ชุดอุปกรณ์ป้องกันขั้วบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย

Bushing Guard for Distribution Transformer

นายรัฐพล ถกลธวัช

นายชรินทร์ ตุรงค์เรือง

นายวรัญญู บุณยะโอภาส

นายศรายุทธ เทศนนท์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2553

53EE101

หัวข้อโครงงาน	ชุดอุปกรณ์ป้องกันขั้วบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย	
โดย	นายรัฐพล	ถกลธวัช
	นายชรินทร์	ตุรงค์เรือง
	นายวรัญญู	บุณยะโอภาส
	นายศรายุทธ	เทศนนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สำเริง	ฮินท่าไม้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุมอนุมัติโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

(ดร. นิมิต บุญภิรมย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สำเริง ฮินท่าไม้)

(วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2554)

รหัสโครงงาน 53EE101

ชุดอุปกรณ์ป้องกันขั้วบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย

Bushing Guard for Distribution Transformer

บทคัดย่อ (Abstract)

โครงงานนี้ได้ศึกษาและทดสอบอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงระบบจำหน่าย ที่ผลิตมาจากยางซิลิโคน และยางสังเคราะห์ชนิดอื่น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ทำมาจากวัสดุทั้งสองชนิด โดยทำการทดสอบด้วยสายตา(ลักษณะทางกายภาพภายนอก) การตรวจสอบทางมิติ การทดสอบการทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 40 เควีเป็นเวลา 1 นาที การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่ง ทดสอบการทนต่อการลามไฟ โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย พบว่าอุปกรณ์ที่ผลิตจากยางซิลิโคนมีคุณสมบัติที่ดีกว่ายาง EPDM จึงเหมาะสมในการนำไปติดตั้งใช้งานที่หัวบุชชิ่งหม้อแปลงเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดไฟฟ้าดับที่เกิดจากสัตว์ที่มาเกาะบริเวณหัวบุชชิ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สำเริง ฮินท่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาสละเวลา อบรมให้ความรู้ แนะนำวิธีคิด วิธีการแก้ปัญหา ตลอดการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ นายปรีดา แตงสาขา หัวหน้าแผนกปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดปทุมธานี ซึ่งกรุณาสละเวลา ให้ความรู้และคำแนะนำในด้านการทดสอบอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณ กองวิศวกรรมไฟฟ้าและทดสอบ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ , สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ , ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงาน

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง สิ่งที่ดีและเป็นประโยชน์ของโครงงานนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้กับผู้สนับสนุนโครงงานนี้ทุกๆ ท่าน สิ่งใดนี้ที่โครงงานมีความผิดพลาด ผู้จัดทำจะขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

คณะผู้จัดทำ

ปีการศึกษา 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ของโครงงาน	2
1.5 โครงสร้างของโครงงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วัสดุฉนวนไฟฟ้า	4
2.2 การเปรียบเทียบยางซิลิโคนกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นโดยใช้โครงสร้างทางเคมี	5
2.3 คุณสมบัติน้ำไม่จับตัว	8
2.4 คุณสมบัติการทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของยางซิลิโคน	11
2.5 การทดสอบการเกิดอาร์คตามผิวของฉนวน	12
2.6 การเสื่อมสภาพของยาง	12
2.7 มาตรฐานการทดสอบอุปกรณ์	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน

3.1 การขึ้นรูปยาง 17

3.2 อุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงสูง 19

3.3 การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย 20

3.4 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้า 21

3.5 การทดสอบอุปกรณ์โดยการนำไปติดตั้งใช้งานจริงเปรียบเทียบกัน 22

บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา 26

4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัดขนาด 27

4.3 การทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน 28

4.4 การทดสอบอุปกรณ์ด้วการทดสอบแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุยาง 31

4.5 การทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบการเผาไหม้และการลามไฟ 33

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 36

เอกสารอ้างอิง 38

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของยางซิลิโคนกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น	5
ตารางที่ 2.2	อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานของยางชนิดต่างๆ	13
ตารางที่ 4.1	การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา	27
ตารางที่ 4.2	ผลการตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัดขนาด	28
ตารางที่ 4.3	ขนาดทรงกลมมาตรฐานและระยะห่างของแกปวัดแรงดัน	29
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน	30
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบอุปกรณ์ด้วการทดสอบแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	32
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบอุปกรณ์การติดไฟในแนวแกนตั้ง	35

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	โครงสร้างของโครงงาน	3
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างโมเลกุลของยางซิลิโคน	8
ภาพที่ 2.2	การฟื้นคืนสภาพคุณสมบัติน้ำไม่จับตัวของยางซิลิโคน	8
ภาพที่ 2.3	กลไกการทำงานการฟื้นคืนสภาพคุณสมบัติน้ำไม่จับตัวของยางซิลิโคน	9
ภาพที่ 2.4	คุณสมบัติการทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต ของยางซิลิโคนและยางสังเคราะห์	11
ภาพที่ 2.5	ลูกถ้วยไฟฟ้าซิลิโคนภายหลังการทดสอบการเกิดอาร์คตามผิวของฉนวน	12
ภาพที่ 3.1	การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์แบบต่างๆ	17
ภาพที่ 3.2	อุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงสูง	19
ภาพที่ 3.3	รายละเอียดการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย	20
ภาพที่ 3.4	อุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งของหม้อแปลงไฟฟ้าผลิตจากยางซิลิโคน	21
ภาพที่ 3.5	การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 1	22
ภาพที่ 3.6	การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 2	23
ภาพที่ 3.7	การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 3	24
ภาพที่ 3.8	การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 4	25
ภาพที่ 4.1	อุปกรณ์การทดสอบขั้วไฟฟ้าทรงกลม ขนาด 35 มม.	29
ภาพที่ 4.2	รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60243-1	30
ภาพที่ 4.3	การเกิดไฟวาปที่ผิวของวัสดุยาง	30
ภาพที่ 4.4	รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบการเผาไหม้และการลามไฟ	34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันการขยายตัวของเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม ส่งผลให้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่ มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากระบบส่งหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีความซับซ้อนมากขึ้น รวมทั้งอุปกรณ์ในระบบก็เสื่อมสภาพไปตามการใช้งานมาอย่างยาวนาน ดังนั้นความเสี่ยงในเรื่องความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ที่เกิดจากอุปกรณ์ในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้าเกิดขัดข้อง หรือเกิดจากคน สัตว์ ซึ่งทางการไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า และยังเป็นตัวช่วยในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรม และเศรษฐกิจของประเทศด้วย

จากข้อมูลทางสถิติ สาเหตุสำคัญอีกประการของปัญหาไฟฟ้าดับ มาจากสัตว์ ซึ่งสร้างปัญหามากที่บริเวณหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีงูหรือนก มาเกาะหรือสัมผัสบริเวณหัวต่อที่บุชชิ่งด้านแรงสูง (HV Bushing) ของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการลัดวงจร กระแสไฟฟ้าดับ เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น จะต้องใช้เวลานานในการที่เจ้าหน้าที่จะแก้ไข ให้ระบบกลับสู่สภาวะปกติ

การไฟฟ้าได้มีการแก้ไขปัญหาโดยการ ใช้วัสดุที่เป็นฉนวนมาครอบป้องกันที่บริเวณหัวบุชชิ่งด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดผลกระทบจากสาเหตุดังกล่าว แต่เนื่องจากวัสดุที่ใช้อยู่นั้น มีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น แต่สภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ไอเกลือทะเล ฝุ่นละออง มลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม มีผลต่อสภาพผิวฉนวนของวัสดุ เสียหายเร็วขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาวิธีป้องกันความเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากสัตว์มาเกาะที่หม้อแปลงไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้วัสดุยางซิลิโคน (Silicone Rubber) กับระบบไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาวัสดุอื่นๆที่ใช้ ป้องกันหัวต่อบุชชิ่งด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า และ เปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
4. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ และฝึกฝนการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการทำโครงงาน

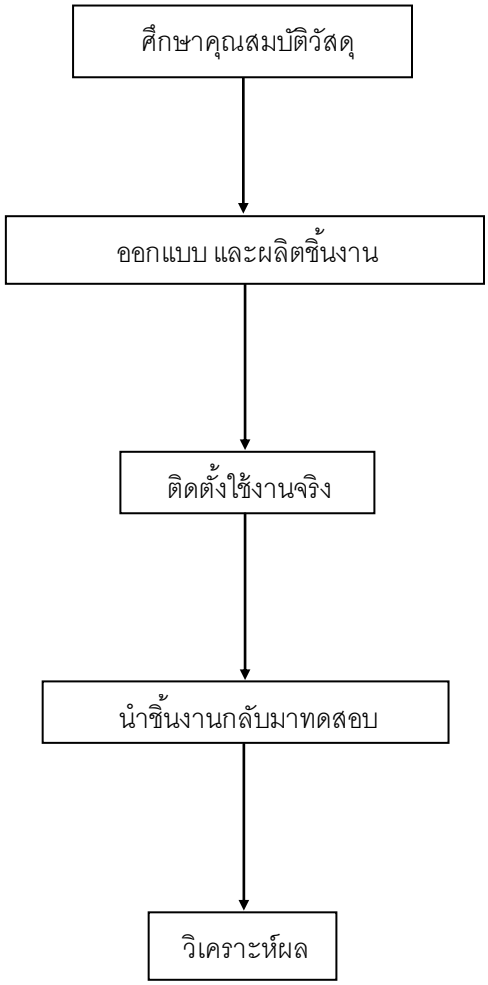
1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ทำการศึกษา เปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุที่มีอยู่เดิมกับวัสดุยางซิลิโคน
2. ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ป้องกันที่ต่อหัวบุชชิ่งด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. นำวัสดุยางซิลิโคน ที่ได้ทำการศึกษาไปติดตั้งในระบบไฟฟ้า
4. เปรียบเทียบวัสดุที่มีอยู่เดิมกับวัสดุยางซิลิโคน หลังจากการติดตั้งในระบบไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ของโครงงาน

1. สามารถพัฒนา ชุดครอบหัวต่อที่บุชชิ่งแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า ให้มีอายุการใช้งานและความปลอดภัย มากยิ่งขึ้น
2. สามารถลดภาระค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา เนื่องมาจากการระเบิดของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. สามารถลดอัตราการเกิดไฟฟ้าดับ เนื่องมาจากการระเบิดของหม้อแปลงไฟฟ้า
4. เพื่อทดสอบอุปกรณ์ ให้มีคุณสมบัติ ตามมาตรฐานสากลได้
5. สามารถนำประสบการณ์ การค้นคว้า ทดลองวิทยาการใหม่ๆ นำไปประยุกต์ใช้ใ นการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆให้มี คุณภาพและความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ตามมาตรฐานสากล

1.5 โครงสร้างของโครงงาน



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของโครงงาน

เนื่องมาจากอุปกรณ์ทางไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องผ่านการทดสอบ ตามมาตรฐาน ซึ่งมีหัวข้อการทดสอบชิ้นงานดังนี้

1) Visual Test
2) Dimension Test
3) Power Frequency Withstand Voltage Test
4) Tensile Strength And Elongation Test
5) Flammability Test

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุฉนวนไฟฟ้า [14]

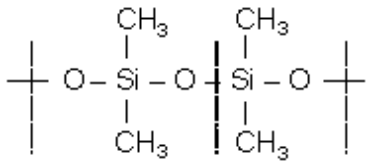
วัสดุฉนวนไฟฟ้า คือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการกีดกั้นหรือขัดขวางการไหล ของกระแสไฟฟ้าหรือวัสดุที่กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้แก่ ยาง ไฟเบอร์ พลาสติก ฯลฯ ฉนวนจะต้องสามารถป้องกันตัวนำไฟฟ้าจากความร้อนหรือของเหลว ที่สามารถกัดกร่อนตัวนำไฟฟ้า และสามารถกันน้ำได้ดี ฉนวนที่ใช้หุ้มตัวนำไฟฟ้าต้องมีความต้านทานสูง ต้องไม่ถูกกรดหรือด่างกัดกร่อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 0 ถึง 200 องศาฟาเรนไฮต์ และต้องไม่ดูดความชื้นในอากาศ

วัสดุที่เป็นฉนวนที่ใช้กับไฟฟ้าแรงดันสูงส่วนใหญ่ทำมาจาก แก้ว พอร์ซเลนหรือ วัสดุจำพวกโพลิเมอร์ วัสดุฉนวนไฟฟ้าพอร์ซเลนทำขึ้นมาจาก ดินขาว แร่ควอตซ์ หรืออลูมินา และแร่เฟลด์สปาร์ และเคลือบผิวให้เรียบเพื่อไม่ให้น้ำเกาะ พอร์ซเลนมีความเป็นฉนวนประมาณ 4-10 กิโลโวลท์ / มิลลิเมตร วัสดุแก้วมีความเป็นฉนวนสูง แต่การรวมตัวทำให้รูปร่างหนาเกินความจำเป็น สำหรับฉนวนไฟฟ้าเป็นการยากที่จะทำการหล่อขึ้นมา ซึ่งผู้ผลิตฉนวนไฟฟ้าบางแห่ง ได้หยุดการผลิตฉนวนไฟฟ้าแบบแก้วในปลายปี 1960 แล้วเปลี่ยนมาเป็นวัสดุเซรามิก

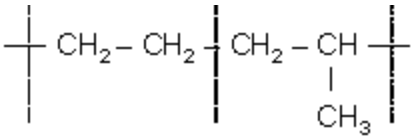
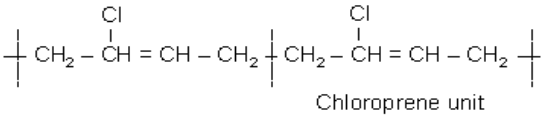
เมื่อไม่นานมานี้ได้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุไปเป็นวัสดุจำพวกโพลิเมอร์ เช่น พลาสติกเสริมใย ยางซิลิโคน หรือ ยาง Ethylene-Propylene Diene Monomer (EPDM) เนื่องจากเป็นฉนวนไฟฟ้าราคาถูกน้ำหนักเบา และมีสมบัติ Hydrophobic ยอดเยี่ยม คุณสมบัติพวกนี้ทำให้เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในพื้นที่มีมลภาวะ

2.2 การเปรียบเทียบยางซิลิโคนกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นโดยใช้โครงสร้างทางเคมี[13]

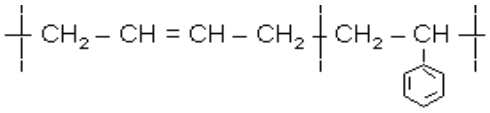
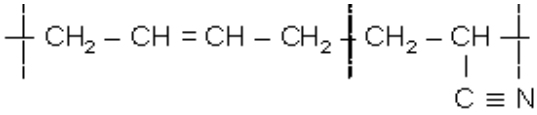
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมี ของยางซิลิโคนกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น

ชนิดของยาง	โครงสร้าง	คุณสมบัติ
ยางซิลิโคน		แกนสายโซ่หลัก (Main Chain) ของยางซิลิโคนไม่ได้ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนเหมือนยางชนิดอื่นๆ แต่จะประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะระหว่าง Si-O สูงกว่า C-C และไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ยางซิลิโคนจึงทนต่อสภาพอากาศ โอโซน แสงแดด และความร้อนได้ดีกว่ายางที่เป็นพวกไฮโดรคาร์บอน ยางชนิดนี้จึงเป็นยางชนิดพิเศษที่สามารถใช้งานได้ในที่อุณหภูมิสูงมากๆ และต่ำมากๆ

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

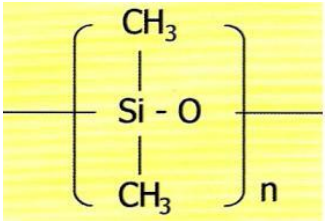
ชนิดของยาง	โครงสร้าง	คุณสมบัติ
ยางEPDM	 Ethylene unit Propylene unit	จากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลจะเห็นว่า EPDM เป็นยางไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่ทนต่อน้ำมันหรือสารละลายที่ไม่มีขั้ว และเนื่องจากการจัดเรียงตัวของโมโนเมอร์ในสายโมเลกุลเป็นแบบไม่มีรูปแบบ (Random) ทำให้ได้โพลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) ยางชนิดนี้จึงไม่ตกผลึก ส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงค่อนข้างต่ำ
ยางคลอโรพรีน หรือยาง CR	 Chloroprene unit	CR มีสมบัติที่ดีในด้านการทนต่อเปลวไฟ สภาพอากาศ และโอโซน อย่างไรก็ตามอะตอมของคลอรีนก็มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของยาง กล่าวคือ ทำให้ยางนำไฟฟ้าได้มากขึ้น ยาง CR จึงจัดอยู่ในกลุ่ม “Antistatic” ไม่ใช่กลุ่มที่เป็นฉนวน

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชนิดของยาง	โครงสร้าง	คุณสมบัติ
ยางสไตรีนบิวตาไดอีน หรือยาง SBR	 Butadiene unit Styrene unit	โมโนเมอร์มีการจัดเรียงตัวแบบไม่มีแบบแผน (Random Copolymer) นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลของยาง SBR ก็ไม่เป็นระเบียบทำให้ไม่สามารถเกิดการตกผลึก (Crystalline) ได้เมื่อถูกยืด ยางจึงมีค่าความทนต่อแรงดึงต่ำ
ยางไนไตร์ลหรือยาง NBR	 Butadiene unit Acrylonitrile unit	ยาง NBR ไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด (เช่นเดียวกับยาง SBR) ดังนั้นจึงมีค่าความทนต่อแรงดึงต่ำ

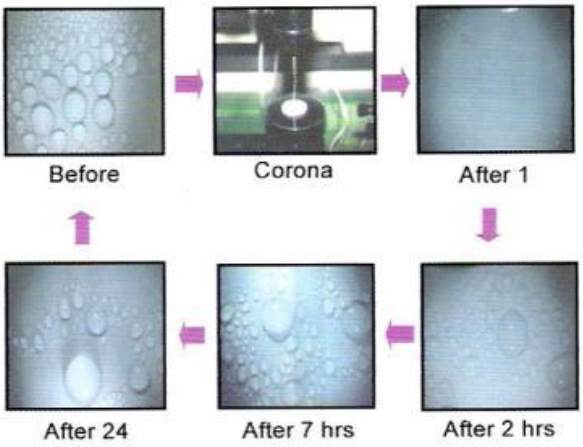
2.3 คุณสมบัติน้ำไม่จับตัว (Hydrophobicity) [14]

เนื่องจาก ยางซิลิโคน เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบ Siloxane Bond ที่มี Silicon Oxide เป็นแกนกลาง และมี CH_3 เกาะอยู่โดยรอบ จากลักษณะ โครงสร้างโมเลกุล ตามที่แสดงดังรูป จะส่งผลให้ ยางซิลิโคนมีคุณสมบัติ Hydrophobicity และทนต่อรังสี UV ได้ดี



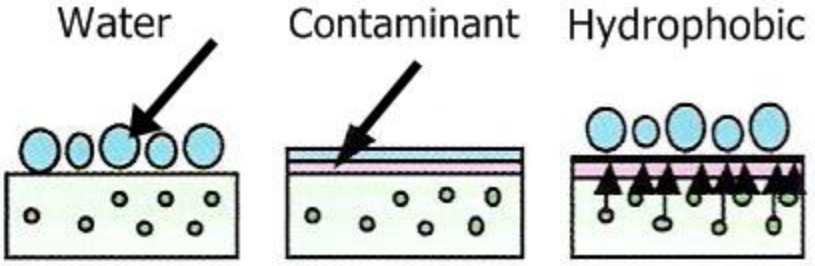
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางซิลิโคน

Hydrophobicity คือ สารที่ไม่ชอบน้ำ สารเหล่านี้เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นไม่สามารถแตกตัวให้ไอออนได้ จึงไม่สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำได้ จากงานวิจัยพบว่า ยางซิลิโคน มีคุณสมบัติที่ยอดเยี่ยมเป็นพิเศษ ในการฟื้นคืนสภาพการที่น้ำไม่จับตัว (Hydrophobicity Recovery) โดยพบว่าเมื่อทำให้ ยางซิลิโคน สูญเสียคุณสมบัติ Hydrophobicity ด้วยการทำ Corona Discharge และฉีดพ่นด้วยน้ำปล่อยทิ้งไว้ พบว่าพื้นผิวของ ยางซิลิโคน สามารถฟื้นคืนสภาพ Hydrophobicity ได้อย่างรวดเร็วดังรูป



ภาพที่ 2.2 กลไกการทำงานการฟื้นคืนสภาพคุณสมบัติน้ำไม่จับตัวของยางซิลิโคน

กลไกที่ทำให้ ยางซิลิโคน ฟื้นคืนสภาพ Hydrophobicity ได้ดีนั้นเนื่องจาก ยางซิลิโคนมีน้ำหนักโมเลกุลเบา หรือ Low Molecular Weigh (LMW Silicone) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุ ยางซิลิโคนแทรกซึมออกมาเคลือบผิวภายนอก ยางซิลิโคน หลังจากสูญเสียสภาพ Hydrophobicity จากความเครียดทางไฟฟ้า หรือ เมื่อมีการเปรอะเปื้อนบนพื้นผิว ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพ Hydrophobicity จนกลายเป็นสภาพ Hydrophilicity ทำให้น้ำจับตัวเป็นฟิลม์ได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไป LMW ของซิลิโคน ที่อยู่ภายในนั้นแทรกซึมออกมาเคลือบทับสิ่งเปรอะเปื้อนได้โดยสมบูรณ์แล้ว สภาพ Hydrophobicity ก็จะกลับฟื้นคืนมาอีกครั้งหนึ่ง โดยสามารถแสดงกลไกการฟื้นคืนสภาพ Hydrophobicity ภายหลังการเปรอะเปื้อนดังรูป



ภาพที่ 2.3 กลไกการทำงาน Hydrophobicity Recovery ของยางซิลิโคน

จากรูปได้จำลองการเปรอะเปื้อนด้วย ฝุ่นทรายและไอเกลือ ให้แก่ ยางซิลิโคน พบว่าในตอนแรกที่มีการเปรอะเปื้อนและมีน้ำหยดลงบนพื้นผิว น้ำจะซึมลงไปในเนื้อสารที่เปรอะเปื้อนทั้งทรายและไอเกลือ แต่เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง พบว่าเกิดการ Hydrophobicity Recovery เป็นผลให้น้ำที่ซึมอยู่ถูกขับออกมากลายเป็นหยดน้ำ ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Hydrophobicity

2.3.1 คุณสมบัติ Hydrophobiity ได้รับผลกระทบจากรังสี UV

เมื่อได้รับรังสี UV ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 นาโน-เมต พบว่าเกิดปฏิกิริยาเพียง 2 ชนิด คือ Photo oxidative และการสลายพันธะทางเคมี เมื่อเกิดปฏิกิริยาทั้งสอง จะทำให้เกิด Si-OH ทำให้สูญเสียสภาพ Hydrophobicity [7] ได้มีการทดสอบฉายรังสีลงไปที่กลุ่มตัวอย่างด้านหนึ่ง เมื่อ Hydrophobicity ถูกทำลาย เริ่มจะสร้างเคลือบ Hydrophilic เป็น ฟิล์มบางๆ จากการทดสอบพบว่า LMW เมื่อสัมผัสรังสี UV เป็นระยะเวลานานจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ทำให้การคืนสภาพ Hydrophobicity ทำได้ช้าลงตามไปด้วย [8]

2.3.2 คุณสมบัติ Hydrophobicity ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ

การทำลายคุณสมบัติ Hydrophobicity ต้องใช้ความร้อนถึง 350 องศาเซลเซียส แต่ในการใช้งานจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 50 - 150 องศาเซลเซียส ดังนั้นความร้อนในระดับนี้ ไม่สามารถทำลายคุณสมบัติ Hydrophobicity มีเพียงสาเหตุเดียวที่จะทำลายคุณสมบัตินี้ คือ น้ำ โดยเฉพาะน้ำที่มีค่า pH ปานกลาง หรือ น้ำบริสุทธิ์ [4]

2.3.3 คุณสมบัติ Hydrophobicity ได้รับผลกระทบจากความชื้น

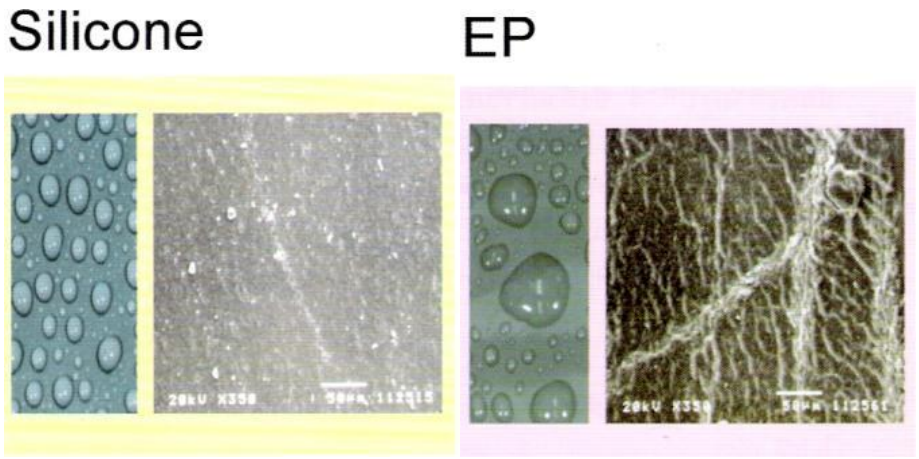
ความชื้นมีผลกระทบถึงค่า Hydrophobicity ดังนั้นเมื่อย่างเข้าสู่ ปลายฤดูหนาวและฤดูใบไม้ร่วงจะสูญเสียสภาพ Hydrophobicity มากกว่า ในฤดูร้อน เหตุผลมาจากระดับที่เพิ่มขึ้นของความชื้นของสภาพอากาศ และแสงแดดที่อ่อนกว่า [5] โดยทั่วไปเราไม่สามารถ ทราบค่าแน่นอนเกี่ยวกับการสูญเสียของ Hydrophobicity ในแต่ละฤดู แต่สามารถสรุปได้ว่า การสูญเสีย Hydrophobicity เนื่องมาจากความชื้นของสภาพอากาศเป็นเวลานานมากกว่าที่เกิดจากฝน หรือน้ำค้าง [6]

2.3.4 คุณสมบัติ Hydrophobicity ได้รับผลกระทบจาก ฝนกรด [6]

กรด Anhydride เป็นกรดที่เกิดเวลาฝนตก โดยทั่วไปเป็นโมเลกุลไม่อิ่มตัว เมื่อรวมตัว กับซิลิคอน จะแตกตัวออกเป็น โมเลกุลขนาดเล็ก หรือ โมเลกุลอิสระ (อนุมูลอิสระ) และ เมื่อรวมตัวโมเลกุลน้ำในอากาศจะกลายเป็น Hydrophilic ค่าของ Hydrophobicity ลดต่ำลง จากการวิจัย เมื่อ Hydrophobicity ถูกทำลายโดยฝนกรด LMW จะสร้างฟิล์มบางๆขึ้นมาเคลือบผิวชั้นนอก เรียกว่า Hydrophobic coatings ทำให้ได้รับผลกระทบจากการกัดกร่อนของกรดลดลง

2.4 คุณสมบัติการทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของยางซิลิโคน [14]

สิ่งที่ทำให้ยางซิลิโคน มีคุณสมบัติทนต่อรังสี UV ได้ดีเนื่องจากพันธะระหว่าง Silicon (Si) กับ Oxygen (O) มีพลังงานจับยึดเท่ากับ 7.4 x 10^{-19} จูล มากกว่าพลังงานของรังสี UV ที่มีค่าเท่ากับ 6.6 x 10^{-19} จูล ทำให้รังสี UV ไม่สามารถทำลายพันธะของโมเลกุลของ ยางซิลิโคน ได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ EPDM ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น พบว่า EPDM มีพลังงานจับยึด 5.9 x 10^{-19} จูล ซึ่งต่ำกว่าพลังงานของรังสี UV โดยสามารถพิสูจน์ได้จากการฉายรังสี UV ตามขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G53 และภายหลังจากการทดสอบได้ทำการฉีดพ่นน้ำลงบนผิววัสดุทั้ง 2 ชนิด เพื่อทดสอบคุณสมบัติ Hydrophobicity ดังรูป



ภาพที่ 2.4 คุณสมบัติการทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต ของยางซิลิโคนและยางสังเคราะห์

จาก ภาพด้านบน พบว่าพื้นผิวของ EPDM ถูกทำลาย มีลักษณะการแตกลาย และมีคุณสมบัติ Hydrophobicity ด้อยกว่าพื้นผิวของยางซิลิโคนอย่างเห็นได้ชัดเจน

2.5 การทดสอบการเกิดอาร์คตามผิวของฉนวน [14]

จากข้อมูลที่มีการนำเสนอมา พบว่ายางซิลิโคน มีคุณสมบัติที่ดีกว่าวัสดุ Polymer ชนิดอื่น รวมทั้งดีกว่าวัสดุกระเบื้องที่เราคุ้นเคย แต่ยังคงมีคำถามว่า เนื่องจากวัสดุ ยางซิลิโคน เป็นวัสดุยาง หากเกิด Flashover จะทำให้เกิดการลุกไหม้หรือเปลี่ยนแปลงสภาพ และความสูญเสีย ความเป็นฉนวนไฟฟ้าหรือไม่ ซึ่งได้มีการพิสูจน์ได้จากการทดสอบ Power Arc Test หรือการทดสอบการเกิดอาร์คตามผิวของฉนวน ซึ่งเป็นลูกถ้วยไฟฟ้า ที่ผลิตมาจาก ยางซิลิโคน ที่ความรุนแรง 50 kA. เป็นเวลา 1 วินาที อย่างไร ก็ตามความรุนแรงของการเกิดลัดวงจรในระดับนี้ยังไม่มีในประเทศ ผลจากการทดสอบว่ายางซิลิโคนเปลี่ยนสภาพกลายเป็นแก้ว

ภาพที่ 2.5 ลูกถ้วยไฟฟ้า ซิลิโคน ภายหลังการทดสอบการเกิดอาร์คตามผิวของฉนวน

2.6 การเสื่อมสภาพของยาง [13]

ยางแต่ละชนิดมักมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกันไป ไม่ใช่เรื่องง่ายนักที่จะตอบว่ายางมีอายุการใช้งานนานเพียงใด เพราะอายุการใช้งานของยางไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง สารเคมียาง และสภาวะของการทำให้ยางคงรูปแล้ว แต่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะที่จะนำยางนั้นไปใช้งานอีกด้วย เช่น ในกรณีที่ต้องมีการสัมผัสกับน้ำมัน ใช้งานกับอุณหภูมิที่สูง หรือชนิดของยาง ซึ่งยางสังเคราะห์จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ายางธรรมชาติ เป็นต้น เมื่อยางสัมผัสกับอากาศ ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับโครงสร้างทางเคมีของยาง เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้

โครงสร้างทางเคมีของยางซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลขนาดเล็กจำนวนมากที่มาเรียงต่อกันคล้ายกับสายโซ่ ขาดออกจากกัน (Chain Scission) ส่งผลให้ยางมีความแข็ง (Hardness) และความตึงตัว (Stiffness) ลดลง ในขณะเดียวกัน ออกซิเจนก็ทำให้โครงสร้างทางเคมีของยาง (ยางดิบ) เกิดการเชื่อมโยงระหว่างกัน (Crosslinking) ได้เช่นเดียวกัน หรือ ในกรณีที่ยางซึ่งผ่านการคงรูปด้วยกำมะถัน ก็จะทำให้โครงสร้างทางเคมีของยางนั้น เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ยางมีความแข็ง และความตึงตัวเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งเปราะในที่สุด เมื่อมีอายุการใช้งานมากขึ้น การเกิด Chain Scission และ Crosslinking ของโครงสร้างทางเคมีของยาง มักจะเกิดพร้อม ๆ กันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ากระบวนการใดจะเกิดขึ้นมากกว่ากัน ซึ่งส่งผลให้สมบัติของยางเปลี่ยนแปลงไปในที่สุด

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานของยางชนิดต่างๆ

Highest service temperature (°C)	Rubber Type
75	Polyurethane
	Styrene-Butadiene Rubber
85	Butadiene Rubber
	Natural Rubber
100	Polychloroprene
125	Nitrile Rubber
	Butyl Rubber
	Ethylene-Propylene Diene Monomer
150	Chlorosulfonated Polyethylene
	Polyacrylic Rubber
	Epichlorohydrin
200	Fluoroelastomer
	Fluorosilicone Rubber
	Terfluoroelastomer Copolymer
250	Silicone Rubber
300	Perfluoroelastomer

อุณหภูมิที่สูงขึ้น (Elevated Temperature) จะทำให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางเร็วขึ้น และเร่งการเสื่อมสภาพของยางให้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงมีวิธีทดสอบมาตรฐานที่เรียกว่า การเร่งอายุด้วยความร้อน หรือ อุณหภูมิสูง (Heat Aging) เพื่อประเมินสมบัติของยางเมื่อมีอายุการใช้งานมากขึ้น ซึ่งในการทดสอบจะนำยางไปอบในตู้อบที่มีอากาศไหลเวียนอย่างสม่ำเสมอ หรือ อบภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่มีความดันสูง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เช่น ยางธรรมชาติ อบที่ 70 องศาเซลเซียส สำหรับยางสังเคราะห์ อบที่ 100 องศาเซลเซียส หรือ 120 องศาเซลเซียส เป็นต้น ได้มีความพยายามที่จะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของยางที่ผ่านการอบที่ระยะเวลาต่าง ๆ กับระยะเวลาในการเสื่อมสภาพของยางขณะใช้งานจริง แต่ยังไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงได้ นอกจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางเกิดได้เร็วขึ้น และเร่งให้ยางเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้นแล้ว โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อของยาง ได้แก่ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โคบอลท์ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากไอออนของโลหะเหล่านี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการทำให้เกิด Chain Scission ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของยาง แสงแดดและโอโซนในบรรยากาศ สามารถทำให้ผิวหน้าของยางเกิดรอยแตก และเสื่อมสภาพได้เช่นเดียวกับออกซิเจนยางที่มีเขม่าดำ (Carbon Black) เป็นองค์ประกอบสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพจากรังสี UV (Ultraviolet Radiation) ที่มีในแสงแดดได้ โดยเขม่าดำจะดูดกลืนรังสี UV อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ยางส่วนใหญ่มักจะถูกใช้งานในที่ร่ม ซึ่งมีความเข้มของรังสีน้อยกว่ากลางแจ้ง โอโซนปริมาณเล็กน้อยในบรรยากาศ ซึ่งมีความเข้มข้นในระดับตั้งแต่ 1 ส่วนในร้อยล้านส่วน (1 ppm) หรือถ้าคิดเป็นปริมาตรของโอโซนต่อปริมาตรของอากาศทั้งหมดก็จะเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อหนึ่งร้อยลูกบาศก์เมตรสามารถทำให้ผิวหน้าของยางที่มีความเครียด (Strain) เนื่องจากมีแรงมาทำให้รูปร่างของยางเปลี่ยนไปจากเดิม เกิดรอยแตกได้ โดยลักษณะรอยแตกจะตั้งฉากกับทิศทางของแรง ที่มากระทำ ซึ่งจะแตกต่างจากรอยแตกที่เกิดจากแสงแดด ที่มีลักษณะกระจัดกระจายคล้ายรอยแตกของผิวหน้าดินซึ่งขาดน้ำในพื้นที่แห้งแล้ง ขนาดและความหนาแน่นของรอยแตกที่เกิดจากโอโซน จะมีความสัมพันธ์กับความเครียดที่เพิ่มขึ้นของยาง ยางที่มีการนำไปใช้งานในเชิงวิศวกรรม การเสื่อมสภาพของยางเหล่านั้น เนื่องจากโอโซน และออกซิเจน เป็นปัจจัยในอันดับต้น ๆ ที่ใช้ในการตัดสินความทนทาน หรืออายุของยางชิ้นนั้น โอโซนจะทำปฏิกิริยากับยางเฉพาะที่ผิวหน้าของยางเท่านั้น ในขณะที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับยางทั่วทั้งก้อน โดยจะเริ่มทำปฏิกิริยาที่ผิวด้านนอกของยางก่อน แล้วค่อย ๆ ซึม และ แพร่เข้าไปภายใน อย่างไรก็ตามการซึมผ่านของออกซิเจนจะถูกจำกัดโดยความหนาของยาง ผิวหน้าของยางส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้ว จะทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกัน (Protective Layer) ไม่ให้ออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับเนื้อยางภายในที่เหลืออยู่ได้ จึงทำให้ยางมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น

2.7 มาตรฐานการทดสอบอุปกรณ์

2.7.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา (Visual Test)

การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา เป็นการสำรวจมิติต่างๆทางกายภาพของ อุปกรณ์ เช่น การ ตรวจสอบว่าสีของอุปกรณ์ภายนอกเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ตรวจสอบ อุปกรณ์ว่าชำรุดหรือไม่ ตรวจสอบความสะอาดของอุปกรณ์

2.7.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัด (Dimension Test)

การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัด เป็นการ ตรวจวัดความยาว ความกว้าง ความสูง ของอุปกรณ์ ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดขนาดต่างๆ พร้อมทำการบันทึก การ ตรวจวัด เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบว่าอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือไม่

2.7.3 การทดสอบอุปกรณ์ด้วย Power Frequency Withstand Voltage Test

การทดสอบอุปกรณ์ด้วย Power Frequency Withstand Voltage Test โดยอ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60243-1 โดยใช้ Spherical Electrodes ในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงที่ได้มาตราฐานเช่น High Voltage Laboratory, PEA การทดสอบ อุปกรณ์จะต้องสามารถ ทนแรงดัน AC. Dry Withstand Voltage ได้ไม่น้อยกว่า 40 kV เป็นเวลา 60 วินาที (เนื่องจากอุปกรณ์ต้องนำไปใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งในระบบไฟฟ้าแรงสูงจะมีค่าแรงดันเกินชั่วครู่ เกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆที่มีค่าน้อยกว่า 0.005 วินาที โดยมีสาเหตุเกิดจากการสับปลดอุปกรณ์ Capacitor, Inductor, ฟ้าผ่า หรือ โหลดขนาดใหญ่ โดยมีผลกระทบทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท Electronic Circuit ชำรุด และ อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (Sensitive Loads) ชำรุดเสียหายได้

2.7.4 การทดสอบอุปกรณ์ด้วย Tensile Strength And Elongation Test

การทดสอบด้วย แรงดึง และ เปอร์เซ็นต์ การยืดตัวของวัสดุยาง (Tensile Strength And Elongation) เป็นการทดสอบ คุณสมบัติพื้นฐานของยางคงรูป ตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยเครื่องทดสอบโดยเฉพาะ ในห้องทดลองที่ได้มาตราฐาน เช่น ห้องทดลองของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย (RDCTRI) โดยจะต้องทดสอบชิ้นงาน ก่อนและหลังบ่มเร่ง มาอย่างน้อย 96 ชั่วโมง ตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดไว้ให้มีค่า Tensile Strength ก่อนบ่มเร่ง ต้อง

มากกว่า 0.4 kgf/mm^2 และหลังจากบ่มเร่งแล้วต้องมากกว่า 80% ของค่าที่วัดได้ตอนแรก และ ในหัวข้อ Elongation ก่อนการบ่มเร่งจะต้องได้ค่า 300% และหลังจากบ่มเร่งต้องเพิ่มอีก 80% ของการทดสอบครั้งแรก

2.7.5 การทดสอบอุปกรณ์ด้วย Flammability Test

การทดสอบการเผาไหม้และการลามไฟ (Flammability Test) โดยอ้างอิงการทดสอบ ตามมาตรฐาน IEC 60695–11–10 Fire Hazard Testing - Part 11-10 : Test Flames - 50 W Horizontal and Vertical Flame Test Methods ทดสอบตามแบบ Methods B แต่ห้องทดลองของ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน UL 94 (Underwriters Laboratories 94) มาตรฐานของอเมริกา ซึ่งมาตรฐาน UL 94 การทดสอบตามแนวตั้ง มีวิธีการทดสอบที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน IEC 60695-11-10 Test Methods B จึงนำมาอ้างอิงแทน โดย ตัดขนาดชิ้นงาน ยาว 120 ถึง 130 มิลลิเมตร กว้าง 12.5 ถึง 13.5 มิลลิเมตร หนาประมาน 3.5 มิลลิเมตร ปลายด้านหนึ่งของชิ้นงานจะถูกจับยึดไว้และปลายอีกด้านจะสัมผัสกับเปลวไฟทดสอบ และวางผ้าฝ้ายไว้ด้านล่าง เพื่อรองรับการหยดอนุภาค คุณสมบัติ ของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน UL94 ชิ้นงานจะต้องไม่มีการลามไฟถึงระยะกำหนด และ ชิ้นงานจะต้องไม่หยดอนุภาคเผาลุกไหม้ที่ผ้าฝ้ายด้านล่าง

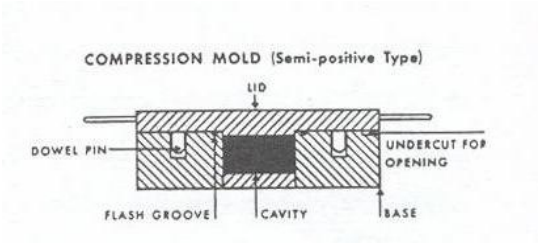
บทที่ 3
การออกแบบอุปกรณ์

3.1 การขึ้นรูปยาง (Forming) [13]

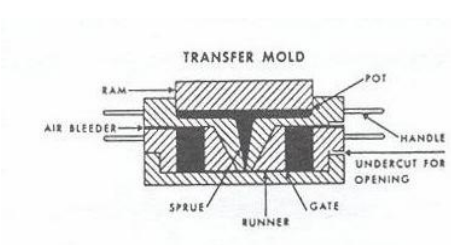
การขึ้นรูปยาง (Forming) ในปัจจุบันมีเทคนิคหลักๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางคอมพาวด์ให้เป็นผลิตภัณฑ์มี 3 วิธี คือ

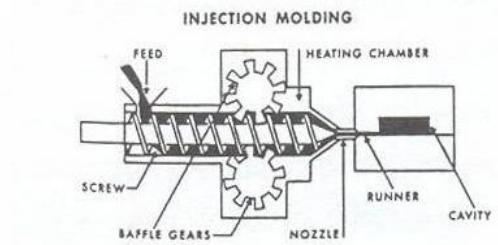
3.1.1 การใช้แม่พิมพ์ (Moulding)

การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง เป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการเกิดปฏิกิริยาคงรูป (Vulcanization) โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปมีหลายแบบ ได้แก่ แบบอัด (Compression Mould) แบบกึ่งฉีด (Transfer Mould) และแบบฉีด (Injection Mould) รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบต่างๆ



ก. การขึ้นรูปยางแบบอัด





ข. การขึ้นรูปยางแบบกึ่งฉีด ค. การขึ้นรูปยางแบบฉีด

ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงการขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์แบบต่างๆ

แม่พิมพ์แบบอัด เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ราคาถูก ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำผลิตภัณฑ์ทั่วไป ลักษณะของแม่พิมพ์แบบอัดประกอบด้วยฝา 2 ชิ้นที่ยึดกันด้วยสลักฝาด้านหนึ่งจะเป็นช่องรูปร่างของผลิตภัณฑ์ซึ่งเวลาอัดยางจะใส่ยางลงในฝานี้ เมื่อนำอีกฝาหนึ่งปิดลงและวางพิมพ์ในเครื่องอัดพร้อมทั้งให้ความร้อน ยางจะไหลเต็มช่องของแม่พิมพ์ ส่วนแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดนั้นมีส่วนประกอบของแม่พิมพ์มากกว่า 2 ส่วน ยางจะถูกอัดจากส่วนของแม่พิมพ์ที่เรียกว่า Pot เข้าไปยังช่องของแม่พิมพ์ที่เป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ โดยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดนี้สามารถใช้ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนได้ แม่พิมพ์แบบฉีดเป็นแบบที่ได้รับการพัฒนามาจาก 2 แบบแรก ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องที่เป็นส่วนทำให้ยางนิ่มแล้วฉีดยางเข้าพิมพ์ เครื่องฉีดและแม่พิมพ์แบบนี้ราคาสูงมาก แต่จะให้อัตราเร็วในการผลิตสูง เหมาะกับการผลิตชิ้นส่วนที่ซับซ้อนและมีปริมาณการผลิตสูง

3.1.2 การอัดผ่านดาย (Extrusion)

การอัดยางผ่านดาย (Die) ที่มีรูปร่างต่างๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้องอาศัยเครื่องอัดหรือต้นยาง ซึ่งเครื่องอัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่อาศัยแรงอัดจากแรม (Ram) และชนิดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของสกรู (Screw) ชนิดหลังเป็นชนิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางและเรียกกันว่า Extruder ผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคนี้ได้แก่ ท่อยาง ยางหุ้มสายเคเบิ้ล และยางรัดของ เป็นต้น โดยปกติยางที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะต้องผ่านการอบให้ยางคงรูปในหม้ออบไอน้ำหลังจากดันยางออกจากดายแล้ว

3.1.3 การใช้เครื่อง Calender

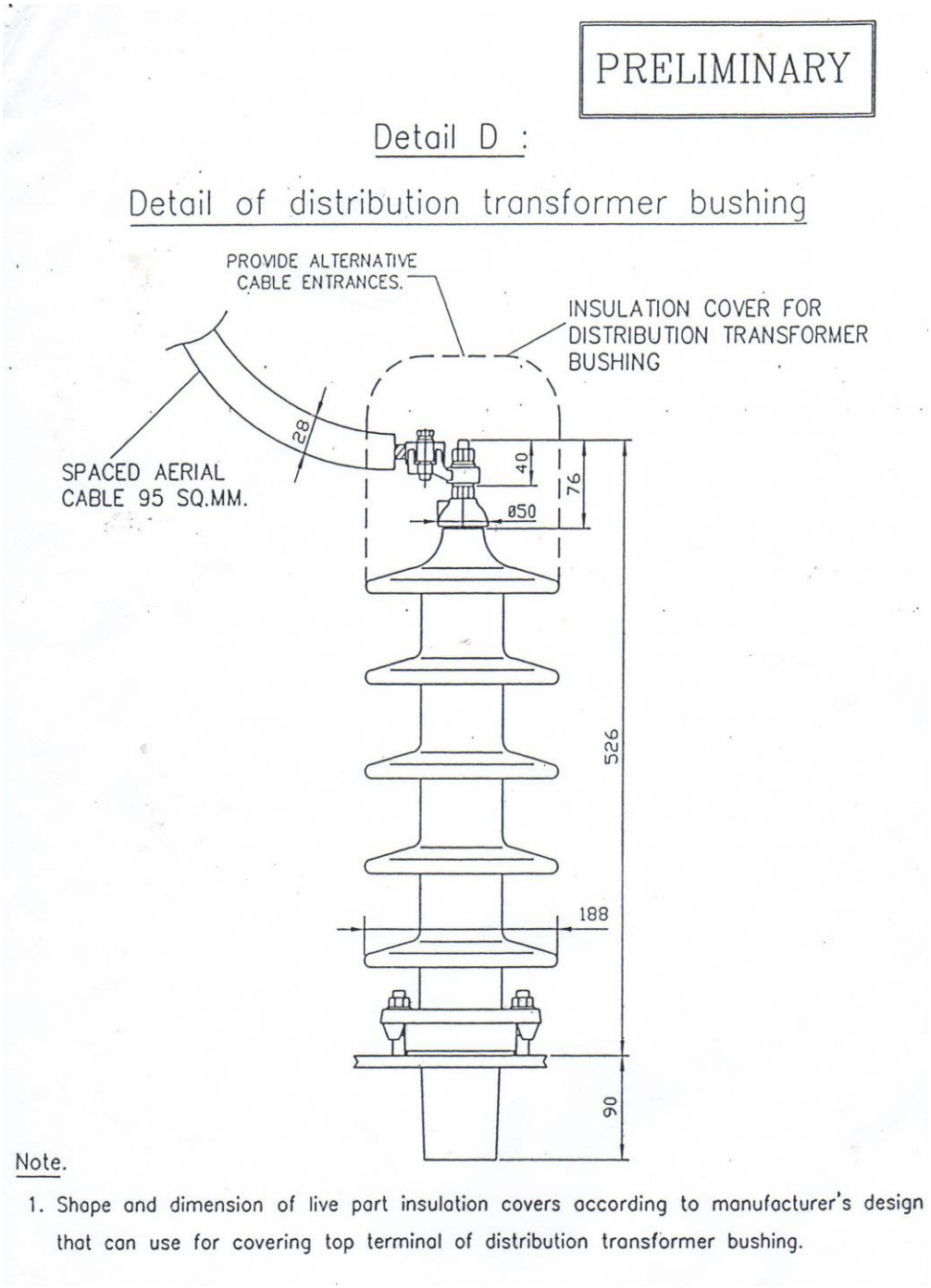
เครื่อง Calender คือเครื่องที่ประกอบด้วยชุดของลูกกลิ้งจำนวน 2 หรือ 3 หรือ 4 ลูก (ดูรูปที่ 16 ประกอบ) ที่ทำจากเหล็กหล่ออย่างดี ผิวหน้าขัดเรียบ ปกติจะใช้เครื่อง Calendar ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นเรียบ มีความหนาและความกว้างสม่ำเสมอหรือเพื่อการฉาบยางบางๆ ลงบนผ้าหรือแผ่นใยลวด (Coating) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้แก่ สายพานลำเลียง ยางแผ่นเรียบใช้ในงานปูพื้นต่างๆ เช่น ยางแผ่นปูอ่างน้ำ ยางบุถัง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบให้คงรูปก่อนนำไปใช้งาน

3.2 อุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงสูง

อุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงสูง เป็นอุปกรณ์ประกอบ ขั้นต่ำ สำหรับติดตั้งภายนอกอาคาร ตามที่กระทรวงพลังงานกำหนด จะมีคุณสมบัติ ตามมาตรฐาน ขนาด และพิกัด เหมาะสมกับการใช้งาน ทำจากวัสดุที่สามารถทนแสงอาทิตย์ได้ เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงมิให้ชำรุดเสียหายจาก การเกิดความผิดพร่องบริเวณหัวบุชชิ่งหม้อแปลงด้านแรงสูง อันเกิดจากสัตว์หรือสิ่งของ เช่น นก งู หรือ กิ่งไม้

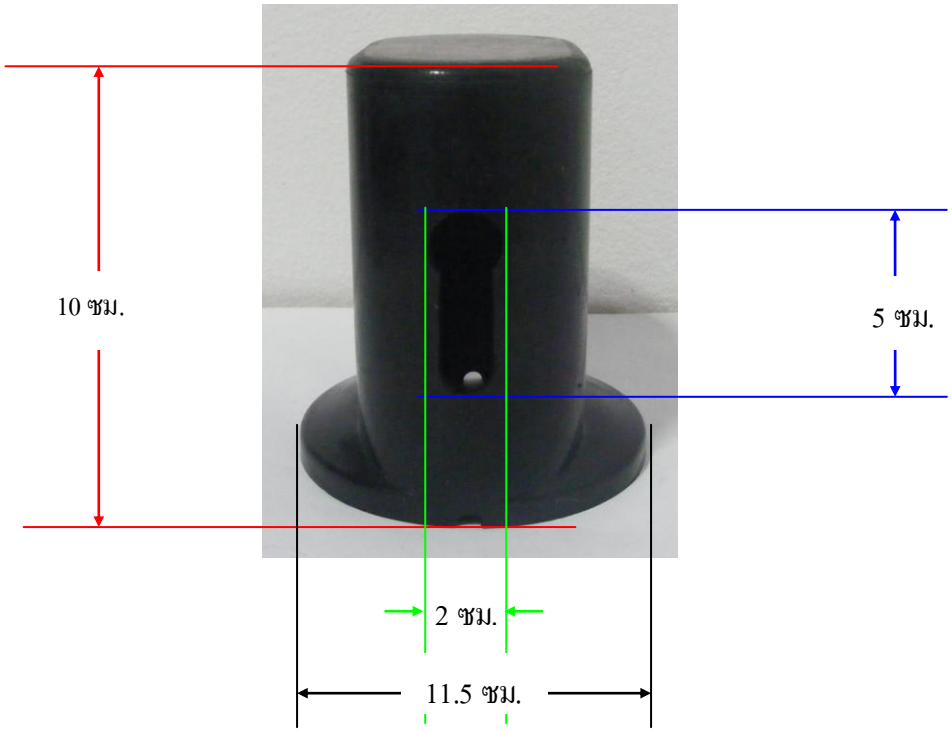
ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งหม้อแปลง ไฟฟ้าด้านแรงสูง

3.3 การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย



ภาพที่ 3.3 รายละเอียดการออกแบบ อุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย [7]

3.4 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้า



ก. ขนาดของอุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้า

ข. ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้า

ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งของหม้อแปลงไฟฟ้าผลิตจากยางซิลิโคน

3.5 การทดสอบอุปกรณ์โดยการนำไปติดตั้งใช้งานจริงเปรียบเทียบกัน

จุดประสงค์ เพื่อเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงและเก็บข้อมูล 4 สภาพแวดล้อม เพื่อเปรียบเทียบสภาพ ก่อนและหลัง การติดตั้งของอุปกรณ์ ระหว่างวัสดุ EPDM กับยางซิลิโคน เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด

ทดลองติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 1

สถานที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ - บริเวณเชิงสะพานปทุมธานี

ลักษณะสภาพแวดล้อม - เป็นเสาไฟสูง จึงไม่มีร่มเงา ทำให้โดนแสงแดดตลอดทั้งวัน

- มลภาวะจากการจราจรหนาแน่น
- มีนกพิราบค่อนข้างเยอะ

ก. การชักดรอปฟิวส์ แรงสูงและการติดตั้งอุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งของหม้อแปลง

ข. ติดตั้งอุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งที่ผลิตจากซิลิโคนและ EPDM

ภาพที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 1

ทดลองติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 2

สถานที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ - บริเวณริมถนนเส้น รังสิต -ปทุมธานี

ลักษณะสภาพแวดล้อม - มีร่มเงาของป้ายโฆษณาขนาดใหญ่

- โดนแสงแดดในช่วงเวลาเช้า
- อยู่ในเขตโรงงานอุตสาหกรรม
- มลภาวะจากการจราจรหนาแน่น

ก. ข .

ภาพที่ 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 2

ก. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสของ กฟภ. บริเวณริมถนนเส้น รังสิต -ปทุมธานี

ข. ติดตั้งอุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งที่ผลิตจากซิลิโคนและ EPDM

ทดลองติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 3

สถานที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ - บริเวณหน้าสถานีตำรวจปทุมธานี

ลักษณะสภาพแวดล้อม - มีร่มเงา ของต้นไม้ขนาดใหญ่

- โดนแสงแดดในช่วงเวลาบ่าย

- พบสัตว์เลื้อยคลานอยู่บ่อยๆ

- มลภาวะจากการจราจรหนาแน่น

ก. ข.

ภาพที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 3

ก. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสของ กฟภ. บริเวณหน้าสถานีตำรวจปทุมธานี

ข. ติดตั้งอุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งที่ผลิตจากซิลิโคนและ EPDM

ทดลองติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 4

สถานที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ - บริเวณริมถนนเส้นปทุมธานีสายใน

ลักษณะสภาพแวดล้อม - ตั้งอยู่ในที่โล่งแจ้งโดนแสงแดดตลอดทั้งวัน

- อยู่ในเขตโรงงานอุตสาหกรรม
- มีฝุ่นละอองปริมาณสูง
- อยู่ใกล้คลองทำให้สภาพอากาศมีความชื้นสูง

ก. ข.

ภาพที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 4

ก. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสของ กฟภ. บริเวณริมถนนเส้นปทุมธานีสายใน

ข. ติดตั้งอุปกรณ์ ป้องกันหัวบุชชิ่งที่ผลิตจากซิลิโคนและ EPDM

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบให้เกิดความมั่นใจและแน่ใจว่าวัสดุฉนวนนั้นมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จำเป็นต้องทำการทดสอบก่อนนำไปใช้งาน มีหัวข้อการทดสอบอุปกรณ์ตาม มาตรฐาน 5 ชนิด

1) Visual Test
2) Dimension Test
3) Power Frequency Withstand Voltage Test
4) Tensile Strength And Elongation Test
5) Flammability Test

4.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา (Visual Test)

การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตาเป็นการตรวจสอบ ข้างต้นว่าอุปกรณ์มีลักษณะภายนอกเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ลักษณะเป็นเช่น เป็นวิธีการทดสอบที่รวดเร็วที่สุด

จุดประสงค์การ ตรวจสอบ

เพื่อตรวจสอบ และเปรียบเทียบลักษณะภายนอก จากการ สังเกตด้วยตาเปล่า ของวัสดุทั้ง 2 ชนิดว่ามีลักษณะภายนอกเปลี่ยนแปลงไปจาก ก่อนการติดตั้งไปหรือไม่

การตรวจ สอบอุปกรณ์ด้วยสายตา

1) ตรวจสอบลักษณะภายนอกจากการ สังเกตด้วยตาเปล่า ก่อนและหลังการติดตั้งของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา

รายการสังเกต ลักษณะภายนอก	ชุดครอบบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง			
	Silicone Rubber		EPDM	
	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง
สีภายนอก	ใหม่	ไม่เปลี่ยน	ใหม่	สีซีดลง
การชำรุดเสียหาย	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
ความสะอาด	ใหม่	มีฝุ่นจับบางๆ	ใหม่	มีฝุ่นจับหนา
หลังอากาศมีความชื้นสูง	มีหยดน้ำเกาะ	มีหยดน้ำเกาะ	น้ำจับตัวเป็นแผ่นฟิล์ม	น้ำจับตัวเป็นแผ่นฟิล์ม

สรุปผลการตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยสายตา

จากผลการทดสอบอุปกรณ์จากสังเกตลักษณะภายนอกด้วยตาเปล่า พบว่าลักษณะภายนอก ของวัสดุทั้ง 2 ชนิดอยู่ในสภาพดีไม่แต่ต่างกันมากเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากระยะเวลาการติดตั้งทดสอบค่อนข้างสั้น จากการศึกษาพบว่า ยางซิลิโคน มีคุณสมบัติ Hydrophobicity Recovery จึงทำให้คืนสภาพความเป็นฉนวนได้รวดเร็วกว่า วัสดุ EPDM

4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัดขนาด (Dimension Test)

การตรวจ สอบด้วยการวัด เป็นการทดสอบด้วยการวัดขนาดต่างๆของอุปกรณ์ ว่าอุปกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่

จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อตรวจสอ บและเปรียบเทียบลักษณะภายนอก ด้วยการวัดของวัสดุทั้ง 2 ชนิดว่ามีลักษณะภายนอกเปลี่ยนแปลงไปจาก ก่อนการติดตั้งไปหรือไม่

การตรวจ สอบอุปกรณ์ด้วยการวัดขนาด

1) ตรวจสอบและวัดขนาด ก่อนและหลังการติดตั้งของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัดขนาด

รายการ การวัดขนาด	ชุดครอบบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง			
	Silicone Rubber		EPDM	
	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง
ความกว้าง	11.50 cm	11.50 cm	11.50 cm	11.50 cm
ความยาว	11.50 cm	11.50 cm	11.50 cm	11.50 cm
ความสูง	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm

สรุปผลการตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยการวัดขนาด

จากผลการทดสอบอุปกรณ์ทดสอบด้วยการวัด ค่าที่ได้จากการวัดขนาด ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด มีความเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการศึกษาพบว่า วัสดุ รังสี UV จากแสงแดดสามารถทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของ EPDM ทำให้ยางเกิดการหดตัว สูญเสียความยืดหยุ่น กรอบ และแตกหักได้ง่าย สำหรับ ยางซิลิโคน ความเข้มของรังสี UV ขนาดปกติไม่สามารถทำลาย พันธะโมเลกุลได้

4.3 การทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน

(Power Frequency Withstand Voltage Test)

เนื่องจากบริเวณหัวบุชชิ่งเป็นจุดอันตรายห้ามสัมผัสโดยตรงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้ คน สัตว์หรือสิ่งของต่างๆ มาสัมผัสโดยตรง ดังนั้นชุดอุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งจึงต้องทดสอบความเป็นฉนวน

จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันในระบบ AC ภายใต้แรงดันทำงานปกติและแรงดันเกินชั่วครู่ของอุปกรณ์จากวัสดุทั้ง 2 ชนิดว่ามี คุณสมบัติ เปลี่ยนแปลงไปจากก่อนการติดตั้งไปหรือไม่

ประเภทของการทดสอบ

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive)

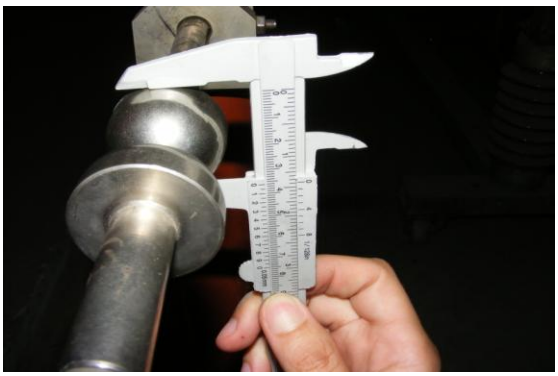
- เพื่อให้มั่นใจว่าคุณภาพของฉนวนเพียงพอต่อการทำงานของอุปกรณ์นั้น
- แรงดันทดสอบต้องไม่สูงเกินไป
- ใช้ทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะของวัสดุภายหลังจากประกอบเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์เพื่อประเมินคุณสมบัติทางไฟฟ้า

การทดสอบอุปกรณ์ด้วย Power Frequency Withstand Voltage

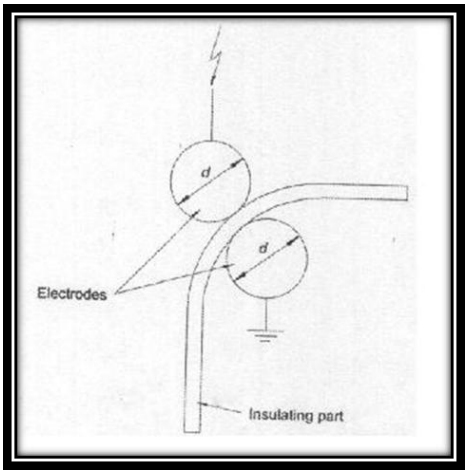
1) ทดสอบคุณสมบัติ Power Frequency Withstand Voltage โดยอ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60243-1 โดยใช้ Spherical Electrodes (Diameter = 35mm)

ตารางที่ 4.3 ขนาดทรงกลมมาตรฐานและระยะห่างของแกปวัดแรงดัน

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามมาตรฐาน (mm)	ระยะแกป D ห่างได้ไม่เกิน (mm)	วัดแรงดันได้สูงสุด (kV)
20	10	30.7
35	16	48.1
50	23.4	65.5
62.5	30	79.5
100	50	12.3



ภาพที่ 4.1 อุปกรณ์การทดสอบขั้วไฟฟ้าทรงกลม ขนาด 35 มม.

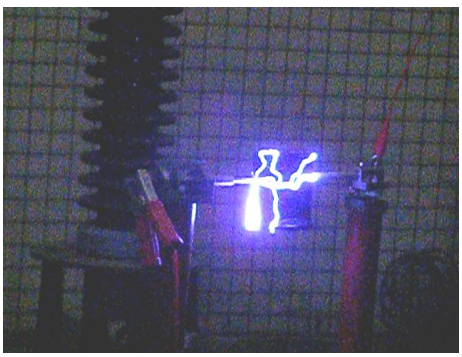


ภาพที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ การทดสอบตาม มาตรฐาน IEC 60243-1

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบอุปกรณ์ด้วย Power Frequency Withstand Voltage Test

สถานที่ติดตั้ง	ชุดครอบบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง			
	Silicone Rubber		EPDM	
	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง
จุดที่ 1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
จุดที่ 2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
จุดที่ 3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
จุดที่ 4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

สถานที่ทำการทดสอบ High Voltage Laboratory, PEA



ภาพที่ 4.3 การเกิดไฟวาปที่ผิวของ วัสดุยาง

สรุปผลการทดสอบ Power Frequency Withstand Voltage Test

จากการทดสอบพบว่าก่อนการติดตั้งใช้งานทั้ง ยางซิลิโคน และ EPDM ต่างก็มีชิ้นงานที่ทดสอบผ่านและทดสอบไม่ผ่าน โดยลักษณะการทดสอบที่ไม่ผ่านของ วัสดุทั้ง 2 ชนิด เกิดจากการทะลุผ่านของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าการทะลุผ่านของแรงดันไฟฟ้าเกิดจากชิ้นงานมีความหนาไม่เท่ากันเนื่องจากการผลิตเป็นการขึ้นรูปยางแบบอัดซึ่งยากต่อการควบคุมความหนาของชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่มีความบางจะเกิดการทะลุผ่านของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นเราจึงเลือกเฉพาะชิ้นงานที่ทดสอบผ่านไปติดตั้งเปรียบเทียบตามจุดต่างๆ แล้วนำกลับมาทดสอบหลังการติดตั้งใช้งานอีกครั้งหนึ่งพบว่า ยางซิลิโคน ทดสอบผ่านทั้ง 4 จุดติดตั้ง แต่ EPDM ทดสอบไม่ผ่านในจุดติดตั้งที่ 2 และจุดติดตั้งที่ 4 โดยลักษณะการทดสอบที่ไม่ผ่านของ EPDM คือเกิดการ Flash Over ที่ผิว ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า Flash Over เกิดจาก EPDM สูญเสียความเป็นฉนวนเนื่องจากจุดติดตั้งที่ 2 และจุดติดตั้งที่ 4 อยู่ในเขตอุตสาหกรรมซึ่งมีมลภาวะฝุ่นละอองสูง สรุปได้ว่า ยางซิลิโคนมีความเหมาะสมนำไปใช้งานได้มากกว่า EPDM

4.4 การทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

(Tensile Strength And Elongation Test)

เนื่องจากชุดอุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่งสามารถติดตั้งในที่โล่งแจ้ง จึงได้รับผลกระทบจากมลภาวะต่างเช่น แสงแดด, ความชื้น, มลภาวะ และแรงกระทำจากภายนอก อาจส่งผลให้อุปกรณ์ชำรุดสูญเสียความเป็นฉนวนได้

จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติความต้านทานต่างๆ ก่อนและหลังบ่มเร่ง ขอ ง อุปกรณ์จาก วัสดุทั้ง 2 ชนิด

ประเภทของการทดสอบ

การทดสอบแบบทำลาย (Destructive)

- เพื่อให้มั่นใจว่าคุณภาพของฉนวนเพียงพอต่อการทำงานของอุปกรณ์นั้น
- เพื่อทดสอบความคงทนสูงสุดของวัสดุ
- ใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอดึงชิ้นงานให้ยืดออกและขาดในที่สุด

การทดสอบอุปกรณ์

1) ทดสอบอุปกรณ์โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron 5566) มีวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 ซึ่งมีวิธีการที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM 638-03
2) ทดสอบสมบัติการคงตัวของยางภายใต้แรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบอุปกรณ์ด้วการทดสอบแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

รายการทดสอบ	ชุดครอบบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง			
	Silicone Rubber		EPDM	
	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง
Tensile Strength (kgf/mm ^{2})	0.43±0.08	0.63±0.05	0.39±0.07	0.61±0.04
Elongation at Break (%)	281±60	311±35	250±51	310±24

สถานที่ทำการทดสอบ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย (RDCTRI)

ผลการทดสอบอุปกรณ์ ด้วย Tensile Strength And Elongation Test

ผลการทดสอบในหัวข้อ Tensile Strength ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงาน 5 ชิ้นงานทำการทดสอบ 5 ครั้ง พบว่าก่อนอบบ่มเร่งชิ้นงาน ชิ้นงาน มีค่า ความทนทานต่อแรงดึงก่อนถึงจุดฉีกขาดของอุปกรณ์ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.43±0.08 kgf/mm^2 และหลังนำไปบ่มเร่ง 96 ชั่งโมง ทำการทดสอบซ้ำ ได้ค่าใหม่เป็น 0.63±0.05 kgf/mm^2

ผลการทดสอบ ยางซิลิโคน และ EPDM ในหัวข้อ Elongation ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้นงานทำการทดสอบ 5 ครั้ง พบว่าทั้ง ก่อนบ่มเร่งมีค่า ความยืดสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 281% และ 250% หลังการบ่มเร่งได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 311% และ 310% ซึ่งผลการทดสอบอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้คือก่อนการบ่มเร่งต้องได้ค่า 300% และหลังจากบ่มเร่งต้องเพิ่มอีก 80% ของการทดสอบครั้งแรก

สรุปผลการทดสอบ Tensile Strength And Elongation Test

จากผลการทดสอบพบว่าทั้ง ยางซิลิโคน และ EPDM ไม่ผ่านค่าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนด ไว้ให้มีค่า Tensile Strength ก่อนบ่มเร่งต้องมากกว่า 0.4 kgf/mm^2 และหลังจากบ่มเร่งแล้ว ต้องมากกว่า 80% ของค่าที่วัดได้ตอนแรก แต่ในลักษณะของการ ใช้งานของอุปกรณ์นั้นใช้สำหรับ ครอบป้องกันบริเวณหัวบุชชิ่งหม้อแปลงในระบบจำหน่าย ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อ ป้องกันแรง กระทำจากภายนอก จากผลการทดสอบอุปกรณ์ พบว่า ยางซิลิโคน นั้นไม่สามารถทนแรงดึงได้ ตามที่มาตรฐาน ASTM 683-03 กำหนดไว้ จากการนำมาประยุกต์ใช้งานนั้นพบว่า อุปกรณ์มีโอกาส น้อยมากที่จะ ได้รับแรงขนาดที่ทำให้อุปกรณ์ฉีกขาด จึงไม่ส่งผลกระทบหรือก่อให้เกิดความเสียหาย บริเวณหัวบุชชิ่งหม้อแปลงในระบบจำหน่าย

4.5 การทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบการเผาไหม้และการลามไฟ

(Flammability Test)

เนื่องจากบริเวณหัวต่อบุชชิ่งหม้อแปลงด้านแรงสูง มีความร้อนสูง ซึ่งเป็นบริเวณที่ชุด อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ อาจส่งผลให้ชุดอุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่ง ลุกไหม้เกิดประกายไฟ สามารถนำไปสู่ การเกิดอัคคีภัย สร้างความเสียหายในบริเวณที่หม้อแปลงตั้งอยู่ หรือบริเวณใกล้เคียงได้ ด้วยสาเหตุ นี้ชุดอุปกรณ์ครอบหัวบุชชิ่ง จึงจำเป็นต้องมีความสามารถในการทนต่อการไหม้ของไฟได้

จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติ ความสามารถในการทนต่อการไหม้ไฟของ อุปกรณ์จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด

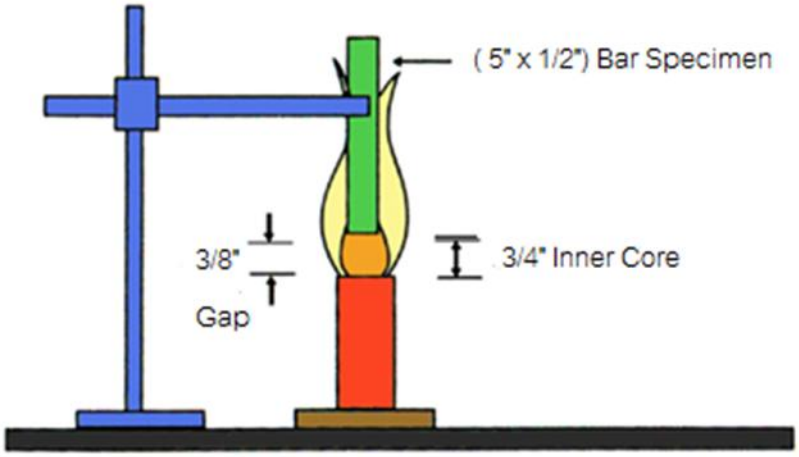
ประเภทของการทดสอบ

การทดสอบแบบทำลาย (Destructive)

- เพื่อให้มั่นใจว่าคุณภาพของฉนวนเพียงพอต่อการทำงานของอุปกรณ์นั้น
- เพื่อทดสอบการทนต่อการไหม้ไฟสูงสุดของอุปกรณ์
- ใช้เปลวไฟเผาทำลาย 30 วินาที หรือ จนกว่าจะถึงเครื่องหมาย ที่กำหนดการ

การทดสอบอุปกรณ์ด้วยการทดสอบการเผาไหม้และการลามไฟ

1) ตัดขนาดชิ้นงาน ยาว 120 -130 mm. กว้าง 12.5 -13.5 mm. หนาประมาณ 3.5 mm.
2) จับชิ้นงานที่ระยะปลาย 6 mm. ให้ปลายอีกด้านหนึ่งอยู่ด้านล่าง
3) ปล่อยแก๊สมีเทนที่อัตราการไหล 0.105 ลิตรต่อนาที และ ความดันกลับไม่เกิน 0.39 นิ้ว ต่อปรอท
4) ปรับแต่งความสูงเปลวไฟ ให้สูง 20 มิลลิเมตร เปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน
5) เลื่อนเปลวไฟเข้าใกล้ชิ้นงาน ห่างประมาณ 10 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 10 วินาที เลื่อนตะเ กียงออกทิ้งไว้ 10 วินาที (หากมีการหยดให้เอียงตะเกียง 45 องศา เพื่อป้องกันการย้อยเข้ า ไปในตะเกียง)
6) สังเกตการติดไฟของชิ้นงานในขณะถูกเผาจนกระทั่งไฟดับ
7) ในการทดสอบ ถ้าไม่สามารถแยกระหว่างไฟยังติดกับไฟดับ ให้คีบสำลีไปสำผั ส ตัวอย่าง ถ้าไฟติดแสดงว่าไฟยังติดอยู่



ภาพที่ 4.4 การติดตั้งอุปกรณ์การ ทดลองการเผาไหม้และการลามไฟ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบอุปกรณ์ การเผาไหม้และการลามไฟ

ชิ้นงาน	ซิลิโคน		EPDM	
	การเผาไหม้	การหยดติดไฟ	การเผาไหม้	การหยดติดไฟ
1	เผาไม่หมด	ไม่หยดติดไฟ	เผาหมด	หยดติดไฟ
2	เผาไม่หมด	ไม่หยดติดไฟ	เผาหมด	หยดติดไฟ
3	เผาไม่หมด	ไม่หยดติดไฟ	เผาหมด	หยดติดไฟ
4	เผาไม่หมด	ไม่หยดติดไฟ	เผาหมด	หยดติดไฟ
5	เผาไม่หมด	ไม่หยดติดไฟ	เผาหมด	หยดติดไฟ

สถานที่ทำการทดสอบ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

สรุปผลการทดสอบ อุปกรณ์ด้วย Flammability Test

การทดสอบหัวข้อการทดสอบการลามไฟ ของอุปกรณ์ครอปหัวบุชชิ่งหม้อแปลง ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดให้ทดสอบอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEC 60695 –11 –10 ทดสอบตามแนวตั้ง แต่การทดลองข้างต้นได้อ้างอิงตามมาตรฐาน UL 94 (Underwriters Laboratories 94) มาตรฐานของอเมริกา ซึ่งมีวิธีการทดสอบที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน IEC 60695-11-10 จึงนำมาอ้างอิงแทน โดยทดสอบจากชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้ปลายด้านหนึ่งของชิ้นงานถูกจับยึดไว้และปลายอีกด้านสัมผัสกับเปลวไฟทดสอบ

จากการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า ยางซิลิโคนมี สามารถ ทนต่อการลามไฟได้ เนื่องจากชิ้นงานไม่ถูกเผาไหม้จนหมด และไม่มีการหยดติดไฟที่ผ้าฝ้ายด้านล่างเมื่อถูกเผา ในขณะที่ยาง EPDM ชิ้นงานถูกเผาไหม้จนหมด และมีการหยดติดไฟหยดลงมาบนผ้าฝ้ายด้านล่าง จน ลุกไหม้ ดังนั้นยางซิลิโคนมีคุณสมบัติจากการทดสอบที่ดีกว่ายาง EPDM

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการผลิตชุดอุปกรณ์ป้องกันหัวบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นการปรับปรุงวัสดุจากแบบเดิมที่ใช้อยู่ โดยวัสดุแบบเดิมผลิตมาจากยาง EPDM ซึ่งเกิดการเสื่อมสภาพเร็ว อายุการใช้งานสั้น จึงได้นำยางซิลิโคนมาทดแทนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ จากข้อมูลทางวิชาการพบว่ายางซิลิโคนมีคุณสมบัติที่ดีกว่ายาง EPDM และจากผลการทดสอบอุปกรณ์ยางซิลิโคนมีคุณสมบัติดีกว่ายาง EPDM อยู่ 3 หัวข้อการทดสอบ และผ่านข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ส่วนหัวข้อการทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดึง ทั้งยางซิลิโคนและยาง EPDM มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่ไม่ผ่านข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นแรงดึงมีผลน้อยมากต่ออุปกรณ์ สาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องมากจากการผลิตอุปกรณ์ในครั้งนี้เป็นการผลิตโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัด ซึ่งมีราคาถูก ทำให้ความหนาของชิ้นงานไม่เสมอกัน ง่ายต่อการเกิดทะลุผ่านของแรงดันไฟฟ้า ทำให้ให้ชิ้นงานไม่ผ่านการทำสอบจำนวนมาก เนื่องจากยางซิลิโคน มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการและมีราคาถูก สามารถนำไปผลิตประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้ารูปแบบต่างๆเพื่อนำไปใช้ในระบบไฟฟ้าได้

เอกสารอ้างอิง

[1] A.J. Phillips, D.J. Childs and H.M. Schneider // IEEE Transactions on Power Delivery 14 (1999) 258.

[2] ASTM D412 : Tension Test for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers

[3] IEC 60243-1 : Electrical Strength of Insulating Materials - Test Methods - Part 1: Tests at Power Frequencies

[4] J. W. Chang and R. S. Gorur // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 1 (1994) 1039.

[5] Mohammad Amin, Mohammad Akbar and Salman Amin of UET Taxila, Pakistan. Hydrophobicity of silicon rubber used for outdoor insulation. Rev.Adv.Mater.Sci. 16(2007) 10-26

[6] Polymer Data Handbook (Oxford University Press, Inc, 1999).

[7] RHOT-099/2553 (9/02/2553),Power System Standard Division ; Provincial Electricity Authority

[8] T.H. Thomas and T.C. Kendrick // J. Poly Sci. A-2 7 (1993) 537.

[9] Tomohiro Nakanishi, Hidenori Shinokubo,Ryosuke Matsuoka, Kumagai Akita and Hikita Kyushu, In: IEEE International Symposium on Electrical Insulation (Boston, MA, USA, 2002) p. 252.

[10] UL94 : Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances

[11] V.M. Moreno-Villa, M. A. Ponce-Velez,E. VaIIe-Jaime and J.L. Fierro-Chavez // IEE Proc.-Gener. Transm. 145 (I998) 675.

[12] X. Wang, S. Kumagai and N. Yoshimura, In: Proc. of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials (Toyohashi, Japan, 1998) p. 619.

[13] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล http://www.rubbercenter.org

[14] สมชาย ทรงศิริ ; กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค // วารสาร แวดวงวิศวกรรมฉบับพิเศษ Silicone Rubber นวัตกรรมล่าสุดของ ฉนวนไฟฟ้าภายนอก