

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยางเหลวที่เตรียมจากน้ำยางขึ้น
โดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม และ 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม
ทำปฏิกิริยา 12 และ 9 ชั่วโมง

ยางเหลว	10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม		10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม	
	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนืด (cP)	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนืด (cP)
ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	27,800	889×10^3	39,900	390×10^4
ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	20,700	671×10^3	35,400	155×10^4

จากตารางที่ 4.23 จะเห็นว่าปริมาณของฟีนิลฟีนิลไฮดราซีน มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยางเหลว ยิ่งฟีนิลฟีนิลไฮดราซีนมีปริมาณมาก น้ำหนักโมเลกุลของยางก็จะลดลงมาก ทำให้ยางมีความหนืดลดลงด้วย เนื่องจากฟีนิลไฮดราซีนทำให้เกิดการแตกของโมเลกุลยาง โดยฟีนิลฟีนิลไฮดราซีนจะเข้าไปจับกับโมเลกุลยางที่แตกตัวออกมา ทำให้โมเลกุลของยางที่แตกตัวนั้นเสถียร ไม่สามารถกลับมารวมตัวกันใหม่ได้ ถ้าปริมาณฟีนิลฟีนิลไฮดราซีนมาก โอกาสที่จะไปเกาะกับยางหลังจากการแตกตัวก็มากขึ้นด้วย ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดต่ำลง

นอกจากนั้นปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไปในปฏิกิริยาจะมีผลต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางด้วย เนื่องจากออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของยาง ทำให้โมเลกุลของยางนั้นแตกออก ยังมีปริมาณออกซิเจนมากก็ยิ่งทำปฏิกิริยามาก ปฏิกิริยาที่ออกซิเจนทำกับยางธรรมชาติจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ขึ้น และเปลี่ยนเป็น oligomer ที่มีปลายสายโซ่เป็นหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับฟีนิลไฮดราซีนเกิดเป็นสาร phenylhydrazone group ที่ปลายโซ่ที่แตก ทำให้อยู่ในสถานะที่เสถียร ฉะนั้นโมเลกุลของยางจะไม่มารวมตัวกันอีก ดังปฏิกิริยาในรูปที่ 2.3

อุณหภูมิก็มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเช่นกัน ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ได้ยางเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง เนื่องจากความร้อนจะทำให้สารที่จะเกิดปฏิกิริยามีพลังงานเพิ่มขึ้น และยังช่วยให้โมเลกุลของยางแตกออกได้มากขึ้นด้วย แต่ในการทดลองนี้จะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง $50-55^{\circ}\text{C}$ เพื่อควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลของยาง

หลังจากนั้นคอมปาวด์ยางกับสารเคมี น้ำมัน และสารตัวเติม แล้ววัดความหนืดของยางคอมปาวด์ได้ค่าดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ความหนืดของยางเหลวและยางคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น
โดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม และ 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม

ยาง		ความหนืด (cP)	ยาง		ความหนืด (cP)
10% ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	LNR	671×10^3	10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	LNR	155×10^4
	Blank	28,620		Blank	25,880
	Silica 5 phr	32,460		Silica 5 phr	34,120
	Silica 10 phr	38,780		Silica 10 phr	52,340
	Silica 20 phr	55,000		Silica 20 phr	62,340
10% ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	LNR	889×10^3	10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	LNR	390×10^4
	Blank	32,280		Blank	49,600
	Silica 5 phr	36,920		Silica 5 phr	50,000
	Silica 10 phr	48,640		Silica 10 phr	67,120
	Silica 20 phr	76,640		Silica 20 phr	67,040

จากตารางที่ 4.24 จะเห็นว่าความหนืดของยางคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางเหลวที่ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าความหนืดของยางคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางเหลวที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง และความหนืดของยางคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางเหลวที่ใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม มีค่าสูงกว่ายางคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางเหลวที่ใช้ 10 % ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม และจากตารางจะเห็นว่ายางคอมปาวด์ทุกสูตรที่ใช้สารตัวเดิมมีความหนืดไม่แตกต่างกันมากนัก โดยยางทุกสูตรสามารถไหลได้ที่อุณหภูมิห้อง จึงสามารถขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อได้

ตารางที่ 4.25 %Modulus ของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นโดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50-55°C

ปริมาณซิลิกา (phr)	ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง			ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง		
	100% Modulus (MPa)	200% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	100% Modulus (MPa)	200% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)
0	0.19	0.34	0.48	0.10	0.19	-
5	0.12	0.23	0.37	0.37	0.69	-
10	0.16	0.28	0.42	0.47	0.94	-
20	0.18	0.34	0.53	0.56	1.07	1.73

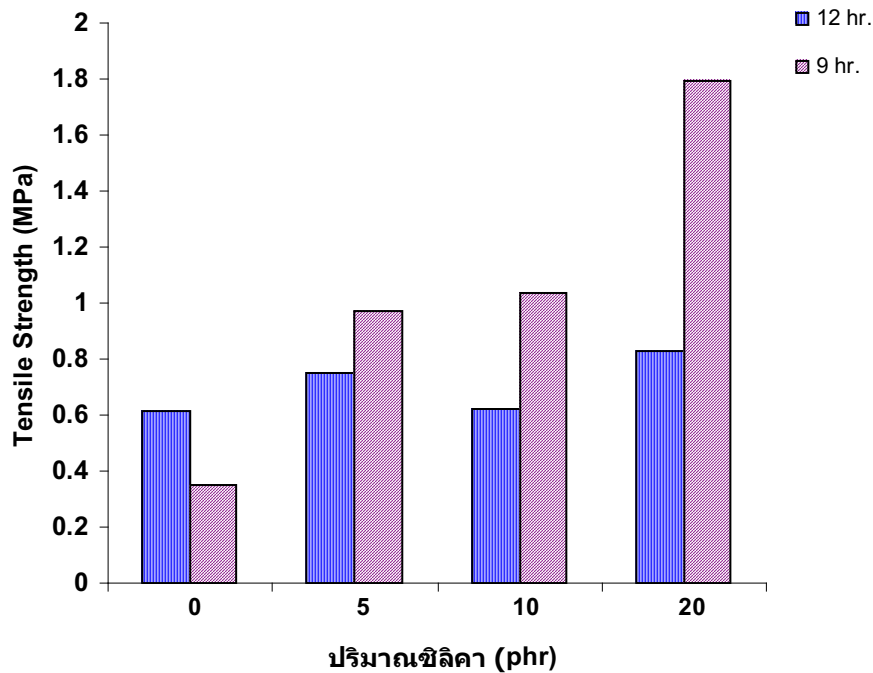
จากตารางที่ 4.25 จะเห็นว่าแผ่นยางคอมปาวด์ที่เตรียมจาก LNR ที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง มีค่า 100% และ 200%Modulus สูงกว่าแผ่นยางที่เตรียมจากยางเหลวที่ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง ทุกปริมาณของการใช้สารตัวเติม แต่สำหรับค่า 300%Modulus ของแผ่นยางที่เตรียมจากยางเหลวที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมงที่ไม่ใช้สารตัวเติม และใช้ซิลิกา 5 และ 10 phr ไม่สามารถวัดได้เพราะยางยึดได้ไม่ถึง 300%

ตารางที่ 4.26 ความทนแรงดึงของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น

โดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัมทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50-55°C

ปริมาณซิลิกา (phr)	ความทนแรงดึง (MPa)	
	ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง
0	0.62	0.35
5	0.75	0.97
10	0.62	1.04
20	0.83	1.79

จากตารางที่ 4.26 นำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงดึง และปริมาณซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางเหลวคอมปาวด์ได้ดังรูปที่ 4.22



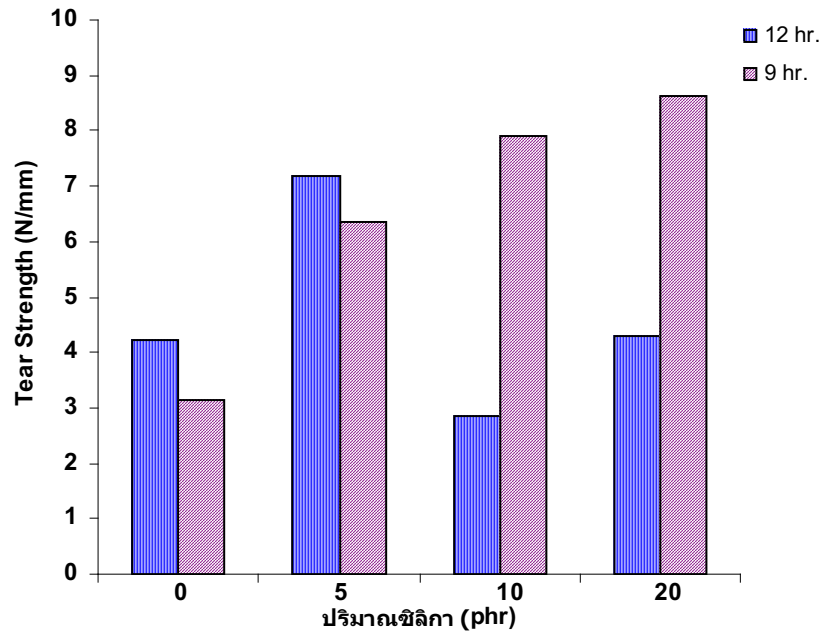
รูปที่ 4.22 ความทนแรงดึงของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นโดยใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50-55°C

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าความทนแรงดึงของแผ่นยางที่ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง ที่ไม่ใช่สารตัวเดิมมีค่าสูงกว่ายางที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้สารตัวเดิมแผ่นยางที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมงมีค่าความทนแรงดึงสูงกว่า โดยเฉพาะเมื่อใช้ซิลิกา 20 phr จะมีความทนแรงดึงสูงสุด

ตารางที่ 4.27 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นโดยใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50-55°C

ปริมาณซิลิกา (phr)	ความต้านทานการฉีกขาด (N/mm)	
	ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง
0	4.24	3.13
5	7.19	6.37
10	2.84	7.90
20	4.28	8.62

จากตารางที่ 4.27 นำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อการฉีกขาด และ ปริมาณซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเดิมในยางเหลวคอมปาวด์ได้ดังรูปที่ 4.23



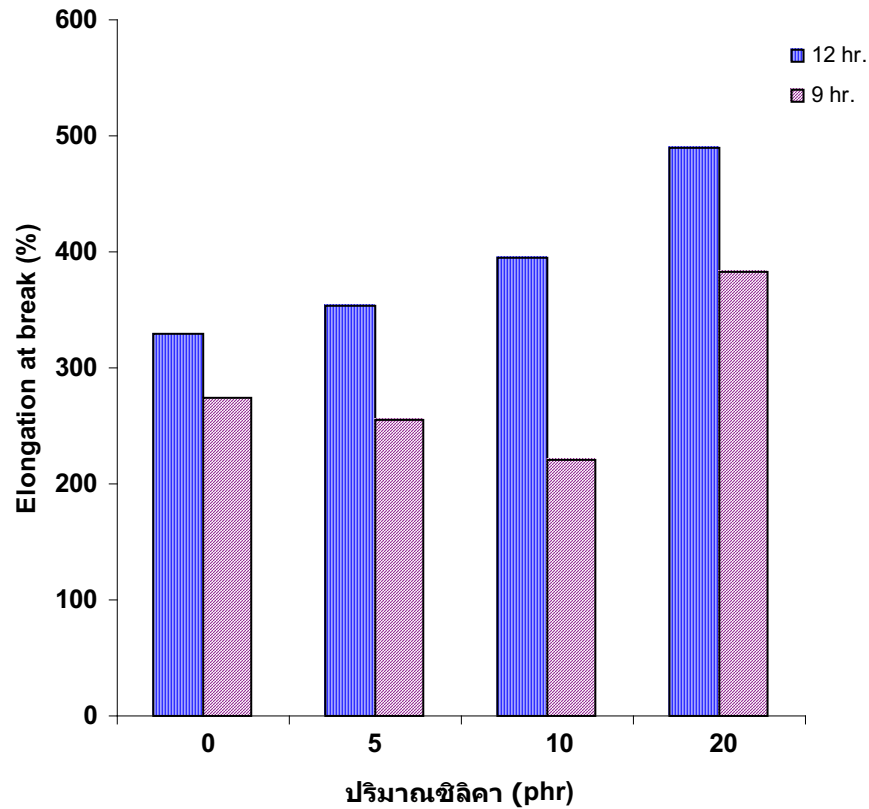
รูปที่ 4.23 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น โดยใช้ ฟีนิลไฮดราซีน 5 phr ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50-55°C

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางที่ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง ที่ไม่ใช้ สารตัวเติมและใช้ซิลิกา 5 phr มีค่าสูงกว่ายางที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้ซิลิกา 10 และ 20 phr แผ่นยางที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมงมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่า

ตารางที่ 4.28 ความสามารถยืดจนขาด ของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น โดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50-55°C

ปริมาณซิลิกา (phr)	Elongation at break (%)	
	ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง
0	330	275
5	353	255
10	395	220
20	490	383

จากตารางที่ 4.28 นำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยืดจนขาด และ ปริมาณซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางเหลวคอมปาวด์ได้ดังรูปที่ 4.24



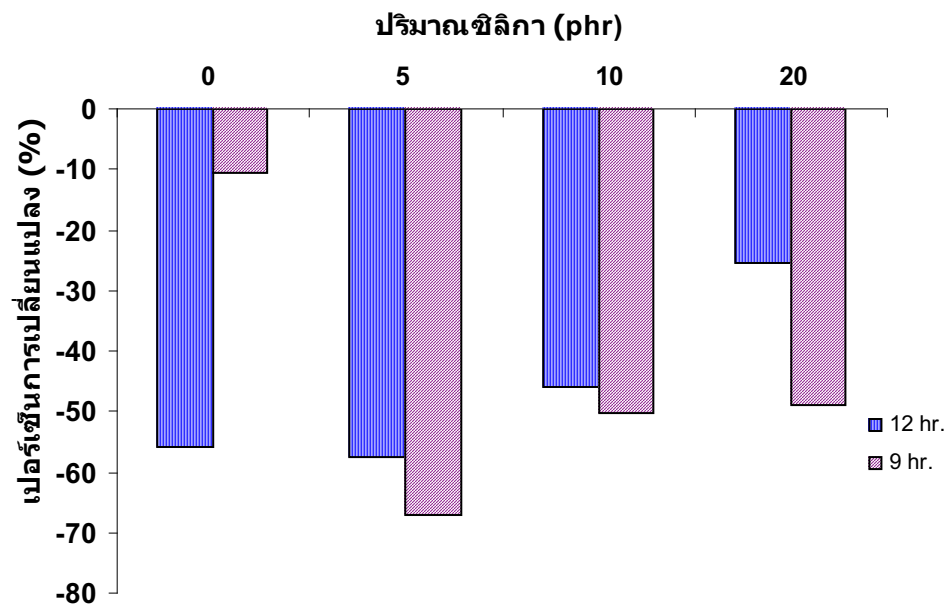
รูปที่ 4.24 Elongation at break ของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นโดยใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50-55°C

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าค่า Elongation at break ของแผ่นยางที่เตรียมจากยางเหลวที่ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่ายางที่ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.29 ความทนแรงดึงหลังการบ่มแรงด้วยความร้อนที่ 70°C เป็นเวลา 7 วัน ของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น โดยใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $50-55^{\circ}\text{C}$

ปริมาณ ซิลิกา (phr)	ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง			ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง		
	ความทนแรงดึง ก่อนบ่มแรง (MPa)	ความทนแรงดึง หลังบ่มแรง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยน แปลง	ความทนแรงดึง ก่อนบ่มแรง (MPa)	ความทนแรงดึง หลังบ่มแรง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยน แปลง
0	0.62	0.27	-55.77	0.35	0.31	-10.56
5	0.75	0.32	-57.56	0.97	0.32	-67.17
10	0.62	0.33	-46.13	1.04	0.52	-50.3
20	0.83	0.62	-25.38	1.79	0.92	-48.92

จากตารางที่ 4.29 นำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความทนแรงดึง และปริมาณซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางเหลวคอมปาวด์ได้ดังรูปที่ 4.25



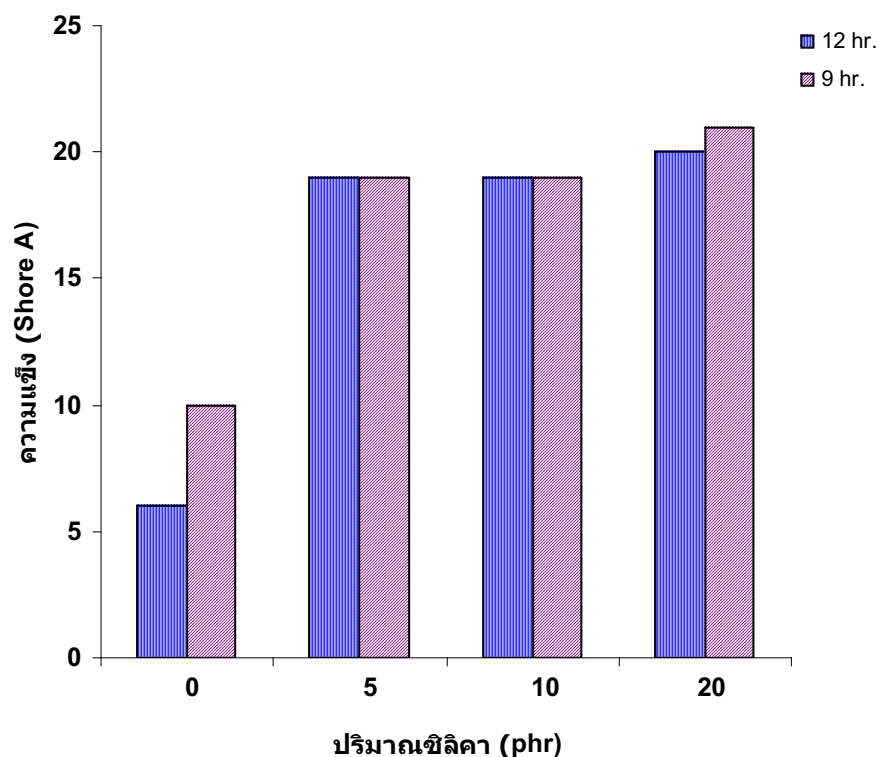
รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความทนแรงดึงของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น โดยใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม หลังการบ่มแรง

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นว่าค่าความทนแรงดึงของแผ่นยางทุกสูตรมีค่าลดลงหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70°C เป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 4.30 ความแข็งของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นโดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยางข้น 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $50-55^{\circ}\text{C}$

ปริมาณซิลิกา (phr)	ความแข็ง (Shore A)	
	ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง
0	6	10
5	19	19
10	19	19
20	20	21

จากตารางที่ 4.30 นำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง และปริมาณซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางเหลวคอมปาวด์ได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ความแข็งของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นโดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $50-55^{\circ}\text{C}$

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าค่าความแข็งของแผ่นยางที่ใช้สารตัวเติมทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่ายางที่ไม่ใช้สารตัวเติมมาก

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางเหลวพบว่า สมบัติยังไม่ดีขึ้นเท่าที่ควร อาจเนื่องมาจากการลดปริมาณ 10%ฟีนิลไฮดราซีนลงจาก 60 กรัม เป็น 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางเหลวเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ถ้าจะให้ยางมีคุณสมบัติที่ดีกว่านี้ควรเตรียมยางเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่านี้ แต่ไม่ควรสูงเกินไปเพราะจะทำให้ยางคอมปาวด์มีความหนืดเพิ่มมากขึ้นและไหลได้น้อยลง ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อได้

4.4 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางเหลวกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

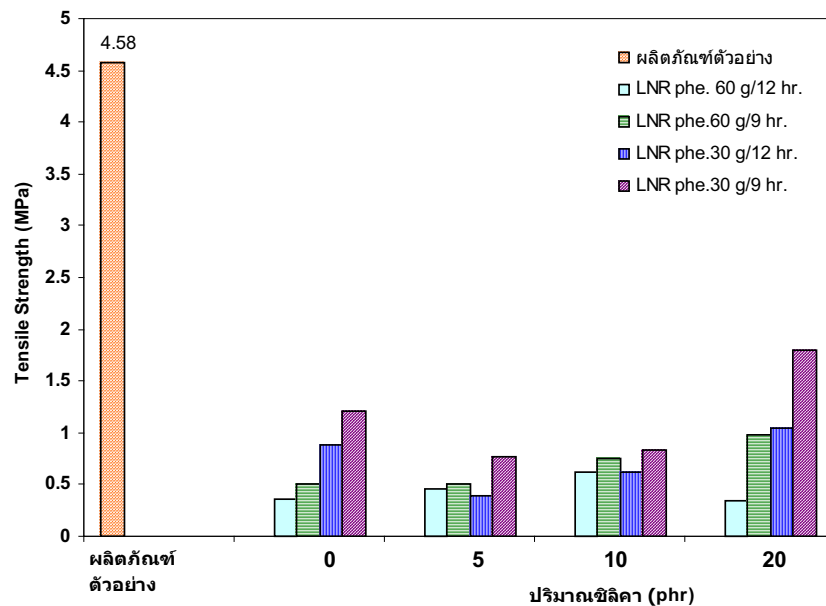
จากการนำผลิตภัณฑ์แขนเทียมที่ใช้ฟีกเย็นแผลและนียา ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ใช้กันในการค้ามาทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางที่เตรียมได้ สมบัติของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

สมบัติ	ค่า
300%Modulus (MPa)	1.65
ความทนแรงดึง (MPa) (ก่อนการบ่มเร่ง)	4.58
ความทนแรงดึง (MPa) (หลังการบ่มเร่ง)	1.95
Elongation at break (%)	274.50
ความต้านทานการฉีกขาด (N/mm)	33.67
ความแข็ง (Shore A)	48

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางเหลวที่เตรียมจากยางเหลว โดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง, ใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง, ใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง และใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง ที่ทำการคอมปาวด์โดยแปรปริมาณ

ซิลิกาเป็น 5, 10 และ 20 phr กับสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.28, 4.29, 4.30 และ 4.31

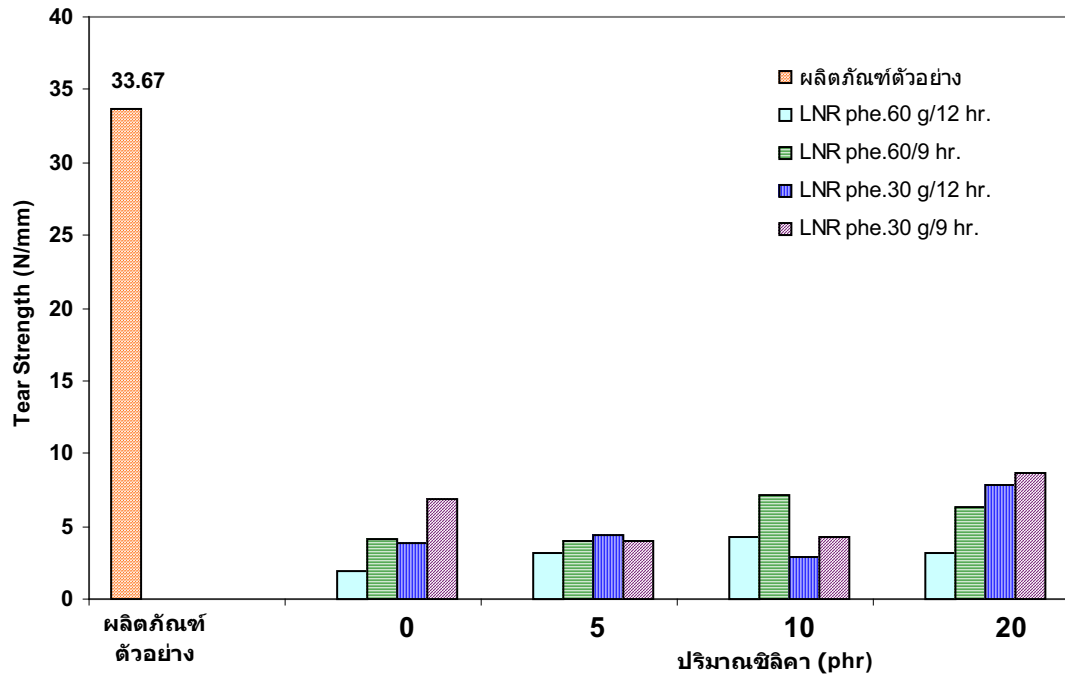


รูปที่ 4.27 สมบัติด้านความทนแรงดึงของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางชั้นหลังการวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

หมายเหตุ: LNR phe.60 g/12 hr คือ แผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางเหลว ที่ใช้ 10%ฟีนิลไฮโดรควิโนน 60 กรัม ต่อน้ำยางชั้น 100 กรัม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50-55°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่า สมบัติด้านความทนแรงดึงของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจาก LNR หลังการวัลคาไนซ์ มีค่าน้อยกว่าของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมาก

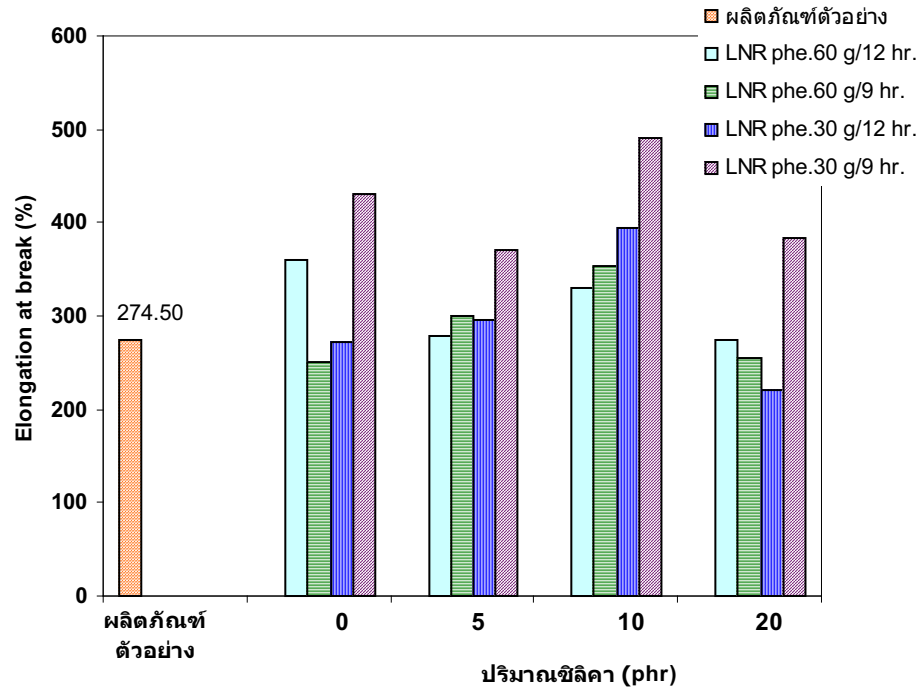
เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง จะได้ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 สมบัติด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมยางเหลวจาก น้ำยางข้น หลังการวัลคาไนซ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

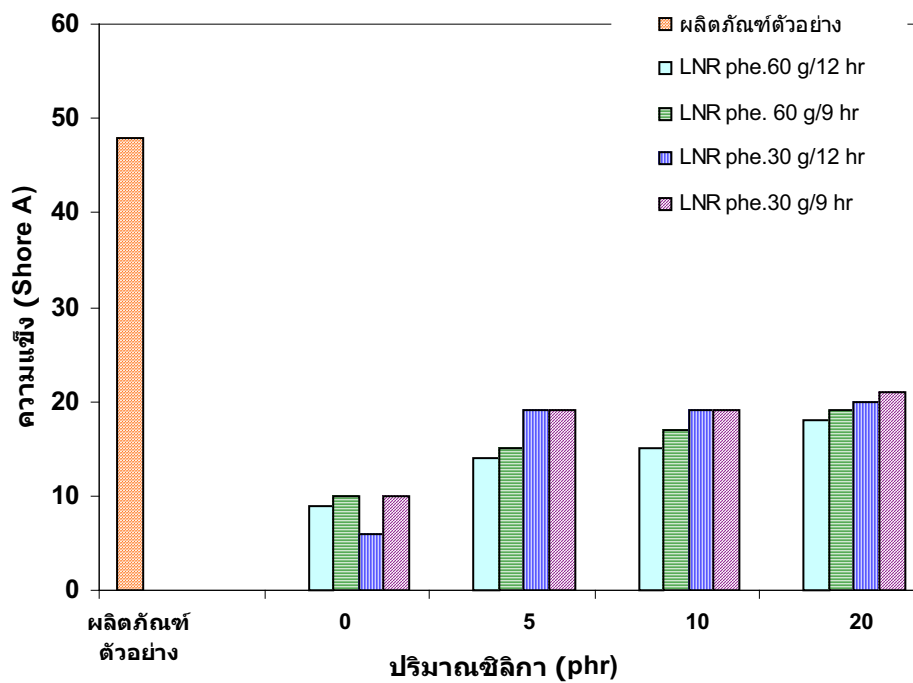
จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่า สมบัติด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางที่เตรียมจากยางเหลว หลังการวัลคาไนซ์ มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมาก

แต่ Elongation at break ของแผ่นยางที่เตรียมจากยางเหลวทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าผลิต ภัณฑ์ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 Elongation at break ของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมยางเหลวจากน้ำยางข้น หลังการวัลคาไนซ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ความแข็งของแผ่นยางเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.30 ความแข็งของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมยางเหลวจากน้ำยางข้น หลังการวัลคาไนซ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความทนแรงดึง, ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความแข็งแรงของแผ่นยางเหลวทุกสูตรกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างพบว่ามีค่าน้อยกว่ามาก แต่ Elongation at break มีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

4.5 การทำผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมจากยางเหลวคอมปาวด์โดยการหล่อจากแบบพิมพ์

การหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมจากยางเหลว จะใช้แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์รูปมือครึ่งซีกแบบมีแกน ซึ่งการหล่อขึ้นรูปผิวหนังเทียมหนึ่งครั้งจะเตรียมยางคอมปาวด์โดยนำยางเหลวที่ใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม มา 150 กรัม แล้วผสมกับสารเคมีและน้ำมันสปีนเดิลโดยใช้ใบพัดกวนด้วยความเร็ว 80 รอบต่อนาที โดยเลือกใช้สูตรที่ 4 ตามตารางที่ 3.4 ยางเหลวคอมปาวด์ 1 batchหนัก 343.68 กรัม หลังจากเทยางคอมปาวด์ลงไปจนเต็มแบบพิมพ์แล้ว นำแบบพิมพ์ไปอบที่อุณหภูมิ 50°C 6 ชั่วโมง และ 70°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เนื่องจากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงแต่มีความนิ่มสามารถใช้มีดกรีดได้ หรือใช้เข็มฉีดยาเจาะเข้าไปได้ ขณะเดียวกันก็ต้องการให้ยางคอมปาวด์เหลวสามารถไหลได้ด้วยเพื่อจะสามารถเทลงในช่องว่างของแบบพิมพ์ได้ จึงใช้สูตรดังกล่าวเพื่อทำผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมที่ได้จากการหล่อด้วยแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ หลังการวัลคาไนซ์แสดงดังรูป ที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมที่ได้จากการ

สมบัติทางกายภาพ

300%Modulus	1.729	MPa
Tensile Strength	1.794	MPa
Tear Strength	8.62	N/mm
Elongation @ break	383	%
Hardness (Shore A)	21	

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นว่าการทำผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมจากยางเหลวคอมปาวด์โดยการหล่ออย่างด้วยเบ้าปูนปาสเตอร์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวหนังนอกสวยงามดี แต่ด้านในมีฟองอากาศ เนื่องจากเบ้ามีช่องเทยางที่แคบ ทำให้ฟองอากาศไม่สามารถลอยออกมาได้จึงยังอยู่ด้านทำให้ผิวหนังในเกิดเป็นรูพรุน และเบ้าที่ใช้มีแกนที่เล็กเกินไป ทำให้ช่องว่างระหว่างมือกับแกนกว้าง เมื่อนำยางเหลวคอมปาวด์มาเทลงในเบ้าและนำไปวัลคาไนซ์ จึงได้ผิวหนังเทียมที่ค่อนข้างหนา นอกจากนั้นเบ้าที่ใช้เป็นมือซีกเดียว จึงหล่อขึ้นรูปผิวหนังเทียมได้เพียงซีกเดียวเท่านั้น คิดว่าควรมีการพัฒนาเบ้าใหม่ที่สามารถขึ้นรูปแบบเต็มมือได้ และควรมีแกนกลางที่มีช่องว่างระหว่างมือและแกนกลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เพื่อจะได้ผิวหนังเทียมที่ไม่หนามากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามการมีช่องว่างระหว่างเบ้าด้านนอกกับแกนเพียง 2-3 มิลลิเมตร จะทำให้การเทยางเหลวคอมปาวด์ซึ่งมีความหนืดค่อนข้างสูงเข้าไปทำได้ยาก จึงควรมีช่องที่ทำให้สามารถเทยางเหลวคอมปาวด์เข้าไปได้ง่าย และควรมีการใส่สารกำจัดฟองอากาศ หรือมีช่องให้ฟองอากาศลอยออกมาได้

4.6 การเตรียมและสมบัติของ น้ำยางธรรมชาติน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

จากการศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำยางข้น และน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ทำการลดน้ำหนักด้วย 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 phr ร่วมกับ 10 % โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr ทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.8 ได้ผลดังนี้

4.6.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลน้ำยางข้นโดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

จากการทดสอบสมบัติน้ำยางข้นก่อนการลดน้ำหนักโมเลกุลนั้น น้ำยางข้น มีDRC 60% มีTSC ประมาณ 62 % pH เท่ากับ 10.05 เมื่อทำการลดน้ำหนักโมเลกุล โดยใช้สารเคมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 phr ร่วมกับ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr แปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และหาน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ได้ตามหัวข้อที่ 3.3.3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ค่าน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ

เวลาทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักโมเลกุล($\overline{M_v}$)	
	ทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ ห้อง	ทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 50-55 °C
0	519,863	505,775
6	490,800	160,886
12	432,600	101,582
18	296,450	88,524
24	266,200	68,400

จากตารางที่ 4.32 พบว่าเมื่อเวลาทำปฏิกิริยา และ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถ ลดน้ำหนักโมเลกุล ของยางลงได้ โดยที่อุณหภูมิห้องนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมงพบว่าน้ำหนักโมเลกุลลดลงได้มากและมีแนวโน้มที่ลดลงไม่มากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นมากกว่า 18 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง น้ำหนักโมเลกุลมีลดลงได้มาก และเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 18 และ 24 ชั่วโมง น้ำหนักโมเลกุลสามารถลดลงได้อีกไม่มากนัก และพบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิเกิน 50-55 องศาเซลเซียส หรือ เวลามากกว่า 24 ชั่วโมงพบว่าน้ำยางจะเริ่มเสียสภาพ

ลักษณะของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เตรียมได้จะมีสีขาวขุ่นค่อนข้างเหลือง มีความหนืดที่เพิ่มขึ้น คือ ความหนืดประมาณ 50-60 cP และน้ำยางที่เตรียมได้มีความเป็นกรดคือ pH ประมาณ 4.5-5.7 ทั้งนี้ในการเตรียมน้ำยางแต่ละครั้งค่าความหนืดและค่า pH ของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ได้มีค่าไม่เท่ากัน ขึ้น

อยู่กับระยะเวลาทำปฏิกิริยาและ อุณหภูมิในการเตรียม เมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะเกิดการขาดของสายโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น

4.6.2 การเปลี่ยนแปลง ค่า pH และ ความหนืดของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ

จากการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลง ค่า pH และ ความหนืดของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง และน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมงนามาคอมปาวด์ โดยสูตรการคอมปาวด์ที่ 3 ในตารางที่ 3.8 และวิธีการเตรียมดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.9.1.2 ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ โดยการเก็บน้ำยางทั้งสองแบบไว้ที่อุณหภูมิห้อง และวัดค่า pH และ ความหนืดจนน้ำยางเสียสภาพ ได้ผลดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ค่า pH และความหนืดของ น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ ตามระยะเวลาการเก็บ

ระยะเวลาที่เก็บ ที่อุณหภูมิห้อง (วัน)		1	2	3	5	7
น้ำยางน้ำหนัก โมเลกุลต่ำ ปรับpH ด้วย 10%KOH (ก่อนปรับpH = 5)	ค่า pH	10.0	9.8	9.0	7.6	7.2
	ความหนืด (cP)	58	65	47	140	436
น้ำยางน้ำหนัก โมเลกุลต่ำ คอมปาวด์	ค่า pH	9.0	9.0	8.0	7.5	7.0
	ความหนืด (cP)	432	504	762	1006	2304

จากตารางที่ 4.33 พบว่าการเก็บรักษาน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อนและหลังคอมปาวด์ไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการกวนน้ำยางนั้นพบว่าค่า pH ของน้ำยางทั้งสองนั้นมีค่าลดลง และค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการรักษาน้ำยาง โดยค่า pH มีแนวโน้มที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ปรับ pH ด้วย 10%KOH เก็บรักษาไว้ได้ 5 วัน และน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ แนวโน้มของความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้น้ำยางเริ่มเสียสภาพภายใน 3 วัน คือน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อนและหลังคอมปาวด์จะเริ่มแยกตัวออกมาจากน้ำ แต่ยังคงสามารถวัดค่า pH และความหนืดได้อยู่

4.6.3 การผสมน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำกับสารเคมีและการวัลคาไนซ์

จากการคอมปาวด์น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เตรียมโดยใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 phr และ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr ที่เวลาทำปฏิกิริยา 18 ชั่วโมง และใช้สูตรคอมปาวด์ดังตารางที่ 3.7 และนำน้ำยางคอมปาวด์ที่บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วแบ่งมา 10 กรัม เพื่อทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ ด้วยคลอโรฟอร์มพบว่าน้ำยางคอมปาวด์มีระดับการวัลคาไนซ์ เป็น No.2 จากนั้นแบ่งน้ำยางคอมปาวด์เป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งทำการหล่อน้ำยางลงบนแผ่นกระจกเพื่อ หาเวลาการอบสุกคือเวลาที่แผ่นยางแห้งและคงรูปดี ส่วนที่เหลือทำการพรีวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 เวลาที่อบแผ่นยางสุกที่อุณหภูมิต่างๆ

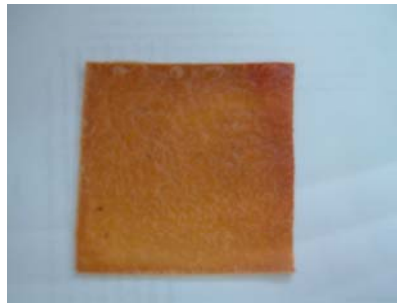
อุณหภูมิที่อบแผ่นยาง (°C)	ระยะเวลาที่อบ (ชั่วโมง)	
	น้ำยางไม่พรีวัลคาไนซ์	น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ 70 °C 1 ชั่วโมง
50	20	-
70	12	10.00
80	7	5.30
100	5	3.00

จากตารางที่ 4.34 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแผ่นยางเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปาวด์จะลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิยิ่งเพิ่มขึ้น การพรีวัลคาไนซ์น้ำยางคอมปาวด์ก่อนการอบนั้นช่วยลดเวลาในการวัลคาไนซ์ลงเนื่องจากการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางโดยการกวนตลอดเวลาที่ให้ความร้อนนั้นจะทำให้มีบางส่วนในน้ำยางคอมปาวด์ระเหยออกไปและโมเลกุลของยางบางส่วนเริ่มมีการเชื่อมโยงเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ลักษณะแผ่นยางที่อบได้ดังนี้

ลักษณะของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.32 แผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ 70 °C

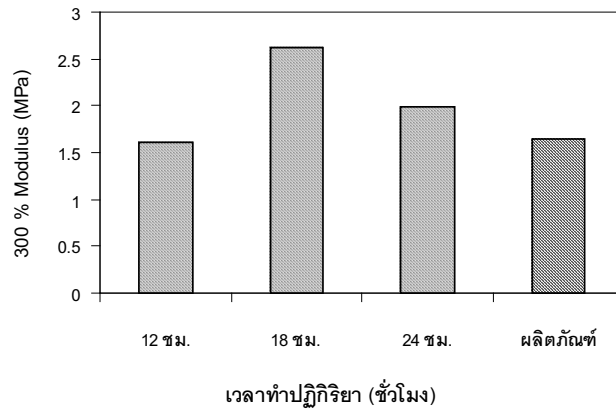


รูปที่ 4.33 แผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ 100 °C

จากการทดลองพบว่าลักษณะของแผ่นยางอบที่อุณหภูมิต่างๆพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่อบสูงลักษณะของแผ่นยางจะมีรอยแตกเกิดขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสนั้นแผ่นยางมีผิวไม่เรียบและแตก ส่วนอบที่ 100 องศาเซลเซียสนั้นจะเกิดรอยแตกอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้ เกิดจากน้ำยางคอมปาวด์มีปริมาณน้ำอยู่มาก เมื่ออบที่อุณหภูมิสูงยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากใช้สารตัวเร่งโซเดียมไทโอซัลเฟตร่วมด้วย ทำให้เกิดการแข็งเปราะ เกิดรอยแตกเกิดขึ้น แต่เมื่อทำการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางก่อนอบนั้นพบว่า รอยแตกที่เกิดขึ้นลดลง โดยการอบ ที่ 70 องศาเซลเซียสไม่มีรอยแตกเกิดขึ้น ที่ 80 องศาเซลเซียส มีรอยแตกเล็กน้อย ส่วนที่ 100 องศาเซลเซียสนั้นรอยแตกเล็กน้อยและลดลง เนื่องจากการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางโดยการกวนตลอดเวลาที่ให้ความร้อนจะทำให้มีน้ำบางส่วนในน้ำยางคอมปาวด์ระเหยออกไปและโมเลกุลของยางบางส่วนเริ่มมีการเชื่อมโยงเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

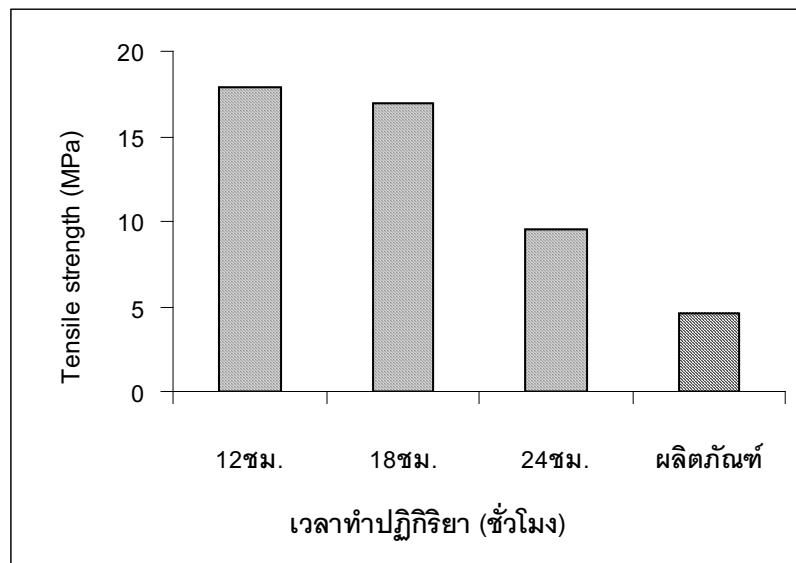
4.6.4 ผลของระยะเวลาการทำปฏิกิริยาดำน้ำหนักโมเลกุลน้ำยางต่อสมบัติการทนทานแรงดึงของแผ่นยางวัลคาไนซ์

เมื่อทำการคอมปาวด์น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เตรียมโดยใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 phr และ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr ที่เวลาทำปฏิกิริยา 12, 18 และ 24 ชั่วโมง และใช้สูตรคอมปาวด์ ดังตารางที่ 3.7 และนำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ทำการพรีวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการหล่อน้ำยางลงบนแผ่นกระจกอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติด้านการทนทานต่อการดึง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (รูปที่ 3.20) ได้ผลดังรูปที่ 4.34 และ 4.35



รูปที่ 4.34 300 % Modulus ของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากน้ำยางลดน้ำหนักโมเลกุลที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างๆเปรียบเทียบกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.34 พบว่า 300 % modulus ของแผ่นยางจากสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่เวลาทำปฏิกิริยาที่ 12 และ 24 ชั่วโมง นั้นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่าง โดยสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่เวลาทำปฏิกิริยาที่ 12 ชั่วโมงนั้นมีค่าต่ำสุดและใกล้เคียงกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด



รูปที่ 4.35 ความทนทานต่อแรงดึงขนาดของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากน้ำยางลดน้ำหนักโมเลกุลที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ เปรียบเทียบกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.35 พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นยางวัลคาไนซ์มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามน้ำหนักโมเลกุลที่ลดลงนั่นเองและพบว่าสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ นั้นมีค่าที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างอย่างมาก โดยสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่เวลาทำปฏิกิริยาที่ 24 ชั่วโมงนั้นมีค่าต่ำสุดและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด จึงน่าที่จะสามารถปรับปรุงสูตรโดยการแปรปริมาณสารเคมีต่างๆเพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างได้

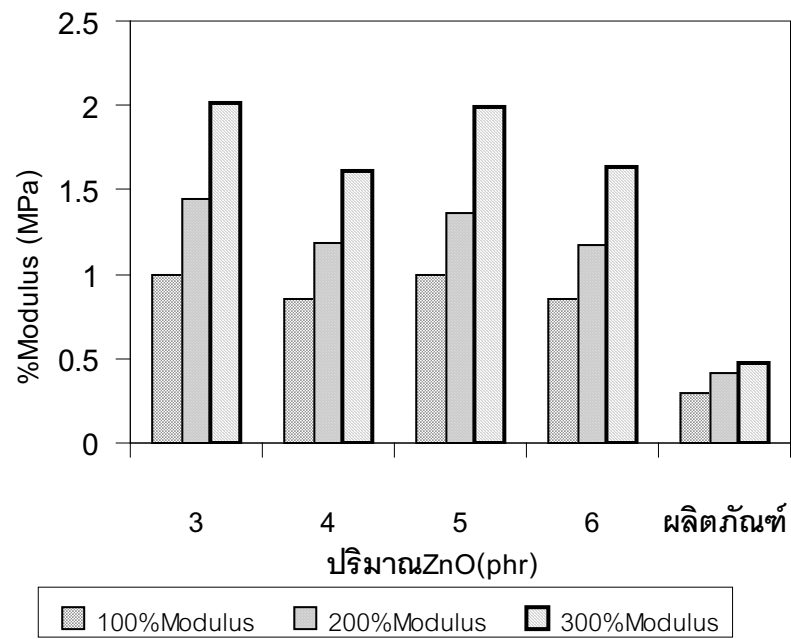
4.6.5 การออกสูตรน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และ สมบัติของยางวัลคาไนซ์

4.6.5.1 ผลของปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำเตรียมโดยใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 phr และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr ทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง เพราะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสุด และมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด นำมาผสมสารเคมี และ แปรปริมาณ ซิงค์ออกไซด์ ตามสูตรในตารางที่ 3.8 และนำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ทำการพรีวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการหล่อน้ำยางลงบนแผ่นกระจกอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ผลสมบัติทางกายภาพ ดังรูปที่ 4.36, 4.37 , 4.38, 4.39, 4.40 และ 4.42

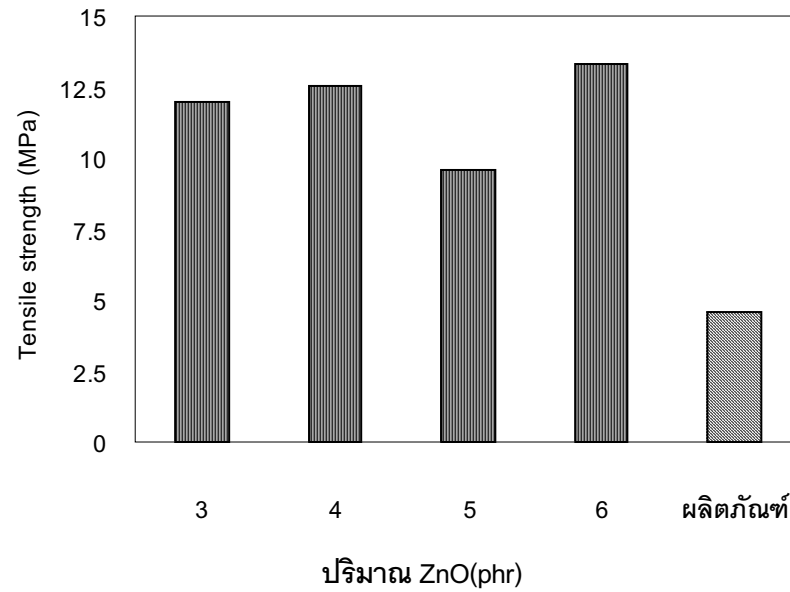
ตารางที่ 4.35 สมบัติด้านการทนต่อแรงดึงของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่างๆ

ปริมาณ ZnO (phr)	100% Modulus (MPa)	200% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	Stress at break (MPa)	% Elongation (%)
3	0.99	1.44	2.01	12.00	558
4	0.85	1.19	1.61	12.56	649
5	0.99	1.36	1.99	9.55	678
6	0.85	1.17	1.64	13.30	696



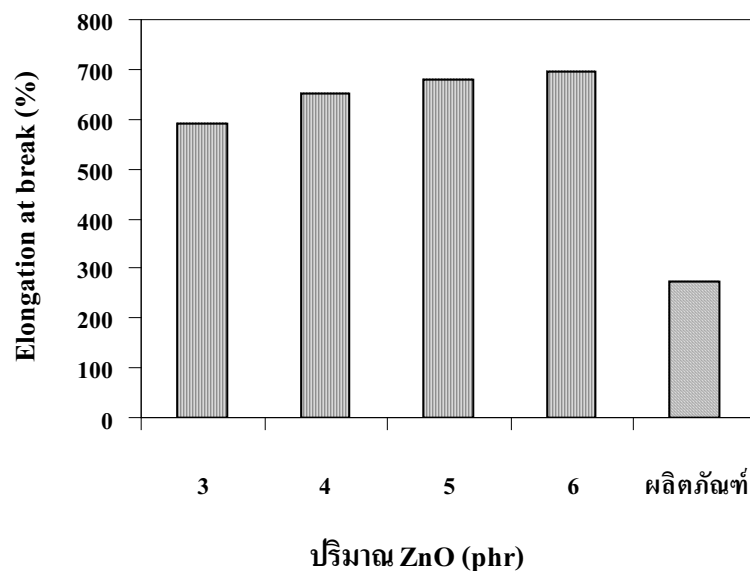
รูปที่ 4.36 % Modulus ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆ เปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 พบว่าปริมาณของซิงค์ออกไซด์มีผลต่อ % modulus ของยางวัลคาไนซ์น้อย โดย ยังมีค่า % modulus ที่สูงและแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างอยู่มาก และพบว่าการเข้ากันของสารเคมีกับน้ำยางในขั้นตอนของการคอมปาวด์มีผลต่อสมบัติของยาง การผสมน้ำยางกับสารเคมีจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ



รูปที่ 4.37 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจนขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.37 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ไม่ต่างกันมาก โดยมีค่าที่ยังคงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ซึ่งที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่ 5 phr นั้นมีค่าต่ำและแนวโน้มใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด



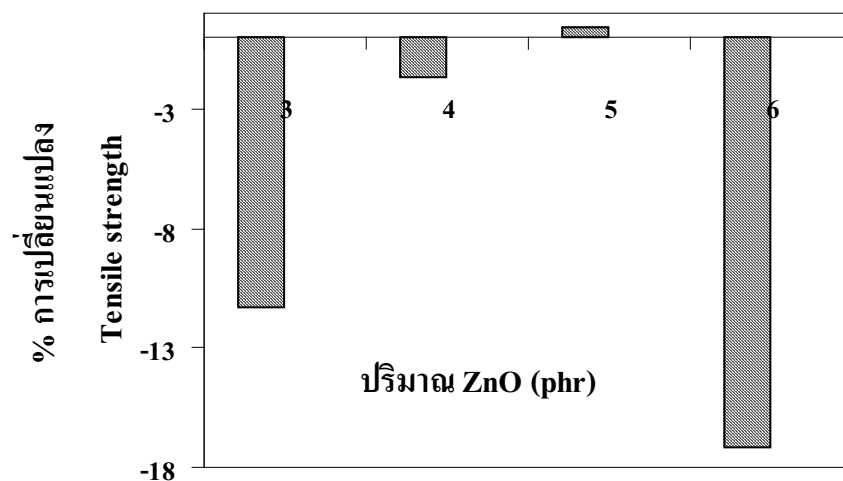
รูปที่ 4.38 Elongation at break ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.38 พบว่า Elongation at break ของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ต่างกันน้อย โดย มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิงค์ออกไซด์ และมีค่า Elongation at break ที่ยังคงสูงมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

เมื่อทดสอบสมบัติหลังการบ่มแรงของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรยางแปรปริมาณ ZnO ได้ผลดังตารางที่ 4.36 และ รูปที่ 4.39

ตารางที่ 4.36 Tensile strength ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆ หลังบ่มแรงที่ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณ ZnO (phr)	100% Modulus (MPa)	200% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	Stress at break (MPa)	Elongation at break (%)
3	1.18	1.84	2.60	10.78	567
4	1.00	1.60	2.26	12.35	580
5	0.22	1.67	2.49	16.60	513
6	-	-	-	11.35	583



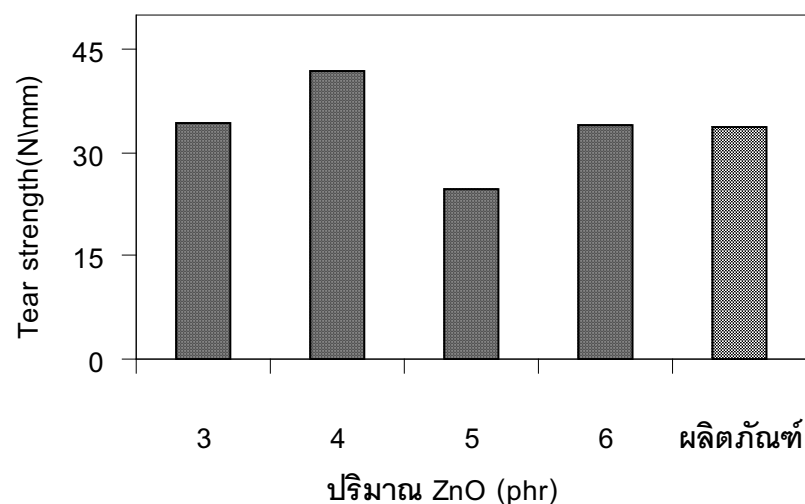
รูปที่ 4.39 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆ

จากตารางที่ 4.36 และรูปที่ 4.39 พบว่าเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึง ของ น้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ต่างกัน โดยพบว่าที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ ต่างๆ นั้นมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลง มากนักยังคงอยู่ในช่วงที่รับได้ ซึ่งที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ 5 phr มีค่า % การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงน้อยที่สุด และ มีค่าเป็นบวก ซึ่ง แสดงว่ามีความต้านทานต่อแรงดึงที่เพิ่มขึ้นหลังจากการบ่มเร่ง

เมื่อนำแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรน้ำยางคอมปาวด์ในตารางที่ 3.8 บทที่ 3 มาทดสอบสมบัติ ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความแข็งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.37 และ รูปที่ 4.40 และ 4.41

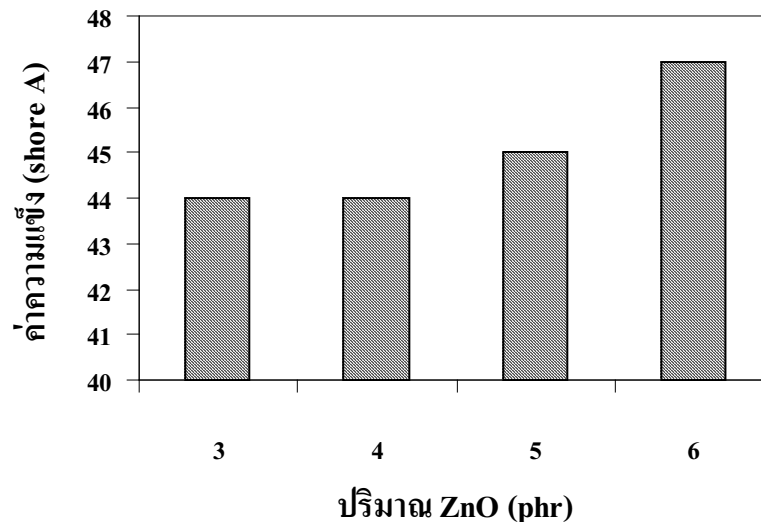
ตารางที่ 4.37 ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความแข็ง ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆ

ปริมาณ ZnO (phr)	Tear strength (N/mm)	ค่าความแข็ง (shore A))
3	34.22	44
4	41.78	44
5	24.81	45
6	33.90	47
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	33.67	48



รูปที่ 4.40 ความต้านทานต่อการฉีกขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆ เปรียบเทียบ กับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.37 และรูปที่ 4.40 พบว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยที่ปริมาณ 3 และ 6 phr นั้น ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด ซึ่งที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่ 5 phr นั้น มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำที่สุด



รูปที่ 4.41 ค่าความแข็ง (shore A) ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ ZnO ต่างๆ

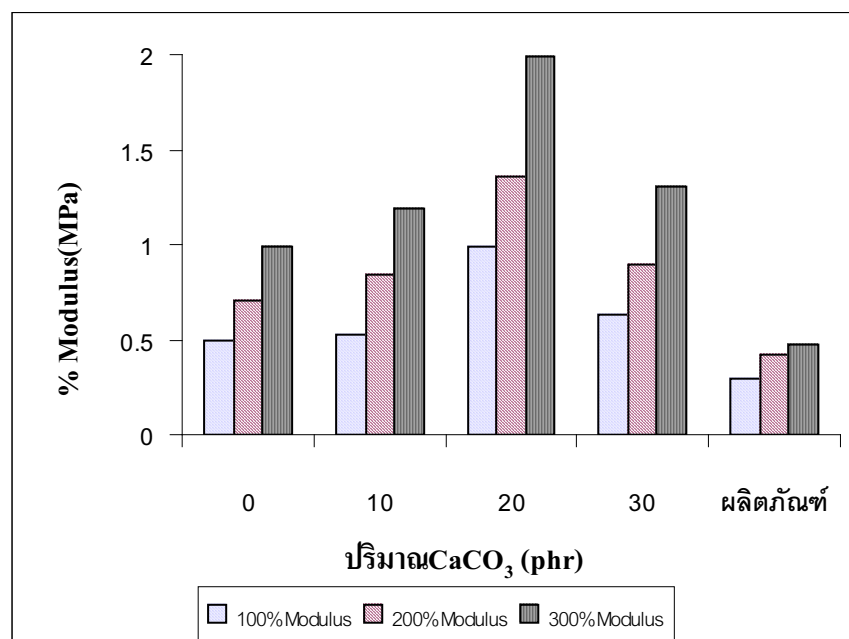
จากตารางที่ 4.37 และรูปที่ 4.41 พบว่าความแข็งของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิงค์ออกไซด์ ที่เพิ่มขึ้น และค่าความแข็งที่ไม่ต่างกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

4.6.5.2 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ใช้เตรียมโดยใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 phr และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr ที่เวลาทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง โดยเลือก สูตรที่ 3 ในตารางที่ 3.8 คือใช้ปริมาณ ZnO 5 phr เพราะมีสมบัติ Tensile strength และ Tear strength ที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมากที่สุด มาแปรปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (ดังตารางที่ 3.9)เนื่องจากสูตรแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์นั้นพบว่าสมบัติ % modulus ,Tensile strength และ Elongation at break นั้นยังคงแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างอยู่มาก ผลสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ แปรปริมาณแคลเซียม แสดงได้ดังนี้

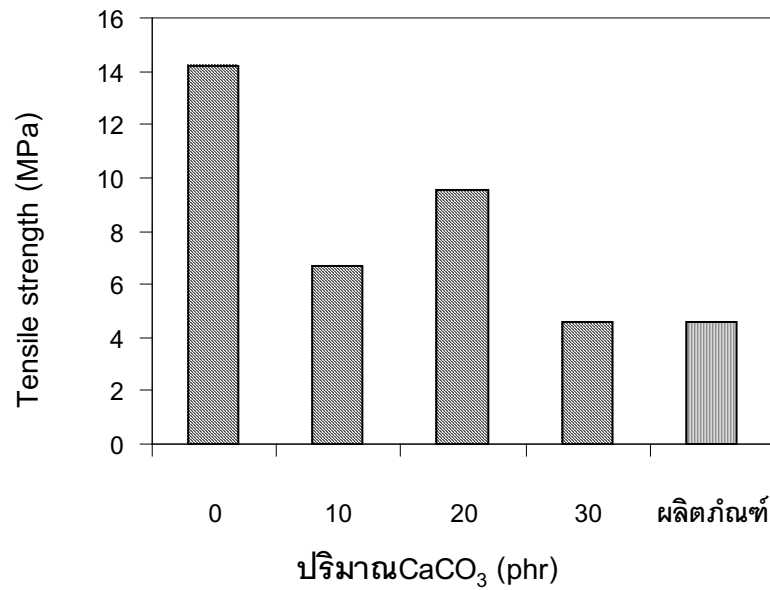
ตารางที่ 4.38 สมบัติด้านการทนต่อแรงดึงขนาดของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากน้ำยางสด น้ำหนักโมเลกุลที่ ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่างๆ

ปริมาณ CaCO ₃ (phr)	100% Modulus (MPa)	200% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	Stress at break(MPa)	Elongation at break (%)
0	0.49	0.71	0.99	14.19	860
10	0.53	0.84	1.19	6.707	706
20	0.99	1.36	1.99	9.55	679
30	0.63	0.90	1.31	4.57	620



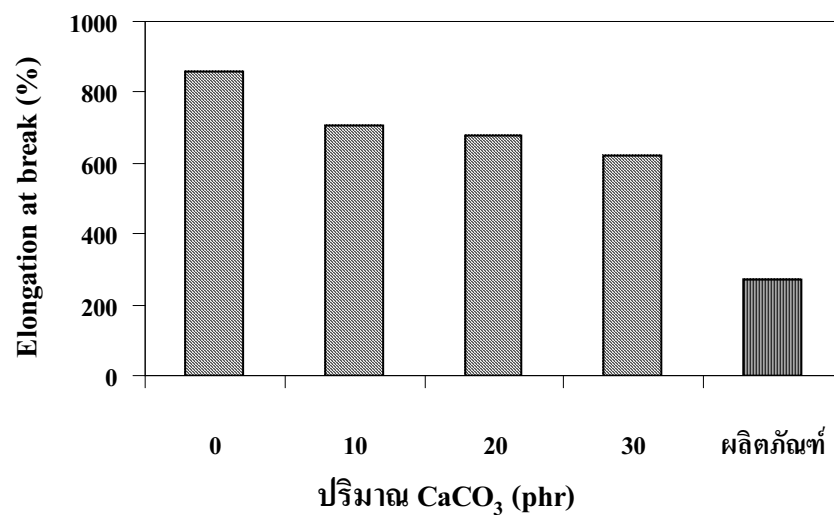
รูปที่ 4.42 % Modulus ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ แคลเซียมคาร์บอเนตต่างๆ
เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.38 และรูปที่ 4.42 พบว่าปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลต่อ % modulus ของน้ำยางคอมปาวด์ไม่มากนัก และมีค่า % modulus ที่สูงและแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง และพบว่าการเข้ากันของสารเคมีกับน้ำยางในขั้นตอนของการคอมปาวด์ได้ไม่ค่อยดีนัก เมื่อใช้ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตสูง



รูปที่ 4.43 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจนขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆเปรียบเทียบกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.38 และ รูปที่ 4.43 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตร มีแนวโน้มค่าลดลงตามปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 30 phr นั้นมีค่าต่ำและใกล้เคียงกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด



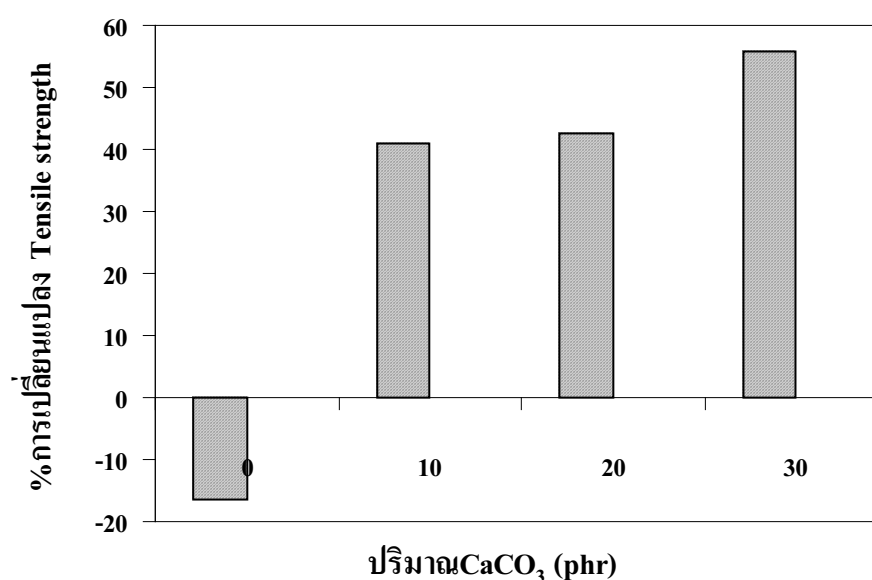
รูปที่ 4.44 Elongation at break ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆเปรียบเทียบกับผลึกภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.38 และรูปที่ 4.44 พบว่า Elongation at break ของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ไม่ต่างกัน โดยแนวโน้มมีค่าที่ลดลงตามปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ยังคงมีค่า Elongation at break ที่สูงมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ซึ่งที่แคลเซียมคาร์บอเนตที่ ปริมาณ 10, 20 และ 30 phr นั้นมีค่า Elongation at break ใกล้กันมาก

เมื่อทดสอบสมบัติหลังการบ่มแรงของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.39 และ รูปที่ 4.45

ตารางที่ 4.39 Tensile strength ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆ
หลัง บ่มแรงที่ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณ CaCO_3 (phr)	Stress at break (MPa)	Elongation at break (%)
0	12.2	603.0
10	11.4	496.2
20	16.6	513.2
30	10.3	436.2



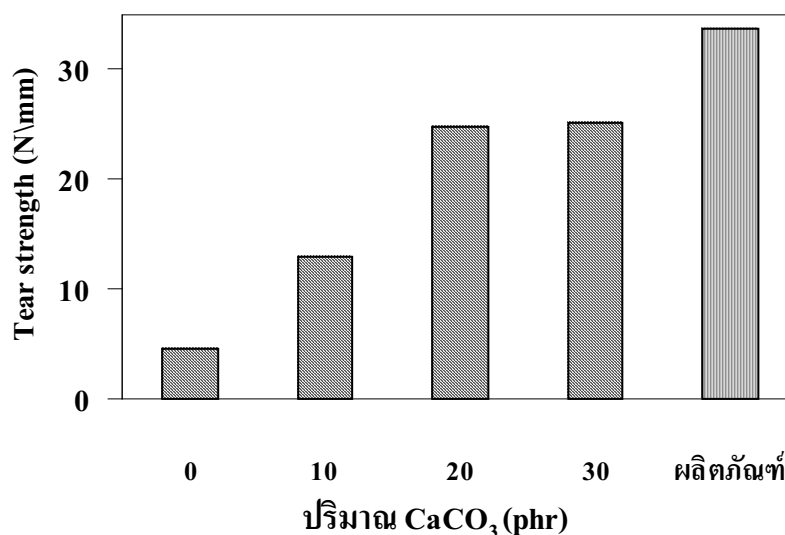
รูปที่ 4.45 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นยางวัลคาไนซ์
ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆ

จากตารางที่ 4.39 และรูปที่ 4.45 พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึง ของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ต่างกัน โดยพบว่าสูตรที่ไม่เติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึง ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักยังคงอยู่ในช่วงที่รับได้ ซึ่งที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 10 20 และ 30 phr มีค่า เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงมาก แต่มีค่าเป็นบวก ซึ่ง แสดงว่ามีความต้านทานต่อแรงดึงที่เพิ่มขึ้นหลังจากการบ่มเร่ง ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากสมบัติของยางธรรมชาติ หรือยางที่อบในตอนแรกเกิดการวัลคาไนซ์ที่ยังไม่สมบูรณ์

เมื่อนำแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรน้ำยางคอมปาวด์ในตารางที่ 3.9 มาทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดและความแข็ง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.40 และ รูปที่ 4.46 และ 4.47

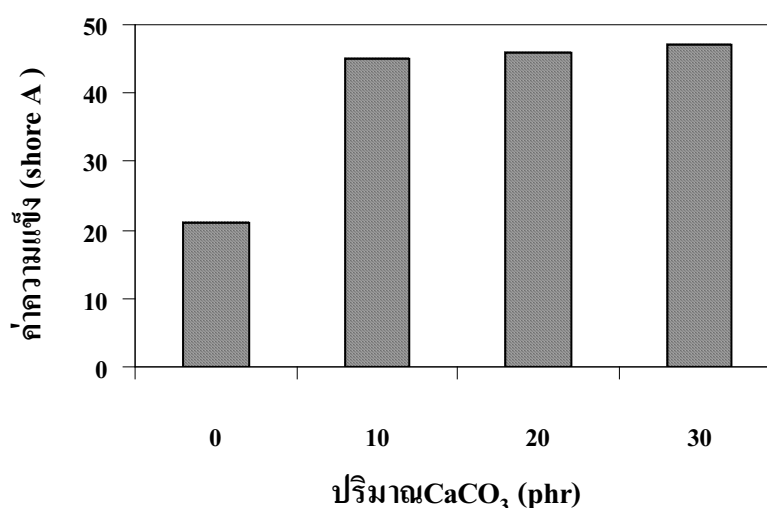
ตารางที่ 4.40 ความต้านทานต่อการฉีกขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆ

ปริมาณ CaCO_3 (phr)	ค่าTear strength (N/mm)	ค่าความแข็ง (shore A)
0	4.49	21
10	12.99	45
20	24.81	46
30	25.18	47
ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	33.67	48



รูปที่ 4.46 ความต้านทานต่อการฉีกขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.40 และรูปที่ 4.46 พบว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต โดยที่ปริมาณ 20 และ 30 phr นั้นค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด โดยที่ถ้าไม่มีการเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลง ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดจะต่ำและห่างกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมาก



รูปที่ 4.47 ค่าความแข็ง (shore A) ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณ CaCO_3 ต่างๆ

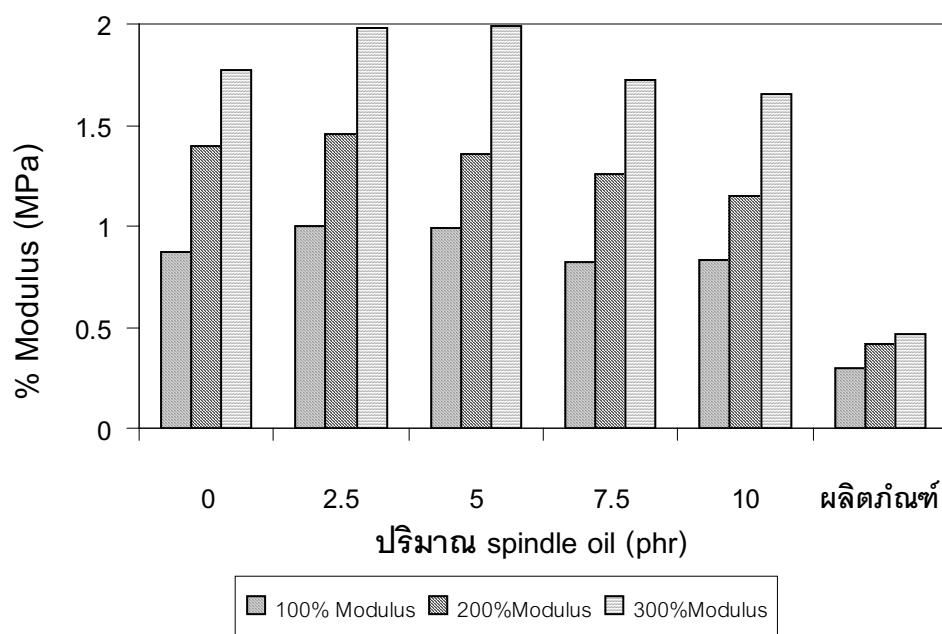
จากตารางที่ 4.40 และรูปที่ 4.47 พบว่าความแข็งของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรเมื่อเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ค่าความแข็งแต่ละสูตรไม่ต่างกันมาก

4.6.5.3 ผลของปริมาณน้ำมันสปีนเดิลต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์

น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำเตรียมโดยใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 phr ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr ที่เวลาทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง โดยเลือกสูตรที่ 3 ในตารางที่ 3.9 คือใช้ปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 20 phr เพราะมีสมบัติด้าน Tear strength และ ค่าความแข็งมีค่าที่ต่ำและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด มาแปรปริมาณน้ำมันสปีนเดิล (ดังตารางที่ 3.10) เนื่องจากสูตรแปรปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นพบว่าสมบัติ % modulus ,Tensile strength และ Elongation at break นั้นยังคงแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างอยู่ ผลสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ แปรปริมาณน้ำมันสปีนเดิล แสดงได้ดังนี้

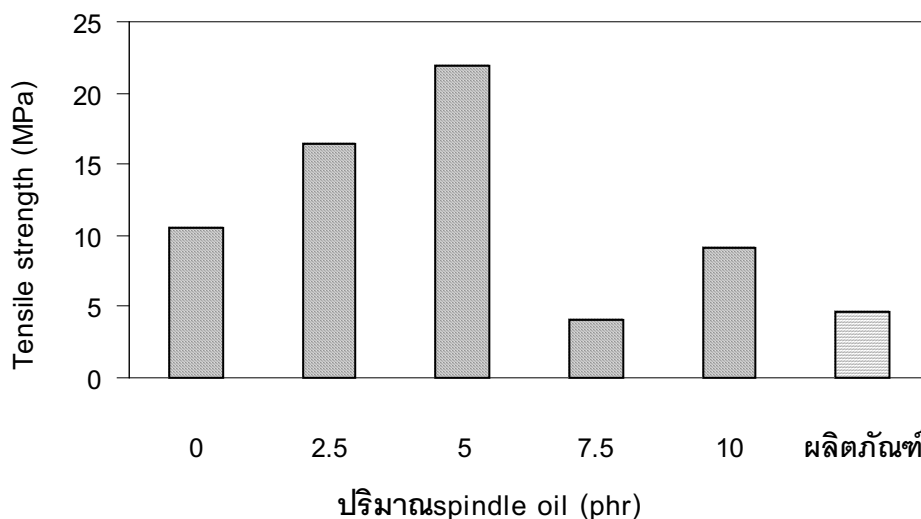
ตารางที่ 4. 41 สมบัติด้านการทนต่อแรงดึงขนาดของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากน้ำยางสด น้ำหนักโมเลกุลที่ ปริมาณน้ำมันสปีนเคิล ต่างๆ

ปริมาณ spindle oil (phr)	100% Modulus (MPa)	200% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	Stress at break (MPa)	%Elongation at break
0	0.87	1.40	1.77	10.48	608
2.5	1.00	1.46	1.98	16.48	669
5	0.99	1.36	1.99	21.96	679
7.5	0.82	1.26	1.72	4.03	434
10	0.83	1.15	1.65	9.19	425



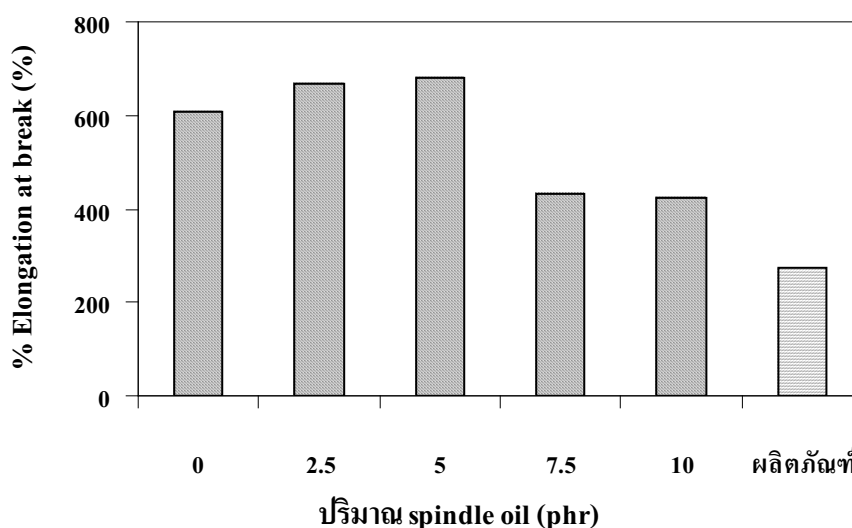
รูปที่ 4.48 % Modulus ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเคิลต่างๆ
เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.41 และรูปที่ 4.48 พบว่าปริมาณของน้ำมันสปีนเดิลมีผลต่อ % modulus ของน้ำยางคอมปาวด์ไม่มากนัก และ ค่า % modulus ที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและพบว่าการเข้ากันของสารเคมีกับน้ำยางในขั้นตอนของการคอมปาวด์ได้ไม่ดีนัก



รูปที่ 4.49 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล ต่างๆเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.41 และ รูปที่ 4.49 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำมันสปีนเดิล จนเมื่อปริมาณ 7.5 phr ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ซึ่งที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล 7.5 phr นั้นมีค่าต่ำสุดและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด



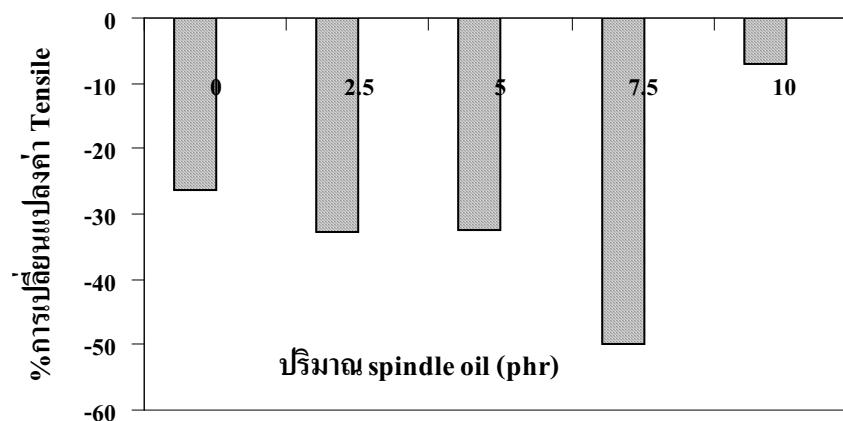
รูปที่ 4.50 Elongation at break ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ น้ำมันสปีนเดิล ต่างๆเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.41 และรูปที่ 4.50 พบว่า Elongation at break ของน้ำยางคอมปาวด์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล 0, 2.5 และ 5.0 phr นั้นมีค่าที่ไม่ต่างกันและมีค่าสูง แต่ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิลที่ 7.5 และ 10 phr นั้นมีค่า Elongation at break ที่ลดลงและแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ซึ่งการเติมน้ำมันลงไป ในสูตรน้ำยางนั้นเป็นการเพิ่มระยะห่างระหว่างโมเลกุลของยางและช่วยในการผสมสารเติมแต่งต่างๆ ทำให้ Elongation at break ลดลง

เมื่อทดสอบสมบัติหลังการบ่มแรงของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรยางที่ปริมาณ CaCO_3 ต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.42 และ รูปที่ 4.51

ตารางที่ 4.42 Tensile strength ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิลต่างๆ หลัง บ่มแรงที่ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณ Spindle oil (phr)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
0	8.30	415.6
2.5	12.41	485.1
5.0	16.60	513.2
7.5	2.69	272.9
10.0	8.59	498.1



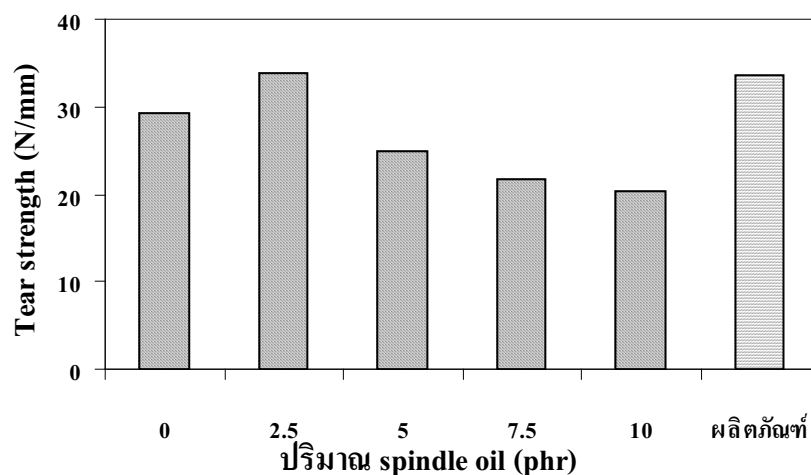
รูปที่ 4.51 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเคิลต่างๆ

จากตารางที่ 4.42 และรูปที่ 4.51 พบว่า เปอร์เซ็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึง ของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าที่ต่างกัน โดยพบว่าสูตรที่มีการเติมน้ำมันสปีนเคิลลงไป 7.5 phr นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงมากที่สุด และสูตรที่มีการเติมน้ำมันสปีนเคิลลงไป 0 2.5 และ 5.0 phr มีค่า เปอร์เซ็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงที่ไม่ต่างกันมาก แต่ก็มีเปลี่ยนแปลงที่มาก และสูตรที่มีการเติมน้ำมันสปีนเคิล 10 phr นั้นมี เปอร์เซ็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อแรงดึงน้อยที่สุดและอยู่ในช่วงที่ยังรับได้

เมื่อนำแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรน้ำยางคอมปาวด์ในตารางที่ 3.10 มาทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้ผลดัง ตารางที่ 4.43 และรูปที่ 4.52 และ 4.53

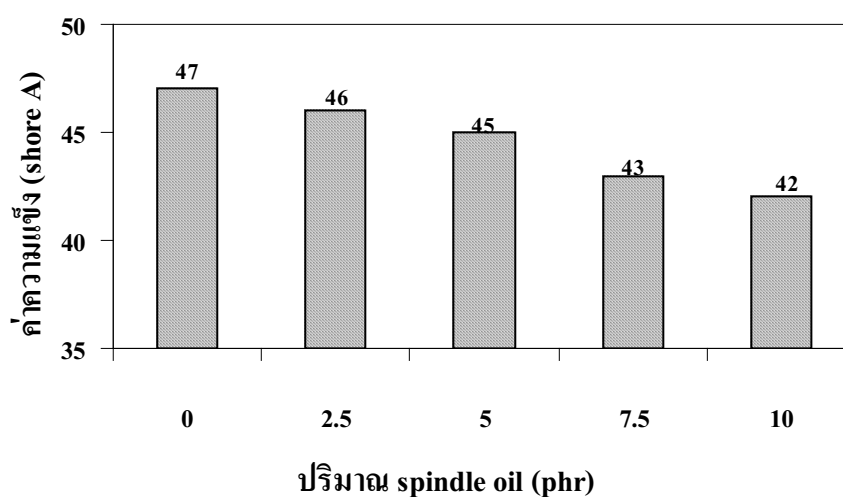
ตารางที่ 4.43 ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความแข็ง ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเคิลต่างๆ

ปริมาณspindle oil (phr)	ค่าTear strength (N/mm)	ค่าความแข็ง(shore A)
0	29.35	46
2.5	33.80	45
5.0	24.81	45
7.5	21.81	42
10	20.31	40
ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	33.67	48



รูปที่ 4.52 ความต้านทานต่อการฉีกขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล ต่างๆ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากตารางที่ 4.43 และรูปที่ 4.52 พบว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรมีค่าลดลงตามปริมาณของน้ำมันสปีนเดิล ซึ่งที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล 2.5 phr นั้นค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่สุด โดยที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล 5.0, 7.5 และ 10.0 phr ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดจะต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



รูปที่ 4.53 ค่าความแข็ง (shore A) ของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรน้ำยางคอมปาวด์แปรปริมาณน้ำมันสปีนเดิล

จากตารางที่ 4.43 และรูปที่ 4.53 พบว่าความแข็งของน้ำยางคอมปาวด์แต่ละสูตรเมื่อเติมน้ำมันสปีนเคิลลงไป ค่าความแข็งจะลดลงตามปริมาณของน้ำมันสปีนเคิล

จากการทดลองคอมปาวด์น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยการแปรปริมาณสารเคมีนั้นพบว่าสูตรน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่ 4 ในตารางที่ 3.10 ซึ่งสามารถสรุปสมบัติของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้ ดังนี้

สมบัติทางกายภาพของสูตรน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์สูตรที่ 4 ตารางที่ 3.10

สมบัติ	ค่า
300%Modulus (MPa)	1.72
ความทนแรงดึง (MPa)(ก่อนการบ่มเร่ง)	4.03
ความทนแรงดึง (MPa)(หลังการบ่มเร่ง)	2.69
Elongation at break (%)	434
ความต้านทานการฉีกขาด (N/mm)	21.81
ความแข็ง (Shore A)	42

4.6 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียม

จากสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ได้ของสูตรน้ำยางคอมปาวด์สูตรที่ 4 ในตารางที่ 3.10 นั้น จึงเลือกนำน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์สูตรนี้มาทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

4.6.1 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีการจุ่มน้ำยางแบบ Heat sensitive ระบบ Zinc ammine

จากสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมของแผ่นยางวัลคาไนซ์สูตรที่ 4 ในตารางที่ 3.10 จึงนำน้ำยางในสูตรนี้มาคอมปาวด์แล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมงแล้วทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผิวหนังมือเทียมดังวิธีการที่ 3.5.2.2 ได้ผลดังตารางที่ 4.44 และรูปที่ 4.54

ตารางที่ 4.44 ผลการขึ้นรูปด้วยการจุ่มน้ำยางแบบ Heat sensitive ระบบ Zinc ammine ต่อความหนาของยางที่ได้

สารเคมี		ลักษณะที่จุ่ม		ความหนา (mm)
ปริมาณ ZnO (phr)	ปริมาณ ammonium chloride (phr)	จำนวนครั้ง	เวลาจุ่ม (วินาที)	
10	15	1	60	0.10
12	15	1	60	0.16
15	15	1	60	0.15
18	15	1	60	0.18
18	18	1	60	0.15
20	18	1	60	0.25
		1	180	0.46
		2	180	0.82
20	20	1	60	0.26
25	20	1	60	0.24



รูปที่ 4.54 ผลลักษณะที่ได้จากการจุ่ม

จากตารางที่ 4.56 และรูปที่ 4.54 พบว่าเมื่อปริมาณของซิงค์ออกไซด์เพิ่มแนวโน้มของความหนาในการจุ่มก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณที่ 20 phr ความหนาเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและจะเกิดการตกตะกอนเมื่อปริมาณของซิงค์ออกไซด์เพิ่ม ปริมาณ แอมโมเนียมคลอไรด์ ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความหนาของชิ้นงานเช่น

กันโดยเมื่อปริมาณมากกว่า 18 phr ความหนาเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ระยะเวลาในการจุ่มและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาเพิ่มขึ้นด้วย โดยจากการทดลองนั้นที่ปริมาณซึ่งค้อออกไซด์ที่ 20 phr แอมโมเนียมคลอไรด์ 18 phr จำนวนครั้งในการจุ่มสองครั้งที่ระยะเวลา 180 วินาทีจะได้ความหนามากที่สุด ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของการชุบโดยวิธีของ Heat sensitive ขึ้นอยู่กับปัจจัยของ อุณหภูมิแบบชุบ, ระยะเวลาในการชุบ, ความเข้มข้นของน้ำยาง, ปริมาณสาร Heat sensitive ที่ใส่เข้าไปในน้ำยาง, pH ของน้ำยาง และ ปริมาณของ ZnO ในน้ำยาง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้มีสมบัติที่ไม่แข็งแรงคือเมื่อดึงด้วยมือแรงๆจะขาด

4.6.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีการหล่อด้วยเบ้าปูนพลาสติก

จากสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมของแผ่นยางวัลคาไนซ์สูตรที่ 4 ในตารางที่ 3.10 จึงนำน้ำยางในสูตรนี้มาคอมปาวด์แล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมงแล้วทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งวงดังวิธีการที่ 3.5.2.1 ได้ผลดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อด้วยเบ้าปูนพลาสติก

จากรูปที่ 4.55 เบ้าที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นเบ้าจุกยางที่มีขนาดเล็กกว่าเบ้าผิวหนังแขนเทียมจริงที่เตรียมไว้ เนื่องจากน้ำยางที่เตรียมได้เป็น batch เล็กๆ ที่ทำการทดลองหล่อและในสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่หล่อนั้นไม่มีการเติมสารตัวเร่ง โซเดียมไดโครเมต พบว่าสามารถหล่อเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างตามแบบเบ้าพิมพ์ได้ดี แต่เมื่อทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผิวหนังแขนเทียมจากเบ้าพิมพ์รูปมือและวิธีการตามหัวข้อที่ 3.5.2.1 นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะรูปร่างตามแบบของเบ้าแต่มีรอยแตกเกิดขึ้น เนื่องจากแบบเบ้าที่ไม่เหมาะสม และสูตรน้ำยางที่มีตัวเร่งโซเดียมไดโครเมต ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่เร็วเกินไป โดยน้ำที่ระเหยเกิดการระบายออกไปได้ยาก จึงควรทำการปรับปรุงเบ้าให้มีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้ดีกว่านี้ และ

เลือกตัวเร่งที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์น้ำยางคอมปาวด์ ซึ่งควรใช้ตัวเร่ง ZDEC เพียงตัวเดียวเพื่อไม่ให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่เร็วเกินไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยในการเตรียมยางเหลวจากยางแท่ง STR 5L, การเตรียมยางเหลวจากน้ำยางข้น, การเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำจากน้ำยางข้น การคอมปาวด์ การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมโดยวิธีการหล่อแบบพิมพ์ พบว่า

5.1.1 การเตรียมยางเหลวจากยางแท่ง STR 5L

5.1.1.1 ผลการศึกษาความหนืดของยางด้วยเครื่อง Mooney Viscometer และน้ำหนักโมเลกุลด้วย capillary viscometer

การเพิ่มเวลาในการบดยาง โดยใช้เครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง สามารถลดความหนืดของยางลงได้ถึง 4.31 เมื่อบด 60 นาที และน้ำหนักโมเลกุลลดลงเหลือประมาณ 96,000 โดยความหนืดของยางและน้ำหนักโมเลกุลจะลดลงอย่างมากในช่วง 10 นาทีแรกของการบด หลังจากนั้นจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การบดยางโดยใช้สารช่วยตัดสายโมเลกุลที่อุณหภูมิห้อง ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลงใกล้เคียงกับการไม่ใช้สารช่วยตัดสายโมเลกุล

5.1.1.2 ผลการศึกษาน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย capillary viscometer

การให้ความร้อนเพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการตัดสายโมเลกุลของยางสามารถเกิดได้ทั้งการทำลายสายโซ่และการเชื่อมโยง หรือการกลับมารวมกันใหม่ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางมีทั้งโอกาสที่จะลดลงและเพิ่มขึ้น การใช้ peptizer ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าต่ำกว่าไม่ใช้ ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของยางที่บดโดยใช้ Plast8 เมื่อผ่านการให้ความร้อนจึงมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับยางที่บดโดยไม่ใช้ peptizer และใช้ MBTS เป็นสารตัดสายโมเลกุล

5.1.1.3 ผลการศึกษาความหนืดของยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางแท่ง STR 5L

การคอมปาวด์ยางที่บดแล้วกับสารเติมแต่งยาง น้ำมัน และสารตัวเติม จนได้เป็นยางคอมปาวด์เหลว ที่มีความหนืดประมาณ 150,000-500,000 cP ไม่สามารถขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อได้ เพราะความหนืดสูงเกินไป ยางที่ผ่านการให้ความร้อนเมื่อนำมาคอมปาวด์มีความหนืดต่ำกว่ายางที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมาก แต่ยังจัดว่ามีความหนืดสูงอยู่ ไหลได้น้อยทำให้หล่อขึ้นรูปได้ยาก และหลังการนำไปวัลคาไนซ์ ยางคอมปาวด์นี้ไม่สุกเนื่องจากผสมกับน้ำมันในปริมาณมากเกินไป

5.1.2 การเตรียมน้ำยางเหลวจากน้ำยางข้น

5.1.2.1 ผลการศึกษาการเตรียมน้ำยางธรรมชาติเหลวจากน้ำยางข้น

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางข้น โดยใช้ฟีนิลไฮดราซีน ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลงได้มากกว่าการบดด้วยเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ได้ยางเหลวที่มีสีน้ำตาลไหม้ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 39,000-20,000 เมื่อใช้ ฟีนิลไฮดราซีน 5 และ 10 phr ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมง ปัจจัยที่มีผลต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางคือ ปริมาณฟีนิลไฮดราซีน ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ และเวลาใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

5.1.2.2 ผลการศึกษาความหนืดของยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้น

การคอมปาวด์ยางเหลวที่เตรียมจากน้ำยางข้นกับน้ำมัน สารเคมี และสารตัวเติม ได้ยางคอมปาวด์เหลว ที่มีความหนืดประมาณ 30,000-60,000 cP ยางคอมปาวด์เหลวทุกสูตรสามารถไหลได้ที่อุณหภูมิห้อง และสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อได้

5.1.2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางคอมปาวด์ที่เตรียมมารจากน้ำยางข้น

แผ่นยางคอมปาวด์ทุกสูตรที่เตรียมจากน้ำยางข้น โดยใช้ฟีนิลไฮดราซีน 5 phr และ 10 phr ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมง โดยแปรปริมาณซิลิกาเป็น 5, 10 และ 20 phr หลังการวัลคาไนซ์ มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันและค่อนข้างต่ำ การลดเวลาในการทำปฏิกิริยาและการลดปริมาณฟีนิลไฮดราซีนทำให้สมบัติของแผ่นยางดีขึ้น แต่ยังมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับยางทั่วไป

เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้อยู่ทางการค้า สมบัติด้านความทนแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางยังด้อยกว่ามาก แต่ Elongation at break ของแผ่นยางหลังการวัลคาไนซ์มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างหรือสูงกว่า และแผ่นยางจะมีความนุ่ม สามารถใช้เข็มฉีดยาเจาะ และใช้มีดกรีดได้ แต่มีผิวค่อนข้างเหนียวและดึงขาดง่าย

5.1.3 การเตรียมน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

5.1.3.1 สมบัติของน้ำยาง

- ค่า pH น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง % DRC 60 มีค่า 10.05
- น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่า pH 4.5-5.7 ความหนืด 50-60 cP และ % DRC 35
- น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมปาวด์มี ค่า pH 9.0 ความหนืดประมาณ 432 cP ระดับการวัลคาไนซ์ เมื่อต้มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมงเป็น No.2 เกิดการวัลคาไนซ์เล็กน้อย ยางรวมตัวเป็นก้อน และเหนียวเมื่อดึงจะขาดที่ความยาวสั้น

5.1.3.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของน้ำยางที่เตรียมโดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตในการลดน้ำหนักโมเลกุลน้ำยางข้น

น้ำหนักโมเลกุลลดลงตามเวลาทำปฏิกิริยา และ อุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นในการทำปฏิกิริยา ลดน้ำหนักโมเลกุล ของยาง

5.1.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลง ค่า pH และ ความหนืดของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำ ยาง น้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมเปาวด์ ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ

ค่า pH ของน้ำยางทั้งสองนั้นมีค่าลดลง และค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการรักษาน้ำยาง โดยน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ปรับpH ด้วย10%KOH และเมื่อเก็บไว้ 5 วัน และ ในน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมเปาวด์ รักษาไว้แค่ 3 วัน แนวโน้มของความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้น้ำยางเริ่มเสียสภาพ

5.1.3.4 ผลการคอมเปาวด์น้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางฟิสิกส์

เมื่ออุณหภูมิในการอบสูงแผ่นยางจะเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วแต่มีรอยแตกเกิดขึ้นบนแผ่นยาง การพรีวัลคาไนซ์น้ำยางก่อนช่วยลดการเกิดรอยแตกบนแผ่นยางได้ การพรีวัลคาไนซ์น้ำยางคอมเปาวด์แล้วอบที่ 70 องศาเซลเซียสได้แผ่นยางที่มีผิวเรียบที่สุด

5.1.3.5 สมบัติทางกายภาพของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมเปาวด์ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา ต่างๆ

จากกราฟเปรียบเทียบค่า tensile ของยางคอมเปาวด์ที่ลดน้ำหนักโมกุลที่เวลาต่างกันั้นพบว่ายางคอมเปาวด์ที่ลดน้ำหนัก 24 ชั่วโมงคอมเปาวด์ มีแนวโน้มที่มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

5.1.3.6 สมบัติทางกายภาพของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมเปาวด์แปรปริมาณซิงค์ออกไซด์

ผลการแปรปริมาณZnO พบว่าTear strength และ tensile strength แต่ละสูตร มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ที่ 5 phr มีค่าต่ำสุดและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่สุด %Modulus %Elongation แต่ละสูตรมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ต่างกับผลิตภัณฑ์จริง

5.1.3.7สมบัติทางกายภาพของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมเปาวด์แปรปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต

ผลการแปรปริมาณ CaCO_3 พบว่าเมื่อปริมาณเพิ่ม Tear strength ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น Tensile strength ลดลง ส่วน%Modulus มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และที่ปริมาณ 20 phr ให้สมบัติที่ใกล้เคียงผลิตภัณฑ์มากที่สุด

5.1.3.8 สมบัติทางกายภาพของน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำคอมเปาวด์แปรปริมาณน้ำมันสปีนเดิล

ผลการศึกษาปริมาณ spindle oil พบว่าเมื่อปริมาณเพิ่ม Tensile strength, %Elongation, Tear strength, ค่าความแข็งมีค่าลดลง %Modulus มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และที่ปริมาณ 7.5 phr มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มากที่สุด

สูตรที่เหมาะสมมากที่สุดในการเลือกทำผลิตภัณฑ์ผิวหนังแขนเทียม คือลดน้ำหนักโมเลกุล 24 ชั่วโมง คอมเปาต์โดยใช้ ZnO 5 phr, CaCO₃ 20 phr, Spindle oil 7.5 phr

5.1.3.9 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผิวหนังแขนเทียม

การหล่อผลิตภัณฑ์ด้วยเบ้าปูนพลาสติก และอบที่ 70°C ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดี แต่ควรมีการปรับปรุงลักษณะของแบบเบ้าให้มีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้ดี และสารตัวเร่งที่เหมาะสมเลือกใช้ ZDEC เพียงตัวเดียวในการวัลคาไนซ์

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธี Heat sensitive ระบบ zinc ammine ปริมาณ ZnO 20 phr แอมโมเนียมคลอไรด์ 18 phr จุ่ม 2 ครั้ง นาน 180 วินาทีให้ความหนามากที่สุด แต่ที่มีสมบัติทางกายภาพที่ไม่แข็งแรงเมื่อดึงด้วยมือแล้วขาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองแปรชนิดและปริมาณของ peptizer ที่ใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางแห้ง
2. ในการเตรียมน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ% DRC ไม่ควรต่ำกว่า 35
3. ในการคอมเปาต์น้ำยางสารเคมีต้องมีอนุภาคที่ละเอียดพอ
4. การอบยางคอมเปาต์ควรมีการพรีวัลคาไนซ์ก่อนหรือตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนเพื่อให้มีการวัลคาไนซ์บางส่วนก่อน
5. การขึ้นรูปด้วยวิธี Heat sensitive ระบบ zinc ammine สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยการปรับปริมาณ ZnO และสารตัวเติม

เอกสารอ้างอิง

1. R. Pautrat and J. Leveque, 1981. Preparation and Application of Liquid Natural Rubber, Proceedings of a symposium, UNIDO& IRRDB, May 14-15, Phuket, Thailand, p 207-211.
2. N. Radhakrishnan Nair, Sabu Thomas, N. M. Mathew, 1997. Liquid Natural Rubber as a Viscosity Modifier in Nitrile Rubber Processing, Polymer International, Volume 42, Issue 3, Date: March, Pages: 289-300.
3. Pranee Phinyocheep, Sayan Duangthong, 2000. Ultraviolet-curable liquid natural rubber, Journal of Applied Polymer Science, Volume 78, Issue 8, Date: 21 November, Pages: 1478-1485.
4. N. Radhakrishnan Nair, N. M. Mathew, Sabu Thomas, Prabha Chatterjee, M. A. Siddiqui, 1998. Physical and rheological characteristics of liquid natural rubber modified bitumen, Journal of Applied Polymer Science, Volume 68, Issue 1, Date: 4 April 1998, Pages: 53-61.
5. Ahmed Mounir, Nabila A. Darwish, Adel Shehata, 2004. Effect of maleic anhydride and liquid natural rubber as compatibilizers on the mechanical properties and impact resistance of the NR-NBR blend, Polymers for Advanced Technologies, Volume 15, Issue 4, Date: April 2004, Pages: 209-213.
6. W. Hofmann, 1994. Rubber Technology Handbook, Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati, p. 135.
7. W.J. Moorow, 1982. New Trends in Silicone liquid Elastomers. Paper 12, 119th ACS Meeting, Rubber-Div., June 2-5, 1981, Minneapolis, MN; KGK 35., p. 585.
8. ขวัญตา ฮาเส็ม. 2534. การผลิตและการศึกษาสมบัติของยางเหลวที่เตรียมจากยางแห้ง, วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
9. มะลิ อิทธิฤทธิ์กุล. 2534. การผลิตและการศึกษาสมบัติของยางเหลวที่เตรียมจากน้ำยาง, วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
10. สาวิตรี รุจิณพานิช. 2526. ยางเหลว, วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
11. เครือวัลย์ กัลยาศิริ. 2547. การพัฒนาวัสดุช่วยสอนทางการแพทย์จากน้ำยางธรรมชาติ, วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
12. Blackley, D.C. 1997. Polymer Latices Science and Technology Vol. 2 Type of Latices, 2nd ed., Chapman & Hall, London, 78-82.
13. Boccaccio, G. and Livonniere, H. 1991. Acta Chim., 100.

14. Brosse, J.C., Boccaccio, G. and Pautrat, R. 1981. Proceeding of a Symposium NNIDO & IRRDB May 14-15, Phuket, Thailand. p. 201-204.
15. D. Derouet, N. Radhakrishnan, J.-C. Brosse, G. Boccaccio. 1994. Phosphorus modification of epoxidized liquid natural rubber to improve flame resistance of vulcanized rubbers. John Wiley & Sons.
16. N. Radhakrishnan Nair, Sabu Thomas, N. M. Mathew. 1996. Liquid Natural Rubber as a Viscosity Modifier in Nitrile Rubber Processing. J Appl Polym Sci
17. Tanaka, et al. 1999. Production process of depolymerized natural rubber. United States Patent (5,856,600)
18. Zainul Abdin Maidunny. 1999. Photodegradation of Raw Natural Rubber under Controlled Condition. Journal of Rubber Research 4th Quarter 1999 Volume 2(4)
19. S.S. Solanky, R.P. Singh, D. Reyx and I. Campistron. 2000. Photo-Controlled Degradation of Natural Rubber *Hevea Brasiliensis* Latex. Journal of Rubber Research 2nd Quarter 2000 Volume 3(2).
20. Wonkam D., Ehabe E., Ngolemasango F., Nkouonkam B., de Livonnière H. 2000. Effect of epoxidised liquid natural rubber on nitrile/butadiene rubber based mixes. Plastics, Rubber and Composites. vol. 29(2000), no. 8, pp. 420-426(7).
21. จิตต์ลัดดา (ตั้งถักดี) ศักดาภิพาณิชย์. 2545. โครงสร้างการเตรียมยางธรรมชาติเหลวและยางธรรมชาติ น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่ฟังก์ชันที่แน่นอนโดยวิธีใหม่และการประยุกต์ใช้, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
22. U. Dileep, Shanti A. Avirah. 2002. Studies on carboxy-terminated liquid natural rubber in NBR. J Appl Polym Sci 2002 volume 84, p.261-267
23. Warunee KlinKlai, Seichi Kawahara, Tomonobu Mizumo, Masahiro Yoshisawa, Jitladda Tangpakdee Sakdapipanich, Yoshinobu Isono, Hiroyu Ohno. 2003. Depolymerization and ionic conductivity of enzymatically deproteinized natural rubber having epoxy group. European Polymer Journal 39(2003) p. 1707-1712.
24. โสภา อิศระ. 2545. การพัฒนาการผลิตยางธรรมชาติโดยเทคนิคการลดน้ำหนักโมเลกุล, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
25. J.Brandrub., E.H. Immergut, 1975. Polymer Handbook, New York.
26. A.D. Roberts. 1990. Natural Rubber Science and Technology, Oxford University Press, Oxford, p. 622.
27. M.P. Stevens. 1999. Polymer Chemistry an Introduction, Oxford University Press, Oxford, p. 37.

ภาคผนวก

สรุปผลดำเนินงานและผลที่ได้รับ

กิจกรรม		1	2	3	4	5	6
เตรียมแบบยางเหลว 1. เตรียมยางเหลวโดยบดยางและเติมสารย่อยยาง และให้ความร้อน และเตรียมยางเหลวจากน้ำยาง ทดสอบสมบัติ	แผนงาน	●	●				
	ปฏิบัติจริง	●	●	●	●		
2. สร้างถังกวน คอมปาวด์ยางเหลวกับสารเติมแต่งต่างๆ ทดสอบสมบัติยางวัลคาไนซ์	แผนงาน			●	●		
	ปฏิบัติจริง			●	●	●	
3. ออกแบบเบ้า สร้างแบบ ทดลองหล่อ ทดลองสมบัติใช้งานจริง	แผนงาน					●	●
	ปฏิบัติจริง					●	●
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง และ เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์	แผนงาน						●
	ปฏิบัติจริง						●

สรุปผลที่ได้รับ

ตาราง Output

ผลที่จะได้ (output)	
กิจกรรมที่เสนอในโครงการ	ผลสำเร็จ
ได้วิธีการเตรียมยางเหลวที่เหมาะสม	100%
ทราบผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติและได้สูตรที่เหมาะสม	100%
สามารถประยุกต์ใช้กับงานจริง	100%
สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป	100%



ผิวหนังแขนเทียมสื่อการสอนทางแพทย์จากยางธรรมชาติเหลว

Artificial arm skin for medical practice from liquid natural rubber

ชลดา เลวิส, ศุภรัตน์ หนูมา และ วิณิชลักษณ์ พัทบุรี

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Polymer Science Program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hadyai, Songkla

Chonlada.le@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การเตรียมยางเหลวจากยางแห้งใช้วิธีทางกลและวิธีทางความร้อน ร่วมกับการใช้สารเคมีช่วยตัดสายโมเลกุลของยาง พบว่าต้องใช้ใช้น้ำมันสปีนเดิลเพื่อช่วยให้ยางเหลวคอมปาวด์หล่อบนแผ่นกระจก การวัลคาไนซ์ยางใช้เวลานาน และยางยังคงมีลักษณะเหนียวเยิ้มไม่เหมาะต่อการทำผิวหนังเทียม การเตรียมยางเหลวจากน้ำยางธรรมชาติ ทำโดยการทำปฏิกิริยากับฟีนิลไฮดราซีนในระบบที่มีออกซิเจน แยกยางเหลวออกมา เมื่อใช้ 10% ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง ยางมีน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืด 39,900 และความหนืด 390,000 cP คอมปาวด์ยางเหลวที่ได้กับสารเติมแต่งยางในถังผสม ยางเหลวคอมปาวด์มีความหนืด 67,040 cP นำมาหล่อเป็นมือด้วยเบ้าปูนปลาสเตอร์ พบว่ายางหลังการวัลคาไนซ์มีความทนแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความแข็งต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง การเตรียมน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำโดยการนำน้ำยางข้นมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ที่อุณหภูมิ 50-55°C เมื่อนำน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดประมาณ 68,000 ผสมกับสารเติมแต่งยาง พบว่าสามารถออกสูตรยางให้ได้แผ่นยางวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานนำไปกรี๊ดและเย็บได้ รวมทั้งสามารถหล่อผลิตภัณฑ์ผิวหนังเทียมได้ด้วยเบ้าปูนปลาสเตอร์

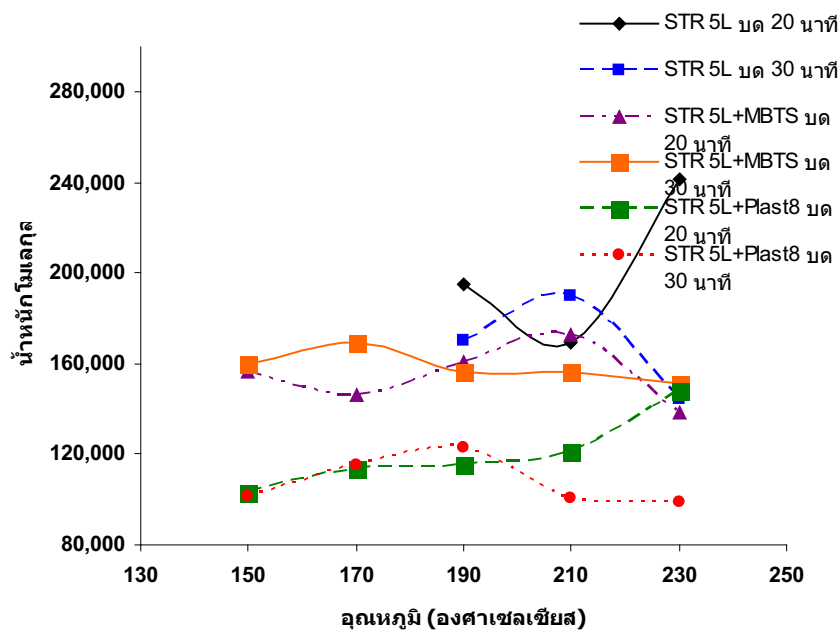
บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้วัสดุยางในการเตรียมอุปกรณ์สื่อการสอนทางการแพทย์ เช่น หุ่นคนหรือผู้ป่วย อวัยวะเทียมต่างๆ เพื่อใช้เป็นหุ่นในการฝึกหัดนักศึกษาแพทย์ พยาบาล เช่น การฝึกหัดฉีดยา การเย็บแผล การสวนปัสสาวะ และการปั๊มหัวใจ เป็นต้น ซึ่งวัสดุยางที่ใช้นี้มักจะเป็นยางซิลิโคนเหลวซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่มีความนิ่ม ไม่เหนียวจนเกินไป หล่อให้เป็นอวัยวะรูปร่างต่างๆได้ง่าย แต่เป็นวัสดุที่มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการนำยางธรรมชาติเหลวซึ่งมีราคาถูกและเป็นวัตถุดิบในประเทศ มาใช้ทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่น่าจะดีที่สุด ความพยายามที่จะนำยางธรรมชาติมาให้เป็นอวัยวะเทียมได้มีมาก่อนหน้านี้แล้ว สำหรับผิวหนังแขนเทียมที่ใช้เป็นสื่อการสอนฝึกหัดฉีดยาหรือเย็บแผล หรืออวัยวะเทียมสื่อการสอนได้มีการวิจัยมาบ้างแล้วแต่เป็นการเตรียมในรูปฟองน้ำ ซึ่งยังมีข้อด้อยในส่วนของผิวที่มีลักษณะและสมบัติแต่ยังไม่ใกล้เคียงกับผิวหนังจริง การฉีดยา การฝึกกรี๊ด การเย็บ อาจจะให้ความรู้สึกที่แตกต่าง งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำยางธรรมชาติเหลวมาใช้ประโยชน์เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สื่อการสอนทางการแพทย์

วิธีการทดลอง

ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุป

การเตรียมยางเหลวโดยการบดยางและให้ความร้อนพร้อมสารช่วยตัดโมเลกุลยาง สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลยางได้ดีดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อนำยางที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำสุดมาผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ และเพื่อวัดค่าไชนยางได้แม่นยำดังรูปที่ 2 ซึ่งยางที่ได้มีลักษณะไม่แข็งแรง หากใช้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นยางจะไหลได้ยากและต้องใช้น้ำมันช่วยให้ไหล ทำให้การแปรรูปยาก



รูปที่ 1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดของยาง STR 5L, STR 5L+MBTS, STR 5L+Plast8 บดที่เวลาต่าง ๆ และอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้เวลาในการอบ 10 นาที

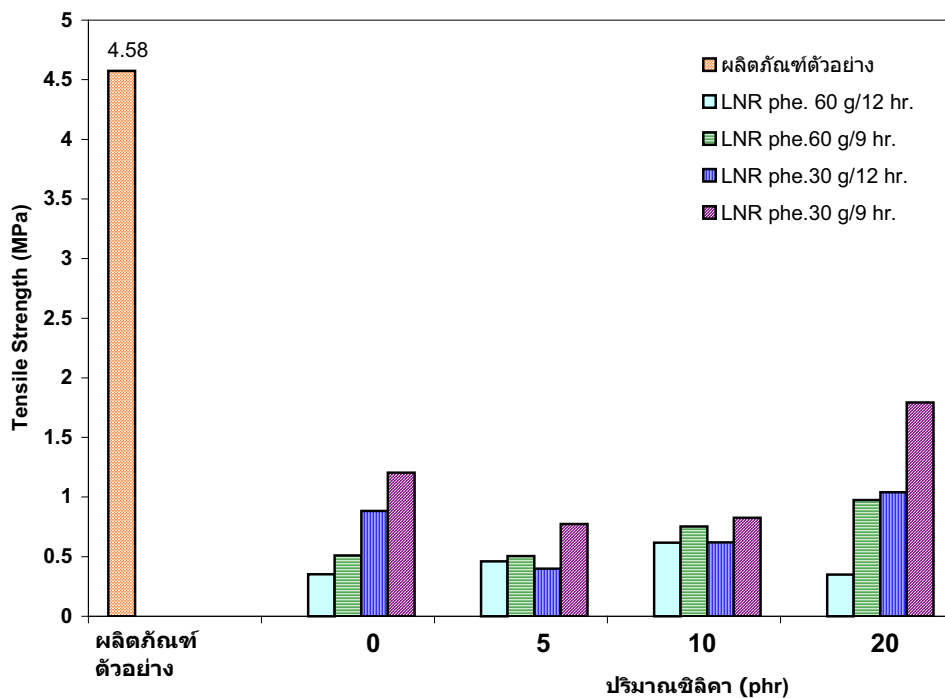


รูปที่ 2 ยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางแท่งโดยใช้น้ำมันสปีนเดิล 200 phr และสารตัวเติม 75 phr หลังจากอบที่ 100°C 48 ชั่วโมง

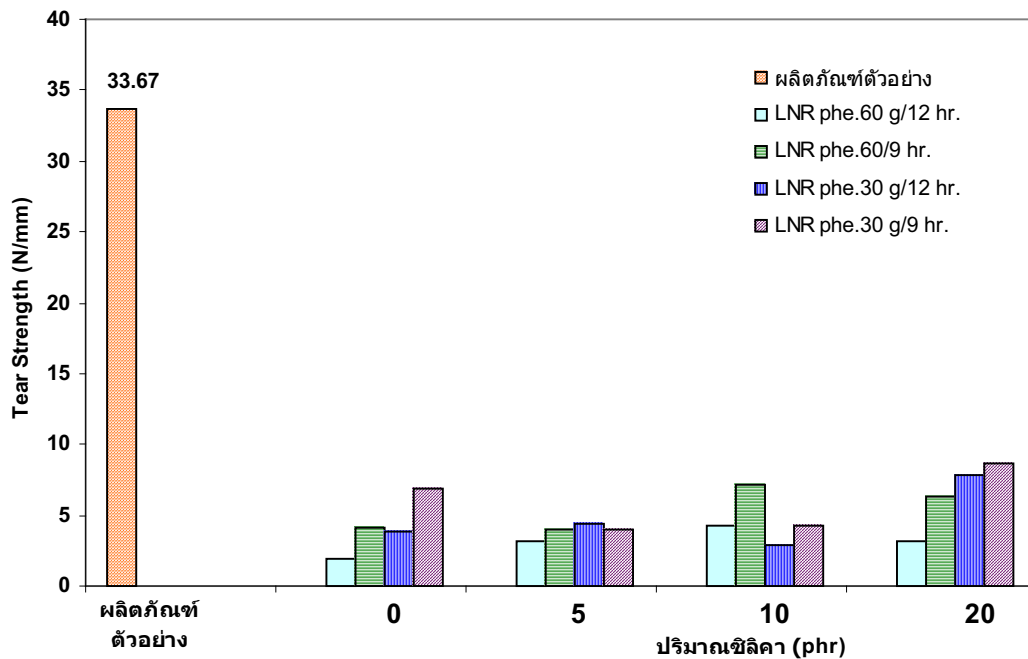
สำหรับการเตรียมยางเหลวจากน้ำยางข้น พบว่าน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยางเหลวขึ้นกับปริมาณฟีนิลไฮดราซีน และเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลดังตารางที่ 1 เมื่อนำยางเหลวมาผสมกับสารเติมแต่งคือ ZnO 5, Stearic acid 1, Vulkanox MB 1, Thiocarbamate 1, ZDBC 0.5, Sulphur 2.5, Silica 0-20, PEG 0.6 % ของ silica, Spindle oil 100 และ Ancoind 0.5 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยละ ได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทางการค้าที่ใช้ฝักรีด ฉีดยา และเย็บแผล ดังแสดงในรูปที่ 3-4 และรูปที่ 5 แสดงลักษณะผิวหนังแขนเทียมที่ได้จากการหล่อเบ้าปูนปลาสเตอร์ สมบัติของยางที่เตรียมได้ยังคงมีความแข็งแรงต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยางเหลวที่เตรียมจากน้ำยางข้น โดยใช้ 10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม และ 30 กรัม ต่อน้ำยาง 100 กรัม

ยางเหลว	10%ฟีนิลไฮดราซีน 60 กรัม		10%ฟีนิลไฮดราซีน 30 กรัม	
	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนืด (cP)	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนืด (cP)
ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	27,800	889×10^3	39,900	390×10^4
ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	20,700	671×10^3	35,400	155×10^4



รูปที่ 3 สมบัติด้านความทนแรงดึงของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางข้นหลังการ วัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



รูปที่ 4 ด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมยางเหลวจาก
น้ำยางข้น หลังการวัลคาไนซ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



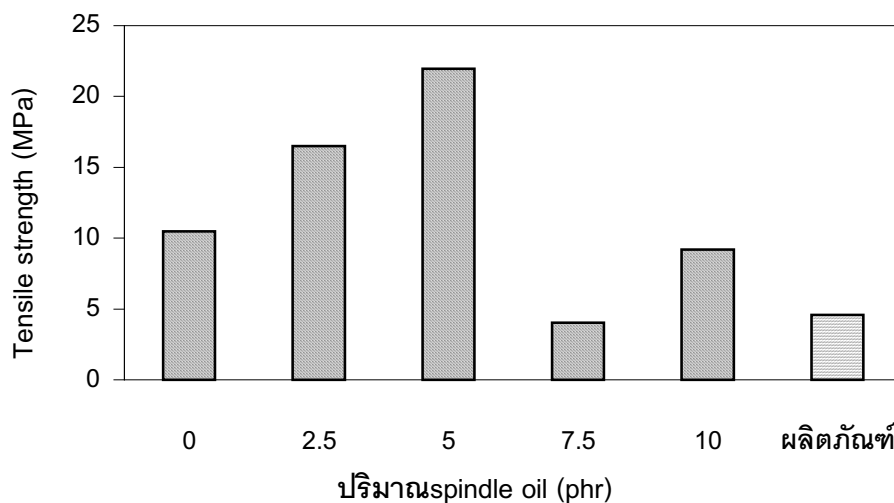
รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ผิวหนังแขนเทียมที่ได้จากการหล่อเบ้า

เมื่อเตรียมน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต น้ำหนักโมเลกุลของยางที่ได้ ขึ้นกับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาดังตารางที่ 2 เมื่อนำน้ำยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง 100 ส่วนผสมกับสารเติมแต่ง 50% Sulphur 1.5, 50% ZDEC 1.0, โซเดียมไฮโอซัลเฟต 1.0, 50% ZnO 5, 50% Vulkanok BKF 1, 50% CaCO_3 20 และแปรปริมาณ 50% spindle oil ได้ผลดังรูปที่ 6-9 จะเห็นได้ว่ายางที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง สามารถกรีด และเย็บได้ดีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเนื่องจากใช้ยาง

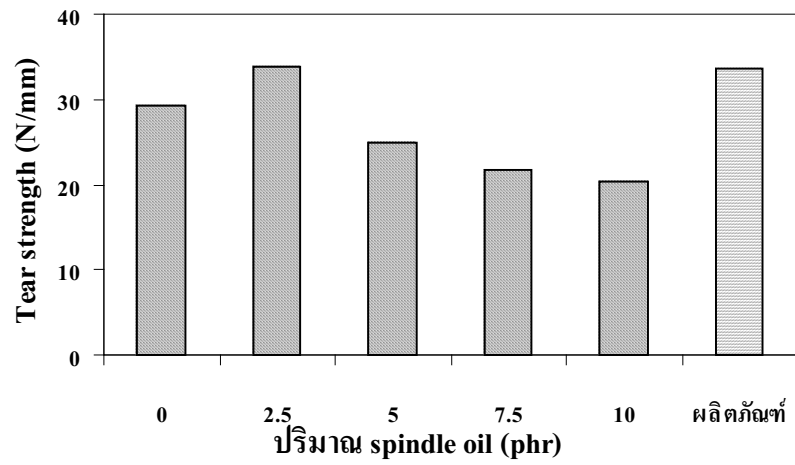
จากการลดน้ำหนักโมเลกุลที่พอเหมาะ และการแปรรูปทำได้ไม่ยาก สามารถหล่อเป็นรูปพลาสติกได้ง่ายเพราะอยู่ในรูปน้ำยาง การเตรียมโดยวิธีนี้จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อเพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ตารางที่ 2 น้ำหนักโมเลกุลของยางจากน้ำยางที่ลดน้ำหนักโมเลกุลระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส

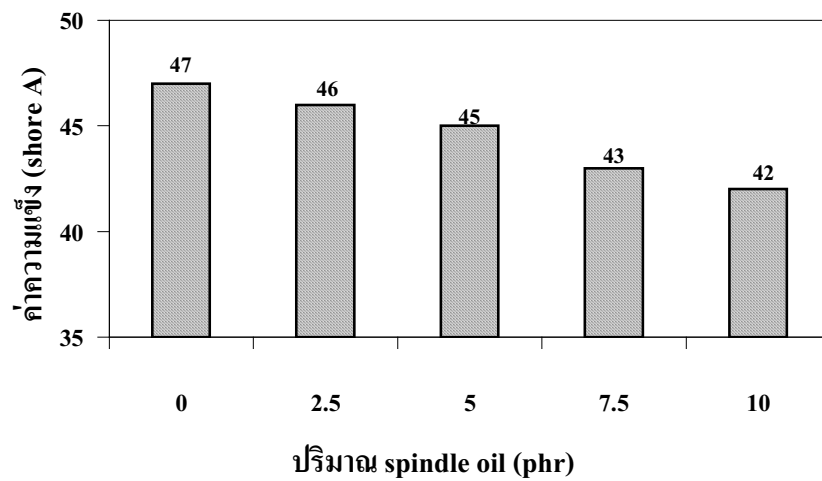
เวลาทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักโมเลกุล(\overline{M}_v)	
	ทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ ห้อง	ทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 50-55 °C
0	519,863	505,775
6	490,800	160,886
12	432,600	101,582
18	296,450	88,524
24	266,200	68,400



รูปที่ 6 ความต้านทานต่อแรงดึง ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล ต่าง ๆเปรียบเทียบกับผลิตกัณฑ์ตัวอย่าง



รูปที่ 7 ความต้านทานต่อการฉีกขาด ของแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณน้ำมันสปีนเดิล ต่าง ๆเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ตัวอย่าง



รูปที่ 8 ความแข็งของแผ่นยางวัลคาไนซ์เตรียมจากสูตรน้ำยางคอมปาวด์แปรปริมาณน้ำมันสปีนเดิล



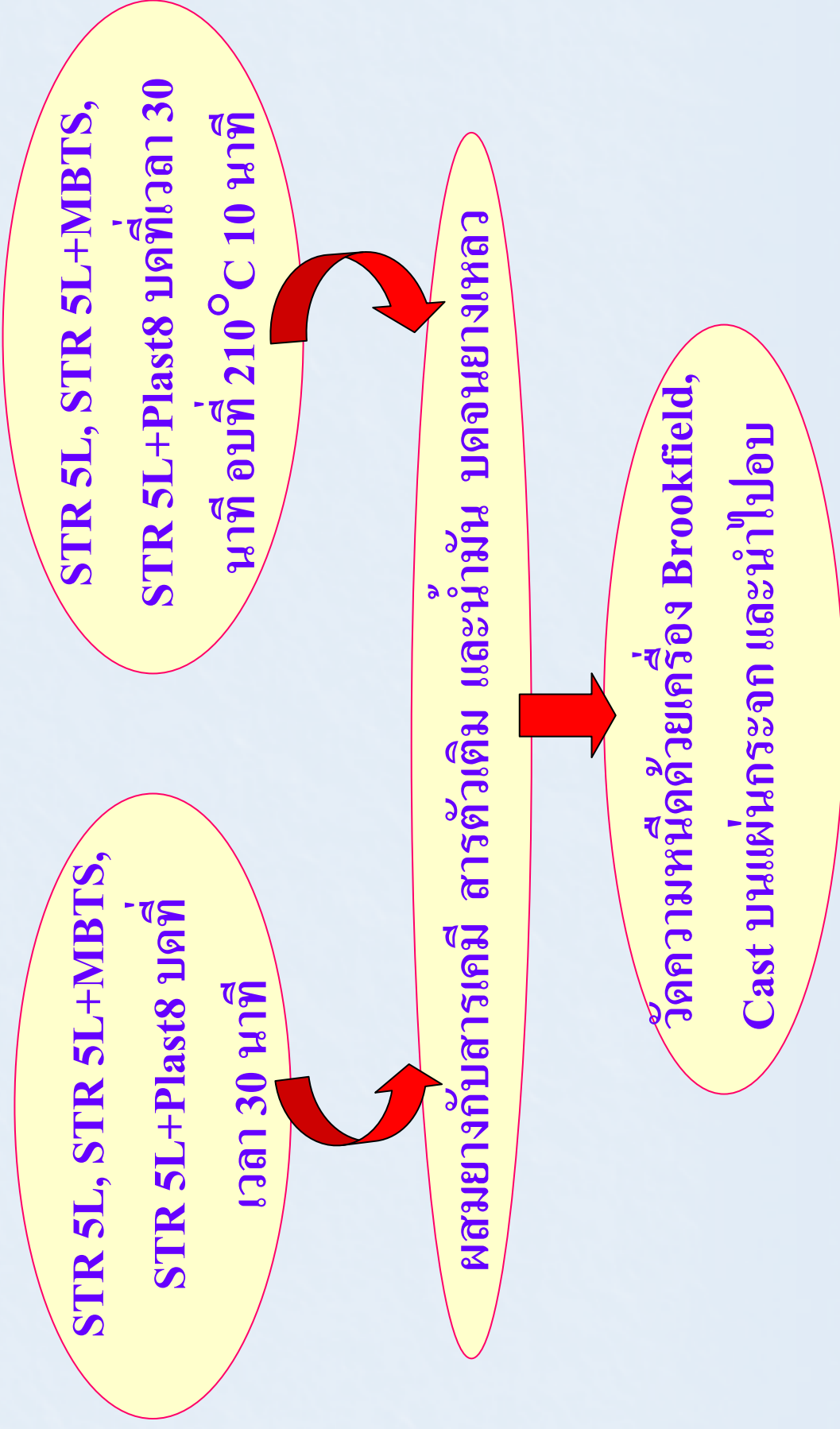
รูปที่ 9 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อด้วยแป้งพลาสติก

เอกสารอ้างอิง

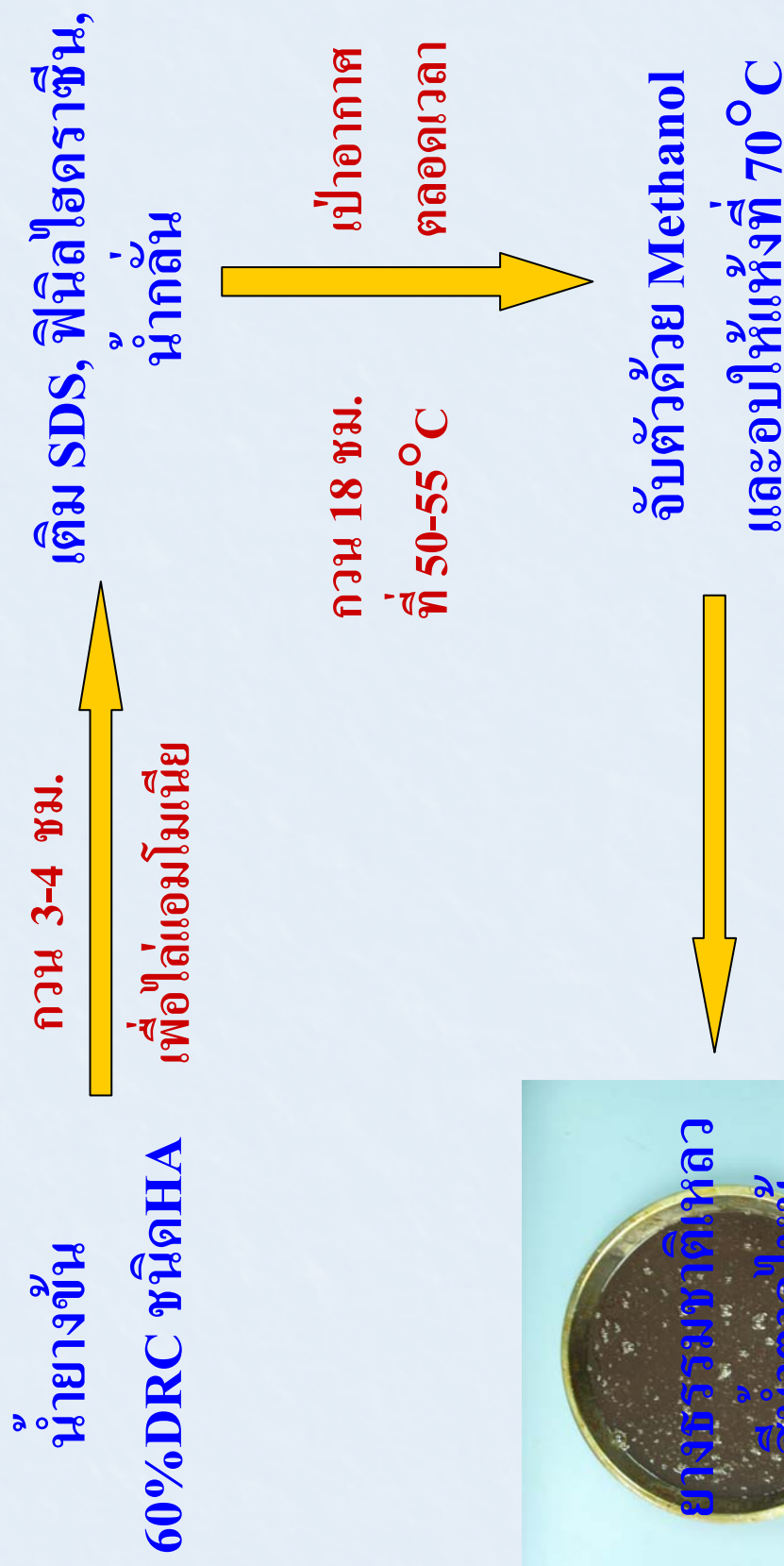
1. R. Pautrat and J. Leveque, 1981. Preparation and Application of Liquid Natural Rubber, Proceedings of a symposium, UNIDO& IRRDB, May 14-15, Phuket, Thailand, p 207-211.
2. โสภา อิศระ, ชลดา เลวิส และอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย 2545. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติเพื่อพัฒนาการเตรียมยางดิบ, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

จักรวรรดิเมือง

การเตรียมยางเหลวจากยางแท่ง STR 5L และการคอมปาวด์ยางกับสารเคมี



การเตรียมยางธรรมชาติเหลวกันอย่างขึ้น

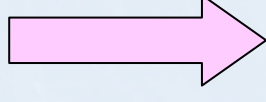


ยางธรรมชาติเหลว
สีน้ำตาลไหม้

การคอมปาวด์ยางเหลวที่เตรียมจากน้ำมัน

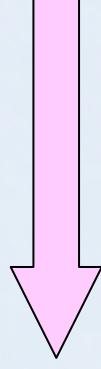
กวนน้ำมัน และสารเติมแต่งอย่าง
ต่างๆ ให้เข้ากันด้วยใบพัด

ผสมกับ LNR
กวนให้เข้ากัน

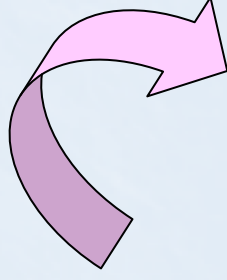


Cast บนแผ่นกระจกหนา

ประมาณ 2-3 มม. นำไปอบ
ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 6
ชั่วโมง และอบที่ 70°C เป็น
เวลา 12 ชั่วโมง จนยางสุก



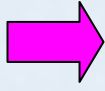
วัดความหนืดด้วยเครื่อง
Brookfield viscometer



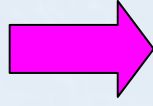
ทดสอบสมบัติ

การเตรียมน้ำยาล้างโมเลกุลต่ำ

20% SDS 4.0 phr



น้ำยาล้างชนิด HA 60%



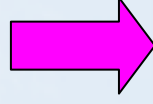
กวนด้วยความเร็ว 60 rpm
เป็นเวลา 30 นาทีที่ 50°C



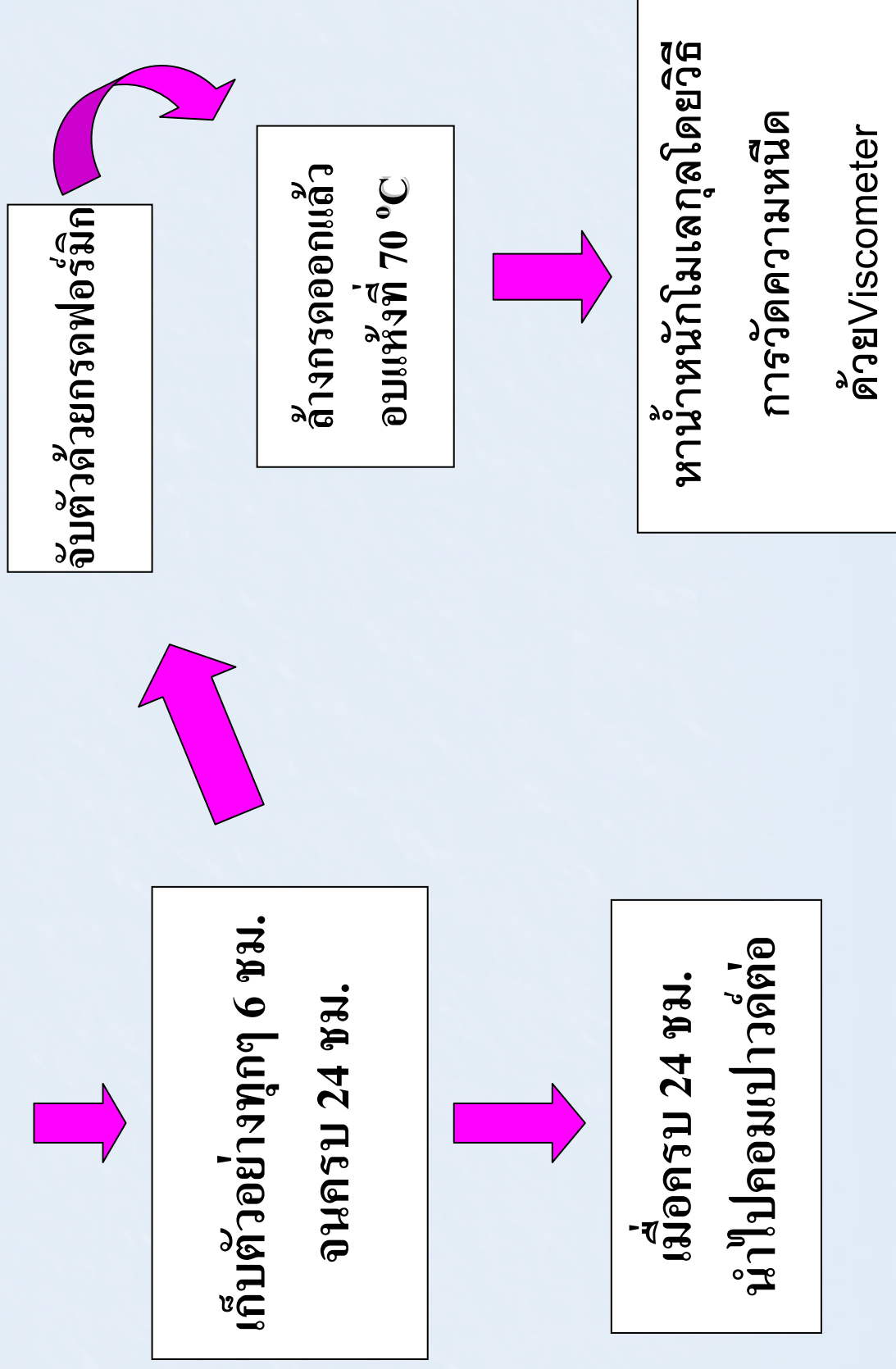
ตั้งไว้ 20 นาที

เติม 30% H₂O₂ 2 phr

10% K₂S₂O₈ 8.1 phr



การเตรียมน้ำยำน้ำหนักโมเลกุลต่ำ(ต่อ)

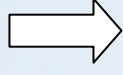


การคอมปาวด์น้ำยางหนักโมเลกุลต่ำ!

น้ำยางลดน้ำหนักโมเลกุล



หา% DRC



ปรับค่า pH เป็น 9.0 ด้วย 10%KOH



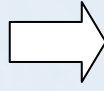
ทำการคอมปาวด์น้ำยางตามสูตร



Cast ลงแผ่นกระจก

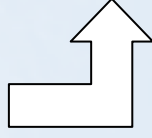


ปัมน้ำยาง 24 ชั่วโมง



ตั้งน้ำยางคอมปาวด์ที่

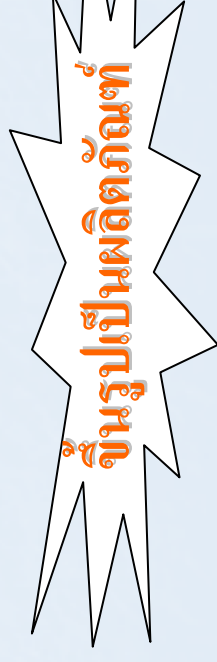
อุณหภูมิห้องจนน้ำยางไม่ไหล



อบที่ 50, 70, 80, 100 °C



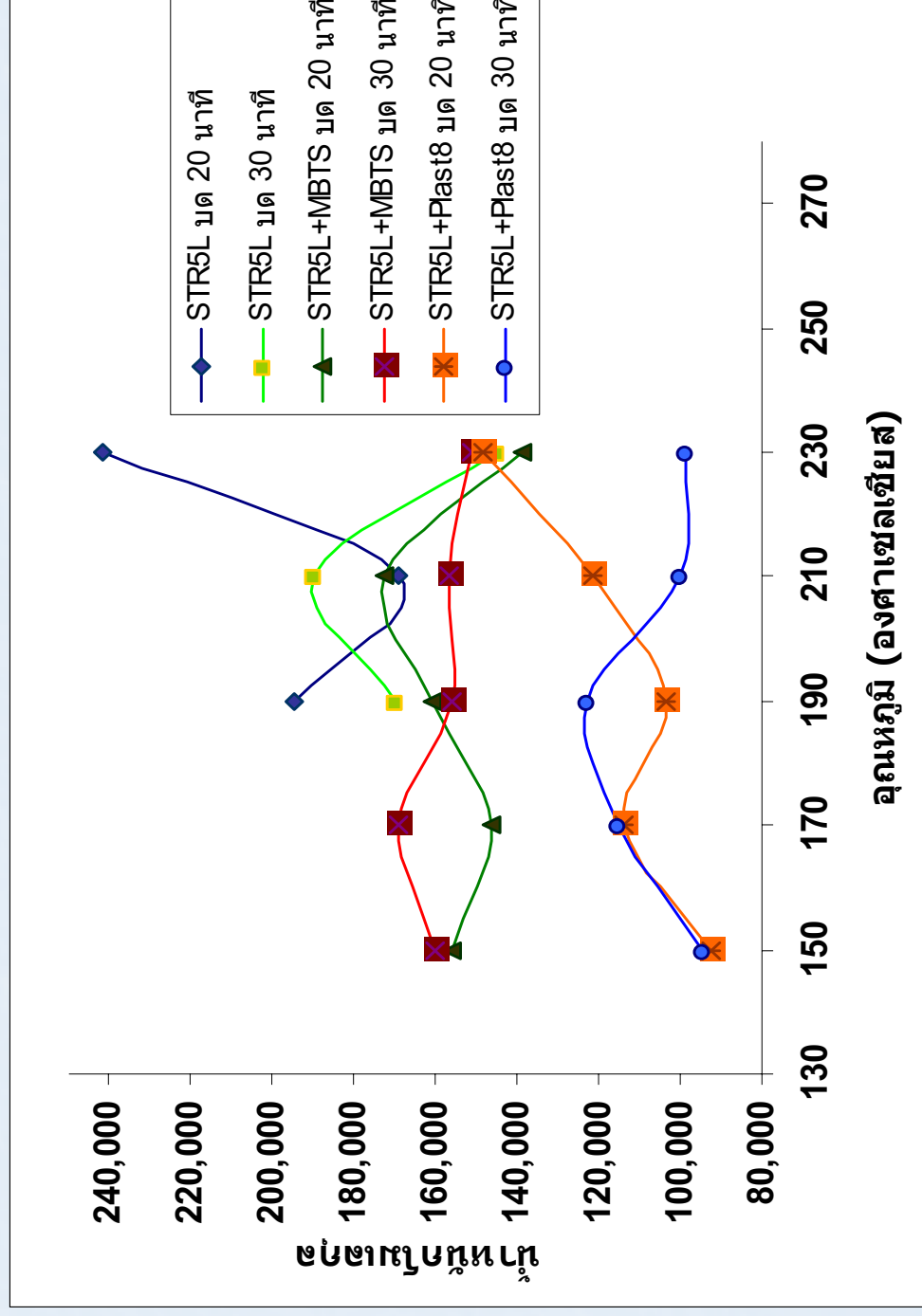
ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์



A Mallawarajana

1. การค้นหาเทคโนโลยีอย่างง่าย STR

ความสัมพัทธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของยางและอุณหภูมิที่อบยาง
เมื่อใช้เวลาในการอบยาง 10 นาที



2. การออกแบบตัวหนังสือ

สูตรยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางแท่ง STR 5L

สาร	ปริมาณ (phr)					
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
STR 5L	100	100	100	100	100	100
MBTS	-	0.2	-	0.2	0.2	-
Plast8	-	-	-	-	-	0.2
ZnO	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
Sulphur	5	5	5	5	5	5
Vulcanox MB	1	1	1	1	1	1
ZDEC	-	-	1	1	1	1
TMTD	1	1	-	-	-	-
China clay	50	50	50	50	75	75
Spindle oil	300	300	300	300	200	200

3. การประเมินผล

ยางหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางแท่งโดยใช้น้ำมันสนปีนเติล 300 phr
และสารตัวเติม 50 phr หลังจากอบที่ 100°C 48 ชั่วโมง



ยางหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากยางแท่งโดยใช้น้ำมันสปีนเดิล 200 phr
และสารตัวเติม 75 phr หลังจากอบที่ 100°C 48 ชั่วโมง



4. การเตรียมตัวหาตำแหน่งงาน

น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากนำ
 ยางชั้น (18 ชั่วโมง) เมื่อใช้ china clay และ silica เป็นสารตัวเติม

ยาง		สมบัติ
LNR คอมปาวด์	LNR	Mv 18,800
		ความหนืด 528×10^3 cP
		ความหนืด 30,160 cP
	ไม่ใช้สารตัวเติม	ความหนืด 37,400 cP
	China clay 20 phr	ความหนืด 58,720 cP

ลักษณะของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำมัน
หลังการอบที่ 50°C 6 ชั่วโมง และ 70°C 12 ชั่วโมง



สมบัติทางกายภาพของแผ่นยางหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางชั้น (18 ชั่วโมง)
 หลังการวัลคาไนซ์ (อบ 50 °C 6 ชม. และ 70 °C 6 ชม.)

สมบัติ	ยางคอมปาวด์		
	ไม่ใช้สารตัวเติม	China clay 20 phr	Silica 20 phr
100%Modulus(N/mm ²)	0.0975	0.1043	0.1290
200%Modulus(N/mm ²)	0.1709	0.2319	0.2576
ความทนแรงดึง (MPa) (ก่อนบ่มเร่ง)	0.3492	0.3185	0.3611
%Elongation	212.1	219.5	220.3
ความต้านทานต่อการฉีกขาด (N/mm)	1.01	1.35	1.47
ความทนแรงดึง (MPa) (หลังการบ่มเร่ง)	-	0.4524	0.4796
ความแข็ง (Shore A)	5	6	11

น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของ LNR ที่เตรียมโดย
ใช้ปริมาณ Phenylhydrazine 10 phr

LNR	\overline{M}_v	ความหนืด (cP)
ทำปฏิกิริยา 18 ชั่วโมง	18,800	528×10^3
ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	20700	671×10^3
ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	27,800	889×10^3
ทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง	87,200	730×10^4

น้ำหนักโมเลกุลของยางเหลวที่เตรียมจากน้ำยางข้น

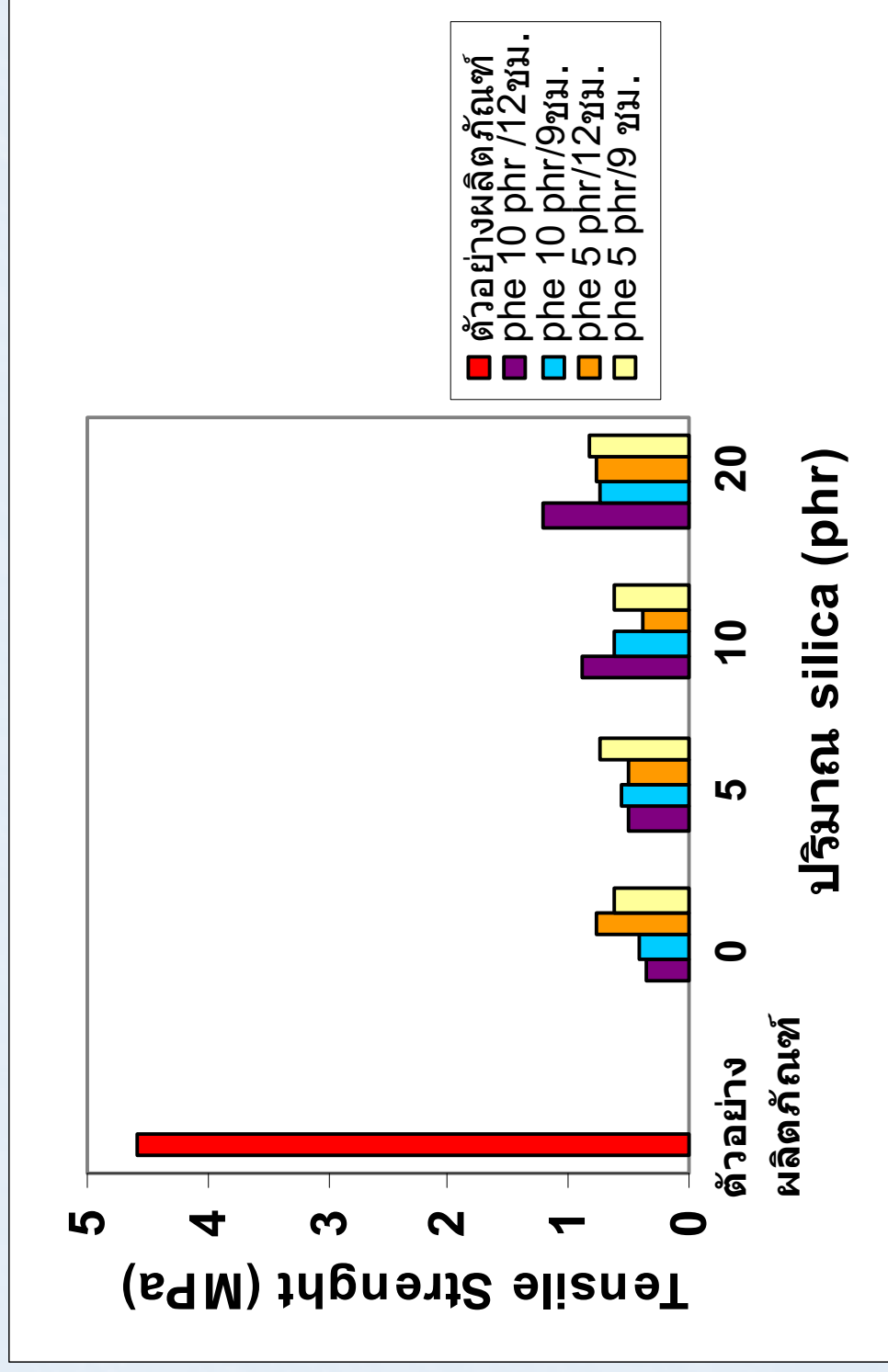
LNR	น้ำหนักโมเลกุล	
	Phe. 10 phr	Phe. 5 phr
ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	27,800	39,900
ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	20,700	35,400

Phe. = phenylhydrazine

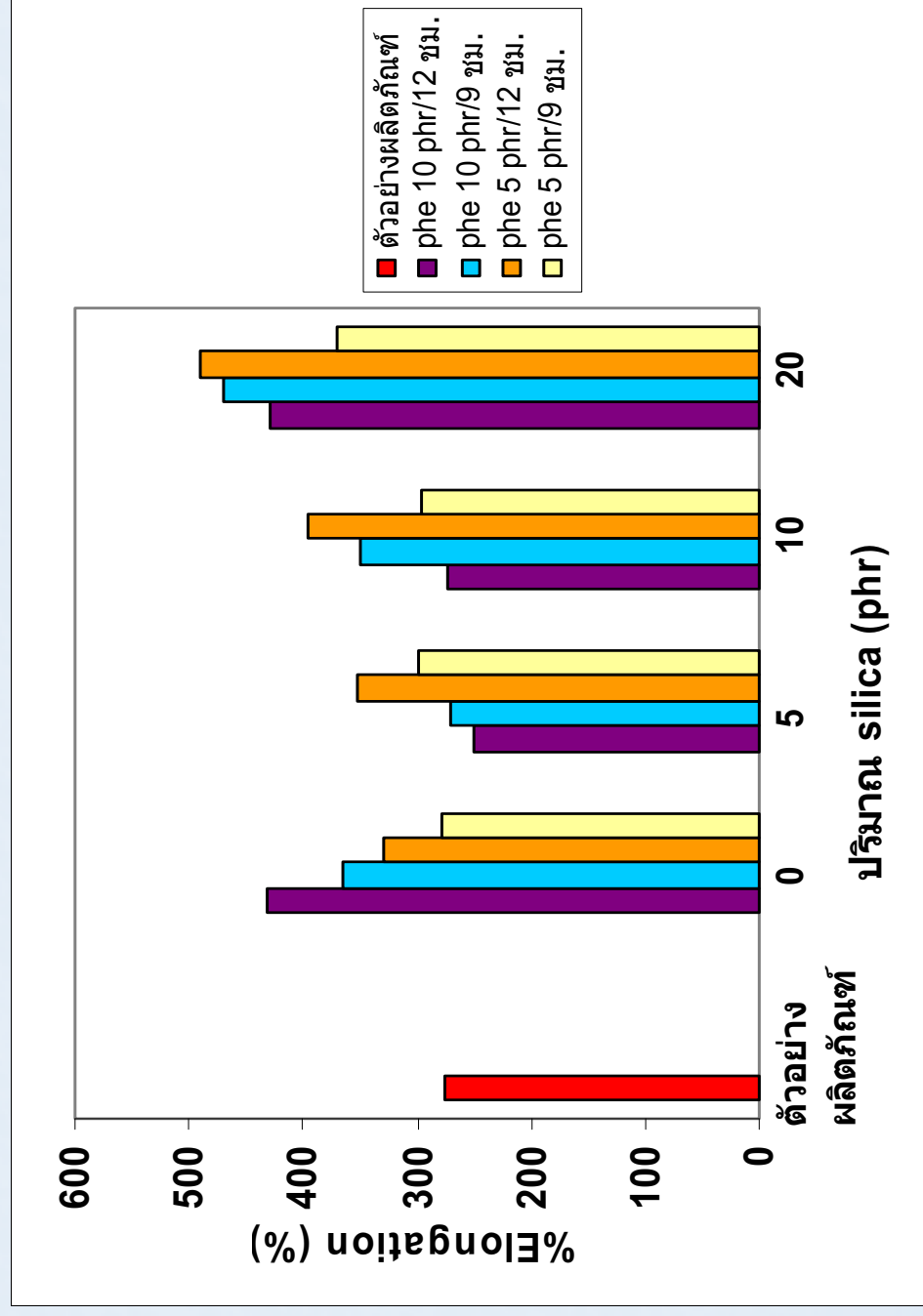
ความหนืด (Brookfield) ของยางเหลวที่เตรียมจากน้ำมัน

ยาง		ความหนืด (cP)	ยาง		ความหนืด (cP)
ใช้ phenylhydrazine 10 phr ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	LNR	671x10 ³	ใช้ phenylhydrazine 5 phr ทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง	LNR	155x10 ⁴
	Blank	28620		blank	25880
	Silica 5 phr	32460		Silica 5 phr	34120
	Silica 10 phr	38780		Silica 10 phr	52340
	Silica 20 phr	55000		Silica 20 phr	62340
ใช้ phenylhydrazine 10 phr ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	LNR	889x10 ³	ใช้ phenylhydrazine 5 phr ทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง	LNR	390x10 ⁴
	blank	32280		blank	49600
	Silica 5 phr	36920		Silica 5 phr	50000
	Silica 10 phr	48640		Silica 10 phr	67120
	Silica 20 phr	76640		Silica 20 phr	67040

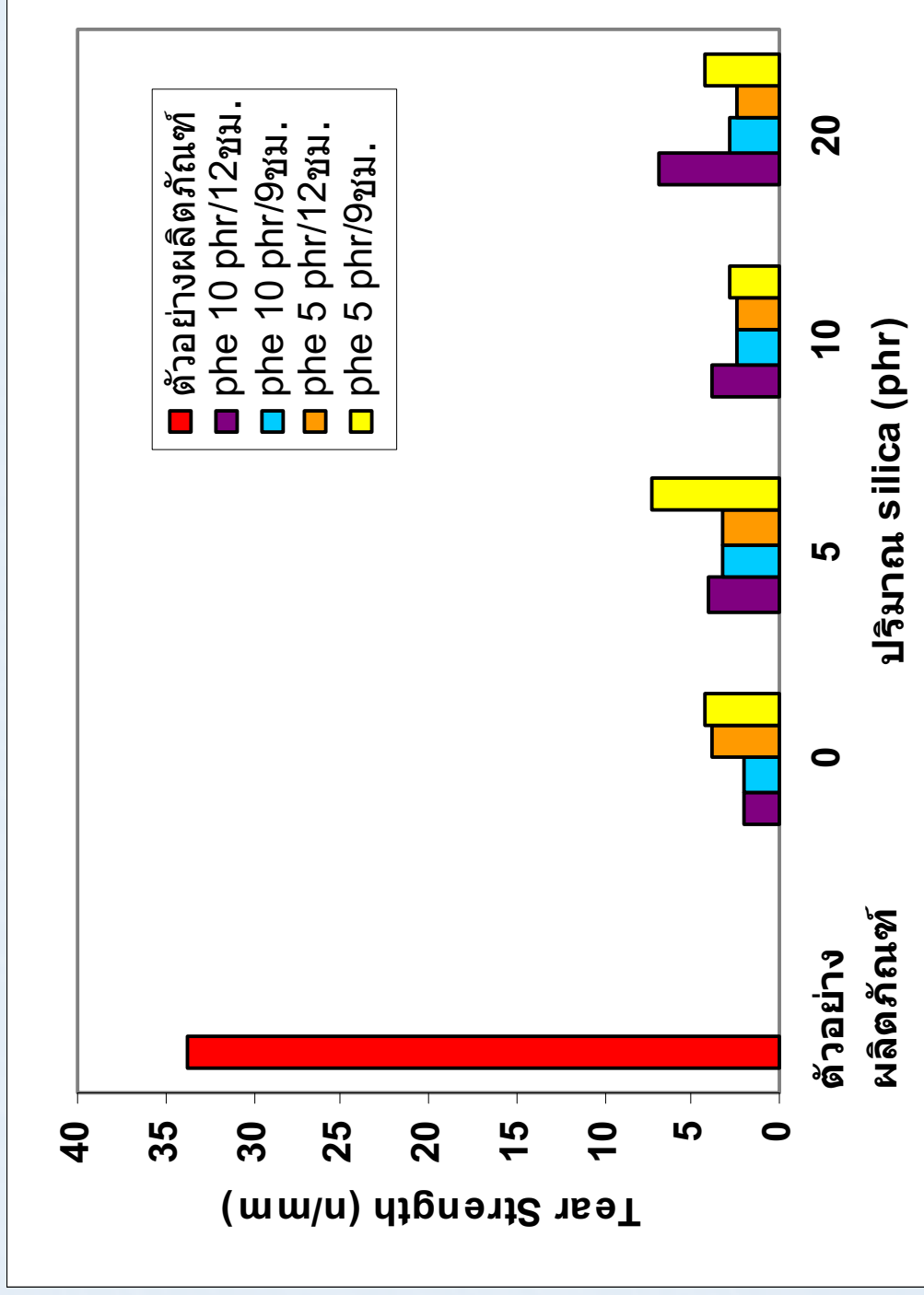
สมบัติด้านความทนแรงดึงของยางหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำ ยาสันหลังการวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตจาก



%Elongation ของแผ่นยางเหลวคอมปาวด์ที่เตรียมจากน้ำยางชั้น หลังการวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์



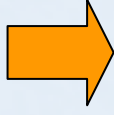
ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางเหลวคอมปาวด์ที่ เตรียมจากนํ้ายางหลังการวัลคาไนซ์



5. การทำนอ.ไทย



+



อุณหภูมิ 50 °C 6 ชม.
70 °C 12 ชม.



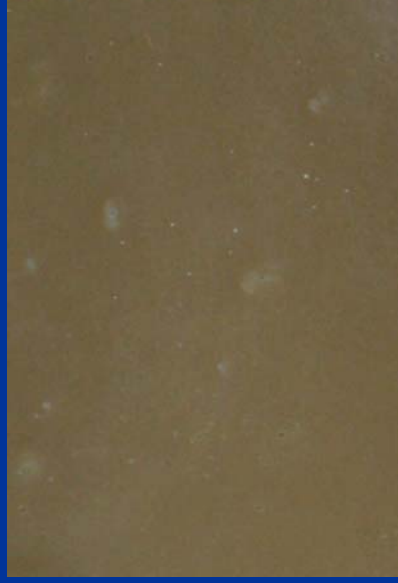
น้ำหนักโมเลกุลของน้ำยางโมเลกุลต่ำที่ทำปฏิกิริยา ที่ระยะเวลาต่างกัน

เวลาทำปฏิกิริยา(ชั่วโมง)	น้ำหนักโมเลกุล	
	T _{ห้อง}	T _{45-50 °C}
0	519,863	505,775
6	490,800	160,886
12	432,600	71,582
18	296,450	62,400
24	266,200	47,649

แผ่นยางคอมปาวด์อบที่อุณหภูมิ 50,70,80 ,100°C



อบที่ 50°C เวลา 20 hr



อบที่ 70°C เวลา 12 hr

Prevulcanizen

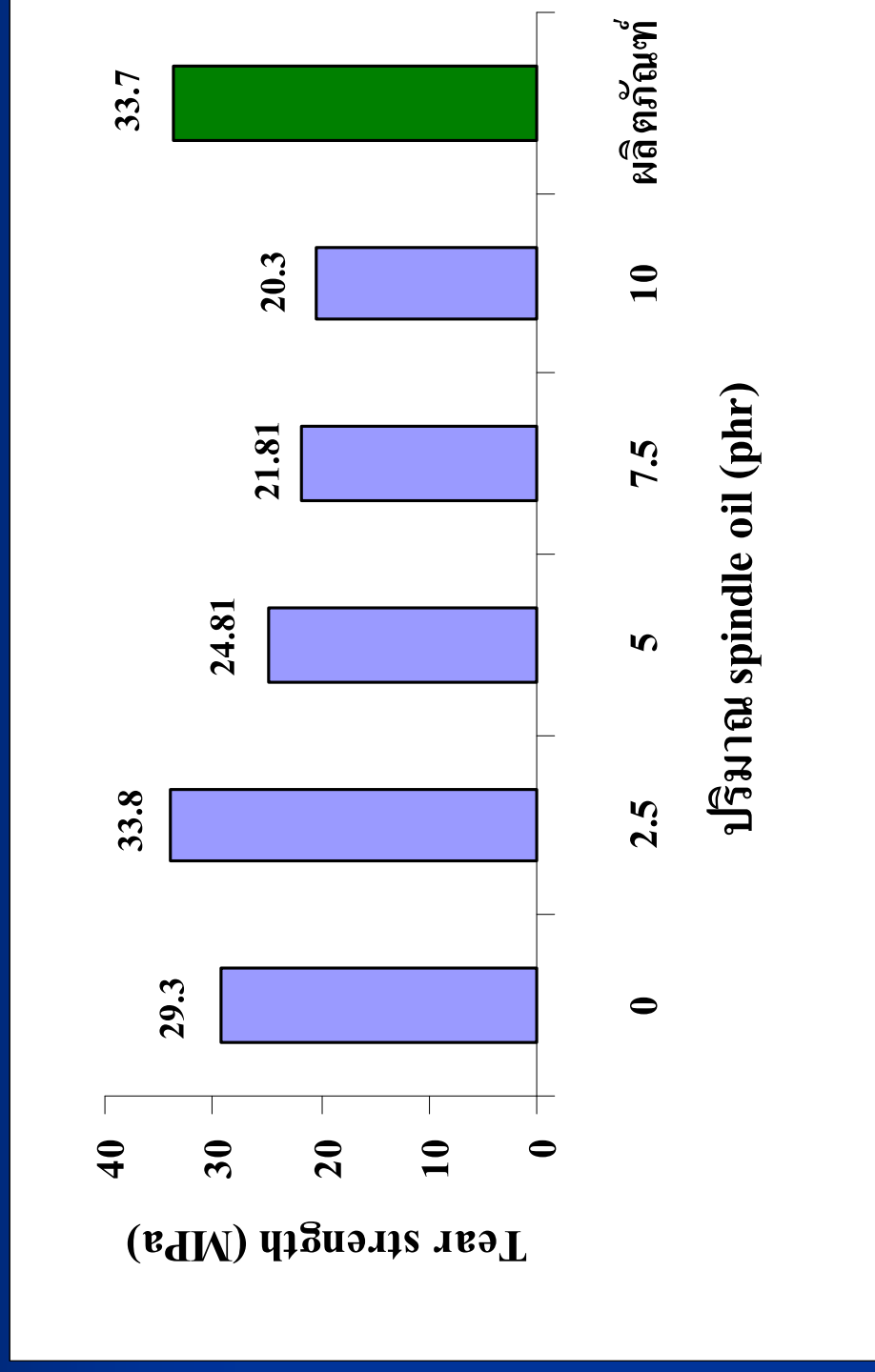


อบที่ 70°C เวลา 10 hr

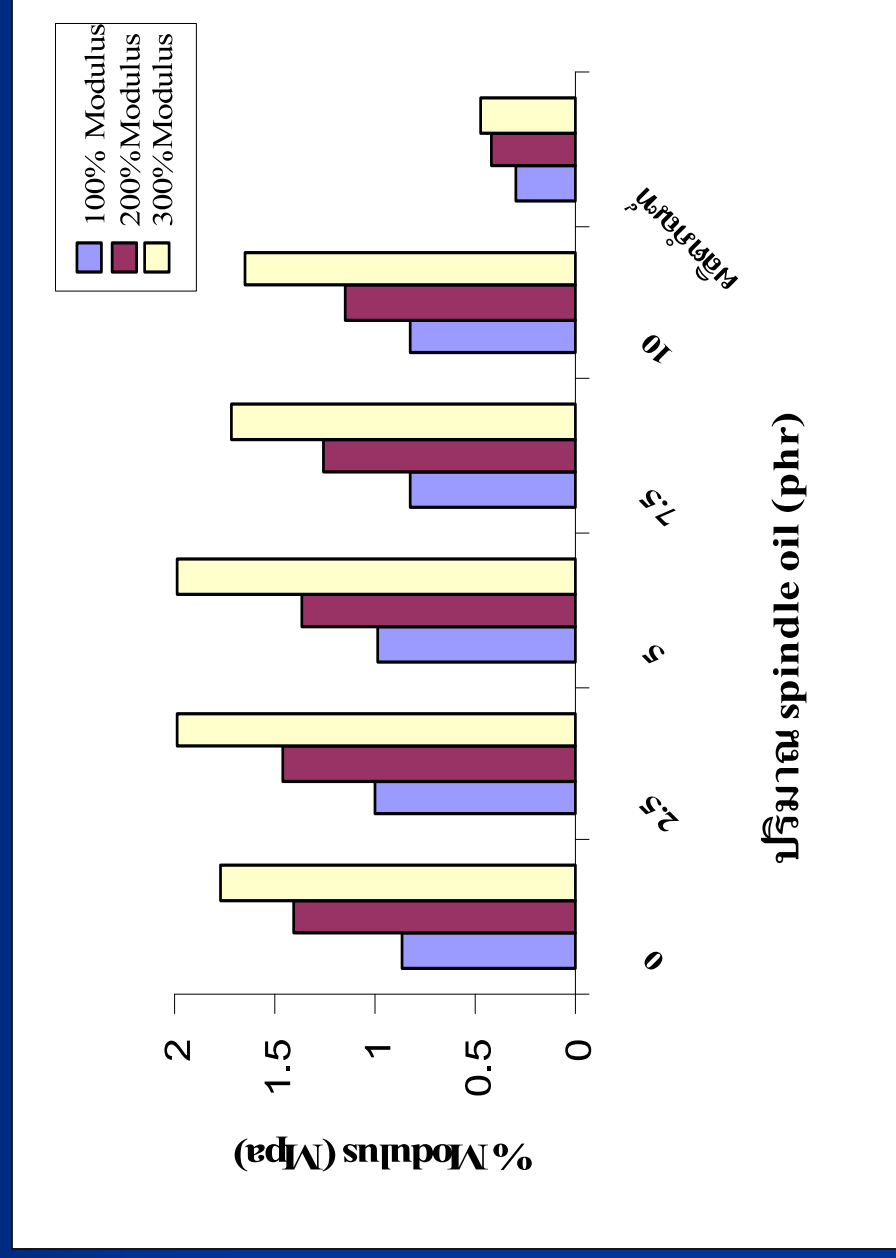
สูตรนำยางโมเลกุลต่ำคอมปาวด์ ที่ทำปฏิกิริยา ลดน้ำหนักโมเลกุล ที่เวลาต่างกันอบที่ 70°C

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (phr)		
	12 ชั่วโมง	18 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
นำยางลดน้ำหนักโมเลกุล 24 ชั่วโมง	100	100	100
50% Sulphur	1.5	1.5	1.5
50% ZDEC	1.00	1.0	1.0
50% ZnO	2.0	2.0	2.0
50%Vulkanok BKF	1.0	1.0	1.0
50% CaCO ₃	10	10	10

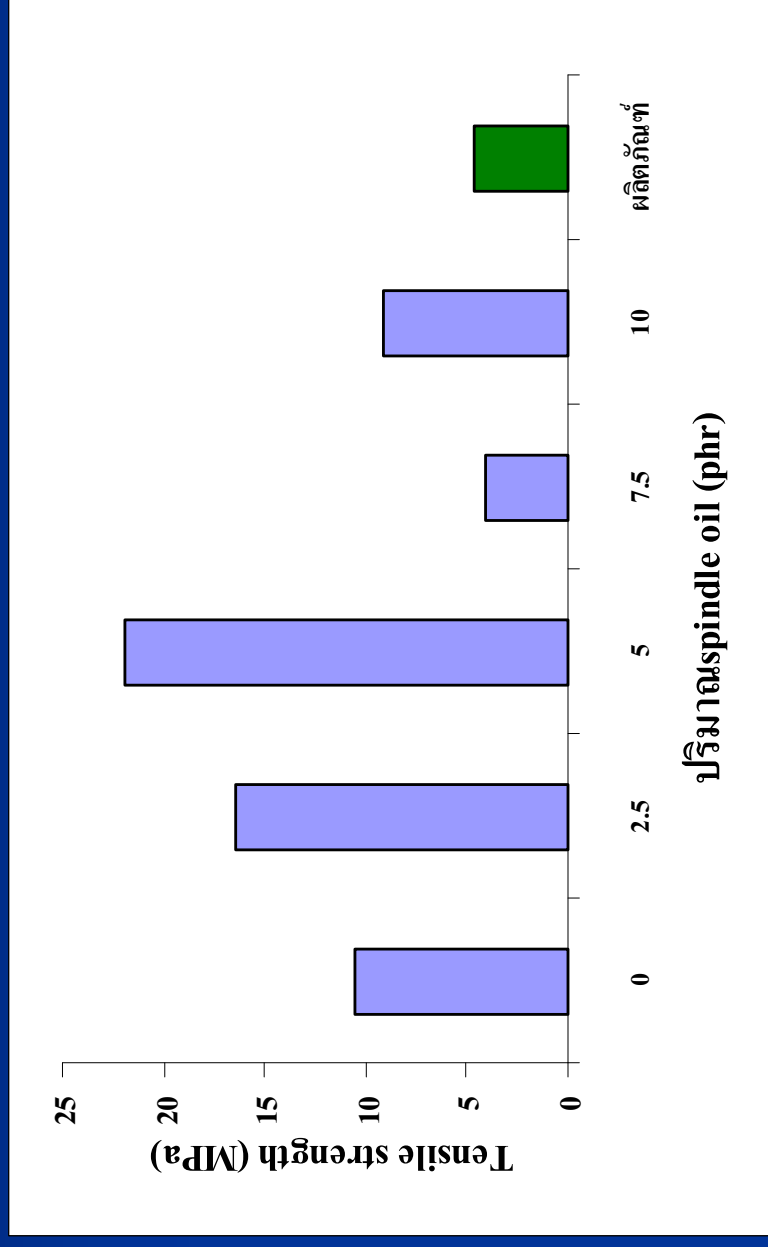
Tear strength ของสูตรยางคอมปาวด์ ZnO 5 phr, CaCO₃ 20 phr โดยแปรปริมาณ spindle oil



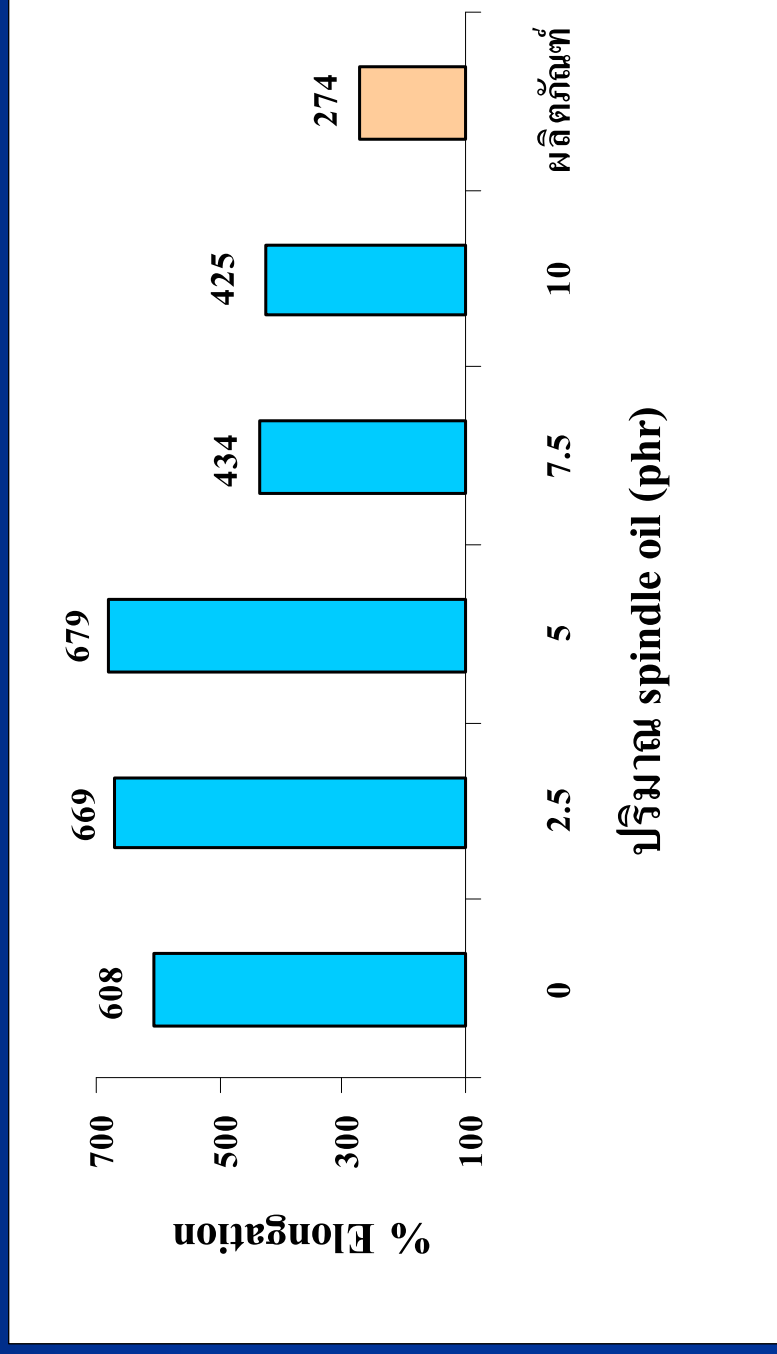
% Modulus ของสูตรยางคอมปาวด์ ZnO 5 phr, CaCO₃ 20 phr โดยแปรปริมาณ spindle oil เทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



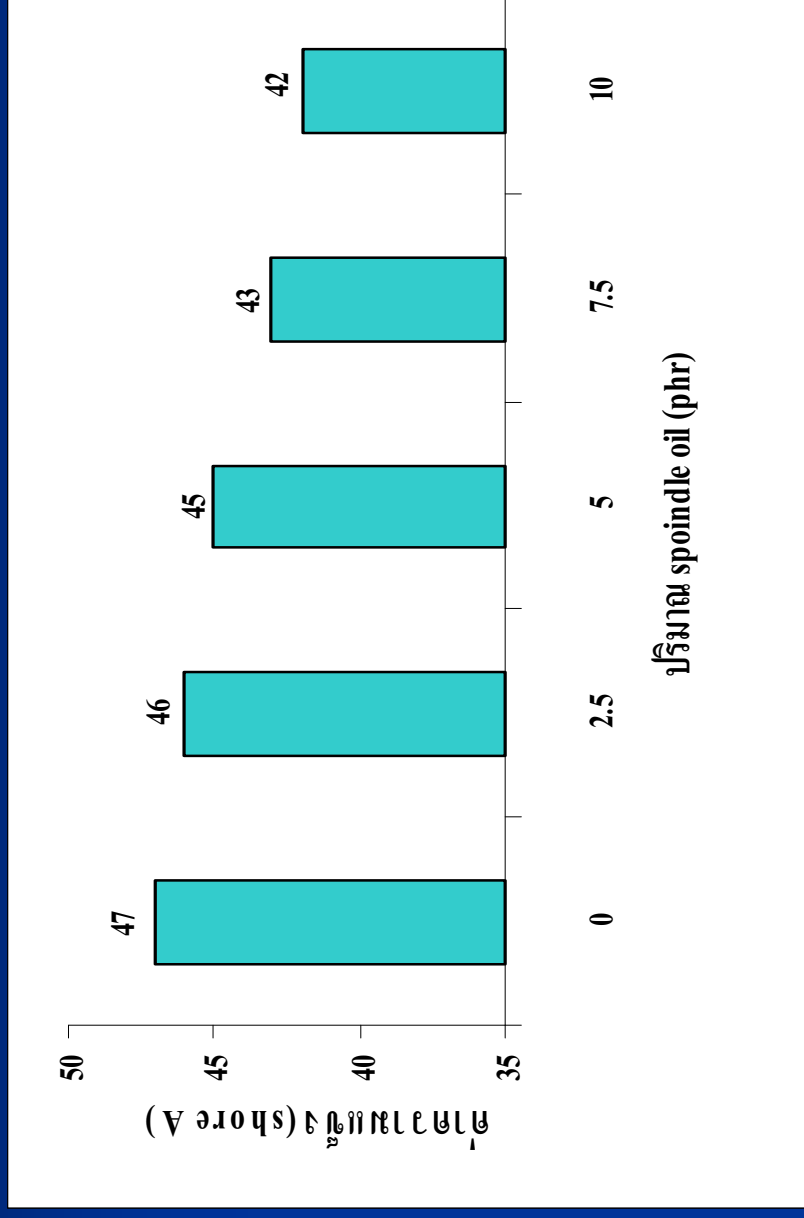
Tensile strength ของสูตรยางคอมปาวด์ ZnO 5 phr, CaCO_3 20 phr โดยแปรปริมาณ spindle oil เทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



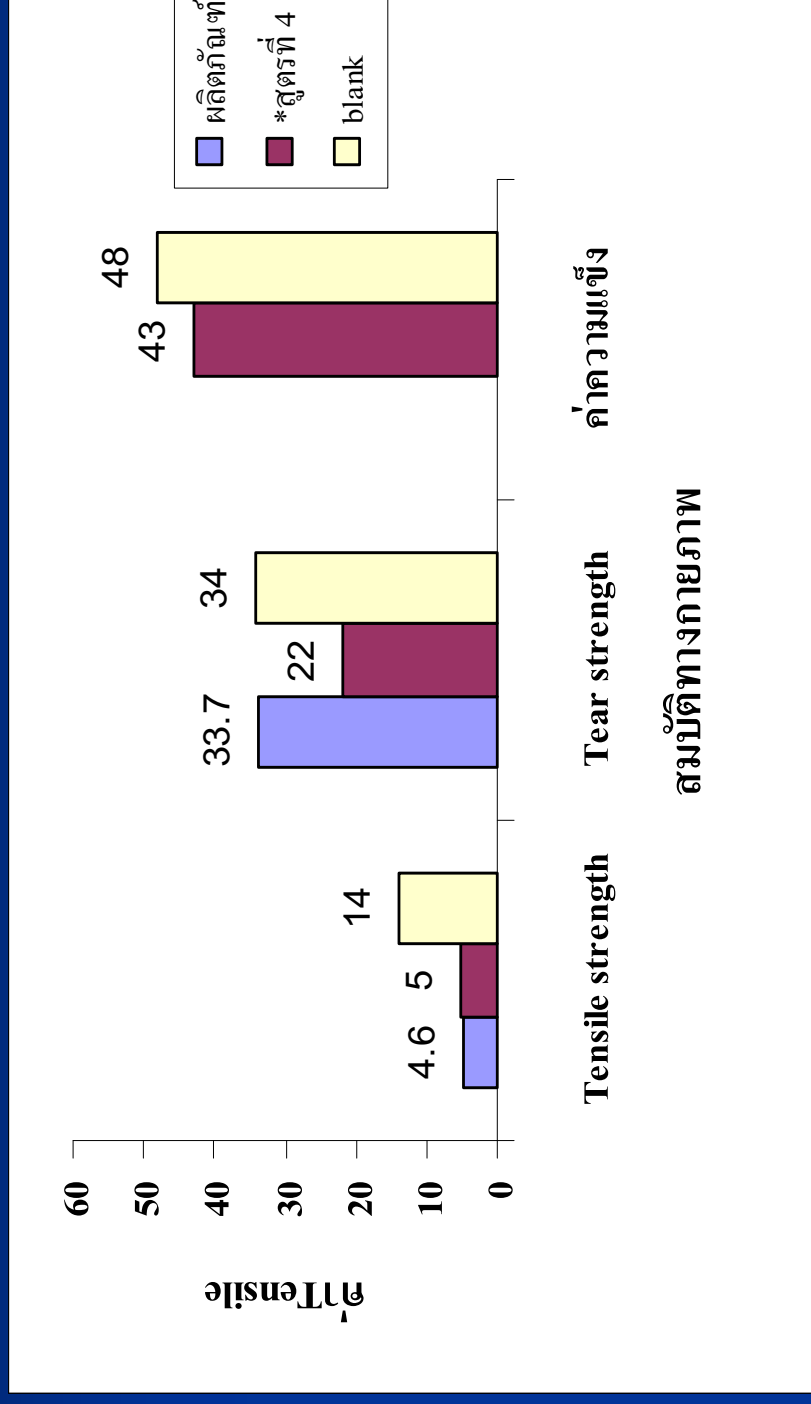
% Elongation ของสูตรยางคอมปาวด์ ZnO 5 phr, CaCO₃ 20 phr โดยแปรปริมาณ spindle oil



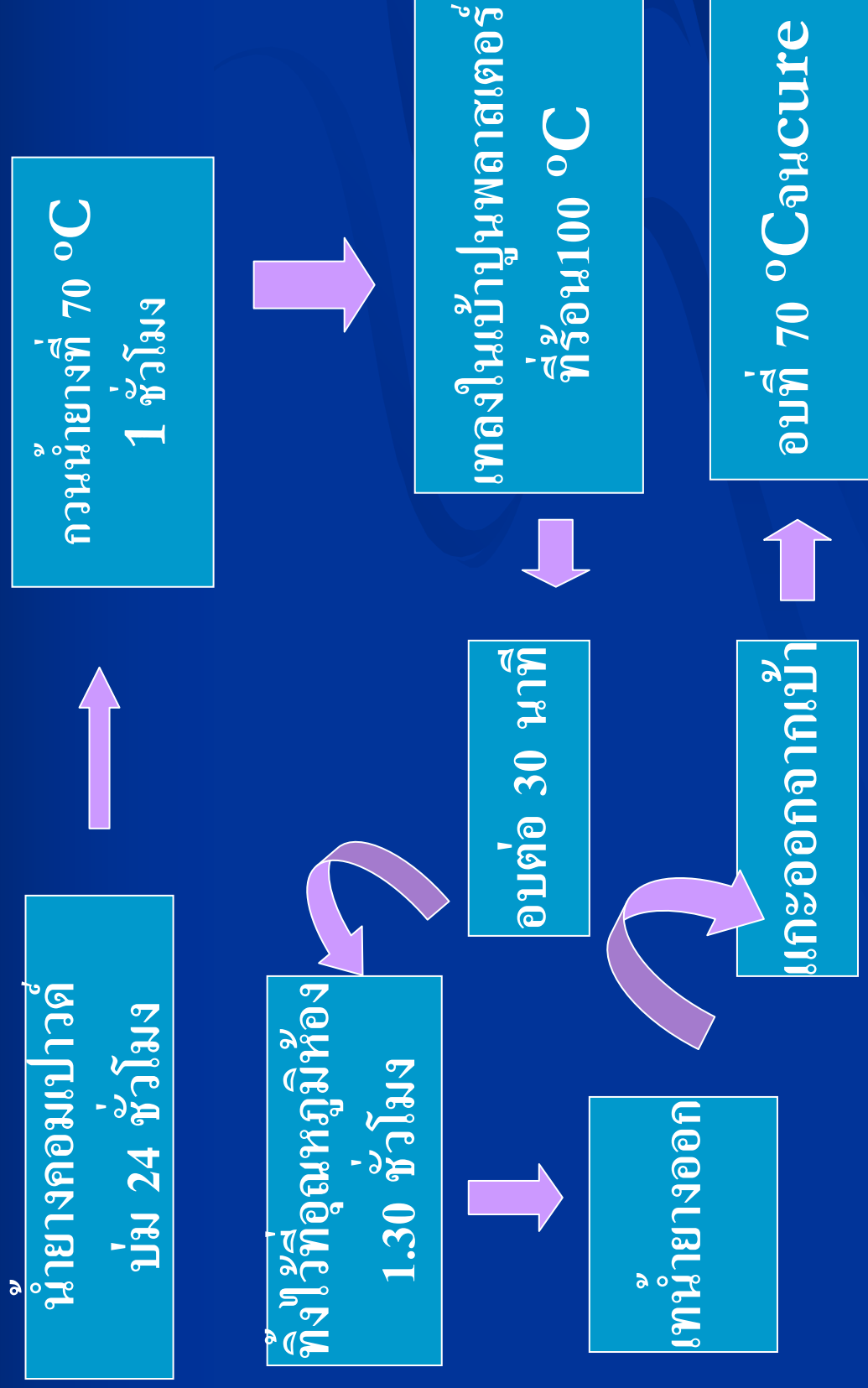
ค่าความแข็ง ของสูตรยางคอมปาวด์ ZnO 5 phr,
CaCO₃ 20 phr โดยแปรปริมาณ spindle oil



เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของสูตรยางที่เลือกกับผลิตภัณฑ์ และสูตรยางที่ไม่ได้ลดน้ำหนักโมเลกุล



การหล่อผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำยางคอมปาวด์ ที่ปราศจากสารหนู



➤ การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางแท่งโดยการบดด้วยเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลง โดยการบด 60 นาที ได้น้ำหนักโมเลกุลต่ำสุดประมาณ 70,000 แต่ยังไม่ทำให้ยางมีสมบัติไหล ๆ ได้

➤ การนำยางที่บดแล้ว 20 และ 30 นาทีทั้งที่ใช้และไม่ใช้สารเคมี มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้

➤ เมื่อนำยางที่บดแล้วมาคอมปาวด์กับสารเติมแต่งยางต่างๆ น้ำมัน และสารตัวเติม จนได้เป็นยางคอมปาวด์เหลว พบว่ามีความหนืดอยู่ในช่วง 150,000-500,000 cP ซึ่งไม่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อได้ เพราะความหนืดสูงเกินไป และเมื่อนำไปวัดค่าในซีพีพบว่า ยางคอมปาวด์นี้ไม่สุกเนื่องจากผสมกับน้ำมันในปริมาณมากเกินไป

➤ การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางข้น โดยใช้ฟอสโฟราซีน ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลงได้มากกว่าการบดด้วยเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง

➤ เมื่อนำยางเหลวที่เตรียมจากน้ำยางข้นมาคอมปาวด์กับน้ำมัน สารเคมี และสารตัวเติม พบว่ามีความหนืดประมาณ 30,000-60,000 cP ซึ่งสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อได้

➤ แผ่นยางคอมปาวด์ทุกสูตรที่เตรียมโดยใช้ LNR โดยใช้ฟีนอลไฮดราซีน 5 phr และ 10 phr ทำปฏิกิริยา 9 และ 12 ชั่วโมง มีสมบัติใกล้เคียงกัน และสามารถหล่อขึ้นรูปอวัยวะอะมีนเทียมได้

➤ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้อยู่ทางการค้า สมบัติหลังการวัลคาไนซ์ของแผ่นยางยังด้อยกว่ามาก แต่แผ่นยางที่ได้หลังการวัลคาไนซ์จะมีความนิ่ม และสามารถใช้ในการฉีดยางอะ และใช้ฉีดกรีตได้ แต่มีผิวค่อนข้างเหนียวและดึงขาดง่าย

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

- ผลการศึกษาปริมาณ spindle oil พบว่าเมื่อปริมาณเพิ่ม Tensile strength, % Elongation, Tear strength, ค่าความแข็งมีค่าลดลง %Modulus มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และที่ปริมาณ 7.5 phr มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มากที่สุด
- สูตรที่เหมาะสมมากที่สุดใน การเลือกทำผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบ คือลดน้ำหนักโมเลกุล 24 ชั่วโมง คอมเปาต์โดยใช้ ZnO 5 phr, CaCO₃ 20 phr, Spindle oil 7.5 phr
- การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการหล่อด้วยปั๊มพลาสติกที่ 70°C จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดี
- การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธี Heat sensitive ระบบ zinc ammine ปริมาณ ZnO 20 phr, ammonium chloride 18 phr ชุ่ม 2 ครั้ง นาน 180 วินาทีให้ความหนามากที่สุดที่มีสมบัติไม่แข็งแรง