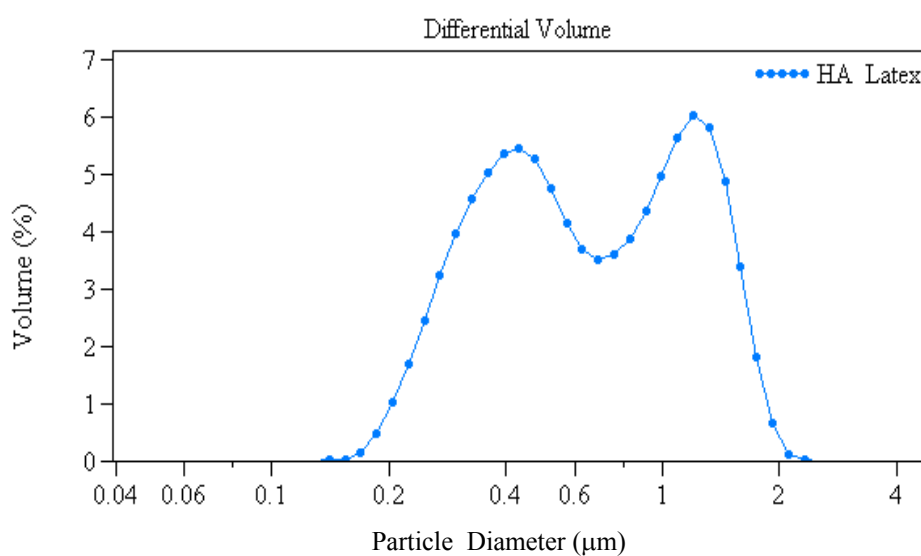


บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ศึกษาขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Natural Rubber Latex)

จากการศึกษาขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูง ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Coulter LS 230 ตามวิธีการทดสอบดังข้อ 3.6.1 ปรากฏผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชั้น ชนิดแอมโมเนียสูง จากเครื่อง Coulter LS 230

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชั้นมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเป็นแบบ Bimodal ขนาดอนุภาคของน้ำยางชั้นโดยปริมาตรแบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรก การกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางธรรมชาติชั้นจะอยู่ในช่วง 0.14 – 0.69 ไมครอน มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยในช่วงแรกนี้เท่ากับ 0.43 ไมครอน และช่วงที่สองการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางธรรมชาติชั้นจะอยู่ในช่วง 0.69 – 2.31 ไมครอน โดยจะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยในช่วงที่สองนี้เท่ากับ 1.20 ไมครอน เมื่อมองโดยภาพรวมการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางธรรมชาติชั้นจะมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.14 – 2.31 ไมครอน ที่ปริมาตรรวม

90% จะมีขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชั้นน้อยกว่า 1.41 ไมครอน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 0.75 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ohya *et al.*, (2000), Kovuttikulrangsie and Tanaka (1999) และ Tangpakdee *et al.*, (1999) พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคยางในน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง จะมีลักษณะคล้ายกับการกระจายตัวของอนุภาคยางในน้ำยางสดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเซ็นทริฟิวส์ มีลักษณะเป็น Bimodal การกระจายตัวของอนุภาคยางในน้ำยางค่อนข้างกว้าง แสดงให้เห็นว่าน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะเป็น Polydisperse

4.2 ศึกษาการเตรียมสารเคมีดีสเพอร์ชัน (Dispersion)

4.2.1 ศึกษาขนาดอนุภาคของสารเคมีก่อนทำการบดผสม (Ball Mill)

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำยาง โดยปกติมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยางในน้ำยางค่อนข้างมาก จึงมีความจำเป็นต้องเตรียมสารเคมีก่อนที่จะนำมาผสมในน้ำยาง ให้มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับอนุภาคยางในน้ำยาง ต้องมีระบบความเสถียรเช่นเดียวกับน้ำยางที่ใช้ และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางที่ใช้ (Blackley, 1997a: 1-5) ซึ่งจากการทดสอบขนาดอนุภาคสารเคมีก่อนทำการบดผสมโดยเทคนิคการบดมิล พบว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยปริมาตรแสดงดังตารางที่ 4.1 และมีลักษณะการกระจายตัว (Distribution) ของอนุภาคสารเคมีดังรูปที่ 4.2

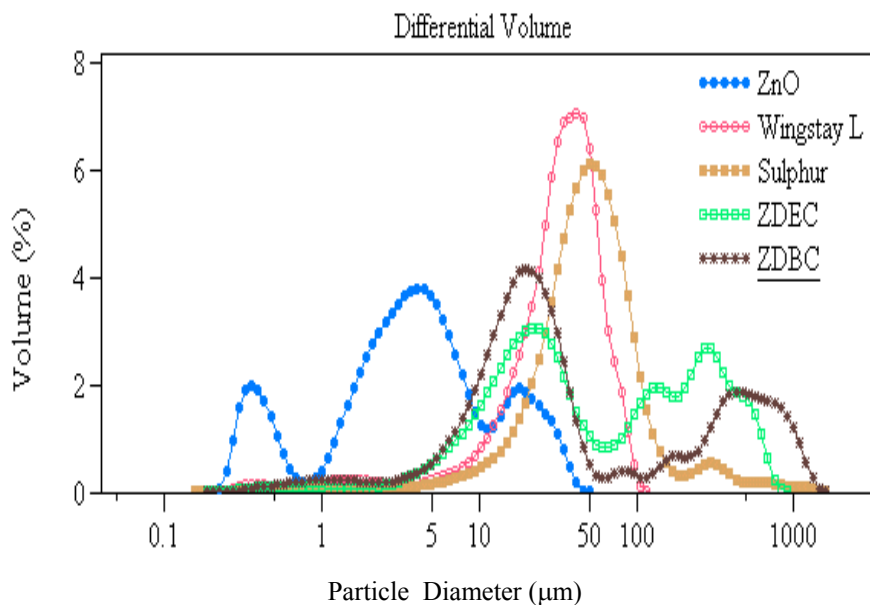
ตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรของสารเคมีก่อนทำการบดผสม

Chemical	Particle Size Diameter by Volume (μm)		$B_{\text{mid } d_{50} \text{ v}}$
	Mean	< 90%	
ZnO	6.92	19.45	1.57
Wingstay L	35.97	62.05	0.74
Sulphur	74.31	111.70	0.85
ZDEC	135.10	387.80	4.70
ZDBC	177.60	631.70	10.18

หมายเหตุ : Mean : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยปริมาตรของอนุภาคสารเคมี

< 90% : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยรวมที่ปริมาตร 90% จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าค่าที่แสดงในตาราง

$B_{\text{mid } d_{50} \text{ v}}$: ค่าการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมี



รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีชนิดต่าง ๆ ก่อนทำการบดผสม (Ball Mill)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าขนาดอนุภาคของสารเคมีก่อนทำการบดผสมจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคภายในน้ำยางค่อนข้างมาก ซึ่งจากการทดลองข้างต้นพบว่าขนาดอนุภาคภายในน้ำยางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 0.75 ไมครอน การกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วงกว้างมาก จึงจำเป็นต้องมีการบดผสมให้สารเคมีมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับอนุภาคภายในน้ำยางโดยทั่วไปมีขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน และในบางอุตสาหกรรมมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมครอน (Carlvert, 1982: 8) เพื่อลดปัญหาการกระจายตัวของสารเคมีภายในน้ำยางคอมพาวด์ ให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น และเพื่อช่วยลดปัญหาการตกตะกอนของสารเคมี จากการทดลองจะพบว่าเฉพาะสารเคมีซิงค์ออกไซด์ จะมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับอนุภาคภายในน้ำยางมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 จะพบว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารเคมีแต่ละชนิดจะมีลักษณะการกระจายตัวดังนี้

กรณีสารเคมีวัลคาไนซ์กัมมันการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีจะอยู่ในช่วง 0.15 – 1584 ไมครอน และมีขนาดอนุภาคกัมมันเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 74.31 ไมครอน ลักษณะของกราฟจะเป็นแบบ Singlemodal ซึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกับสารเคมีวิงสแตย์ – แอล มีการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วง 0.22 – 116.30 ไมครอน และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 35.97 ไมครอน

กรณีสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตจากรูปที่ 4.2 พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วงกว้างมีลักษณะเป็น Polymodal แบ่งเป็น 3 ช่วง โดยช่วงแรกลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วง 0.19 – 66.44 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 21.69 ไมครอน ช่วงที่สองอนุภาคสารเคมีมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 66.44 – 168.90 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 127.60 ไมครอน และช่วงที่สามการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วง 168.90 – 905.10 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 269.20 ไมครอน เมื่อมองโดยภาพรวมการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วง 0.19–905.10 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 135.10 ไมครอน

กรณีสารตัวเร่งซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตจากรูปที่ 4.2 พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีเป็นแบบ Bimodal แบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกอนุภาคของสารเคมีกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.19 – 60.52 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 21.69 ไมครอน และช่วงที่สองการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วง 60.52 – 1584 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 429.20 ไมครอน เมื่อมองโดยภาพรวมมีขนาดอนุภาคกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.19 – 1584 ไมครอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 177.60 ไมครอน

กรณีสารกระตุ้นซิงค์ออกไซด์จากรูปที่ 4.2 พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีเป็นแบบ Polymodal แบ่งเป็น 3 ช่วง คือช่วงแรกการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีอยู่ในช่วง 0.20 – 0.83 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 0.34 ไมครอน ช่วงที่สองมีการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วง 0.83 – 11.29 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 4.05 ไมครอน และช่วงที่สามอนุภาคสารเคมีกระจายตัวอยู่ในช่วง 11.29 – 50.22 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 18.0 ไมครอน เมื่อมองโดยภาพรวมลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีจะอยู่ในช่วง 0.20 – 50.22 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 6.92 ไมครอน

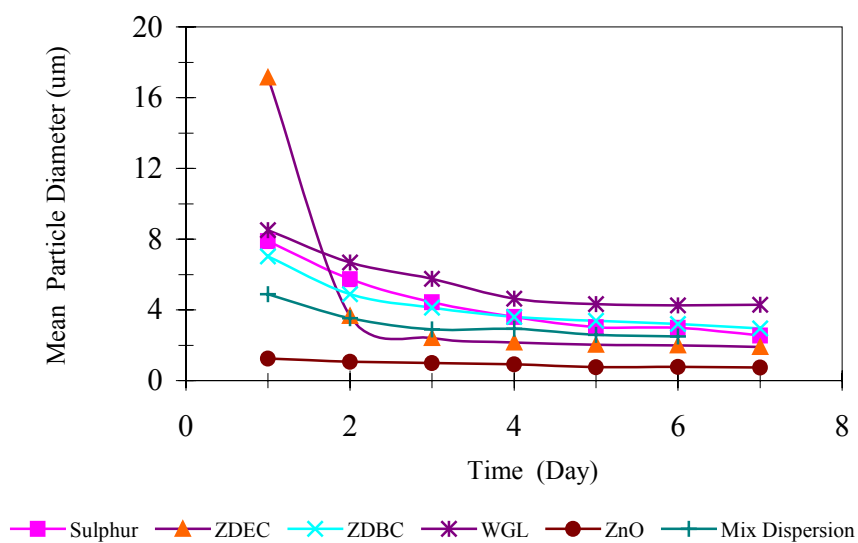
4.2.2 ศึกษาระยะเวลาการบดผสม (Ball Mill) ต่อการลดขนาดอนุภาคของสารเคมี

ศึกษาการเตรียมสารเคมีคิสเพอร์ชันเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่ต้องการก่อนนำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติ โดยเตรียมสารเคมีคังซ้อ 3.5.2 แล้วนำตัวอย่างคิสเพอร์ชันที่ได้ไปทดสอบขนาดอนุภาคของสารเคมีด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Coulter LS 230 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 4.4 - 4.9

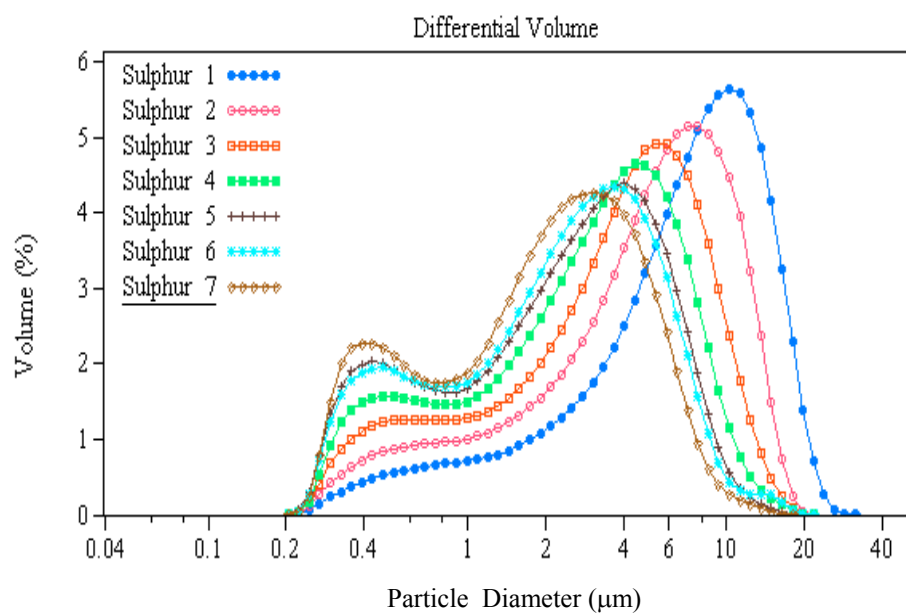
ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคสารเคมีคิสเพอร์ชันเฉลี่ยโดยปริมาตร และจำนวนรอบ

ที่ใช้ในการบดผสมสารเคมี เมื่อแปรเวลาในการบดผสม (Ball Mill)

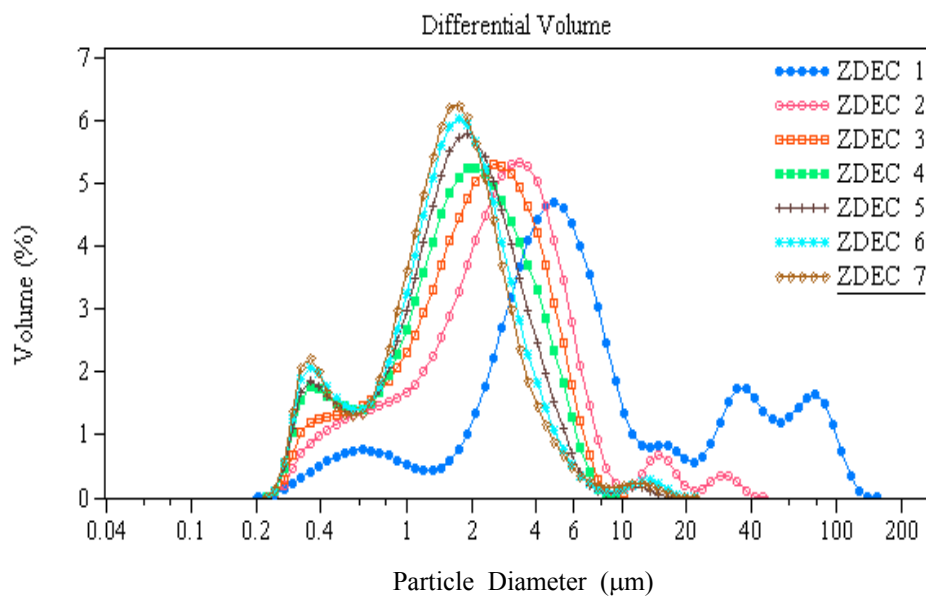
เวลา (วัน)	Sulphur (μm)		ZDEC (μm)		ZDBC (μm)		ZnO (μm)		Wingstay L (μm)		Mix – Chemical (μm)	
	Mean	< 90%	Mean	< 90%	Mean	< 90%	Mean	< 90%	Mean	< 90%	Mean	< 90%
1	7.89	14.97	17.14	57.22	7.02	14.37	1.25	2.62	8.50	18.48	4.89	11.63
2	5.74	11.33	3.66	6.14	4.89	10.29	1.06	1.81	6.68	14.27	3.53	7.84
3	4.44	8.96	2.41	4.61	4.13	8.67	1.00	1.91	5.75	12.45	2.89	6.29
4	3.61	7.39	2.15	4.20	3.59	7.48	0.92	1.82	4.64	10.40	2.94	6.43
5	3.02	6.34	2.03	3.77	3.39	7.03	0.77	1.63	4.33	9.63	2.60	5.69
6	2.99	6.51	1.99	3.54	3.19	6.53	0.77	1.71	4.25	9.28	2.50	5.52
7	2.55	5.34	1.90	3.36	2.95	5.99	0.75	1.62	4.30	9.07	-	-
จำนวนรอบ (รอบ / นาที)	60		58		56		55		60		57	



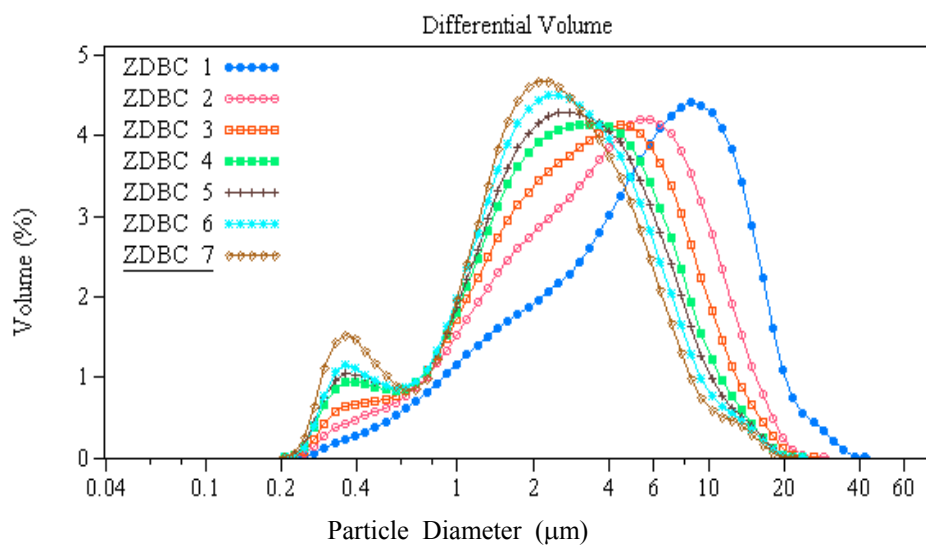
รูปที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยปริมาตรของสารเคมีดีสเพอร์ชันชนิดต่าง ๆ เมื่อแปรระยะเวลาในการบดผสม



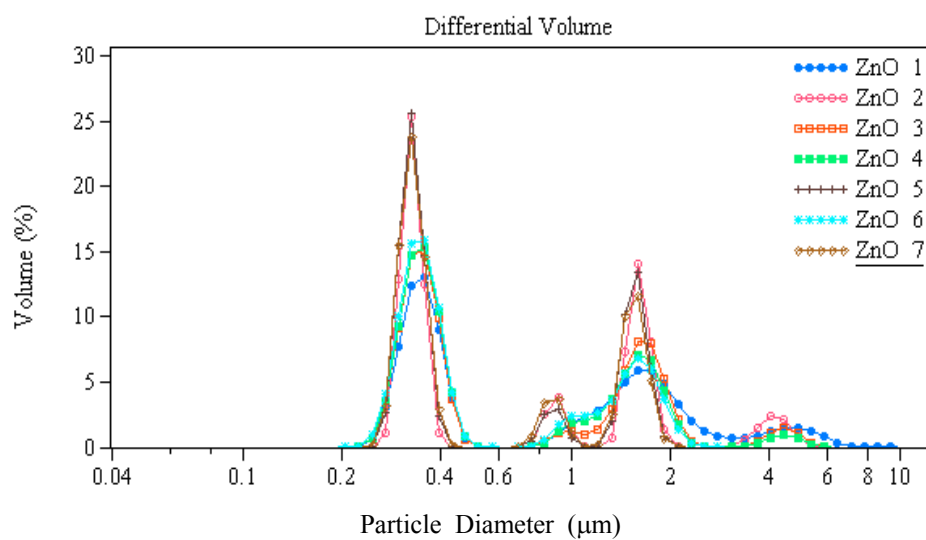
รูปที่ 4.4 ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีกำมะถันดีสเพอร์ชัน ที่ระยะเวลาการบดผสมสารเคมี 1 - 7 วัน



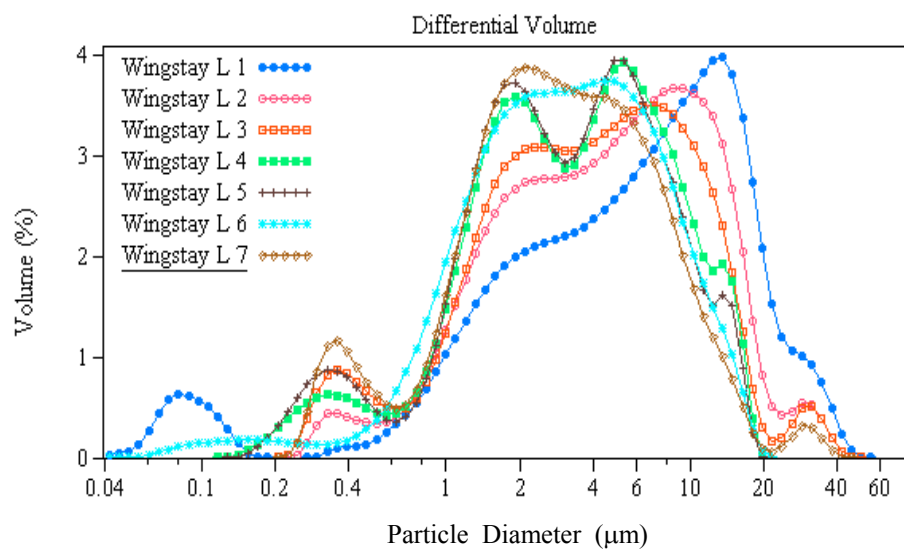
รูปที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมตติสเปอร์ชัน ที่ระยะเวลาการบดผสมสารเคมี 1 – 7 วัน



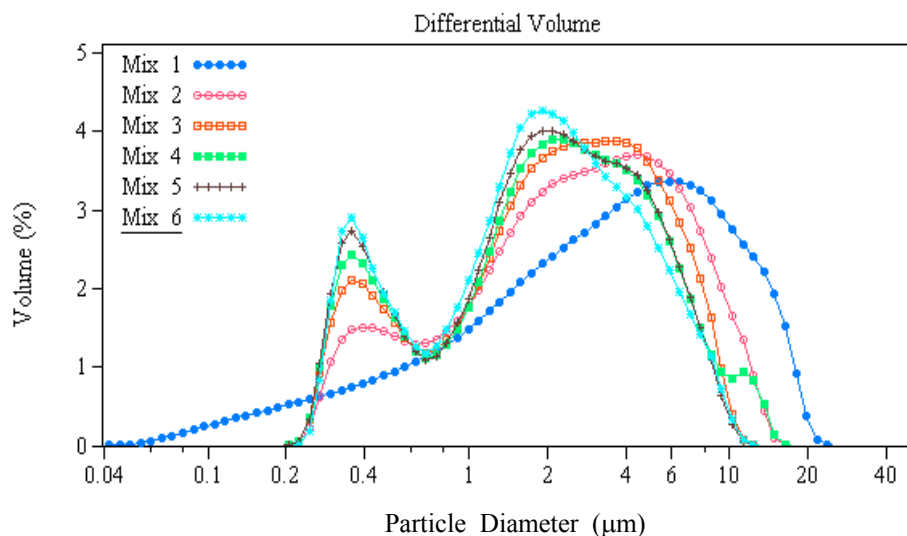
รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีซิงค์ไดบิวทิลไดโทโอคาร์บาเมตติสเปอร์ชัน ที่ระยะเวลาการบดผสมสารเคมี 1 – 7 วัน



รูปที่ 4.7 ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีซิงค์ออกไซด์ดีสเปอร์ชัน ที่ระยะเวลาการบดผสม สารเคมี 1 – 7 วัน



รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีวิงสเตย์-แอลดีสเปอร์ชัน ที่ระยะเวลาการบดผสม สารเคมี 1 – 7 วัน



รูปที่ 4.9 ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีผสมคิสเพอร์ชัน (Mix-Chemicals Dispersion) ที่ระยะเวลาการบดผสมสารเคมี 1 – 6 วัน

จากการศึกษาผลกระทบของระยะเวลาการบดสารเคมีต่อการลดขนาดของอนุภาคสารเคมีแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่าในช่วง 1 วันแรกของการบดผสมสารเคมี ขนาดอนุภาคของสารเคมีทุกชนิดจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของสารเคมีก่อนทำการบดผสมดังตารางที่ 4.1 กรณีการบดผสมสารเคมีกัมมะถันคิสเพอร์ชันขนาดอนุภาคจะลดลงเมื่อระยะเวลาการบดผสมนานขึ้น เมื่อทำการบดเป็นระยะเวลามากกว่า 4 วัน การลดลงของขนาดอนุภาคจะน้อย แต่ไม่เกิดการการจับตัวใหม่อีกครั้งของอนุภาคขนาดเล็ก (Re-aggregation) เมื่อใช้ระยะเวลาการบดผสม 7 วัน ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีของกัมมะถันแสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อระยะเวลาการบดสารเคมีนานขึ้นกราฟจะแยกเป็น Bimodal ขนาดอนุภาคสารเคมีที่มีขนาดเล็กจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และอนุภาคของสารเคมีที่มีขนาดใหญ่จะมีแนวโน้มที่ลดลงซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบดสารเคมีซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตคิสเพอร์ชัน การลดลงของขนาดอนุภาคสารเคมีจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้ และไม่เกิดการจับตัวใหม่ของอนุภาคขนาดเล็กเมื่อทำการบดเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อใช้เวลาในการบดผสมสารเคมีมากกว่า 2 วัน การลดลงของขนาดอนุภาคจะน้อย ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารเคมีซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อระยะเวลาการบดผสมเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีจะแคบลง แสดงว่าคิสเพอร์ชันจะมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

เพิ่มขึ้น โดยในบริเวณที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยปริมาตรตั้งแต่ 0.22 – 0.57 ไมครอน มีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนบริเวณที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีปริมาณลดลง

การบดผสมสารเคมีซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ให้ผลเช่นเดียวกับการบดผสมสารเคมีซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคของสารเคมีเริ่มแรกที่หลังทำการบดผสมสารเคมีมากกว่า 3 วัน การลดลงของขนาดอนุภาคจะน้อย ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีแสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีแคบลง แสดงว่าดีสเพอร์ชันจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการบดผสมนานขึ้นกราฟจะแยกเป็น Bimodal อย่างชัดเจน โดยในบริเวณที่มีขนาดอนุภาคขนาดเล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนบริเวณที่มีขนาดอนุภาคใหญ่มีแนวโน้มที่ลดลง

การบดผสมสารเคมีซิงค์ออกไซด์ดีสเพอร์ชัน การลดลงของขนาดอนุภาคจะเริ่มครั้งที่เมื่อใช้ระยะเวลาการบดมากกว่า 1 วัน จากการทดลองพบว่าการบดสารเคมีซิงค์ออกไซด์นานขึ้นมีผลเสียในเรื่องของการเกิดการจับตัวกันใหม่ของอนุภาคขนาดเล็ก ส่งผลให้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของสารช่วยในการกระจายตัวของสารแขวนลอยมีปริมาณจำกัด การบดสารเคมีให้มีขนาดเล็กลงไปเรื่อย ๆ จะทำให้มีจำนวนอนุภาคของสารเคมีเพิ่มขึ้น ซึ่งมากกว่าปริมาณของสารช่วยในการกระจายตัวของสารแขวนลอยที่มีอยู่ในดีสเพอร์ชัน จึงทำให้สารเคมีที่มีขนาดเล็กลงนี้ไม่มีสารช่วยในการกระจายตัวไปห่อหุ้มรอบอนุภาค เพื่อให้สามารถแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำได้ จึงส่งผลให้เกิดการจับตัวกันใหม่ของอนุภาคเล็กขึ้น กรณีของซิงค์ออกไซด์การบดผสมสารเคมีในวันที่ 6 จะเกิดการจับตัวกันใหม่ของอนุภาคสารเคมีที่มีขนาดเล็ก เพราะฉะนั้นในการเตรียมสารเคมีซิงค์ออกไซด์ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการบดผสมนาน อาจใช้เทคนิคคอลลอยด์มิลในการเตรียมสารเคมีก่อนการผสมในน้ำอย่างธรรมชาติได้ (วรารักษ์, 2525: 44) ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารเคมีของซิงค์ออกไซด์แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าลักษณะของกราฟจะเป็น Polymodal เมื่อระยะเวลาในการบดผสมเพิ่มขึ้นบริเวณที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนบริเวณที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีแนวโน้มลดลง

การเตรียมสารเคมีวิงสเตย์ – เอลดีสเพอร์ชัน จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่าการบดผสมสารเคมีวิงสเตย์-เอล การลดขนาดอนุภาคของสารเคมีจะช้ากว่าสารเคมีชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องมาจากสารวิงสเตย์-เอล มีส่วนประกอบของฟีนอล และสารป้องกันการเสื่อมมักจะ เป็นสารเรซิน ซึ่งมีความแข็งแรงในการบดผสมต้องใช้เวลานานขึ้น หรือต้องเปลี่ยนสภาวะของอุปกรณ์การบดผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดขนาดอนุภาคลง หรืออาจจะใช้สารตัวเติมเนื้อเยื่อที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมาเป็นตัวนำพา (วรารักษ์, 2525: 52) พบว่าการบดสารเคมีตั้งแต่วันที่ 4 เป็นต้นไปการลดขนาดอนุภาคของสารเคมีจะน้อยมากจะเริ่มครั้งที่ ลักษณะการกระจายตัวของ

อนุภาคสารเคมีวิงสเตย์-เอลดีสเปอร์ชันแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบดมิลเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของสารเคมีจะแคบลง บริเวณที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีแนวโน้มลดลง

การเตรียมสารเคมีผสมดีสเปอร์ชัน พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบดผสมสารเคมีจะทำให้ขนาดอนุภาคเล็กเกิดการจับตัวกันใหม่ การบดผสมสารเคมีผสมดีสเปอร์ชันวันที่ 3 - 4 จะเกิดการจับตัวกันใหม่ของขนาดอนุภาคขนาดเล็ก และหลังจากนั้นการลดของขนาดอนุภาคจะน้อยลง ลักษณะการกระจายตัวของสารเคมีผสมดีสเปอร์ชันแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อระยะเวลาการบดมิลเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมีจะมีแนวโน้มที่แคบลง แสดงว่าสารเคมีมีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น โดยกราฟจะเลื่อนไปทางด้านที่มีขนาดอนุภาคเล็กเพิ่มขึ้น

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลที่มีผลต่อการลดขนาดอนุภาคของดีสเปอร์ชันขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการบด และสมบัติทางกายภาพของสารเคมี ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการบดผสมสารเคมีแตกต่างกันเพื่อให้ได้มาซึ่งขนาดอนุภาคของสารเคมีที่เท่ากัน เมื่อทำการควบคุมปริมาณของลูกบด ปริมาณสารเคมี ปริมาณสารช่วยในการกระจายตัวของสารแขวนลอย รูปทรง และขนาดของภาชนะบรรจุ รวมทั้งความเร็วในการหมุนของภาชนะบรรจุ (Blackley, 1997a: 12-16)

4.3 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

4.3.1 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเปอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

เตรียมน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาคของกำมะถันดีสเปอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน โดยใช้สูตรคอมเพาต์ดังตารางที่ 3.1 ทำการเตรียมน้ำยางคอมเพาต์ตามวิธีการข้อ 3.3.2 ขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมเพาต์แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารเคมีดีสเพอร์ชันเฉลี่ย(วิเคราะห์โดยปริมาตร) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์แปรขนาดอนุภาคของกำมะถันดีสเพอร์ชัน

Chemicals	Particle diameter (by volume) (μm)		Distribution ($B_{\text{mid d50v}}$)
	Mean	<90%	
Sulphur (S)			
SA	1.77	4.03	1.63
SB	5.10	10.17	1.12
SC	10.26	19.94	1.07
SD	14.43	26.17	0.85
SE	19.42	32.85	0.74
ZDEC	3.64	7.57	1.30
ZDBC	5.58	12.86	1.48
Wingstay – L	5.86	12.73	1.47
ZnO	1.77	3.66	1.21

ทำการศึกษสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปอนด์ หลังทำการบ่มน้ำยางคอมปอนด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำน้ำยางคอมปอนด์มาทำการจุ่มแบบพิมพ์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปอนด์ แปรขนาดและปริมาณของอนุภาคของกำมะถันดีสเพอร์ชัน หลังทำการบ่มน้ำยางคอมปอนด์ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Properties	Sulphur 1.77 μm			Sulphur 5.10 μm			Sulphur 10.26 μm			Sulphur 14.43 μm			Sulphur 19.42 μm		
	0.5 phr	1.25 phr	2.50 phr	0.5 phr	1.25 phr	2.50 phr	0.5 phr	1.25 phr	2.50 phr	0.5 phr	1.25 phr	2.50 phr	0.5 phr	1.25 phr	2.50 phr
pH	10.6	10.4	10.5	10.5	10.4	10.5	10.5	10.6	10.5	10.7	10.5	10.6	10.6	10.6	10.5
Viscosity (cps)	14	16	17	15	16	16	15	16	16	15	16	16	14	16	17
Chloroform Number	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4

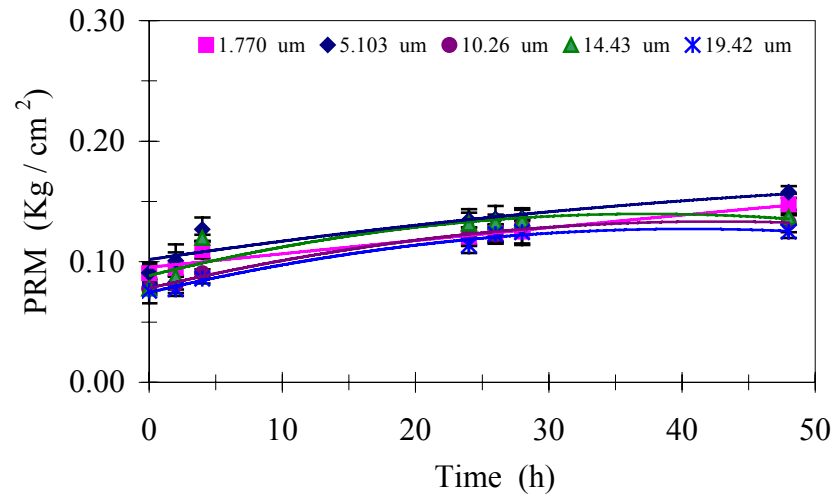
จากตารางที่ 4.4 พบว่าการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของกำมะถันดีสเปอร์ชัน โดยใช้ในปริมาณที่เท่ากันพบว่าไม่มีผลต่อค่าคลอโรฟอร์ม ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของกำมะถันดีสเปอร์ชันจะพบว่าค่าคลอโรฟอร์มจะแตกต่างกันเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมปอนด์ 24 ชั่วโมง เมื่อใช้กำมะถัน 0.5 phr จะมีค่าคลอโรฟอร์ม 3 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันดีสเปอร์ชันเป็น 1.25 phr และ 2.50 phr พบว่าค่าคลอโรฟอร์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4 ส่วนค่าความหนืดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกำมะถันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของกำมะถันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลมากขึ้น กรณีค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีค่าใกล้เคียงกัน

ศึกษาระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปอนด์ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของสารเคมีกำมะถันดีสเปอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มดังข้อ 3.4.1 ซึ่งจะทำให้การเก็บตัวอย่างน้ำยางคอมปอนด์ขณะทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตามที่กำหนด และนำไปทดสอบค่า PRM ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.6 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 – 4.12 โดยทำการแปรปริมาณของกำมะถันดีสเปอร์ชัน 0.5 phr, 1.25 phr และ 2.50 phr ตามลำดับ

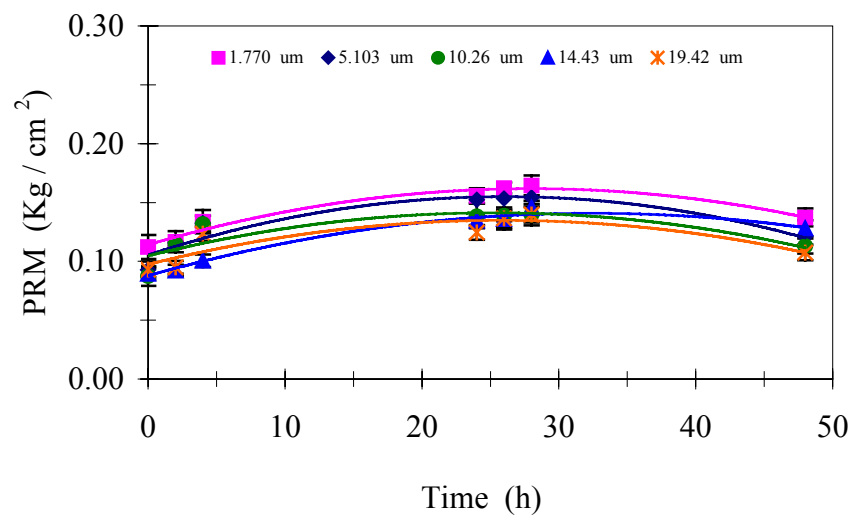
ตารางที่ 4.5 ระดับการพรีเว็คคาไนซ์ (PRM Test) ของน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาค และปริมาณของสารเคมีกำมะถันดีสเพอร์ชัน

Time (h)	PRM (kg/cm ²)														
	Sulphur 0.5 phr					Sulphur 1.25 phr					Sulphur 2.50 phr				
	1.77 μm	5.10 μm	10.26 μm	14.43 μm	19.42 μm	1.77 μm	5.10 μm	10.26 μm	14.43 μm	19.42 μm	1.77 μm	5.10 μm	10.26 μm	14.43 μm	19.42 μm
0	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.12	0.10	0.09	0.10	0.09
2	0.10	0.10	0.08	0.09	0.08	0.12	0.12	0.11	0.09	0.10	0.16	0.14	0.10	0.15	0.11
4	0.11	0.13	0.09	0.12	0.09	0.13	0.13	0.13	0.10	0.12	0.16	0.15	0.13	0.15	0.14
24	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.16	0.15	0.14	0.16	0.16
26	0.12	0.14	0.12	0.13	0.12	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.17	0.15	0.15	0.16	0.16
28	0.13	0.14	0.13	0.13	0.12	0.16	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.13	0.14	0.12	0.15
48	0.15	0.16	0.13	0.14	0.13	0.14	0.12	0.11	0.13	0.11	-	-	-	-	-

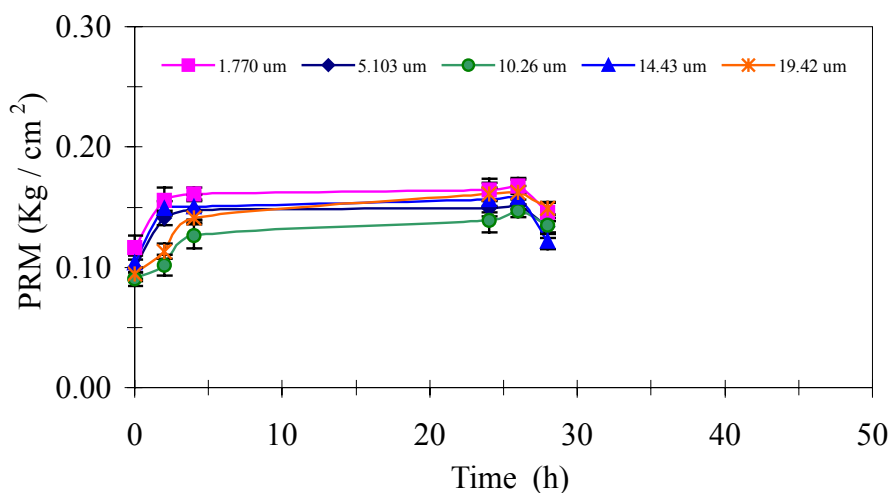
หมายเหตุ : - ไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากน้ำยางคอมเพาต์เสียสภาพ



รูปที่ 4.10 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0–48 ชั่วโมง แปรขนาดอนุภาคกัมมะถัน และใช้ปริมาณกัมมะถัน 0.5 phr



รูปที่ 4.11 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0–48 ชั่วโมง แปรขนาดอนุภาคกัมมะถัน และใช้ปริมาณกัมมะถัน 1.25 phr



* ณ เวลา 48 ชั่วโมง น้ำยางคอมเพาต์เสียสภาพไม่สามารถทดสอบค่า PRM ได้

รูปที่ 4.12 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 28 ชั่วโมง แปรขนาดอนุภาคกำมะถัน และใช้ปริมาณกำมะถัน 2.50 phr

จากผลการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ แสดงผลดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 - 4.12 โดยใช้ปริมาณกำมะถัน 0.5 phr, 1.25 phr และ 2.50 phr ตามลำดับ พบว่าการใช้ปริมาณกำมะถัน 0.5 phr ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพาต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gorton (1979) และจิตรา (2532) แต่ขนาดอนุภาคของกำมะถันจะไม่มีผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์อย่างมีนัยสำคัญ การใช้ปริมาณกำมะถันดิสเพอร์ชันเพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับการพรีวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพาต์เท่ากัน เนื่องจากปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลเพิ่มขึ้น กรณีการใช้กำมะถันดิสเพอร์ชัน 1.25 phr และ 2.50 phr จะให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ที่ใช้ปริมาณกำมะถันดิสเพอร์ชัน 1.25 phr จะมีแนวโน้มลดลงหลังจากทำการบ่มน้ำยางคอมเพาต์ 28 ชั่วโมง ส่วนการใช้ปริมาณกำมะถันดิสเพอร์ชัน 2.50 phr จะมีแนวโน้มลดลง หลังจากทำการบ่มน้ำยางคอมเพาต์ 26 ชั่วโมง สาเหตุที่ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ไม่มีผลกระทบบ่อยอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์สารเคมีที่เติมลงในน้ำยางคอมเพาต์ จะอยู่ในรูปของสารแขวนลอยซึ่งจะมีบางส่วนที่สามารถละลายได้ใน

Aqueous phase ของ Latex สารเคมีที่เติมลงในน้ำยางคอมเพาด์จะเกิดการละลาย และจะถูกดูดซับเข้าสู่อนุภาคยางโดยกระบวนการแพร่ (Diffusion) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลภายในอนุภาคยางขึ้น (Blackley, 1997b: 470) ทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้แข็งแรงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า PRM ที่ได้เพิ่มขึ้น โดยที่สารตัวเร่งซึ่งคือออกไซด์จะไปกระตุ้นการทำงานของสารตัวเร่งให้ไปรวมตัวกับกำมะถัน ให้อยู่ในรูปของ Sulphur – Accelerator species ซึ่ง Species นี้จะถูกดูดซับเข้าสู่อนุภาคยางโดยกระบวนการแพร่แล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลขึ้น (Porter *et al*, 1992) จากผลการทดลองการใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันที่แตกต่างกันจะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ แสดงว่า ความสามารถในการละลายของกำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 1 – 20 ไมครอน ใน Aqueous phase ของ Latex ไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่า PRM ที่ได้ไม่ได้รับผลกระทบจากการใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันที่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์จะส่งผลให้ค่า PRM มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากสภาพผิวของอนุภาคยางที่เปลี่ยนไป เนื่องจากถูกล้อมรอบด้วยสารเคมี ทำให้ไปด้านการหล่อรวมกันของอนุภาคยางที่จะก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์ม จึงส่งผลให้ค่า PRM ที่ได้มีแนวโน้มที่ลดลง (Claramma and Mathew, 1997)

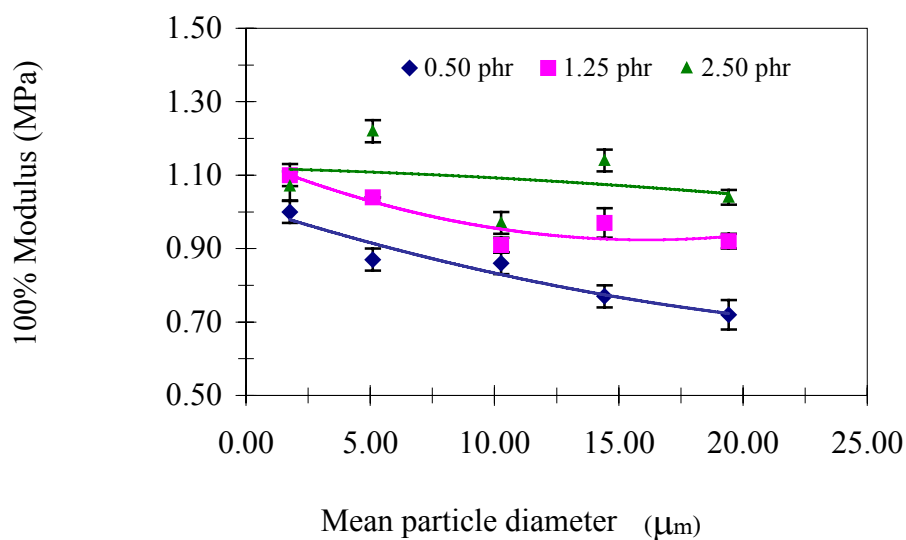
ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคของกำมะถันดิสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน ใช้กำมะถันปริมาณ 0.5 phr, 1.25 phr และ 2.50 phr ทำการบ่มน้ำยางคอมเพาด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาเตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.2 โดยใช้วิธีการจุ่มแบบพิมพ์ แล้วนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพดังการทดสอบข้อ 3.6.7 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 – 4.7 และรูปที่ 4.13 - 4.16 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มเมื่อทำการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคของกำมะถันดิสเพอร์ชัน โดยทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดและปริมาณของอนุภาคกำมะถันคิสเพิซัน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลาการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ

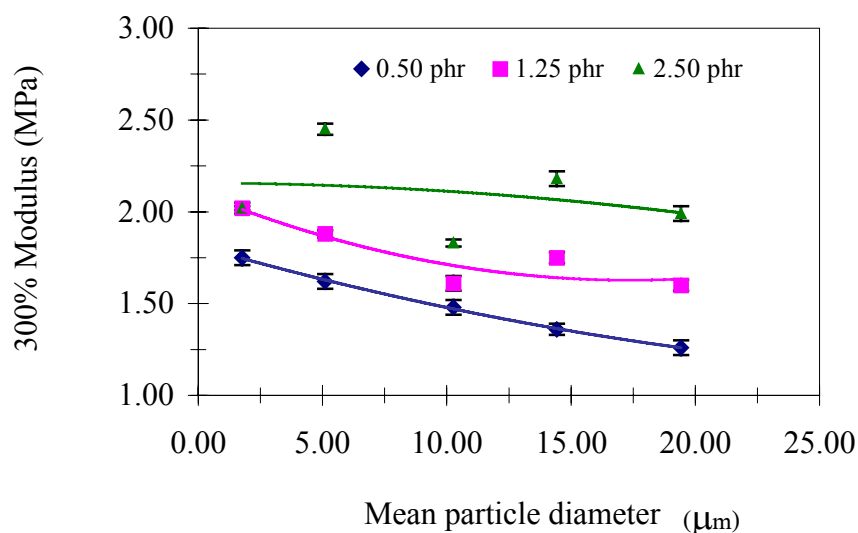
Properties	Time (min.)	Sulphur 0.5 phr					Sulphur 1.25 phr					Sulphur 2.50 phr				
		Mean particle diameter of sulphur (μm)					Mean particle diameter of sulphur (μm)					Mean particle diameter of sulphur (μm)				
		1.77	5.10	10.26	14.43	19.42	1.77	5.10	10.26	14.43	19.42	1.77	5.10	10.26	14.43	19.42
100% Modulus (MPa)	10	0.84	0.84	0.89	0.83	0.71	1.07	1.13	0.93	1.04	0.90	1.14	1.35	1.12	1.12	1.01
	30	1.00	0.87	0.86	0.77	0.72	1.10	1.04	0.91	0.97	0.92	1.07	1.22	0.97	1.14	1.04
	60	0.92	0.88	0.86	0.83	0.70	1.02	1.10	0.90	0.87	0.85	1.09	1.17	0.93	1.01	1.03
300% Modulus (MPa)	10	1.46	1.40	1.49	1.43	1.16	1.93	1.86	1.71	1.78	1.57	2.17	2.68	2.07	2.01	1.84
	30	1.75	1.62	1.48	1.36	1.26	2.02	1.88	1.61	1.75	1.60	2.02	2.45	1.83	2.18	1.99
	60	1.61	1.54	1.54	1.53	1.18	1.83	1.95	1.68	1.50	1.47	2.06	2.28	1.75	1.87	1.87
Tensile strength (MPa)	10	33.86	34.34	29.17	28.95	23.82	30.91	25.10	28.96	32.74	31.50	26.87	25.97	27.41	28.90	29.70
	30	36.645	35.28	32.02	29.99	24.43	32.59	25.33	29.69	31.24	33.28	20.74	23.93	26.90	29.42	28.71
	60	30.23	28.95	31.22	29.92	24.90	32.08	24.59	28.59	31.68	31.22	20.63	21.41	26.39	29.79	28.60
Elongation at break (%)	10	916	918	846	883	901	788	731	803	795	893	736	708	730	750	800
	30	888	841	900	916	885	783	796	836	803	878	723	720	778	780	791
	60	878	851	868	891	948	823	826	825	896	928	730	726	833	825	803

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดและปริมาณของอนุภาคกำมะถันคิสเพิซัน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที

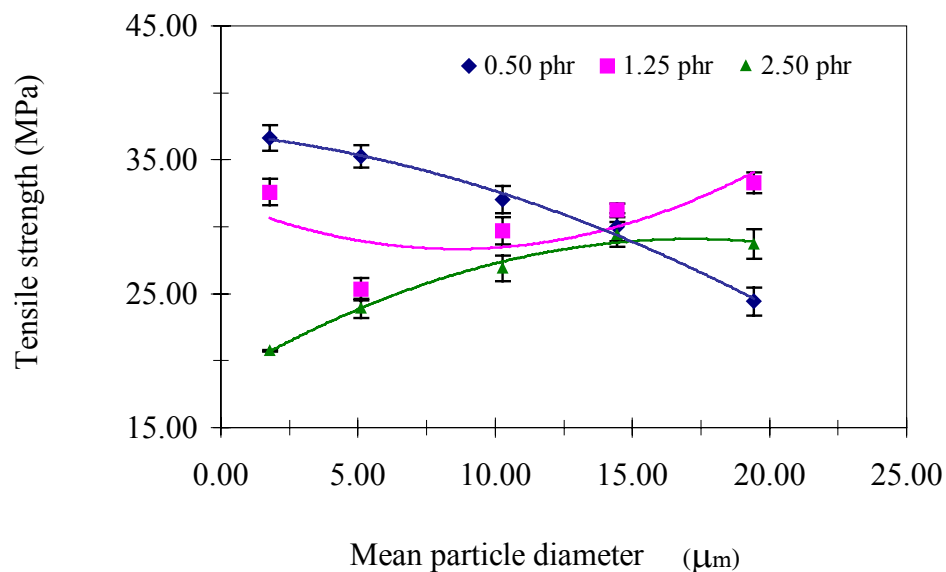
Properties	Temp. (°C)	Sulphur 0.5 phr					Sulphur 1.25 phr					Sulphur 2.50 phr				
		Mean particle diameter of sulphur (µm)					Mean particle diameter of sulphur (µm)					Mean particle diameter of sulphur (µm)				
		1.77	5.10	10.26	14.43	19.42	1.77	5.10	10.26	14.43	19.42	1.77	5.10	10.26	14.43	19.42
100% Modulus (MPa)	90	0.77	0.86	0.73	0.83	0.68	1.00	1.00	0.91	1.01	0.84	1.21	1.19	1.08	1.09	1.11
	110	1.00	0.87	0.86	0.77	0.72	1.10	1.04	0.91	0.97	0.92	1.07	1.22	0.97	1.14	1.04
	120	0.91	1.00	0.84	0.77	0.70	1.08	1.00	0.89	0.91	0.76	1.12	1.17	1.07	1.10	1.02
	130	0.83	0.84	0.85	0.79	0.76	0.94	0.98	0.82	0.92	0.74	1.10	1.10	1.05	1.01	0.99
300% Modulus (MPa)	90	1.40	1.53	1.30	1.47	1.18	1.78	1.78	1.67	1.86	1.56	2.32	2.36	2.07	2.09	2.02
	110	1.75	1.62	1.48	1.36	1.26	2.02	1.88	1.61	1.75	1.60	2.02	2.45	1.83	2.18	1.99
	120	1.56	1.65	1.40	1.39	1.17	1.91	1.81	1.61	1.59	1.37	2.12	2.21	2.00	2.03	1.86
	130	1.47	1.45	1.46	1.37	1.31	1.72	1.84	1.55	1.65	1.29	1.95	2.04	1.89	1.90	1.86
Tensile strength (MPa)	90	30.99	35.50	26.09	26.38	26.54	28.21	22.77	30.62	33.81	32.39	26.56	22.17	26.89	29.54	30.84
	110	36.64	35.28	32.02	29.99	24.43	32.59	25.33	29.69	31.24	33.28	20.74	23.93	26.90	29.42	28.71
	120	32.47	31.36	32.63	32.05	27.71	31.40	25.06	27.74	32.72	27.97	25.28	21.82	25.47	26.12	26.73
	130	30.34	30.29	29.25	29.98	27.82	30.27	24.34	27.42	30.10	23.67	26.18	26.52	25.88	23.48	25.84
Elongation at break (%)	90	875	915	896	850	921	818	765	800	823	872	7.03	700	753	775	783
	110	888	841	900	916	885	783	796	836	803	878	723	720	778	780	791
	120	875	858	908	925	953	825	788	850	875	883	745	703	758	755	791
	130	870	901	896	875	916	808	756	823	850	850	775	775	766	766	775



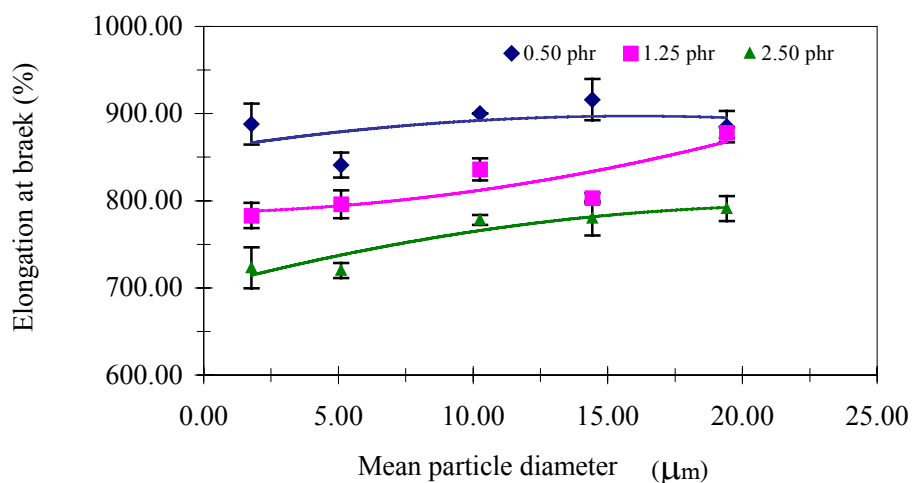
รูปที่ 4.13 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติ 100% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.14 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติ 300% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.15 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเปอร์ชันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.16 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเปอร์ชันต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที

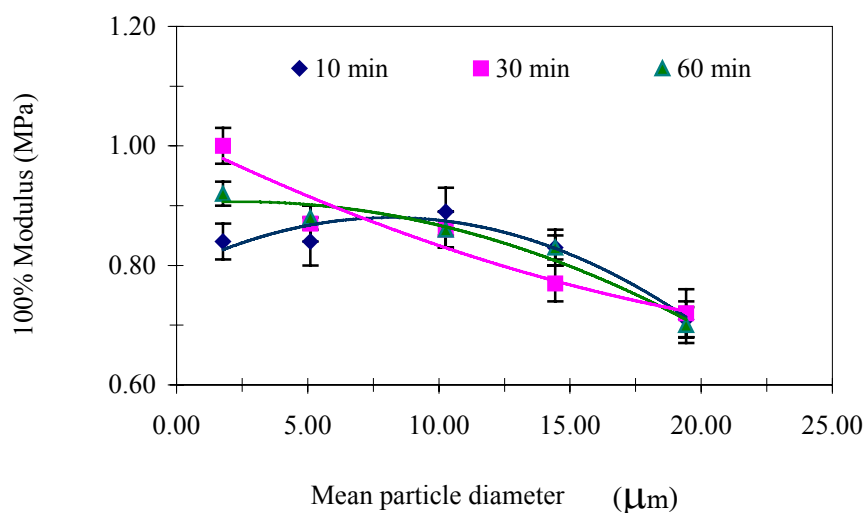
จากผลการศึกษามบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารเคมีกำมะถันดีสเพอร์ชัน ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงผลดังรูปที่ 4.13 – 4.16 พบว่าสมบัติ 100% โมคูลัส 300% โมคูลัส และความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้สารกำมะถันดีสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่สมบัติทางด้านระยะยืดของแผ่นฟิล์มจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น กรณีที่ใช้ปริมาณกำมะถันดีสเพอร์ชัน 0.5 phr แต่เมื่อใช้ปริมาณกำมะถัน 1.25 phr และ 2.50 phr พบว่าขนาดอนุภาคของกำมะถันดีสเพอร์ชันจะไม่มีผลต่อค่า 100% โมคูลัส 300% โมคูลัส และความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ กรณีสมบัติระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

เปรียบเทียบค่า 100% โมคูลัส และ 300% โมคูลัส เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันดีสเพอร์ชันต่างกัน พบว่าเมื่อใช้ปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า 100% โมคูลัส และ 300% โมคูลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใช้กำมะถัน 2.50 phr จะมีค่าโมคูลัสสูงสุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกำมะถันจะส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลมากขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

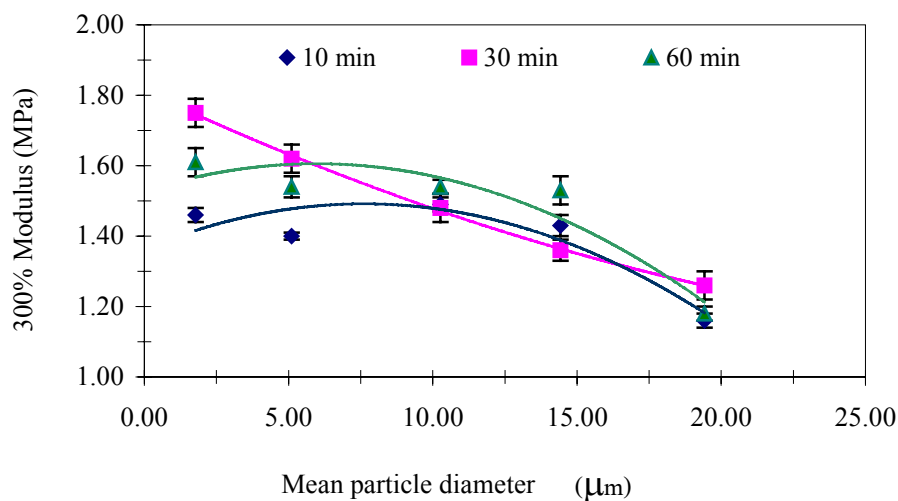
เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ พบว่าเมื่อใช้ปริมาณกำมะถันดีสเพอร์ชันเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขนาดมีแนวโน้มลดลง การใช้กำมะถันดีสเพอร์ชันในปริมาณ 0.50 phr จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขนาดมากที่สุด รองลงมาคือ 1.25 phr และ 2.50 phr จะมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมปอสต์มีการควบคุมระยะเวลาในการบ่มน้ำยางคอมปอสต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากันทุกสูตร การใช้กำมะถันในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลเพิ่มขึ้น ซึ่งทำการตรวจวัดจากการทดสอบค่าคลอโรฟอร์ม พบว่าการใช้กำมะถัน 2.50 phr และ 1.25 phr จะมีค่าคลอโรฟอร์มเท่ากับ 4 ส่วนการใช้กำมะถัน 0.50 phr จะมีค่าคลอโรฟอร์มเท่ากับ 3 เมื่อนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มโอกาสที่อนุภาคของยางจะถูกล้อมรอบด้วยสารเคมีเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลจะมีมากขึ้น ในกรณีที่ใช้ปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีมากเกินไปจะทำให้อนุภาคยางแต่ละอนุภาคไม่สามารถหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มเมื่อแปรปริมาณกำมะถันดีสเพอร์ชัน แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าจะมีปริมาณเม็ดอนุภาคสารเคมีกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันดีสเพอร์ชัน ในขณะที่ทำการดึงเพื่อทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ขึ้นตัวอย่างจะฉีกขาดได้ง่าย เปราะ และเนื่องจากจะเกิดกระบวนการ Reversion ใน

ช่วงการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 30 นาที จึงส่งผลให้มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและสมบัติทางด้านระยะยืดจนขนาดลดลงเมื่อใช้กัมมะถันดิสเพอร์ชันเพิ่มขึ้น

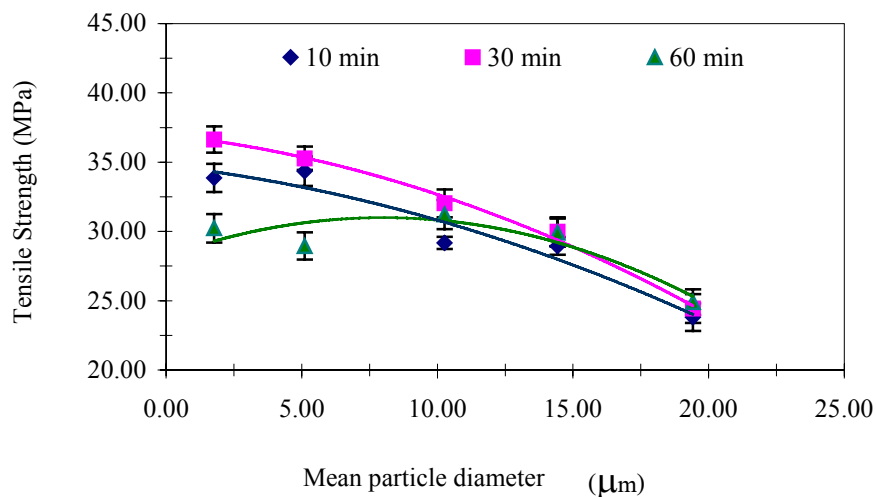
เปรียบเทียบลักษณะพฤติกรรมของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคกัมมะถันดิสเพอร์ชัน และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.17 – 4.20 และแผ่นฟิล์มที่ทำการแปรขนาดอนุภาคกัมมะถันดิสเพอร์ชัน และอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ ที่เวลาวัลคาไนซ์ 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.21 – 4.24 กรณีการใช้ปริมาณกัมมะถันดิสเพอร์ชัน 0.5 phr



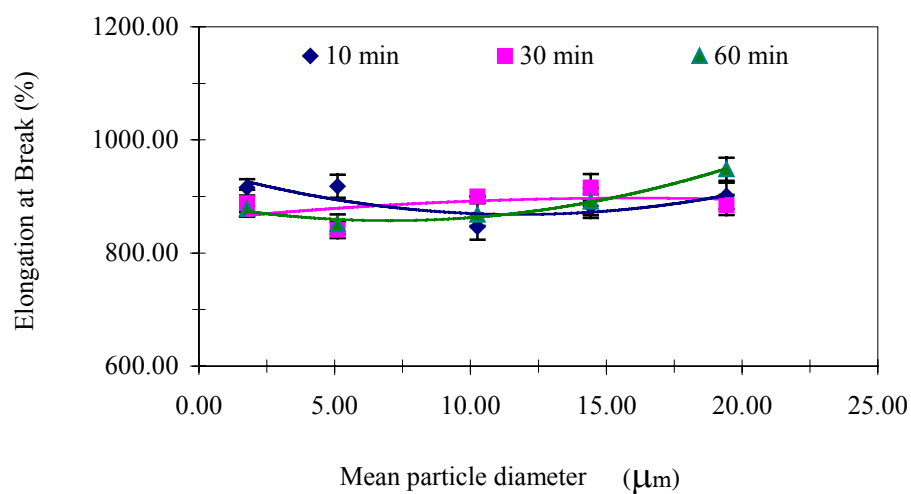
รูปที่ 4.17 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกัมมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติ 100% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กัมมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



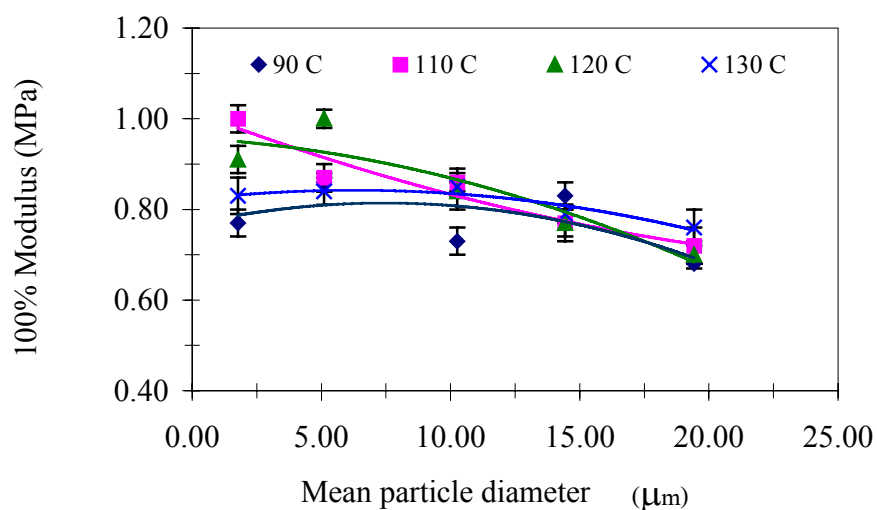
รูปที่ 4.18 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกัมมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติ 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กัมมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



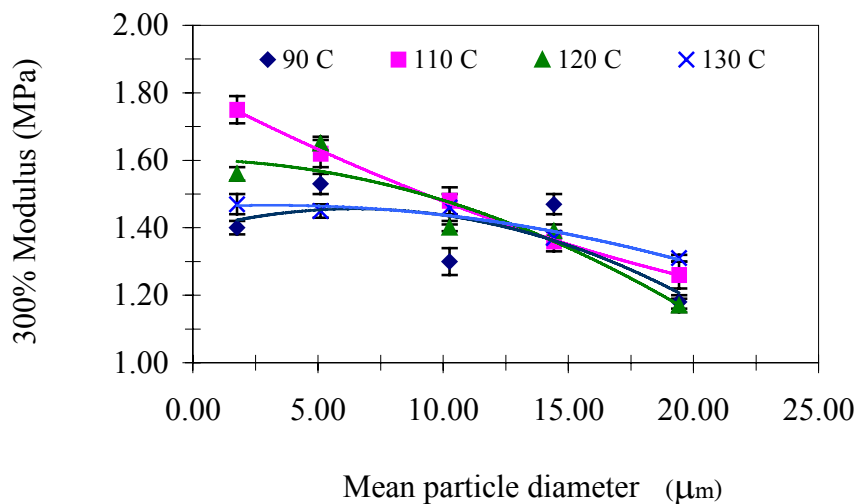
รูปที่ 4.19 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกัมมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กัมมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



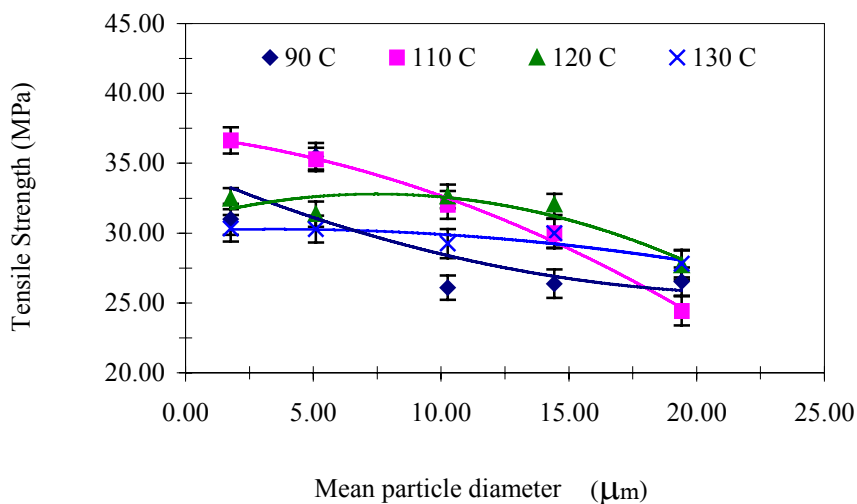
รูปที่ 4.20 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กำมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



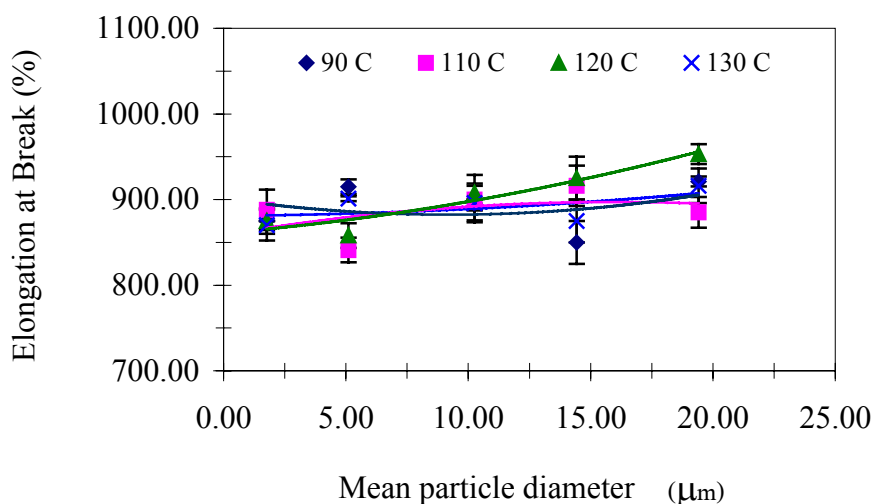
รูปที่ 4.21 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันต่อสมบัติ 100% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กำมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90, 110, 120 และ 130 °C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.22 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันต่อสมบัติ 300% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กำมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90, 110, 120 และ 130 °C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.23 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กำมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90, 110, 120 และ 130 °C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.24 ผลของการแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันต่อสมบัติระยะยืดขนาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้กำมะถัน 0.5 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90, 110, 120 และ 130 °C เป็นเวลา 30 นาที

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางวัลคาไนซ์ แปรขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน โดยใช้ในปริมาณ 0.5 phr พบว่าเมื่อทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.17 – 4.20 พบว่าค่า 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส และความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทุกช่วงเวลาที่ทำการวัลคาไนซ์ ส่วนผลการทดสอบระยะยืดขนาดแสดงดังรูปที่ 4.24 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อใช้ขนาดอนุภาคของกำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.21 – 4.24 พบว่าค่า 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส และความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ขนาดอนุภาคของกำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นที่ทุกอุณหภูมิที่ทำการทดสอบคือ 90, 110, 120 และ 130 องศาเซลเซียส ส่วนการทดสอบระยะยืดขนาดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ขนาดอนุภาคของกำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ที่ทุกอุณหภูมิการทดสอบเช่นกัน เนื่องจากการใช้สารเคมีกำมะถันดิสเพอร์ชันในปริมาณที่น้อย และมีขนาดเล็กจะมีโอกาสที่จะเกิดการละลายหรือหลอมกับอนุภาคยางได้มากกว่าสารเคมีที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เมื่อนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มและให้ความร้อน สารเคมีที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของอนุภาคยางจะหลอมเข้าไปใน

อนุภาคยางเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลยางมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่า 100%โมดูลัส 300%โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้กำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก แต่ระยะยึดจนขาดจะมีแนวโน้มลดลง แต่จากการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์จะพบว่าขนาดอนุภาคของสารเคมีกำมะถันจะไม่มีผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ เนื่องจากความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงภายในอนุภาคยางและแรง Secondary Valence Force ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ซ้อนทับกันของอนุภาคยาง ในการทดสอบค่า PRM แผ่นฟิล์มยางจะไม่ได้ได้รับความร้อนที่มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลระหว่างอนุภาคยางขึ้น จึงทำให้ไม่เห็นผลกระทบของขนาดอนุภาคต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ ซึ่งจะเกิดการวัลคาไนซ์เพียงบางส่วนในแผ่นฟิล์ม กรณีความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มที่ได้รับความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงภายในอนุภาคยางและระหว่างอนุภาคยาง รวมทั้งแรง Secondary Valence Force ที่เกิดขึ้นด้วย (Cook *et al.*, 1997) ทำให้เห็นความแตกต่างของความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มอย่างชัดเจน เมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารกำมะถันที่แตกต่างกัน ในปริมาณ 0.5 phr

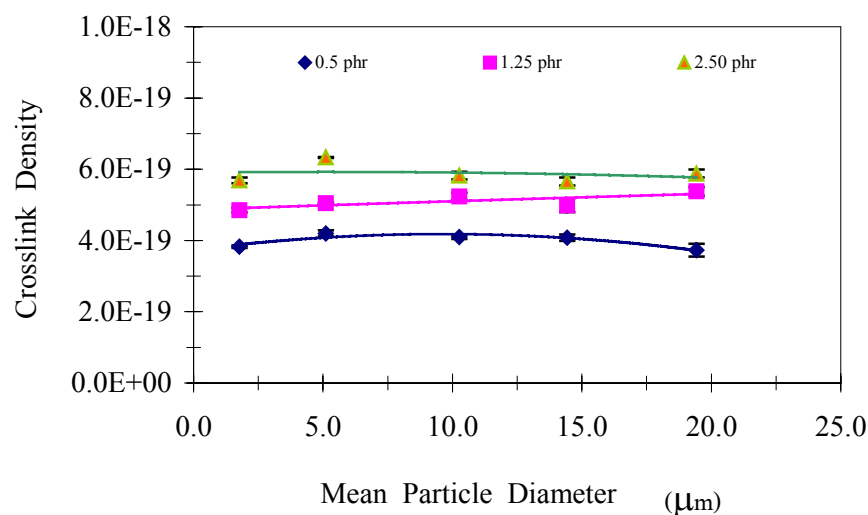
จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยการแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดิสเพอร์ชันและปริมาณกำมะถัน 1.25 phr และ 2.50 phr แสดงดังตารางที่ 4.6 – 4.7 พบว่าขนาดอนุภาคของกำมะถันจะไม่มีอิทธิพลต่อ 100%โมดูลัส 300%โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยึดจนขาด อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปริมาณกำมะถันที่ใช้เมื่อเติมลงในน้ำยางในรูปของสารแขวนลอย ซึ่งจะมีความเข้มข้นมากเกินพอในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงโมเลกุลในขณะที่ทำการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ ซึ่งความสามารถในการละลายหรือหลอมกับอนุภาคยางของการใช้กำมะถันดิสเพอร์ชันที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรตั้งแต่

1 – 20 ไมครอน จะไม่ส่งผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ เมื่อนำมาให้ความร้อนในขั้นตอนการวัลคาไนซ์ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคยาง สามารถหลอมเข้าไปในอนุภาคยางเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลขึ้น (Blackley, 1997b: 470) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Porter *et al* (1992) เมื่อปริมาณกำมะถันที่สามารถละลายได้ในเซรุ่ม มีปริมาณมากพอในการรวมตัวกับสารตัวเร่งเพื่อเคลื่อนที่เข้าสู่อนุภาคยาง เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล ฉะนั้นการใช้ขนาดอนุภาคของกำมะถัน 1 – 20 ไมครอน จึงไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันต่อสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยการเตรียมคอมเปคต์น้ำยางธรรมชาติแปรขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน เตรียมน้ำยางคอมเปคต์บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติตามวิธีการข้อ 3.4.3 และนำมาทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงตามข้อ 3.6.8 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.41

ตารางที่ 4.8 ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงแปรปริมาณและขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชัน

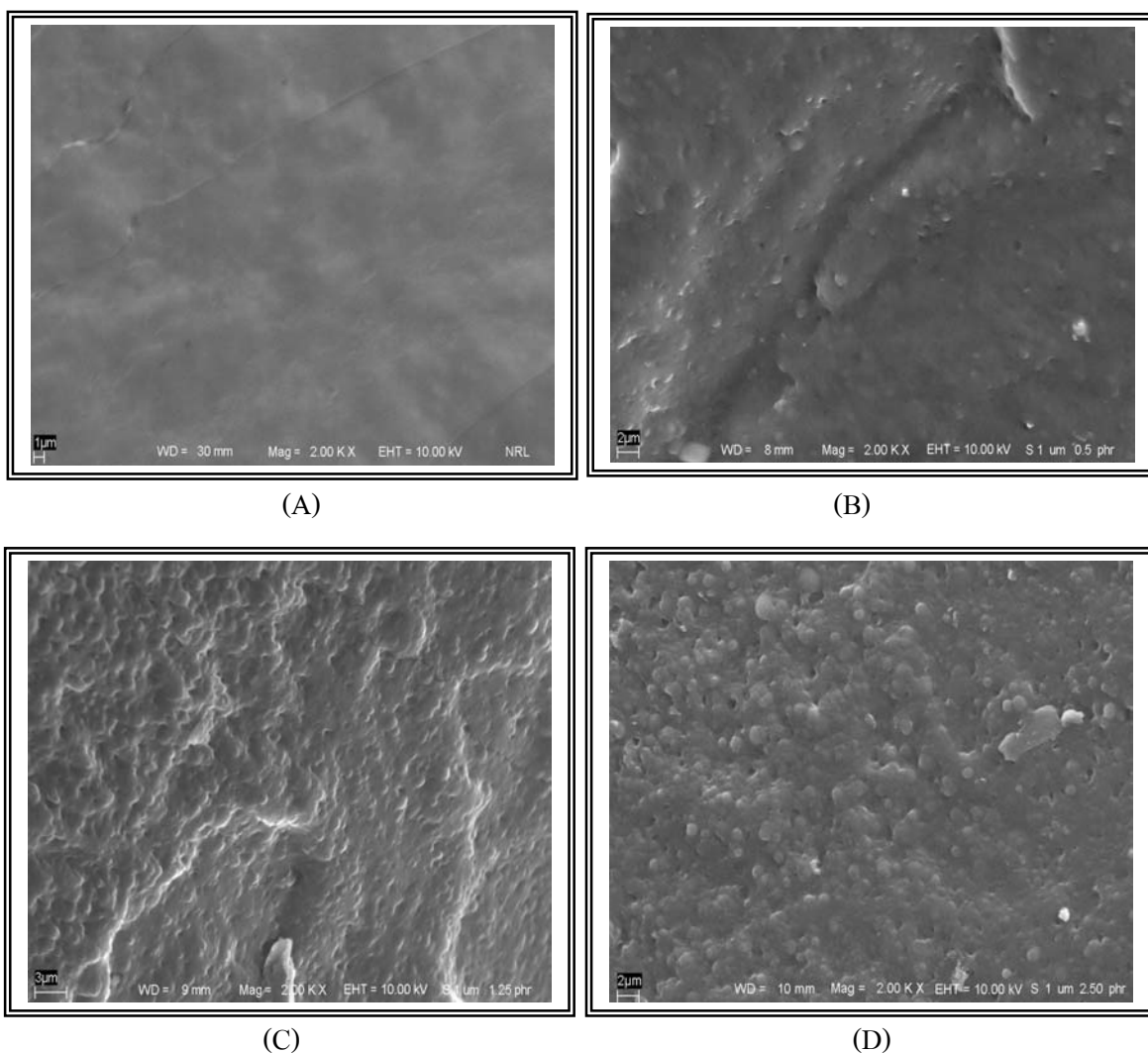
Mean particle diameter of Sulphur (μm)	Crosslink density ($\times 10^{-19}$)		
	0.50 phr	1.25 phr	2.50 phr
1.77	3.83	4.85	5.69
5.10	4.20	5.05	6.33
10.26	4.10	5.24	5.82
14.43	4.08	4.99	5.66
19.42	3.73	5.38	5.88



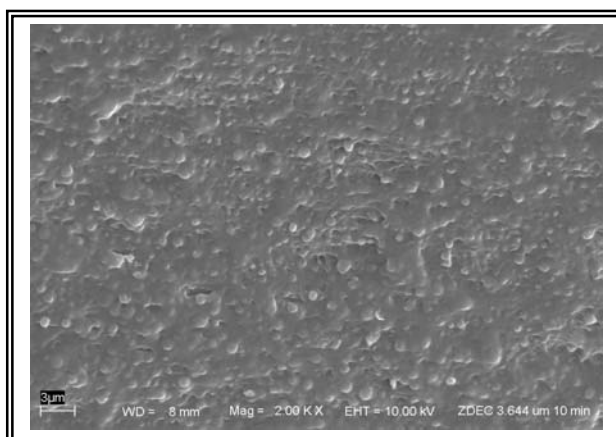
รูปที่ 4.25 ผลของขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชันต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยใช้ปริมาณกำมะถัน 0.5, 1.25 และ 2.50 phr

จากผลการทดสอบอิทธิพลของขนาดอนุภาคกำมะถันคิสเพอร์ชันต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.41 พบว่าเมื่อใช้กำมะถันปริมาณ 0.5 phr ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงจะมีแนวโน้มลดลงน้อย เมื่อใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ส่วนการใช้กำมะถันคิสเพอร์ชันในปริมาณ 1.25 และ 2.50 phr ขนาดอนุภาคจะไม่มีผลต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงค่อนข้างจะคงที่ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้กำมะถันคิสเพอร์ชันต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง พบว่าการใช้ปริมาณกำมะถันมากขึ้นจะส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น การใช้ปริมาณกำมะถัน 2.50 phr จะมีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงสูงสุด รองลงมาคือการใช้ปริมาณกำมะถัน 1.25 phr และการใช้ปริมาณกำมะถัน 0.5 phr จะมีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กำมะถันในปริมาณที่มากจะส่งผลให้มีปริมาณกำมะถันที่สามารถเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น (พรพรรณ, 2528: 14-15)

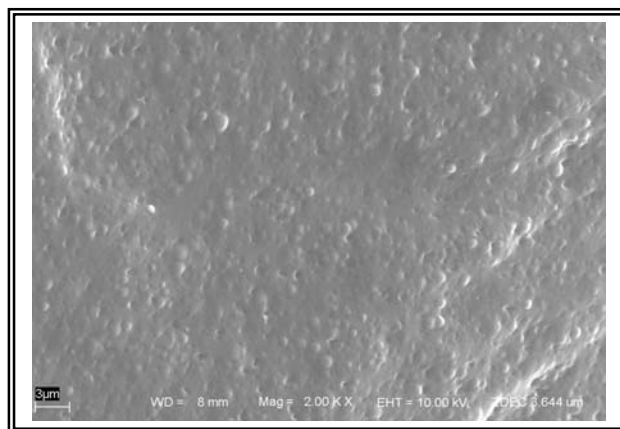
ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.4 นำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.26 - 4.27



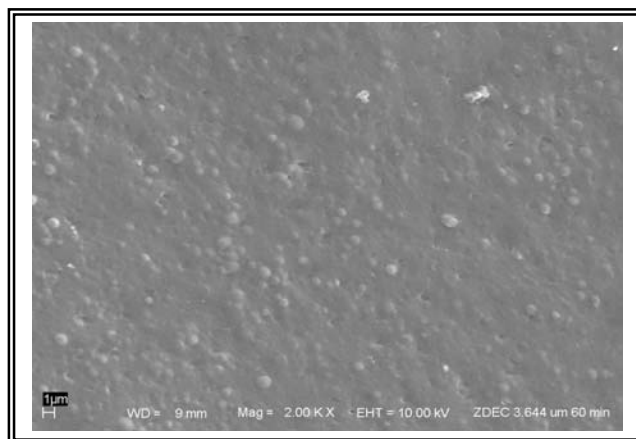
รูปที่ 4.26 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ จากกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ (Dipping) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที ใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันดีสเพอร์ชัน 1.77 ไมครอน แปรปริมาณกำมะถันดังนี้ (A) แผ่นฟิล์มน้ำยางธรรมชาติไม่ผสมสารเคมี, (B) 0.5 phr, (C) 1.25 phr และ (D) 2.50 phr ตามลำดับ ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้กำลังขยาย 2000 เท่า



(A)



(B)



(C)

รูปที่ 4.27 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มโพลีอิมิดไนซ์อย่างธรรมชาติ ใช้ขนาดอนุภาค
 กำมะถันดิสเพอร์ชัน 5.10 ไมครอน ปริมาณ 1.25 phr โพลีอิมิดไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 °C
 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังนี้ (A) 10 min, (B) 30 min และ (C) 60 min ตามลำดับ
 ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า

จากผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยเตรียมแผ่นฟิล์มจากกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่ผสมสารเคมีในน้ำยางแสดงดังรูปที่ 4.26(A) พบว่าลักษณะแผ่นฟิล์มเรียบไม่ปรากฏอนุภาคของยางธรรมชาติ เมื่อทำการแปรปริมาณของกำมะถันคิสเปอร์ชัน 0.5 phr, 1.25 phr และ 2.50 phr โดยใช้ขนาดอนุภาคกำมะถันคิสเปอร์ชัน 1.770 ไมครอนเตรียมจากกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ จะเห็นว่าลักษณะของแผ่นฟิล์มจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันจะมีส่วนของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในอนุภาคยาง กระจายอย่างสม่ำเสมอในกรณีที่ใช้ปริมาณกำมะถันคิสเปอร์ชัน 0.5 phr และ 1.25 phr ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะเรียกว่าการใช้ปริมาณกำมะถันคิสเปอร์ชัน 2.50 phr ซึ่งมีการกระจายตัวของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในอนุภาคยางจะในปริมาณที่มากและมีความสม่ำเสมอขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ปริมาณกำมะถันในปริมาณ 2.50 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไป จึงเป็นสาเหตุให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มที่ปรากฏมีปริมาณของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในอนุภาคยางเป็นจำนวนมาก ลักษณะของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันคิสเปอร์ชัน พบว่าจะมีปริมาณของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าในอนุภาคยางเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเม็ดกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น

เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของแผ่นฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.27 จะพบว่าการใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 4.27(C) แผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด รองลงมาคือใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.27(B) และรูปที่ 4.27(A) แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยที่สุด ทำการวัลคาไนซ์ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

4.4.2 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บามेटซิสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

เตรียมน้ำยางคอมปอนด์แปรขนาดอนุภาคของซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บามेटซิสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน โดยใช้สูตรคอมปอนด์ดังตารางที่ 3.2 ทำการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ตามวิธีการข้อ 3.3.2 ขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารเคมีซิสเพอร์ชันเฉลี่ย (วิเคราะห์โดยปริมาตร) ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บามेटซิสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

Chemicals	Particle diameter (by volume) (μm)		Distribution ($B_{\text{mid } d50v}$)
	Mean	< 90%	
Sulphur	5.06	10.61	1.27
ZDEC A	1.89	3.99	1.12
ZDEC B	3.64	7.57	1.30
ZDEC C	5.18	10.36	1.09
ZDEC D	10.57	16.85	0.96
ZDEC E	20.89	68.15	4.10
ZDBC	5.58	12.86	1.48
Wingstay – L	5.86	12.73	1.47
ZnO	1.77	3.66	1.21

ศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปोजด์ หลังทำการบ่มน้ำยางที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำน้ำยางคอมปोजด์มาทำการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยใช้วิธีการจุ่มแบบพิมพ์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปोजด์ แปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต ทำการบ่มเร้งน้ำยางคอมปोजด์ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Properties	Mean particle diameter of ZDEC (μm)														
	1.89			3.64			5.18			10.57			20.04		
	0.25	1.0	2.25	0.25	1.0	2.25	0.25	1.0	2.25	0.25	1.0	2.25	0.25	1.0	2.25
	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr	phr
pH	10.6	10.5	10.7	10.4	10.6	10.5	10.4	10.5	10.5	10.4	10.6	10.4	10.5	10.4	10.5
Viscosity (cps)	16	18	19	17	18	18	16	16	17	15	16	17	16	17	17
Chloroform Number	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4

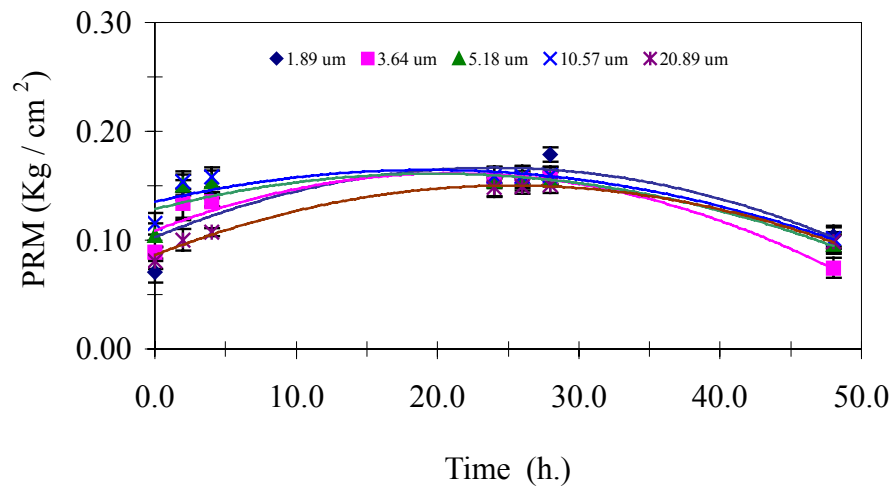
จากตารางที่ 4.10 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ความหนืด และค่าคลอโรฟอร์ม ของน้ำยางคอมปोजด์ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้ปริมาณสารตัวเร่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น โดยวัดจากค่าคลอโรฟอร์มนัมเบอร์ ซึ่งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง เมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มน้ำยางคอมปोजด์เท่ากัน แต่การใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 1.0 phr และ 2.25 phr ค่าคลอโรฟอร์มไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ เนื่องจากการทดสอบค่าคลอโรฟอร์มนัมเบอร์ เป็นการทดสอบอย่างหยาบจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้

ศึกษาระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปोजด์ เมื่อแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตคิสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปोजด์ ทำการบ่มน้ำยางคอมปोजด์ที่อุณหภูมิ 40°C เตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ตามข้อ 3.4.1 และนำไปทดสอบค่า PRM ตามวิธีการข้อ 3.6.6 แสดงผลดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.28 – 4.30

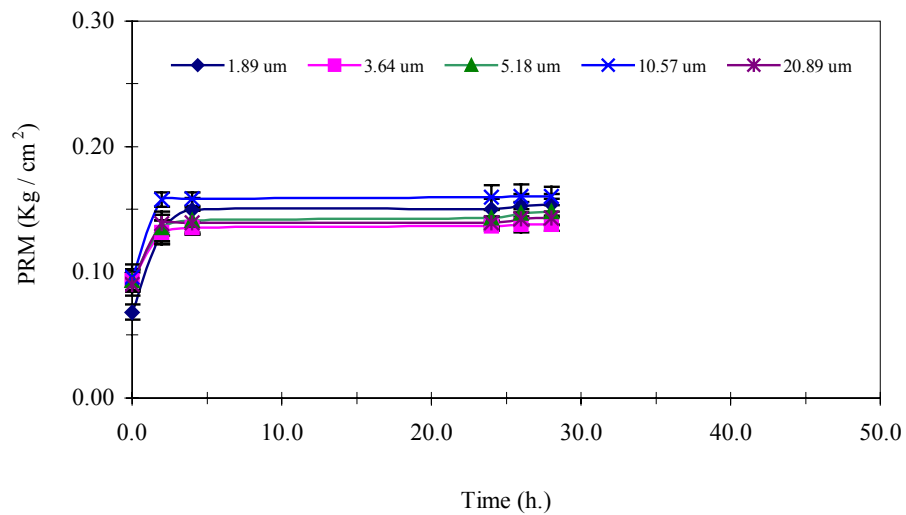
ตารางที่ 4.11 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ (PRM Test) ของน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาค และปริมาณของสารเคมีซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมตคิสเพิสชั้น บ่มน้ำยางคอมเพาต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ

Time (h)	PRM (kg / cm ²)														
	ZDEC 0.25 phr					ZDEC 1.00 phr					ZDEC 2.25 phr				
	1.89 μm	3.64 μm	5.18 μm	10.57 μm	20.89 μm	1.89 μm	3.64 μm	5.18 μm	10.57 μm	20.89 μm	1.89 μm	3.64 μm	5.18 μm	10.57 μm	20.89 μm
0	0.07	0.09	0.10	0.11	0.08	0.07	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.11	0.09
2	0.14	0.13	0.15	0.15	0.10	0.13	0.13	0.13	0.16	0.14	0.13	0.13	0.11	0.14	0.13
4	0.14	0.14	0.15	0.16	0.11	0.15	0.14	0.14	0.16	0.14	0.14	0.14	0.12	0.14	0.13
24	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
26	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.13
28	0.18	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16	0.14	0.16	0.14	0.15	0.16	0.13
48	0.10	0.07	0.10	0.10	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: - ไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากน้ำยางคอมเพาต์เสียสภาพ

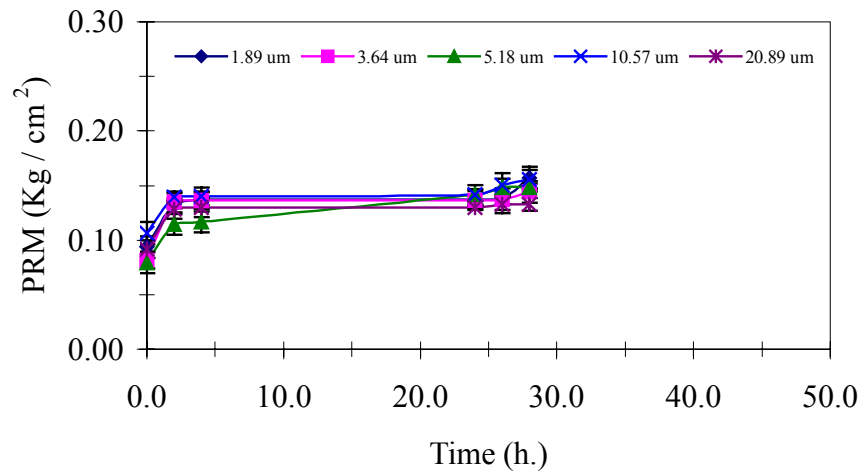


รูปที่ 4.28 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 0–48 ชั่วโมง แปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr



* ณ เวลา 48 ชั่วโมง ไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากน้ำยางคอมเพาต์เสียสภาพ

รูปที่ 4.29 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 0–28 ชั่วโมง ทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 1.0 phr



* ณ เวลา 48 ชั่วโมง ไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากน้ำยางคอมเพาต์เสียสภาพ

รูปที่ 4.30 ระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 0–28 ชั่วโมง ทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 2.25 phr

จากผลการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์แปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต แสดงดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.44 – 4.46 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตจะไม่มีผลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการพรีวัลคาไนซ์จะส่งผลให้ระดับการพรีวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดจุดหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ทุกสูตรที่ทำการทดลอง ใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ระดับการพรีวัลคาไนซ์จะลดลงเมื่อใช้เวลาในการบ่มน้ำยางคอมเพาต์ 48 ชั่วโมง ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตในปริมาณ 1.0 phr และ 2.25 phr จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการพรีวัลคาไนซ์ที่ระยะเวลามากกว่า 28 ชั่วโมง เนื่องจากเมื่อระยะเวลาในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สภาพผิวของอนุภาคยางเปลี่ยนไป ซึ่งจะไปต้านการหล่อรวมกันอนุภาคยางที่จะก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์ม (Claramma and Mathew, 1997) ส่งผลให้ค่า PRM ที่ได้มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Gorton (1979) และจิตรา (2532) สาเหตุที่ขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตไม่มีอิทธิพลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาต์ เนื่องจากในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตที่เติมลงในน้ำยางคอมเพาต์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย สามารถละลายได้อย่างอิสระในน้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ระดับการพรีวัลคาไนซ์จะถูก

จำกัดด้วยปริมาณของกำมะถันที่สามารถละลายได้ในส่วนของเซรุ่มในน้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของ Sulphur – Accelerator Species ขึ้นกับปริมาณของกำมะถันที่สามารถละลายได้ในเซรุ่ม ซึ่งจะถูกลดซับเข้าสู่อนุภาคยาง และเกิดกระบวนการแพร่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลยางขึ้นภายในอนุภาคยาง (Porter *et al*, 1992) และในปฏิกิริยาในการเร่งการทำงานของสารวัลคาไนซ์ แหล่งที่ให้ Zn สามารถแตกตัวมาได้จากสารตัวเร่งซิงค์ไคบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตและซิงค์ออกไซด์ได้อีก (Loh, 1982 Quoted in Blackley, 1997b: 470-472) จึงทำให้การแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไคเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตไม่มีอิทธิพลต่อระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเพาด์

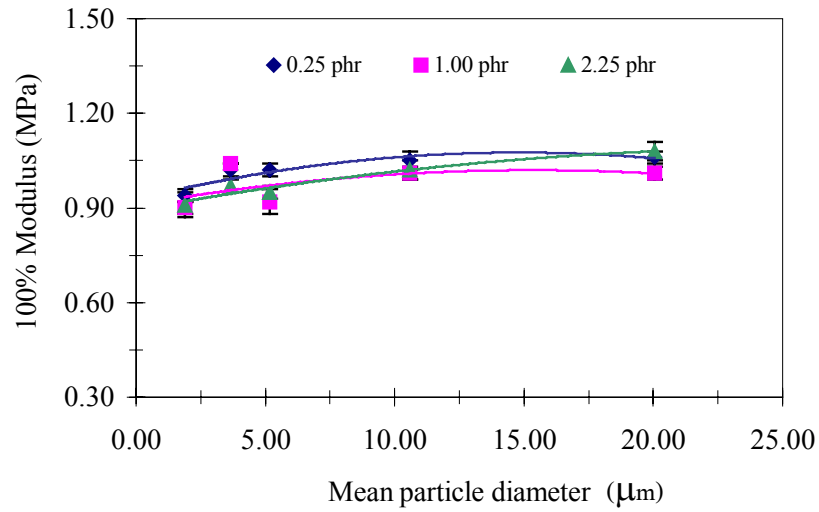
ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไคเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตคิสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไคเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน และแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไคเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr, 1.0 phr และ 2.25 phr ทำการบ่มน้ำยางคอมเพาด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำน้ำยางคอมเพาด์มาทำการเตรียมแผ่นฟิล์มตามวิธีการข้อ 3.4.2 และนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพดังการทดสอบข้อ 3.6.7 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12 – 4.13 และรูปที่ 4.31 – 4.34 โดยทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดและปริมาณของอนุภาคซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บาเมต คิสเฟตชั้น วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลาการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ

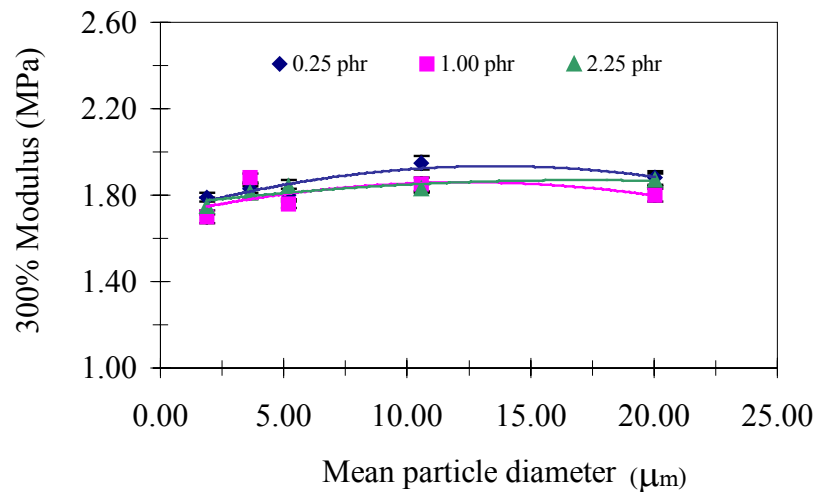
Properties	Time (min.)	ZDEC 0.25 phr					ZDEC 1.0 phr					ZDEC 2.25 phr				
		Mean particle size diameter ZDEC (μm)					Mean particle size diameter ZDEC (μm)					Mean particle size diameter ZDEC (μm)				
		1.89	3.64	5.18	10.57	20.04	1.89	3.64	5.18	10.57	20.04	1.89	3.64	5.18	10.57	20.04
100% Modulus (MPa)	10	0.89	0.98	0.97	0.97	1.05	0.90	1.13	0.90	1.02	0.99	0.95	0.98	0.94	1.01	0.99
	30	0.94	1.02	1.02	1.05	1.06	0.90	1.04	0.92	1.01	1.01	0.91	0.97	0.95	1.02	1.08
	60	0.91	1.03	0.96	1.03	1.06	0.84	1.10	0.92	1.03	1.03	0.96	0.96	0.96	0.99	0.87
300% Modulus (MPa)	10	1.61	1.71	1.74	1.77	1.81	1.64	1.86	1.63	1.86	1.72	1.71	1.73	1.73	1.80	1.81
	30	1.79	1.83	1.80	1.95	1.88	1.70	1.88	1.76	1.85	1.80	1.75	1.81	1.84	1.83	1.87
	60	1.62	1.83	1.73	1.93	1.83	1.49	1.95	1.65	1.87	1.77	1.77	1.73	1.74	1.86	1.57
Tensile strength (MPa)	10	23.77	23.33	27.17	25.54	24.99	23.21	25.10	24.37	21.33	24.43	25.19	24.59	26.34	25.94	24.66
	30	26.43	24.57	26.72	25.11	28.52	23.31	25.33	21.46	22.66	26.80	25.40	25.56	25.27	27.93	25.06
	60	27.34	28.29	27.53	27.13	27.65	23.45	24.59	23.49	23.26	25.40	25.20	23.40	27.81	23.47	19.68
Elongation at break (%)	10	803	836	756	781	768	761	731	795	750	793	781	758	788	801	763
	30	781	810	761	761	781	778	796	738	750	798	796	768	788	808	771
	60	808	840	765	800	785	800	826	791	773	815	800	766	798	795	813

ตารางที่ 4.13 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ แปรขนาดและปริมาณของอนุภาคซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บาเมต คิสเฟิซัน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที

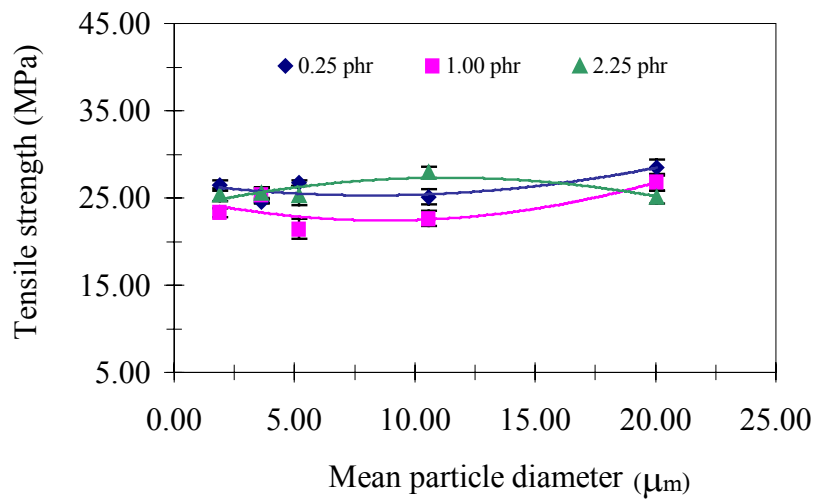
Properties	Temp. (°C)	ZDEC 0.25 phr					ZDEC 1.0 phr					Sulphur 2.25 phr				
		Mean particle size diameter ZDEC (µm)					Mean particle size diameter ZDEC (µm)					Mean particle size diameter ZDEC (µm)				
		1.89	3.64	5.18	10.57	20.89	1.89	3.64	5.18	10.57	20.89	1.89	3.64	5.18	10.57	20.89
100% Modulus (MPa)	90	1.10	0.97	1.01	1.07	1.11	1.10	1.0	0.99	0.93	1.06	1.05	1.06	0.97	0.92	1.09
	110	0.94	1.02	1.02	1.05	1.06	0.90	1.04	0.92	1.01	1.01	0.91	0.97	0.95	1.02	1.08
	120	1.04	1.08	0.83	1.08	1.08	0.98	1.0	0.97	1.10	0.98	1.04	1.10	0.91	1.03	1.07
	130	0.87	1.01	0.79	1.06	0.92	0.82	0.98	0.81	1.16	0.87	1.01	1.01	0.95	1.05	1.01
300% Modulus (MPa)	90	1.82	1.67	1.84	1.99	1.96	1.90	1.78	1.78	1.75	1.86	1.89	1.94	1.80	1.68	1.89
	110	1.79	1.83	1.80	1.95	1.88	1.70	1.88	1.76	1.85	1.80	1.75	1.81	1.84	1.83	1.87
	120	1.83	1.90	1.57	1.98	1.94	1.78	1.81	1.79	1.99	1.79	1.89	1.90	1.73	1.91	1.94
	130	1.51	1.83	1.41	1.90	1.58	1.48	1.84	1.54	2.04	1.50	1.95	1.84	1.70	1.86	1.74
Tensile strength (MPa)	90	26.0	26.47	25.80	24.47	28.56	26.55	22.78	23.17	19.68	28.50	24.31	24.71	24.29	22.12	27.89
	110	26.43	24.57	26.72	25.11	28.52	23.31	25.33	21.46	22.66	26.80	25.40	25.56	25.27	27.93	25.06
	120	26.44	27.36	25.53	27.35	27.67	25.72	25.06	25.68	20.26	26.72	25.52	23.80	23.23	25.68	24.76
	130	25.73	30.32	23.33	26.70	26.29	25.89	24.34	22.96	24.39	24.25	23.44	23.54	22.56	25.90	23.30
Elongation at break (%)	90	813	853	798	766	765	793	765	780	745	788	756	755	761	781	781
	110	781	810	761	761	781	778	796	738	750	798	796	768	788	808	771
	120	813	831	821	753	788	780	788	783	730	813	770	758	786	783	785
	130	845	881	811	775	878	845	756	828	750	905	751	770	806	796	846



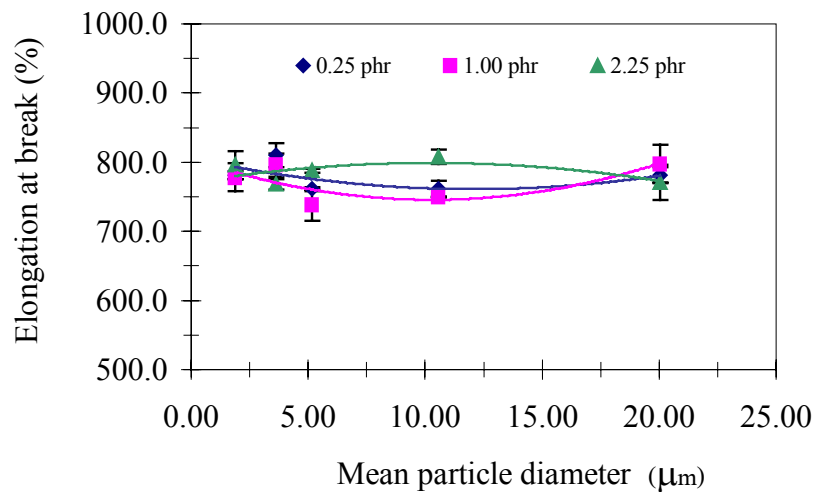
รูปที่ 4.31 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บามาต ต่อสมบัติ 100%โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.32 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บามาต ต่อสมบัติ 300%โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



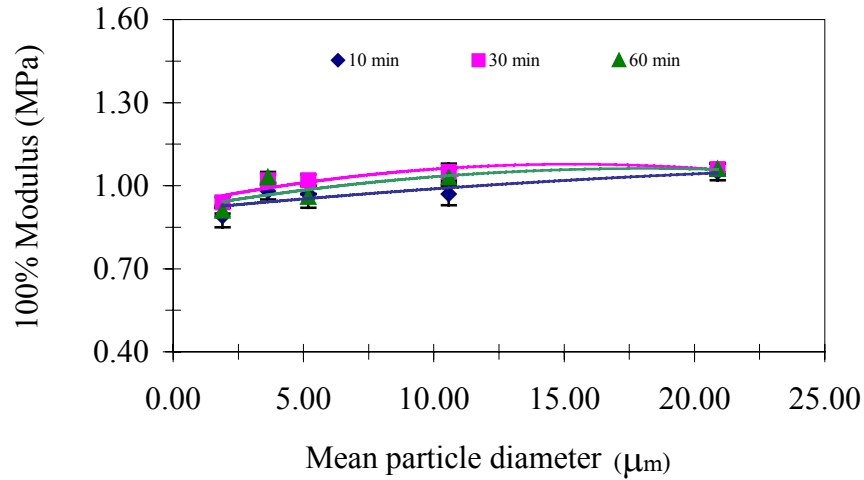
รูปที่ 4.33 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที



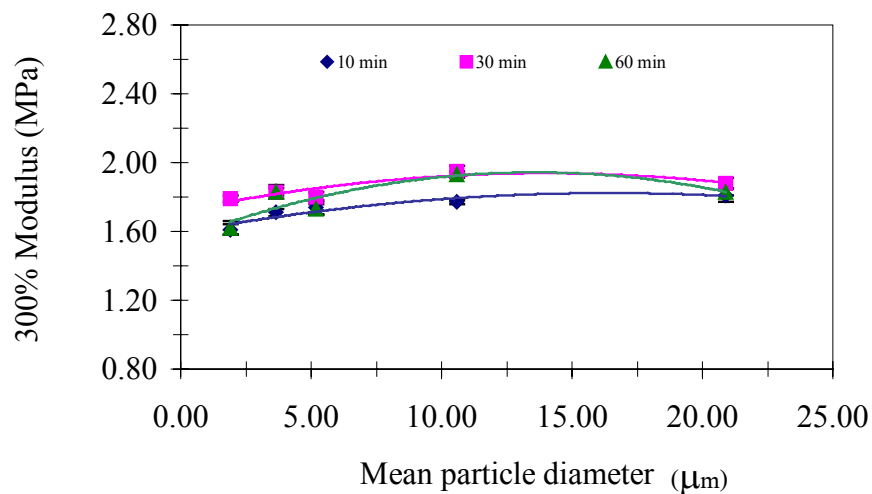
รูปที่ 4.34 ผลของการแปรปริมาณและขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต ต่อสมบัติระยะยืดจนขาด ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงผลดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.31 – 4.34 พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตจะไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ คือ 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต พบว่าค่า 100% โมดูลัส และ 300% โมดูลัส แสดงดังรูปที่ 4.31 และ 4.32 ตามลำดับ การใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 0.25 phr ค่าโมดูลัสจะมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 1.0 phr และ 2.25 phr ซึ่งการใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 1.0 phr และ 2.25 phr จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิดกระบวนการ Reversion ในขั้นตอนการวัลคาไนซ์ เพราะการใช้สารตัวเร่งร่วมกับกำมะถันในการวัลคาไนซ์ยางพบว่าสารตัวเร่งจะช่วยลดเวลาในการวัลคาไนซ์ อุณหภูมิ และปริมาณกำมะถันที่ใช้เพื่อให้ได้ยางที่มีสมบัติทางฟิสิกส์สูงสุดลดลง (พรพรรณ, 2528: 42)

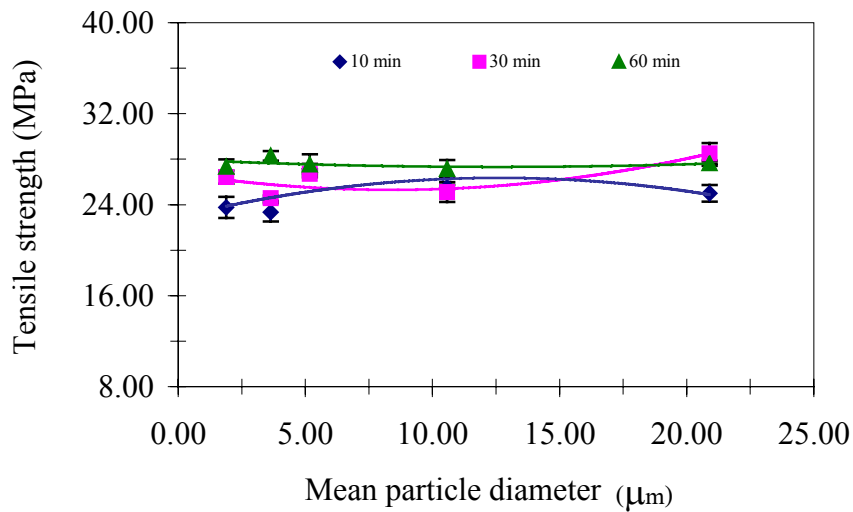
เปรียบเทียบลักษณะพฤติกรรมสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส รวมทั้งแผ่นฟิล์มที่ทำการแปรอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์เป็นเวลา 30 นาที เมื่อใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr แสดงดังรูปที่ 4.35 – 4.42



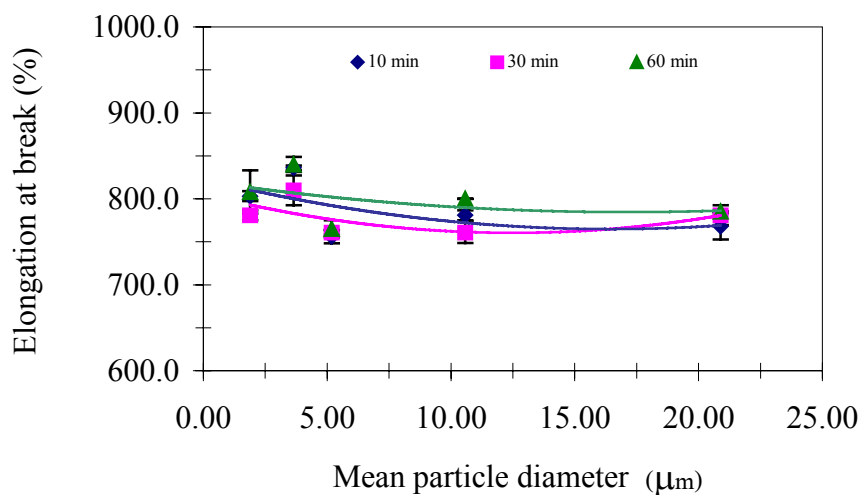
รูปที่ 4.35 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติ 100% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



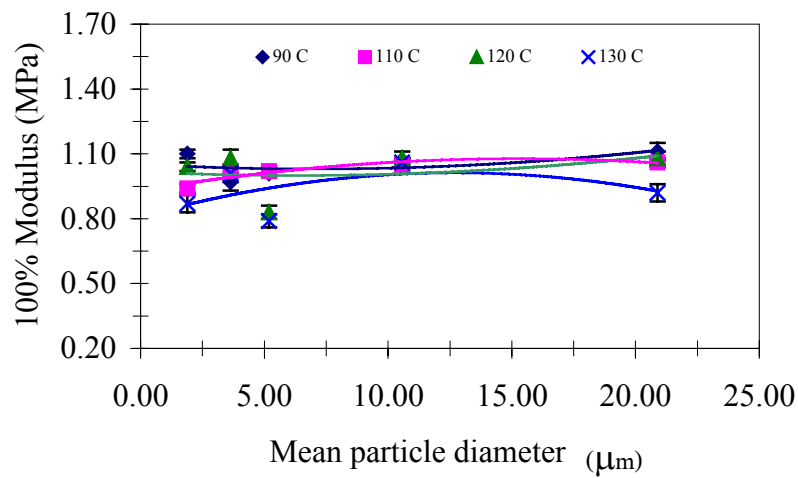
รูปที่ 4.36 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติ 300% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



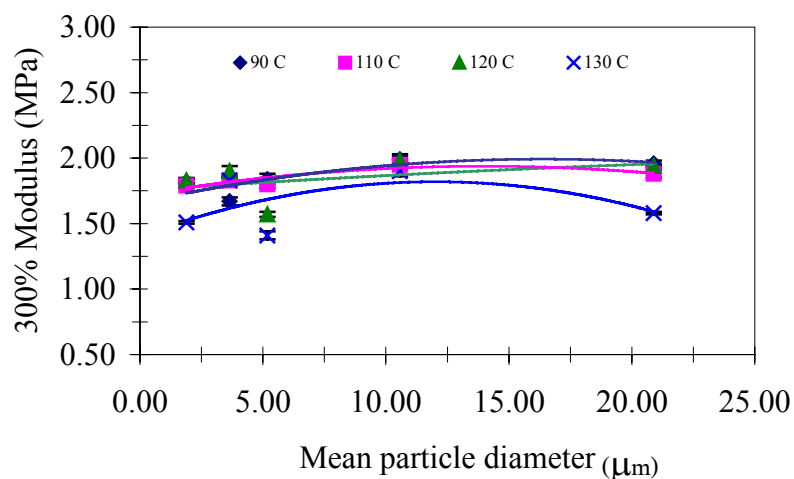
รูปที่ 4.37 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาบาเมตต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



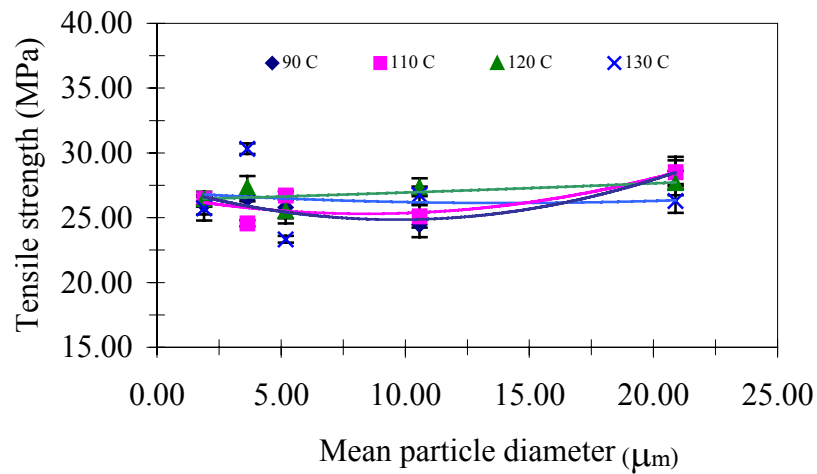
รูปที่ 4.38 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาบาเมตต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดออกไซด์ไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที



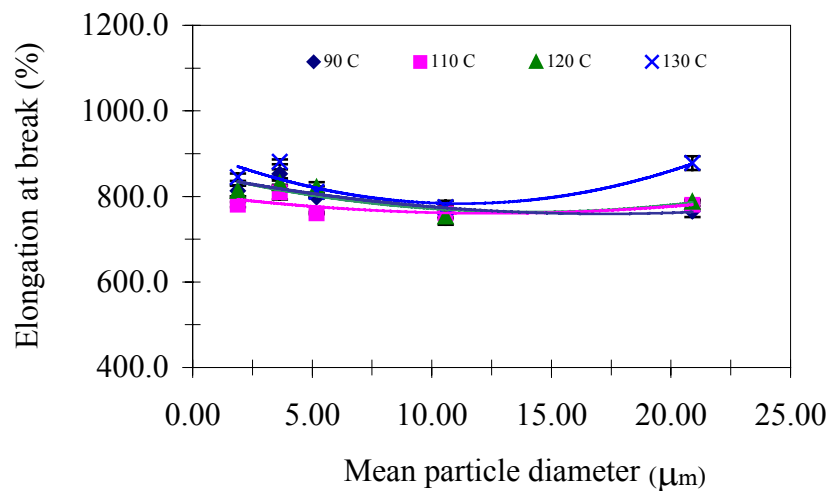
รูปที่ 4.39 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาบาเมตต่อสมบัติ 100% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.40 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาบาเมตต่อสมบัติ 300% โมดูลัสของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.41 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที



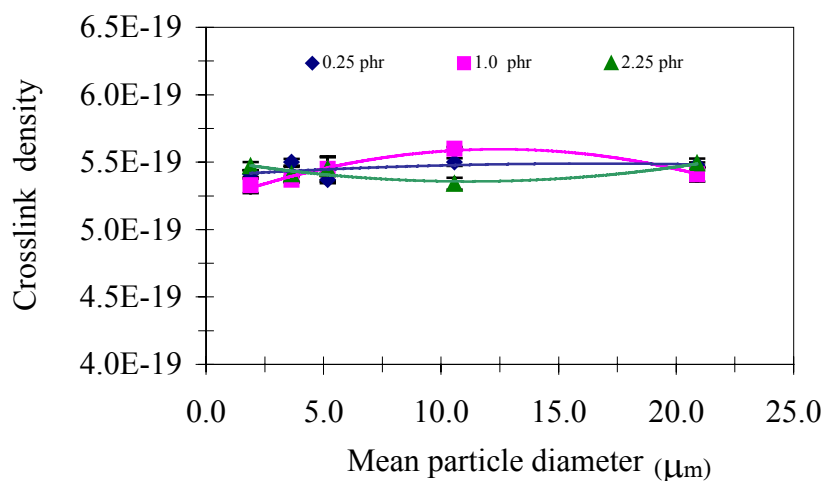
รูปที่ 4.42 ผลของการแปรขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมต 0.25 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที

จากการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr, 1.00 phr และ 2.25 phr แปรระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และแปรอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4.12 – 4.13 และรูปที่ 4.35 – 4.42 กรณีการใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เช่น 100%โมดูลัส 300%โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาดของแผ่นฟิล์ม ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน ในส่วนของของเหลวในน้ำยางไม่แตกต่างกัน ซึ่งอัตราการสลายตัวของสารตัวเร่งขณะทำปฏิกิริยาในกระบวนการพรีวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตที่ใช้ตอนเริ่มต้นเพิ่มขึ้น อัตราการสลายตัวของสารตัวเร่งนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สามารถสลายตัวจนเป็นศูนย์ ในกรณีที่ในสูตรคอมเปาต์ไม่มีส่วนประกอบของสารกระตุ้นซิงค์ออกไซด์ ซึ่งจะไม่นับกับปริมาณสารตัวเร่งที่ใช้ตอนเริ่มต้น แต่ถ้ามีส่วนประกอบของสารกระตุ้นซิงค์ออกไซด์อัตราการสลายตัวของสารตัวเร่งชนิดนี้จะไม่เป็นศูนย์จะเริ่มลดลงช้า ๆ เนื่องจาก Zn สามารถแตกตัวมาจากสารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ได้อีก (Loh, (1982) Quoted in Blackley, (1997b: 470-472)) ความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคยางและภายในอนุภาคยาง รวมทั้งแรง Secondary Valence Force ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ซ้อนทับกันของอนุภาคยาง (Cook *et al.*, 1997) ซึ่งความสามารถของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 1 – 20 ไมครอน ในการรวมตัวกับกำมะถันจะไม่มี ความแตกต่างกัน ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยเตรียมแผ่นฟิล์มตามข้อ 3.4.3 และทำการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงตามข้อ 3.6.8 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.43

ตารางที่ 4.14 ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงแปรปริมาณและขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตซิสเพอร์ซัน

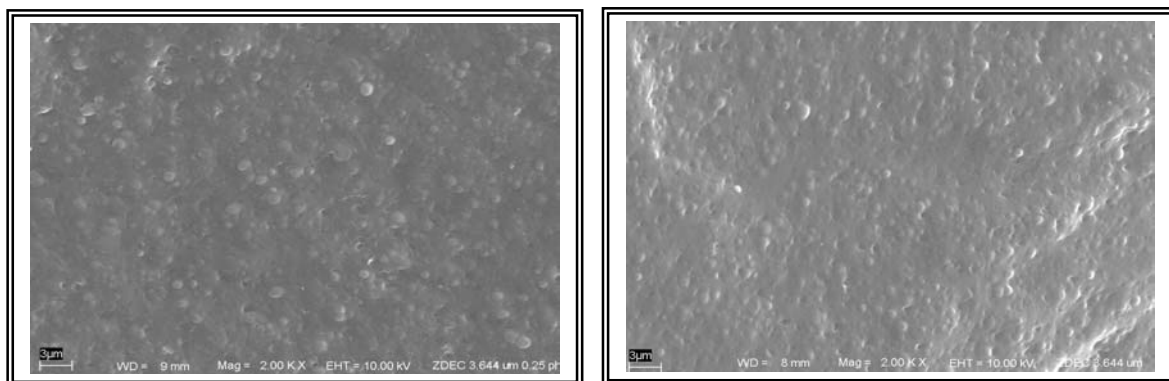
Mean particle diameter of ZDEC (μm)	Crosslink density ($\times 10^{-19}$)		
	0.25 phr	1.00 phr	2.25 phr
1.89	5.41	5.33	5.47
3.64	5.50	5.37	5.41
5.18	5.37	5.45	5.45
10.57	5.50	5.60	5.34
20.89	5.48	5.41	5.49



รูปที่ 4.43 ผลของขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr, 1.0 phr และ 2.25 phr

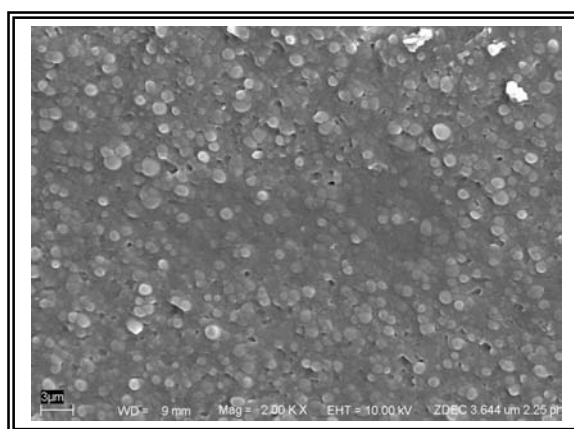
จากผลการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงแสดงผลดังรูปที่ 4.43 โดยทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต พบว่าขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตจะไม่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตแตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเร่ง ZDEC ไม่ส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของโมเลกุลยางเกิดจากการที่กำมะถันเข้าไปยึดเป็นโครงสร้างร่างแห ซึ่งได้รับการกระตุ้นในการทำงานจากสารตัวเร่ง (Chapman and Porter, 1990) ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารตัวเร่ง ZDEC เข้าสู่อนุภาคยางจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกำมะถัน (Porter *et al*, 1992) ฉะนั้นการเพิ่มสารตัวเร่ง ZDEC 2.25 phr จะไม่ทำให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงสูงที่สุด เนื่องจากการมีปริมาณกำมะถันที่จำกัด พบว่าการใช้สารตัวเร่ง ZDEC 1.0 phr จะให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงสูงที่สุด

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ทำการแปรขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต นำไปทดสอบด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามวิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มข้อ 3.4.4 และวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9 ข้อมูลที่ได้แสดงดังรูปต่อไปนี้



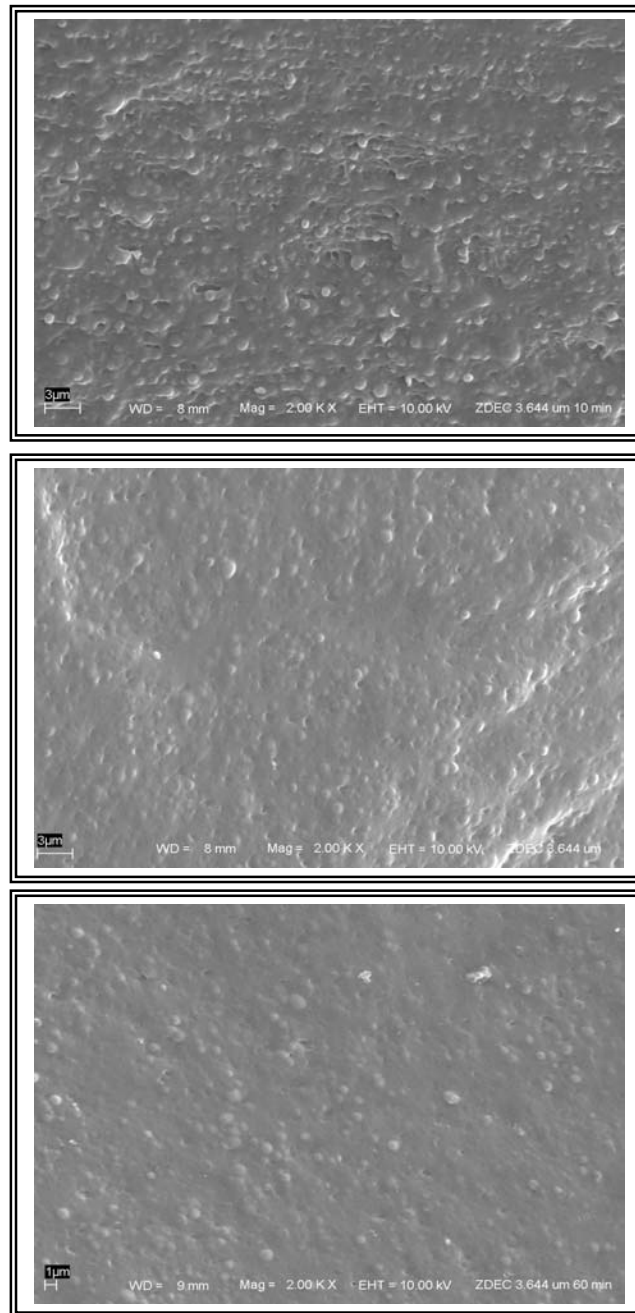
(A)

(B)



(C)

รูปที่ 4.44 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 3.64 ไมครอน แปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตดังนี้ (A) 0.25 phr, (B) 1.0 phr และ (C) 2.25 phr ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.45 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มโพลีอิมิดไนซ์ยางธรรมชาติ ขนาดอนุภาคสารตัว
 เร่งซึ่งคิโดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต $3.64 \mu\text{m}$ ใช้สารตัวเร่งซึ่งคิโดเอทิลไดไทโอคาร์
 บาเมตในปริมาณ 1.0 phr โพลีอิมิดไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังนี้ (A) 10
 นาที, (B) 30 นาที และ (C) 60 นาที ตามลำดับ ศึกษาจากเครื่องจุลทรรศน์
 อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 2000 เท่า

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อแปรปริมาณสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.25 phr, 1.00 phr และ 2.25 phr โดยใช้ขนาดอนุภาคสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตเฉลี่ย 3.64 ไมครอน วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.44 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตทำให้แผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์มีปริมาณของสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเม็ดกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ ทำให้ลักษณะความเป็นเนื้อเดียวของแผ่นฟิล์มลดลง การใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 2.25 phr แสดงดังรูป 4.44(C) จะมีลักษณะของอนุภาคสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางมากที่สุด รองลงมาคือการใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 1.00 phr แสดงดังรูป 4.44(B) และ การใช้ปริมาณสารตัวเร่ง 0.25 phr จะมีลักษณะของอนุภาคสารเคมีที่ไม่หลอมเข้าสู่อนุภาคยางน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.44(A)

เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคของสารตัวเร่งซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 3.64 ไมครอน ปริมาณ 1.00 phr ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.45 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น การใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 60 นาที แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.45(C) รองลงมาคือการใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.45(B) และ การใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 10 นาที ลักษณะของแผ่นฟิล์มจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.45(A)