บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการดำเนินการทดลองตามวิธีในบทที่ 3 สามารถแสดงผลการทดลองพร้อมการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการละลายน้ำของพอลิเมอร์

ผลการละลายน้ำของพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล แป้ง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 –4.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 การละลายน้ำของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG)

ความเข้มข้น (%)	ผลการละลายน้ำ
1	ละลายน้ำได้สารละลายใส
5	ละลายน้ำได้สารละลายใส
10	ละลายน้ำได้สารละลายใส
30	ละลายน้ำได้สารละลายใส
40	ละลายน้ำได้สารละลายใส
50*	ละลายน้ำได้สารละลายใส

หมายเหตุ : "*" พอลิเอทธิลีนไกลคอลสามารถละลายน้ำได้มากกว่า 50% แต่การทดลองนี้ไม่ต้องการใช้พอลิเมอร์ปริมาณสูงเพราะเป็นการสิ้นเปลืองมากเกินไป

ตารางที่ 4.2 การละลายน้ำของแป้ง (STARCH)

ความเข้มข้น (%)	ผลการละลายน้ำ
1	ละลายน้ำได้สารละลายสีขาว
5	ละลายน้ำได้สารละลายสีขาว เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดตะกอนเล็กน้อย
10	ละลายน้ำได้สารละลายสีขาว เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดตะกอนมากขึ้น
15	ละลายน้ำได้สารละลายสีขาว เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดตะกอนทันที

ตารางที่ 4.3 การละลายน้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

ความเข้มข้น (%)	ผลการละลายน้ำ
1	ละลายน้ำได้สารละลายสีขาว และข้น
5	ละลายน้ำได้บ้าง เมื่อให้ความร้อนจะละลาย ได้สารละลายใส ข้นและหนืด
10	ไม่ละลายน้ำ เมื่อให้ความร้อนจะละลาย ได้สารละลายใสและข้นหนืดมาก
15	ไม่ละลายน้ำ เมื่อให้ความร้อนจะละลาย ได้สารละลายใสและข้นหนืดมาก

ผลจากตารางที่ 4.1-4.3 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิห้องสารพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนไกลคอลมีความสามารถในการละลายน้ำมากที่สุดคือ มากกว่า 50% แป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะละลายน้ำได้ราว 1-5% โดยที่แป้งจะเริ่มตกตะกอนมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงกว่า 5% และไม่สามารถละลายน้ำได้หมดเมื่อให้ความร้อน ในขณะที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายน้ำได้หมดเมื่อให้ความร้อนซึ่งจะได้สารละลายใสข้นและหนืดมากขึ้นตามปริมาณสารที่เติม จากผลการทดลองข้างต้นนี้จึงเลือกเติมสารพอลิเมอร์ต่างๆลงในน้ำยาง ตามความเข้มข้นดังนี้ พอลิเอทิลีนไกลคอล 1,5,10 และ 30% แป้ง 1,5 และ 10% และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1,5 และ 10%

4.2 ผลการผสมพอลิเมอร์ในน้ำยาง

เนื่องจากยังไม่เคยมีการทดลองเติมสารพอลิเมอร์ 3 ชนิดข้างต้นลงในน้ำยาง และเพื่อตรวจสอบดูลักษณะการผสมของพอลิเมอร์กับน้ำยาง จึงมีการสังเกตลักษณะการผสมเข้ากัน โดยสังเกตจากลักษณะของน้ำยางผสมว่ามีการจับตัวกันเป็นก้อน หรือมีความหนืดผิดปกติไปจากน้ำยางสูตรปกติหรือไม่ ซึ่งผลจากการสังเกตลักษณะของน้ำยางหลังผสมสารพอลิเมอร์มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่4.4 ลักษณะของน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์

น้ำยางผสมพอลิเมอร์	ลักษณะของน้ำยาง
น้ำยาง (NR)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด
น้ำยางผสมPEG1%, 1 ส่วน (1 PEG 1)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสมPEG5%, 1 ส่วน (5 PEG 1)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสมPEG5%, 2 ส่วน (5 PEG 2)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PEG5%, 3 ส่วน (5 PEG 3)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PEG5%, 4 ส่วน (5 PEG 4)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PEG5%, 5 ส่วน (5 PEG 5)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PEG10%, 10 ส่วน (10 PEG10)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PEG30%, 20 ส่วน (30 PEG20)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PEG30%, 30 ส่วน (30 PEG30)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสมแป้ง1%, 1 ส่วน (1 ST 1)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสมแป้ง5%, 1 ส่วน (5 ST 1)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสมแป้ง5%, 2 ส่วน (5 ST 2)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสมแป้ง5%, 5 ส่วน (5 ST 5)	สีขาวคล้ายน้ำนมสด เมื่อตั้งทิ้งไว้นานๆจะเกิดตะกอนของแป้ง
น้ำยางผสมแป้ง10%, 10 ส่วน (10 ST 10)	สีขาวคล้ายน้ำนมสด เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดตะกอนของแป้งเร็วและมาก
น้ำยางผสม PVA1%, 1 ส่วน (1PVA 1)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PVA5%, 1 ส่วน (5 PVA 1)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PVA5%, 2 ส่วน (5 PVA 2)	มีสีขาวคล้ายน้ำนมสด เหมือนน้ำยางธรรมชาติ
น้ำยางผสม PVA5%, 5 ส่วน (5 PVA 5)	มีสีขาว ค่อนข้างหนืด
น้ำยางผสม PVA10%, 10 ส่วน (10 PVA 10)	มีสีขาว ข้นหนืดมีฟองอากาศกระจายอยู่ทั่วเนื่องจากการคนผสมอย่างรุนแรง

เมื่อพิจารณาผลแสดงในตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบลักษณะของน้ำยางธรรมชาติสูตรปกติกับน้ำยางผสมพอลิเมอร์ พบว่าน้ำยางที่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีลักษณะทางกายภาพเหมือนน้ำยางสูตรปกติทั่วๆไป แม้จะมีการเพิ่มปริมาณของพอลิเมอร์ คือ น้ำยางไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อนเล็กๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพอลิเอทิลีนไกลคอลสามารถละลายน้ำได้ดีมากเมื่อนำไปผสมกับน้ำยางและสารเคมีอื่นๆจึงสามารถแทรกตัวไปตามอนุภาคของน้ำยางได้ดีจึงไม่ทำให้ยางเกิดการจับตัวเป็นก้อน ส่วนน้ำยางที่ผสมแป้งนั้นสามารถผสมแป้งให้เป็นเนื้อเดียวกับน้ำยางได้ที่ความเข้มข้น 1-5% เมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งในน้ำยางมากขึ้นอีก แป้งเกิดการตกตะกอนแยกออกจากน้ำยาง ส่วนน้ำยางที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นมีความหนืดสูงกว่าน้ำยางที่ผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายน้ำได้น้อยต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลายและทำให้น้ำยางข้นหนืดมากเมื่อถูกผสมด้วยสารชนิดนี้

4.3 ลักษณะของแผ่นยาง

แผ่นยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ มีลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์

น้ำยางผสมพอลิเมอร์	ลักษณะของแผ่นยาง
น้ำยาง (NR)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่น
น้ำยางผสมPEG1%, 1 ส่วน (1 PEG 1)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่นและถอดออกจากแม่แบบได้ง่ายกว่าน้ำยางสูตรปกติ
น้ำยางผสมPEG5%, 1 ส่วน (5 PEG 1)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่นและถอดออกจากแม่แบบได้ง่ายกว่าน้ำยางสูตรปกติ
น้ำยางผสมPEG5%, 2 ส่วน (5 PEG 2)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่นและถอดออกจากแม่แบบได้ง่ายกว่าน้ำยางสูตรปกติ
น้ำยางผสม PEG5%, 3 ส่วน (5 PEG 3)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่น
น้ำยางผสม PEG5%, 4 ส่วน (5 PEG 4)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่นมีลักษณะค่อนข้างเหนียวติดมือเวลาถอดจากแม่แบบ

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ (ต่อ)

น้ำยางผสมพอลิเมอร์	ลักษณะของแผ่นยาง
น้ำยางผสม PEG5%, 5 ส่วน (5 PEG 5)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างเหนียวติดมือเวลาถอดจากแม่แบบ
น้ำยางผสม PEG10%, 10 ส่วน (10 PEG 10)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบเมื่อลูบดูจะค่อนข้างสากมือ ชิ้นงานมีลักษณะเหนียวและติดกันได้ง่าย ต้องใช้แป้งปริมาณมากช่วยในการถอดออกจากแม่แบบ
น้ำยางผสม PEG30%, 20 ส่วน (30 PEG 20)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบเมื่อลูบดูจะค่อนข้างสากมือ ชิ้นงานมีลักษณะเหนียวและติดกันได้ง่าย ต้องใช้แป้งปริมาณมากช่วยในการถอดออกจากแม่แบบ
น้ำยางผสม PEG30%. 30 ส่วน (30 PEG 30)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบเมื่อลูบดูจะค่อนข้างสากมือ ชิ้นงานมีลักษณะเหนียวและติดกันได้ง่าย ต้องใช้แป้งปริมาณมากช่วยในการถอดออกจากแม่แบบ
น้ำยางผสมแป้ง1%, 1 ส่วน (1 ST 1)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่น
น้ำยางผสมแป้ง5%, 1 ส่วน (5 ST 1)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบลื่น
น้ำยางผสมแป้ง5%, 2 ส่วน (5 ST 2)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวเรียบ
น้ำยางผสมแป้ง5%, 5 ส่วน (5 ST 5)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวสัมผัสค่อนข้างสากมือกว่าน้ำยางสูตรปกติ และถอดออกจากแม่แบบค่อนข้างยากจะเกิดการฉีกขาดได้ง่าย ขณะถอดออกจากแม่แบบชิ้นงานจะจับติดกันต้องใช้แป้งปริมาณในการช่วยถอดออกจากแม่แบบ
น้ำยางผสมแป้ง10%, 10 ส่วน (10 ST 10)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขาวขุ่น ผิวสัมผัสค่อนข้างสากมือกว่าน้ำยางสูตรปกติ และถอดออกจากแม่แบบค่อนข้างยากจะเกิดการฉีกขาดได้ง่าย ขณะถอดออกจากแม่แบบชิ้นงานจะจับติดกันต้องใช้แป้งปริมาณในการช่วยถอดออกจากแม่แบบ

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ (ต่อ)

น้ำยางผสมพอลิเมอร์	ลักษณะของแผ่นยาง
น้ำยางผสม PVA1%, 1 ส่วน (1PVA 1)	ชิ้นงานมีผิวเรียบลื่น มีสีขาวขุ่นน้อยกว่าน้ำยางผสมพอลิเมอร์อื่นๆ ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย
น้ำยางผสม PVA5%, 1 ส่วน (5 PVA 1)	ชิ้นงานมีผิวเรียบลื่น มีสีขาวขุ่น ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย
น้ำยางผสม PVA5%, 2 ส่วน (5 PVA 2)	ชิ้นงานมีผิวเรียบลื่นมากกว่าสูตร 5PVA1 มีสีขาวขุ่น ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย
น้ำยางผสม PVA5%, 5 ส่วน (5 PVA 5)	ชิ้นงานมีสีขาวนวล ค่อนข้างหนา ที่ผิวมีร่องรอยของฟองอากาศกระจายอยู่ห่างๆ โดยรอบ ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย โดยใช้แป้งช่วยเพียงเล็กน้อย
น้ำยางผสม PVA10%, 10 ส่วน (10 PVA 10)	ชิ้นงานมีสีขาวนวลเข้มและลักษณะของงแผ่นยางมีความหนามาก มีร่องรอยของฟองอากาศกระจายอยู่โดยรอบ ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย

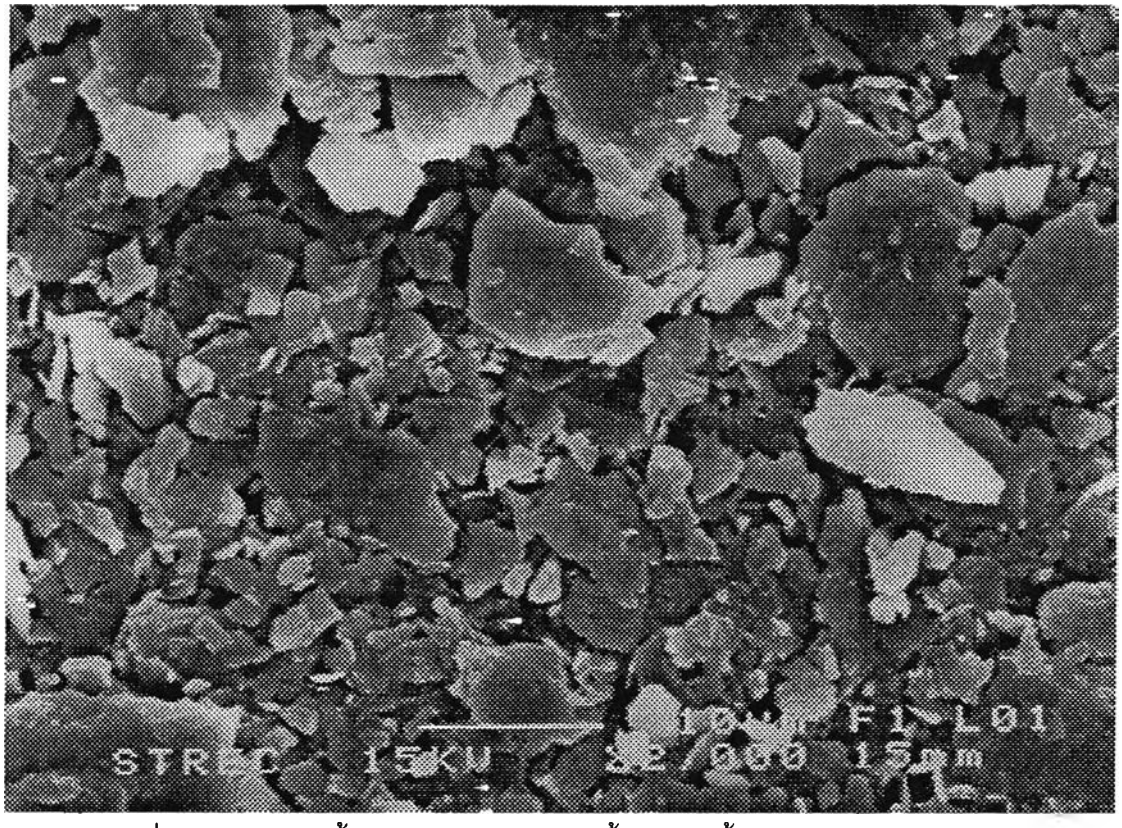
เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.5 พบว่าน้ำยางสูตรผสมพอลิเมอร์สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะต่างๆ กันไปตามลักษณะของพอลิเมอร์ที่ผสม คือ น้ำยางที่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลจะมีพื้นผิวที่เรียบและลื่นมาก ชิ้นงานมีความขุ่นน้อยเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ในปริมาณที่มากขึ้น ชิ้นงานจะสากมือมากขึ้น เกาะติดแม่แบบ และเกาะติดกันเองขณะถอดออกจากแบบมากขึ้น ส่วนน้ำยางที่ผสมแป้งนั้น เมื่อเติมแป้งปริมาณมากขึ้นชิ้นงานจะเหนียวติดแม่แบบมากขึ้น ต้องใช้แป้งปริมาณมากช่วยในการถอด เมื่อพิจารณาน้ำยางที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะพบความแตกต่างอย่างชัดเจนคือในสูตรที่ผสมพอลิเมอร์ 5% และ 10% พบว่าชิ้นงานมีความหนามากและใช้เวลาในการอบให้สุกนานกว่าน้ำยางผสมพอลิเมอร์อื่นๆ มีการคงรูปดีมาก แต่มีสีไม่คงที่และมีร่องรอยของฟองอากาศกระจายอยู่โดยรอบ

4.4 ผลการทดสอบสมบัติ

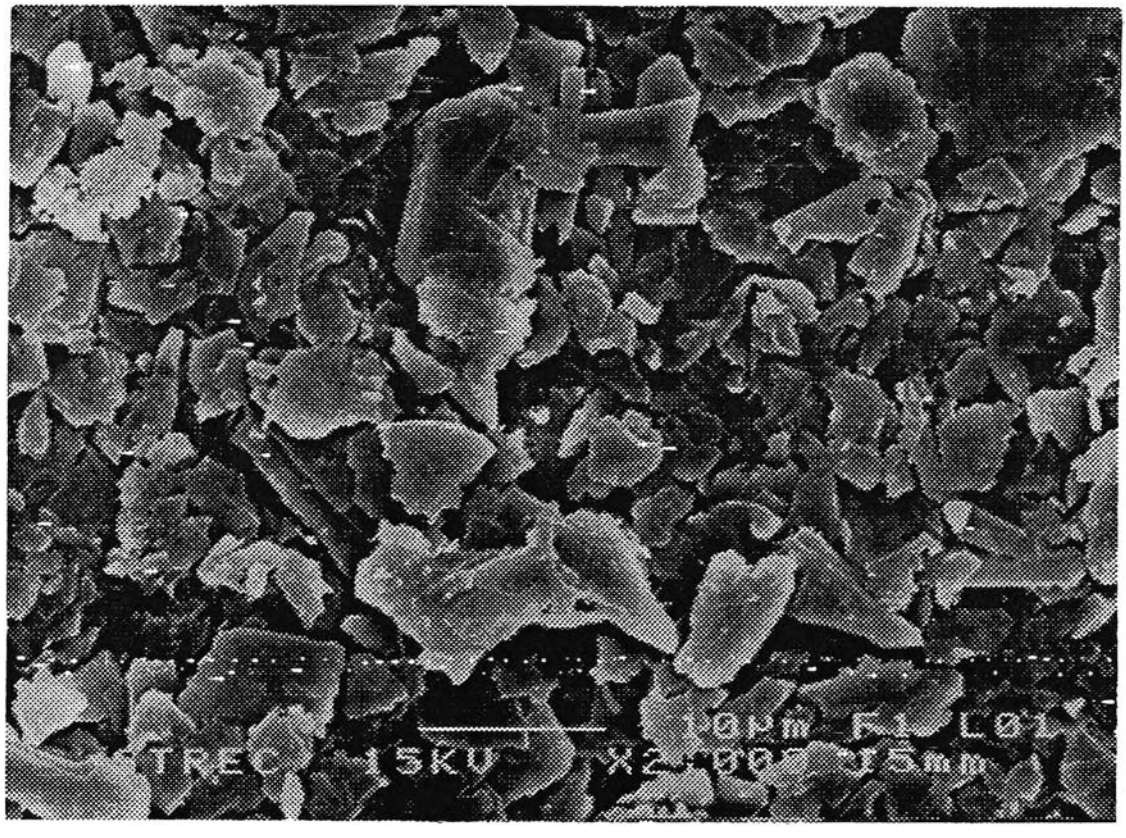
แผ่นยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์สูตรต่างๆ ถูกนำมาทดสอบสมบัติดังนี้ คือ ส่องดูพื้นผิวแผ่นยางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ทดสอบหาความทนแรงดึง ทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่าน และทดสอบหาความสามารถในการสะท้อนน้ำ ซึ่งผลการทดสอบมีแสดงไว้ดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

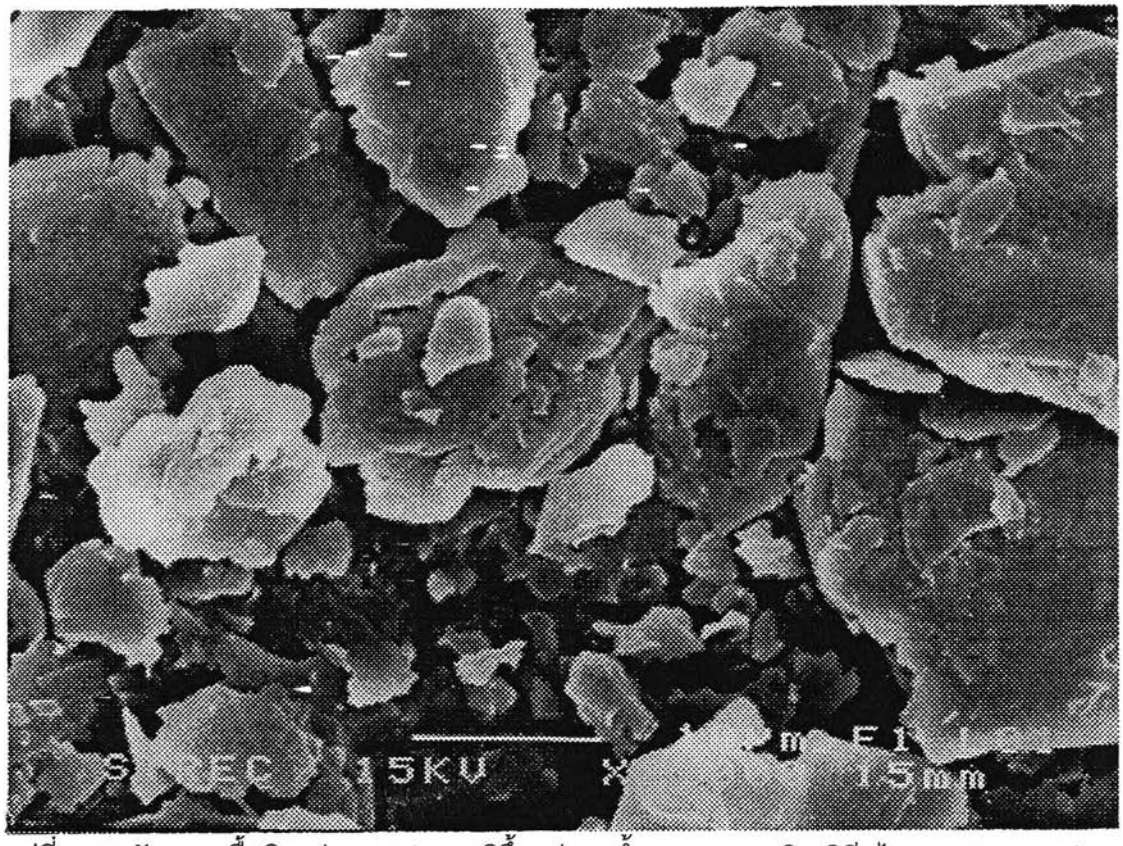
การส่องดูพื้นผิวของแผ่นยางและแผ่นยางผสมพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดมีแสดงไว้ในรูป 4.1 – 4.22 ดังต่อไปนี้



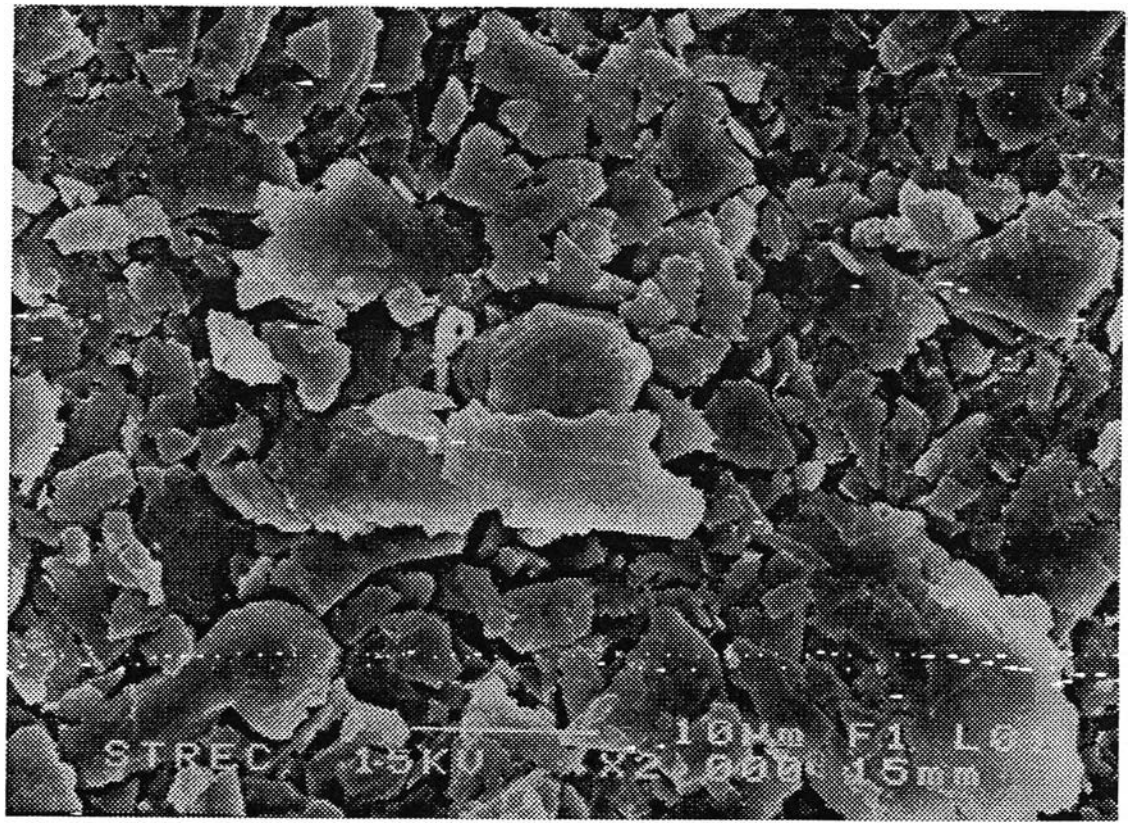
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางแล้วอบแห้ง (NR)



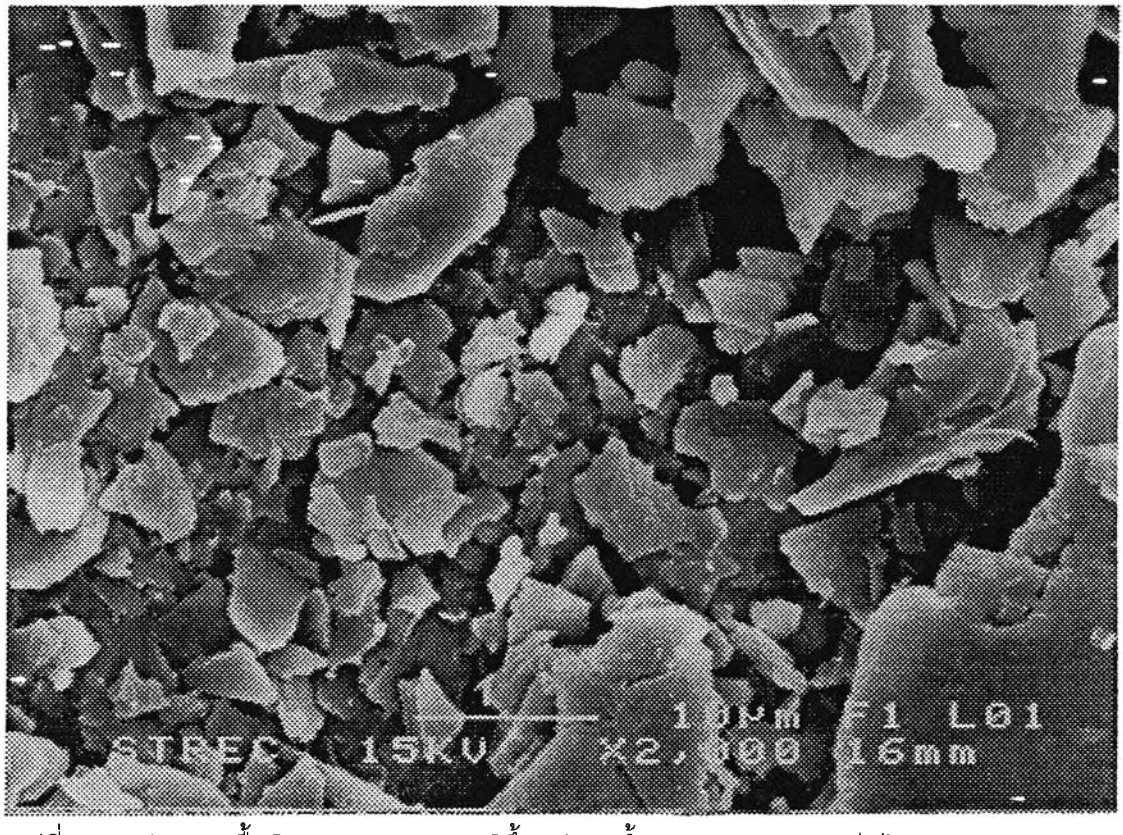
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5PEG1)



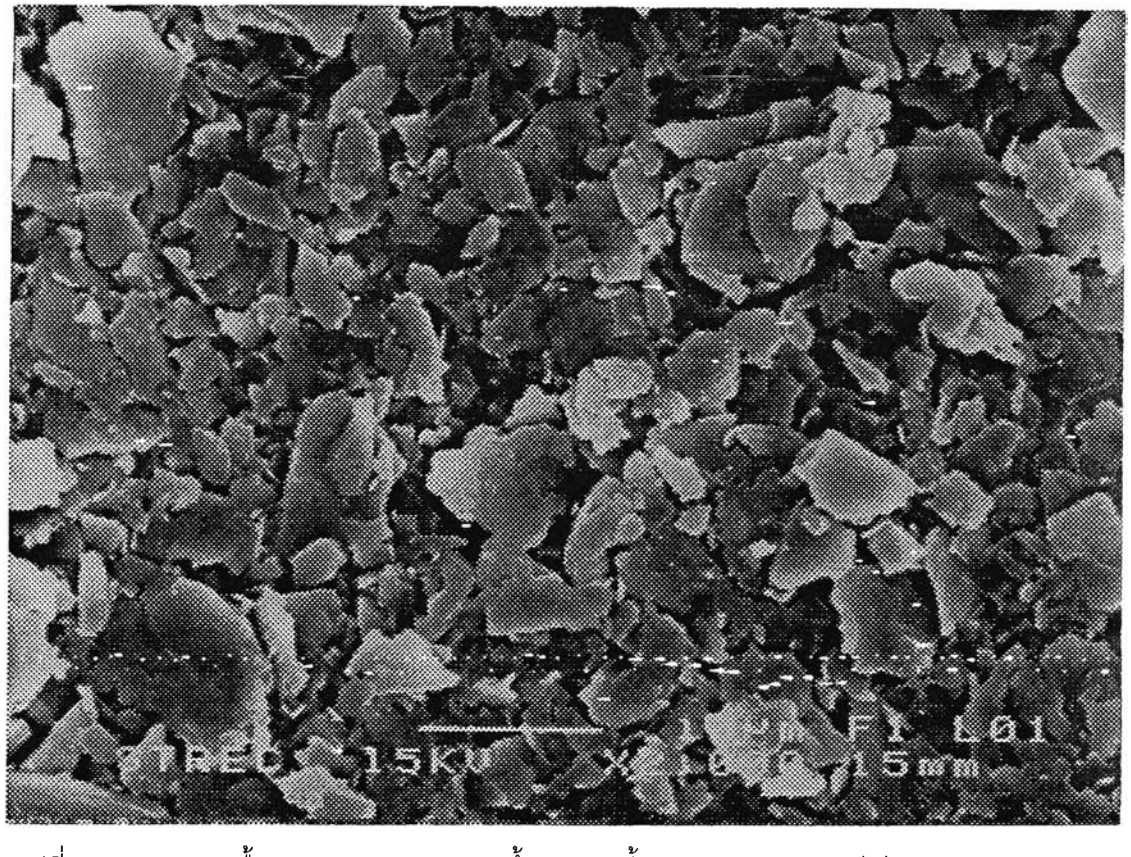
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APEG2)



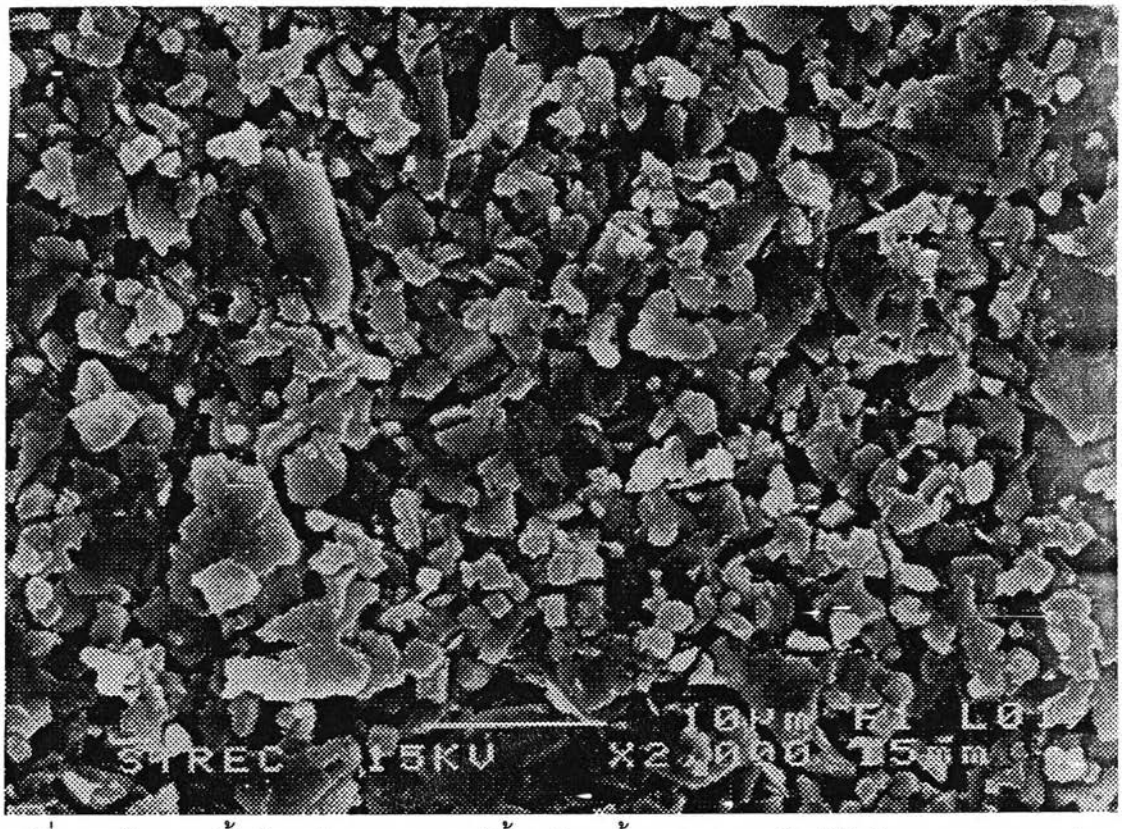
รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPEG2)



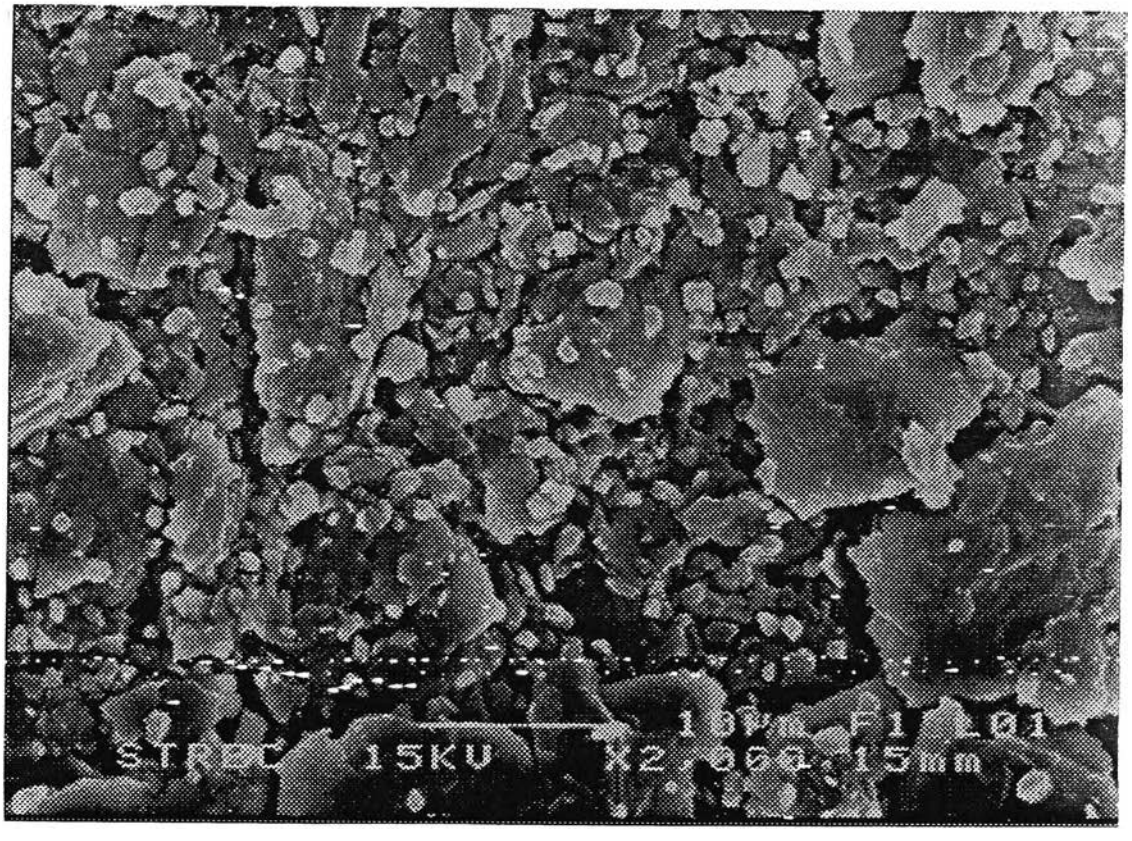
รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APEG2) [ทำซ้ำเหมือนรูปที่ 4.3]



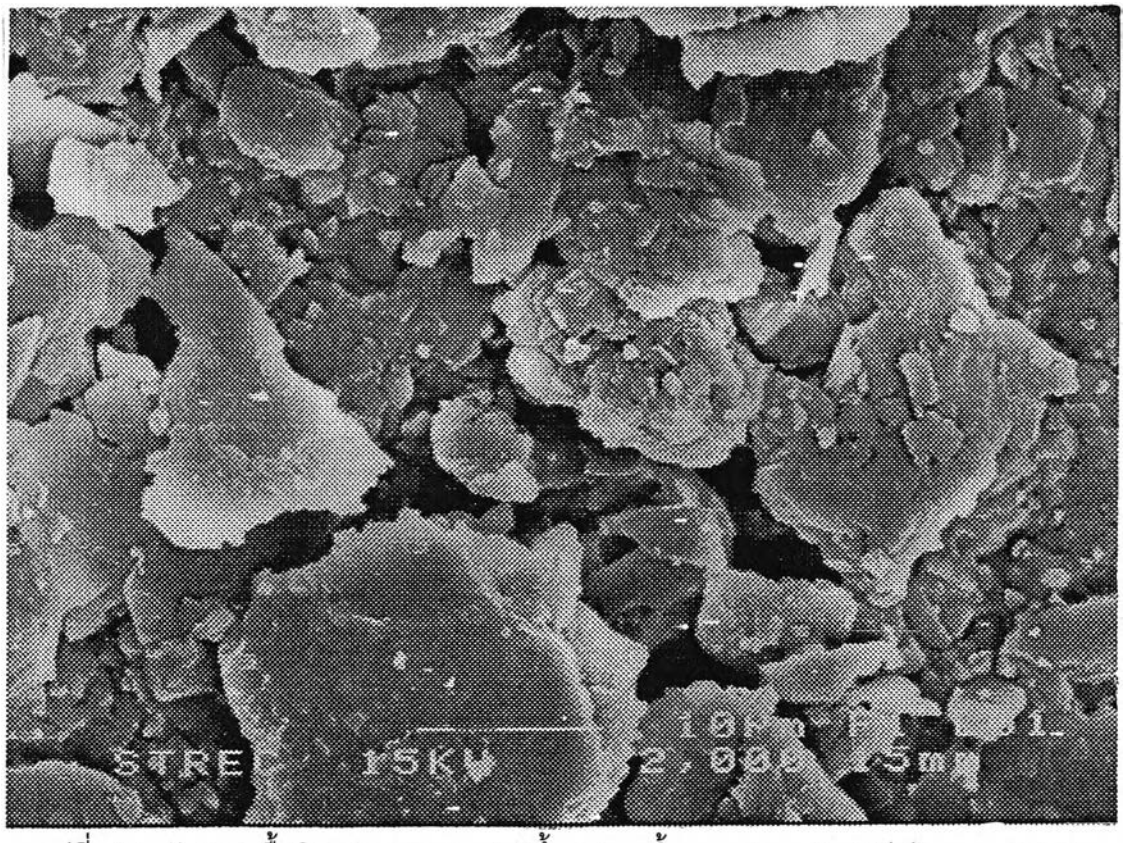
รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPEG2) [ทำซ้ำเหมือนรูปที่ 4.4]



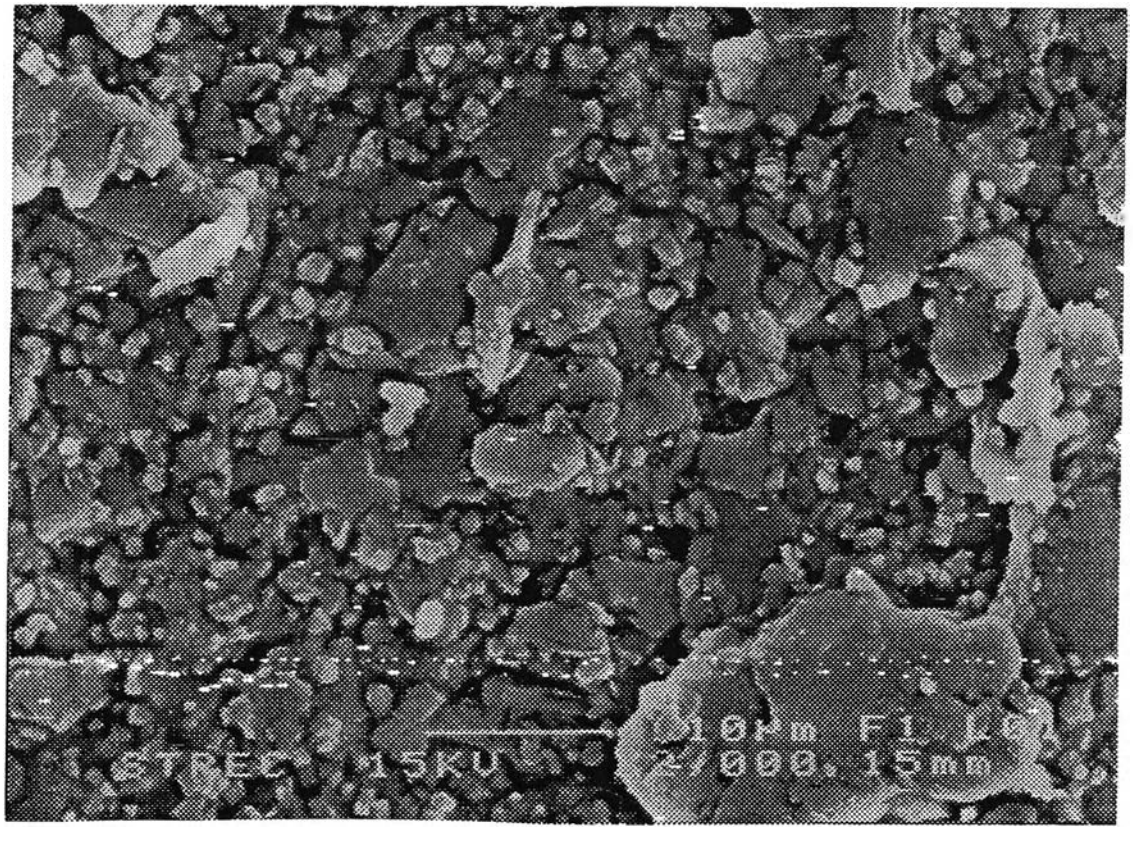
รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิว แผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 5 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5PEG5)



รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10%, 10 ส่วนแล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (10PEG10)



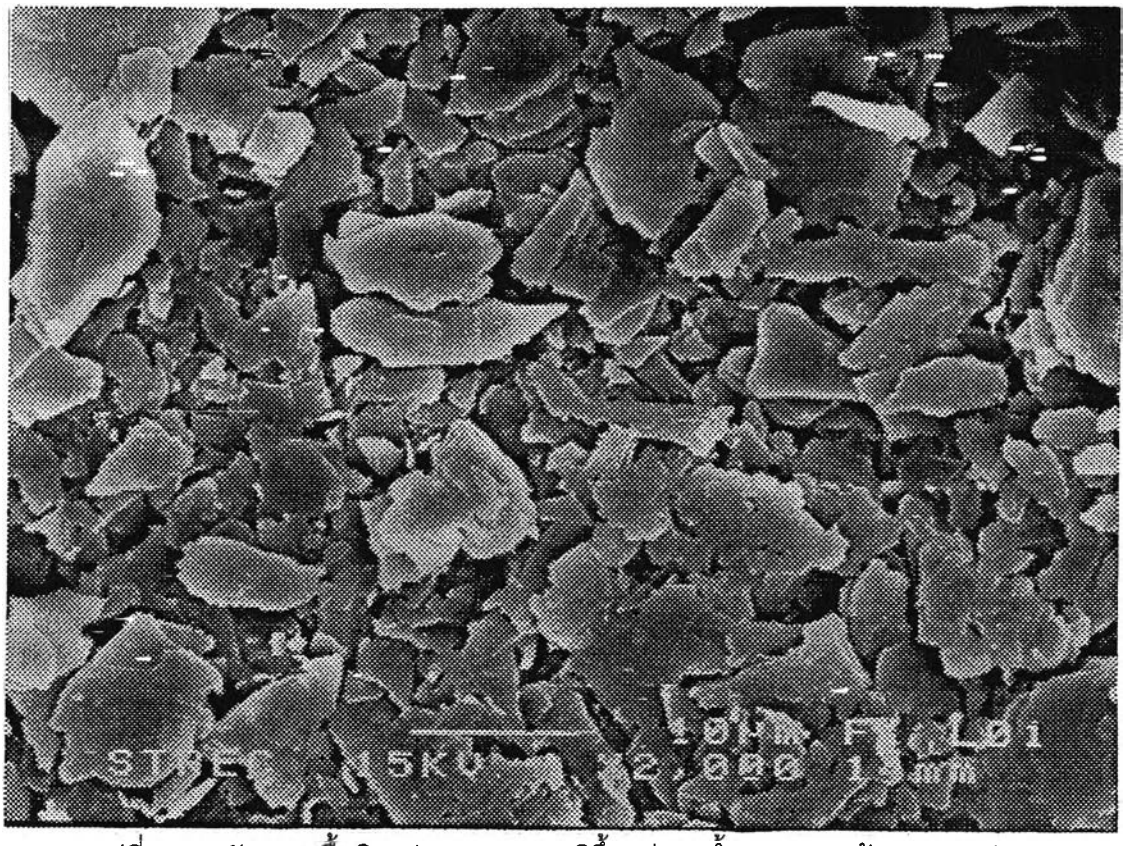
รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 30%, 20 ส่วนแล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (30PEG20)



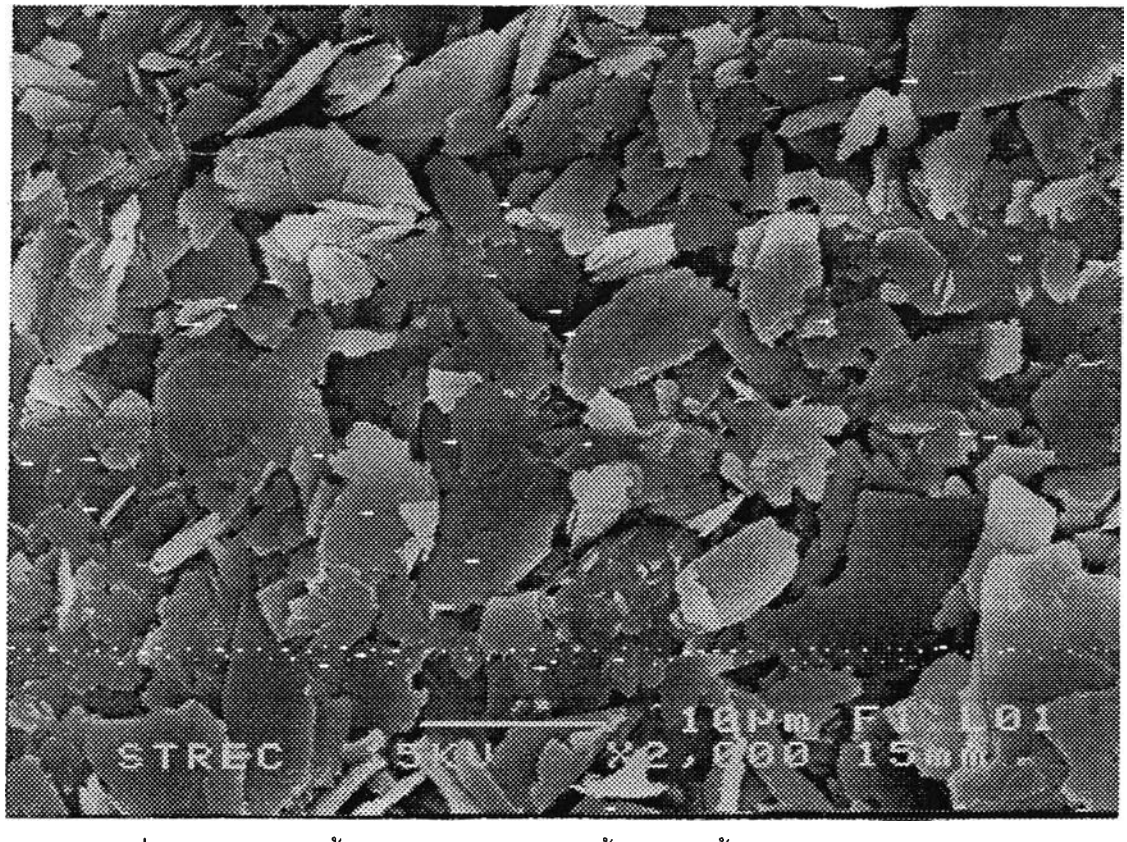
รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 30%, 30 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (30PEG30)

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางแล้วอบแห้งจะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางค่อนข้างน้อยและมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเมอร์ต่างๆ (รูปที่ 4.2 – 4.22) เช่นรูปที่ 4.2 เป็นลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5% , 1 ส่วน (5PEG1) พบว่ามีขนาดและปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากกว่าแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางในรูปที่ 4.1 เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลในน้ำยางเป็น 5%, 2 ส่วน (5PEG2) แผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปที่ได้จะมีขนาดของช่องว่างใหญ่มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.3 ช่องว่างนี้เกิดจากการล้างไล่พอลิเมอร์ที่ผสมออกจากแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปแล้วด้วยน้ำร้อน แต่เนื่องจากการล้างพอลิเมอร์ออกมี 2 วิธี คือ วิธีแรก ล้างออกด้วยน้ำร้อนก่อนอบแห้งยาง และวิธีที่ 2 คือ อบแห้งยางก่อนล้างออกด้วยน้ำร้อน ซึ่งการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางทั้ง 2 วิธีนี้อาจให้ผลต่อขนาดหรือปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคของยางที่เกิดขึ้นแตกต่างกันได้ จึงได้ทดลองไล่พอลิเมอร์ออกจากยางด้วยทั้ง 2 วิธี โดยขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง 2 แผ่น จากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน (5PEG2) แล้วล้างไล่พอลิเมอร์ออกก่อนอบแห้งยาง (5APEG2) 1 แผ่น และอบแห้งยางก่อนล้างไล่พอลิเมอร์ (5BPEG2) อีก 1 แผ่น ผลปรากฏว่า แผ่นฟิล์มยางที่ล้างพอลิเมอร์ออกก่อนอบแห้ง (รูปที่ 4.3) มีขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางใหญ่กว่าแผ่นฟิล์มยางที่อบแห้งยางก่อนล้างพอลิเมอร์ออก (รูปที่ 4.4) และได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งก็ได้ผลเหมือนเดิมดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ทั้งนี้อาจ เนื่องมาจากแผ่นฟิล์มยางที่ถูกล้างพอลิเมอร์ออกก่อนอบแห้งเป็นยางที่ยังไม่เกิดการวัลคาไนซ์อย่างสมบูรณ์เมื่อถูกล้างสารพอลิเมอร์ สารเคมีต่างๆ ที่เติม รวมทั้งสารละลายน้ำในน้ำยางจึงถูกไล่ออกจากเนื้อยางได้มากและง่าย ส่วนแผ่นฟิล์มยางที่ถูกอบแห้งก่อนการล้างเอาพอลิเมอร์ออกเป็นยางที่ผ่านการ วัลคาไนซ์อย่างสมบูรณ์ เมื่อถูกล้างสารพอลิเมอร์และสารละลายน้ำอื่นๆ ในน้ำยางถูกไล่ออกน้อยเพราะโครงสร้างร่างแหของเนื้อยางกั้นทางออกอยู่ ดังนั้นการผลิตแผ่นฟิล์มยางเพื่อให้มีรูพรุนควรกระทำโดยการผสมน้ำยางเข้ากับสารพอลิเมอร์และสารเคมีต่างๆ ขึ้นรูปชิ้นงาน และล้างชิ้นงานด้วยน้ำร้อน แล้วจึงอบยางให้แห้งจึงจะได้แผ่นฟิล์มยางที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่และปริมาณมาก ซึ่งการทดลองต่อไปใช้วิธีการนี้ผลิตแผ่นฟิล์มยางเป็นหลัก เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลจาก 5%, 2 ส่วน เป็น 5%, 5 ส่วน ลงในน้ำยาง (5PEG5) แล้วขึ้นรูปพบว่าแผ่นฟิล์มยางมีขนาดของอนุภาคยางเล็กลง ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากขึ้น และกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.7 (เทียบกับรูปที่ 4.3-4.6) รูปที่ 4.8-4.10 เป็นลักษณะผิวของแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10%, 10 ส่วน 30%, 20 ส่วน และ 30%, 30 ส่วน ตามลำดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลจาก 5%, 5 ส่วน (รูปที่ 4.7) เป็น 10%, 10 ส่วน (รูปที่ 4.8) อนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้นเกิดช่องว่างอยู่ระหว่างรอยต่อของอนุภาคยางเป็นทางยาว ไม่กระจัดกระจายสม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็น 30%, 20 ส่วน (รูปที่ 4.9) อนุภาคยางยิ่งเกาะตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น ช่องว่างระหว่าง

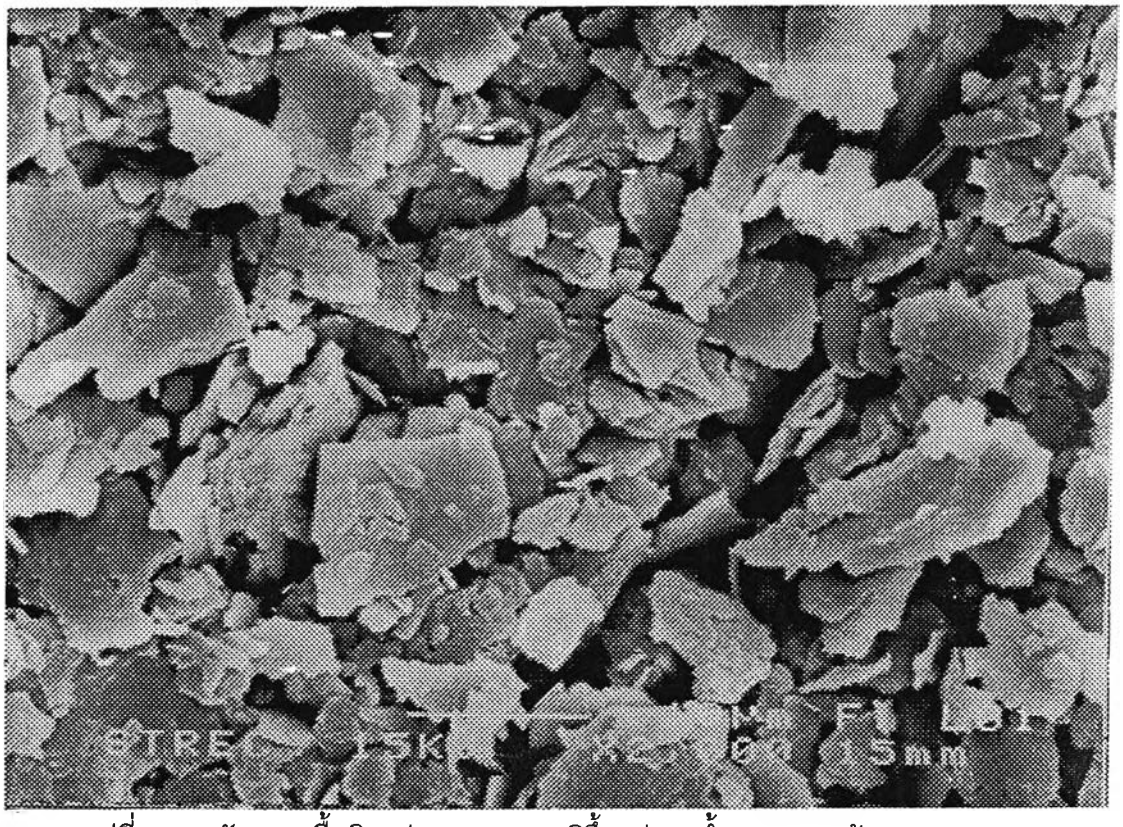
อนุภาคยางใหญ่ขึ้น แต่มีปริมาณช่องว่างน้อยลง และเมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลในน้ำยางเป็น 30%, 30 ส่วน (รูปที่ 4.10) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของยางมีปริมาณลดน้อยลงและมีขนาดเล็กลงมากคล้ายลักษณะของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผสมพอลิเมอร์ จากผลการทดลองนี้พอสรุปได้ว่า การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยาง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง แล้วล้างพอลิเอทิลีนไกลคอลออก ทำให้ได้แผ่นฟิล์มยางที่มีรูพรุนมากขึ้น ควรใช้ปริมาณพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5 – 10% เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเอทิลีนเป็น 30% นั้นปรากฏว่าช่องว่างระหว่างอนุภาคยางจะน้อยลงและเล็กลง ฉะนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมของพอลิเอทิลีนไกลคอลผสมกับน้ำยางเพื่อผลิตยางรูพรุนควรอยู่ในช่วง 5 – 10%



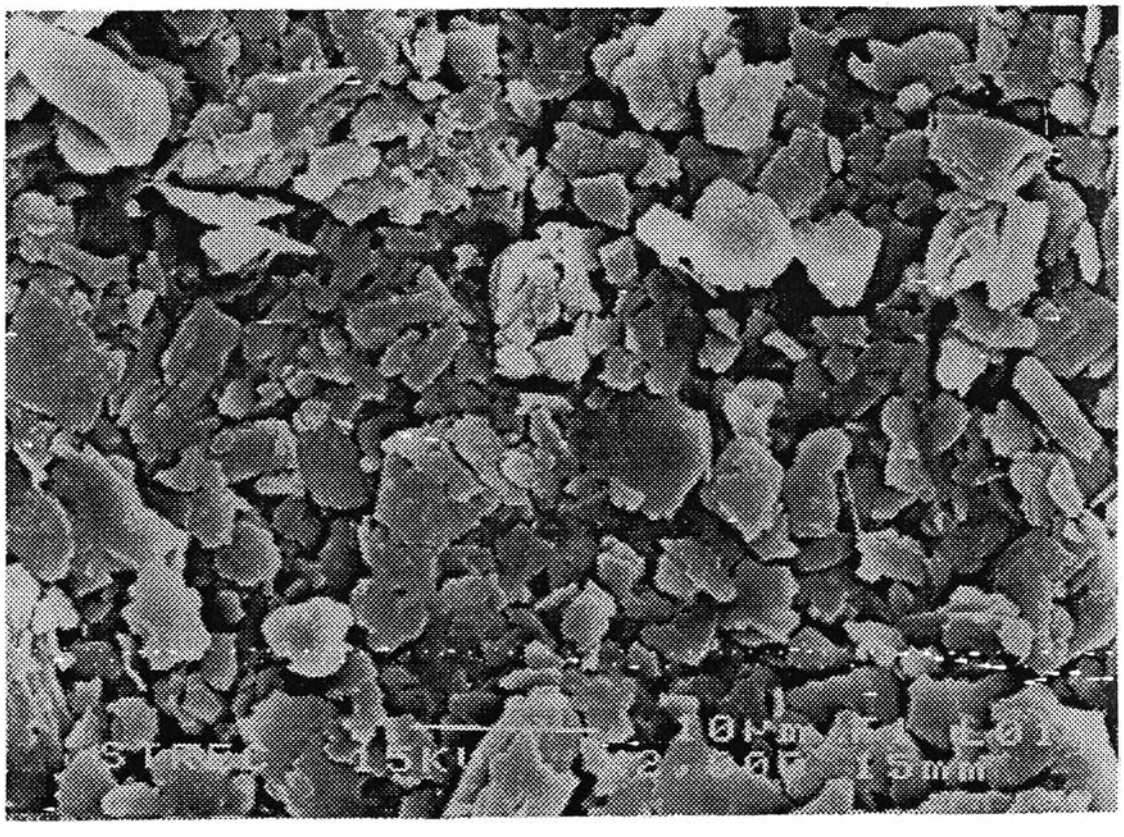
รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5AST1)



รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BST1)

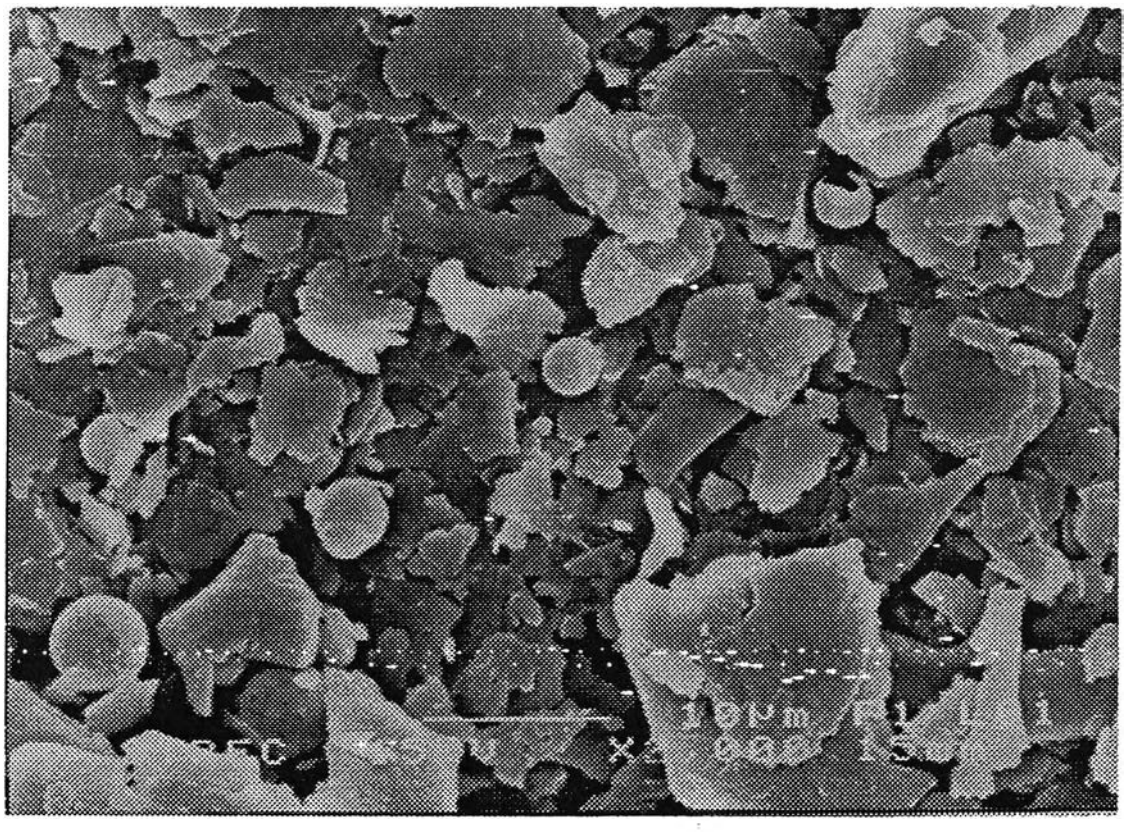


รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5AST2)



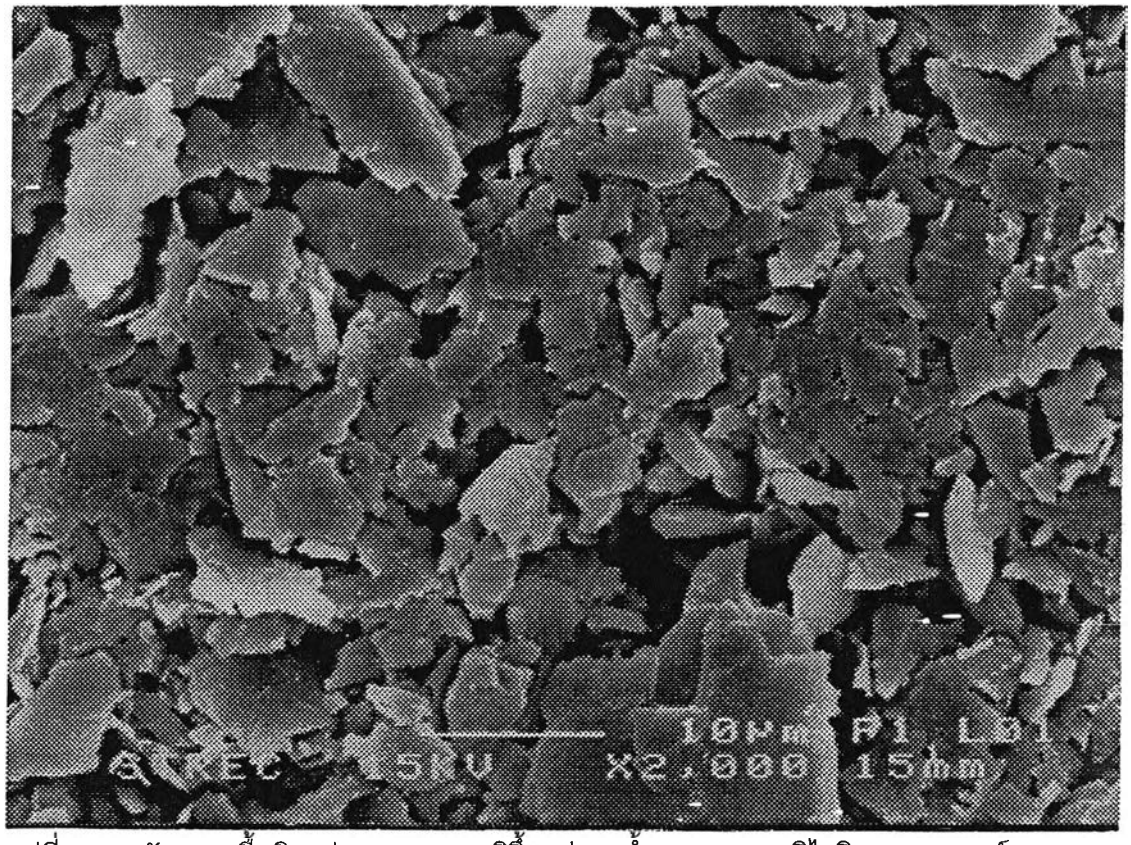
รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BST2)

รูปที่ 4.15 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 5 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5AST5)

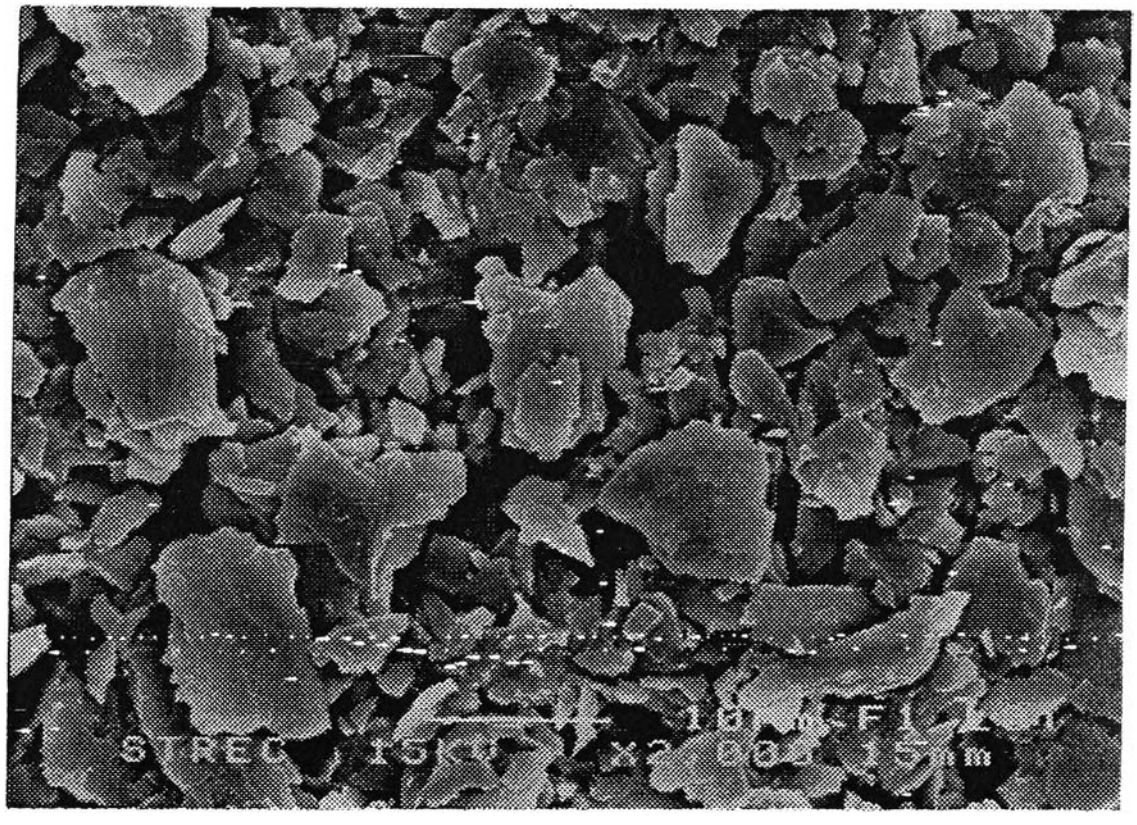


รูปที่ 4.16 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 10 %, 10 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (10AST10)

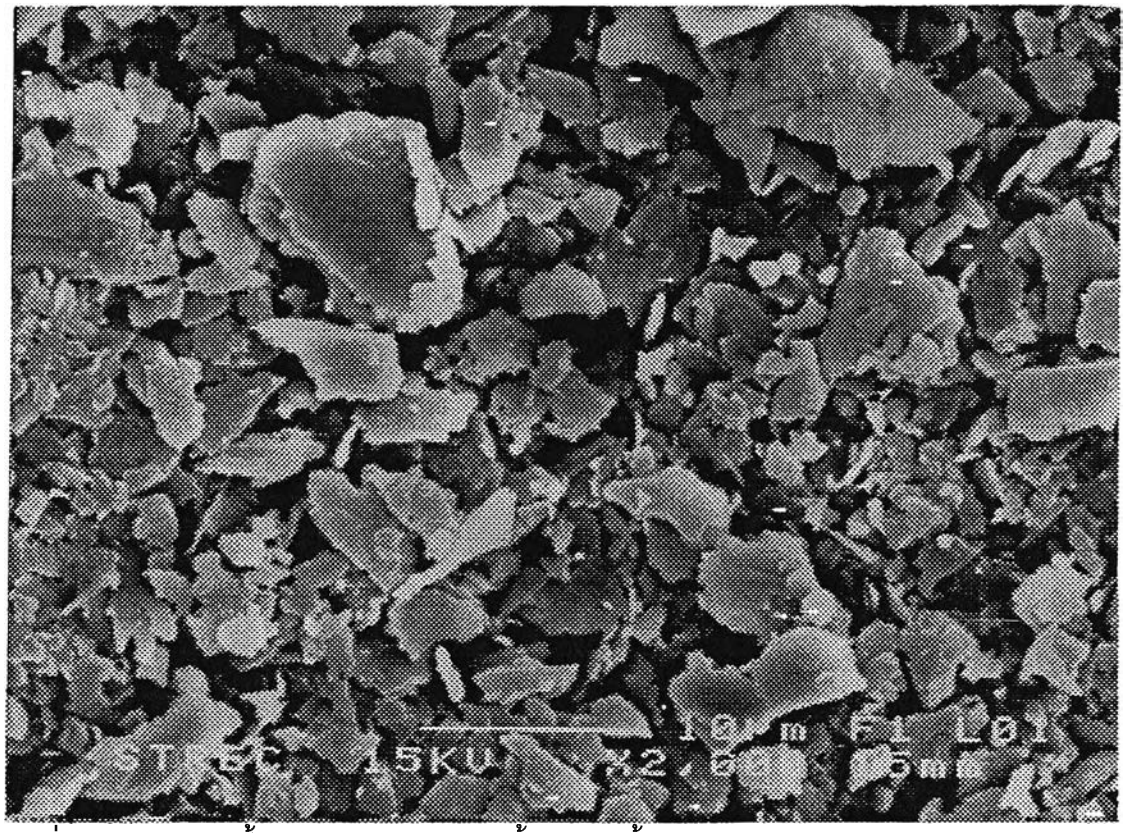
รูปที่ 4.11 – 4.16 เป็นลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้งความเข้มข้น 5% และ 10% ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วต่างมีปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคยางใกล้เคียงกัน โดยที่แผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้งที่บางความเข้มข้นมีขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่กว่าแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยาง รูปที่ 4.11 และ 4.12 เป็นพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5%, 1 ส่วน ซึ่งแผ่นยางถูกล้างแป้งออกก่อนอบแห้งยางและอบแห้งยางก่อนล้างแป้งออกตามลำดับ พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ถูกล้างแป้งออกก่อนอบแห้งมีปริมาณของช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากกว่าอีกแผ่นเล็กน้อย และจะเห็นชัดมากขึ้นในรูปที่ 4.13 และ 4.14 เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นจาก 5%, 1 ส่วน เป็น 5%, 2 ส่วน ขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางในแผ่นฟิล์มยางที่ล้างแป้งออกก่อนอบแห้ง (รูปที่ 4.13) ใหญ่กว่าแผ่นฟิล์มยางที่อบแห้งก่อนล้างแป้งออก (รูปที่ 4.14) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมากขึ้นเป็น 5%, 5 ส่วน และ 10%, 10 ส่วน (รูปที่ 4.15-4.16) พบว่าแผ่นฟิล์มยางมีขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคยางเล็กลง การผสมแป้งความเข้มข้น 5 % และ 10% ลงในน้ำยางขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง แล้วล้างแป้งออกก่อนอบแห้งไม่ได้ช่วยเพิ่มปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคยางบนแผ่นฟิล์มยาง แต่ช่วยเพิ่มขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคยางให้ใหญ่ขึ้น ต่างจากการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยางที่ช่วยเพิ่มทั้งปริมาณและขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคยาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าพอลิเอทิลีนไกลคอล การแทรกซึมระหว่างอนุภาคยางของแป้งจึงมีน้อยกว่าและแทรกซึมไม่ทั่วถึงเหมือนพอลิเอทิลีนไกลคอล แผ่นยางจึงมีขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ขึ้นแต่มีปริมาณไม่มากเท่าแผ่นยางที่มีพอลิเอทิลีนไกลคอลผสมอยู่ โดยสรุปแล้ว พบว่า การเติมแป้งปริมาณ 5% ลงผสมในน้ำยาง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง แล้วล้างแป้งออกก่อนอบแห้งยาง สามารถทำให้ได้แผ่นฟิล์มยางมีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางที่ใหญ่ขึ้น โดยที่เมื่อเพิ่มแป้งเป็น 10% ผสมในน้ำยาง แป้งจะไม่สามารถละลายได้หมด และกลับตกตะกอนในน้ำยางด้วย การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง แล้วล้างแป้งออก จะได้แผ่นฟิล์มยางที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางไม่ต่างจากแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้งที่ความเข้มข้น 5% นัก จึงไม่มีความจำเป็นต้องผสมแป้งที่ความเข้มข้น 10% ลงในน้ำยางเพื่อผลิตแผ่นฟิล์มยางที่มีรูพรุน อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองด้วย



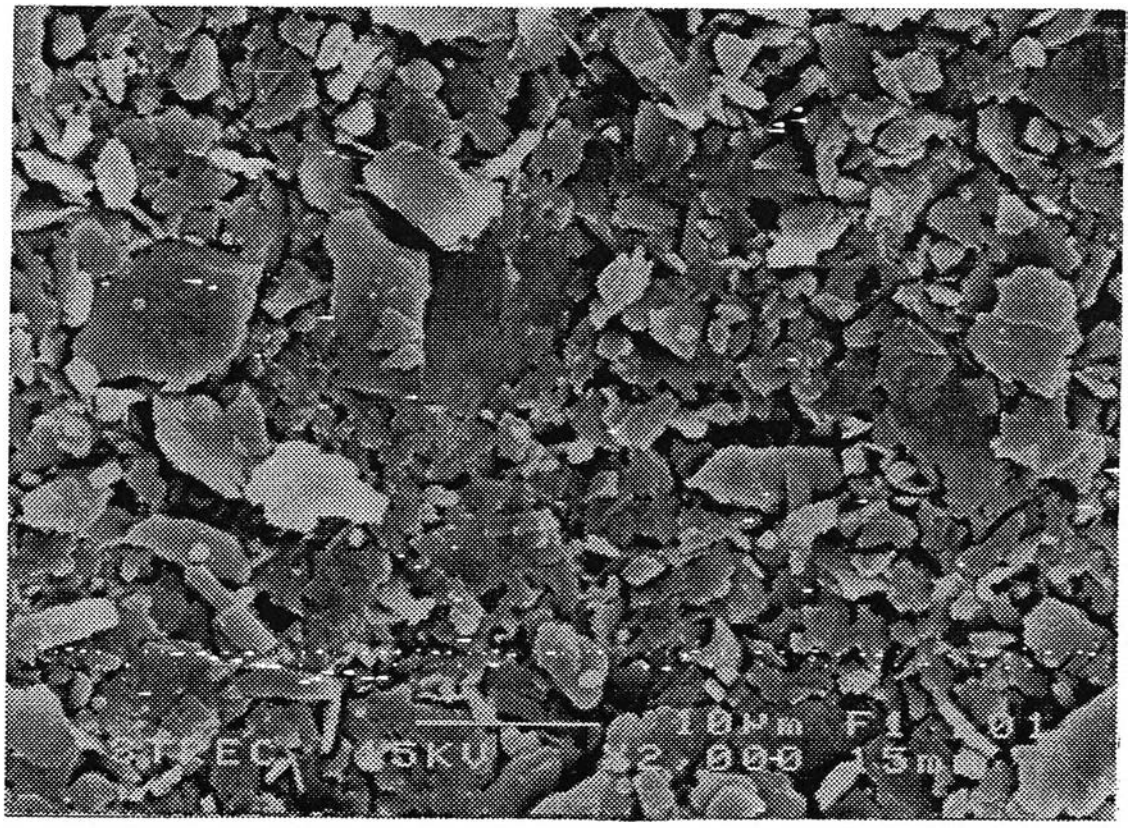
รูปที่ 4.17 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APVA1)



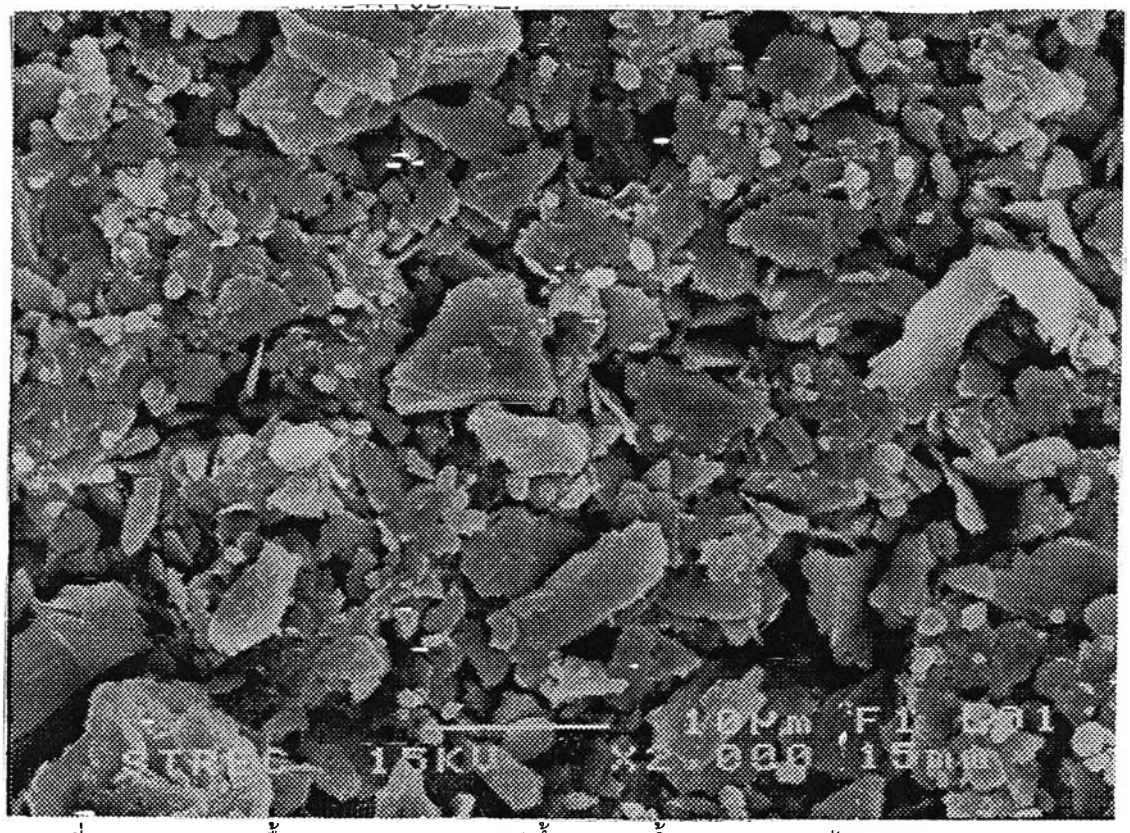
รูปที่ 4.18 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPVA1)



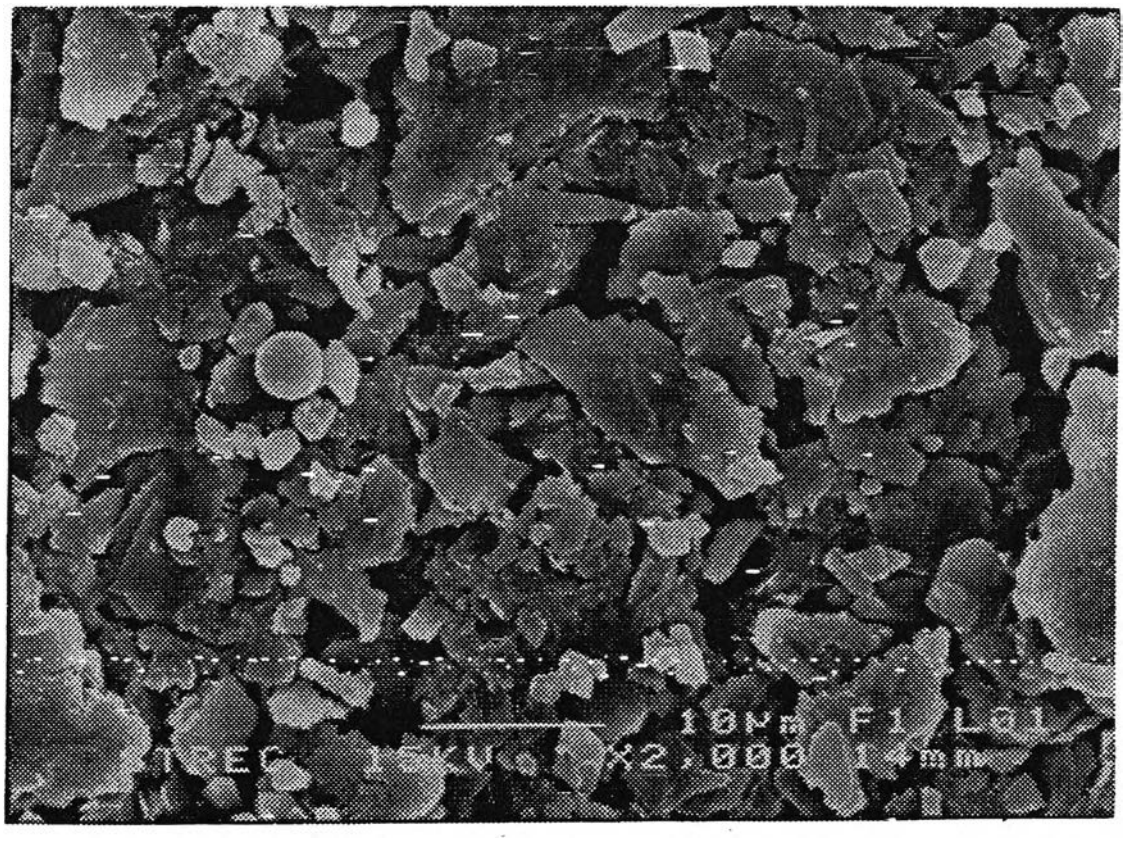
รูปที่ 4.19 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 2 ส่วนแล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง(5APVA2)



รูปที่ 4.20 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 2 ส่วนแล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPVA2)



รูปที่ 4.21 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 5 ส่วนแล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APVA5)



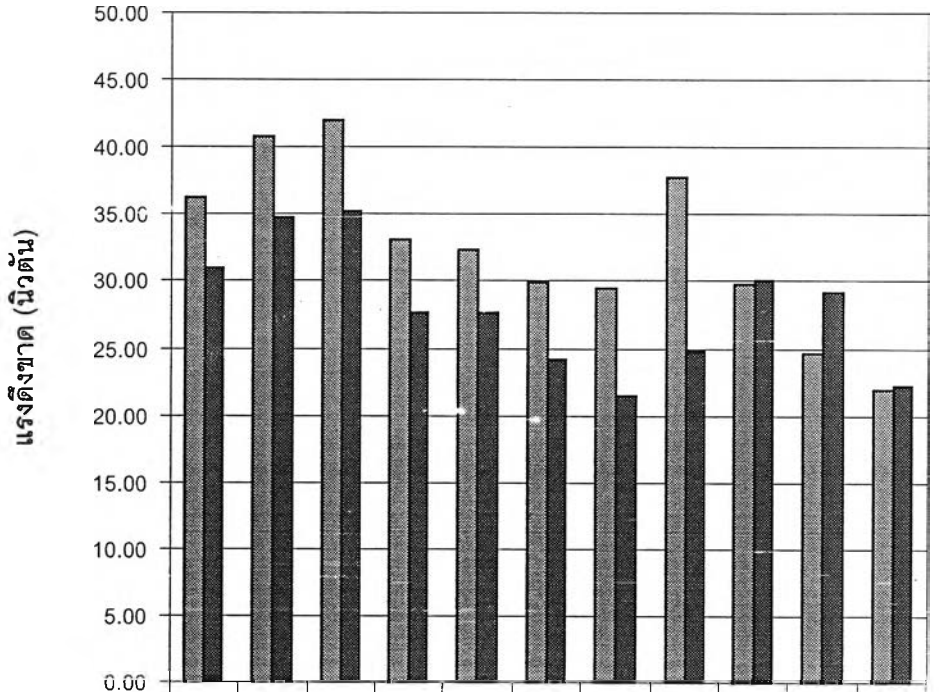
รูปที่ 4.22 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, 10 ส่วนแล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (10APVA10)

รูปที่ 4.17 – 4.22 เป็นพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5% และ 10% ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยาง จะเห็นว่า แผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางขนาดใหญ่และมีปริมาณมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายน้ำได้ดี ถึงแม้บางครั้งต้องใช้ความร้อนช่วย ทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถแทรกซึมไปทั่วน้ำยางอยู่โดยรอบของอนุภาคยางได้ เมื่อล้างพอลิเมอร์นี้ออกจากแผ่นยางจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่และมีปริมาณมากได้ การล้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ออกจากแผ่นยางก่อนหรือหลังอบแห้งยางมีผลน้อยต่อขนาดและปริมาณช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคยาง (จากรูปที่ 4.17 และ 4.18) แต่จะเห็นผลชัดเจนขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จาก 5%, 1 ส่วน เป็น 5%, 2 ส่วน ในรูปที่ 4.19 และ 4.20 การเพิ่มปริมาณของพอลิเมอร์ชนิดนี้เป็น 5%, 5 ส่วน และ 10%, 10 ส่วน ผสมน้ำยางแล้วขึ้นรูป ได้แผ่นยางที่มีขนาดและปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคยางไม่แตกต่างไปจากแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ฉะนั้นการผลิตยางรูพรุนด้วยน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 5% กับน้ำยาง ขึ้นรูปแผ่นยาง ล้างและอบแห้ง จะได้แผ่นยางที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางขนาดใหญ่ และปริมาณมากได้โดยไม่จำเป็นต้องผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในน้ำยางถึง 10%

จากผลการทดลองข้างต้นนี้ได้ข้อสรุปว่า พอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ที่เติมลงในน้ำยางมีผลช่วยให้แผ่นยางเกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากขึ้น โดยแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอลและน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีขนาดและปริมาณของช่องว่างระหว่างอนุภาคยางใหญ่กว่าและมากกว่าช่องว่างในแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางไม่ได้ผสมพอลิเมอร์ นั่นคือ พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ สามารถแทรกซึมไปในน้ำยางไปอยู่รอบอนุภาคน้ำยางได้ดีมาก เมื่อถูกล้างออกจากแผ่นฟิล์มยางจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่แผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้งจะเกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางกว้างกว่าแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางเพียงเล็กน้อย แต่ปริมาณช่องว่างไม่ได้มีเพิ่มขึ้น หรือหมายถึงแป้งไม่สามารถแทรกซึมไปทั่วน้ำยางได้เหมือนพอลิเอทิลีนไกลคอลและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั่นเอง

4.4.2 ผลการทดสอบหาค่าความทนแรงดึง

แผ่นยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ 3 ชนิด ณ ความเข้มข้นต่างๆกันทั้งก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ ถูกนำมาทดสอบหาความทนแรงดึงหรือ หาค่าแรงดึงขาด ผลการทดสอบมีแสดงไว้ดังต่อไปนี้

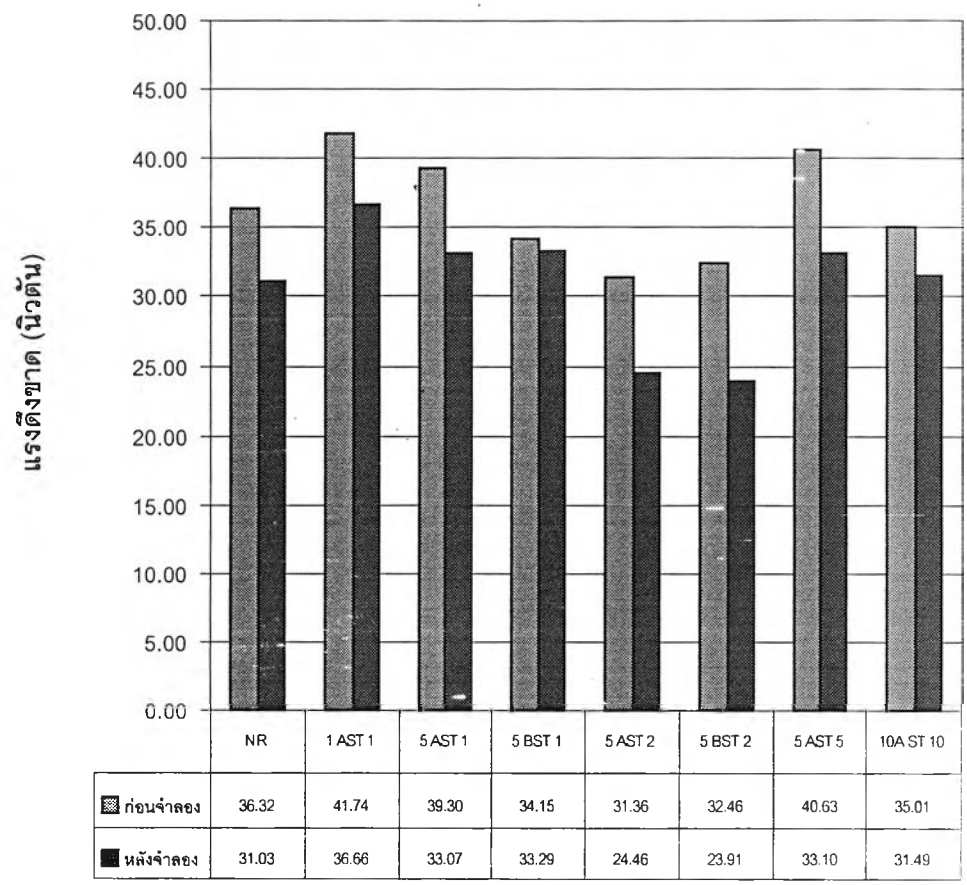


	NR	1 APEG 1	5 APEG 1	5 APEG 2	5 BPEG 2	5 APEG 3	5 APEG 4	5 APEG 5	10 APEG 10	30 APEG 20	30 APEG 30
ก่อนจำลอง	36.32	40.73	41.92	33.06	32.40	29.84	29.40	37.81	29.71	24.59	21.95
หลังจำลอง	31.03	34.77	35.21	27.70	27.69	24.11	21.50	24.83	30.04	29.16	22.25

รูปที่ 4.23 กราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1%, 5%, 10% และ 30% ก่อนและหลังการการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100^{0} C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

รูปที่ 4.23 เป็นกราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1%, 5%, 10% และ 30% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าก่อนจำลองการใช้งาน แผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลส่วนใหญ่มีแรงดึงขาดต่ำกว่าแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางที่ไม่ได้ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล ยกเว้นแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1% 1 ส่วน

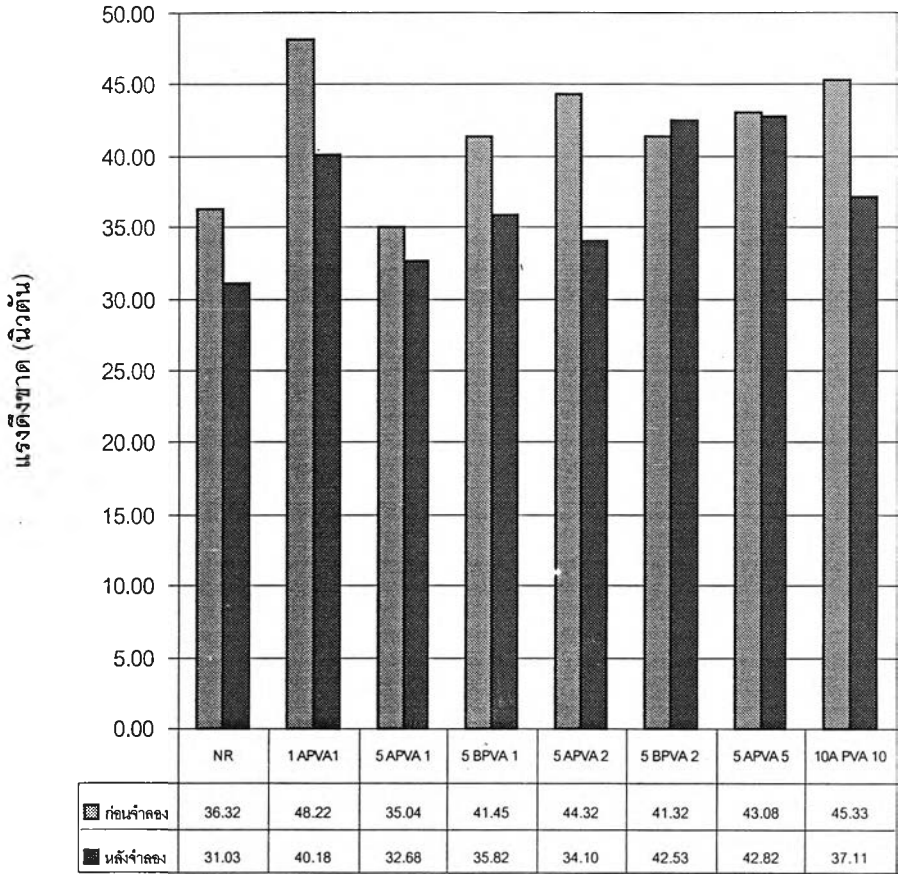
(1APEG1) , 5 % 1 ส่วน (5APEG1) และ 5% 5 ส่วน (5APEG5) และหลังจำลองการใช้งานพบว่า แผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลส่วนใหญ่มีแรงดึงขาดต่ำกว่าแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางมี่ไม่ได้ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล ยกเว้นแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1% 1 ส่วน (1APEG1) , 5 % 1 ส่วน (5APEG1) แรงดึงขาดของแผ่นยางที่ผ่านการจำลองการใช้งานที่ 100 ^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่าแผ่นยางก่อนถูกจำลองการใช้งาน ยกเว้นแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10% และ 30% (10APEG10 , 30APEG20 และ 30APEG30) ที่ถูกจำลองใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแล้วกลับทนแรงดึงขาดได้มากขึ้นเล็กน้อย จากผลทั้งหมดนี้พอสรุปได้ว่า การผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยาง ขึ้นรูปแผ่นยางแล้วล้างและอบแห้ง ทำให้แผ่นยางมีความทนแรงดึงน้อยลงโดยส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยางทำให้พอลิเมอร์นี้แทรกซึมไปทั่วน้ำยางโดยอยู่รอบอนุภาคยางและเมื่อล้างเอาพอลิเมอร์นี้ออก ส่วนประกอบของเนื้อยางบางส่วนที่ละลายน้ำถูกล้างออกทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีช่องว่างมากขึ้นโดยดูได้จากรูพรุนของยางมีมากขึ้นและใหญ่ขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้แผ่นยางมีความแข็งแรงลดลง ส่วนที่แผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเมอร์ชนิดนี้ที่บางความเข้มข้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากแผ่นยางธรรมชาติ อาจเนื่องมาจากช่วงขององศาการคงรูปมีค่าต่างกัน เนื่องจากองศาการคงรูปของน้ำยางนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้บ่มและในการทำงานวิจัยนี้ใช้เวลานานมาก ดังนั้นน้ำยางบางสูตรอาจเตรียมในฤดูร้อนน้ำยางก็จะบ่มได้ที่สามารถนำไปขึ้นรูปได้เร็ว บางสูตรเตรียมในฤดูหนาวก็จะใช้เวลาบ่มนาน แต่บางสูตรเตรียมในฤดูฝน ซึ่งอุณหภูมิแปรปรวน ซึ่งองศาการคงรูปของน้ำยางนี้มีผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงานมาก เพราะหากบ่มชิ้นงานไม่ได้ที่น้ำยางนั้นก็จะไม่สามารถนำไปขึ้นรูปได้ แต่ถ้าบ่มนานเกินไปจนน้ำยางคงรูปเต็มที่ค่าความแข็งแรงก็จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด และจากการทดลองนี้มีการแปรปริมาณของพอลิเมอร์ทำให้สังเกตองศาการคงรูปยาก แม้ว่าจะมีการทดสอบทุกวันค่าองศาการคงรูปก็อาจไม่ได้อยู่ในภาวะที่ดีที่สุดที่จะสามารถนำไปขึ้นรูปได้ หรืออาจเนื่องมาจากพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผสมในน้ำยางที่ผสมในน้ำยางที่บางความเข้มข้นแทรกซึมระหว่างอนุภาคของยางและช่วยเรียงอนุภาคของยางหรือทำให้อนุภาคของยางเกาะกันดีขึ้นจนทนแรงดึงขาดได้มากขึ้น ซึ่งข้อสมมติฐานเหล่านี้ยังคงต้องการการทดลองเพิ่มเติมเพื่อพิสูจน์



	NR	1 AST 1	5 AST 1	5 BST 1	5 AST 2	5 BST 2	5 AST 5	10A ST 10
ก่อนจำลอง	36.32	41.74	39.30	34.15	31.36	32.46	40.63	35.01
หลังจำลอง	31.03	36.66	33.07	33.29	24.46	23.91	33.10	31.49

รูปที่ 4.24 กราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมแป้งความเข้มข้น 1% 5% และ 10% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

รูปที่ 4.24 เป็นกราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางธรรมชาติผสมแป้งความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าให้ผลที่เหมือนกับรูปที่ 4.23 แสดงแรงดึงขาดแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล พอลิเมอร์ทั้ง 2ชนิด คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล และแป้งที่ผสมในน้ำยางแล้วขึ้นรูปแผ่นยาง มีผลต่อความแข็งแรงด้านทนต่อแรงดึงของแผ่นยางเหมือนกัน แผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้งเมื่อถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานต่างมีค่าแรงดึงขาดที่ลดลง หรือมีความแข็งแรงด้านทนต่อแรงดึงน้อยลงนั่นเอง



	NR	1 APVA1	5 APVA 1	5 BPVA 1	5 APVA 2	5 BPVA 2	5 APVA 5	10A PVA 10
ก่อนจำลอง	36.32	48.22	35.04	41.45	44.32	41.32	43.08	45.33
หลังจำลอง	31.03	40.18	32.68	35.82	34.10	42.53	42.82	37.11

รูปที่ 4.25 กราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

รูปที่ 4.25 แสดงกราฟแท่งแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าแผ่นยางธรรมชาติ ทั้งก่อนและหลังจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ ซึ่งเป็นผลที่ไม่คาดว่าน่าจะเกิดขึ้นได้ ทั้งๆ ที่ส่วนประกอบบางส่วนของน้ำยางและอนุภาคยางถูกล้างออกจากแผ่นยาง และยังมีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากขึ้นและใหญ่ขึ้นแต่กลับมีความแข็งแรงด้านทนต่อแรงดึงได้สูงกว่าแผ่นยางธรรมชาติที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคยางขนาดเล็กและมีปริมาณช่องว่างน้อยกว่า การผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในน้ำยางทำให้น้ำยางข้นหนืดมากขึ้นกว่าน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลหรือแป้ง ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีทั้งโครงสร้างส่วนที่มีขั้ว คือ ส่วนที่มีหมู่ ไฮดรอกซิล และส่วนที่ไม่มีขั้ว คือ ส่วนที่มีหมู่เอสเตอร์ พอลิเมอร์ชนิดนี้เวลาผสมในน้ำยางอาจใช้ส่วนที่ไม่มีขั้วดึงสายโซ่พอลิเมอร์ของยาง (ซึ่งไม่มีขั้วเป็นส่วนใหญ่) ให้มาอยู่ใกล้กันโดยมีพอลิเมอร์นี้เป็นตัวยึด และในขณะเดียวกันพอลิเมอร์นี้จะใช้ส่วนที่มีขั้วหันเข้าหาส่วนที่ละลาย

น้ำได้ในน้ำยาง เมื่อล้างพอลิเมอร์นี้ออกจากแผ่นยางถึงแม้ยางจะมีรูพรุนใหญ่ขึ้นและมากขึ้น แต่สายโซ่พอลิเมอร์ของยางเรียงตัวอยู่ใกล้กันมาก จนทำให้ยางมีความแข็งแรงด้านความทนแรงดึงมากขึ้นได้ ซึ่งสมมติฐานนี้ยังต้องการการทดลองเพิ่มเติมเพื่อพิสูจน์เช่นกัน

4.4.3 ผลการทดสอบความสามารถให้อากาศซึมผ่าน (Air Permeability)

ผลการทดสอบแผ่นฟิล์มยาง แผ่นฟิล์มยางผสมพอลิเมอร์และผ้าฝ้ายเคลือบฟิล์มยางในด้านความสามารถให้อากาศซึมผ่านโดยใช้เครื่องทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่านผ้าตามมาตรฐาน ASTM-D 737-96 มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่าน

ตัวอย่าง		ความสามารถในการซึมผ่านได้ของอากาศ (cm/s)
น้ำยางธรรมชาติ (NR)	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
	- ผ้าเคลือบยาง	0.000
น้ำยางผสมPEG1%, 1 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(1 PEG 1)	- ผ้าเคลือบยาง	0.000
น้ำยางผสมPEG5%, 5 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(5 PEG 5)	- ผ้าเคลือบยาง	2.814
น้ำยางผสมPEG10%, 10 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(10 PEG 10)	- ผ้าเคลือบยาง	3.924
น้ำยางผสมแป้ง1%, 1 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(1 ST 1)	- ผ้าเคลือบยาง	0.000
น้ำยางผสมแป้ง5%, 5 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(5 ST 5)	- ผ้าเคลือบยาง	2.437
น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์1%, 1ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(1 PVA 1)	- ผ้าเคลือบยาง	0.000
น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์5%, 5ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
(5 PVA 5)	- ผ้าเคลือบยาง	2.002

หมายเหตุ : 1. ผ้าที่ใช้ในการทดสอบเป็นผ้าฝ้ายถักฟอกขาว โครงสร้างซิงเกอร์เจอร์ซี่ เบอร์ด้าย 20/1 มีความสามารถให้อากาศทะลุผ่านมากจนเกินสเกลวัดของเครื่องทดสอบ

2. การเคลือบน้ำยางบนผ้ากระทำโดยการจุ่มผ้าลงในน้ำยาง เป็นเวลา 15 วินาที

ผลจากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าอากาศไม่สามารถผ่านแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อนำน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์มาเคลือบบนผ้าฝ้ายถัก พบว่า ผ้าที่เคลือบด้วยน้ำยางหรือน้ำยางผสมพอลิเมอร์แต่ละชนิดความเข้มข้น 1%, 1 ส่วน ไม่สามารถให้อากาศผ่านได้เช่นกัน แต่เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้นตั้งแต่ 5%, 5 ส่วน ขึ้นไป ผ้าเคลือบยางยอมให้อากาศผ่านได้ และผ่านได้มากขึ้นเมื่อเคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้นสูงขึ้นอีก ผ้าที่เคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลยอมให้อากาศผ่านได้สูงสุดเมื่อเทียบกับผ้าเคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิเมอร์อีก 2 ชนิด ผ้าเคลือบด้วยน้ำยางผสมแป้ง 5%, 5 ส่วน ยอมให้อากาศผ่านได้มากกว่าผ้าเคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นเดียวกัน ผลจากการส่องดูรูพรุนของแผ่นยางพบว่า แผ่นฟิล์มยางที่ไม่ได้ผสมพอลิเมอร์มีรูพรุนอันเนื่องมาจากช่องว่างระหว่างอนุภาคยางขนาดเล็กและปริมาณน้อยกว่าแผ่นยางที่มีการผสมพอลิเมอร์และล้างไล่พอลิเมอร์ออก จึงเป็นสาเหตุที่แผ่นยางไม่สามารถให้อากาศผ่านทะลุได้ เมื่อผสมพอลิเมอร์ต่างๆ ลงในน้ำยาง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง และล้างไล่พอลิเมอร์ออก จะเห็นช่องว่างระหว่างอนุภาคยางยางมากขึ้นและใหญ่ขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถทำให้แผ่นยางยอมให้อากาศผ่านได้ จนเมื่อเคลือบน้ำยางผสมพอลิเมอร์นี้ลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มเคลือบเป็นเวลา 15 วินาที ผ้าซึ่งก่อนเคลือบยอมให้อากาศผ่านได้มากจนเกินสเกลของเครื่องทดสอบกลับยอมให้อากาศผ่านได้น้อยลง เนื่องจากมีน้ำยางเคลือบอยู่ซึ่งอาจเคลือบอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอตลอดผืนผ้า หรืออนุภาคของยางอาจกระจายตัวบนผ้าฝ้ายมากกว่าอนุภาคของยางบนแผ่นยาง ผ้าเคลือบยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้นตั้งแต่ 5%, 5 ส่วนขึ้นไปจึงยอมให้อากาศผ่านได้ เทียบกับผ้าเคลือบยางที่ไม่ผสมพอลิเมอร์ และการผสมพอลิเมอร์ปริมาณมากขึ้นในน้ำยางมีผลทำให้ยางมีรูพรุนที่เกิดจากช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากขึ้นจนผ้าเคลือบยางนี้ยอมให้อากาศผ่านได้เพิ่มขึ้น การจุ่มผ้าเคลือบน้ำยางเป็นเวลา 15 วินาที อาจได้ชั้นของยางที่หนาเกินไปจนอากาศผ่านได้น้อย จึงได้ทดลองทำการจุ่มผ้าในน้ำยางเป็นเวลา 10 วินาที ซึ่งอาจมีผลทำให้ได้ยางเคลือบผ้าที่บางลงจนอากาศผ่านได้มากขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่าน เมื่อใช้เวลาในการเคลือบน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลบนผ้าเป็นเวลา 10 วินาที

ตัวอย่าง		ความสามารถในการซึมผ่านได้ของอากาศ (cm/s)
น้ำยางผสมPEG5%, 5 ส่วน (5 PEG 5)	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
	- ผ้าเคลือบยาง	2.812
น้ำยางผสมPEG10%, 10 ส่วน (10 PEG 10)	- แผ่นฟิล์มยาง	0.000
	- ผ้าเคลือบยาง	3.126

เปรียบเทียบผลในตารางที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่า ผ้าที่เคลือบยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 5 ส่วน และ 10%, 10 ส่วน เป็นเวลา 10 วินาทีและ 15 วินาที ยอมให้อากาศผ่านได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ผ้าเคลือบยางผสมพอลิเมอร์ปริมาณมากกว่ายอมให้อากาศผ่านได้มากกว่าผ้าเคลือบด้วยยางผสมพอลิเมอร์ปริมาณต่ำกว่า ความหนาบางของยางเคลือบผ้าในเวลาที่ต่างกันเพียง 5 วินาที ไม่มีผลต่อการยอมให้อากาศผ่านได้แตกต่างกัน ฉะนั้นการเคลือบน้ำยางผสมพอลิเมอร์ลงบนผ้าทำให้มีความสามารถให้อากาศผ่านได้บ้าง ควรเลือกน้ำยางที่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล แป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นตั้งแต่ 5% ขึ้นไปและเคลือบน้ำยางลงบนผ้าเป็นเวลา 10-15 วินาที อย่างไรก็ตาม การผลิตแผ่นฟิล์มยางที่มีรูพรุนให้อากาศผ่านได้นั้นยังไม่สามารถกระทำได้ด้วยการผสม พอลิเมอร์ทั้ง 3 นี้ ลงในน้ำยางที่ความเข้มข้น 10%

4.4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการสะท้อนน้ำ (Water Repellency - Spray Test)

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความสามารถในการสะท้อนน้ำ

ตัวอย่าง		ระดับการสะท้อนน้ำ
น้ำยางธรรมชาติ (NR)	- แผ่นฟิล์มยาง	50
	- ผ้าเคลือบยาง	50
น้ำยางผสมPEG1%, 1 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	70
(1 PEG 1)	- ผ้าเคลือบยาง	0
น้ำยางผสมPEG5%, 5 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	50
(5 PEG 5)	- ผ้าเคลือบยาง	0
น้ำยางผสมPEG10%, 10 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	50
(10 PEG 10)	- ผ้าเคลือบยาง	50
น้ำยางผสมแป้ง1%, 1 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	70
(1 ST 1)	- ผ้าเคลือบยาง	50
น้ำยางผสมแป้ง5%, 5 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	70
(5 ST 5)	- ผ้าเคลือบยาง	50
น้ำยางผสมแป้ง10%, 10 ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	50
(10 ST 10)	- ผ้าเคลือบยาง	50
น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์1%, 1ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	50
(1 PVA 1)	- ผ้าเคลือบยาง	0
น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์5%, 5ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	50
(5 PVA 5)	- ผ้าเคลือบยาง	50
น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์10%, 10ส่วน	- แผ่นฟิล์มยาง	50
(10 PVA 10)	- ผ้าเคลือบยาง	-

หมายเหตุ : 1) ผ้าที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นผ้าฝ้ายถักฟอกขาว โครงสร้างซิงเกอร์เจอซี่ เบอร์ด้าย 20/1 มีความสามารถในการสะท้อนน้ำเท่ากับ 0 คือ น้ำซึมทะลุผ่านได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

2) การเคลือบน้ำยางบนผ้ากระทำโดยการจุ่มผ้าลงในน้ำยางเป็นเวลา 15 วินาที

3) " – " หมายถึง ไม่สามารถทดสอบ

ผลจากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า แผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางธรรมชาติมีระดับการสะท้อนน้ำเท่ากับ 50 ระดับปานกลาง หมายถึง เมื่อสเปรย์น้ำลงบนแผ่นยาง น้ำจะเกาะบนแผ่นฟิล์มยางแต่ไม่ได้ซึมทะลุผ่านไปอีกด้านของแผ่นยาง แผ่นยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ มีระดับการสะท้อนน้ำอยู่ในช่วง 50-70 คือ ปานกลางและดี ตามลำดับ แผ่นฟิล์มยางที่เกิดจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ความเข้มข้น 1-10% มีระดับการสะท้อนน้ำ 50 เท่ากัน แผ่นฟิล์มยางจากน้ำยางผสมแป้งความเข้มข้น 1-5% มีระดับการสะท้อนน้ำดีกว่า (70) แผ่นฟิล์มยางจากน้ำยางผสมแป้ง 10% (50) และแผ่นฟิล์มยางจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1% มีระดับการสะท้อนน้ำดีกว่า (70) แผ่นฟิล์มยางจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5-10% (50) จากผลข้างต้นนี้พอสรุปได้ว่าการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในน้ำยาง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยาง แล้วล้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ออกไม่ได้ช่วยปรับปรุงให้ยางมีการสะท้อนน้ำดีขึ้น แต่ถ้าเปลี่ยนเป็นผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลหรือแป้งลงในน้ำยางแทนที่ความเข้มข้น 1-5% จะสามารถปรับปรุงให้แผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปมามีการสะท้อนน้ำดีขึ้นจาก 50 เป็น 70 หรือจากการสะท้อนน้ำระดับปานกลางเป็นดีได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการผสมพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอลและแป้ง (ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมีความหนืดน้อยกว่า) ลงในน้ำยาง พอลิเมอร์เหล่านี้สามารถแทรกซึมเข้าไประหว่างอนุภาคของยางได้ดี โดยอยู่ใกล้ส่วนของน้ำและสารมีขั้ว เช่น โปรตีนในน้ำยาง (เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลและแป้งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีขั้วเช่นเดียวกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์) เมื่อล้างเอาพอลิเมอร์ออก ส่วนของน้ำ โปรตีน และสารมีขั้วต่างๆ จะหลุดออกมาด้วย อนุภาคยางมีการปรับเปลี่ยนเรียงตัวใหม่เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนในแผ่นยางขึ้น การผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 1-5% อาจเป็นปริมาณที่พอเหมาะแก่การผสมลงในน้ำยาง โดยไม่ทำให้น้ำยางข้นเกินไป และทำให้เกิดรูพรุน มีขนาดและปริมาณเพียงพอต่อการสะท้อนน้ำได้ปานกลางเหมือนแผ่นยางธรรมชาติหรือดีกว่า เมื่อนำน้ำยางผสมพอลิเมอร์เหล่านี้มาเคลือบบนผ้าด้วยการจุ่มเป็นเวลา 15 วินาที ผ้าเคลือบด้วยน้ำยางผสมแป้งความเข้มข้นตั้งแต่ 1-5% สามารถสะท้อนน้ำได้ดีเทียบเท่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ผ้าเคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 5% และผ้าเคลือบด้วยน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 10% จึงจะสามารถทำให้ผ้าสะท้อนน้ำได้เทียบเท่าแผ่นยางธรรมชาติ ฉะนั้นถ้าต้องการเคลือบผ้าฝ้ายให้สะท้อนน้ำเทียบเท่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติด้วยน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 10% ขึ้นไป หากต้องการผสมแป้งควรเลือกน้ำยางผสมแป้งความเข้มข้น 1-10 % และเลือกน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 5% นอกจากนี้ได้ทดลองเคลือบน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 5% และ 10% ที่เวลา 10 วินาที เพื่อดูผลความแตกต่างของการสะท้อนน้ำกับผ้าเคลือบที่เวลา 15 วินาที และผลการทดลองนี้มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความสามารถในการสะท้อนน้ำของผ้าเคคลือบน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยใช้เวลาเคลือบน้ำยาง 10 วินาที

ตัวอย่าง		ระดับการสะท้อนน้ำ
น้ำยางผสมPEG5%, 5 ส่วน (5 PEG 5)	- ผ้าเคลือบยาง	0
น้ำยางผสมPEG10%, 10 ส่วน (10 PEG 10)	- ผ้าเคลือบยาง	0

เมื่อเปรียบเทียบผลในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 จะพบว่าผ้าที่ใช้เวลาในการเคลือบน้ำยางเป็นเวลา 10 วินาทีจะมีความสามารถในการสะท้อนน้ำต่ำมาก คือ มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือน้ำจะซึมลงไปใต้ชิ้นงาน ฉะนั้นเวลาที่เหมาะสมในการเคลือบน้ำยางบนผ้า คือ 15 วินาที