

4.3.3 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

เตรียมน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน โดยใช้สูตรคอมเพาต์ดังตารางที่ 3.3 ทำการเตรียมน้ำยางคอมเพาต์ตามวิธีการข้อ 3.3.2 ขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมเพาต์แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารเคมีดีสเพอร์ชันเฉลี่ย (วิเคราะห์โดยปริมาตร) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมเพาต์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

Chemicals	Particle diameter (by volume) (μm)		Distribution ($B_{\text{mid } d50v}$)
	Mean	< 90%	
Sulphur	5.06	10.61	1.27
ZDEC	3.60	7.02	1.19
ZDBC A	1.77	3.47	0.90
ZDBC B	3.37	6.96	1.16
ZDBC C	5.58	12.86	1.48
ZDBC D	12.26	32.60	1.62
ZDBC E	20.04	32.13	0.62
Wingstay – L	5.86	12.73	1.47
ZnO	1.77	3.66	1.21

ศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมเพาต์ หลังทำการบ่มน้ำยางที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำน้ำยางคอมเพาต์มาทำการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยใช้วิธีการจุ่มแบบพิมพ์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมเพาต์ แปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต ทำการบ่มเร้งน้ำยางคอมเพาต์ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Properties	ZDBC 1.77 μm		ZDBC 3.37 μm		ZDBC 5.58 μm		ZDBC12.26 μm		ZDBC20.04 μm	
	0.25 phr	1.50 phr	0.25 phr	1.50 phr	0.25 phr	1.50 phr	0.25 phr	1.50 phr	0.25 phr	1.50 phr
pH	10.6	10.7	10.4	10.2	10.4	10.6	10.5	10.5	10.5	10.4
Viscosity (cps)	17	19	16	19	16	19	16	18	17	19
Chloroform Number	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4

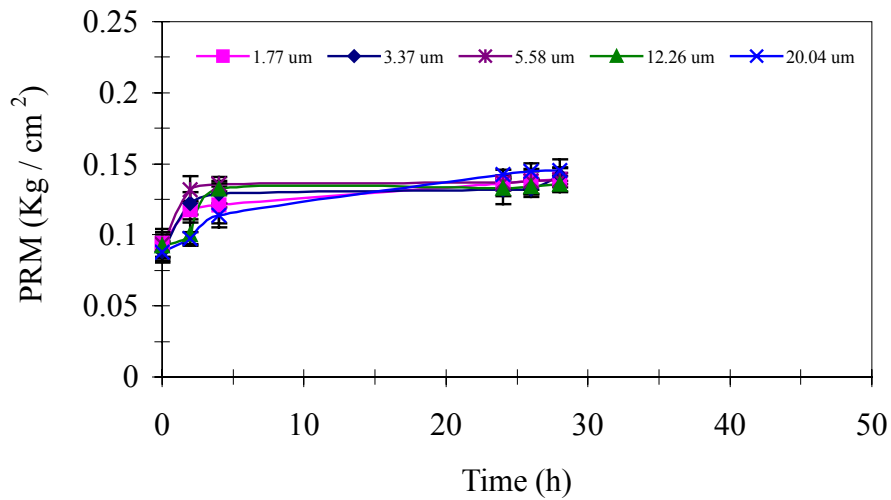
จากผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมเพาต์แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรด – ด่าง ความหนืด และค่าคลอโรฟอร์ม ของน้ำยางคอมเพาต์ แต่การใช้ปริมาณสารเคมีซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความหนืดของน้ำยางคอมเพาต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระยะเวลาการบ่มน้ำยางเท่ากัน เมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต จะส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลเร็วขึ้นในน้ำยางคอมเพาต์ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เท่ากัน การใช้ปริมาณสารตัวเร่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน เตรียมแผ่นฟิล์มเป็นรูปวงแหวนตามวิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มข้อ 3.4.1 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยางคอมเพาต์ขณะที่ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตามกำหนด นำชิ้นตัวอย่างไปทำการทดสอบค่า PRM Number ตามวิธีการข้อ 3.6.6 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.46 – 4.47

ตารางที่ 4.17 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ (PRM Test) ของน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารเคมีซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตคิสเพอร์ชัน บ่มน้ำยางคอมเพาต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่าง ๆ

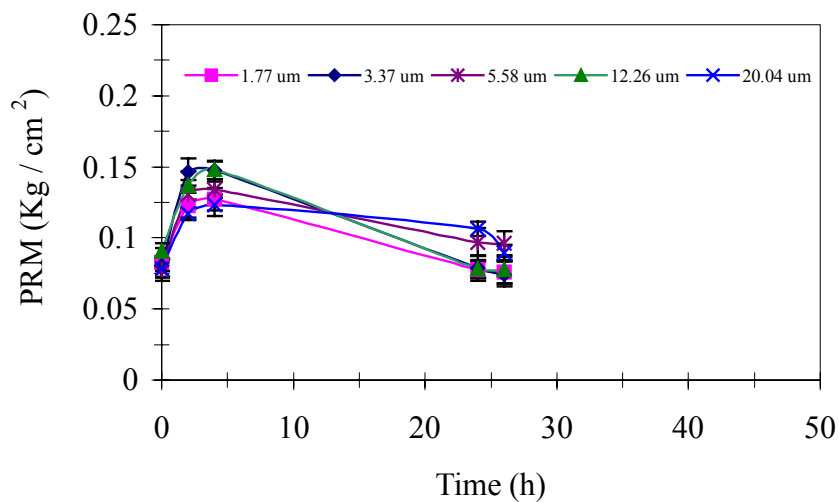
Time (h)	PRM (kg / cm ²)									
	ZDBC 0.25 phr					ZDBC 1.50 phr				
	1.77 μm	3.37 μm	5.58 μm	12.26 μm	20.04 μm	1.77 μm	3.37 μm	5.58 μm	12.26 μm	20.04 μm
0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
2	0.12	0.12	0.13	0.10	0.10	0.12	0.15	0.13	0.14	0.12
4	0.12	0.13	0.14	0.13	0.11	0.13	0.15	0.13	0.15	0.12
24	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.08	0.08	0.10	0.08	0.11
26	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.08	0.07	0.10	0.08	0.09
28	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	-	-	-	-	-

หมายเหตุ - : ไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากน้ำยางคอมเพาต์เสียสภาพ



* ณ เวลา 48 ชั่วโมง น้ำยางคอมเพาต์เสียหายไม่สามารถตรวจวัดค่า PRM ได้

รูปที่ 4.46 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 0–28 ชั่วโมง แปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต โดยใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตปริมาณ 0.25 phr



* ณ เวลา 48 ชั่วโมง น้ำยางคอมเพาต์เสียหายไม่สามารถตรวจวัดค่า PRM ได้

รูปที่ 4.47 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 0–26 ชั่วโมง แปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต โดยใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตปริมาณ 1.50 phr

จากผลการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซึ่งคือไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตตั้งแต่ 1 – 20 ไมครอน โดยใช้ในปริมาณ 0.25 phr และ 1.50 phr แสดงดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.46 – 4.47 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซึ่งคือไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตจะไม่มีผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ทั้ง 2 สูตร ระดับการพรีวัลคาไนซ์จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพาต์ (Maturation) และปริมาณของสารตัวเร่งที่ใช้ จะพบว่าระดับการพรีวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพาต์เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการบ่มเร่งน้ำยางเท่ากัน จะพบว่าการใช้ปริมาณของสารตัวเร่งซึ่งคือไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมต 1.50 phr จะมีระดับการพรีวัลคาไนซ์ที่สูงกว่าการใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 0.25 phr เนื่องจากในกระบวนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สารตัวเร่งที่ถูกเติมในน้ำยางธรรมชาติ จะเข้าไปทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งให้สารวัลคาไนซ์ในที่นี้คือกำมะถัน ให้สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น ซึ่งสารตัวเร่งเหล่านี้จะถูกละลายใน Aqueous phase ของ Latex ก่อน แล้วจะเข้าไปรวมตัวกับกำมะถันกลายเป็นสารที่่องไวในการถูกดูดซับเข้าสู่อนุภาคยางมากขึ้น หลังจากนั้นจะเกิดกระบวนการแพร่เข้าไปในอนุภาคยาง ซึ่งส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยางภายในอนุภาคยางขึ้น (Porter *et al.*, 1992) การใช้สารตัวเร่งในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้สภาพผิวของอนุภาคยางถูกล้อมรอบด้วย Sulphur-Accelerator Species มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่า PRM มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลาที่สั้นกว่าการใช้สารตัวเร่งในปริมาณที่น้อยกว่า พบว่าการใช้สารตัวเร่ง 1.50 phr ค่า PRM มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลาในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์ 24 ชั่วโมง ส่วนการใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 0.25 phr ค่า PRM เมื่อทำการพรีวัลคาไนซ์ 28 ชั่วโมง ยังไม่มีแนวโน้มที่ลดลง สาเหตุที่ค่า PRM มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการพรีวัลคาไนซ์มากขึ้นเนื่องจากสภาพผิวของอนุภาคยางที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ไปต้านการหล่อรวมกันของอนุภาคยางที่จะก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์ม (Clarrama and Mathew, 1997) จึงส่งผลให้ค่า PRM มีแนวโน้มลดลง

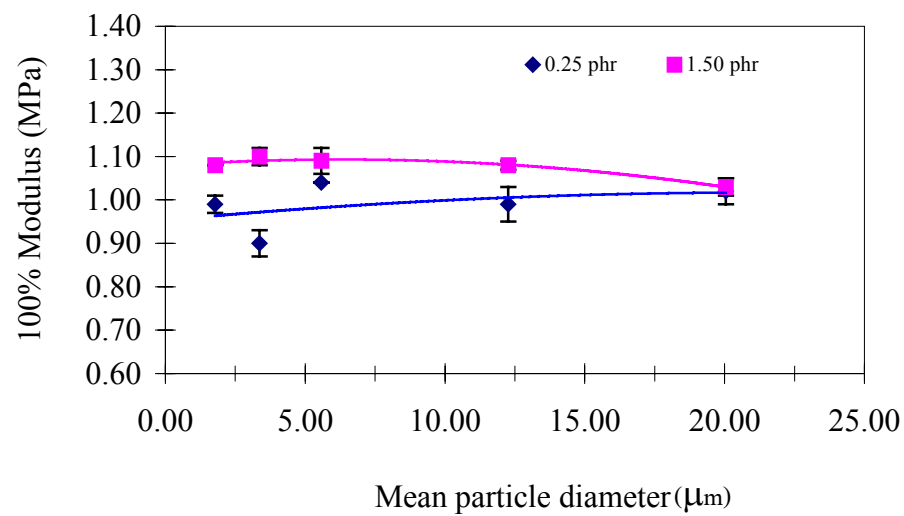
ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมต และแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมต 0.25 phr และ 1.50 phr ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.2 และนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพตามข้อ 3.6.7 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18 – 4.19 และรูปที่ 4.48 – 4.59

ตารางที่ 4.18 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตคิสเพอร์ชัน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

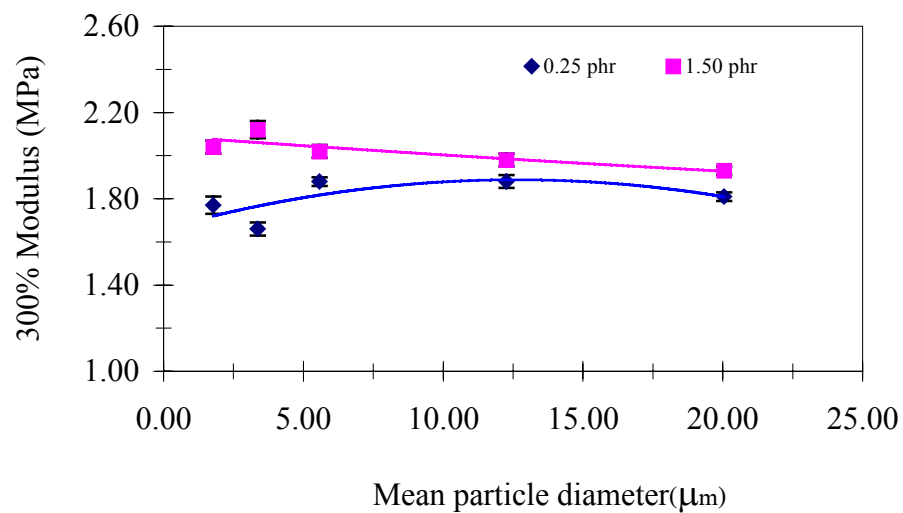
Properties	Time (min.)	ZDBC 0.25 phr					ZDBC 1.50 phr				
		Mean particle diameter of ZDBC (μm)					Mean particle diameter of ZDBC (μm)				
		1.77	3.37	5.58	12.26	20.04	1.77	3.37	5.58	12.26	20.04
100%	10	1.02	0.91	1.13	0.95	0.95	0.99	0.99	1.12	1.00	1.03
Modulus (MPa)	30	0.99	0.90	1.04	0.99	1.02	1.08	1.10	1.09	1.08	1.03
	60	0.98	0.89	1.10	1.03	0.95	1.10	1.07	0.99	1.02	1.02
300%	10	1.79	1.66	1.86	1.67	1.74	1.92	1.93	2.15	1.87	1.96
Modulus (MPa)	30	1.77	1.66	1.88	1.88	1.81	2.04	2.12	2.02	1.98	1.93
	60	1.76	1.66	1.95	1.87	1.76	1.99	2.00	1.92	1.92	1.92
Tensile strength (MPa)	10	24.95	22.76	25.10	25.42	22.13	18.08	19.92	19.62	18.17	16.87
	30	25.80	23.21	25.33	25.95	22.95	16.25	22.54	20.91	21.80	17.74
	60	25.06	24.12	24.59	26.65	27.02	17.07	20.98	21.07	18.23	19.89
Elongation at break (%)	10	766	795	731	811	753	688	681	681	686	693
	30	798	825	796	733	763	643	703	711	718	703
	60	821	820	826	813	830	695	708	723	706	716

ตารางที่ 4.19 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ซัน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที

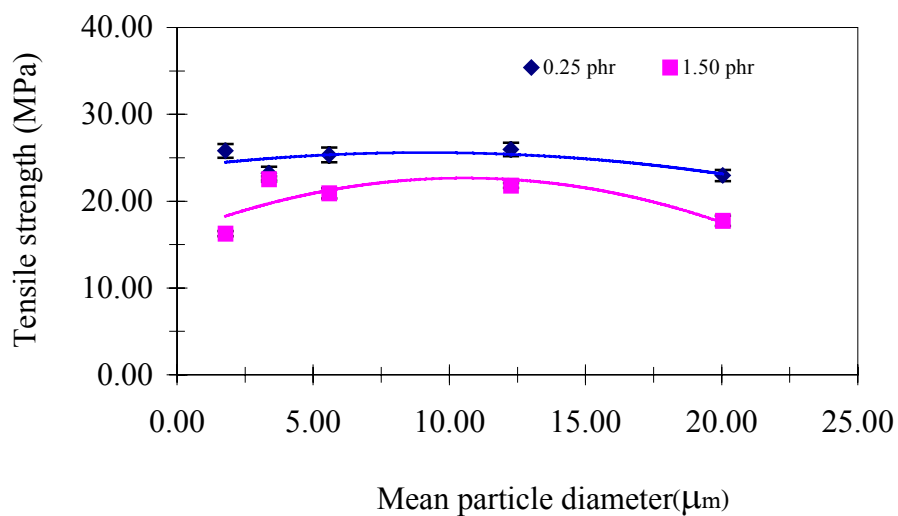
Properties	Temp. (°C)	ZDBC 0.25 phr					ZDBC 1.50 phr				
		Mean particle diameter of ZDBC (μm)					Mean particle diameter of ZDBC (μm)				
		1.77	3.37	5.58	12.26	20.04	1.77	3.37	5.58	12.26	20.04
100% Modulus (MPa)	90	1.01	0.96	1.0	1.03	0.95	1.08	1.0	1.10	1.05	1.06
	110	0.99	0.90	1.04	0.99	1.02	1.08	1.10	1.09	1.08	1.03
	120	1.00	1.03	1.00	0.96	1.00	1.06	1.09	1.06	1.09	1.03
	130	0.86	0.98	0.98	0.95	0.84	1.08	1.01	1.13	1.10	1.00
300% Modulus (MPa)	90	1.81	1.78	1.78	1.86	1.76	2.05	1.96	2.01	1.99	1.97
	110	1.77	1.66	1.88	1.88	1.81	2.04	2.12	2.02	1.98	1.93
	120	1.82	1.85	1.81	1.79	1.77	2.0	2.08	2.02	2.07	1.98
	130	1.55	1.83	1.84	1.72	1.50	2.06	2.0	2.10	2.03	1.87
Tensile strength (MPa)	90	25.09	27.69	22.78	29.35	24.57	19.46	19.57	21.68	21.94	18.32
	110	25.80	23.21	25.33	25.95	22.95	16.25	22.54	20.91	21.80	17.74
	120	27.28	28.60	25.06	26.49	25.76	18.27	19.79	21.87	19.07	18.71
	130	25.69	25.71	24.34	26.67	24.86	18.95	19.08	20.33	20.71	14.89
Elongation at break (%)	90	776	823	765	813	786	695	723	705	708	673
	110	798	825	796	733	763	643	703	711	718	703
	120	825	838	788	838	775	680	713	738	690	678
	130	868	816	756	866	861	678	723	765	753	676



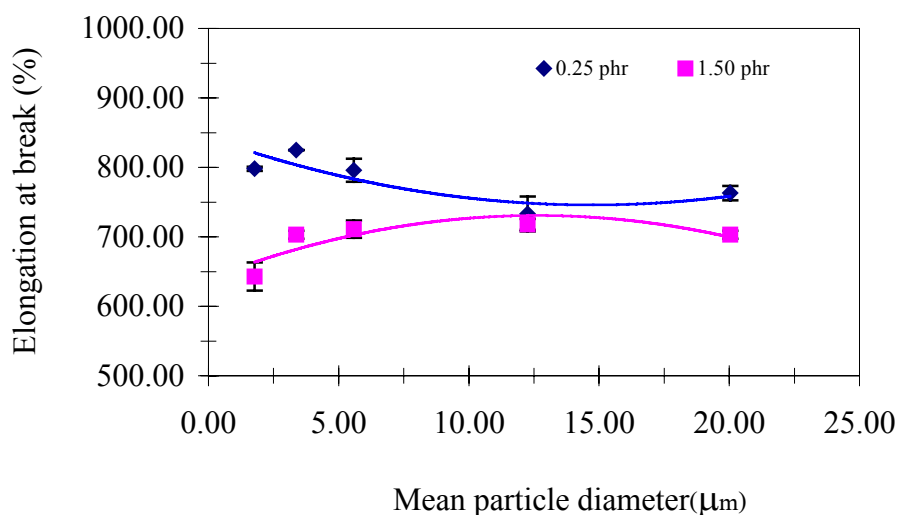
รูปที่ 4.48 ผลของการแปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตติสเปอร์เซ็นต์ต่อ 100% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.49 ผลของการแปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตติสเปอร์เซ็นต์ต่อ 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.50 ผลของการแปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซึ่งคไคบิวทิลไดไทโकार์บา เมตคีสเพอร์ชันต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที

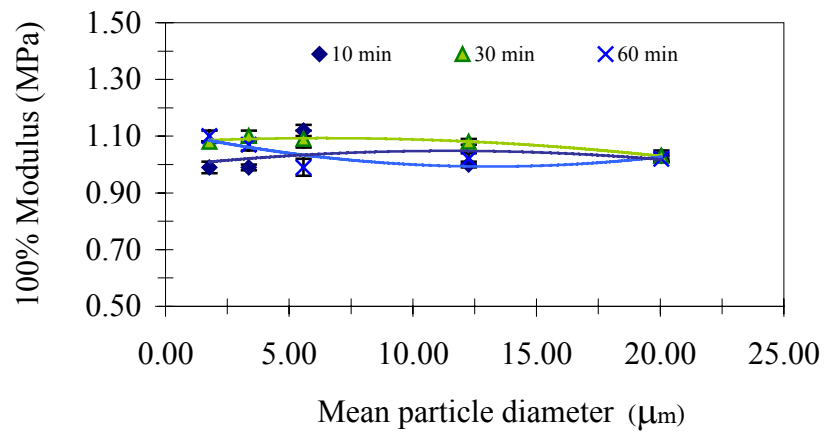


รูปที่ 4.51 ผลของการแปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซึ่งคไคบิวทิลไดไทโकार์บา เมตคีสเพอร์ชันต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที

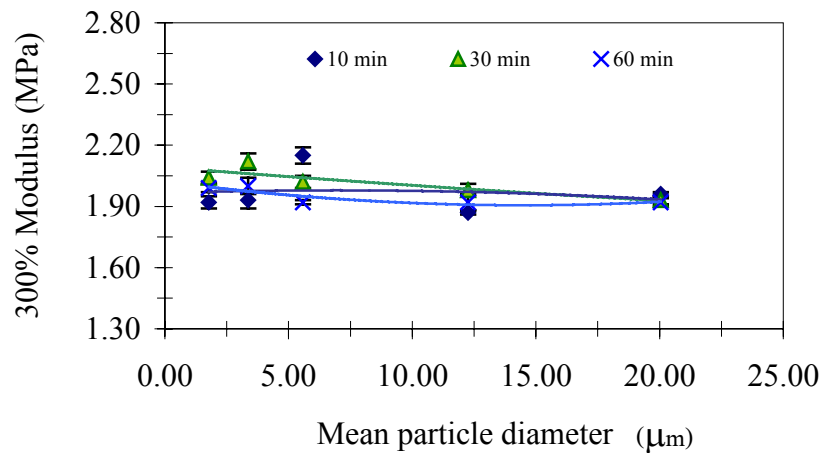
จากผลการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งตั้งแต่ 1 – 20 ไมครอน และแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr และ 1.50 phr แสดงดังตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.48 – 4.51 พบว่าค่า 100%โมดูลัส 300%โมดูลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารตัวเร่งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต จะไปเสริมประสิทธิภาพการทำงานของสารวัลคาไนซ์ให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลมากขึ้น ลดระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ การใช้สารตัวเร่งในปริมาณ 1.50 phr และทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำให้เกิดกระบวนการ Reversion ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขนาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ทำการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการบ่มน้ำยางคอมปาวด์เท่ากัน ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลบางส่วนของอนุภาคยางในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มแสดงดังรูปที่ 4.62 พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะมีปริมาณของอนุภาคสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ขึ้นตัวอย่างปราศจากง่ายเนื่องจากอนุภาคของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลยางขณะทำการดึง จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดขนาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต

จากรูปที่ 4.48 – 4.51 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตจะไม่มีอิทธิพลต่อค่า 100%โมดูลัส 300%โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มยางวัลคาไนซ์อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับกรณีการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต

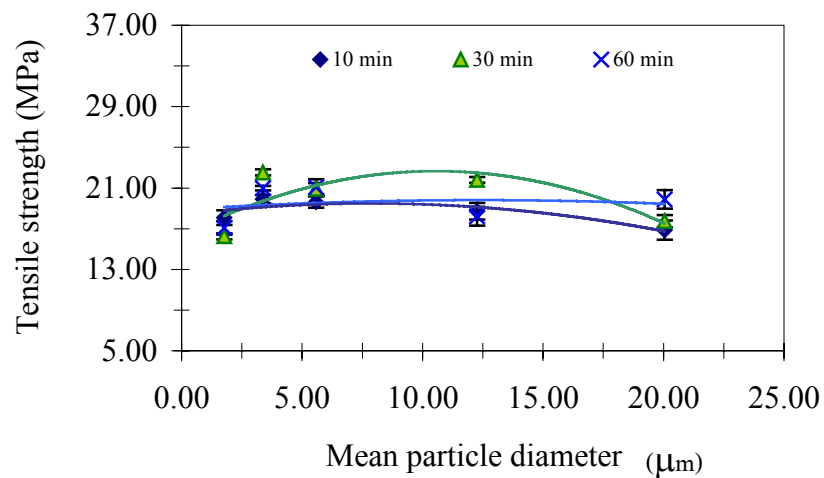
เปรียบเทียบลักษณะพฤติกรรมของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และแผ่นฟิล์มที่ทำการแปรอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์เป็นเวลา 30 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.52 – 4.59 กรณีการใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน 0.25 phr



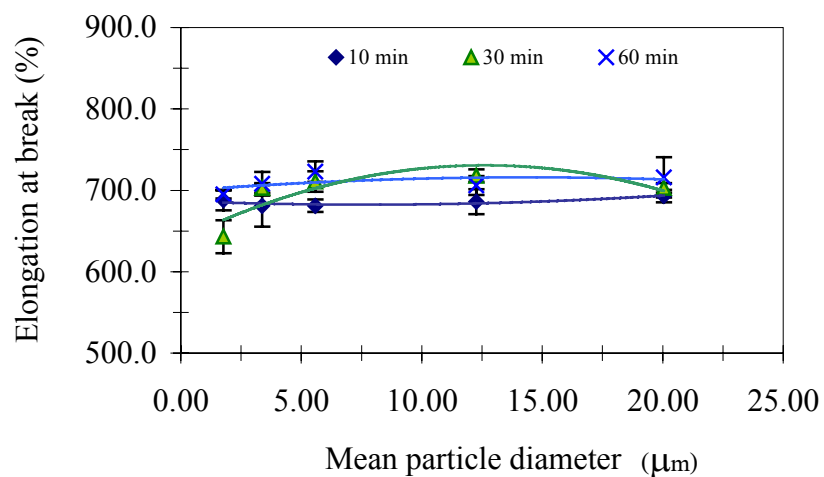
รูปที่ 4.52 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อ 100% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมต 1.50 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



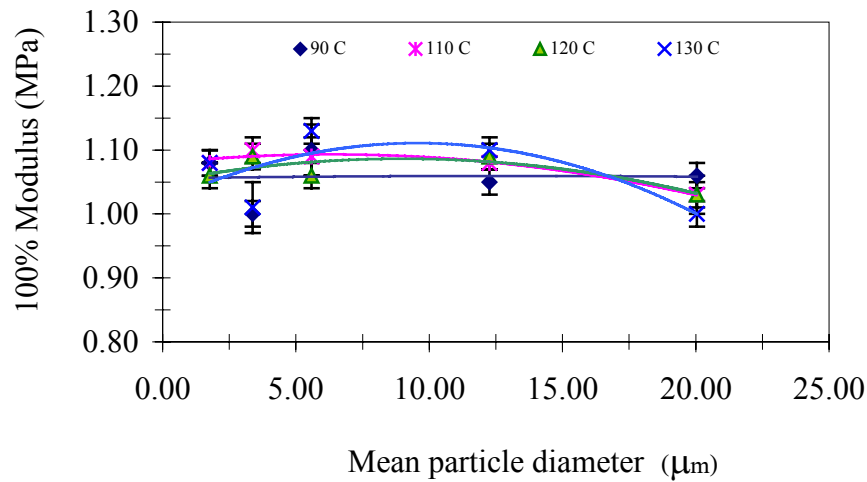
รูปที่ 4.53 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อ 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



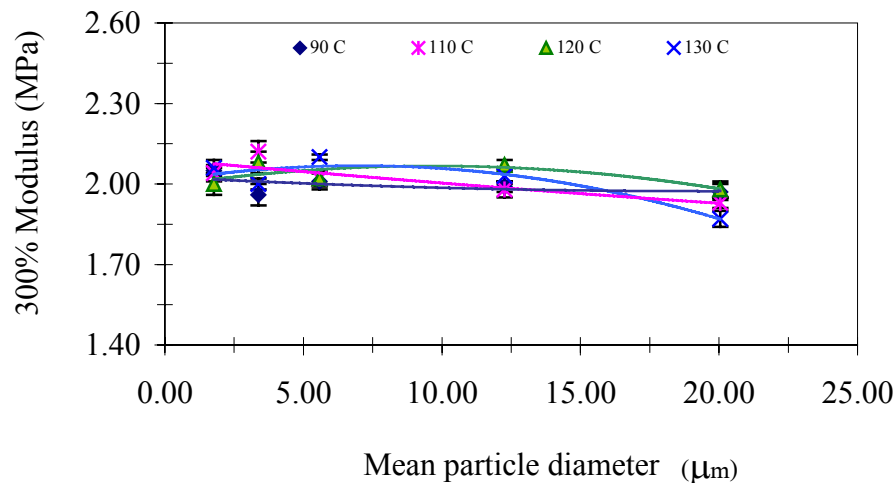
รูปที่ 4.54 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อ ความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



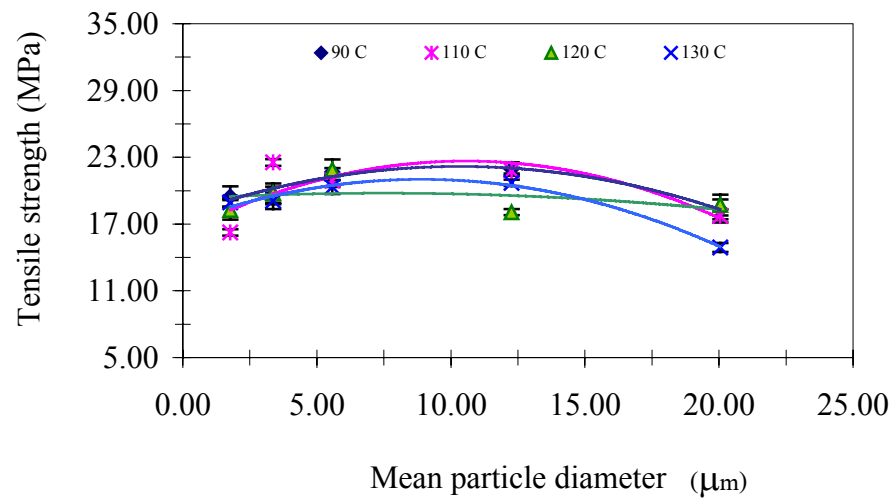
รูปที่ 4.55 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



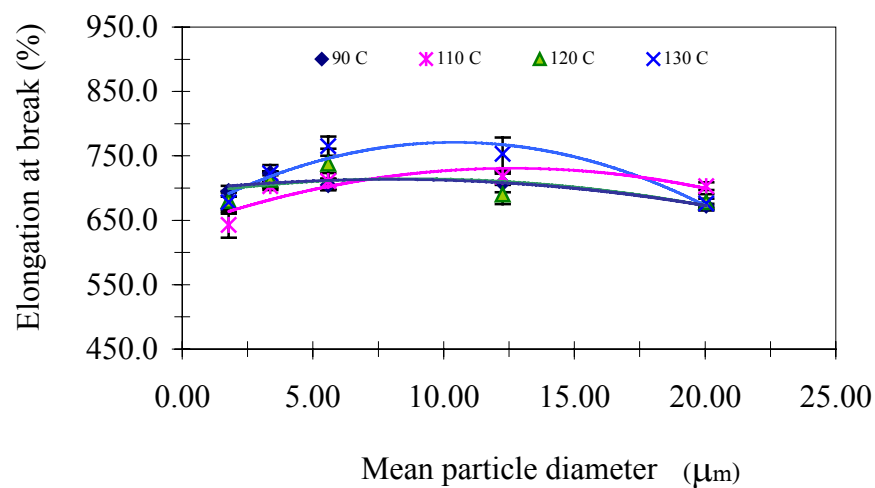
รูปที่ 4.56 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อ 100% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



รูปที่ 4.57 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อ 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



รูปที่ 4.58 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



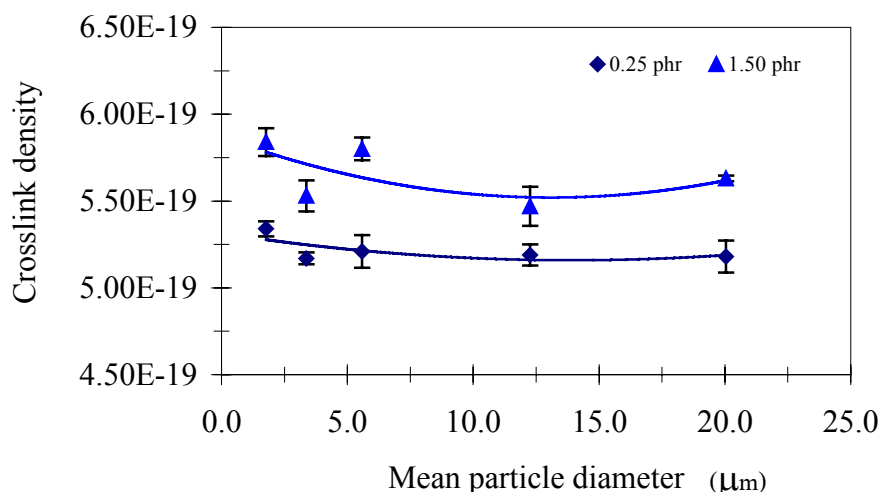
รูปที่ 4.59 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ต่อ สมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมต (ZDBC) ตั้งแต่ 1–20 ไมครอน โดยใช้ปริมาณของสารตัวเร่ง ZDBC 0.25 phr และ 1.50 phr ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.18–4.19 กรณีทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ และทำการวัลคาไนซ์เป็นระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตามลำดับ และแสดงดังรูปที่ 4.52–4.59 กรณีใช้ปริมาณสารตัวเร่ง ZDBC 0.25 phr พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่ง ZDBC ไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มคือ 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เนื่องจากความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์เกิดขึ้นจากความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคยางและภายในอนุภาคยาง รวมทั้งแรง Secondary Valence Force ที่เกิดขึ้นในบริเวณตำแหน่งที่ซ้อนทับกันของอนุภาคยาง (Cook *et al.*, 1997) ซึ่งเป็นผลมาจากการละลายของสารตัวเร่ง ZDBC และการรวมตัวกันของสาร Sulphur – Accelerator Species เพื่อให้อยู่ในรูปของสาร Active Sulphurating Agent ซึ่งจะถูกดูดซับเข้าสู่อนุภาคยาง และเกิดกระบวนการแพร่เข้าภายในอนุภาคยาง ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลขึ้น (Chapman and Porter, 1990) ทำให้แผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติแข็งแรงขึ้น แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตจะไม่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาที่กล่าวมาข้างต้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มเมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตตั้งแต่ 1–20 ไมครอน

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ชัน ต่อสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยการนำน้ำยางคอมเพาต์ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับทดสอบตามข้อ 3.4.3 เตรียมโดยใช้เทคนิคการหล่อเบ้า และทำการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.8 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.60

ตารางที่ 4.20 ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงแปรปริมาณและขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ชัน

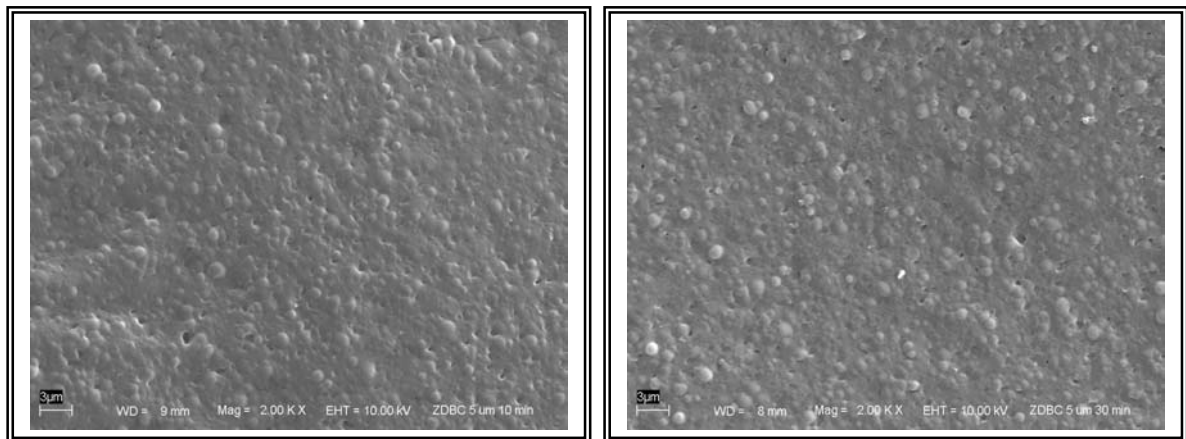
Mean particle diameter of ZDBC(μm)	Crosslink density ($\times 10^{-19}$)	
	0.25 phr	1.50 phr
1.77	5.34	5.84
3.37	5.17	5.53
5.58	5.21	5.80
12.26	5.19	5.47
20.04	5.18	5.63



รูปที่ 4.60 ผลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ชันต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr และ 1.50 phr

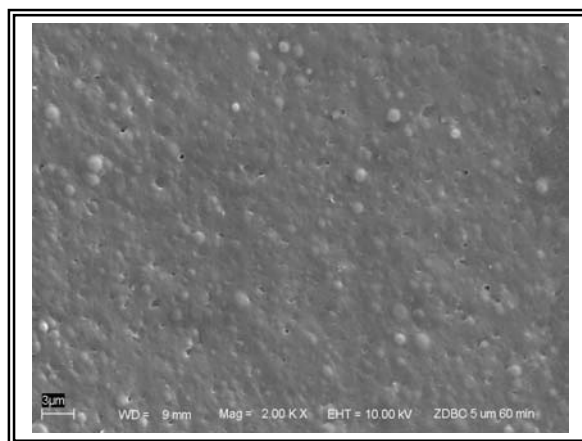
จากผลการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงของคอมเปาต์ที่ทำการแปรปริมาณ และขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต แสดงดังตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.60 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตไม่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ เมื่อใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตในปริมาณ 1.50 phr จะมีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงมากกว่าการใช้สารตัวเร่ง 0.25 phr เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง จะไปเร่งการทำงานของสารวัลคาไนซ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงส่งผลให้การเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดเร็วขึ้น เมื่อทำการควบคุมระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมเปาต์พรีวัลคาไนซ์ การใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลมากกว่า ซึ่งปริมาณของกำมะถันมีมากพอในการทำปฏิกิริยากับสารตัวเร่งเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลขึ้น

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติเมื่อแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซึ่งค้ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บามตติสเพอร์ซัน โดยทำการเตรียมแผ่นฟิล์มตามข้อ 3.4.4 และทำการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9 แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.61 – 4.62



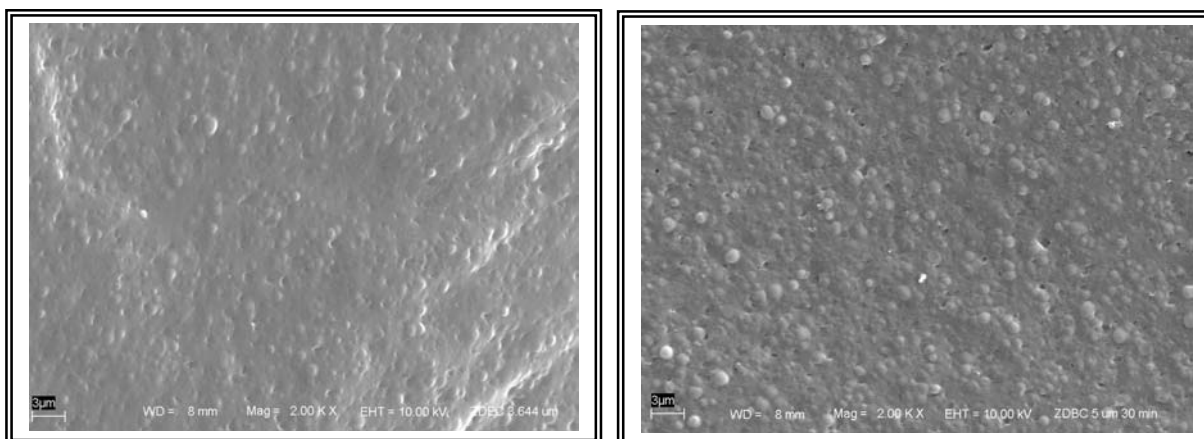
(A)

(B)



(C)

รูปที่ 4.61 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อใช้สารตัวเร่งซึ่งค้ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บามตติสเพอร์ซันปริมาณ 1.50 phr มีขนาดอนุภาค 5.58 ไมครอน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110° C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังนี้ (A) 10 นาที, (B) 30 นาที และ (C) 60 นาที ตามลำดับ ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า



(A)

(B)

รูปที่ 4.62 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่

อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที ใช้ขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ซัน 5.58 ไมครอน โดยการแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ซันดังนี้ (A) 0.25 phr และ (B) 1.50 phr ตามลำดับ ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr และ 1.50 phr โดยใช้ขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต 5.58 ไมครอน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.62 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตทำให้แผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์มีปริมาณของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเม็ดกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ ทำให้ลักษณะความเป็นเนื้อเดียวของแผ่นฟิล์มลดลง การใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 1.50 phr แสดงดังรูป 4.62(B) จะมีลักษณะของอนุภาคสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางจำนวนมาก และการใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 0.25 phr จะมีลักษณะของอนุภาคสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางน้อย แสดงดังรูปที่ 4.62(A)

เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซึ่งได้บิวทิลไดไทโออกไซด์ 5.58 ไมครอน ปริมาณ 1.50 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.61 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น การใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 60 นาที แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.61(C) รองลงมาคือ การใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.61(B) และการใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 10 นาที ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.61(A)

4.4.4 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม วัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ตามข้อ 3.3.2 ซึ่งนำหนักตามสูตรการผสมดังตารางที่ 3.4.4 ขนาดอนุภาคของสารเคมีดีสเพอร์ชันที่เติมลงในน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูง แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารเคมีดีสเพอร์ชันเฉลี่ย (วิเคราะห์โดยปริมาตร) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน

Chemicals	Particle diameter (by volume) (μm)		Distribution ($B_{\text{mid } d_{50v}}$)
	Mean	<90%	
Mix-Dispersion A	1.76	3.25	2.39
Mix-Dispersion B	5.91	13.54	5.01
Mix-Dispersion C	9.29	21.59	5.01
Mix-Dispersion D	19.09	44.35	5.83
Mix-Dispersion E	44.00	127.20	7.19

ศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปอนด์ หลังทำการบ่มน้ำยางที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำน้ำยางคอมปอนด์มาทำการจุ่มแบบพิมพ์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปอนด์ แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน ทำการบ่มเร้งน้ำยางคอมปอนด์ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

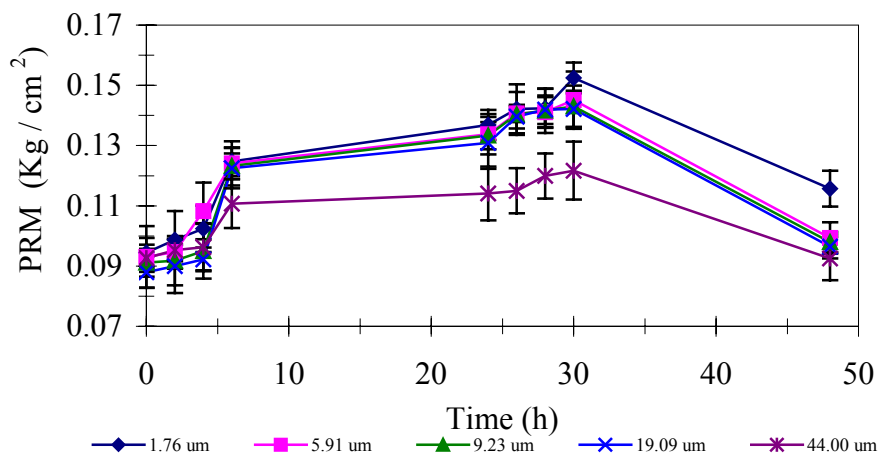
Properties	Mean particle diameter of Mix-chemicals (μm)				
	1.76	5.91	9.29	19.09	44.00
pH	9.51	9.47	9.54	9.58	9.58
Viscosity (cps)	16	15	15	15	15
Chloroform Number	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4

จากผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน แสดงดังตารางที่ 4.22 พบว่าขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมเพาต์ คือ ค่าความเป็นกรด – ด่าง ความหนืด และค่าคลอโรฟอร์ม

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ ทำการบ่มน้ำยางคอมเพาต์ที่อุณหภูมิ 40°C เตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ตามข้อ 3.4.1 และทำการทดสอบตามวิธีการข้อ 3.6.6 แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.63

ตารางที่ 4.23 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ (PRM Test) ของน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน บ่มน้ำยางคอมเพาต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ

Time (h)	PRM (Kg/cm ²)				
	1.76 μm	5.91 μm	9.29 μm	19.09 μm	44.00 μm
0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
2	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10
4	0.10	0.11	0.10	0.09	0.10
6	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
24	0.14	0.13	0.13	0.13	0.11
26	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11
28	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12
30	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12
48	0.12	0.10	0.10	0.10	0.09



รูปที่ 4.63 ผลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมโปสิต ทำการบ่มน้ำยางคอมโปสิตที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 0-48 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมโปสิต โดยการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสม ดังตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.63 พบว่าเมื่อทำการบ่มน้ำยางคอมโปสิตที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันไม่มีผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มน้ำยางคอมโปสิตมากขึ้นการใช้ขนาดอนุภาคดีสเพอร์ชันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้น้ำยางคอมโปสิตมีการเพิ่มขึ้นของระดับการพรีวัลคาไนซ์ที่น้อยลง ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีการใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสม 44 ไมครอน จะส่งผลให้ระดับการพรีวัลคาไนซ์ที่ต่ำที่สุด เนื่องจากสารเคมีก่อนจะผสมในน้ำยางธรรมชาติจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอยซึ่งสามารถละลายได้บางส่วนในของเหลวในน้ำยาง โดยที่สารกระตุ้นในที่นี้คือซิงค์ออกไซด์จะไปกระตุ้นการทำงานของสารตัวเร่งคือ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตและซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต ให้ไปทำปฏิกิริยากับสารกำมะถันเพื่อที่จะให้อยู่ในรูปของ Sulphur – Accelerator Species ซึ่ง Species นี้จะถูกดูดซับเข้าสู่อนุภาคยาง แล้วจะเกิดการแพร่ (Diffusion) ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ขึ้นของโมเลกุลยางภายในอนุภาคยาง (Porter *et al*, 1992) เพราะฉะนั้นในการใช้สารเคมีผสมดีสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ทำให้ความสามารถในการละลายใน Aqueous Phase ของ Latex จะลดลง ส่งผลให้การใช้ขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน 44 ไมครอน ในน้ำยางคอมโปสิตมีระดับการพรีวัลคาไนซ์ต่ำที่สุด แต่จากการทดลองการใช้ขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน 1 – 20 ไมครอน ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมโปสิตค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน แตกต่างกันน้อยมาก แสดงให้เห็นการใช้ขนาด

อนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน 1 – 20 ไมครอน จะไม่มีผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์มากกว่า 30 ชั่วโมง จะพบว่าระดับพรีวัลคาไนซ์จะลดลง เนื่องจากสภาพผิวของอนุภาคยางเปลี่ยนไป ส่งผลให้ไปต้านการหล่อรวมกันของอนุภาคยางเพื่อให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้ค่า PRM ที่ได้มีแนวโน้มลดลง (Claramma and Mathew, 1997)

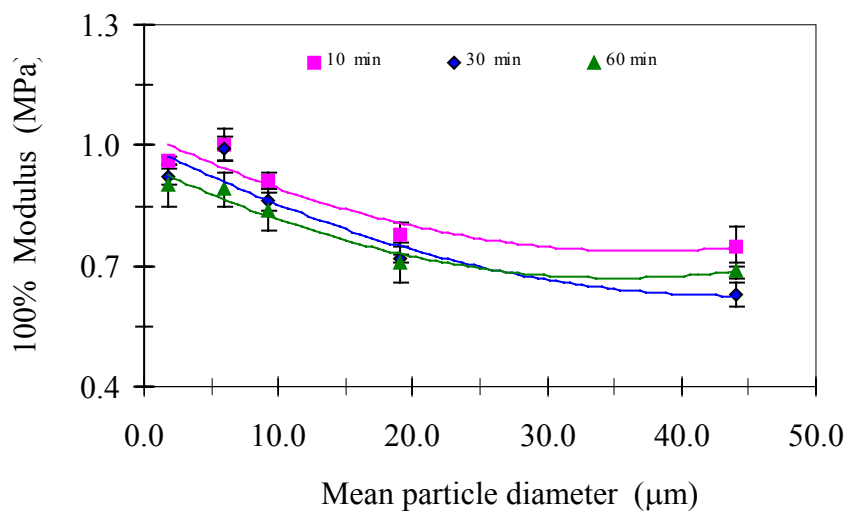
ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยทำการเตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.2 และนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพดังการทดสอบข้อ 3.6.7 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 – 4.25 และรูปที่ 4.64 – 4.71

ตารางที่ 4.24 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

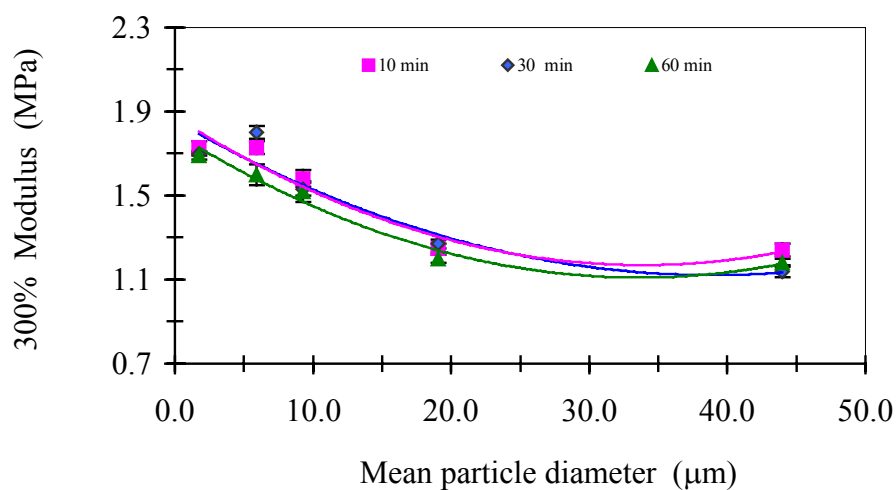
Properties	Time (min)	Mean particle size diameter Mix-chemicals (μm)				
		1.76	5.91	9.29	19.09	44.00
100% Modulus (MPa)	10	0.96	1.0	0.91	0.78	0.75
	30	0.92	0.99	0.86	0.72	0.63
	60	0.90	0.89	0.84	0.71	0.69
300% Modulus (MPa)	10	1.73	1.73	1.58	1.25	1.24
	30	1.70	1.80	1.53	1.27	1.14
	60	1.69	1.60	1.52	1.20	1.18
Tensile strength (MPa)	10	27.19	28.54	28.10	26.28	27.05
	30	27.69	27.48	28.58	26.73	26.85
	60	24.68	29.71	29.62	26.12	26.18
Elongation at break (%)	10	763	800	821	912	901
	30	810	833	870	958	973
	60	820	883	886	988	936

ตารางที่ 4.25 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคสารตัว
เร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดบิว
ทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เวลา 30 นาที

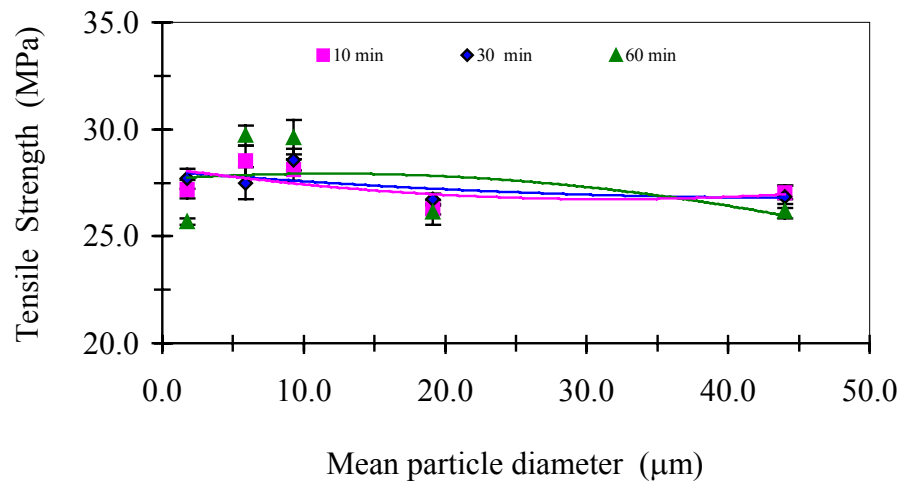
Properties	Temp. (°C)	Mean particle size diameter Mix-chemicals (µm)				
		1.76	5.91	9.29	19.09	44.00
100% Modulus (MPa)	90	0.92	0.97	0.88	0.77	0.74
	110	0.92	0.99	0.86	0.72	0.63
	120	0.92	0.91	0.87	0.76	0.75
	130	0.85	0.87	0.92	0.73	0.70
300% Modulus (MPa)	90	1.66	1.73	1.61	1.29	1.26
	110	1.70	1.80	1.53	1.27	1.14
	120	1.77	1.62	1.55	1.28	1.26
	130	1.52	1.44	1.51	1.20	1.18
Tensile strength (MPa)	90	26.77	31.6	27.64	30.02	26.81
	110	27.69	27.48	29.05	26.66	27.18
	120	28.48	28.86	28.02	22.19	25.98
	130	26.75	30.42	27.58	25.31	25.79
Elongation at break (%)	90	800	850	825	950	920
	110	810	833	870	958	973
	120	808	850	891	908	916
	130	871	913	895	991	963



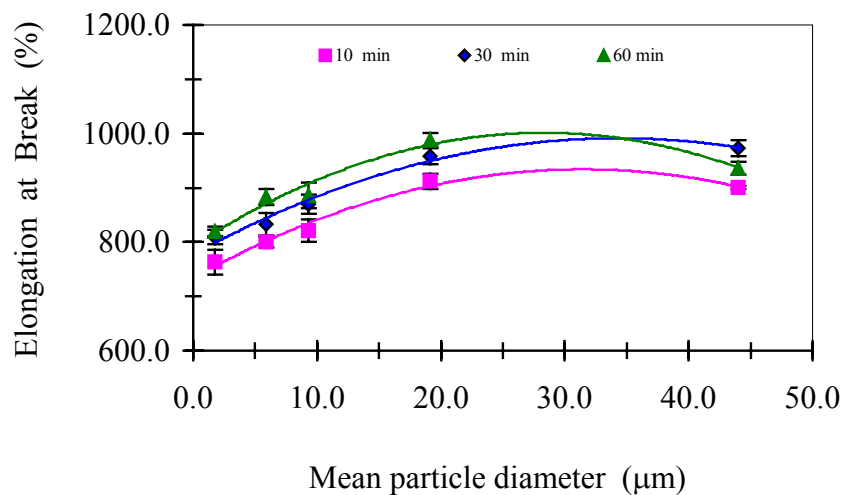
รูปที่ 4.64 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติ 100%โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลา 10, 30 และ 60 นาที



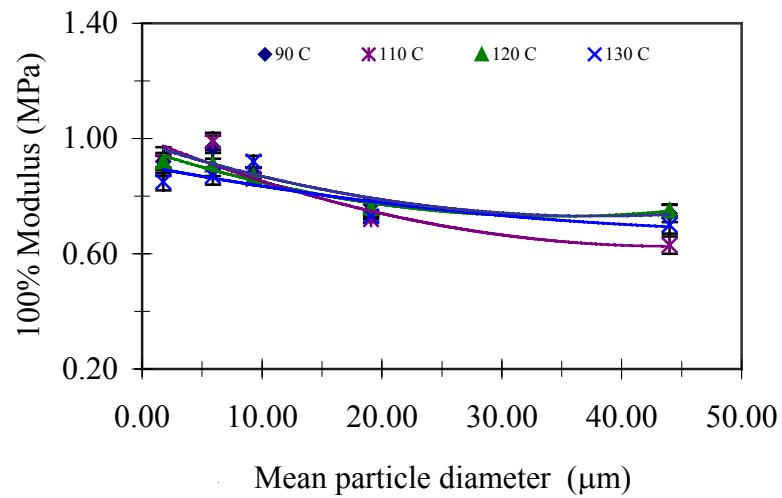
รูปที่ 4.65 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติ 300%โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลา 10, 30 และ 60 นาที



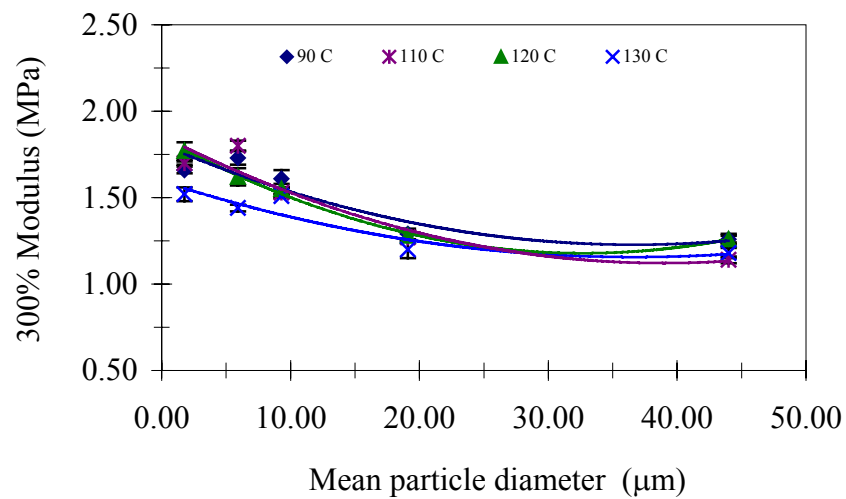
รูปที่ 4.66 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



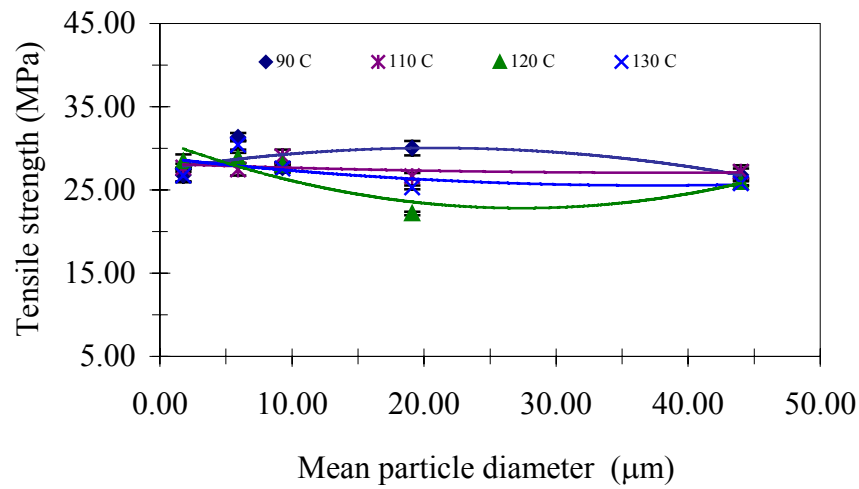
รูปที่ 4.67 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



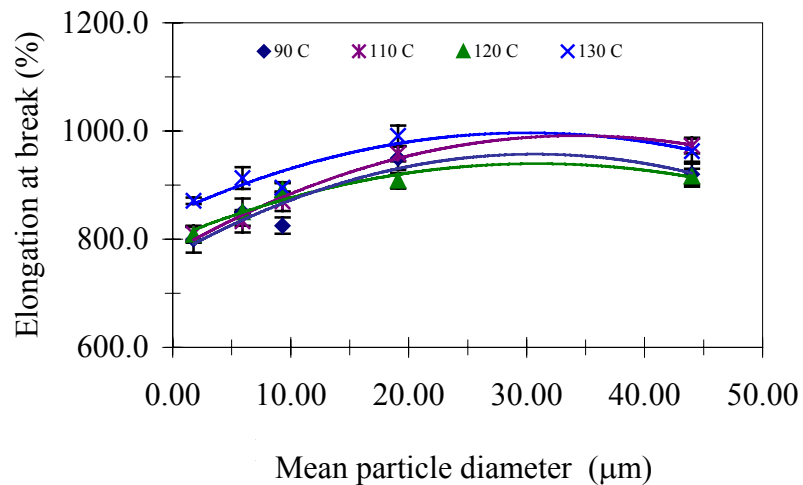
รูปที่ 4.68 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติ 100%โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.69 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติ 300%โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.70 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที



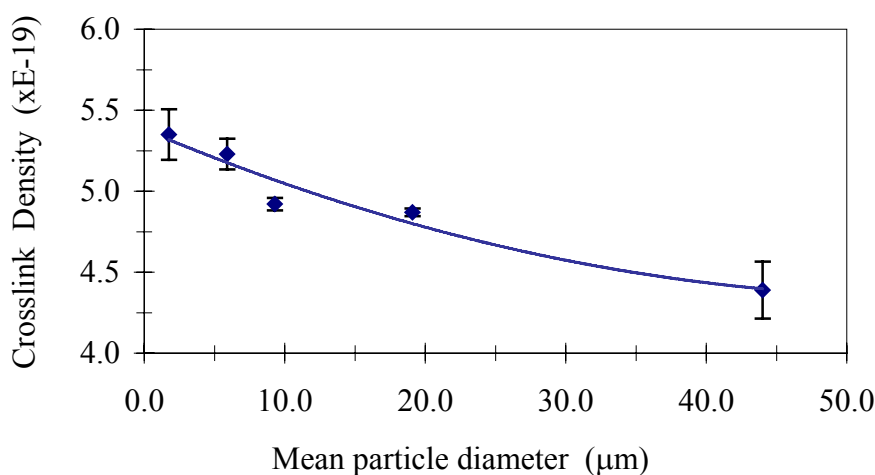
รูปที่ 4.71 ผลของการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ทำการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมคิสเทอร์ชันตั้งแต่ 1–20 ไมครอน แสดงผลดังตารางที่ 4.24–4.25 โดยทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าผลการทดสอบ 100% โมคูลัส 300% โมคูลัส และความต้านทานต่อแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4.64–4.66 ตามลำดับ พบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้ขนาดอนุภาคสารเคมีผสมคิสเทอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.67 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมคิสเทอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ซึ่งจะให้ผลเช่นเดียวกับเมื่อทำการแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.68–4.71 แต่ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะมีแนวโน้มที่ลดลงค่อนข้างน้อยมากค่อนข้างคงที่ ไม่ชัดเจนเช่นกรณีการทดสอบโมคูลัส เมื่อพิจารณาผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์ม เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมตั้งแต่ 1–20 ไมครอน แสดงดังรูปที่ 4.74 พบว่าการใช้สารเคมีผสมคิสเทอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมครอน แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างสูงกว่าการใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมครอน ขึ้นไปซึ่งจะมีลักษณะของอนุภาคสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในเนื้ออย่างกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติในปริมาณที่มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ค่าโมคูลัสและความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง และระยะยืดจนขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์เกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคยางและภายในอนุภาคยางรวมทั้งแรง Secondary Valence Force ที่เกิดขึ้นบริเวณตำแหน่งที่ซ้อนทับกันของอนุภาคยาง (Cook *et al.*, 1997) สอดคล้องกับการบรรยายของ Blackley (1997b: 485-491) ลักษณะของอนุภาคของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในเนื้อยางจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลยางขณะที่ทำการยืดตอนเริ่มต้น ซึ่งในขณะที่ยืดโมเลกุลของยางสามารถเคลื่อนที่และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้ เมื่อยืดไปถึงจุดจุดหนึ่งที่โมเลกุลยางไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ต้องเอาชนะแรง Secondary Valence Bonds ที่เกิดขึ้นนี้ เพื่อจะได้ทราบความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มขณะที่แผ่นฟิล์มขาด การทดสอบโมคูลัสโอกาสที่โมเลกุลยางจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้น้อยเนื่องจากเป็นการยืดในระยะน้อย ๆ ขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในเนื้อยางในแผ่นฟิล์มจะมีอิทธิพลต่อการทดสอบโมคูลัสมาก ส่วนการทดสอบระยะยืดจนขาด โอกาสที่โมเลกุลยางจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้มาก แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในเนื้อยางจะมีอิทธิพลต่อการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงน้อย

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ โดยเตรียมคอมเปคต์น้ำยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 44 ไมครอน ทำการบ่มน้ำยางคอมเปคต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.3 และนำมาทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงตามวิธีการข้อ 3.6.8 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.72

ตารางที่ 4.26 ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน

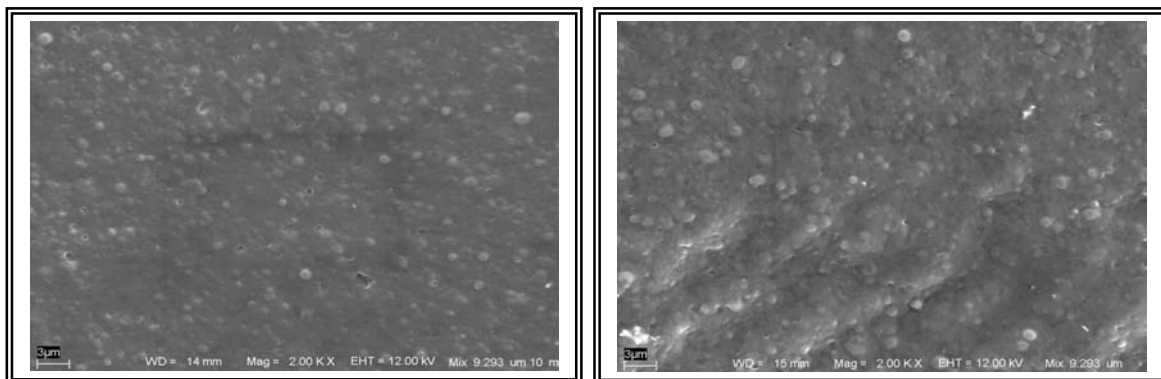
Mean particle diameter of Mix-chemicals (μm)	Crosslink density ($\times 10^{-19}$)
1.76	5.35
5.91	5.23
9.29	4.92
19.09	4.87
44.00	4.39



รูปที่ 4.72 ผลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density)

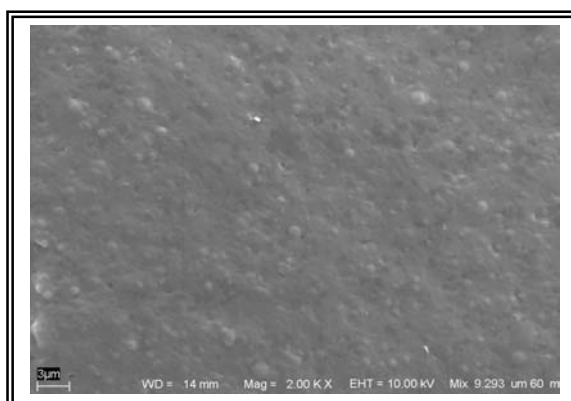
จากผลการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงแสดงดังรูปที่ 4.72 พบว่าความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเปอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เนื่องจากความสามารถในการหลอมของสารเคมีที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ในขั้นตอนการวัลคาไนซ์ สามารถหลอมเข้าในเนื้อยางได้มากกว่าการใช้สารเคมีที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เพื่อเข้าไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุลกับโมเลกุลยาง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มดังรูปที่ 4.74 จะพบว่าการใช้ขนาดอนุภาคสารน้อยกว่า 5 ไมครอน ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะมีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันสูงกว่าการใช้ขนาดอนุภาคสารเคมีตั้งแต่ 10 ไมครอนขึ้นไป

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.4 นำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.73 – 4.74



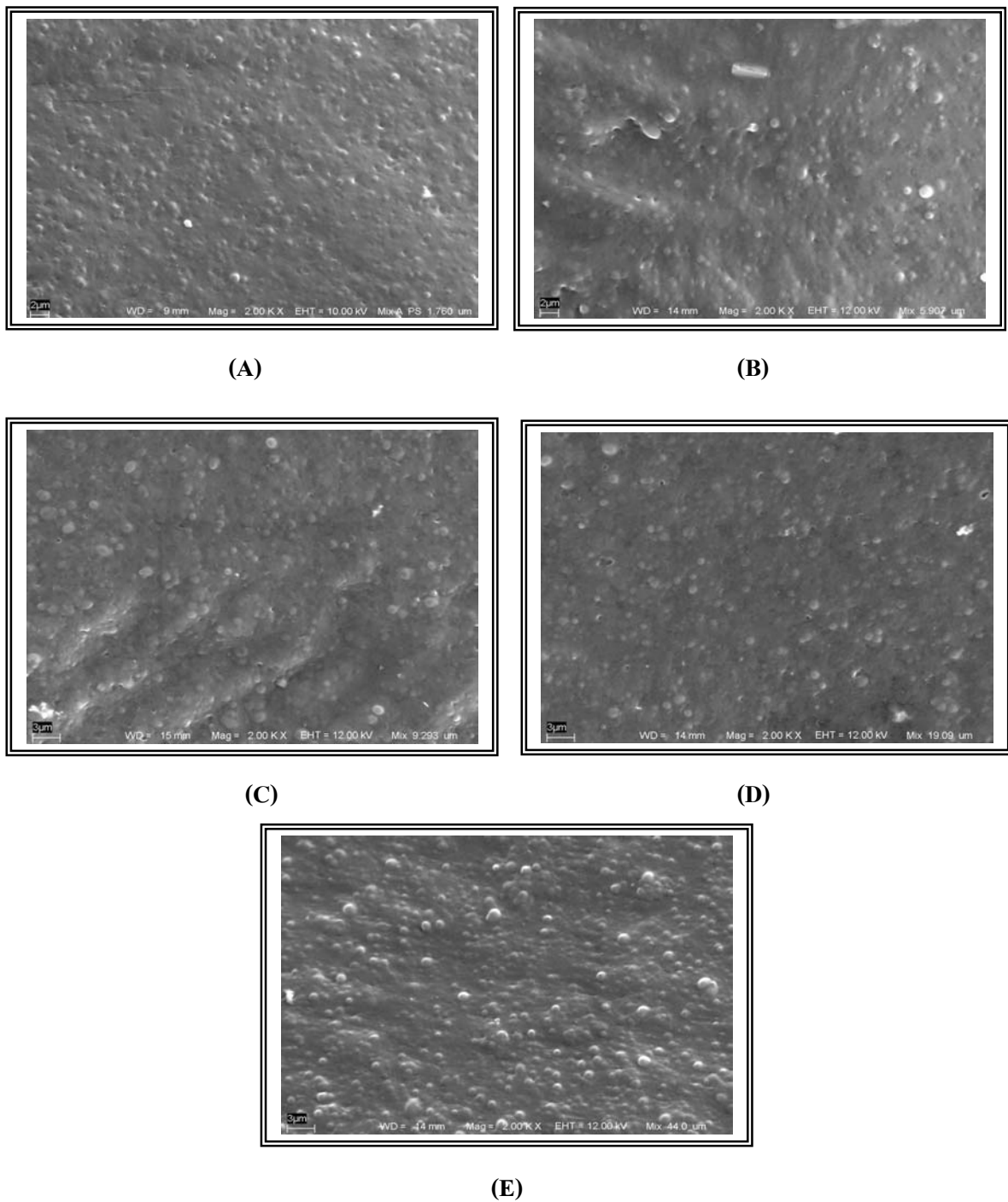
(A)

(B)



(C)

รูปที่ 4.73 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ใช้ขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน 9.29 ไมครอน แปรระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ดังนี้ (A) 10 min, (B) 30 min และ (C) 60 min ตามลำดับ ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.74 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที แปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเปอร์ชันดังนี้ (A) $1.76\ \mu\text{m}$, (B) $5.91\ \mu\text{m}$, (C) $9.29\ \mu\text{m}$, (D) $19.09\ \mu\text{m}$ และ (E) $44.00\ \mu\text{m}$ ตามลำดับ ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อแปรขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 44 ไมครอน ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน 9.29 ไมครอนแสดงดังรูปที่ 4.73 พบว่าการใช้เวลาในการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงขึ้น จะพบว่าการใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 60 นาที ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.73(C) รองลงมาคือการใช้เวลาวัลคาไนซ์ 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.73(B) และใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 10 นาที แสดงดังรูปที่ 4.73(A) แผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยที่สุด

เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 44 ไมครอน ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.74 พบว่าการใช้ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมครอน ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างสูงกว่าการใช้ขนาดอนุภาคของสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมครอน ขึ้นไป เนื่องจากความสามารถในการหลอมของอนุภาคสารเคมีเข้าสู่อนุภาคยางในขั้นตอนการวัลคาไนซ์ การใช้สารเคมีผสมดีสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถหลอมได้มากกว่าการใช้สารเคมีผสมดีสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่