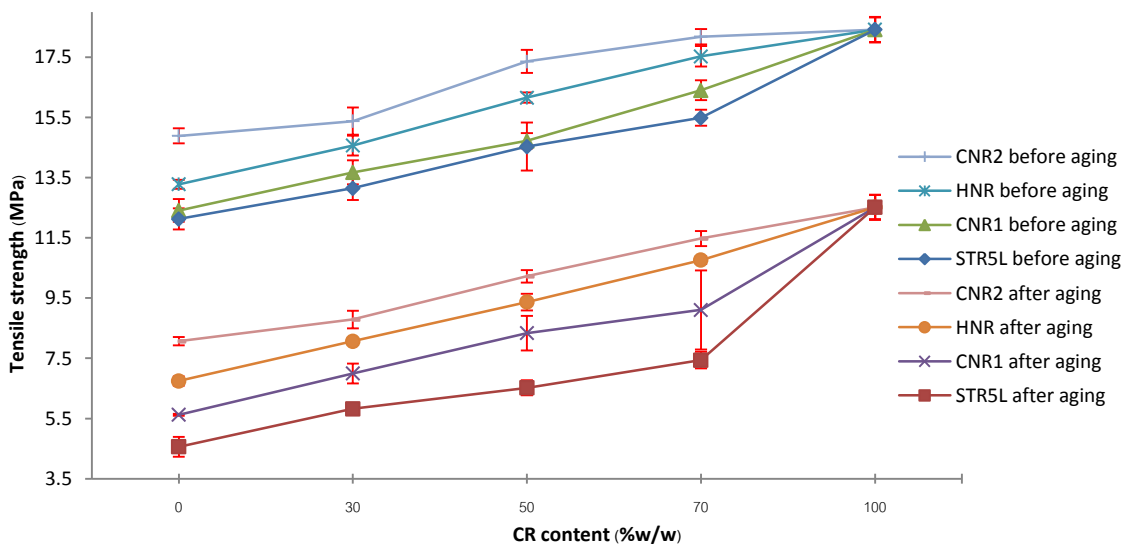
4.6.1.1 ผลของความร้อนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน

ค่าสมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มด้วยความร้อนของผลิตภัณฑ์ยางมียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในปริมาณต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.36–4.39 พบว่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางมีค่าลดลงหลังจากได้รับความร้อนแสดงว่าความร้อนหรืออุณหภูมิสูงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเสื่อมสภาพลง แต่ในกรณีของยางคลอโรพรีนพบว่าเมื่อบ่มด้วยความร้อนแล้ว จะมีค่ามอดูลัสและความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเป็นผลมาจากยางคลอโรพรีนเกิดพันธะเชื่อมโยงต่อเนื่องจากความร้อน

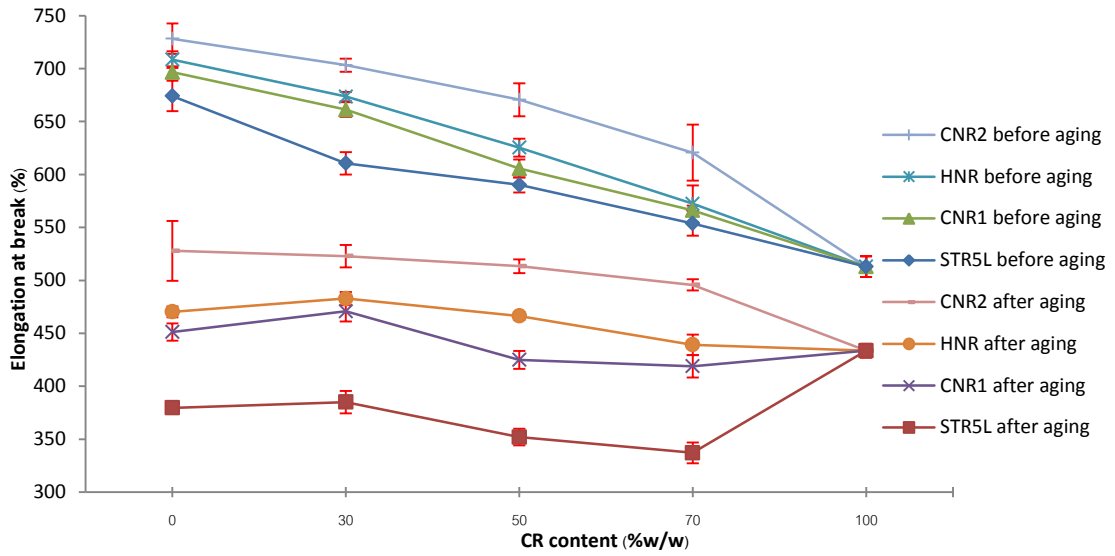
(Post curing effect) [20] และพบว่าผลิตภัณฑ์ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน ค่าสมบัติเชิงกลก่อนการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางคลอโรพรีนในทุกๆ อัตราส่วน ซึ่งจากผลการทดลองในหัวข้อก่อนหน้านี้พบว่ายางที่มีหมู่ฟังก์ชันมีแนวโน้มผสมเข้ากันได้ดีกับยางคลอโรพรีนได้มากกว่ายาง STR5L ซึ่งเพราะเหตุนี้จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีนมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางคลอโรพรีน



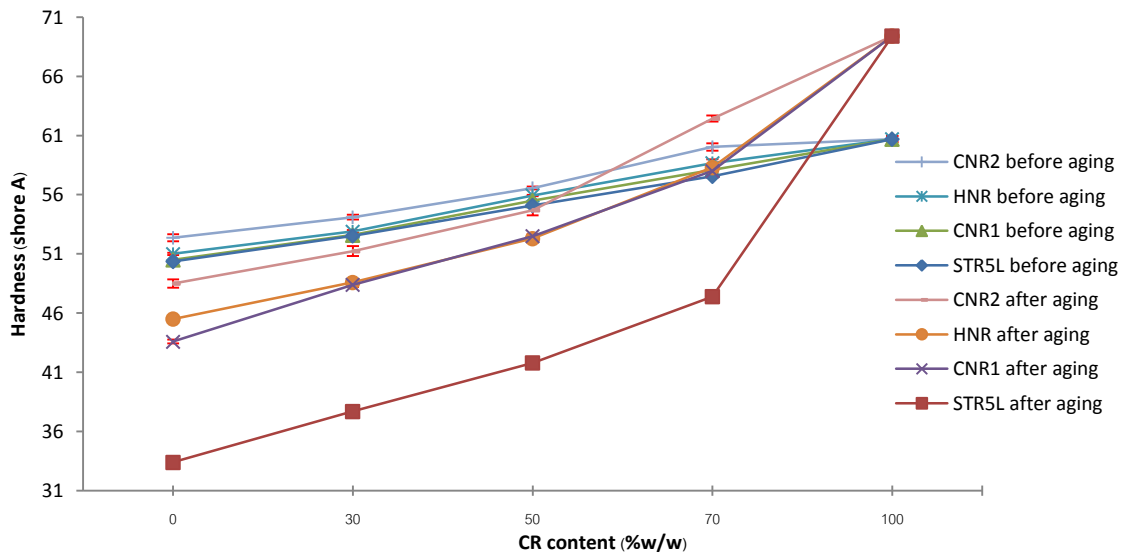
รูปที่ 4.36 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.37 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



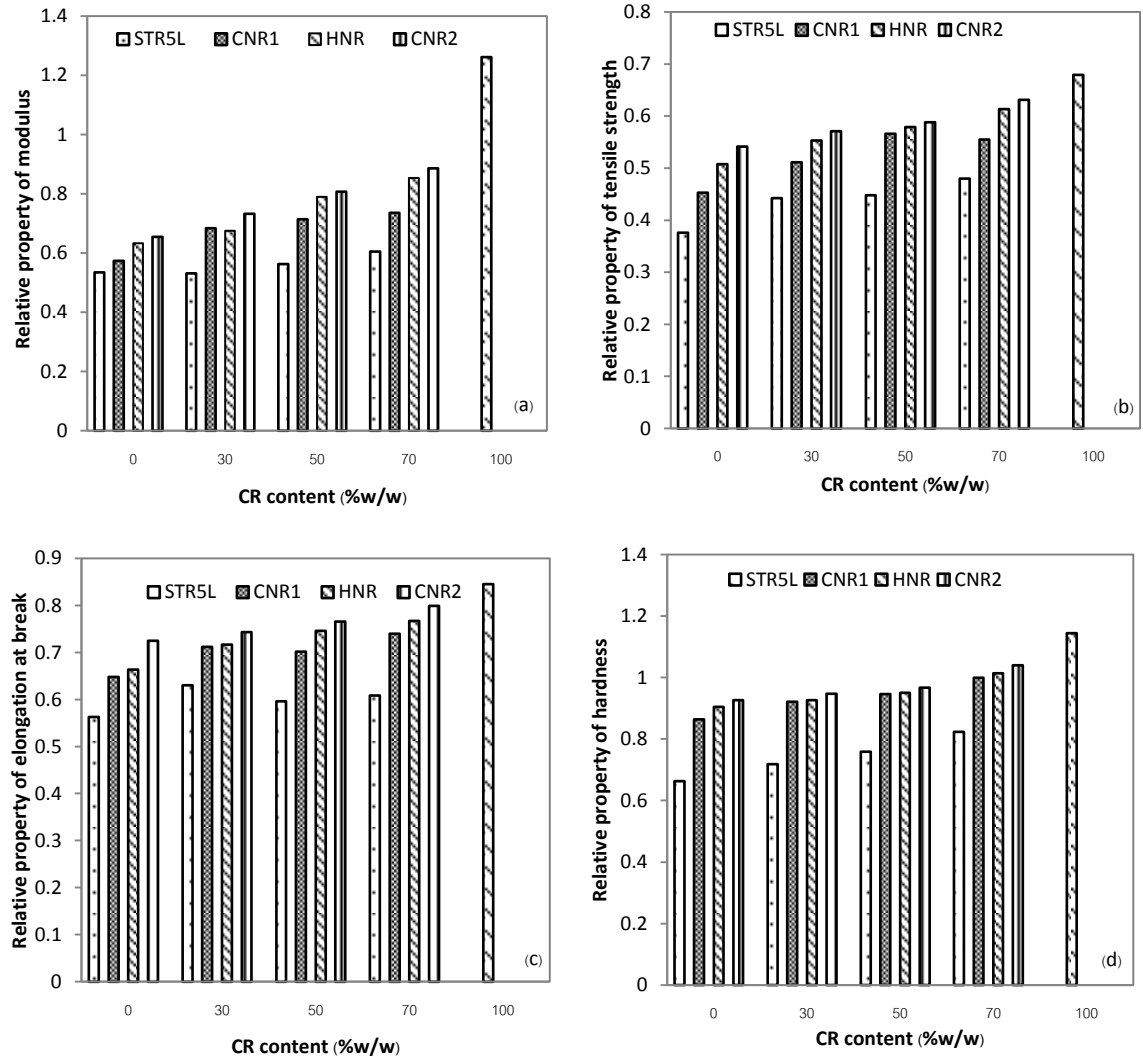
รูปที่ 4.38 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.39 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.36-4.39 เมื่อนำค่าสมบัติเชิงกลหลังการให้ความร้อนมาหารด้วยค่าสมบัติเชิงกลก่อนให้ความร้อน จะได้ค่า สมบัติสัมพัทธ์ [20] โดยหากค่าสมบัติสัมพัทธ์ของผลิตภัณฑ์ยางชนิดใดมีค่าเข้าใกล้ 1 มากก็แปลว่าสมบัติเชิงกลก่อนและหลังของยางนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก ยางมีความทนต่อความร้อนได้ดี โดยผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.40 (a)-(d) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ยาง STR5L มีค่าสมบัติสัมพัทธ์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางคลอโรพรีนและผลิตภัณฑ์ยาง

ธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่จะมีค่าสมบัติสัมพัทธ์สูงกว่ายาง STR5L ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่

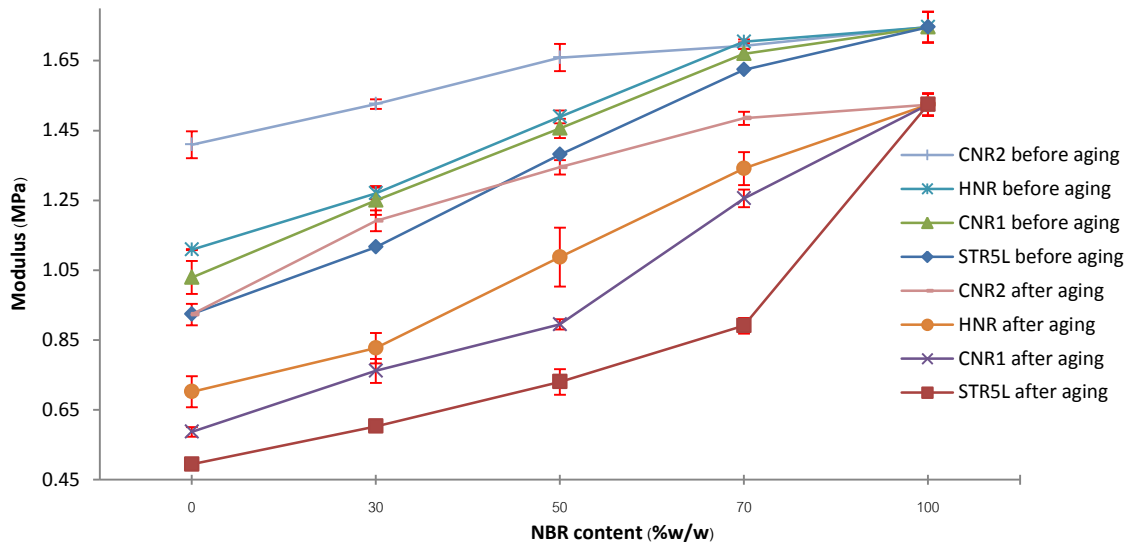


รูปที่ 4.40 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) โมดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C, 72 ชั่วโมง

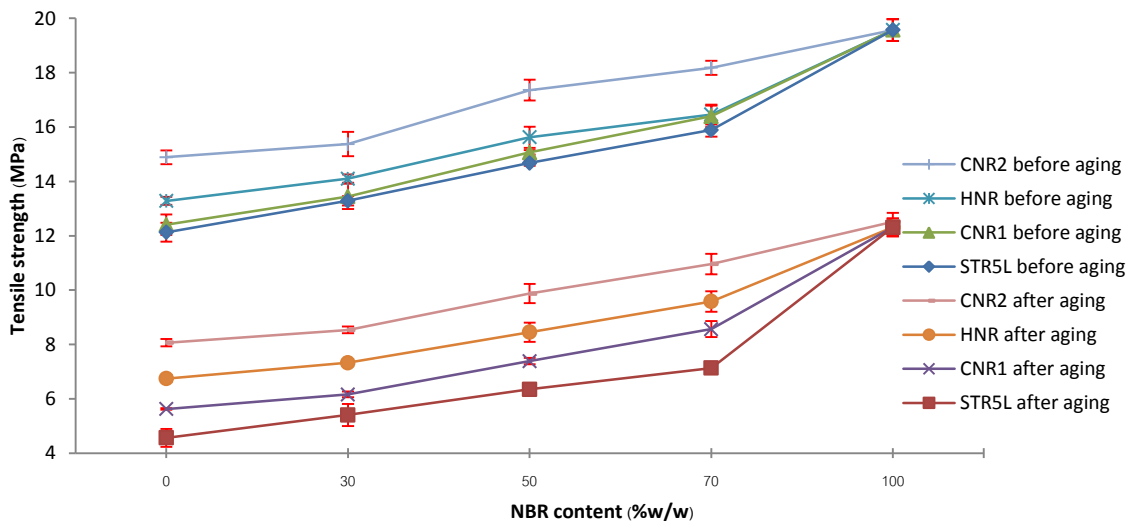
4.6.1.2 ผลของความร้อนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์

จากรูปที่ 4.41–4.44 พบว่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยาง จะมีค่าลดลงหลังผ่านการให้ความร้อน แสดงว่าความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเกิดการเสื่อมสภาพ และพบว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าของยาง STR5L และยาง STR5L ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ โดยในงานวิจัยของชัชวาลและคณะ [21] ซึ่งได้ศึกษาถึงสมบัติของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางไนไตรล์โดยมียาง

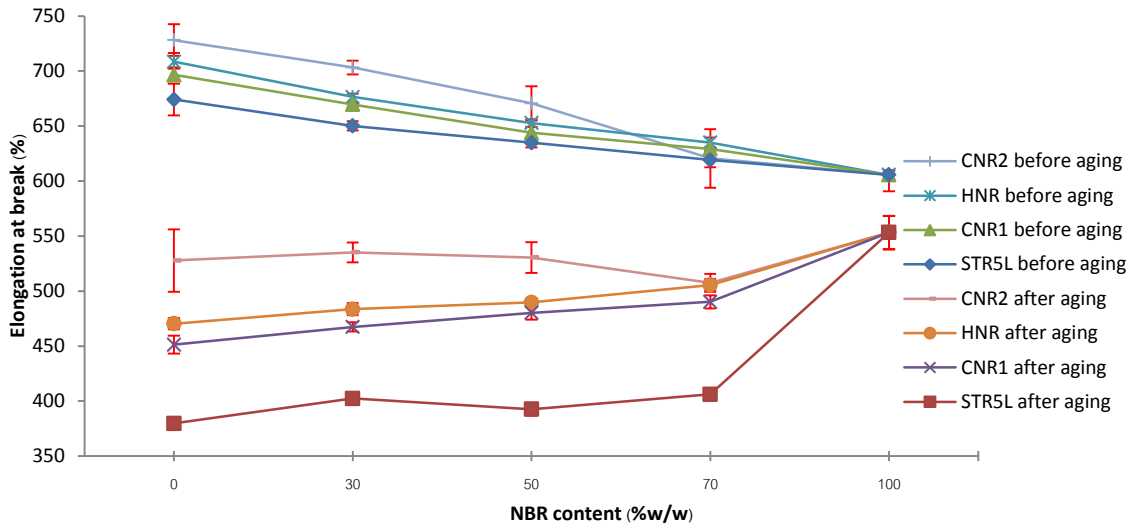
คลอโรพรีนเป็นสารช่วยประสาน พบว่ายาง STR5L ที่ผสมกับยางไนไตรล์โดยมียางคลอโรพรีนเป็นสารช่วยประสานจะทำให้ยางวัลคาไนเซตที่ได้มีสมบัติความทนต่อความร้อนดีขึ้น ดังนั้นจากงานวิจัยดังกล่าวจึงเป็นการพิสูจน์ว่าความเข้ากันได้ระหว่างยางที่นำมาผสมกันเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของยางวัลคาไนเซต ส่วนค่าสมบัติสัมพัทธ์ของผลิตภัณฑ์ยางแสดงไว้ในรูปที่ 4.45 (a)-(d) พบว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่จะมีค่าสมบัติสัมพัทธ์สูงกว่าของยาง STR5L ที่อัตราส่วนเดียวกัน



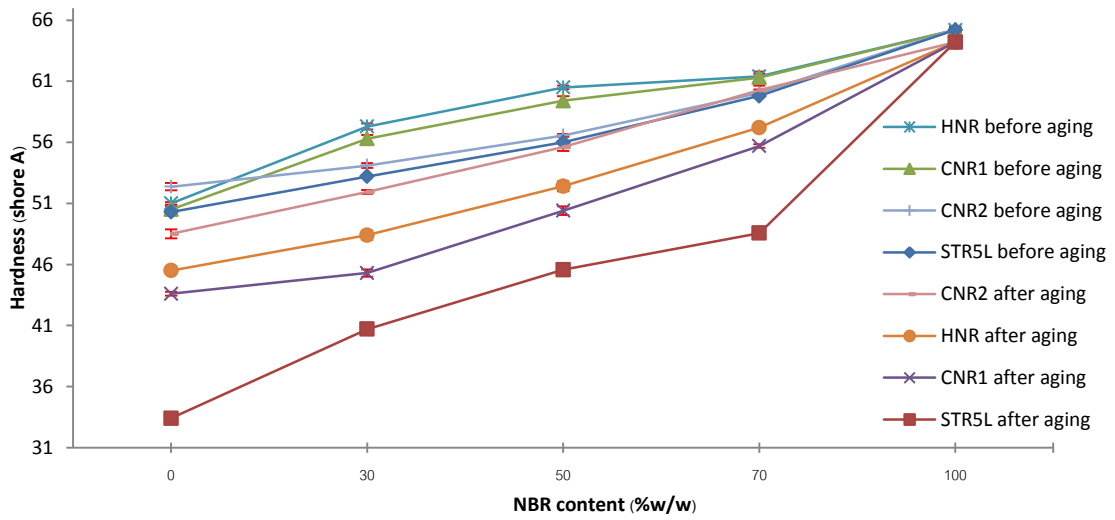
รูปที่ 4.41 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



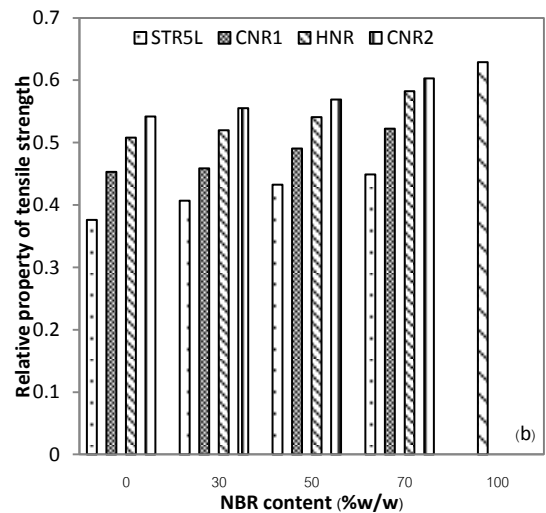
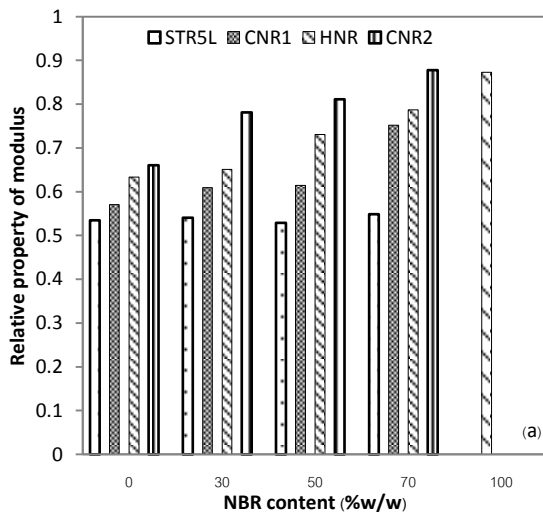
รูปที่ 4.42 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ

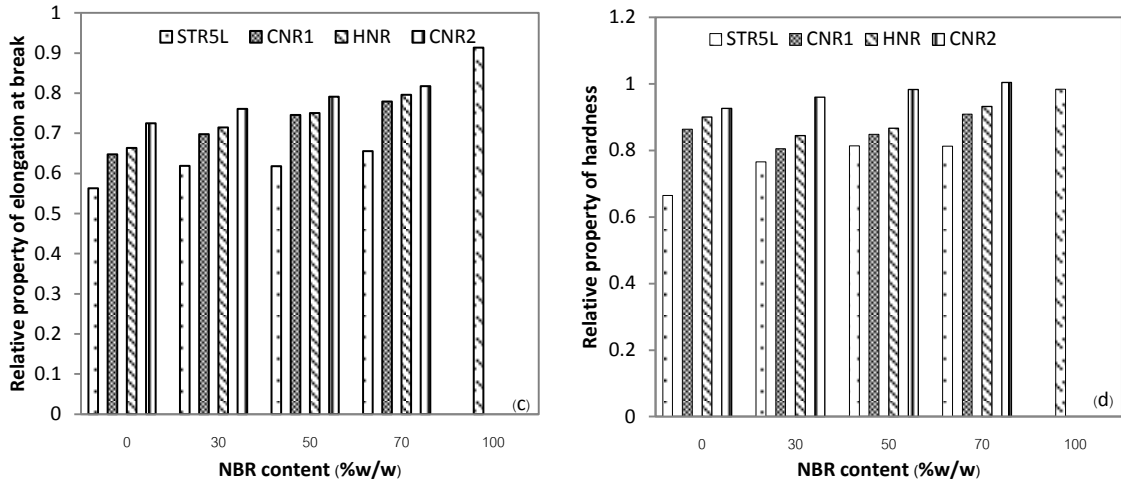


รูปที่ 4.43 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.44 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



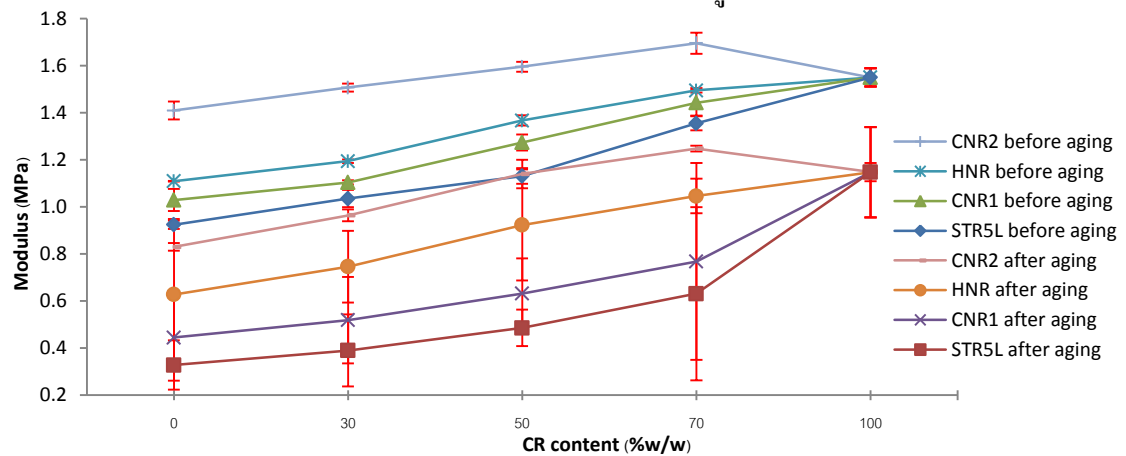


รูปที่ 4.45 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C, 72 ชั่วโมง

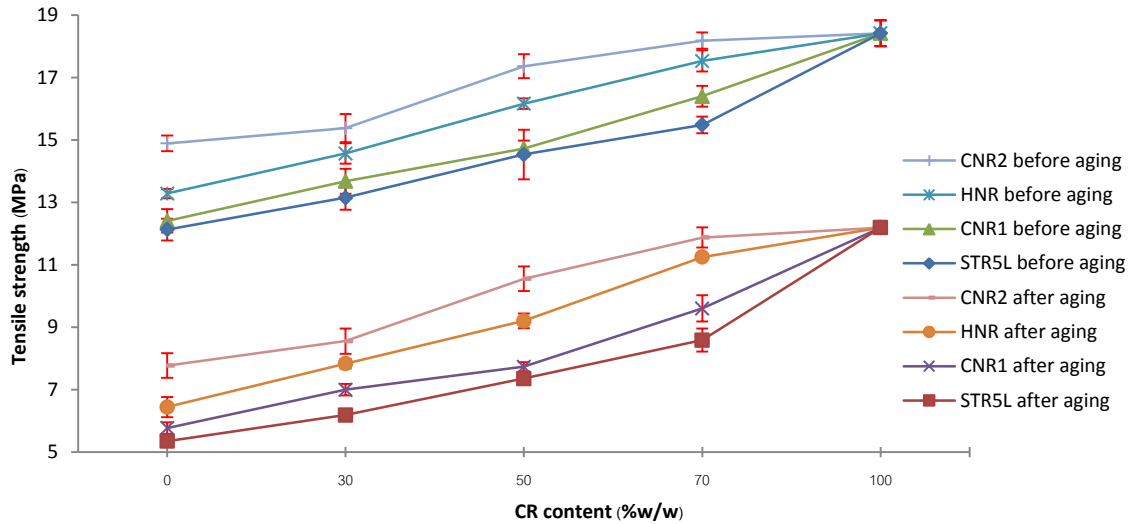
4.6.2 ผลของตัวทำละลายโทลูอีนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง

4.6.2.1 ผลของตัวทำละลายโทลูอีนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน

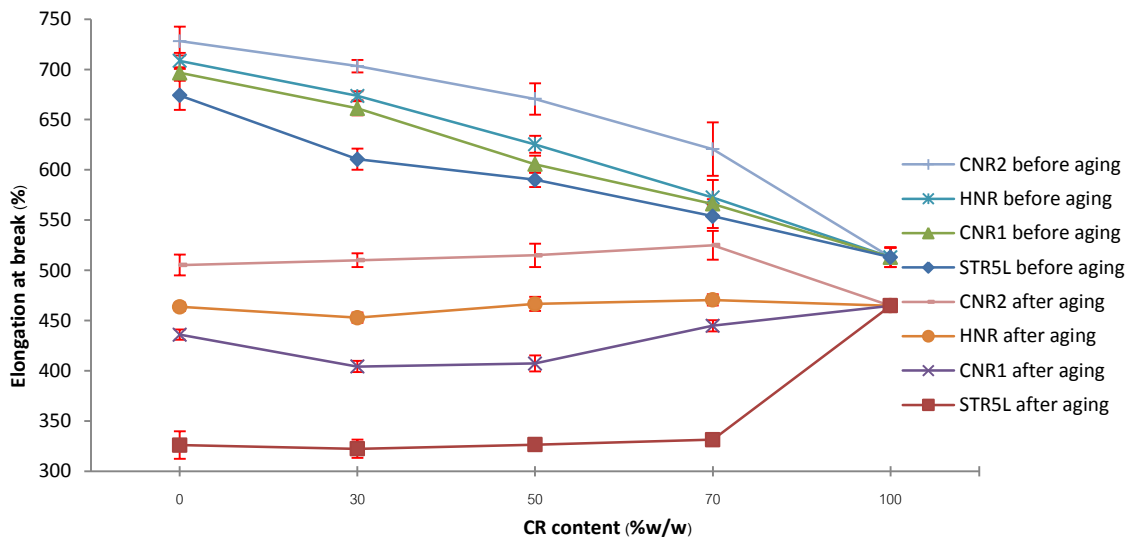
สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ ก่อนและหลังการแช่ในโทลูอีนแสดงในรูปที่ 4.46-4.49 จากรูปพบว่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่หลังผ่านการแช่ในโทลูอีนมีค่าลดลง และค่าสมบัติสัมพัทธ์ของผลิตภัณฑ์ยางแสดงไว้ในรูปที่ 4.50 (a) – (d) พบว่ายางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางคลอโรพรีนมีค่าสมบัติสัมพัทธ์ของสมบัติเชิงกลต่ำกว่าในกรณีของยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน



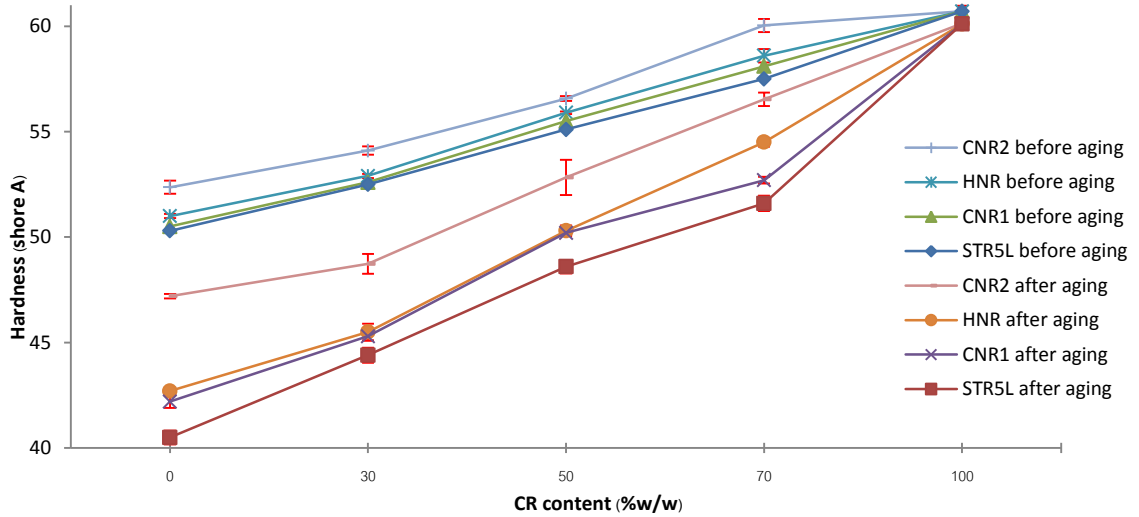
รูปที่ 4.46 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



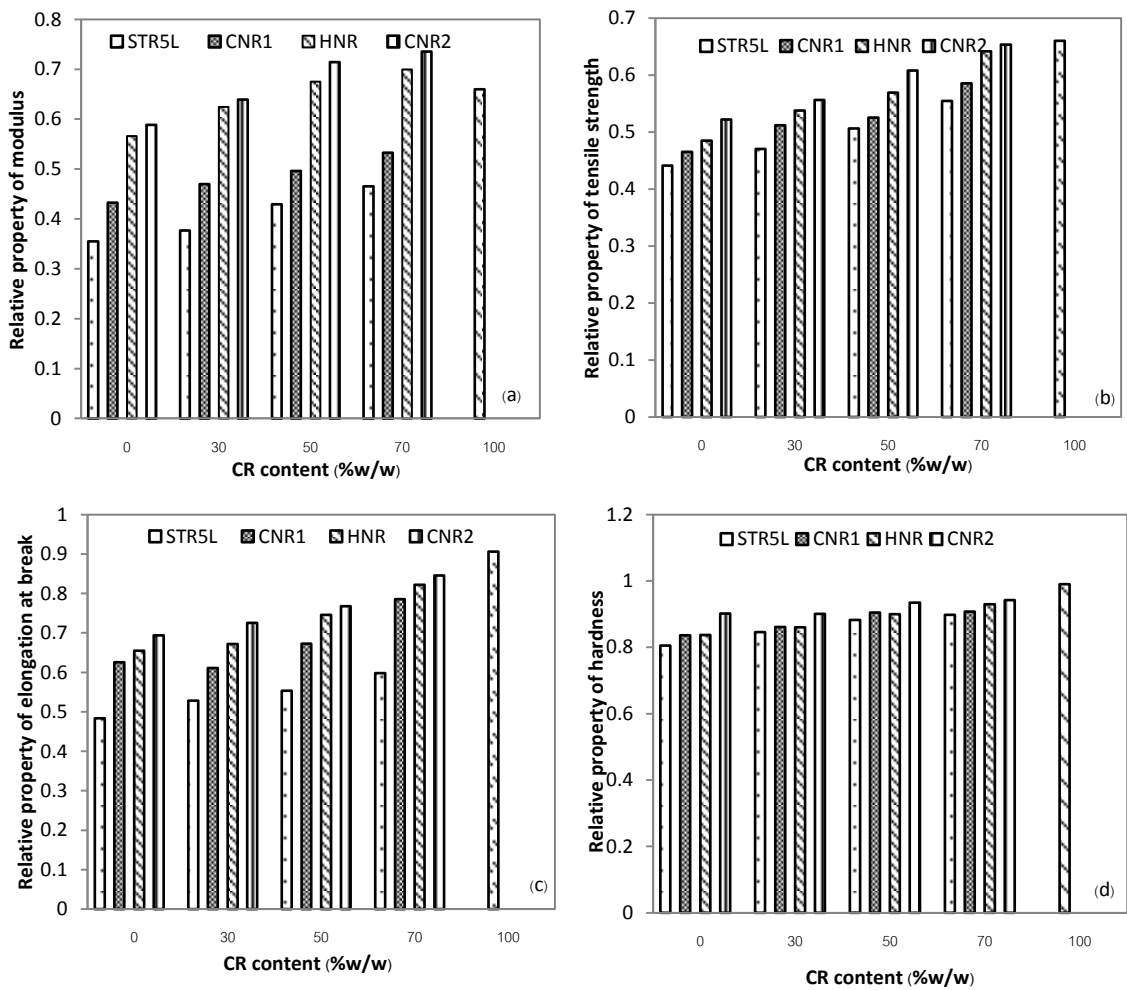
รูปที่ 4.47 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.48 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



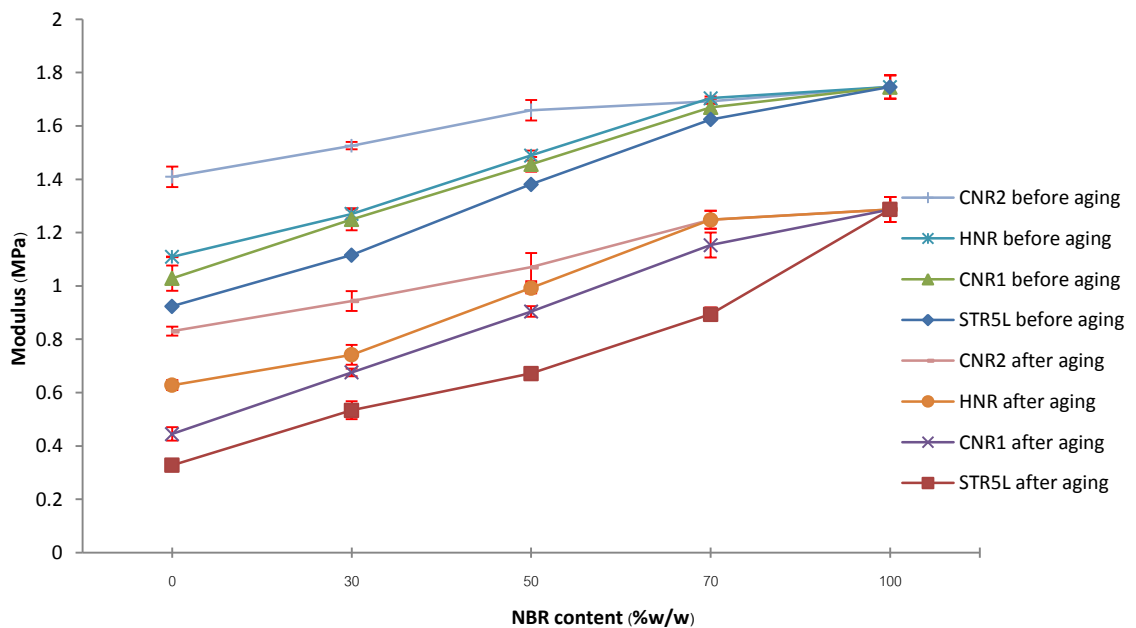
รูปที่ 4.49 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



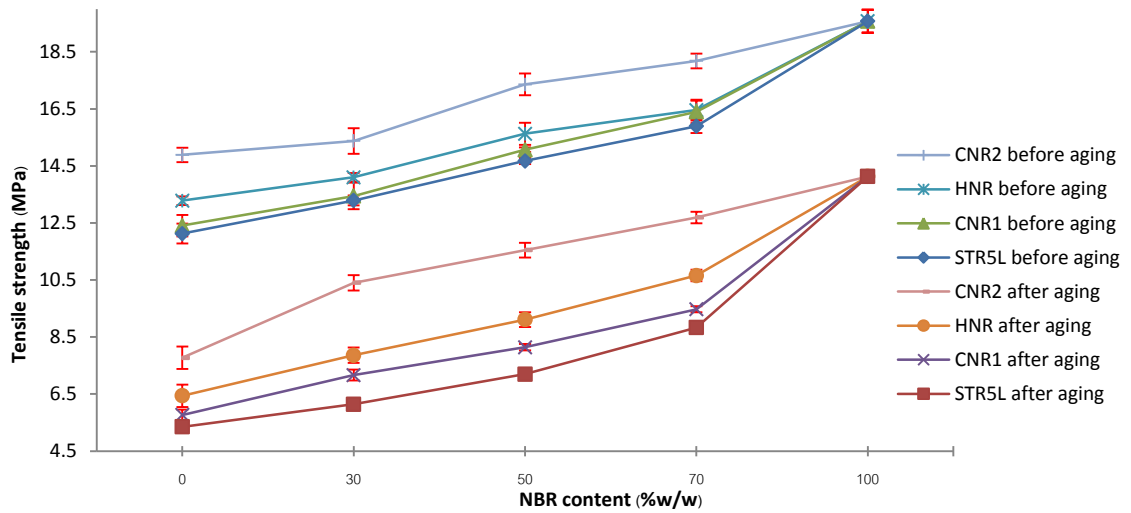
รูปที่ 4.50 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) โมดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อผ่านการแช่ในโทลูอีนที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง

4.6.2.2 ผลของตัวทำละลายโทลูอีนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์

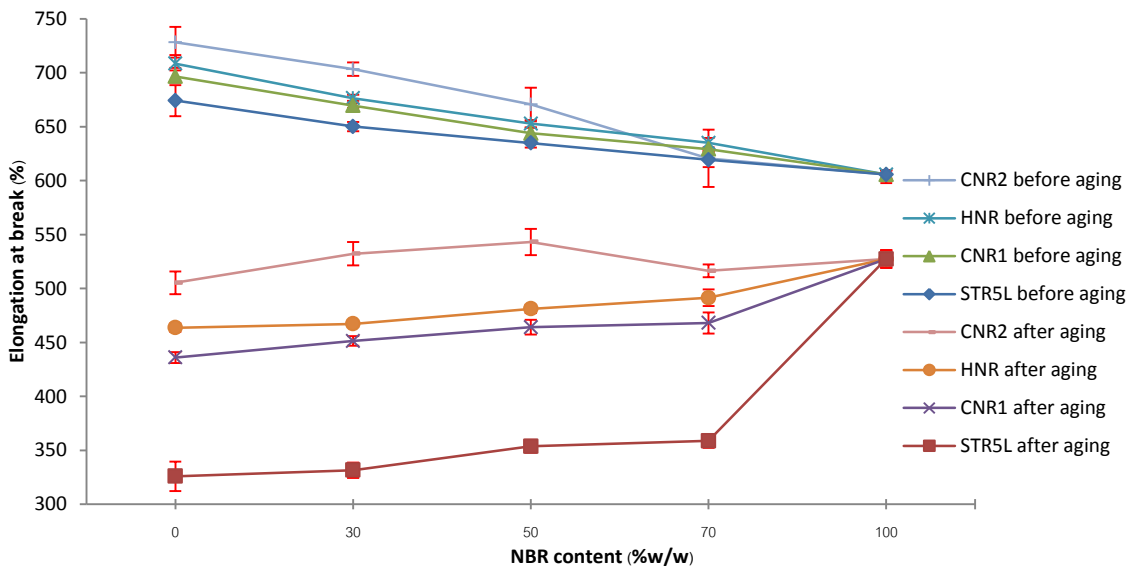
สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ ก่อนและหลังการแช่ตัวอย่างไว้ในตัวทำละลายโทลูอีนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมงแสดงในรูปที่ 4.51-4.54 จากรูปพบว่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่หลังผ่านการแช่ในตัวทำละลายโทลูอีนมีค่าลดลง และจากผลที่ได้สามารถนำมาหาค่าความสามารถในการทนต่อตัวทำละลายโทลูอีนของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ได้ โดยพิจารณาจากค่าสมบัติสัมพัทธ์ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.55 (a) – (d) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ของยางผสมระหว่างยาง STR5L กับยางไนไตรล์มีค่าสมบัติสัมพัทธ์ของสมบัติเชิงกลต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางไนไตรล์ แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันสามารถเข้ากันได้ดีกับยางไนไตรล์มากกว่ายาง STR5L



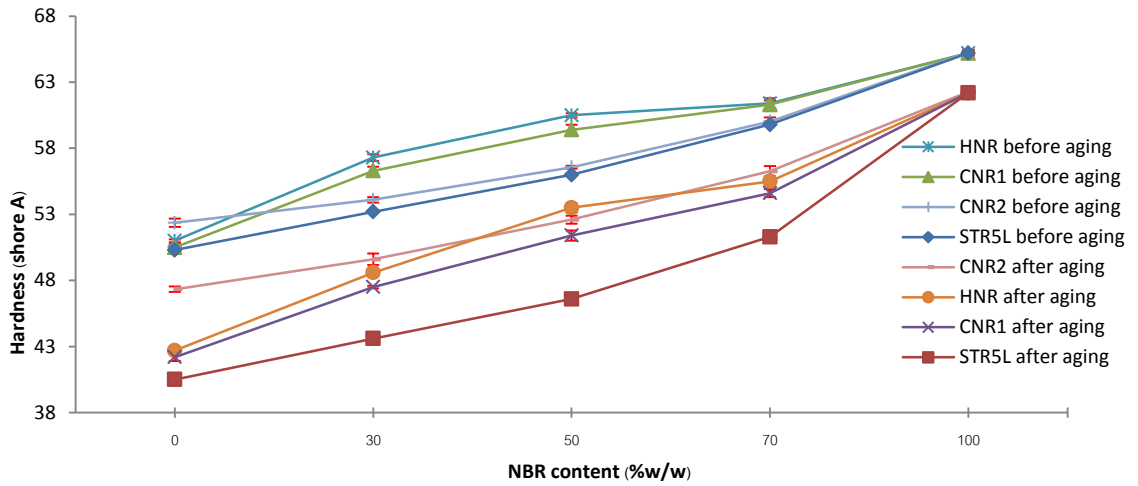
รูปที่ 4.51 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



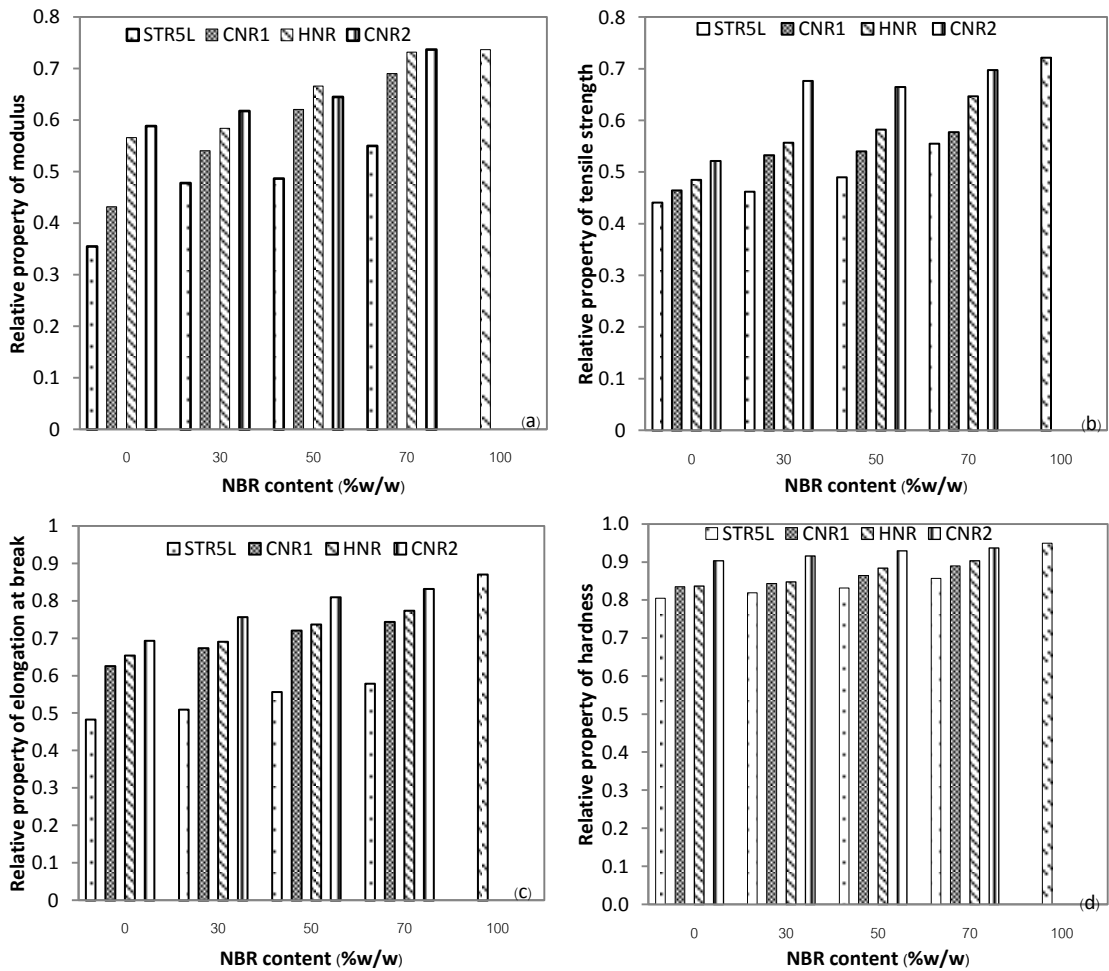
รูปที่ 4.52 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.53 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.54 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางยางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ

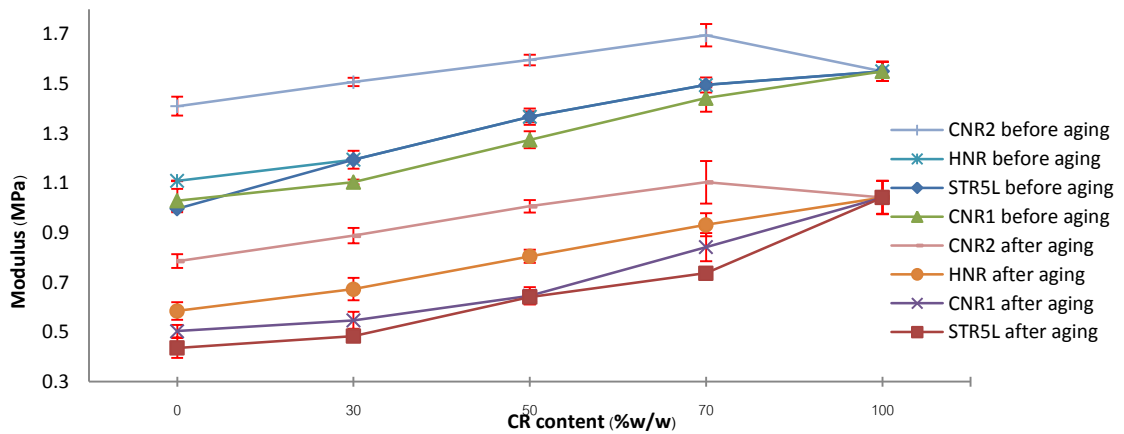


รูปที่ 4.55 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) โมดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อผ่านการแช่ใน โทลูอีนที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง

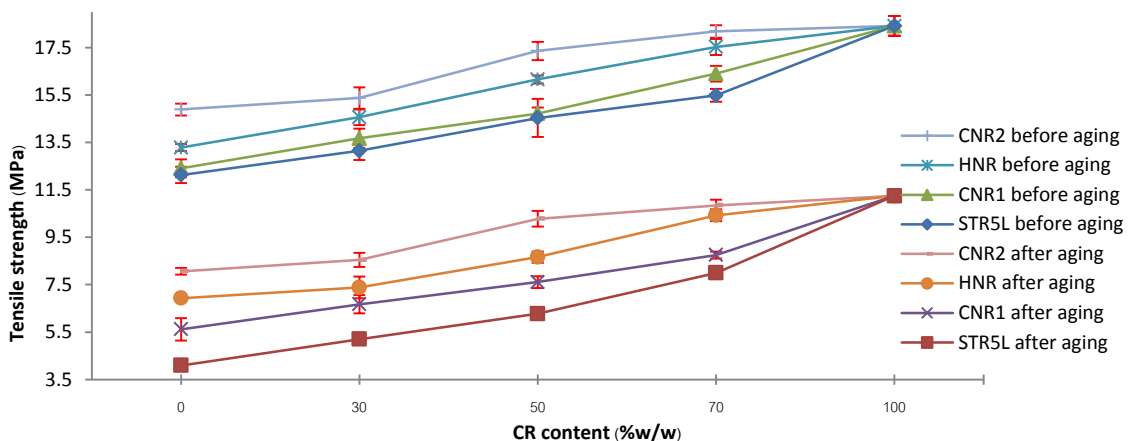
4.6.3 ผลของน้ำมันไฮโดรลิกที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง

4.6.3.1 ผลของน้ำมันไฮโดรลิกที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน

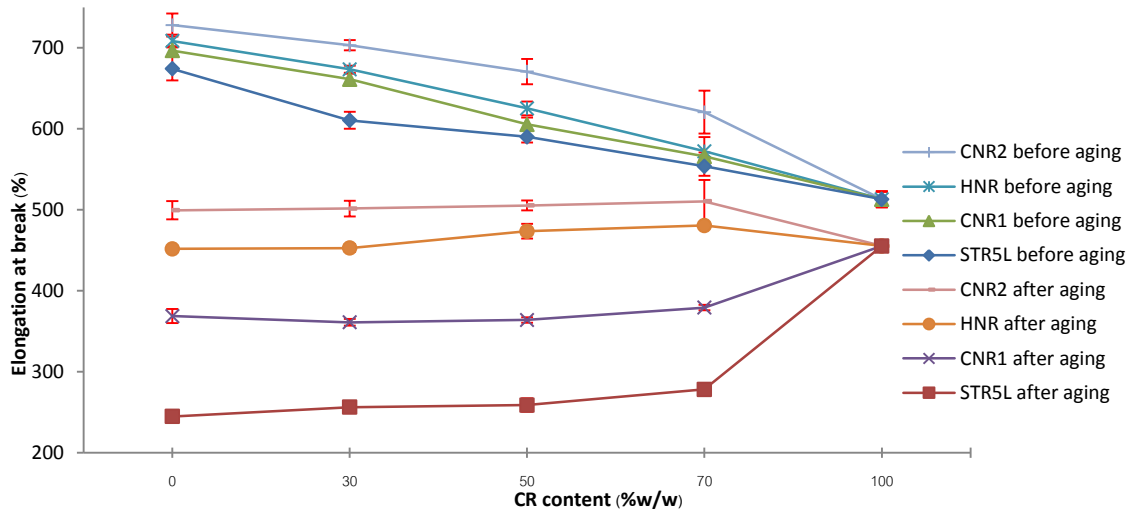
สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ ก่อนและหลังการแช่ตัวอย่างในน้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้องแสดงในรูปที่ 4.56-4.59 จากรูปพบว่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติและยางที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ที่อัตราส่วนต่างๆ หลังแช่น้ำมันไฮโดรลิกจะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาจากค่าสมบัติสัมพัทธ์ของสมบัติเชิงกลซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.60 (a)-(d) จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติมีค่าสมบัติสัมพัทธ์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางคลอโรพรีน



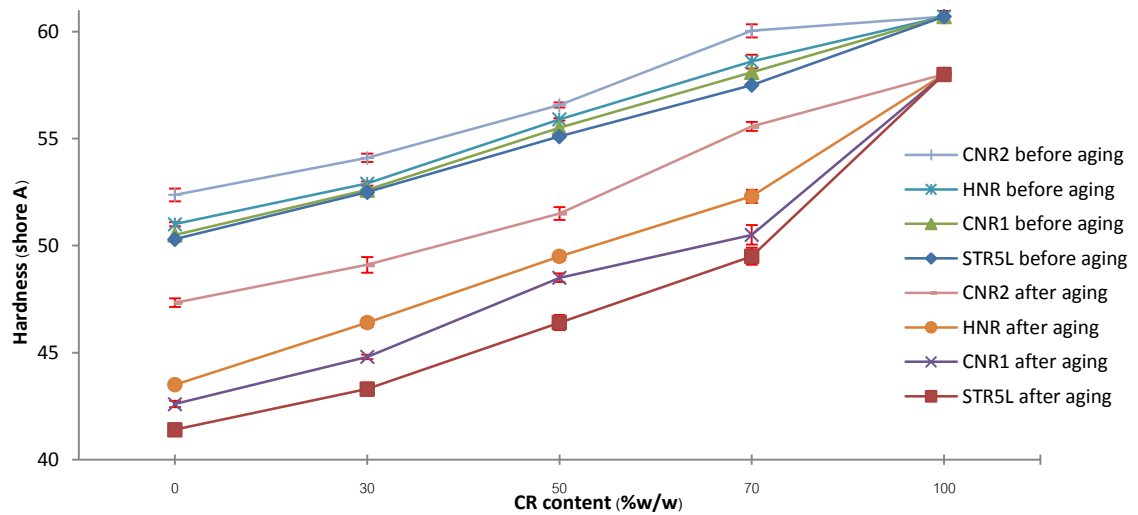
รูปที่ 4.56 ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



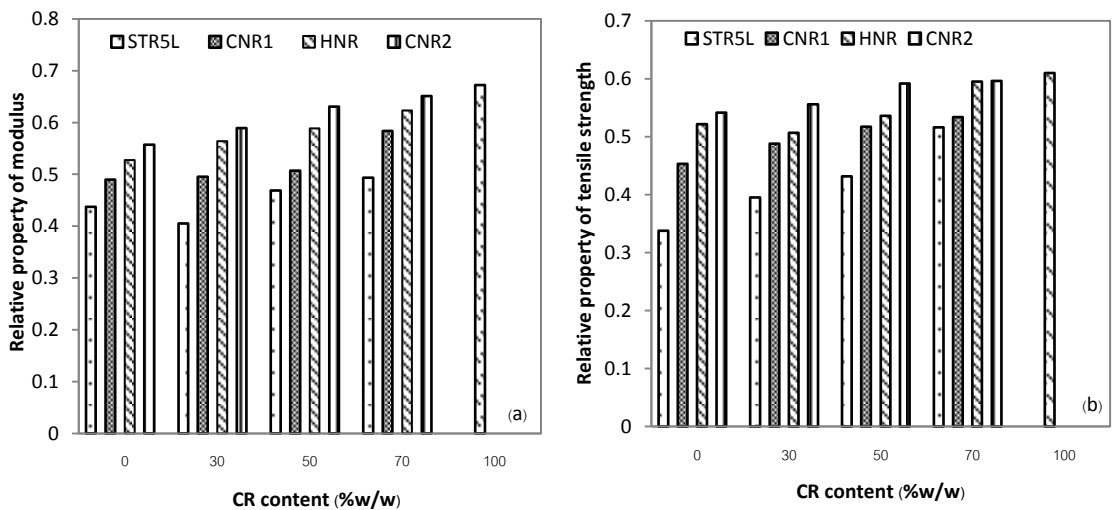
รูปที่ 4.57 ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ

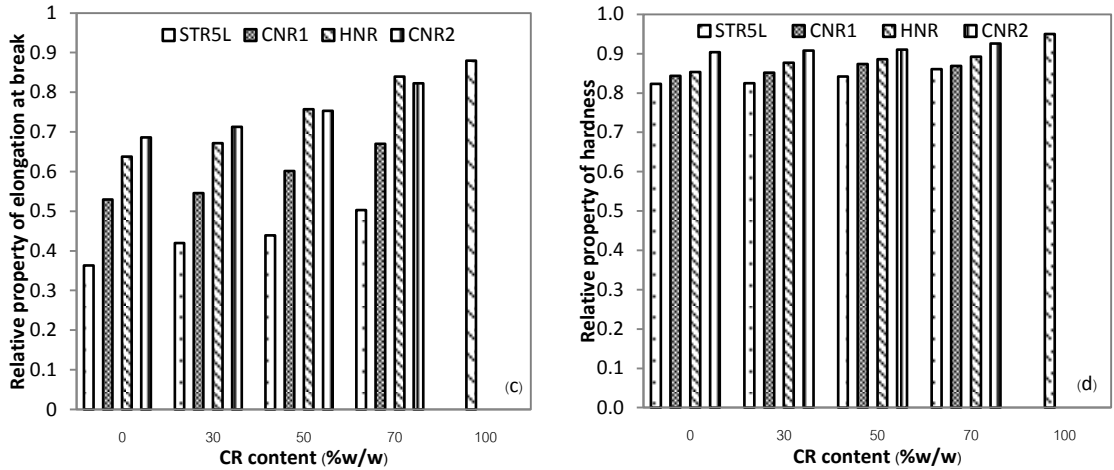


รูปที่ 4.58 ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.59 ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ

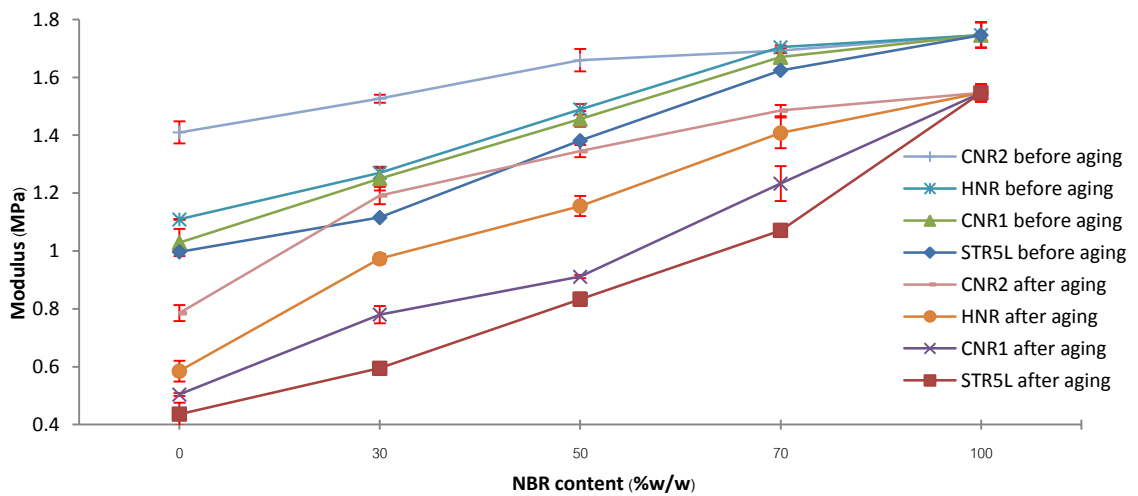




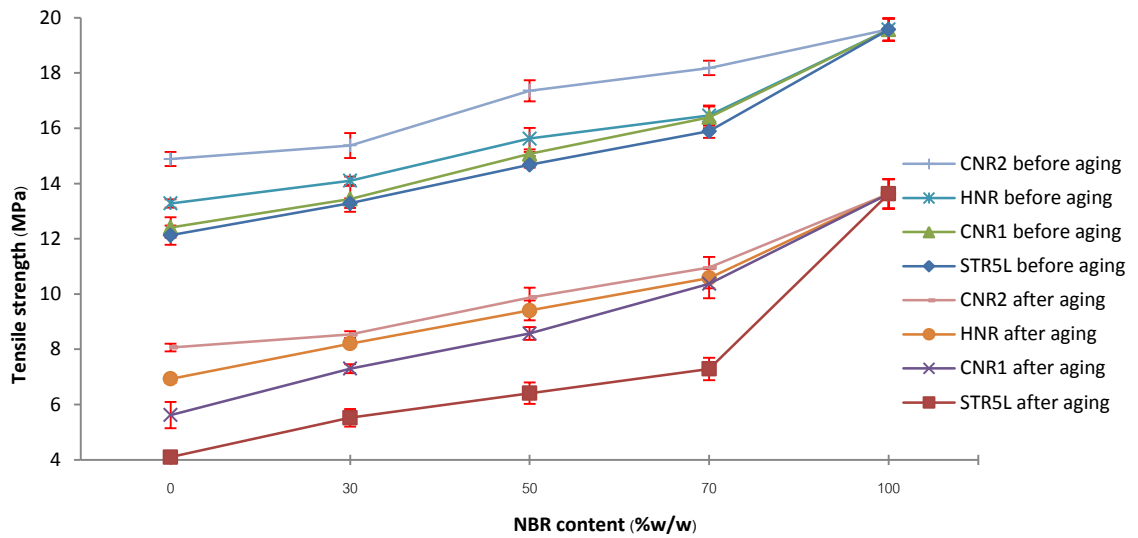
รูปที่ 4.60 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อแช่น้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง

4.6.3.2 ผลของน้ำมันไฮโดรลิกที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์

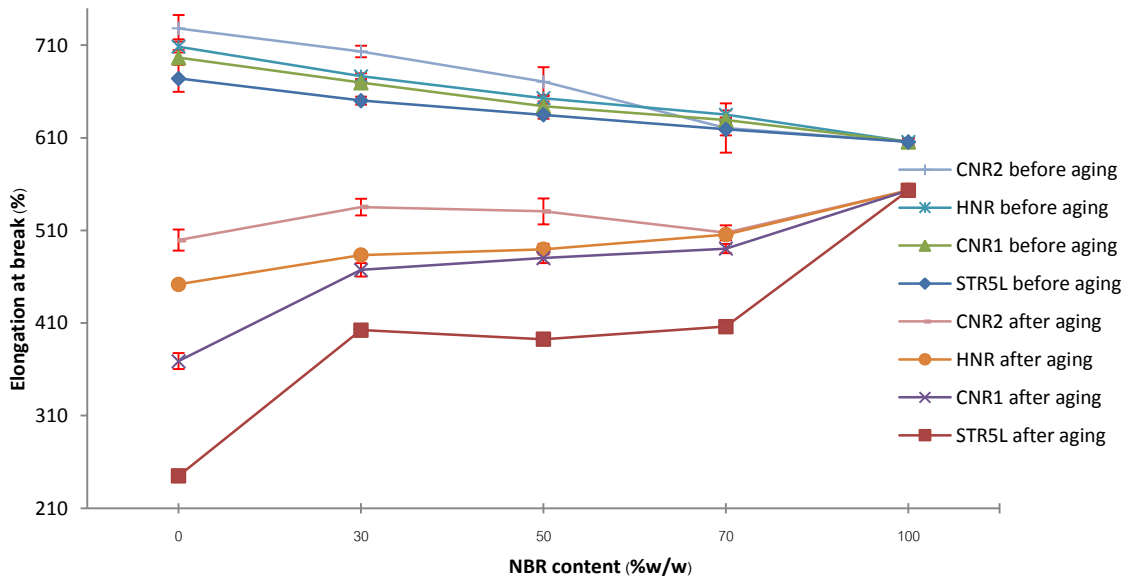
สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ ก่อนและหลังการแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง แสดงในรูปที่ 4.61-4.64 จากรูปพบว่าสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่หลังผ่านการแช่น้ำมันไฮโดรลิกจะมีค่าลดลง และค่าสมบัติสัมพัทธ์ของสมบัติเชิงกลได้โดยผลที่ได้นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 4.65 (a)-(d) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ยาง STR5L มีค่าสมบัติสัมพัทธ์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันและยางไนไตรล์ แสดงให้เห็นว่าการผสมยางไนไตรล์ ช่วยทำให้ยาง STR5L ทนต่อน้ำมันได้ดีขึ้น



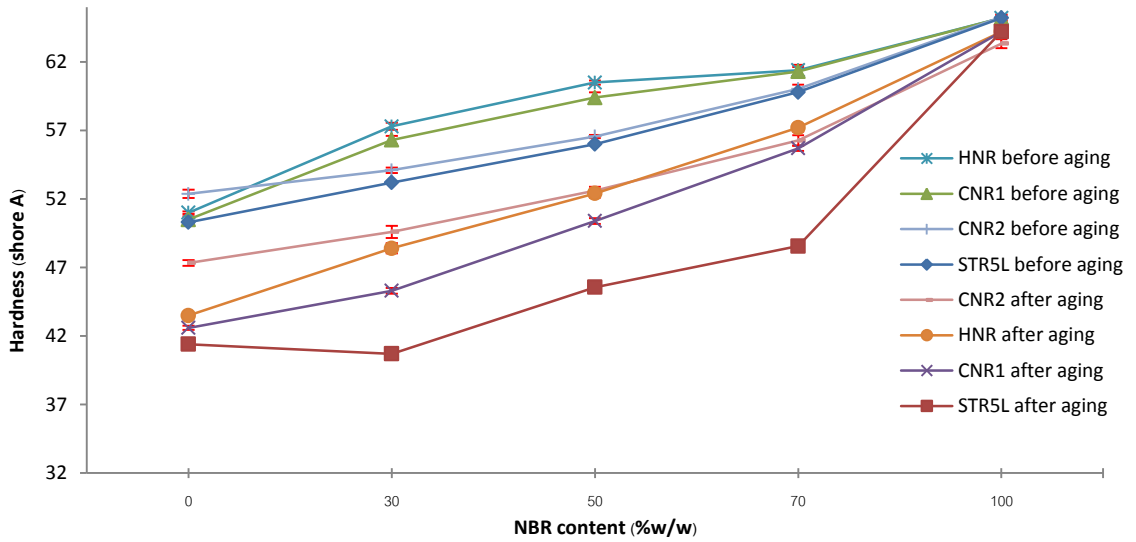
รูปที่ 4.61 ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



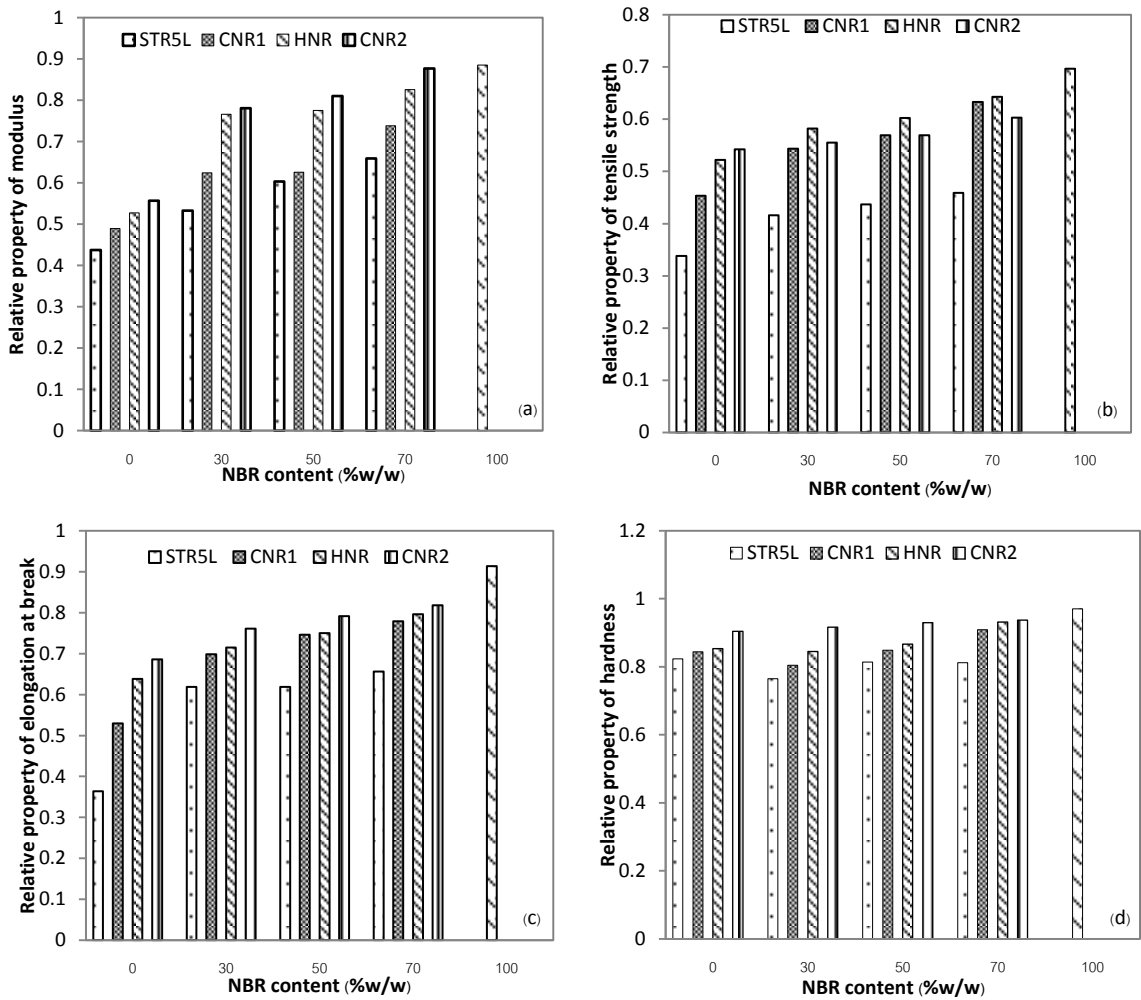
รูปที่ 4.62 ผลของน้ำมันไฮดรอลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.63 ผลของน้ำมันไฮดรอลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.64 ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชัน ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.65 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) โมดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อแช่น้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง