บทที่ 5

ผลการทดลอง และ การอธิบายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOLUME RESISTIVITY (VR) กับปริมาณสารเพิ่มความเสถียร (LEAD STABILIZER) สารเพิ่มเนื้อ (CALCINED KAOLIN CLAY) และ ยางไนไตรล์ (NBR) เพื่อที่จะสามารถกำหนดอัตราส่วนผสมของส่วนประกอบดังกล่าวให้มีค่า VR $10^{13}\Omega$.cm. ขึ้นไป จึงได้กำหนดอัตราส่วนผสมของสารประกอบดังกล่าวทั้งหมด 48 ตัวอย่าง โดยกำหนดให้ปริมาณพีวีซีเรซิน และ ปริมาณสารเพิ่มความนุ่มมีค่าคงที่เท่ากับ 100 และ 60 PHR ตามลำดับ (PHR = PART PER HUNDRED PARTS OF RESIN หมายถึง จำนวนส่วนต่อ 100 ส่วนของพีวีซีเรซิน โดยคิดตามน้ำหนัก) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร (ไม่มีส่วนประกอบของสารเพิ่มเนื้อ และ ยางไนไตรล์)
2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ สารเพิ่มความเสถียร และ สารเพิ่มเนื้อ (ไม่มียางไนไตรล์)
3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร และ ยางไนไตรล์ (ไม่มีสารเพิ่มเนื้อ)
4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร, สารเพิ่มเนื้อ และ ยางไนไตรล์

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร (ไม่มีส่วนประกอบของสารเพิ่มเนื้อ และ ยางไนไตรล์)

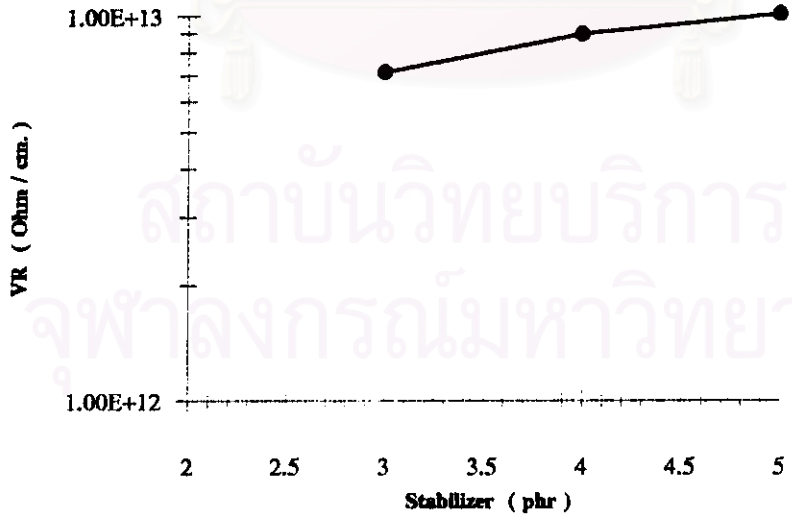
การกำหนดอัตราส่วนสำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ก็เพื่อจะศึกษาผลกระทบของปริมาณสารเพิ่มความเสถียรต่อค่า VR ของชิ้นงานตัวอย่าง อัตราส่วนผสมสำหรับชิ้นงานทดสอบกลุ่มนี้มีดังนี้

ตัวอย่างที่	phr				
	PVC RESIN	DOP	Stabilizer	Kaolin Caly	NBR
1	100	60	3	-	-
17	100	60	4	-	-
33	100	60	5	-	-

5.1.1 ผลของปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่มีต่อค่า VR

จากการกำหนดสูตรข้างต้น จะสามารถหาค่า VR ได้ดังตารางข้างล่าง และนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ ซึ่งกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงได้ในกราฟที่ 5.1

Stabilizer (phr)	VR (โอห์ม-ซม.)
3	7.10E+12
4	8.90E+12
5	1.00E+13

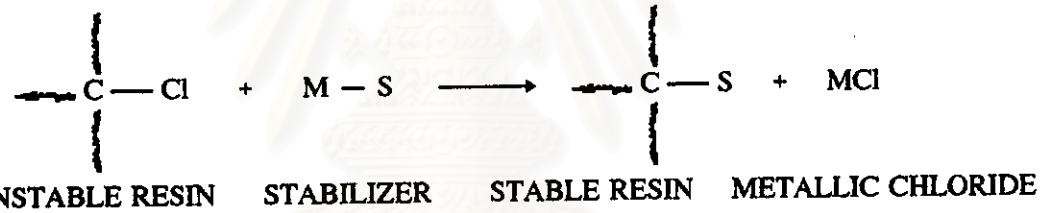


กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับปริมาณ Stabilizer เมื่อไม่มี NBR และ CLAY

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่า ค่า VR จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่ใช้ในพีวีซีคอมปาวด์ โดยค่า VR จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.1×10^{12} เพิ่มขึ้นเป็น $1 \times 10^{13} \Omega.cm.$ ดังนั้น ค่า VR ในพีวีซีคอมปาวด์ที่ไม่มีสารเพิ่มเนื้อ และ ยางไนไตรล์ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่ใช้

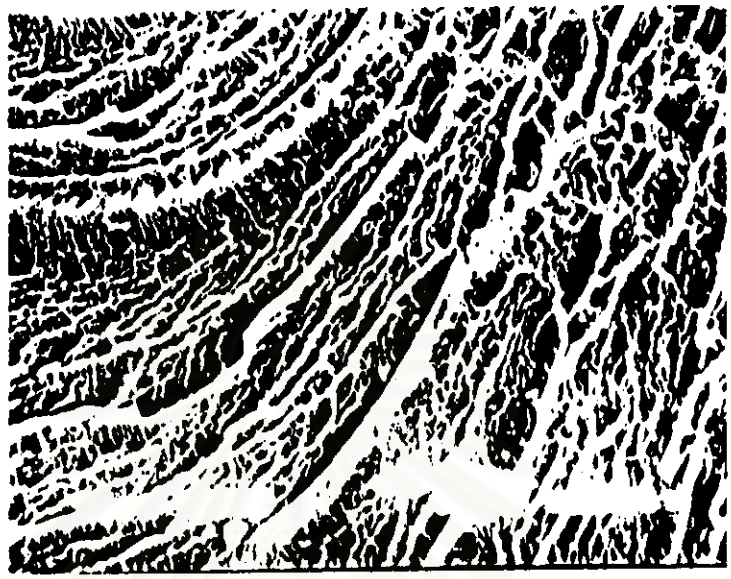
ทั้งนี้เพราะสารเพิ่มความเสถียรที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเพิ่มความเสถียรประเภทตะกั่ว (LEAD STABILIZER) ชนิด TRIBASIC LEAD SULPHATE [$3PbO \sim PbSO_4 \sim H_2O$] มีค่า LEAD CONTENT (PbO หรือ LITHARGE) = 66-69 ซึ่ง PbO หรือ LITHARGE ในสารเพิ่มความเสถียร จะเป็นตัวทำหน้าที่จับคลอรีนที่ไม่เสถียรบริเวณโครงสร้างที่เป็น TERTIARY ทั้งนี้ เพราะพีวีซีเมื่อได้รับความร้อนหรือแสงจะทำให้พีวีซีเสื่อมสภาพ (DEGRADATION) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา DEHYDROHALOGENATION ตัว PbO จะไปจับคลอรีนที่หลุดจากตำแหน่ง LABILE CHLORINE ATOM ตามปฏิกิริยาดังนี้ (FLETCHER AND JENNINGS,CITED IN NASS AND HEIBERGER,1988:50)



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา คือ พีวีซีที่เสถียร และ พวก METALLIC CHLORIDE ในการทดลองนี้ METALLIC CHLORIDE ที่ได้คือ $PbCl_2$ สาเหตุที่ปริมาณสารเพิ่มความเสถียรมีผลทำให้ค่า VR สูงขึ้น (ความเป็นฉนวนมากขึ้น) คือ $PbCl_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ และ ไม่สามารถเกิดเป็นอิออนทำให้มีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี และ ที่สำคัญคือ METALLICCHLORIDE ที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา DEHYDRO-HALOGENATION ในพีวีซี แม้ว่าจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนหรือแสง

5.1.2 <u>ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง</u> (SEM)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการถ่ายภาพบนผิวรอยแตกหักของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง (SEM) ทั้งนี้เพื่อศึกษาลักษณะภาพที่ได้จากผิวของชิ้นงานว่าจะมีความสัมพันธ์อย่างไรกับค่า VR ภาพที่ 5.1 แสดงภาคตัดขวางของแผ่นชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง SEM เมื่อไม่มี NBR และ CLAY ที่อัตราส่วน PVC 100 phr , DOP 60 phr , LEAD STABILIZER 4 phr ซึ่งจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับการทดลองในหัวข้อ 5.2.2, 5.3.2 และ 5.4.2 ต่อไป



ภาพที่ 5.1 ภาพแสดงภาคตัดขวางของแผ่นชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง SEM เมื่อไม่มี NBR และ CLAY

ภาพบน เป็นตำแหน่งบริเวณขอบของชิ้นงาน โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv

ภาพล่าง เป็นตำแหน่งบริเวณส่วนกลางของชิ้นงาน โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร และ สารเพิ่มเนื้อ (ไม่มีส่วนประกอบของยางไนไตรล์)

การกำหนดอัตราส่วนสำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของปริมาณสารเพิ่มความเสถียรและสารเพิ่มเนื้อต่อค่า VR ของชิ้นงานตัวอย่าง อัตราส่วนผสมสำหรับชิ้นงานทดสอบกลุ่มนี้ มีดังนี้

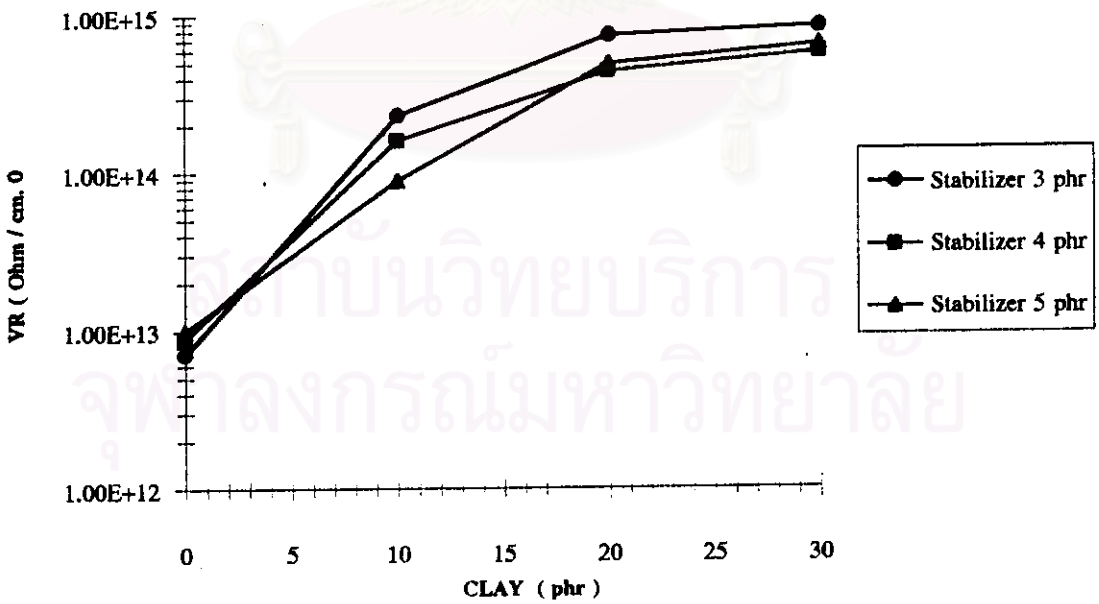
ตัวอย่าง	phr				
	PVC RESIN	DOP	Stabilizer	Kaolin Clay	NBR
2	100	60	3	10	-
3	100	60	3	20	-
4	100	60	3	30	-
18	100	60	4	10	-
19	100	60	4	20	-
20	100	60	4	30	-
34	100	60	5	10	-
35	100	60	5	20	-
36	100	60	5	30	-

5.2.1 ผลของสารเพิ่มความเสถียร และ สารเพิ่มเนื้อ ที่มีต่อค่า VR

จากการกำหนดสูตรข้างต้น จะสามารถหาค่า VR ได้ และนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงในกราฟที่ 5.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CLAY (phr)	VR (โอห์ม-ซม.)		
	Stabilizer 3 phr	Stabilizer 4 phr	Stabilizer 5 phr
0	7.10E+12	8.90E+12	1.00E+13
10	2.30E+14	1.60E+14	8.90E+13
20	7.30E+14	4.40E+14	4.90E+14
30	8.20E+14	5.70E+14	6.40E+14



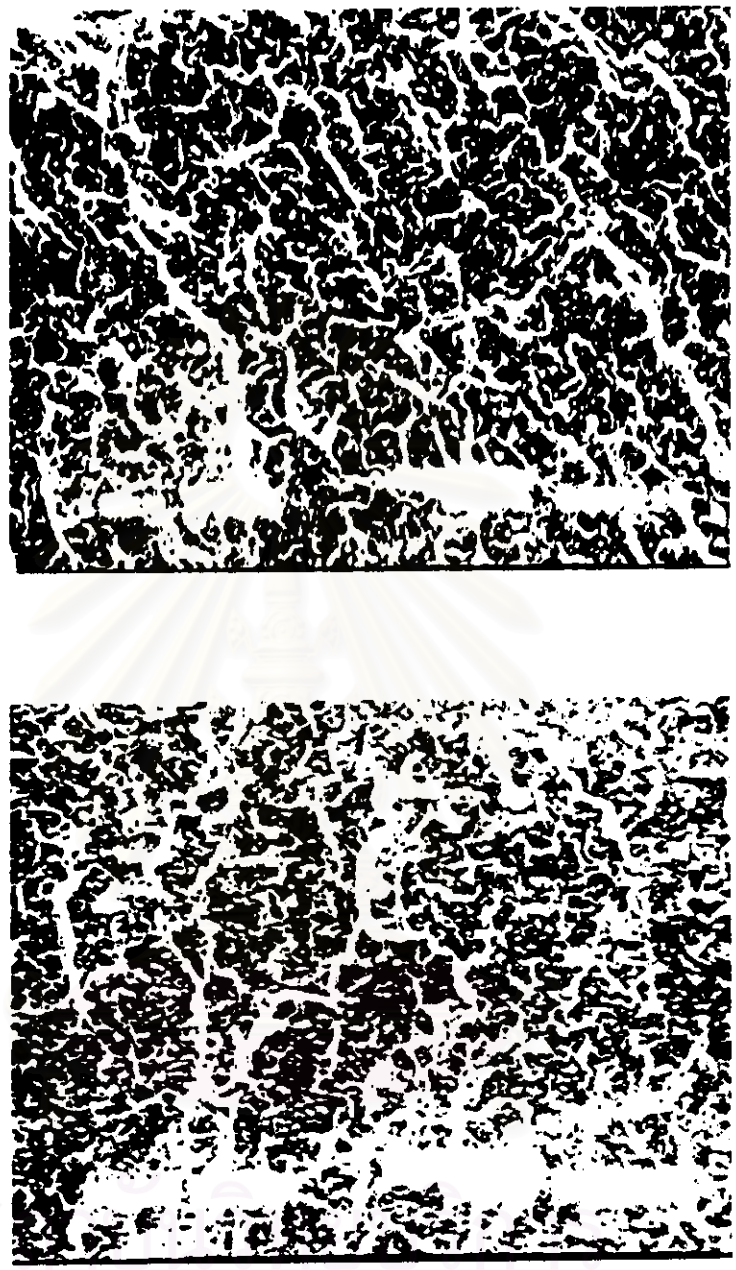
กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับปริมาณ Stabilizer และ CLAY เมื่อไม่มี NBR

จากกราฟที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่า ค่า VR จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ โดยจะมีอัตราการเพิ่มค่า VR ที่มากขึ้นในช่วงแรก (เมื่อใช้สารเพิ่มเนื้อ 10-20 phr) และ อัตราการเพิ่มขึ้นจะลดลง (เมื่อใช้สารเพิ่มเนื้อ 20-30 phr) ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวจะคล้ายกันในการใช้สารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 3, 4 และ 5 phr โดยจะให้ค่า VR ที่มีค่ามากกว่า $10^{18}\Omega$.cm. จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า ปริมาณของสารเพิ่มความเสถียรที่ใช้ในช่วง 3-5 phr จะมีผลต่อค่า VR ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในช่วง 10-30 phr

สาเหตุที่ทำให้ค่า VR มีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงในส่วนผสมที่มี CALCINED KAOLIN CLAY ก็เนื่องจากสารเพิ่มเนื้อเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้มีค่า DIELECTRIC STRENGTH สูงมาก (ทำให้มีค่าความเป็นฉนวนสูง) และ อีกประการหนึ่งคือ อนุภาคของ CALCINED KAOLIN CLAY มีลักษณะเป็นแผ่นเกล็ดกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อพีวีซี ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีระยะทาง และ ความลำบากมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนลดลงเป็นผลให้ความนำไฟฟ้าลดลง หรือ ความเป็นฉนวนมากขึ้น ดังแสดงด้วยแผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในภาพที่ 3.4 (MATHUR AND VANDERHEIDEN ,CITED IN NASS AND HEIBERGER,1988:511)

5.2.2 <u>ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง</u> (SEM)

ภาพที่ถ่ายได้จากผิวชิ้นงานตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ พีวีซี สารเพิ่มความเสถียรและสารเพิ่มเนื้อแสดงในภาพที่ 5.2 (ภาพบน มีปริมาณสารเพิ่มเนื้อ 10 phr ขณะที่ภาพล่างมีปริมาณสารเพิ่มเนื้อ 30 phr) สังเกตได้ว่า ภาพบนมีปริมาณเกล็ดสีขาวบนพื้นสีดำในจำนวนที่น้อยกว่าภาพล่าง ในที่นี้คาดว่าเกล็ดสีขาวน่าจะเป็นสารเพิ่มเนื้อ เกล็ดสีขาวที่มีปริมาณมากน่าจะเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งน่าจะสอดคล้องกับแผนภาพจำลองภาพที่ 3.4 และเป็นผลทำให้ค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังผลของค่า VR ที่แสดงไว้ในหัวข้อข้างต้น



ภาพที่ 5.2 ภาพแสดงภาคตัดขวางของแผ่นชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง SEM เมื่อไม่มี NBR
ภาพบน ประกอบด้วยสารเพิ่มความเสถียร 4 phr, CLAY 10 phr โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv
ภาพล่าง ประกอบด้วยสารเพิ่มความเสถียร 4 phr, CLAY 30 phr โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร และ ยางไนไตรล์ (ไม่มีส่วนประกอบของสารเพิ่มเนื้อ)

การกำหนดอัตราส่วนสำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของปริมาณสารเพิ่มความเสถียร และ ยางไนไตรล์ ต่อค่า VR ของชิ้นงานตัวอย่าง อัตราส่วนผสมสำหรับชิ้นงานทดสอบกลุ่มนี้ มีดังนี้

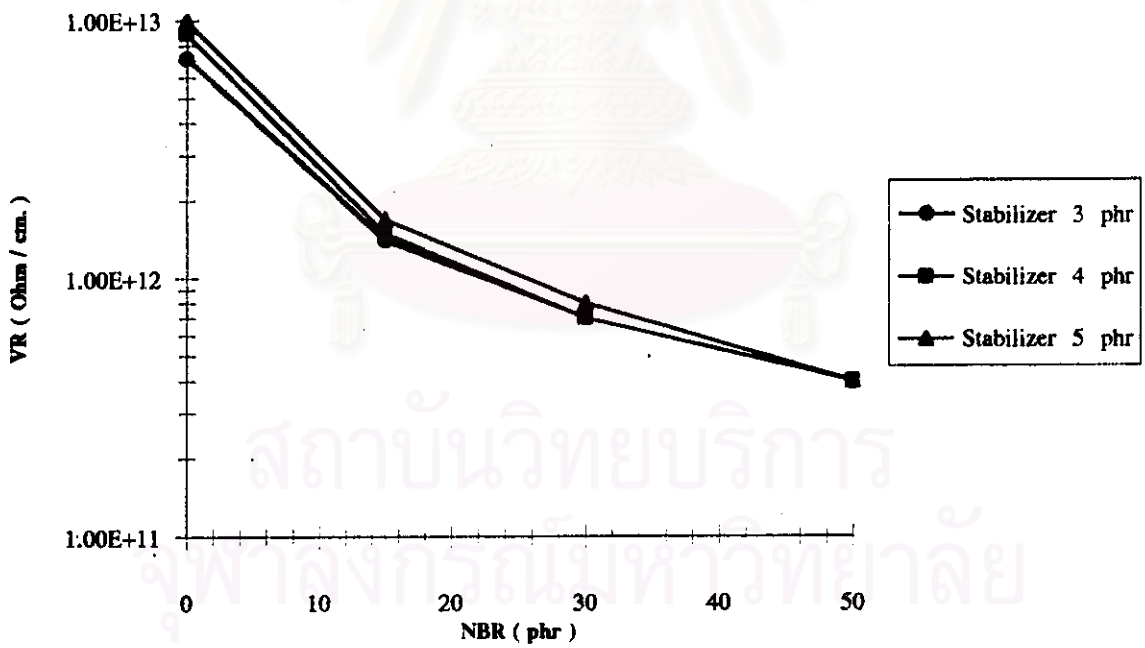
ตัวอย่าง	phr				
	PVC RESIN	DOP	Stabilizer	Kaolin Clay	NBR
5	100	60	3	-	15
9	100	60	3	-	30
13	100	60	3	-	50
21	100	60	4	-	15
25	100	60	4	-	30
29	100	60	4	-	50
37	100	60	5	-	15
41	100	60	5	-	30
45	100	60	5	-	50

5.3.1 ผลของปริมาณสารเพิ่มความเสถียร และ ยางไนไตรล์ ที่มีต่อค่า VR

จากการกำหนดสูตรผสมข้างต้น จะสามารถหาค่า VR ได้ และ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงในกราฟที่ 5.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NBR (phr)	VR (โอห์ม-ซม.)		
	Stabilizer 3 phr	Stabilizer 4 phr	Stabilizer 5 phr
0	7.10E+12	8.90E+12	1.00E+13
15	1.40E+12	1.50E+12	1.70E+12
30	7.00E+11	7.00E+11	8.00E+11
50	4.00E+11	4.00E+11	4.00E+11

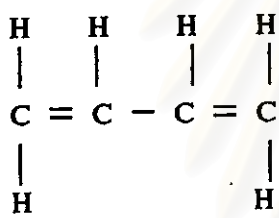


กราฟที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับปริมาณ Stabilizer และ NBR เมื่อไม่มี CLAY

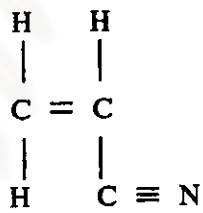
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า ค่า VR จะมีค่าลดลงตามปริมาณยางไนไตรล์ที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยจะมีอัตราลดลงอย่างมากในช่วงแรก (เมื่อใช้ NBR 15-30 phr) แล้วจะลดลงในอัตราที่ช้าลง (เมื่อใช้ยางไนไตรล์ 30-50 phr) ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวจะคล้ายกัน ในทุกกรณี ไม่ว่าจะใช้สารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 3, 4 และ 5 phr โดยจะให้ค่า VR มีค่าน้อยกว่า 10^{13} Ω.cm. จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า ปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่ใช้ในช่วง 3-5 phr จะมีผลต่อค่า VR ไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของยางไนไตรล์ที่ใช้ ในช่วง 15-50 phr

สาเหตุที่ยางไนไตรล์ทำให้ค่า VR มีค่าลดลงอย่างมากเพราะว่า โครงสร้างของยางไนไตรล์มีสภาพเป็นขั้วทำให้มีค่าสูญเสีย DIELECTRIC LOSS มาก (ความเป็นฉนวนลดลง) ทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้าลดลง (CHARRIER,1990:202) ทั้งนี้ ส่วนที่ทำให้เกิดขั้วของ NBR คือ กลุ่ม VINYL CYANIDE



BUTADIENE



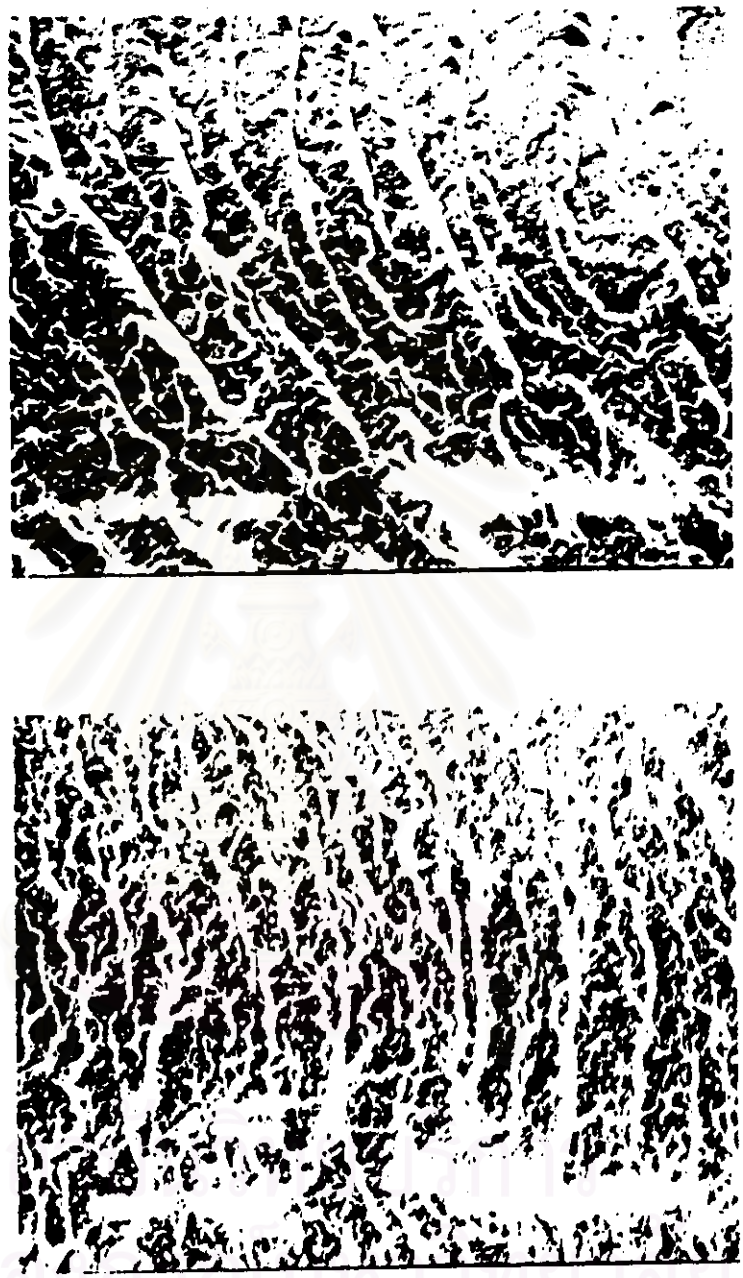
ACRYLONITRILE

แม้ว่ายางไนไตรล์จัดเป็นวัสดุที่เป็นฉนวน แต่เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบมีขั้ว เนื่องมาจากกลุ่ม VINYL CYANIDE เมื่อยางไนไตรล์อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดโพลาไรเซชั่นของวัสดุที่เป็นฉนวนขึ้น โดยประจุที่เกิดขึ้นในวัสดุที่เป็นฉนวนจะเรียกว่า ประจุโพลาไรเซชั่น (POLARIZATION CHARGE) (CHHALOTRA AND BHAT,1975:26)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ยางไนไตรล์เมื่อนำไปผสมกับ PVC จะทำให้ค่า VR ของโพลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ซึ่งก็คือ ความเป็นฉนวนของโพลิเมอร์ดังกล่าวลดลง

5.3.2 <u>ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง</u> (SEM)

ภาพที่ถ่ายได้จากผิวชิ้นงานตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมดังกล่าวแสดงในภาพที่ 5.3 (ภาพบนมีปริมาณยางไนไตรล์ 15 phr ขณะที่ภาพล่างมียางไนไตรล์ 50 phr สังเกตได้ว่า บริเวณที่เป็นลายเส้นสีขาวจะมีเส้นใยเล็ก ๆ และ สั้น ๆ เป็นจำนวนมากแตกออกมาจากเส้นลายสีขาว ซึ่งเส้นใยสั้น ๆ นี้คาดว่าน่าจะเป็นยางไนไตรล์ เนื่องจากโครงสร้างของยางไนไตรล์เป็นโครงสร้างที่มีขั้วทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นทำให้สมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าลดลง



ภาพที่ 5.3 ภาพแสดงภาคตัดขวางของแผ่นชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง SEM เมื่อไม่มี CLAY
ภาพบน ประกอบด้วยสารเพิ่มความเสถียร 4 phr, NBR 15 phr โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv
ภาพล่าง ประกอบด้วยสารเพิ่มความเสถียร 4 phr, NBR 50 phr โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณของสารเพิ่มความเสถียร, สารเพิ่มเนื้อ และยางไนไตรล์

การกำหนดอัตราส่วนสำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ก็เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนของสารประกอบดังกล่าว ที่ให้ค่า VR ที่มีค่าเพียงพอที่จะใช้เป็นวัสดุในการทำฉนวนของสายไฟ และสายเคเบิล การทดสอบในหัวข้อนี้กำหนดให้ สารเพิ่มความเสถียรมีระดับการใช้ในช่วง 3-5 phr สารเพิ่มเนื้อมีระดับการใช้ในช่วง 10-30 phr และ ยางไนไตรล์มีระดับการใช้ในช่วง 15-50 phr เหตุผลที่กำหนดปริมาณดังกล่าวในการทดสอบคือ ในเชิงพาณิชย์แล้ว สารเพิ่มความเสถียรที่เป็นพวก LEAD STABILIZERโดยมากจะใช้ในปริมาณ 3-5 phr ขึ้นอยู่กับ ลักษณะการใช้งาน และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญคือ ปริมาณดังกล่าวเพียงพอต่อการทำหน้าที่เป็น HEAT AND LIGHT STABILITY และที่สำคัญคือ เรื่องค่าใช้จ่าย สำหรับสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในช่วง 10-30 phr ก็เนื่องจากปริมาณ KAOLIN CLAY ที่ใช้ในงานผลิตสายไฟ และ สายเคเบิล จะใช้อยู่ในช่วง 5-15 phr ทั้งนี้เพราะปริมาณสารเพิ่มเนื้อจะมีผลต่อสมบัติทางด้านความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อวัตถุดิบตัวอื่นทำให้ต้องปรับอัตราส่วนใหม่ เพื่อให้เหมาะที่จะเป็นฉนวนไฟฟ้า (VANDERHEIDEN AND MATHUR ,CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:510) สำหรับอัตราส่วนผสมของสารกลุ่มนี้ เป็นดังนี้

ตัวอย่าง	phr				
	PVC RESIN	DOP	Stabilizer	Kaolin Caly	NBR
6	100	60	3	10	15
7	100	60	3	20	15
8	100	60	3	30	15
10	100	60	3	10	30
11	100	60	3	20	30
12	100	60	3	30	30
14	100	60	3	10	50
15	100	60	3	20	50
16	100	60	3	30	50
22	100	60	4	10	15
23	100	60	4	20	15
24	100	60	4	30	15
26	100	60	4	10	30
27	100	60	4	20	30

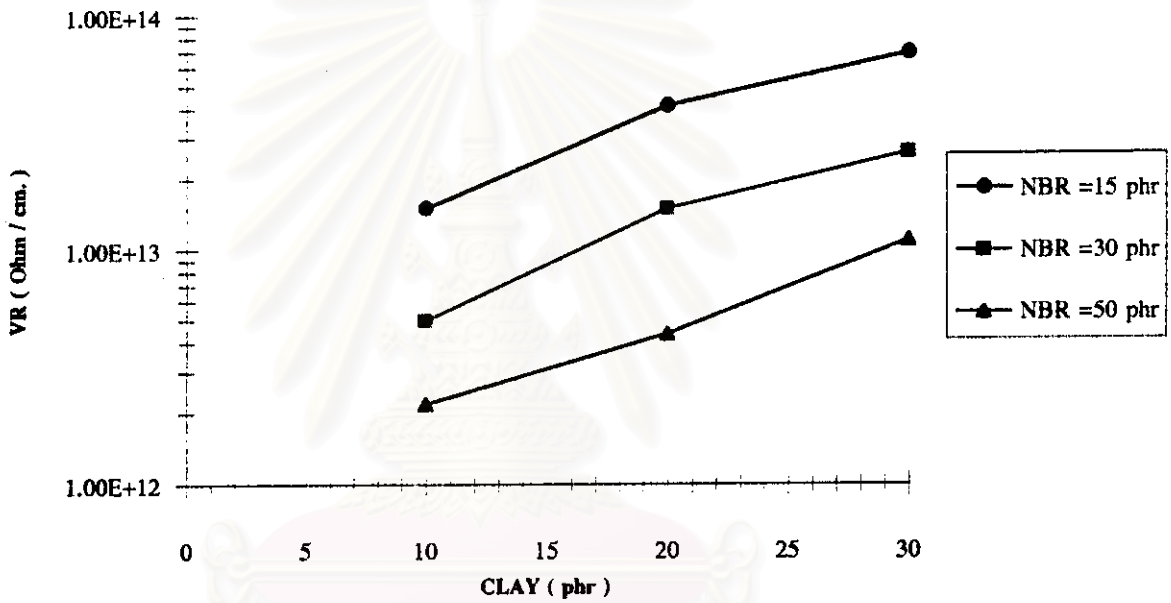
ตัวอย่าง	phr				
	PVC RESIN	DOP	Stabilizer	Kaolin Clay	ยางไนไตรล์
28	100	60	4	30	30
30	100	60	4	10	50
31	100	60	4	20	50
32	100	60	4	30	50
38	100	60	5	10	15
39	100	60	5	20	15
40	100	60	5	30	15
42	100	60	5	10	30
43	100	60	5	20	30
44	100	60	5	30	30
46	100	60	5	10	50
47	100	60	5	20	50
48	100	60	5	30	50

5.4.1 ผลของปริมาณสารเพิ่มความเสถียร, สารเพิ่มเนื้อ และ ยางไนไตรล์ ที่มีต่อค่า VR

จากการกำหนดสูตรผสมข้างต้น จะสามารถหาค่า VR ได้ดังตารางข้างล่างนี้ และ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงในกราฟที่ 5.4, 5.5 และ 5.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

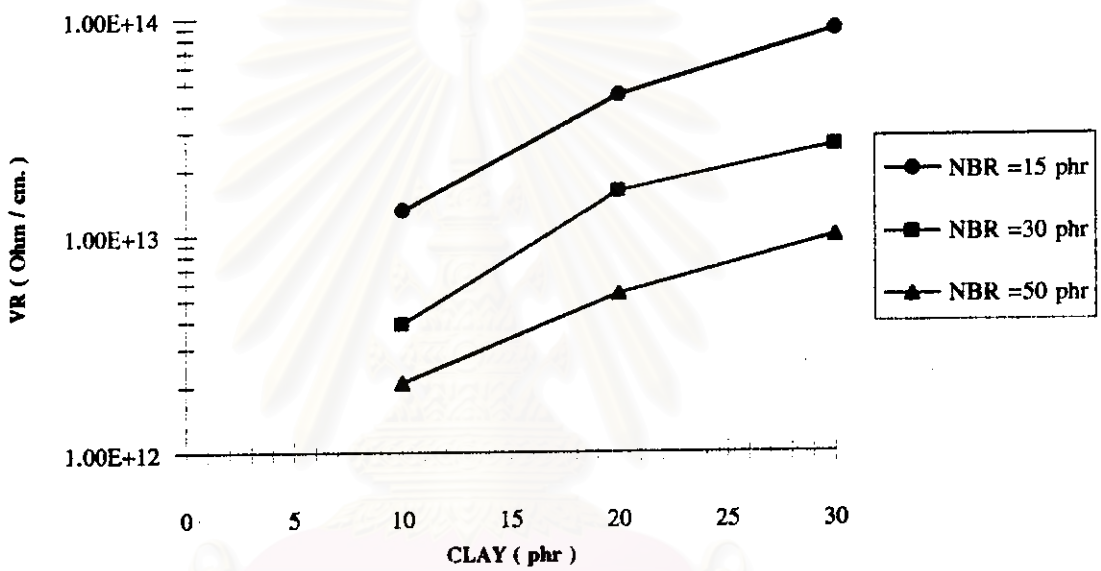
CLAY (phr)	VR (โอห์ม-ซม.)		
	NBR =15 phr	NBR =30 phr	NBR =50 phr
10	1.50E+13	5.00E+12	2.20E+12
20	4.10E+13	1.50E+13	4.40E+12
30	6.80E+13	2.60E+13	1.10E+13



กราฟที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับปริมาณ CLAY และ NBR เมื่อใช้ Stabilizer 3 phr

จากกราฟ 5.4 จะสังเกตได้ว่า ค่า VR มีค่ามากขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่เพิ่มขึ้น โดยใช้สารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 3 phr สำหรับอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณยางไนไตรล์ 15 phr จะให้ค่า VR สูงกว่า เมื่อเทียบกับ อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณยางไนไตรล์มากกว่า (ที่ระดับ 30 และ 50 phr) เมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่เท่ากัน และอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณยางไนไตรล์มากจะต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มเนื้อในปริมาณที่สูงกว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณยางไนไตรล์น้อยกว่าเพื่อให้ได้ค่า VR ที่เท่ากัน

CLAY (phr)	VR (โอห์ม-ซม.)		
	NBR =15 phr	NBR =30 phr	NBR =50 phr
10	1.30E+13	3.90E+12	2.10E+12
20	4.40E+13	1.60E+13	5.40E+12
30	8.70E+13	2.60E+13	9.90E+12

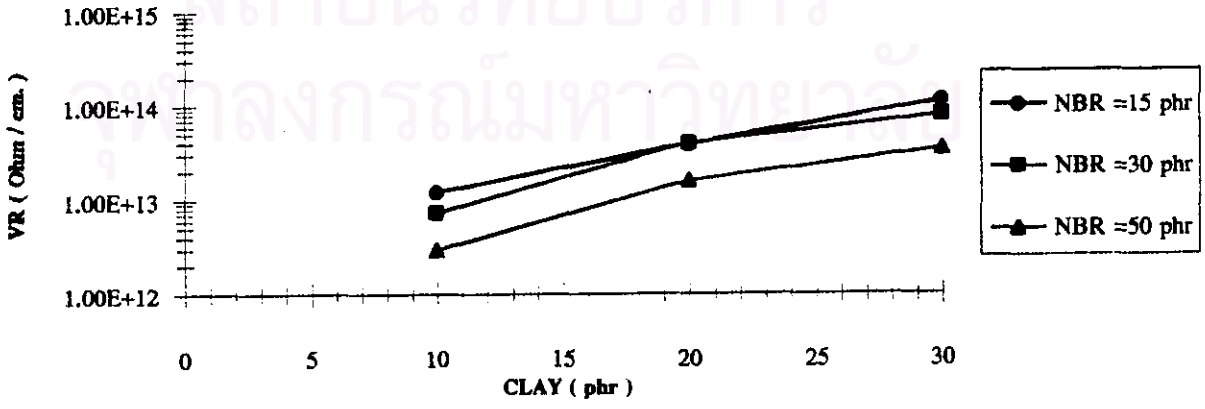


กราฟที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณ CLAY และ NBR เมื่อใช้ Stabilizer 4 phr

จากกราฟ 5.5 จะสังเกตได้ว่า ค่า VR และ ปริมาณสารเพิ่มเนื้อจะมีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือ ค่า VR มีค่ามากขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่เพิ่มขึ้นโดยใช้สารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 4 phr สำหรับอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณยางไนไตรล์น้อยกว่าจะให้ค่า VR ที่สูงกว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ระดับเดียวกัน หรือ ถ้ากำหนดให้ค่า VR มีค่าคงที่จะพบว่าอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณยางไนไตรล์มากกว่าจะต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มเนื้อในปริมาณที่มากกว่าเพื่อให้ได้ค่า VR ที่ระดับเดียวกัน จากกราฟที่ 5.4 และ 5.5 จะพบว่า ปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 3 และ 4 phr นั้น มีผลน้อยมากต่อการทำให้ค่า VR มีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบ

กับปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ ซึ่งในบางกรณีที่อัตราส่วนผสมของปริมาณยางไนไตรล์และสารเพิ่มเนื้อเท่ากันแต่ปริมาณสารเพิ่มความเสถียรต่างกันจะให้ค่า VR ที่ใกล้เคียงกัน เช่น CLAY 10 phr, NBR 30 phr, สารเพิ่มความเสถียร 3 phr ให้ค่า VR = 5×10^{12} Ω.cm. ขณะที่อัตราส่วน CLAY 10 phr, NBR 30 phr, สารเพิ่มความเสถียร 4 phr ให้ค่า VR = 3.9×10^{12} Ω.cm. ซึ่งแสดงว่า ปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่ใช้ 3-4 phr มีผลต่อค่า VR น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ 10-30 phr

CLAY (phr)	VR (โอห์ม-ซม.)		
	NBR =15 phr	NBR =30 phr	NBR =50 phr
10	1.20E+13	7.40E+12	3.00E+12
20	3.90E+13	4.00E+13	1.60E+13
30	1.10E+14	7.90E+13	3.50E+13



กราฟที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับปริมาณ CLAY และ NBR เมื่อใช้ Stabilizer 5 phr

จากกราฟ 5.6 จะสังเกตได้ว่า ค่า VR และ ปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้จะมีแนวโน้มคล้ายกัน คือ ค่า VR จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ กราฟที่ 5.4 และ 5.5 แต่สำหรับที่อัตราส่วนผสมที่มี CLAY 20 phr, NBR 15 phr และ CLAY 20 phr, NBR 30 phr ที่ระดับสารเพิ่มความเสถียรเดียวกัน คือ 5 phr จะได้ค่า VR มีค่าเกือบจะเท่ากัน คือ VR มีค่าเท่ากับ 4×10^{13} Ω.cm.

ดังนั้น จากกราฟที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 ค่า VR จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่เพิ่มขึ้น (ช่วง 10-30 phr) โดยปริมาณสารเพิ่มความเสถียร (ช่วง 3-5 phr) มีผลน้อยมากต่อค่า VR ส่วนผสมที่มียางไนไตรล์ 15 และ 30 phr จะมีค่า VR เพิ่มขึ้นในอัตราที่มากกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณยางไนไตรล์ที่ 50 phr ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวจะเป็นทุกกรณีไม่ว่าจะมีสารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 3, 4 หรือ 5 phr ซึ่งจากกราฟทั้งสามสามารถกำหนดอัตราส่วนผสมของสารต่าง ๆ ในโพลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ กล่าวคือ ให้ค่า VR มากกว่าหรือเท่ากับ 10^{13} Ω.cm. ได้โดยถ้ามีปริมาณยางไนไตรล์ผสมอยู่ 15-30 phr ปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ต้องใช้จะประมาณ 15-20 phr เพื่อให้ได้ค่า VR มากกว่าหรือเท่ากับ 10^{13} Ω.cm. ไม่ว่าจะใช้ปริมาณสารเพิ่มความเสถียรที่ระดับ 3, 4 หรือ 5 phr และ ถ้ามีปริมาณยางไนไตรล์ผสมอยู่ 50 phr จะต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มเนื้อ 30 phr จึงจะทำให้ได้ค่า VR = 10^{13} Ω.cm.

5.4.2 <u>ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลำแสง</u> (SEM)

ภาพที่ถ่ายได้จากผิวชิ้นงานตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมดังกล่าวแสดงในภาพที่ 5.4 (ภาพบน มีสารเพิ่มความเสถียร 4 phr สารเพิ่มเนื้อ 10 phr และ ยางไนไตรล์ 15 phr ขณะที่ภาพล่างมีสารเพิ่มความเสถียรและสารเพิ่มเนื้อเท่ากันแต่มียางไนไตรล์ 50 phr) เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 5.4 กับ ภาพที่ 5.2 (กรณีที่มีสารเพิ่มความเสถียรกับสารเพิ่มเนื้อ) และ ภาพที่ 5.3 (กรณีที่มีสารเพิ่มความเสถียรกับยางไนไตรล์) จะสังเกตได้ว่า ปริมาณเกล็ดสีขาวที่คาดว่าน่าจะเป็น KAOLIN CLAY กระจายตัวในเนื้อพีวีซีโดยปริมาณการกระจายตัวน้อยกว่าภาพที่ 5.2 แต่มากกว่าภาพที่ 5.3

ภาพที่ 5.4 ภาพแสดงภาคตัดขวางของแผ่นชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง SEM เมื่อใช้ NBR, สารเพิ่มความเสถียร และ CLAY

ภาพบน ประกอบด้วยสารเพิ่มความเสถียร 4 phr, CLAY 10 phr และ NBR 15 phr โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv

ภาพล่าง ประกอบด้วยสารเพิ่มความเสถียร 4 phr, CLAY 10 phr และ NBR 50 phr โดยใช้กำลังขยาย 500 แรงดันไฟฟ้า 15 kv