

การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างลูกถ้วยนวนพอร์ซเลนและโพลีเมอร์สภาวะ
เปรอะเปื้อนที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ กฟภ.

ELECTRICAL CHARACTERISTIC COMPARISON OF PORCELAIN
INSULATORS AND POLYMER INSULATORS POLLUTED
CONDITION FOR DISTRIBUTION SYSTEM 33 KV OF PEA.



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำรงดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMUTL-2009-EN-M-020-148

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างตุ๊กด้วยฉนวนพอร์ซเลนและโพลีเมอร์สภาวะ
เปรอะเปื้อนที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ กฟภ.

ELECTRICAL CHARACTERISTIC COMPARISON OF PORCELAIN
INSULATORS AND POLYMER INSULATORS POLLUTED
CONDITION FOR DISTRIBUTION SYSTEM 33 kV OF PEA.



รพ.

ฉ 121 ก

2552

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105483
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ย. 2552

b. 12120021
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องสมุดของสถาบันฯ มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELECTRICAL CHARACTERISTIC COMPARISON OF PORCELAIN
INSULATORS AND POLYMER INSULATORS POLLUTED
CONDITION FOR DISTRIBUTION SYSTEM 33 kV OF PEA.**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

KMITL 2009-EN-M-020-148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนและโพลีเมอร์สภาวะเปราะเปื้อน
ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ กฟภ.

Thesis Title Electrical Characteristic Comparison of Porcelain Insulators and Polymer Insulators
Polluted Condition for Distribution system 33 kV of PEA

นักศึกษา นายสกุลวุฒิ ภูผาสุข

รหัสประจำตัว 49060212

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-020-148

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อิสระชัย งามหฐู	
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว	
ดร.ศุภกิตติ โขติโก	
ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว	
รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

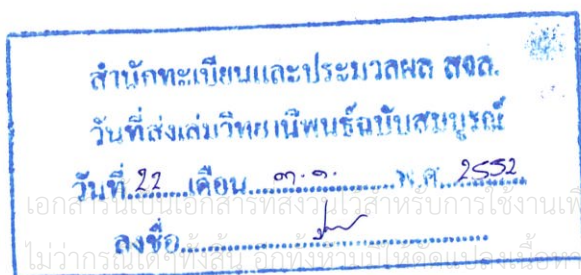
คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2552



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนและโพลีเมอร์สภาวะเปราะเปื้อน ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ กฟภ.
นักศึกษา	นายสกลวุฒิ ภูผาสุข
รหัสนักศึกษา	49060212
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอผลการศึกษาวิจัยการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนกับลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งแบบลูกถ้วยแขวนและลูกถ้วยก้านตรง โดยทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ดังนี้คือ การวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ , กระแสรั่วไหล และการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วลบ

จากการศึกษาวิจัยนี้พบว่าเมื่อระดับความเปราะเปื้อนรุนแรงขึ้น พบว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีปริมาณกระแสรั่วไหลต่ำกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน ทำให้มีค่ากำลังสูญเสียต่ำกว่าอีกด้วย ส่วนการทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำ และการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วลบ พบว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ก็จะมีค่าความคงทนของฉนวนสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน เช่นกัน

Thesis Title	Electrical Characteristic Comparison of Porcelain Insulators and Polymer Insulators Polluted Condition for Distribution system 33 kV of PEA.
Student	Mr.Sakonvoot Poopasuk
Student ID.	49060212
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Monthol Leelajindakailerk

ABSTRACT

This thesis presents the study of electrical characteristic comparison of porcelain insulators and polymer insulators, suspension and post type using in 33 kV distribution system of Provincial Electricity Authority (PEA). The electrical characteristic low frequency dry flashover, leakage current and critical impulse negative polarity flashover voltage are investigated.

From the experimental, in the severe condition , The amplitude of leakage current of polymer insulator is in the same level when using clean normal condition , on the other hand the leakage current of porcelain insulator increase when it is employed in higher severity pollution levels. For low frequency dry flashover test and critical impulse negative polarity flashover voltage test, the polymer insulators both properties are better than the porcelain insulators.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ผู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปริญญาโทที่ข้าพเจ้าได้ศึกษาในระดับปริญญาตรีและแม้แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าก็ได้รับคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า และ กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่สนับสนุนเอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง แผนกทดสอบ กองวิศวกรรมไฟฟ้าและทดสอบ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นหน่วยหน่วยงานต้นสังกัดของข้าพเจ้า ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อีกทั้งแรงกายแรงใจจาก พี่ - น้อง แผนกทดสอบทุกท่าน

ขอขอบคุณนายภูจิต บุญโท นายบัวเรียน ชาลี และนางสาวสาววิณี หลุดพา ที่ให้กำลังใจช่วยเหลือและให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณนางสาวนิจวิทย์ จีรวงส์ ที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือและดูแลข้าพเจ้ามาโดยตลอด สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจ เป็นตัวอย่างที่ดีและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สกลวุฒิ ภูผาสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	4
2.1 แรงดันไฟฟ้าเกินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	4
2.1.1 แรงดันเกินภายนอก.....	4
2.1.2 แรงดันเกินภายใน.....	5
2.1.3 แรงดันเกินชั่วคราว.....	5
2.2 แรงดันอิมพัลส์.....	6
2.2.1 ข้อกำหนดของรูปคลื่นอิมพัลส์.....	6
2.2.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า.....	7
2.3 ลูกถ้วยฉนวน.....	8
2.3.1 ชนิดแบบลูกถ้วยฉนวน.....	8
2.3.2 ลักษณะสมบัติทางมิติที่สำคัญของลูกถ้วยฉนวน.....	11
2.3.3 การเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	12
2.3.4 ลักษณะมิติและคุณสมบัติของลูกถ้วยที่มีใช้งานในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน.....	24
2.4.1 แรงดันวาวไฟตามผิวกับแรงดันเจาะทะลุของลูกถ้วยฉนวน.....	24
2.4.2 กระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวน.....	24
2.4.3 การเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากการใช้งานในบริเวณ เปราะเปื้อน.....	25
2.5 การแบ่งระดับความเปราะเปื้อน.....	27
2.5.1 ประเภทของสิ่งเปราะเปื้อน.....	27
2.6 แฟลคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$).....	29
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	31
2.8 คุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ.....	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดสอบ.....	38
3.1 ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทำการทดสอบ.....	38
3.2 การเพิ่มระดับความเปราะเปื้อนให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบ.....	39
3.3 การทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ.....	41
3.3.1 วงจรทดสอบ.....	41
3.3.2 ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ.....	41
3.3.3 การป้อนแรงดันทดสอบ.....	43
3.3.4 บันทึกผลการทดสอบ.....	44
3.4 การทดสอบกระแสรั่วไหล.....	45
3.4.1 วงจรทดสอบและข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ.....	45
3.4.2 การป้อนแรงดันทดสอบ.....	45
3.4.3 บันทึกผลการทดสอบ.....	45
3.5 การทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล.....	46
3.5.1 วงจรทดสอบ.....	46
3.5.2 ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ.....	46
3.5.3 การป้อนแรงดันทดสอบ.....	47
3.5.4 บันทึกผลการทดสอบ.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การตรวจวัดค่าความเปรอะเปื้อน (ESDD).....	49
3.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเปรอะเปื้อน (ESDD).....	49
3.6.2 ขั้นตอนการวัดค่าความเปรอะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวนและการ คำนวณหาค่า ESDD.....	49
3.7 การปรับเทียบค่าผลการทดสอบ (Atmospheric correction factor)	51
3.8 การทดสอบวัดค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก.....	52
3.8.1 ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ.....	53
3.8.2 การป้อนแรงดันทดสอบ.....	53
3.8.3 บันทึกผลการทดสอบ.....	53
3.9 การทดสอบคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ.....	53
3.9.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	53
3.9.2 ขั้นตอนการทดสอบและข้อกำหนดของการทดสอบ.....	54
3.9.3 บันทึกผลการทดสอบ.....	54
บทที่ 4 ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ	55
4.1 ผลการทดสอบ.....	55
4.1.1 ผลการทดสอบกระแสรั่วไหล.....	55
4.1.2 ผลการทดสอบการทดสอบการวางไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับความถี่ต่ำ.....	58
4.1.3 ผลการทดสอบการวางไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล.....	61
4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบ.....	63
4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก. กราฟที่ใช้ปรับเทียบค่าทางไฟฟ้า.....	78
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค. ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและเครื่องมือที่ใช้ ในงานวิจัย.....	87
ภาคผนวก ง. หลักการเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและราคากลาง ของลูกถ้วยฉนวน.....	94
ภาคผนวก จ. กรณีศึกษา : การทดลองติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์เพื่อแก้ปัญหาหมอกเกาะ จากไอเกลือที่รุนแรงบริเวณริมหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต	102
ประวัติผู้เขียน.....	111



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบลักษณะแรงดันเกินภายนอก,แรงดันเกินภายในและแรงดันเกินชั่วคราว.....	5
2.2 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม.....	7
2.3 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด.....	8
2.4 ลูกถ้วยฉนวนแรงสูงแบบต่างๆ ตาม IEC 383-1,1993.....	9
2.5 ประเภทลูกถ้วยฉนวนตามมาตรฐาน IEC 383-1,1993 แสดงการเกิดวาบไฟตามผิวหรือการเจาะทะลุ.....	9
2.6 เส้นศักย์ไฟฟ้าท่าของลูกถ้วยก้านตรงและลูกถ้วยแขน.....	10
2.7 ลักษณะทางมิติของลูกถ้วยฉนวน.....	11
2.8 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยไลน์โพลีแบบ 57-2.....	14
2.9 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยไลน์โพลีแบบ 57-3.....	15
2.10 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยไลน์โพลีแบบ 57-4.....	16
2.11 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยพินโพลีแบบ 56/57-2.....	17
2.12 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยพินโพลีแบบ 56/57-3.....	18
2.13 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยพินโพลีแบบ 56/57-4.....	19
2.14 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขนพอร์ซเลนแบบ ก (แบบ52-1)	20
2.15 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขนพอร์ซเลนแบบ ค (แบบ52-3)	21
2.16 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขนพอร์ซเลนแบบ ง (แบบ52-4)	22
2.17 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขนพอร์ซเลนแบบ จ (แบบ52-8)	23
2.18 ขั้นตอนของการเกิดวาบไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งประอะเปื้อน.....	26
2.19 พัฒนาการของการเกิดวาบไฟตามผิวบริเวณแถบแห้งไปสู่การวาบไฟตามผิวทั้งลูก.....	26
2.20 วงจรสมมูลของฉนวน.....	30
2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับฉนวน.....	30
2.22 โครงสร้างและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	33
2.23 ภาพตัวอย่างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	33
2.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดง โครงสร้างพื้นผิวใบบัว.....	34
2.25 ภาพถ่ายหยดน้ำสามารถพาส่องประกายออกจากผิวใบบัวได้.....	34
2.26 แสดงรูปทรงของหยดบนผิววัสดุ.....	35
2.27 ลักษณะของมุมสัมผัสระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุ.....	35
2.28 แสดงตัวอย่างของระดับการไม่ชอบน้ำตามมาตรฐาน STRI Guide 92/1.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 ลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบ.....	38
3.2 การเพิ่มระดับความเปราะเอื้อนให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบ.....	40
3.3 วงจรทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ.....	41
3.4 การติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน ตามมาตรฐาน ANSI C29.1.....	42
3.5 การติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง ตามมาตรฐาน ANSI C29.1.....	43
3.6 การเพิ่มแรงดันของการทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ.....	43
3.7 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่ใช้ในการทดสอบ.....	44
3.8 วงจรการทดสอบกระแรว์ไหล.....	45
3.9 วงจรทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตซ์วลบ.....	46
3.10 การทดสอบโดยวิธี Up-and-down method.....	47
3.11 คลื่นแรงดันอิมพัลส์ ขั้วลบที่ใช้ทดสอบ.....	48
3.12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเปราะเอื้อน.....	49
3.13 วงจรทดสอบวัดค่าแฟลคเตอร์พลังงานสูญเปล่า ไดอิเล็กตริก.....	52
3.14 แสดงการติดตั้งทดสอบคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	53
4.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกระแรว์ไหล.....	64
4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำของลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง.....	64
4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำของลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน.....	65
4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตซ์วลบ ของลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง.....	65
4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตซ์วลบของลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน.....	66
4.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ.....	67
4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังมิได้นำไปติดตั้งใช้งาน.....	67
4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่นำไปติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต แล้วประมาณ 2 ปี.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ภาพถ่ายหยดน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน.....	69
4.10 ภาพถ่ายหยดน้ำของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต แล้วประมาณ 2 ปี.....	69
4.11 แสดงหยดน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน.....	70
4.12 หยดน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ประมาณ 2 ปี.....	71
ภาคผนวก	
1 กราฟสำหรับเปรียบเทียบค่าผลทดสอบทางไฟฟ้า.....	79
2 กราฟสำหรับเปรียบเทียบค่าผลทดสอบทางไฟฟ้า.....	80
3 วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	82
4 ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	88
5 ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	88
6 Impulse voltage test set (Cap. 1000 kV 50 kJ).....	89
7 AC. High voltage test set (Cap. 400 kV)	90
8 ออสซิลอสโคป.....	91
9 มิลลิแอมมิเตอร์ (0 – 10 mA)	91
10 เครื่องมือวัดความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำ.....	92
11 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ความละเอียดสูง.....	92
12 เครื่องทดสอบค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเปล่าไดอิเล็กตริก.....	93
13 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด.....	93
14 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของจังหวัดภูเก็ต.....	104
15 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต และลักษณะภูมิประเทศของหาดป่าตอง ในช่วงบริเวณที่เป็น โขดหิน.....	104
16 แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากมลภาวะจากไอเกลือ.....	106
17 แสดงการติดตั้งลูกถ้วยโพลีเมอร์ ในพื้นที่หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเลือกลูกถ้วยกับพื้นที่ที่มีมลภาวะระดับแตกต่างกันสำหรับระบบจำหน่าย 22 kV.....	12
2.2 การเลือกลูกถ้วยกับพื้นที่ที่มีมลภาวะระดับแตกต่างกันสำหรับระบบจำหน่าย 33 kV.....	13
2.3 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยไลน์โพสท์ แบบ 57-2.....	14
2.4 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยไลน์โพสท์ แบบ 57-3.....	15
2.5 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยไลน์โพสท์ แบบ 57-4.....	16
2.6 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยพินโพสท์ แบบ 56/57-2.....	17
2.7 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยพินโพสท์ แบบ 56/57-3.....	18
2.8 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยพินโพสท์ แบบ 56/57-4.....	19
2.9 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ ก (แบบ 52-1)	20
2.10 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ ค (แบบ 52-3)	21
2.11 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ ง (แบบ 52-4)	22
2.12 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ จ (แบบ 52-8)	23
2.13 การแบ่งระดับของความเปราะเปื้อนตามสภาพพื้นที่.....	28
2.14 การแบ่งระดับของค่าความเปราะเปื้อน.....	29
2.15 การแบ่งระดับของค่าความเปราะเปื้อนตามมาตรฐานของ กฟภ.....	29
2.16 การแบ่งระดับคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ.....	36
3.1 ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทำการทดสอบ.....	39
3.2 คุณสมบัติทางมิติของลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทดสอบเฉลี่ย.....	39
4.1 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)	55
4.2 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท X.....	55
4.3 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Y.....	56
4.4 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Z.....	56
4.5 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) เฉลี่ย	56
4.6 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวน โพลีเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)	57
4.7 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวน โพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)	57
4.8 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนแบบแขวน (class 52-4)	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)	58
4.10 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท X.....	58
4.11 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Y.....	58
4.12 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Z.....	59
4.13 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) เฉลี่ย	59
4.14 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)	59
4.15 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)	60
4.16 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)	60
4.17 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)	61
4.18 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท X.....	61
4.19 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Y.....	61
4.20 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Z.....	62
4.21 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) เฉลี่ย	62
4.22 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)	62
4.23 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)	63
4.24 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)	63
4.25 แสดงค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียที่ไดอิเล็กตริก ค่ากำลังสูญเสียที่คำนวณได้.....	71
4.26 เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของการทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ.....	72
4.27 เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของการทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์ วิกฤตชั่วพล.....	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ภาคผนวก	
1 แสดงราคากลางงบลงทุนของลูกถ้วยฉนวนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	101
2 เปรียบเทียบลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง.....	109
3 เปรียบเทียบลูกถ้วยฉนวนแบบแขน.....	110



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นแบบสายอากาศโดยใช้สายตัวนำเดินพาดไปตามเสาไฟฟ้า โดยใช้ลูกถ้วยฉนวนเป็นฉนวนรองรับ ซึ่งหน่วยงานที่มีหน้าที่ส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ภาคประชาชน คือ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) โดยจะมีเขตรับผิดชอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ 3 จังหวัด คือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยจะมีเขตรับผิดชอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าอีก 73 จังหวัดที่เหลือ โดยจะส่งผ่านระบบจำหน่ายแรงสูง 22 และ 33 kV โดยเฉพาะระบบจำหน่ายแรงสูง 33 kV จะมีใช้ในบริเวณภาคใต้ของประเทศ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นแนวยาวขนานกับชายฝั่งทะเลทั้ง 2 ด้าน และมักเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องบ่อยครั้งของระบบจำหน่ายตามแนวชายฝั่งทะเล เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่เกิดจากลูกถ้วยฉนวนสะสมคราบสกปรกที่เกิดจากไอเกลือจากทะเลสูง จนกระทั่งเกิดการวาบไฟตามผิว (Flashover) กลายเป็นการลัดวงจรลงดิน อีกทั้งเกิดกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ทำให้กำลังสูญเสียของระบบสูงขึ้น นอกจากการเลือกใช้ประเภทของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่แล้ว ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการทดลองติดตั้งใช้งานลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ในระบบจำหน่ายแรงสูงในบริเวณที่ได้รับผลกระทบบางพื้นที่ทดแทนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบพอร์ซเลน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์กับแบบพอร์ซเลน โดยจะทดสอบคุณสมบัติการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ (Low frequency dry flashover) กระแสรั่วไหล (Leakage Current) และการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตขั้วลบ (Critical impulse negative polarity flashover voltage) โดยเริ่มทดสอบตั้งแต่สถานะที่สะอาดแล้วเพิ่มระดับความเปรอะเปื้อนตามผิวสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการทดสอบทางไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง แล้วนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อสถานะความเปรอะเปื้อนเพิ่มขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการนำเอาลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์เข้ามาทดลองติดตั้งใช้งานทดแทนลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนเพื่อแก้ปัญหาในบริเวณพื้นที่ที่มีภาวะรุนแรงมา ระยะหนึ่งแล้ว แต่ยังไม่มีการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าในสถานะเดียวกันระหว่างลูกถ้วยฉนวนทั้งสองแบบ

งานวิจัยนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์กับแบบพอร์ซเลน โดยการเพิ่มระดับความเปรอะเปื้อนในปริมาณเท่าๆกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้ว่าการนำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์มาทดลองติดตั้งใช้งานแทนลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนในพื้นที่ที่มีปัญหาด้านมลภาวะรุนแรงนั้น มีคุณสมบัติที่ดีกว่าอย่างไร

1.4 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการศึกษาระดับความเปรอะเปื้อนและขนาดของกระแสรั่วไหล ที่เกิดขึ้นบนลูกถ้วยฉนวนชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งในสถานะแวดล้อมชายฝั่งทะเลภาคใต้ของประเทศไทย[1] โดยทำการศึกษาวิจัยตั้งแต่เดือนเมษายน 2545 ถึง เดือนธันวาคม 2546 เพื่อทำการทดลองศึกษาวิเคราะห์ระดับความเปรอะเปื้อนและขนาดกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นบนลูกถ้วยฉนวนชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งในบริเวณที่มีมลภาวะชายฝั่งทะเล แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ติดตั้งใช้งาน, ตำแหน่งของลูกถ้วยฉนวน และฤดูกาล โดยได้ทำการทดลองกับลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน 5 ชนิด ดังนี้ ลูกถ้วยฉนวนก้านตรงพิน โปสท์แบบ 56/57-4, ลูกถ้วยฉนวนก้านตรงไลน์ โปสท์แบบ 57-3, ลูกถ้วยฉนวนก้านตรงไลน์ โปสท์แบบ 57-4, ลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน แบบ 52-4 และ ลูกถ้วยฉนวนก้านตรง แบบ fog แล้วได้ความสัมพันธ์ที่ว่า ลูกถ้วยฉนวนที่ติดตั้งบนตำแหน่งคอนบนและคอนล่างของเสาต้นเดียวกัน พบว่าจะมีค่าความเปรอะเปื้อน(ESDD) ใกล้เคียงกันหรือกล่าวได้ว่าตำแหน่งของลูกถ้วยฉนวนที่คอนบนและล่างไม่มีผลต่อค่าความเปรอะเปื้อน และอีกความสัมพันธ์ก็คือระยะเวลาที่ติดตั้งลูกถ้วยฉนวน พบว่าค่าความเปรอะเปื้อนบนลูกถ้วยฉนวนทดลองแทบจะไม่ขึ้นกับระยะเวลาที่ติดตั้งลูกถ้วยฉนวนทดลองไว้ โดยไม่ว่าจะติดตั้งมาเป็นระยะเวลาเท่าไรแต่เมื่อนำมาวัดค่าความเปรอะเปื้อนในช่วงเวลาเดียวกัน จะได้ค่าใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่ามีการชะล้างตามธรรมชาติ

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของแนวคิดการวิจัยนี้ โดยการเพิ่มระดับความเปรอะเปื้อนให้กับลูกถ้วยฉนวนทั้งแบบพอร์ซเลนและแบบโพลีเมอร์ ทั้งชนิดลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรงและลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า คำนี้อีก คือ การวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ (Low frequency dry flashover voltage) กระแสรั่วไหล

(Leakage Current) และการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล (Critical impulse negative polarity flashover voltage)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์กับแบบพอร์ซเลน ที่ใช้ในระบบจำหน่าย 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยจะทดสอบคุณสมบัติการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ (Low frequency dry flashover voltage) , กระแสรั่วไหล (Leakage Current) และการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล (Critical impulse negative polarity flashover voltage) โดยเริ่มทดสอบตั้งแต่สถานะที่สะอาดแล้วเพิ่มระดับความเปรอะเปื้อนตามผิว

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการศึกษา แนวที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อต่างๆดังนี้ แรงดันไฟฟ้าเกินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แรงดันอิมพัลส์ ลูกถ้วยฉนวนแบบต่างๆ การวาวไฟตามผิว ค่าความเปรอะเปื้อน(ESDD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีดำเนินการทดสอบของงานวิจัย

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดสอบ การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนกับแบบโพลีเมอร์ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก. กราฟที่ใช้เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้า

ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ภาคผนวก ค. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ภาคผนวก ง. หลักการเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและราคากลางของลูกถ้วยฉนวน

ภาคผนวก จ. กรณีศึกษา : การทดลองติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์เพื่อแก้ปัญหา มลภาวะจากไอเกลือที่รุนแรงบริเวณริมหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย ในบทนี้จะกล่าวถึงแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แรงดันอิมพัลส์ ลูกถ้วยฉนวน การวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนที่ติดตั้งใช้งานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การแบ่งระดับความเปรอะเปื้อน แฟลคเตอร์พลังงานสูญเสียโคอีเล็กทริก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาเพื่อที่จะเข้าใจถึงปัญหาซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

2.1 แรงดันไฟฟ้าเกินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า [2]

แรงดันไฟฟ้าเกินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage) อาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ คือ จากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า เรียกว่าแรงดันเกินฟ้าผ่า ส่วนประการที่สองเป็นแรงดันเกินจากการทำงานของสวิตซ์ตัดต่อวงจรในระบบ เรียกว่าแรงดันเกินสวิตซ์ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้น โดยช่วงระยะเวลาและขนาดของแรงดันเกินมีค่าแตกต่างกัน โดยแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ แรงดันเกินภายนอก , แรงดันเกินภายในและแรงดันเกินชั่วคราว

2.1.1 แรงดันเกินภายนอก

เนื่องจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบเดินสายอยู่ภายนอกจึงอยู่ในอากาศ ดังนั้นระบบสายส่งจึงมีโอกาสสูงมากที่จะถูกฟ้าผ่าได้ ทั้งในกรณีผ่าลงโดยตรง หรือการดีสชาร์จในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าลงบริเวณใกล้เคียง ซึ่งก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นบนสายส่งแรงสูง แรงดันเกินนี้สามารถคำนวณได้ถ้าหากทราบรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า โดยอาศัยหลักการคิดคำนวณตามทฤษฎีของคลื่นจร (Traveling Wave Theory) และทฤษฎีการคำนวณวงจร RCL รูปลักษณะรูปคลื่นแรงดันเกินภายนอกหรือแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า (Lightning Impulse Voltage) นี้จะมีช่วงหน้าคลื่น (T_1 ; ช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่ายอด) อยู่ในช่วง 1 - 2 μs และช่วงหางคลื่น (T_2 ; ช่วงเวลาที่แรงดันลดลงครึ่งหนึ่งของค่ายอด) อยู่ในช่วง 40 - 60 μs แรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่าที่มีค่ายอดคลื่นสูงประมาณ 6 เปอรูยูนิตหรือมากกว่านั้น และเป็นอันตรายกับระบบส่งจ่ายอย่างมาก จำเป็นที่จะต้องรีบกำจัดออกจากระบบเพื่อป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

2.1.2 แรงดันเกินภายใน

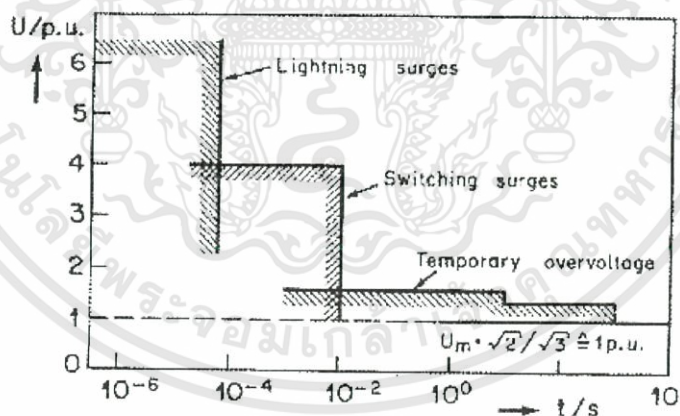
สาเหตุที่เกิดแรงดันเกินภายใน อาจเกิดจากการทำงานของสวิตซ์ตัดต่อวงจร ทั้งในกรณีการทำงานของผู้ปฏิบัติงานและการทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น เรียกว่าแรงดันเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตชิ่ง (Switching Overvoltage) หรืออิมพัลส์แบบสวิตชิ่ง (Switching Impulse) หรือเกิดจากการลัดวงจรเนื่องจากความบกพร่องของฉนวน หรือเกิดจากแรงดันเกินภายนอก คือแรงดันฟ้าผ่าที่ทำให้เกิดสปาร์กหรือวาบไฟตามผิวฉนวนภายนอกที่มีความสกปรก เปียกฝน ชื้นด้วยหมอกน้ำค้าง หรือเกิดลัดวงจรเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอม หรือเกิดจากวงจรรีโซแนนซ์ เพราะค่าคาปาซิแตนซ์และอินดักแตนซ์ในสายส่ง รูปลักษณะของคลื่นแรงดันเกินภายในนี้จะช้ากว่าแรงดันเกินภายนอกคือช่วงเวลาน้ำคลื่นจะอยู่ในช่วง $100 - 300 \mu s$ และช่วงเวลายางคลื่นอยู่ในช่วง $2,000 - 3,000 \mu s$ แรงดันเกินสวิตชิ่งนี้ ไม่มีความหมายต่อการทดสอบระดับการฉนวนที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำกว่า $300 kV$ แต่ที่ระบบแรงดันสูงกว่า $300 kV$ การทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตชิ่งซึ่งมีความหมายมากขึ้นเมื่อเทียบกับแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า แรงดันเกินที่เกิดจากการสวิตชิ่งมีค่ายอดคลื่นสูงประมาณ 4 เอร์ยูนิต

2.1.3 แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary Overvoltage)

แรงดันเกินชั่วคราวมีช่วงความถี่ตั้งแต่ไม่กี่เฮิรตซ์ไปจนถึงหลายร้อยเฮิรตซ์ และมีช่วงระยะเวลาจากไม่กี่วินาทีไปจนถึงเป็นชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดฟอลต์) รูปแบบทั่วไปส่วนใหญ่ของแรงดันเกินชั่วคราวจะเกิดบนเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ เมื่อมีฟอลต์ลงดินแบบ 1 เฟส หรือ 2 เฟส เกิดขึ้น แรงดันเกินแบบนี้มีค่าไม่เกิน $\sqrt{3}$ เอร์ยูนิต และไม่มีอันตรายกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะแรงดันเกินภายนอก,แรงดันเกินภายในและแรงดันเกินชั่วคราว

2.2 แรงดันอิมพัลส์ [2]

แรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันทรานเซียนต์แบบไม่เป็นรายคาบ (Non-periodic Transient Voltage) ซึ่งค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากศูนย์ไปถึงค่ายอดแล้วลดลงไปถึงศูนย์อย่างช้า ๆ ในทางปฏิบัติอาจแบ่งแรงดันอิมพัลส์ตามลักษณะรูปคลื่นหรือสาเหตุที่เกิดได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (Lightning Impulse) มีสาเหตุมาจากแหล่งกำเนิดอื่นภายนอก ระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าตามธรรมชาติที่ควบคุมไม่ได้
2. แรงดันอิมพัลส์สวิตชิ่ง (Switching Impulse) มีสาเหตุมาจากการทำงานของอุปกรณ์ ตัดคอนภายในในระบบเอง ซึ่งรวมทั้งการทำงานในสภาวะการตัดต่อวงจรตามปกติ และในขณะที่เกิดผิดปกติ (Fault) ขึ้นในระบบ

แรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทั่วไปมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อใช้ ทดสอบประสิทธิภาพการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นการทดสอบหาความคงทนต่อแรงดันเกินอิมพัลส์ ของการฉนวนก่อนนำอุปกรณ์ไปติดตั้งใช้งานจริง หรือใช้เพื่อการศึกษาวิจัยเป็นหลัก แรงดันที่สร้างขึ้นในห้องทดลองเป็นแรงดันที่เลียนแบบรูปคลื่นที่เกิดขึ้นจริงในทางปฏิบัติ ซึ่งค่าความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของฉนวนไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันค่ายอดสูงสุดเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับ ลักษณะการแปรไปตามเวลาของขนาดแรงดันอีกด้วย ฉะนั้นเพื่อความสะดวกต่อการเปรียบเทียบผล การทดสอบจึงได้มีการกำหนดรูปคลื่นอิมพัลส์ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยยึดถือเอารูปคลื่นที่ เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติเป็นเกณฑ์

2.2.1 ข้อกำหนดของรูปคลื่นอิมพัลส์

ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ อาจจะกำหนดด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

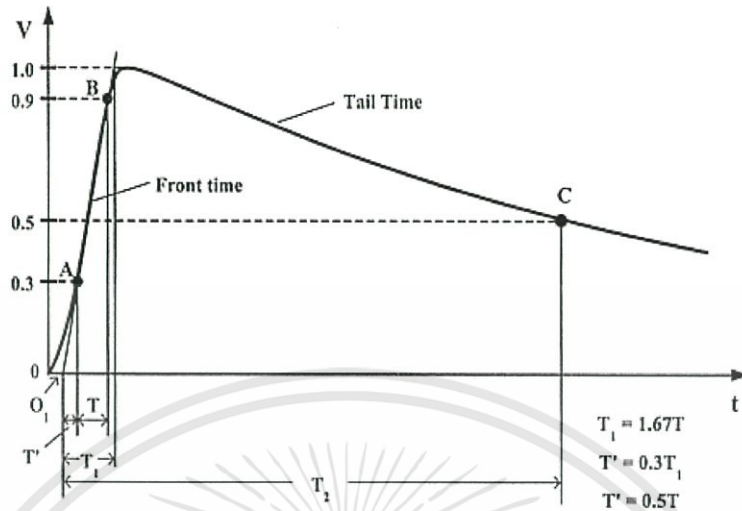
1. ขนาดแรงดัน (V_p) โดยปกติจะหมายถึงค่ายอดของรูปคลื่นแรงดัน ในกรณีที่แรงดัน มีลักษณะลอกซ้อนซึ่งอาจเกิดจากการออสซิลเลชันในถี่ ๆ ยอดรูปคลื่นให้ถือเป็น ค่าเฉลี่ยจากค่ายอดรูปคลื่นระลอกซ้อนนั้น
2. ขั้วของแรงดันอาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้เมื่อเทียบกับดิน
3. พารามิเตอร์ทางเวลา ซึ่งเป็นตัวกำหนดลักษณะของรูปคลื่นแรงดันทดสอบที่ แตกต่างกันแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ
 - เวลาช่วงหน้าคลื่น (Front time : T_1) คือช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มต้นจากศูนย์จนถึงค่า ยอดสูงสุด
 - เวลาช่วงหางคลื่น (Tail time : T_2) คือ ช่วงเวลาที่เริ่มนับจากแรงดันเริ่มต้นเพิ่มขึ้น จากศูนย์ผ่านค่ายอดสูงสุด จนกระทั่งมีขนาดลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของ ค่ายอด

2.2.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

ตามข้อกำหนดมาตรฐาน IEC 60060-1, 1989 [3] แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าสามารถแบ่งออก ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม (Full Wave Lightning Impulse Voltage) จะมี ลักษณะรูปคลื่นตามข้อกำหนด ในรูปที่ 2.2 ซึ่งหมายถึงรูปคลื่นที่มีขนาดแรงดัน

เริ่มเพิ่มขึ้นจากศูนย์จนถึงค่ายอดสูงสุดแล้วค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งลดลงเป็นศูนย์



รูปที่ 2.2 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม

เวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 ของแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า คือ 1.67 เท่าของช่วงเวลา T ระหว่างจุดที่อิมพัลส์มีค่า 30% และ 90% ของค่ายอด คือจุด A และ B ดังรูปที่ 2.2 ถ้ารูปคลื่นมีการแกว่งซ้อนอยู่ด้วยให้ลากเส้นโค้งรูปคลื่นเฉลี่ยสัญญาณแกว่งซ้อนเสียก่อนแล้วจึงค่อยหาจุด A และจุด B

จุดเริ่มต้นเสมือน O_1 (Virtual Origin) ของแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า คือจุดที่คิดเป็นเวลาห่างจากจุด A ในรูปที่ 2.2 ไปข้างหน้าเท่ากับ $0.3 T_1$ หรือ จุดตัดแนวเวลากับเส้นตรงที่ลากผ่านจุด A และจุด B สำหรับรูปคลื่นแรงดันที่บันทึกโดยแกนเวลาและวาดอย่างเชิงเส้น

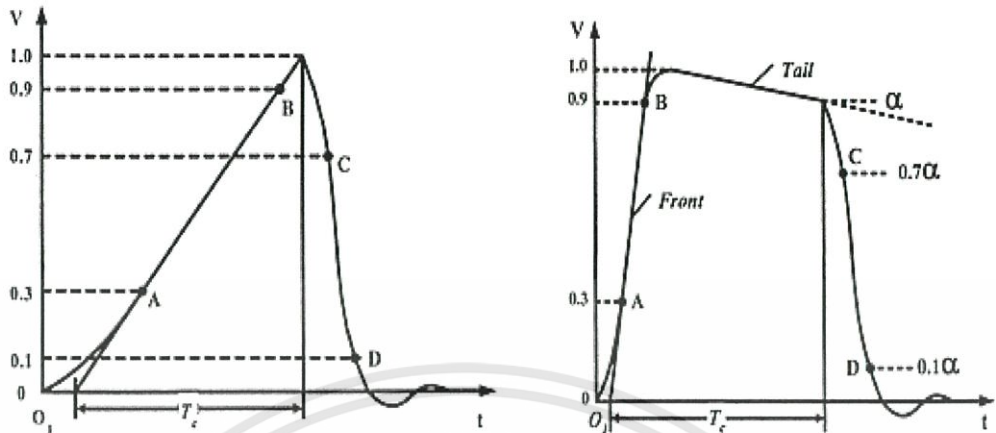
เวลาช่วงหางคลื่น T_2 ของแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า คือ ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นเสมือน O_1 กับจุดที่แรงดันลดค่าลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอดทางตอนหางคลื่น ดังรูปที่ 2.2

แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นมาตรฐาน (Standard Lighting Impulse) ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน IEC 60060-1, 1989 [3] คือ แรงดันอิมพัลส์ที่มีช่วงเวลา T_1/T_2 เป็น $1.2 / 50 \mu s$ โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนดังนี้

- เวลาช่วงหน้าคลื่น $T_1 = 1.2 \mu s \pm 30\%$
- เวลาช่วงหางคลื่น $T_2 = 50 \mu s \pm 20\%$
- ค่ายอดแรงดัน $V_p \pm 3\%$

2. แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัด (Chopped Wave Lightning Impulse Voltage) คือ แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่รูปคลื่นเกิดการดิสรจาร์จแบบทำลายทำให้แรงดันตกลงสู่ค่าศูนย์อย่างรวดเร็ว การตัดของรูปคลื่นแรงดันอาจเกิดที่หน้าคลื่นหรือส่วนหางคลื่นก็ได้ ดังรูปที่ 2.3 โดยแรงดันขณะที่ถูกตัด (Voltage at The Instant of Chopped) คือ

แรงดันในขณะที่เกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นในรูปคลื่นนั้น เวลาช่วงคลื่นตัด T_c (Time to Chopped) คือช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นเสมือนกับช่วงเวลาที่เกิดคลื่นตัด



รูปที่ 2.3 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด

2.3 ลูกถ้วยฉนวน [4,5]

2.3.1 ชนิดแบบลูกถ้วยฉนวน

การฉนวนสายส่งกำลังในระบบส่งจ่ายแรงสูง ในระบบจำหน่ายแรงดันสูงไม่เกิน 50 kV มักใช้ลูกถ้วยก้านตรง (Pin insulators) ส่วนในระบบแรงดันสูงขึ้น เช่น ในสายส่งมักใช้ค้ำสายไฟด้วยลูกถ้วยแขวน (Suspension insulators) ลูกถ้วยคอตัน (Solid core insulators) ลูกถ้วยคอตันยาว (Long rod insulators) ดังในรูปที่ 2.4

ลูกถ้วยฉนวนที่ใช้ยึดตัวนำในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

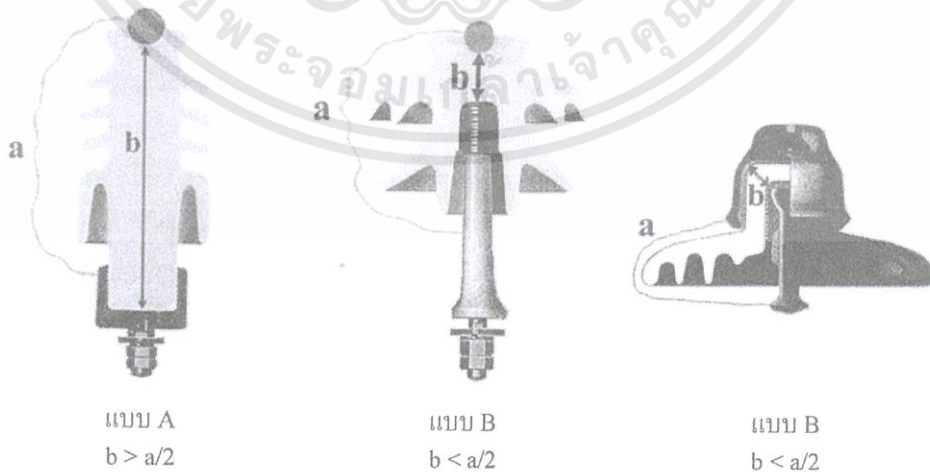
- ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน (Porcelain) สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันใช้ลูกถ้วยชนิดนี้มากกว่า 80 % มีประวัติการใช้งานนาน อายุการใช้งานมากกว่า 50 ปี ตรวจหาจุดบกพร่องยาก เกิดวาทไฟง่ายที่สภาวะเปรอะเปื้อน
- ลูกถ้วยแก้วเหนียว (Toughened glass) ในประเทศไทยมีใช้อยู่ในปัจจุบันน้อยกว่า 20 % อายุการใช้งาน มากกว่า 50 ปี เมื่อผิดพร่องตรวจหาได้ง่าย เกิดวาทไฟง่ายที่สภาวะเปรอะเปื้อน
- ลูกถ้วยเนื้อสารสังเคราะห์ (Composite หรือ Non-ceramic) มีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ได้แก่ silicone rubber , ethylene propylene rubber (EPR) น้ำหนักเบา ทนต่อสภาวะเปรอะเปื้อน ลูกถ้วยชนิดนี้ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศ เพราะยังไม่มั่นใจในเรื่องคุณภาพ และอายุการใช้งาน ที่มีใช้อยู่ในชั้นการศึกษาวิจัย และการทดลองใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลูกถ้วยฉนวนแรงสูงแบบต่าง ๆ ตาม IEC 383-1,1993 [5]

ลูกถ้วยฉนวนรูปแบบต่างๆ ในรูปที่ 2.4 มาตรฐาน IEC-383 ได้แบ่งลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูงออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภท A และประเภท B ลูกถ้วยประเภท A หมายถึงลูกถ้วยที่มีความหนาของเนื้อฉนวนตามแนวตรงระหว่างอิเล็กโตรดมากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะวางไฟตามผิว ได้แก่ ลูกถ้วยแท่ง ลูกถ้วยแท่งก้านตรง ลูกถ้วยคอตันยาว ลูกถ้วยแขวนคอตัน ลูกถ้วยหลัก เป็นต้น ส่วนลูกถ้วยประเภท B หมายถึง ลูกถ้วยที่มีความหนาของเนื้อฉนวนตามแนวตรงระหว่างอิเล็กโตรดมีค่าน้อยกว่า ครึ่งหนึ่งของระยะวางไฟตามผิว ได้แก่ ลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน (Suspension disc insulator) และลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง (Post type insulator) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ประเภทลูกถ้วยฉนวนตามมาตรฐาน IEC 383-1,1993 แสดงการเกิดฉนวนไฟตามผิวหรือการเจาะทะลุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำรูปร่างลักษณะของลูกถ้วย จะทำให้ครีบริบหรือชั้นลูกถ้วยมีผิวโค้งไปตามเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า เพื่อให้ความเครียดสนามไฟฟ้าตามผิวลูกถ้วยมีค่าน้อยที่สุดในรูปที่ 2.6 แสดงถึงสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าของลูกถ้วยก้านตรงและลูกถ้วยแขวน ที่ผิวลูกถ้วยด้านบนที่ติดอยู่กับตัวนำหรือฝาครอบโลหะ จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่นจะเป็นเหตุให้เกิดโคโรนาขึ้นในบริเวณนี้ได้ง่าย และนำไปสู่การเกิดวาบไฟตามผิว (Flashover) ฉะนั้นแรงดันใช้งานจึงต้องต่ำกว่าค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (Corona inception voltage) ความกว้างของปีกชั้นลูกถ้วยและความหนาของเนื้อลูกถ้วย (ระหว่างตัวนำกับก้านโลหะหรือระหว่างฝาครอบบนกับก้านยึดส่วนล่าง) ต้องออกแบบให้มีความสัมพันธ์กันในด้านความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า คือ ความคงทนต่อแรงดันวาบไฟตามผิว จะต้องน้อยกว่าความคงทนต่อแรงดันทะลุ (Puncture voltage) ค่าแรงดันเจาะทะลุนี้ทดลองหาได้จากการป้อนแรงดันให้กับลูกถ้วยจุ่มในน้ำมันหม้อแปลง หรือทดลองเจาะทะลุด้วยแรงอิมพัลส์น้ำคลื่นชัน (Steepfront impulse voltage) น้ำมันฉนวนมีความคงทนต่อแรงดันสูง จึงไม่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วย แต่จะเจาะผ่านทะลุเนื้อลูกถ้วย ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีของลูกถ้วยก้านตรง ลูกถ้วยแขวน แต่จะไม่เกิดขึ้นในกรณีที่เป็นลูกถ้วยคอดัน ครีบริบได้ผิวลูกถ้วยนั้นทำไว้เพื่อเพิ่มระยะรั่ว (Leakage distance) ซึ่งเป็นระยะที่สั้นที่สุดวัดตามผิวลูกถ้วยระหว่างอิเล็กโตรด จะเป็นส่วนกันไม่ให้ผิวเปียกได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพฝนตก เป็นผลให้ทนต่อแรงดันวาบไฟตามผิวได้สูงขึ้น



ลูกถ้วยก้านตรง

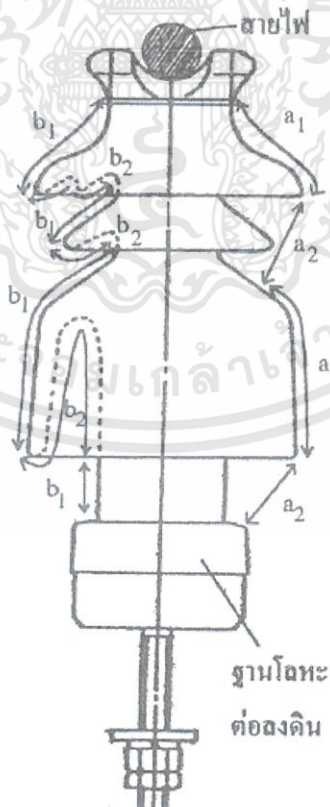
ลูกถ้วยแขวน

รูปที่ 2.6 เส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าของลูกถ้วยก้านตรงและลูกถ้วยแขวน

2.3.2 ลักษณะสมบัติทางมิติที่สำคัญของลูกถ้วยฉนวน

ลักษณะทางมิติที่เกี่ยวข้อง และมีผลต่อลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยที่ควรทราบ ความหมายมีดังต่อไปนี้

- ระยะรั่ว (Leakage distance) คือระยะที่สั้นที่สุดที่วัดตามผิวลูกถ้วยระหว่าง อิเล็กโทรด โดยส่วนหนึ่งของระยะรั่วจะเป็นส่วนกันไม่ให้ผิวเปียกได้ง่ายเมื่ออยู่ใน สภาพฝนตก ซึ่งจะช่วยให้ลูกถ้วยมีความคงทนต่อแรงดันวาบไฟตามผิวได้สูงขึ้น ดัง ระยะ b คือ (b_1+b_2) ในรูปที่ 2.7
- ระยะรั่วป้องกัน (Protective leakage distance) คือระยะที่ไม่เปียกฝนซึ่งปกติจะ หมายถึงระยะในปีกลูกถ้วย ดังรูปที่ 2.7 คือระยะผลรวมของ b_2
- ระยะอาร์ค (Arcing distance) คือระยะสั้นที่สุดที่วัดระหว่างอิเล็กโทรดผ่านอากาศ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ระยะที่วัดตามแนวที่เกิดอาร์คนั่นเอง ระยะอาร์คแบ่งเป็น ระยะอาร์คแห้ง (Dry arcing distance) และอาร์คเปียก (Wet arcing distance)
- ระยะอาร์คแห้ง หมายถึง ระยะอาร์คที่วัดในสถานะลูกถ้วยแห้ง ซึ่งจะมีทั้งลักษณะที่ วัดตามผิว และส่วนที่เป็นอากาศ คือ ระยะผลรวมของ a_1 และ a_2 ในรูปที่ 2.7
- ระยะอาร์คเปียก หมายถึง ระยะอาร์คที่วัดในลักษณะลูกถ้วยเปียก ซึ่งส่วนใหญ่จะ เป็นความแปรอะเปื้อนระยะอาร์คเปียกก็คือ ระยะผลรวมของ a_2 ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะทางมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [6,7]

เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีเขตรับผิดชอบระบบจำหน่ายเป็นบริเวณกว้าง ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ และแต่ละพื้นที่ก็จะมีภูมิประเทศที่แตกต่างกัน อีกทั้งระบบจำหน่ายแรงดันสูงปานกลางของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังแบ่งออกเป็นระบบทั้ง 22 และ 33 kV ดังนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงได้มีเกณฑ์มาตรฐานการเลือกใช้ลูกถ้วยฉนวน ดังตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 การเลือกลูกถ้วยกับพื้นที่ที่มีมลภาวะระดับแตกต่างกันสำหรับระบบจำหน่าย 22 kV

ลักษณะพื้นที่ของระบบจำหน่าย	ชนิดของลูกถ้วยที่ใช้ใช้งาน
1. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ (ระดับความเปรอะเปื้อนเล็กน้อย) เช่น - บริเวณทั่วไป - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลเกินกว่า 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง	- ลูกถ้วยไลน์โพสต์ไทพ์ แบบ 57-2 ตาม มอก. 1077 - ลูกถ้วยพิน โพสต์ไทพ์ แบบ 56/57-2 ตาม มอก. 1251 - ลูกถ้วยแขวนแบบ ก (แบบ 52-1) ตาม มอก. 354 จำนวน 3 ลูกต่อชุด
2. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับปานกลาง (ระดับความเปรอะเปื้อนเล็กน้อย) เช่น - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจากโรงงาน อุตสาหกรรมในระดับปานกลาง - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกินกว่า 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง	- ลูกถ้วยพิน โพสต์ไทพ์ แบบ 56/57-2 ตาม มอก. 1251 - ลูกถ้วยแขวน แบบ ก. (แบบ 52-1) ตาม มอก. 354 จำนวน 4 ลูกต่อชุด
3. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับรุนแรง (ระดับความเปรอะเปื้อนสูง) เช่น - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจากโรงงาน อุตสาหกรรมในระดับรุนแรง - บริเวณที่อยู่ชายฝั่งทะเลและมีลมทะเลพัดถึงรุนแรง	- ลูกถ้วยพิน โพสต์ไทพ์ แบบ 56/57-3 ตาม มอก. 1251 - ลูกถ้วยแขวน แบบ ก. (แบบ 52-1) ตาม มอก. 354 จำนวน 5 ลูกต่อชุด

หมายเหตุ ควรหลีกเลี่ยงการใช้สายเคเบิลอากาศ และสายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดในพื้นที่ที่มีปัญหามลภาวะรุนแรง ควรใช้เคเบิลอากาศชนิดพันเกลียวหรืออย่างอื่นแทน

ตารางที่ 2.2 การเลือกลูกถ้วยกับพื้นที่ที่มีมลภาวะระดับแตกต่างกันสำหรับระบบจำหน่าย 33 kV

ลักษณะพื้นที่ของระบบจำหน่าย	ชนิดของลูกถ้วยที่ใช้ใช้งาน
<p>1. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ (ระดับความเปรอะเปื้อนเล็กน้อย) เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณทั่วไป - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลเกินกว่า 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง 	<ul style="list-style-type: none"> - ลูกถ้วยไลน์โพลีไทพ์ แบบ 57-3 ตาม มอก. 1077 - ลูกถ้วยพินโพลีไทพ์ แบบ 56/57-3 ตาม มอก. 1251 - ลูกถ้วยแขวนแบบ ง. (แบบ 52-4) ตาม มอก. 354 จำนวน 3 ลูกต่อชุด
<p>2. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับปานกลาง (ระดับความเปรอะเปื้อนปานกลาง) เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจาก โรงงานอุตสาหกรรมในระดับปานกลาง - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง 	<ul style="list-style-type: none"> - ลูกถ้วยแบบพ็อก 33 kV - ลูกถ้วยพินโพลีไทพ์ แบบ 56/57-4 ตาม มอก. 1251 - ลูกถ้วยแขวน แบบ ง. (แบบ 52-4) ตาม มอก. 354 จำนวน 4 ลูก
<p>3. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับรุนแรง (ระดับความเปรอะเปื้อนสูง) เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจาก โรงงานอุตสาหกรรมในระดับรุนแรง - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงรุนแรง 	<ul style="list-style-type: none"> - ลูกถ้วยแบบพ็อก 33 kV ที่เคลือบด้วย RTV SILICONE - ลูกถ้วยพินโพลีไทพ์แบบ 56/57-4 ตาม มอก. 1251 ที่เคลือบด้วย RTV SILICONE - ลูกถ้วยไลน์โพลีไทพ์แบบผิวเคลือบสารกึ่งตัวนำ (ลูกถ้วย RESISTANCE GRADED) โดยพิจารณาความเหมาะสมเป็นแห่งๆไป - ลูกถ้วยแขวน แบบ ง. (แบบ 52-4) ตาม มอก. 354 จำนวน 5 ลูก

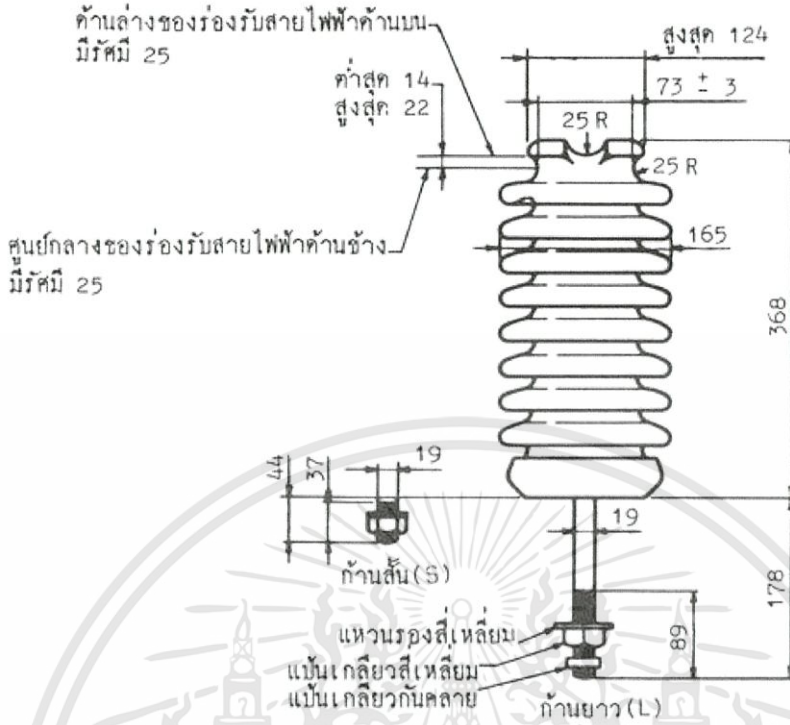
หมายเหตุ ควรหลีกเลี่ยงการใช้สายเคเบิลอากาศ และสายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดในพื้นที่ที่มีปัญหามลภาวะรุนแรง ควรใช้เคเบิลอากาศชนิดพันเกลียวหรืออย่างอื่นแทน

2.3.4 ลักษณะมิติและคุณสมบัติของลูกถ้วยที่มีใช้งานในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะใช้ลูกถ้วยฉนวน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ซึ่งจะประกอบด้วยคุณสมบัติทางมิติและเกณฑ์ความคาดเคลื่อน คุณสมบัติพิกัดทางกลและคุณสมบัติพิกัดทางไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 ลูกถ้วยฉนวนไลน์โพลีโพรพิลีน แบบ 57-3 ตาม มอก. 1077 – 2535



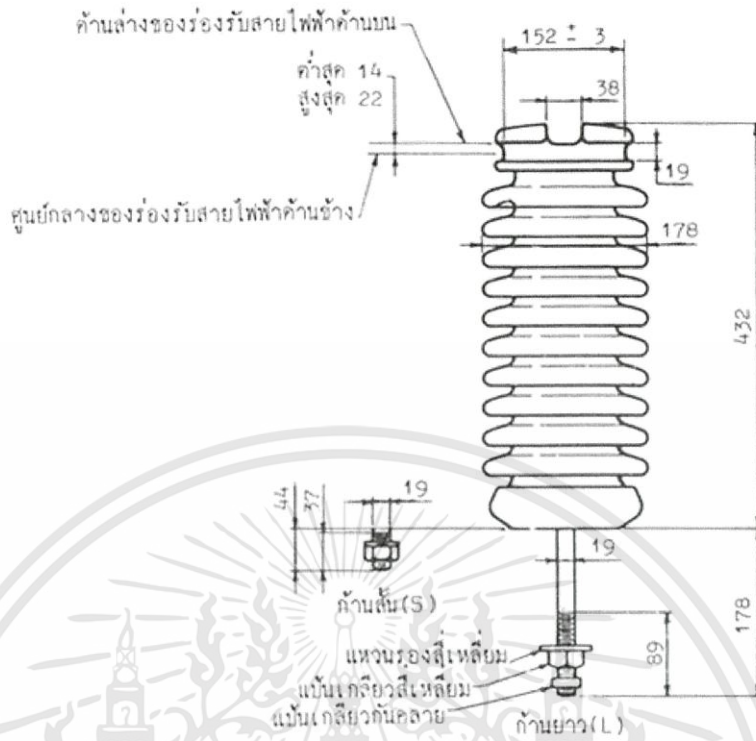
รูปที่ 2.9 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยไลน์โพลีโพรพิลีน แบบ 57-3

ตารางที่ 2.4 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยไลน์โพลีโพรพิลีน แบบ 57-3

พิกัดทางมิติ	
ระยะรั้ว , mm	737
ระยะอาร์คแห้ง , mm	311
พิกัดทางกล	
ความแข็งแรงทางขึ้น (Cantilever strength) , kN	12.5
ความทนโหลดทางขึ้น , kN	5
พิกัดทางไฟฟ้า	
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV	125
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV	100
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV	210
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV	260
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ	
แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV	30
แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μV	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.3 ลูกถ้วยฉนวนไลน์โพลีไทป์ แบบ 57-4 ตาม มอก. 1077 – 2535



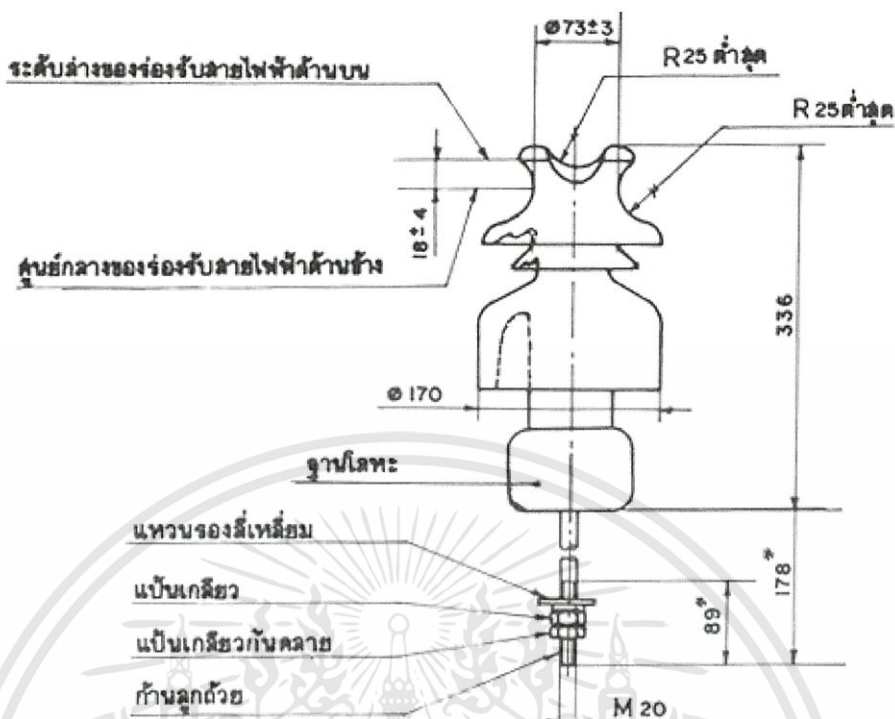
รูปที่ 2.10 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแท่งแบบ 57-4

ตารางที่ 2.5 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยไลน์โพลีไทป์ แบบ 57-4

พิกัดทางมิติ ต่ำสุด	
ระยะร้ว , mm	1015
ระยะอาร์คแห้ง , mm	368
พิกัดทางกล	
ความแข็งแรงทางขึ้น (Cantilever strength) , kN	12.5
ความทน โหลดทางขึ้น , kN	5
พิกัดทางไฟฟ้า	
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV	150
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV	125
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV	255
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV	340
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ	
แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV	44
แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.4 ลูกถ้วยฉนวนพินโทสท์ไทป์ แบบ 56/57-2 ตาม มอก. 1251 – 2537 [9]



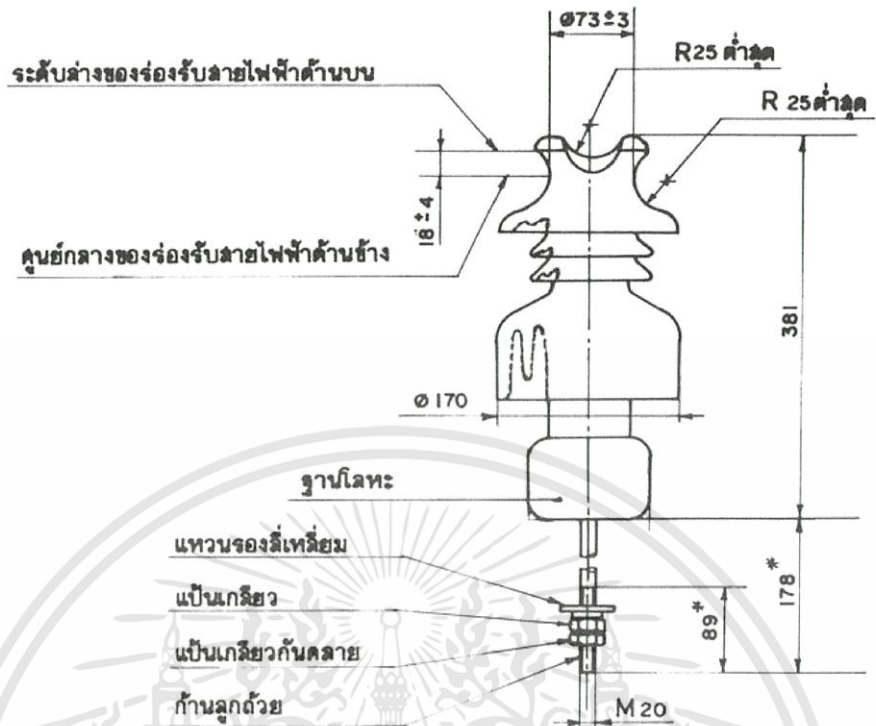
รูปที่ 2.11 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยพิน โทสท์ แบบ 56/57-2

ตารางที่ 2.6 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยพิน โทสท์ แบบ 56/57-2

พิกัดทางมิติ ต่ำสุด	
ระยะร้าว , mm	534
ระยะร้าวป้องกัน , mm	267
พิกัดทางกล	
ความแข็งแรงทางยื่น (Cantilever strength) , kN	12.5
ความทนโหลดทางยื่น , kN	5
พิกัดทางไฟฟ้า	
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV	110
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV	80
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV	180
แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV	205
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ	
แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV	22
แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.5 ลูกถ้วยฉนวนพินโพลท์ไทพ์ แบบ 56/57-3 ตาม มอก. 1251 – 2537



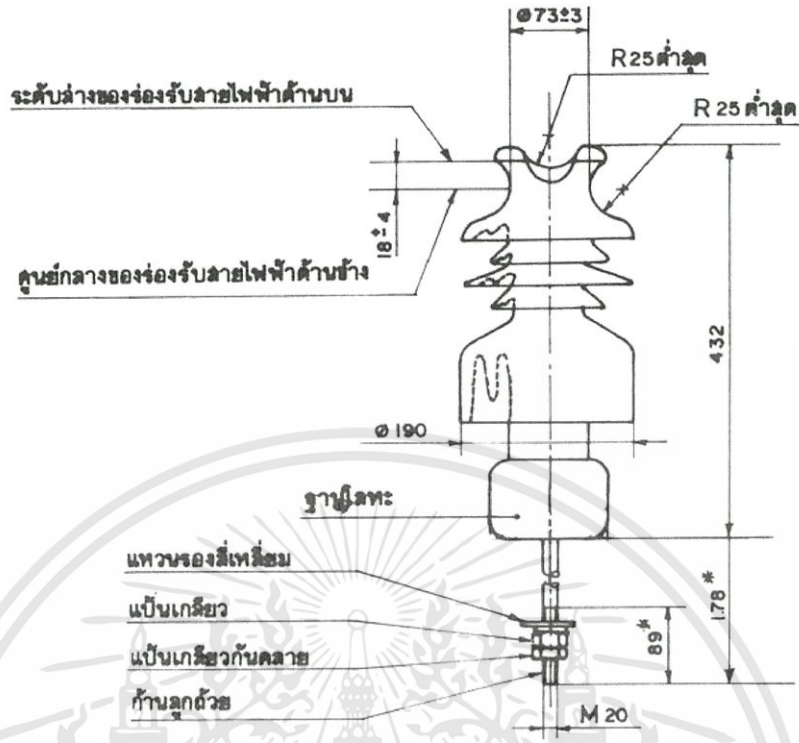
รูปที่ 2.12 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยพิน โพลท์ แบบ 56/57-3

ตารางที่ 2.7 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยพิน โพลท์ แบบ 56/57-3

พิกัดทางมิติ ต่ำสุด	
ระยะร้าว , mm	699
ระยะร้าวป้องกัน , mm	356
พิกัดทางกล	
ความแข็งแรงทางขึ้น (Cantilever strength) , kN	12.5
ความทนโหลดทางขึ้น , kN	5
พิกัดทางไฟฟ้า	
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV	120
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV	85
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV	210
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV	230
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ	
แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV	30
แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.6 ลูกถ้วยฉนวนพินโทสท์ไทป์ แบบ 56/57-4 ตาม มอก. 1251 – 2537



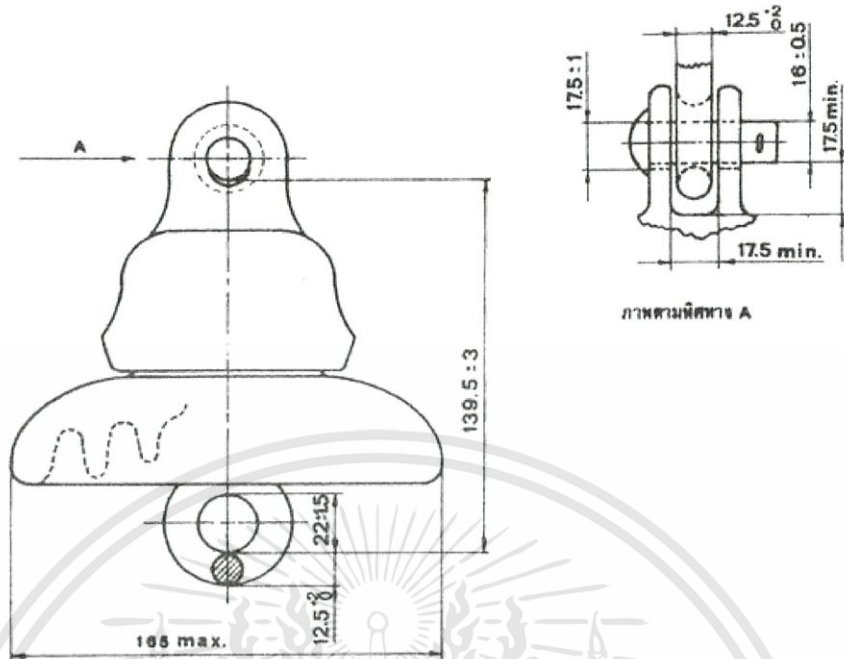
รูปที่ 2.13 รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยพิน โทสท์ แบบ 56/57-4

ตารางที่ 2.8 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยพิน โทสท์ แบบ 56/57-4

พิกัดทางมิติ ต่ำสุด	
ระยะรั้ว , mm	953
ระยะรั้วป้องกัน , mm	483
พิกัดทางกล	
ความแข็งแรงทางขึ้น (Cantilever strength) , kN	12.5
ความทนโหลดทางขึ้น , kN	5
พิกัดทางไฟฟ้า	
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV	140
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV	95
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV	225
แรงดันไฟฟ้าวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV	300
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ	
แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV	44
แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.7 ลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ก (แบบ 52-1) ตาม มอก. 354 – 2528 [10]



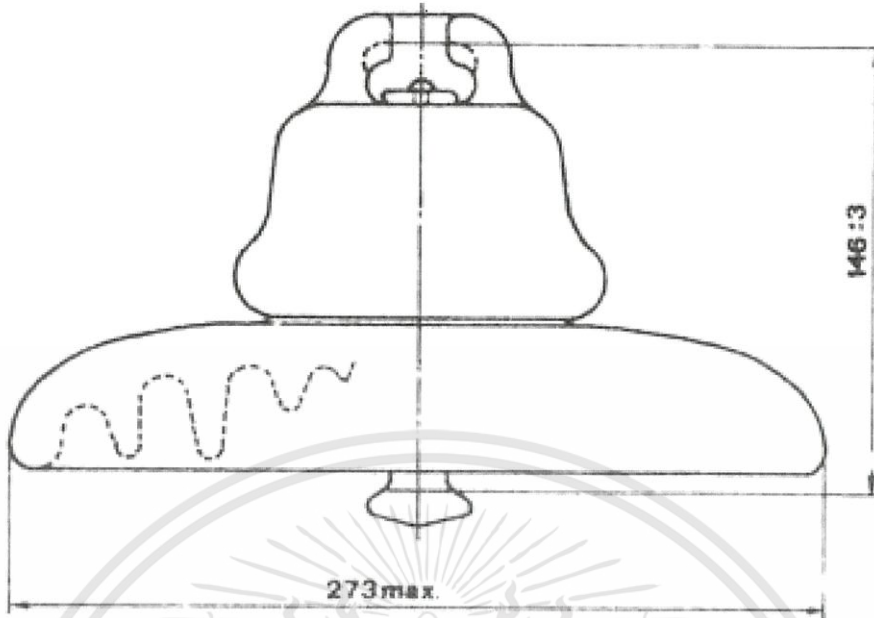
รูปที่ 2.14 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ก (แบบ 52-1)

ตารางที่ 2.9 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ก (แบบ 52-1)

พิกัดทางมิติ ต่ำสุด ระยะรั้ว , mm	178
พิกัดทางกล ความแข็งแรงร่วมทางกลและทางไฟฟ้า , kN ความแข็งแรงต่อการกระทบทางกล , cm-N ความทนแรงดึง (Tension proof) , kN ความแข็งแรงต่อ โหลด-เวลา , kN	44.48 507.37 22.24 26.69
พิกัดทางไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV แรงดันไฟฟ้าเจาะผ่านความถี่ต่ำ , kV	60 30 100 100 80
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	7.5 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.8 ลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ค (แบบ 52-3) ตาม มอก. 354 – 2528



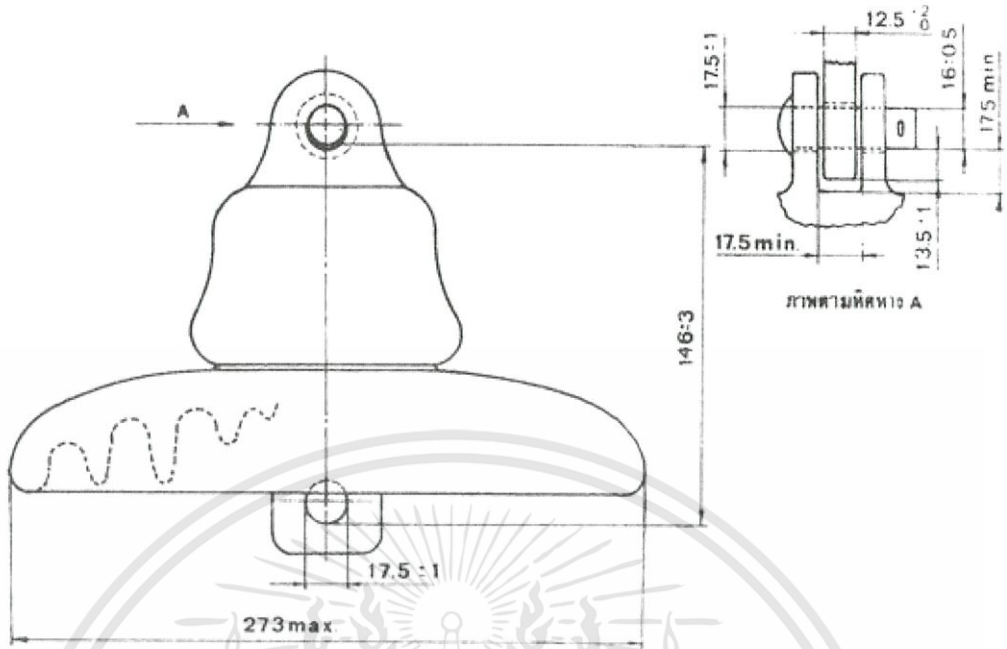
รูปที่ 2.15 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ค (แบบ 52-3)

ตารางที่ 2.10 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ค (แบบ 52-3)

พิกัดทางมิติ ระยะรั้ว , mm	292
พิกัดทางกล ความแข็งแรงร่วมทางกลและทางไฟฟ้า , kN ความแข็งแรงต่อการกระทบทางกล , cm-N ความทนแรงดึง (Tension proof) , kN ความแข็งแรงต่อ โหลด-เวลา , kN	66.72 621.34 33.36 44.48
พิกัดทางไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV แรงดันไฟฟ้าเจาะผ่านความถี่ต่ำ , kV	80 50 125 130 110
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	10 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.9 ลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ง (แบบ 52-4) ตาม มอก. 354 – 2528



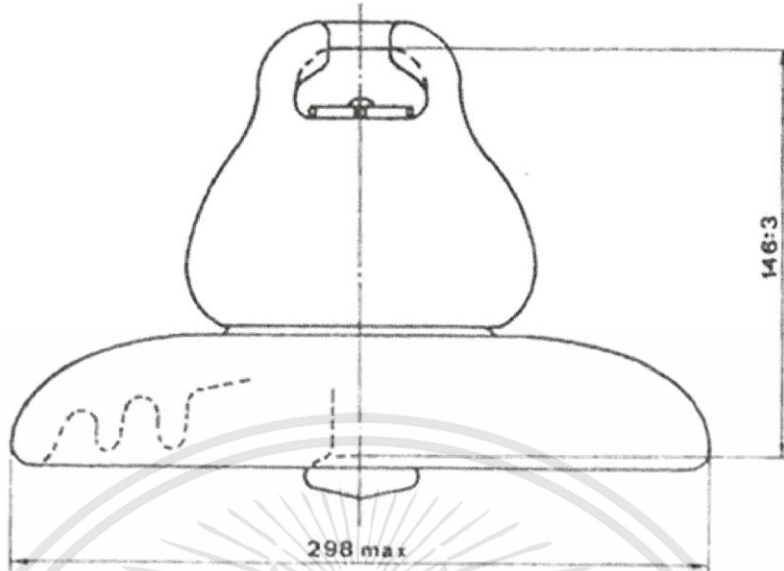
รูปที่ 2.16 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ง (แบบ 52-4)

ตารางที่ 2.11 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลนแบบ ง (แบบ 52-4)

พิกัดทางมิติ ระยะรั้ว , mm	292
พิกัดทางกล ความแข็งแรงรวมทางกลและทางไฟฟ้า , kN ความแข็งแรงต่อการกระทบทางกล , cm-N ความทนแรงดึง (Tension proof) , kN ความแข็งแรงต่อโหด-เวลา , kN	66.72 621.34 33.36 44.48
พิกัดทางไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV แรงดันไฟฟ้าเจาะผ่านความถี่ต่ำ , kV	80 50 125 130 110
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	10 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.10 ลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ ง (แบบ 52-4) ตาม มอก. 354 – 2528



รูปที่ 2.17 รูปร่างมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ ง (แบบ 52-8)

ตารางที่ 2.12 ค่าพิกัดต่างๆ ของลูกถ้วยแขวนพอร์ชเลนแบบ ง (แบบ 52-8)

พิกัดทางมิติ ต่ำสุด ระยะรั้ว , mm	279.5
พิกัดทางกล ความแข็งแรงร่วมทางกลและทางไฟฟ้า , kN ความแข็งแรงต่อการกระทบทางกล , cm-N ความทนแรงดึง (Tension proof) , kN ความแข็งแรงต่อโหด-เวลา , kN	160.13 1016.73 80.06 106.75
พิกัดทางไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวเปียกความถี่ต่ำ , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางบวก , kV แรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตทางลบ , kV แรงดันไฟฟ้าเจาะผ่านความถี่ต่ำ , kV	80 50 125 130 110
พิกัดทางแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุ แรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่ต่ำ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยเทียบกับดิน , kV แรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1000 kHz , μ V	10 50

2.4 การวาทไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน

2.4.1 แรงดันวาทไฟตามผิวกับแรงดันเจาะทะลุของลูกถ้วยฉนวน [4]

โดยความเป็นจริงลูกถ้วยฉนวนที่ใช้ติดตั้งยึดหรือรองรับตัวนำสายไฟฟ้า ที่มีศักย์ไฟฟ้า อยู่ในบรรยากาศ อากาศที่อยู่โดยรอบลูกถ้วยมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าดีกว่าผิวลูกถ้วยฉนวน ถึงแม้ว่าผิวลูกถ้วยฉนวนจะสะอาดก็ตาม ยิ่งถ้าผิวลูกถ้วยเปราะเปื้อนเพราะฝุ่นละออง หรือไอน้ำ ทะเลหรือสารเคมีด้วยแล้ว ยิ่งมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าอากาศ และถ้ามีความชื้นผิว ลูกถ้วยที่เปราะเปื้อนนั่นก็จะมีสภาพนำไฟฟ้ามากขึ้น เกิดกระแสรั่วตามผิวลูกถ้วยได้ ด้วยเหตุนี้เอง จึงมีการเพิ่มระยะรั้วของผิวลูกถ้วย โดยการทำเป็นปีกยื่นออกจากแนวแกน และแต่ละปีกก็ทำเป็น ครีบบนเพิ่มระยะรั้วป้องกันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการทำเป็นปีกให้กว้างขึ้นก็มีขีดจำกัด เพราะการ ออกแบบลักษณะลูกถ้วยจะต้องคำนึงความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแก่เนื้อฉนวนด้วย

ในกรณีของลูกถ้วยแขวน และลูกถ้วยก้านตรง ซึ่งมีความหนาของของเนื้อฉนวนน้อยกว่าระยะอาร์คในอากาศหลายเท่า จะต้องให้เกิดวาทไฟตามผิวง่ายกว่าการเกิดเจาะทะลุผ่านเนื้อ ฉนวนเพราะการเจาะทะลุจะทำให้เสียสภาพการฉนวนอย่างสมบูรณ์ การเกิดวาทไฟตามผิวจะทำให้ เสียสภาพการฉนวนชั่วคราวแล้วก็คืนสู่สภาพเดิมได้

2.4.2 กระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวน [11]

กระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยฉนวนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการประเมินความ เหมาะสมในการใช้งานลูกถ้วยฉนวน กระแสรั่วไหลเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเกิดวาทไฟตามผิว ของลูกถ้วยฉนวนเกิดได้ง่ายขึ้น การที่ลูกถ้วยฉนวนมีกระแสรั่วไหลอยู่ต่อเนื่องตลอดจะทำให้ผิว ของลูกถ้วยฉนวน ได้รับความเสียหายโดยเฉพาะลูกถ้วยยางซิลิโคนและลูกถ้วยประเภทวัสดุผสม (Composite insulator) จะทำให้คุณสมบัติไม่ชอบน้ำลดลง และการกระจายของสนามไฟฟ้าตามผิว ลูกถ้วยฉนวนจะเปลี่ยนแปลงไป การใช้งานลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำจะมีกระแสรั่วไหล เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ขนาดของกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่ากระแสรั่วไหลสำหรับลูกถ้วย ฉนวนชนิดอื่น ๆ กระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดพลังงานสูญเสียอย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อุปกรณ์ประกอบที่ต่อร่วมกับลูกถ้วยฉนวนร้อนขึ้นอีกด้วย จากผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับกระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวน สำหรับ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกระแสรั่วไหลบนผิวลูกถ้วยฉนวนประกอบด้วย

- ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำลูกถ้วยฉนวน
- คุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำของวัสดุที่ใช้ทำลูกถ้วยฉนวน จากรายงานการวิจัย พบว่าในระยะแรกของการติดตั้งใช้งานลูกถ้วยยางซิลิโคน คุณสมบัติไม่ชอบน้ำของ ลูกถ้วยยางซิลิโคน มีค่าคงที่ในทุกสภาพเปราะเปื้อน

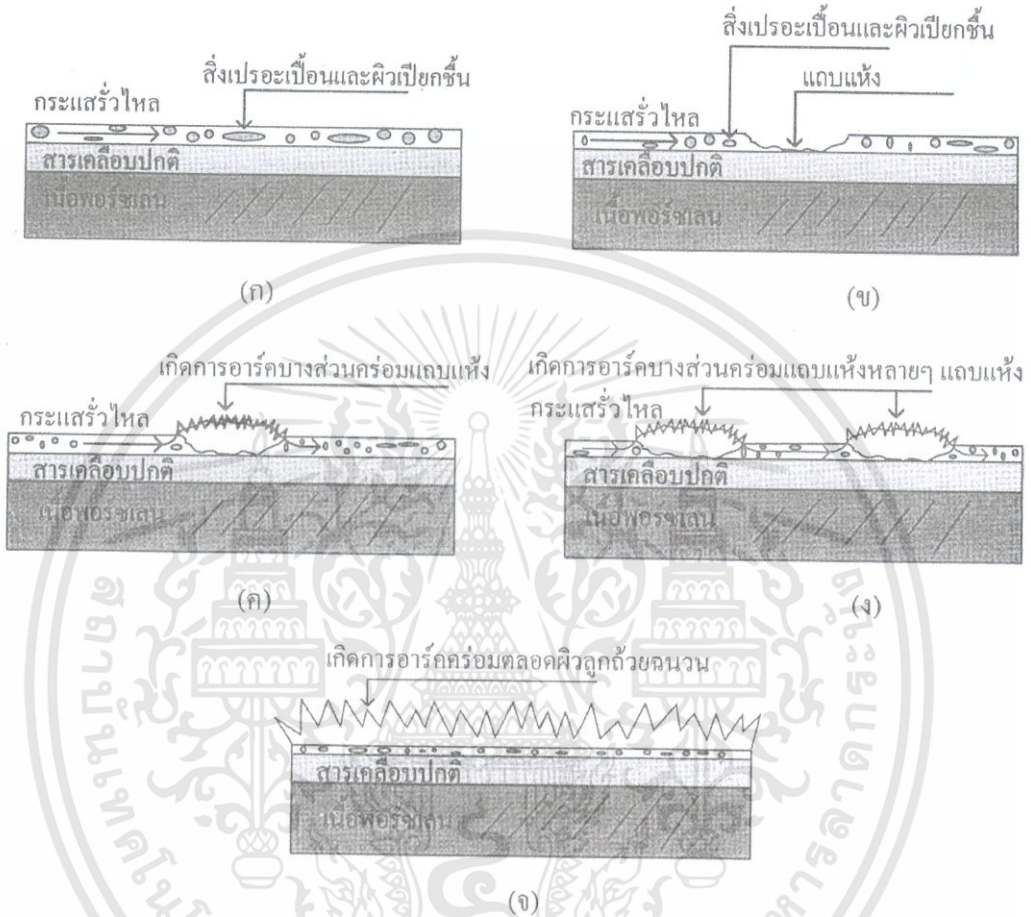
- ปริมาณของสิ่งเปราะเปื้อนที่สะสมอยู่บนผิวลูกถ้วยฉนวน ในกรณีที่เป็นสิ่งเปราะเปื้อนประเภทละลายน้ำได้ เมื่อสิ่งเปราะเปื้อนดังกล่าวเปียกชื้น ความต้านทานผิวของลูกถ้วยฉนวนจะลดลง กระแสรั่วไหลก็จะเพิ่มขึ้น สิ่งเปราะเปื้อนที่ไม่ละลายน้ำไม่ได้เป็นสาเหตุให้กระแสรั่วไหลมีขนาดเพิ่มขึ้นแต่จะช่วยให้สิ่งเปราะเปื้อนประเภทละลายน้ำได้เกาะอยู่ตามผิวของลูกถ้วยฉนวน
- แรงดันของระบบ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มของแรงดันใช้งานของลูกถ้วยฉนวน เช่น ระบบ 780 kV ขนาดค่าขดของกระแสรั่วไหลประมาณ 800 mA และค่าขดอาจจะมีค่าถึง 1.4 A ก่อนที่ลูกถ้วยฉนวนจะเกิดวาวไฟตามผิว ในขณะที่ระบบ 250 kV จะมีค่าขดของกระแสรั่วไหลประมาณ 660 mA ก่อนการเกิดวาวไฟตามผิว
- ลักษณะแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วกระแสรั่วไหลจะขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติแวดล้อมที่ลูกถ้วยฉนวนติดตั้งใช้งานอยู่ เช่น ความชื้นและการเกิดฝนตก สภาพหมอก เป็นต้น
- กระแสรั่วไหลในสภาวะปกติจะเป็นกระแสคาปาซิทีฟ (Capacitive current) เมื่อลูกถ้วยฉนวนเปราะเปื้อน และเปียกชื้น ขนาดของกระแสรั่วไหลก็จะเพิ่มขึ้นและกลายเป็นกระแสรีซิสทีฟ (Resistive current)

2.4.3 การเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากการใช้งานในบริเวณเปราะเปื้อน [11]

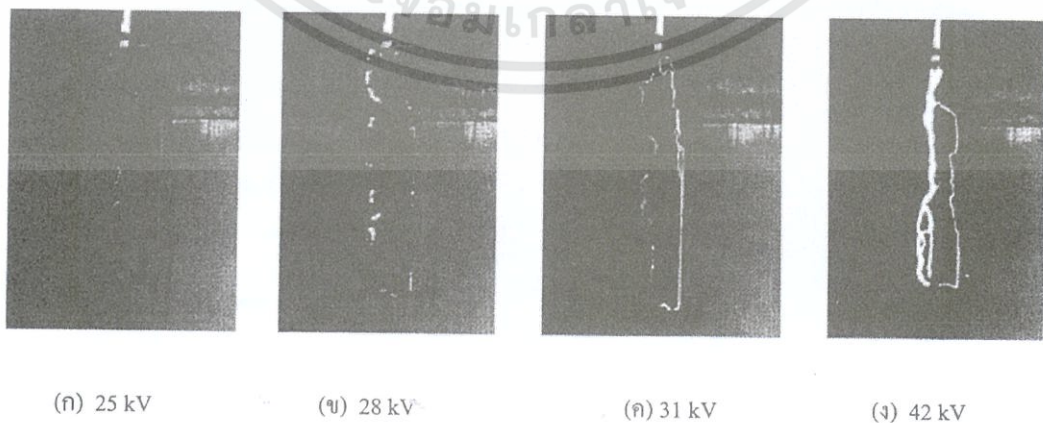
การศึกษากลไกการเกิดวาวไฟตามผิวเนื่องจากการใช้งานในบริเวณเปราะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวนได้มีการศึกษามานานกว่า 40 ปี แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะเข้าใจได้อย่างถ่องแท้ ความพยายามที่จะทำความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวจากอดีตที่ผ่านมา เริ่มต้นจากการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงกายภาพของการเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนและได้มีความพยายามที่จะเสนอรูปแบบของสมการและโมเดลขึ้นมาเพื่อที่จะอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าว

กลไกการเกิดวาวไฟตามผิวเริ่มจาก กระแสรั่วไหลทำให้เกิดความร้อนขึ้น อุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดผิวลูกถ้วย โดยจะเกิดขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแส บริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสสูงเช่น บริเวณคอคอดจะเกิดความร้อนสูงกว่าบริเวณอื่นทำให้ผิวของลูกถ้วยฉนวนบริเวณนั้นแห้งก่อนมีลักษณะเป็นส่วนเล็ก ๆ แคบ ๆ มีความกว้างประมาณ 1-2 mm เรียกว่าแถบแห้ง (Dry band) บริเวณแถบแห้งนี้มีความต้านทานสูง ไม่สามารถที่จะนำกระแสได้ ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดจะตกคร่อมที่แถบแห้ง ถ้าความคงทนต่อความเป็นฉนวนของอากาศบริเวณแถบแห้งมีค่าน้อยกว่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมแถบแห้ง จะเกิดการเบรกดาวน์ของอากาศ คร่อมแถบแห้งขึ้น เรียกว่า การเกิดดิซชาร์จบางส่วน (Partial discharge) กระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นอาจทำให้แถบแห้งขยายออกไป ถ้าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมแถบ

แห่งนี้มีค่าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการคายประจุต่อไปอีกการเกิดคายประจุบางส่วนจะหยุดลงแต่ถ้าการเบรกดาวน์ของแถบแห้งหลายๆส่วนที่อยู่ใกล้กันแล้วเกิดพัฒนาการจนเชื่อมต่อกันได้ ก็จะทำให้เกิดวาบไฟตามผิวตกรวมตลอดผิวลูกถ้วยจนวน ขั้นตอนของการเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยจนวนเนื่องจากสิ่งประอะเปื้อนแสดงในรูปที่ 2.18 และ 2.19



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนของการเกิดวาบไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งประอะเปื้อน



รูปที่ 2.19 พัฒนาการของการเกิดวาบไฟตามผิวบริเวณแถบแห้งไปสู่การวาบไฟตามผิวทั้งลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแบ่งระดับความเปรอะเปื้อน

2.5.1 ประเภทของสิ่งเปรอะเปื้อน [11]

การแบ่งประเภทของสิ่งเปรอะเปื้อน โดยทั่วไปแล้วนิยมแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามสภาพแวดล้อมที่ถูกด้วยจนวนติดตั้งใช้งาน ได้แก่ สิ่งเปรอะเปื้อนจากทะเล สิ่งเปรอะเปื้อนจากอุตสาหกรรม สิ่งเปรอะเปื้อนจากทะเลทราย และสิ่งเปรอะเปื้อนจากบริเวณอื่นๆ

- สิ่งเปรอะเปื้อนจากทะเล ได้แก่ พวกเกลือทะเล (Sea salt ; NaCl) การสะสมของสิ่งเปรอะเปื้อนเหล่านี้บนผิวลูกถ้วยจนวน เกิดขึ้นได้สองลักษณะด้วยกันคือ การสะสมแบบรวดเร็ว (Rapid pollution) เกิดขึ้นในกรณีที่พายุขนาดใหญ่พัดหอบเอาเกลือทะเลเข้ามา เช่น พายุไต้ฝุ่น เป็นต้น และการสะสมแบบธรรมดา (Ordinary pollution) เป็นการสะสมที่ใช้เวลาก่อนข้างนานเกิดจากลมทะเลที่พัดเป็นฤดูกาลตามปกติแล้วระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนจะลดลงไปเมื่อลึกลงไปจากชายฝั่งทะเล อย่างไรก็ตามอาจจะพบเกลือทะเลที่ระยะห่างจากชายฝั่งทะเลถึง 100 km ได้
- สิ่งเปรอะเปื้อนจากอุตสาหกรรม ลูกถ้วยจนวนที่ใช้ในบริเวณเขตอุตสาหกรรมจะเปรอะเปื้อนควันและเขม่าที่ปล่อยออกมาจากปล่องท่อไอเสีย ระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนชนิดนี้ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อห่างไกลจากโรงงานมากขึ้น สิ่งเปรอะเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิด มีส่วนผสมและองค์ประกอบทางด้านเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรมนั้นๆ
- สิ่งเปรอะเปื้อนจากทะเลทราย ทะเลทรายเป็นบริเวณที่สิ่งเปรอะเปื้อนสามารถที่จะสะสมบนลูกถ้วยได้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากปริมาณของฝนที่ตกเพียงเล็กน้อย ทะเลทรายที่อยู่ห่างไกลออกไปจากชายฝั่งทะเล จะมีสิ่งเปรอะเปื้อนที่คล้ายๆกับสิ่งเปรอะเปื้อนประเภทฝุ่น แต่สำหรับทะเลทรายที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลนั้นนอกจากสิ่งเปรอะเปื้อนประเภทฝุ่นแล้วยังมีสิ่งเปรอะเปื้อนประเภทเกลือทะเลผสมอยู่ด้วย
- สิ่งเปรอะเปื้อนจากบริเวณอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไปแล้ว เช่น เถ้า หรือ ฝุ่นภูเขาไฟ หรือ ฝุ่น อาจเกิดขึ้นโดยการฉัดพ่นให้กับต้นไม้ พืช ผัก หรือ การเผาไหม้ของวัสดุต่างๆ นอกจากนี้แล้วอาจจะเน้นไปที่สิ่งเปรอะเปื้อนจากฝุ่น (Dust contamination) ที่พัดเอาทราย หรือฝุ่นที่เกิดจากดินไปเกาะติดลูกถ้วยจนวน ระดับความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อนจากฝุ่นค่อนข้างต่ำ องค์ประกอบของสิ่งเปรอะเปื้อนชนิดนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพพื้นที่

การแบ่งระดับความเปรอะเปื้อนตามมาตรฐาน IEC 815[12] แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตามสภาพพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 การแบ่งระดับของความเปราะเปื้อนตามสภาพพื้นที่

ระดับของความเปราะเปื้อน	ตัวอย่าง
1) เล็กน้อย (Light)	<ul style="list-style-type: none"> - บริเวณที่ปลอดภัยจากการประกอบอุตสาหกรรมและชุมชนที่มีอัตราการใช้เครื่องทำความร้อนปริมาณน้อย - บริเวณที่มีความหนาแน่นของอุตสาหกรรม หรือ ที่อยู่อาศัยน้อย โดยที่จะต้องเป็นบริเวณที่มีลมพัดผ่านหรือมีฝนตกบ่อย - บริเวณเขตเกษตรกรรม หรือบริเวณที่อยู่ใกล้ๆภูเขา พื้นที่ทั้งหมดเหล่านี้ จะต้องอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่น้อยกว่า 10-20 km และจะต้องไม่ได้รับผลจากลมทะเลโดยตรง
2) ปานกลาง (Medium)	<ul style="list-style-type: none"> - บริเวณเขตอุตสาหกรรมที่ไม่ได้มีการสร้างฝุ่นหรือควันออกมาและอาจจะเป็นบริเวณย่านชุมชนที่มีอัตราการใช้เครื่องทำความร้อนปานกลาง - บริเวณย่านชุมชนหรือเขตอุตสาหกรรมหนาแน่นแต่จะต้องมีลมพัดผ่านหรือฝนตกปรอยๆ - บริเวณที่มีลมทะเลพัดผ่าน ซึ่งจะต้องอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลพอสมควร
3) สูง (Heavy)	<ul style="list-style-type: none"> - เขตอุตสาหกรรมหนาแน่นหรือบริเวณชานเมืองขอบเมืองใหญ่ที่มีอัตราการใช้เครื่องทำความร้อนสูง - บริเวณที่ได้รับลมทะเลที่รุนแรงโดยตรงหรือชายฝั่งทะเล
4) สูงมาก (Very Heavy)	<ul style="list-style-type: none"> - บริเวณที่เป็นเขตรับฝุ่นควันจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยตรง โดยเฉพาะฝุ่นที่เป็น thick conductive deposit - บริเวณที่อยู่ใกล้ชายฝั่งมากๆ ซึ่งมีการรับเอาสิ่งเปราะเปื้อนที่พัดมาจากทะเลโดยตรงทะเลทรายที่มีโอกาสฝนตกน้อยมากจะต้องรับลมที่นำทรายและไอเกลือเข้ามา

- หมายเหตุ** - บริเวณเกษตรกรรมในข้อ 1 ถ้ามีการใช้ปุ๋ยโดยการฉีดพ่นหรือมีการเผาไหม้ของกากธัญพืชต่าง ๆ เมื่อมีลมพัดนำเอาสิ่งเหล่านั้นแพร่หลายกระจายออกไป ระดับความเปราะเปื้อนอาจจะอยู่ในระดับสูง
- บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลหรืออยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลในข้อ 2 หรือ 3 ระยะทางที่พิจารณาจะต้องขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของชายฝั่งทะเลและลักษณะของลมทะเลที่เกิดขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า ESDD (Equivalent Salt Deposit Density) คือ ปริมาณการสะสมของสิ่งเปรอะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยเทียบเท่ากับปริมาณของเกลือ (NaCl) เป็น mg/cm^2 ซึ่งจะทำให้ความนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้จากการนำเอาสิ่งเปรอะเปื้อนมาละลายน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน โดยมาตรฐานได้กำหนดระดับของค่า ESDD สรุปได้ตามตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 การแบ่งระดับของค่าความเปรอะเปื้อน

ระดับของความเปรอะเปื้อน	ESDD, mg/cm^2		
	CIGRE [14]	IEEE [15]	IEC [12]
ปกติ	0.0075-0.015		
น้อยมาก	0.015-0.03	0.03	
เล็กน้อย	0.03-0.06	0.03-0.06	0.03-0.06
ปานกลาง	0.06-0.12	0.06-0.10	0.10-0.20
สูง	0.12-0.24	>0.10	0.30-0.60
สูงมาก	0.24-0.48		>0.60
สูงมากพิเศษ	>0.48		

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งระดับความเปรอะเปื้อน ตามข้อกำหนดมาตรฐานวิธีการตรวจวัดและคำนวณค่า ESDD ของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ภายใน กฟภ. [16] ดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 การแบ่งระดับของค่าความเปรอะเปื้อนตามมาตรฐานของ กฟภ.

Level	Description	ESDD (mg/cm^2)
1	Very light	0 – 0.03
2	Light	0.03 – 0.06
3	Moderate	0.06 - 0.10
4	Heavy	> 0.10

2.6 แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$) [11]

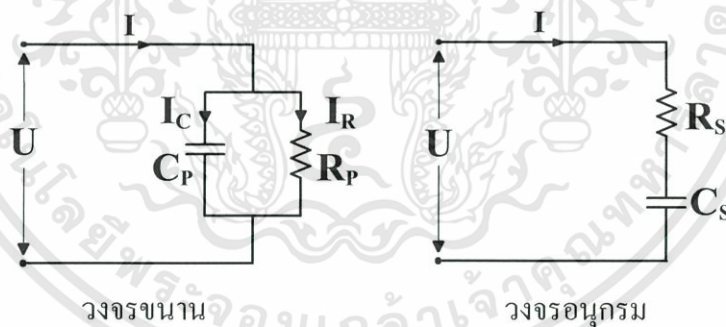
การใช้งานฉนวนในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณา ค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าจะเป็นดัชนีชี้วัดตัวหนึ่งของอายุการใช้งานฉนวน ค่าแฟกเตอร์สูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการที่ฉนวนไม่ได้เป็นฉนวนบริสุทธิ์ เมื่อฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้ามีผลให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากมีกระแสรั่วไหลผ่านฉนวน

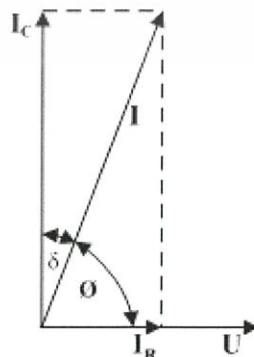
2. ค่าความสูญเสียเนื่องจากพฤติกรรมการมีขั้ว ฉนวนโดยสภาวะปกตินั้น โมเลกุลของฉนวนจะดำรงอยู่อย่างอิสระ เมื่อฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของโมเลกุลจะแยกออกจากกันและประพฤติเสมือน ไดโพลที่มีขนาดของประจุเท่ากันแต่มีขั้วตรงกันข้าม แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากระทำต่อไดโพลให้เกิดการปรับทิศทางให้วางตัวในแนวสนามไฟฟ้า ในกรณีที่ฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับไดโพลต่อเกิดการเรียงตัวสลับที่ไปมาตลอดเวลา ซึ่งจะก่อให้เกิดความสูญเสียในรูปของความร้อน

3. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการเกิดดิซชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน การเกิดดิซชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวนจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เนื้อฉนวนไม่ได้เป็นเนื้อเดียวสมบูรณ์ทั้งหมด (Non homogeneous) ภายในเนื้อฉนวนอาจมีโพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอมรวมอยู่ด้วย โพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอมจะมีค่าความจุไฟฟ้าและค่าความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวน์ต่ำกว่าเนื้อฉนวน เมื่อฉนวนได้รับแรงดันไฟฟ้าก็จะเกิดการเบรกดาวน์ขึ้นใน โพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอม กระแสดิซชาร์จจะอยู่ในโพรงอากาศ เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนชนผนังโพรง เกิดปฏิกิริยาเคมีและความร้อนขึ้น การดิซชาร์จบางส่วนดังกล่าวภายในเนื้อฉนวนจะทำให้อายุการใช้งานของฉนวนลดลง

วงจรสมมูลของฉนวน แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ วงจรขนาน RC หรือวงจรอนุกรม RC โดยที่ R แทนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในฉนวน และ C แทนคุณสมบัติของฉนวนที่สามารถเก็บประจุและพลังงานไว้ได้ในรูปสนามไฟฟ้า สำหรับวงจรสมมูลของฉนวนแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของฉนวน



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแสดงดังรูปที่ 2.21 เมื่อ I_R คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน และ I_C คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ โดยกำหนดให้ δ เป็นมุมระหว่าง I กับ I_C ซึ่งโดยปกติแล้วมุม δ เป็นมุมที่มีค่าน้อย ความสัมพันธ์ของกำลังสูญเสียในฉนวนแสดงดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$\begin{aligned} P_d &= UI \cos \phi \\ &= UI \sin \delta \end{aligned} \quad (2.1)$$

เนื่องจาก $\sin \delta = \tan \delta$ เมื่อ δ มีค่าน้อย ๆ ดังนั้น

$$P_d = UI \tan \delta \quad (2.2)$$

เมื่อ P_d คือ กำลังสูญเสียของฉนวน
 U คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมฉนวน
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านฉนวน
 δ คือ มุมระหว่าง I กับ I_C

2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) [17-19]

การศึกษาสิ่งซึ่งมีขนาดเล็ก ๆ หรือที่เรียกว่า จุลทรรศน์ (Microscopy) แม้แต่การศึกษาสิ่งต่าง ๆ ที่ต้องการแสดงผลของพื้นผิวอย่างละเอียดชัดเจนนั้น นับว่าเป็นศาสตร์หนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในวิทยาการหลายสาขา ในปัจจุบัน เราอาจขยายภาพวัตถุในระดับ 10 เท่า โดยใช้แว่นขยาย ระดับ 10 - 1,000 เท่า โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM , Optical Microscope) และระดับ 10 - 1,000,000 เท่า โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM , Scanning Electron Microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ต่างเป็นเครื่องมือที่งานด้านวิทยาศาสตร์แทบทุกสาขาจำเป็นต้องมีไว้ใช้งาน แต่ถึงแม้ว่าเครื่องมือทั้งสองจะใช้เพื่อการขยายภาพวัตถุต่าง ๆ เช่นเดียวกัน แต่หลักการทำงานต่างกันอย่างมาก กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) นั้น เป็นเครื่องมือที่มีการใช้งานมากกว่า เนื่องจากใช้งานง่าย สามารถศึกษาวัตถุ หรือตัวอย่างในบรรยากาศปกติ หรือในของเหลว เช่นน้ำ หรือน้ำมันได้ ภาพขยายของตัวอย่างที่ได้ จะให้สีจริงตามธรรมชาติและสามารถขยายภาพของตัวอย่างได้ตั้งแต่ 10 - 1,000 เท่า ซึ่งปัจจุบัน สามารถดูภาพผ่านจอทีวี หรือคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้พิมพ์ภาพ หรือเก็บข้อมูลเพื่อใช้ประมวลผล เช่น การวัดขนาดอนุภาคได้สะดวกขึ้น แต่ OM ก็มีข้อจำกัดที่ ความชัดลึก (Depth of field) ของภาพขยาย ยิ่งกำลังขยายมากขึ้น ระยะชัดลึกยิ่งน้อยลง ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีจุดเด่น คือ มีระยะชัดลึกมากกว่า และมีอำนาจแยกแยะเชิงระยะ (Spatial resolution) สูงกว่า กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ทั้งสอง ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งมีความยาวคลื่นต่างกันเป็นตัวสร้างภาพ กล้องจุลทรรศน์แบบแสงใช้คลื่นแสง (แสงที่ตามนุษย์มองเห็น) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 nm ทำให้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ไม่สามารถขยายวัตถุที่เล็กกว่า 0.2 ไมครอนได้ ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะใช้คุณสมบัติคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีอำนาจแยกแยะเชิงระยะได้มากถึง 0.2 nm และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบ ๆ ได้ ทำให้ได้ภาพที่มีความชัดลึกสูง นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ ได้เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) เพื่อให้ข้อมูลด้านองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้อีกด้วย

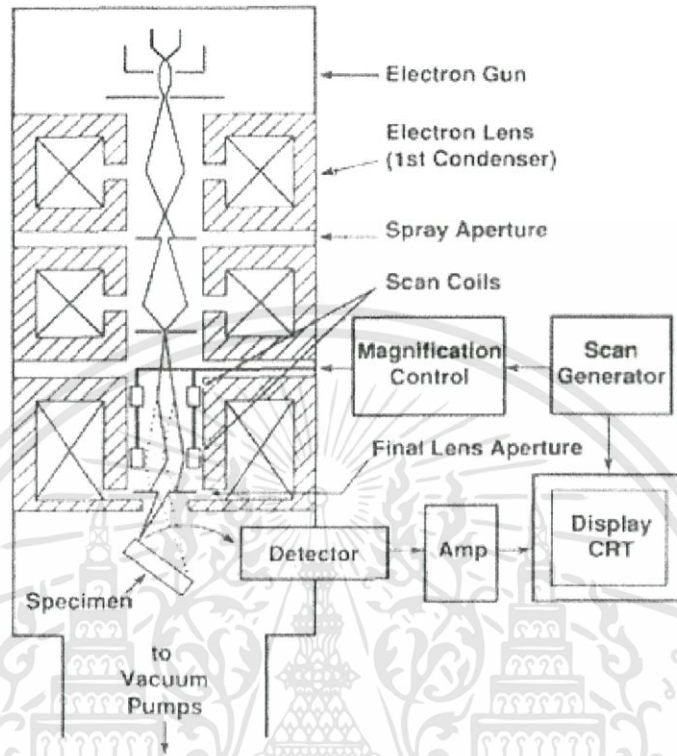
ส่วนประกอบและหลักการทำงาน โดยสังเขปของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงในภาพที่ 2.22 ส่วนบนสุด เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงตามคอลัมน์ซึ่งมีสภาพสุญญากาศด้วยความต่างศักย์เร่ง (Accelerating Voltage) ในช่วง 0 - 30 kV (บางเครื่องอาจทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุด หรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยแอปเพอร์เจอร์ (aperture) หรือช่องเปิด ซึ่งมีขนาดต่างๆกันตามลักษณะการใช้งาน

เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรก ที่เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์อิเล็กตรอน (Electron optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ชุดสุดท้าย จะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (Scan coil) ทำหน้าที่กราดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่างๆ ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดจะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (Detector) ชนิดต่างๆเหล่านั้น แล้วส่งไปประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอภาพต่อไป ตัวอย่างสัญญาณที่เกิดขึ้นนั้น ได้แก่

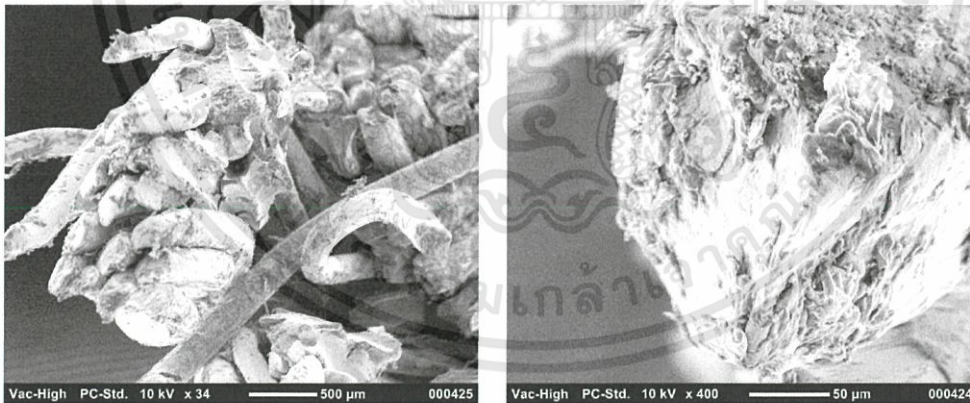
อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electrons , SE) สัญญาณชนิดนี้ จะให้ข้อมูล เกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เป็นสัญญาณที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพมากที่สุด ภาพที่ได้จากสัญญาณชนิดนี้ เรียกว่า ภาพอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image , SEI)

อิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Back Scattered Electrons , BSE) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีบนผิวของตัวอย่าง และแสดงให้เห็นลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิว

นอกเหนือจากสัญญาณเหล่านี้แล้ว ยังมีสัญญาณอีกหลายชนิดที่เกิดขึ้น เช่น เอ็กซ์เรย์ (X-Ray) , คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) , โอเจอิเล็กทรอนิกส์ (Auger electron) เป็นต้น ซึ่งสัญญาณแต่ละชนิดจะให้ข้อมูลของตัวอย่างแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.22 โครงสร้างและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



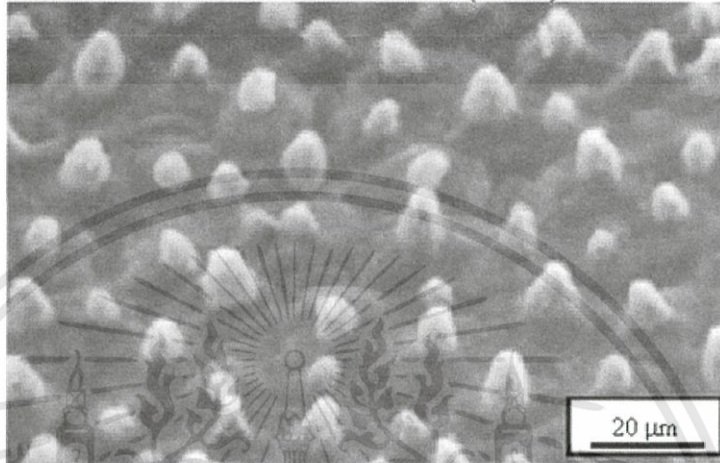
รูปที่ 2.23 ภาพตัวอย่างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นภาพของปลายเส้นลวด

2.8 คุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ [20 – 22]

ตัวอย่างทางธรรมชาติที่แสดงคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำได้อย่างชัดเจนคือบัว นักวิทยาศาสตร์เห็นว่า บัวมีคุณสมบัติทำความสะอาดพื้นผิวตนเองได้ (Self Cleaning) และหากสามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้จริงแล้วจะช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีทำความสะอาดได้ เมื่อศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดระดับกำลังขยาย 10,000 - 100,000 เท่า

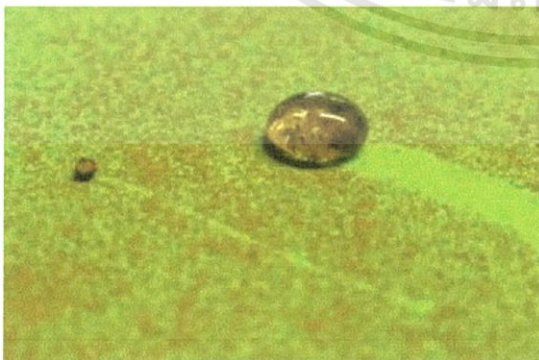
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า โครงสร้างระดับจุลภาคของใบบัวมีคุ่มขนาดประมาณ $5 - 20 \mu m$ จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วใบ แต่ละคุ่มอยู่ห่างกันราว $20 - 40 \mu m$ และคุ่มเหล่านั้นมีสารลักษณะเป็นไข (Wax) ปกคลุมอยู่ด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งธรรมชาติของสารประเภทไขจะมีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สังเกตได้จากรูปทรงหยดน้ำที่ถูกหยดลงไป หยดน้ำจะมีลักษณะนูน ซึ่งในทางตรงข้ามรูปทรงของหยดน้ำที่อยู่บนสารมีคุณสมบัติของการชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีลักษณะแผ่แบน



รูปที่ 2.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดง โครงสร้างพื้นผิวใบบัว

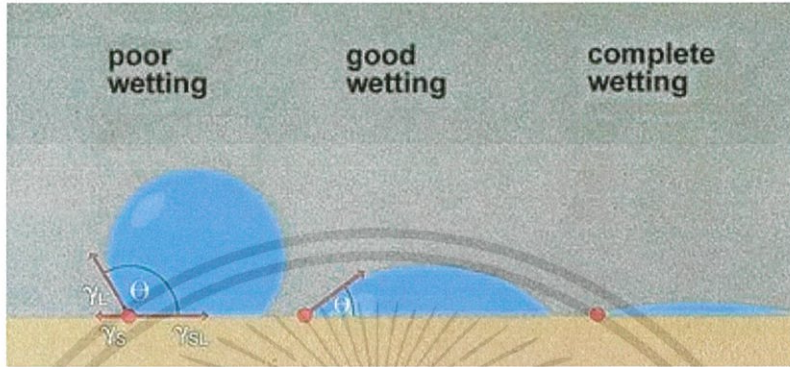
เมื่อสารที่มีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำผนวกกับพื้นผิววัสดุที่มีโครงสร้างคุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก จึงทำให้พื้นผิวใบบัวกลายเป็นผิวที่มีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (Super Hydrophobic) โดยหยดน้ำจะมีรูปทรงกลมมนสามารถกลิ้งไปบนใบบัวได้อย่างง่ายดาย ทั้งนี้สิ่งสกปรกต่าง ๆ บนใบบัวก็ไม่สามารถเกาะบนผิวใบบัวได้เช่นกันกับหยดน้ำ เพราะโครงสร้างคุ่มขนาดเล็กระดับจุลภาคจะลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างใบบัวกับสิ่งสกปรก ทำให้แรงยึดเกาะของสิ่งสกปรกมีน้อยมากกระทั่งหยดน้ำสามารถดึงสิ่งสกปรกติดออกไปได้อย่างง่ายดาย ดังแสดงในรูปที่ 2.25 ซึ่งนี่ก็คือหลักการทำงานของพื้นผิวที่มีสมบัติทำความสะอาดด้วยตนเองได้



รูปที่ 2.25 ภาพถ่ายหยดน้ำสามารถพาสิ่งสกปรกออกจากผิวใบบัวได้

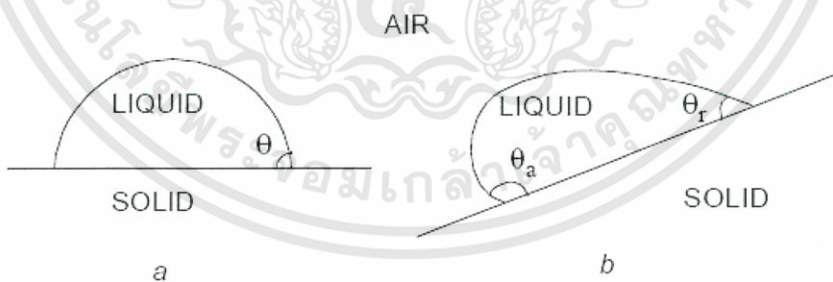
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้ตรวจสอบสภาพผิววัสดุว่าผิววัสดุมีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำมากน้อยเพียงใด คือ การสังเกตรูปทรงหยดน้ำบนผิววัสดุนั้น เช่น หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูนมาก แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเปียกน้ำง่าย ในทางตรงข้ามหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดนูนเด่นชัดแสดงว่า ผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำยาก ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงรูปทรงของหยดบนผิววัสดุ

แต่การจำแนกคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุในเชิงวิชาการจะใช้ค่ามุมสัมผัส (Contact Angle) ระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุ โดยหากหยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวในแนวระนาบ (θ) น้อยกว่า 90° แสดงว่าผิววัสดุมีคุณสมบัติของการชอบน้ำ ถ้ามุมสัมผัสระหว่างผิวในแนวระนาบอยู่ระหว่าง $90^\circ - 150^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และถ้าหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสในแนวระนาบระหว่างผิวตั้งแต่ $150^\circ - 180^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ซึ่งใบบัวเป็นต้นแบบวัสดุธรรมชาติที่มีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำยิ่งยวด



รูปที่ 2.27 ลักษณะของมุมสัมผัสระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุ

โดย a แสดงหยดน้ำบนพื้นผิวในแนวระนาบ

b แสดงหยดน้ำบนพื้นผิวในแนวลาดเอียง (บนผิวปีกลูกถ้วยฉนวน)

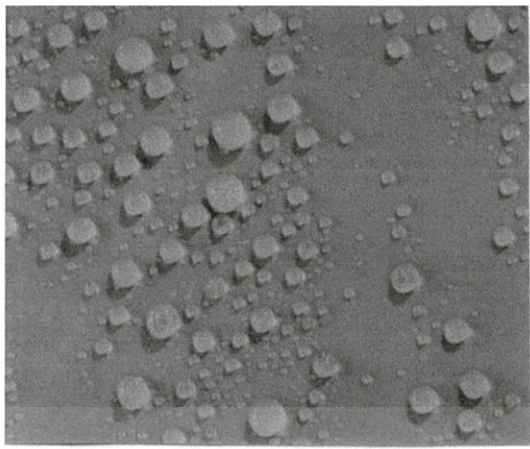
การแบ่งระดับคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำของลูกถ้วยแบบโพลีเมอร์ตามมาตรฐาน STRI Guide 92/1 [21] สามารถแบ่งได้เป็น 7 ระดับ ซึ่งจะมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2.16 และในมาตรฐานได้แสดงตัวอย่างระดับคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำของลูกถ้วยแบบโพลีเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

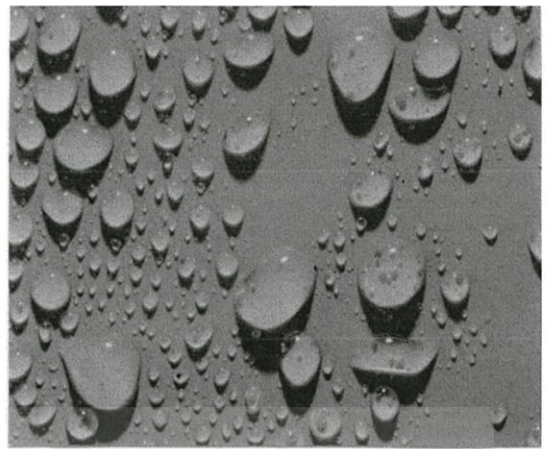
ตารางที่ 2.16 การแบ่งระดับคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ

ระดับ	รายละเอียด
HC1	แบบของหยดน้ำจะอยู่แบบแยกกัน โดยเส้นเชิง ไม่ต่อเนื่องกัน มุมของหยดน้ำส่วนใหญ่ $\theta_r \geq 80^\circ$
HC2	แบบของหยดน้ำจะอยู่แบบแยกกัน โดยเส้นเชิง ไม่ต่อเนื่องกัน มุมของหยดน้ำส่วนใหญ่ $50^\circ < \theta_r < 80^\circ$
HC3	แบบของหยดน้ำจะอยู่แบบแยกกัน โดยเส้นเชิง ไม่ต่อเนื่องกัน มุมของหยดน้ำส่วนใหญ่ $20^\circ < \theta_r < 50^\circ$ และโดยปกติระดับนี้หยดน้ำจะไม่เป็นวงกลม
HC4	ระหว่างหยดน้ำจะมีร่องรอยของทางน้ำเชื่อมถึงกัน $\theta_r = 0^\circ$ มีพื้นผิวข้อยที่เปียกน้ำขนาดน้อยกว่า 2 cm^2 พื้นผิวที่เปียกต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 90 % ของพื้นที่ทดสอบ
HC5	มีพื้นผิวที่เปียกน้ำขนาดมากกว่า 2 cm^2 พื้นผิวที่เปียกต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 90 % ของพื้นที่ทดสอบ
HC6	พื้นผิวข้อยที่เปียกต้องมีพื้นที่เกินกว่า 90 % ของพื้นที่ทดสอบ และยังคงสังเกตเห็นส่วนที่ไม่เปียกเป็นจุด หรือร่องทางน้ำ
HC7	มีพื้นที่เปียกทั่วทั้งผิวพื้นที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HC 1



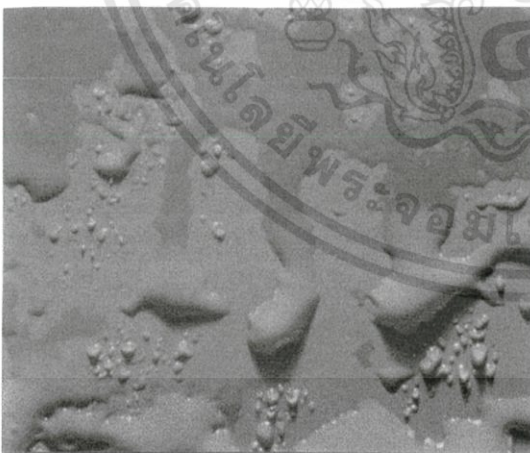
HC 2



HC 3



HC 4



HC 5



HC 6

รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างของระดับการไม่ชอบน้ำตามมาตรฐาน STRI Guide 92/1 [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดสอบ

หัวข้อนี้จะแสดงในส่วนของขั้นตอนและวิธีการทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยลำดับขั้นตอนดังนี้ การเพิ่มระดับความประเอื้อนให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบ นำลูกถ้วยฉนวนทดสอบไปทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบวัดค่ากระแสรั่วไหล , การทดสอบการวาวไฟตามผิวด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำและการทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล ซึ่งภายหลังกดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าแล้วเสร็จ จึงนำลูกถ้วยฉนวนดังกล่าวมาทดสอบหาค่าความประเอื้อน(ESDD) แล้วจึงนำผลการทดสอบที่ได้ ปรึบเทียบค่าให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าของลูกถ้วยฉนวนแต่ละชนิดได้

3.1 ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทำการทดสอบ

ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย เป็นลูกถ้วยแบบก้านตรงและแบบแฉวนที่มีติดตั้งใช้งานในระบบจำหน่าย 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งหมด 5 ชนิด ชนิดละ 3 ตัวอย่าง (ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแฉวน (class 52-4) ประกอบด้วยลูกถ้วยฉนวนจำนวน 3 ลูก / 1 ตัวอย่างทดสอบ) โดยมีตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.1 ทั้งนี้สำหรับการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกถ้วยแสดงในตารางที่ 3.1 และมีคุณสมบัติทางมิติของลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทดสอบเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ชนิดของลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบ

- โดยที่
- 1 คือ ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)
 - 2 คือ ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)
 - 3 คือ ลูกถ้วยฉนวน โพลิเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4 คือ ลูกถ้วยฉนวน โพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)
- 5 คือ ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)

ตารางที่ 3.1 ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทำการทดสอบ

Type No.	Pin post 56/57-4	Line post type class 57-3			Line post polymer	Suspension polymer	Suspension 52-4
	บริษัท X	บริษัท X	บริษัท Y	บริษัท Z			บริษัท X
1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	H1
2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	H2
3	A3	B3	C3	D3	E3	F3	H3

หมายเหตุ : ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ซื้อจากผู้ผลิตภายในประเทศจำนวน 3 ราย

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางมิติของลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทดสอบเฉลี่ย

Insulators Type	Leakage distance (mm.)	Arcing distance (mm.)
Pin post type class 56/57-4	1,068	410
Line post type class 57-3	811	329
Line post polymer	1,062	430
Suspension polymer	1,129	665
Suspension type class 52-4	957	518

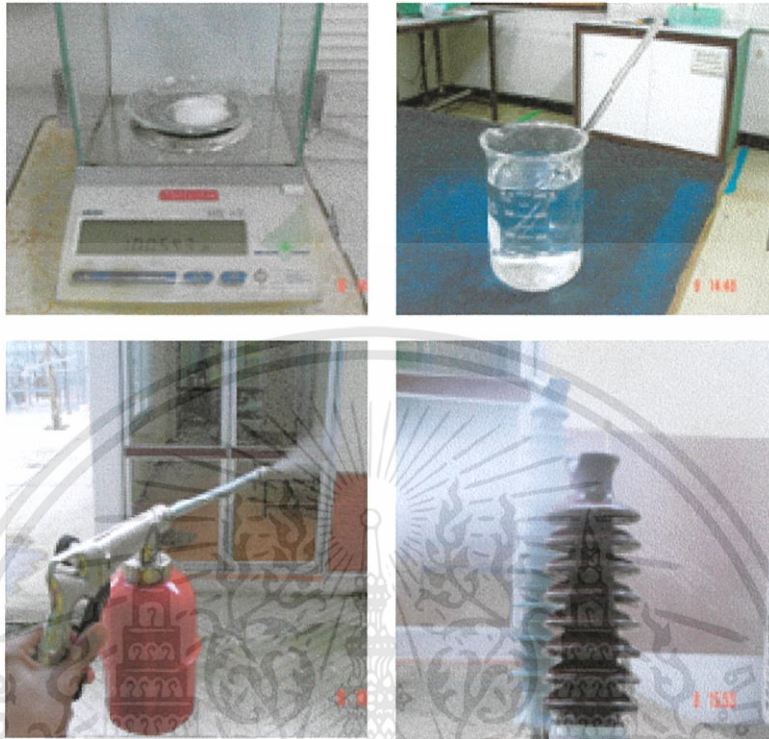
3.2 การเพิ่มระดับความเปรอะเปื้อนให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มระดับความเปรอะเปื้อนที่ผิวให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลาย โดยการนำเกลือ (NaCl) ไปทำการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงและผ่านการสอบเทียบแล้ว โดยจะทำการชั่งน้ำหนักดังนี้ 5 , 10 , 20 และ 40 g ตามลำดับ แล้วนำไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 litre
2. นำสารละลายที่ได้ไปทำการพ่นที่ผิวของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพ่นโดยใช้กาพ่นสีร่วมกับปั๊มลม เนื่องจากสามารถพ่นได้ละอองเล็กๆที่ละเอียดได้ โดยสารละลายปริมาตร 1 litre จะทำการพ่นลูกถ้วยฉนวนทดสอบได้ประมาณ 6 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นนำลูกถ้วยฉนวนตัวอย่างที่ผ่านการพ่นสารละลายเกลือแล้ว ไปตากแดดให้ผิวแห้ง แล้วจึงนำไปทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อไป

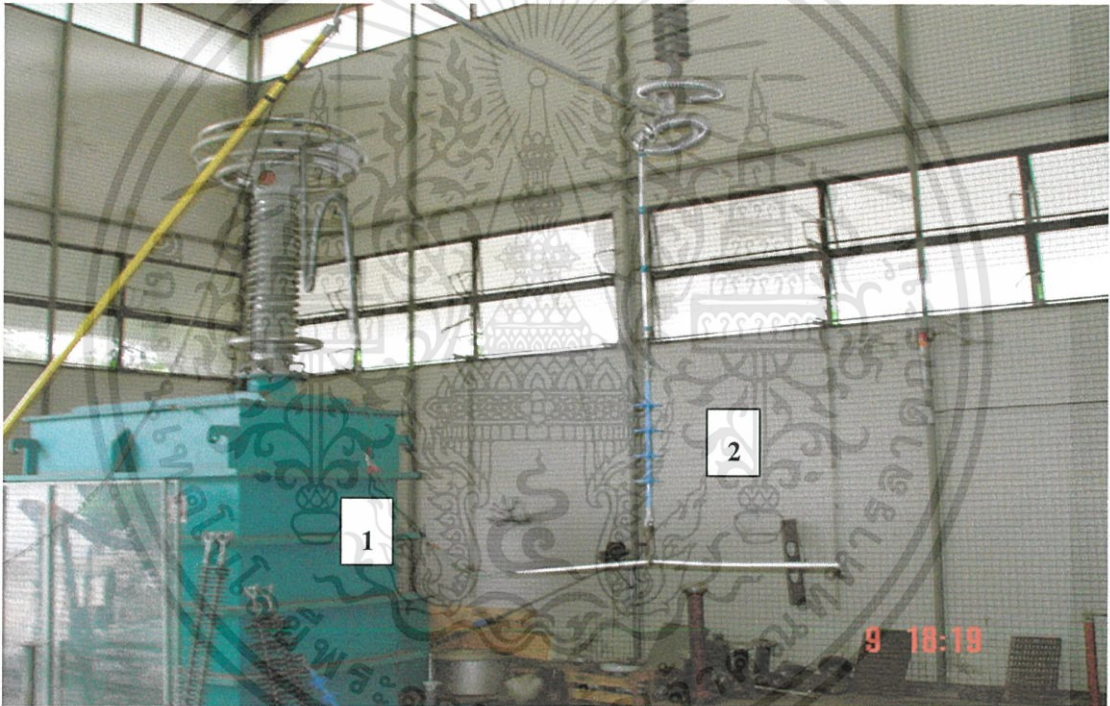
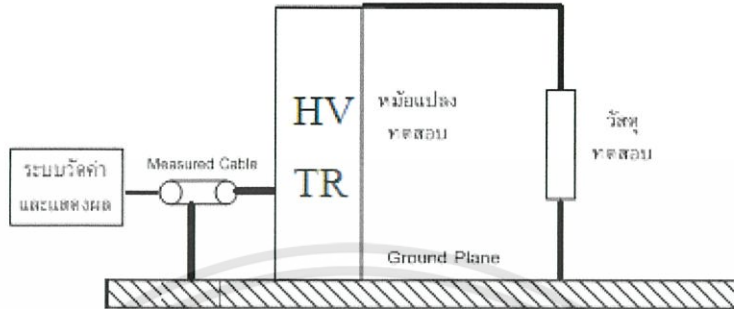


รูปที่ 3.2 การเพิ่มระดับความเปราะเป็อนให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ (Low-Frequency Dry Flashover Voltage Tests) [23,24]

3.3.1 วงจรทดสอบ



รูปที่ 3.3 วงจรทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งและค่ากระแสรั่วไหล

- เมื่อ
- 1 คือ หม้อแปลงทดสอบ พิกัด 400 kV 50 Hz
 - 2 คือ ลูกถ้วยฉนวนทดสอบ

3.3.2 ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ [23]

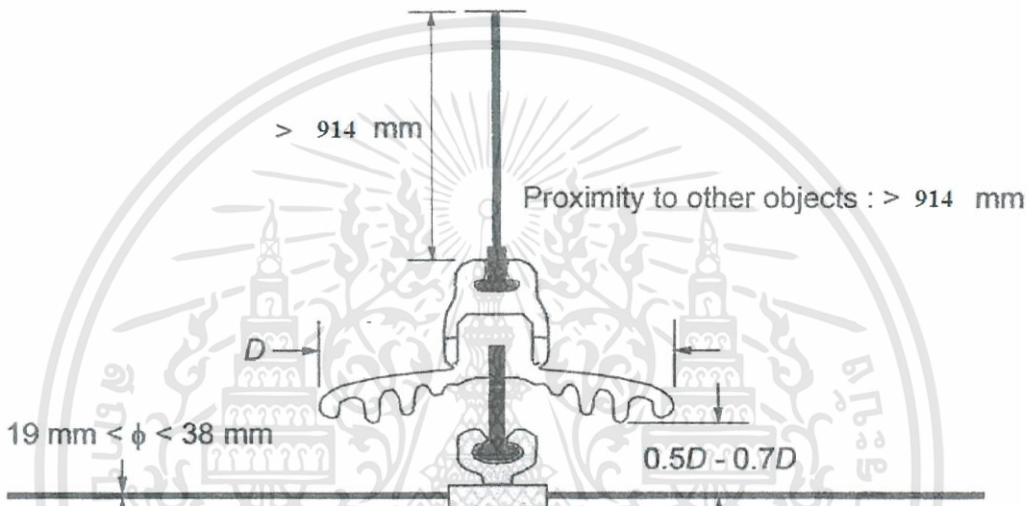
3.3.2.1 ลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน

การติดตั้ง จะต้องทำการติดตั้งลูกถ้วยฉนวนทดสอบในลักษณะแนวดิ่ง โดยให้ส่วนบนสุดของลูกถ้วยฉนวนทดสอบซึ่งเป็นด้านกราวด์กับส่วนที่เป็นโครงสร้างฐานสำหรับทดสอบ มีระยะห่างไม่น้อยกว่า 3 ft (914 mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายตัวนำ ต้องมีลักษณะตรง โดยจะเป็นท่อที่มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ หรือ เป็นสายไฟฟ้าตัวนำ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกไม่น้อยกว่า $\frac{1}{4}$ inch (19 mm) แต่ไม่เกิน $1 \frac{1}{2}$ inch (38 mm)

ลูกถ้วยฉนวนทดสอบกับตัวนำจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำหรับ ประกอบลูกถ้วยฉนวน และระยะห่างระหว่างปีกลูกถ้วยฉนวนทดสอบถึงผิวบนของตัวนำต้องมี ระยะเท่ากับ 0.5 – 0.7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางปีกของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ ตัวนำต้องอยู่ในแนว ขวางและตั้งฉากกับแกนของลูกถ้วยทดสอบ และต้องมีความยาวมากพอที่จะไม่เกิดการรบกวนไฟตาม ผิวที่บริเวณปลายของตัวนำ

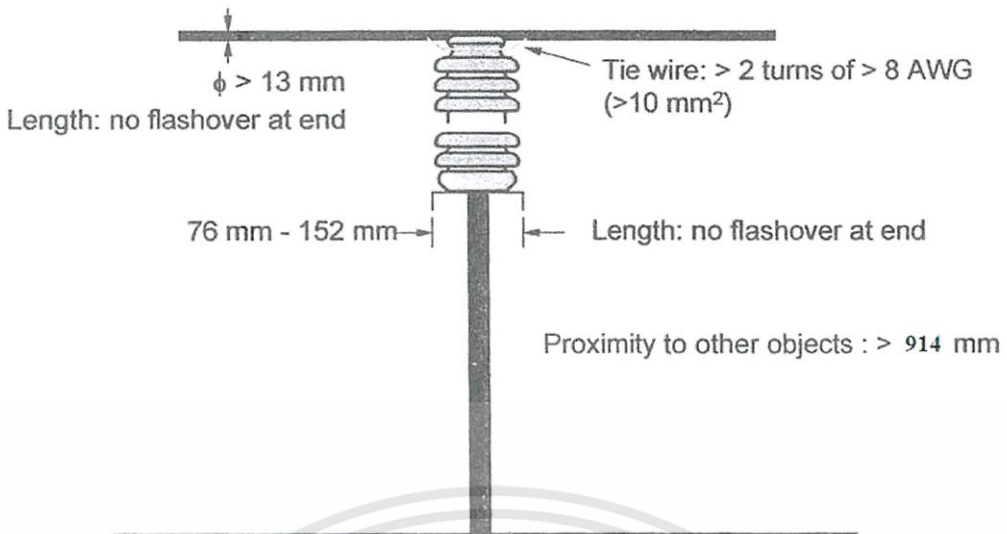


รูปที่ 3.4 การติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน ตามมาตรฐาน ANSI C29.1

3.3.2.2 ลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง

การติดตั้ง จะต้องทำการติดตั้งลูกถ้วยฉนวนบนคอน คอนที่ใช้สำหรับทดสอบ จะต้องวางในแนวขวาง มีลักษณะตรง เรียบ ทำจากโลหะ และมีขนาดไม่น้อยกว่า 3 inch (76 mm) แต่ไม่เกิน 6 inch (152 mm) ความยาวของคอนต้องมีความยาวมากพอที่จะไม่เกิดการรบกวนไฟตามผิว ที่บริเวณปลายคอน

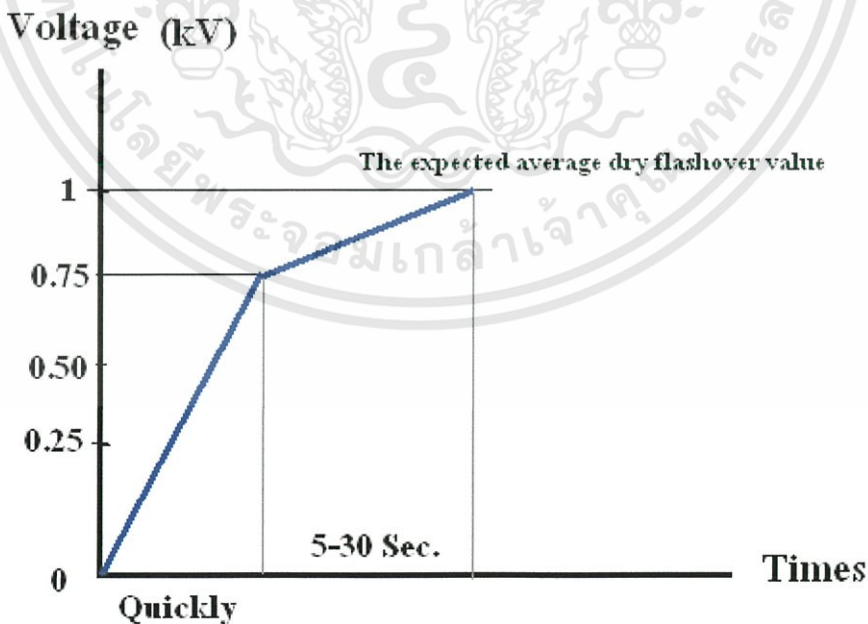
สายตัวนำ ตัวนำที่ใช้ทดสอบจะต้องเป็นแท่งตัวนำหรือสายตัวนำไฟฟ้าที่มี ลักษณะเป็นแท่งกลม วางในแนวตั้งฉากกับคอน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า $\frac{1}{2}$ inch (13 mm) มีความยาวมากพอที่จะไม่เกิดการรบกวนไฟตามผิวที่บริเวณปลายของตัวนำ ตัวนำจะถูกรวาง บนร่องด้านบนของลูกถ้วยฉนวนทดสอบและรัดด้วยลวดคอลลูมิเนียมกลมขนาดไม่น้อยกว่าเบอร์ 8 AWG (American Wire Gage) (10 sq.mm.) ไม่น้อยกว่า 2 รอบ ส่วนปลายลวดคอลลูมิเนียมกลมรัดรอบๆ ตัวนำในแต่ละด้านของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ



รูปที่ 3.5 การติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง ตามมาตรฐาน ANSI C29.1

3.3.3 การป้อนแรงดันทดสอบ [23]

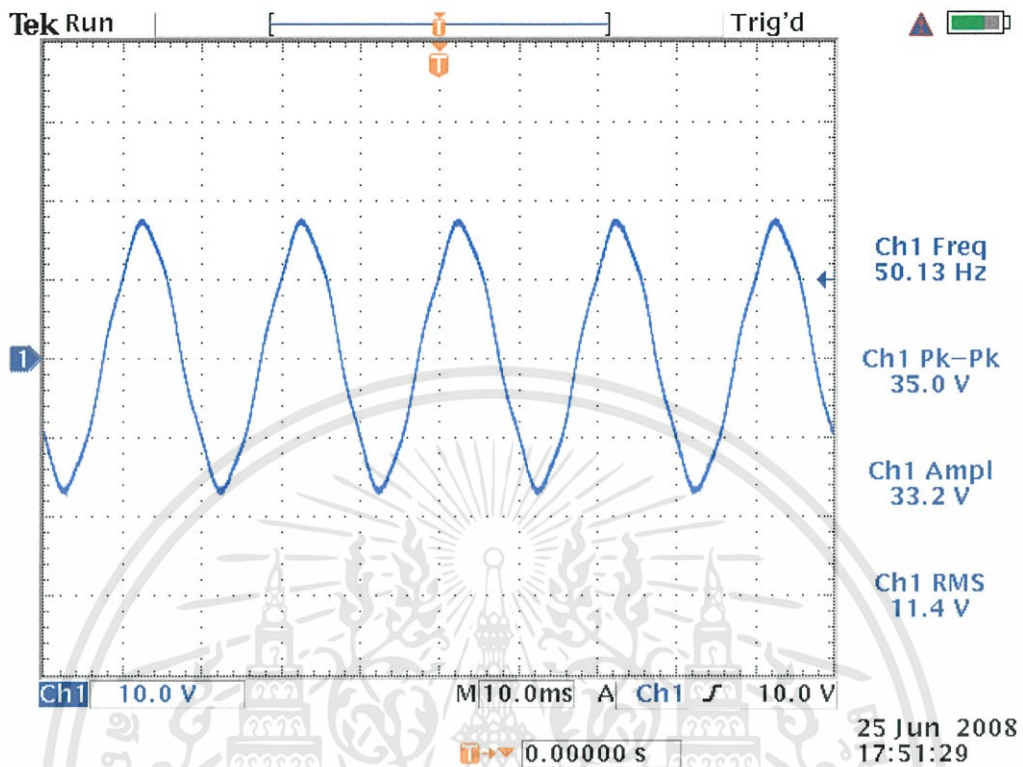
ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz ให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบอย่างรวดเร็วขนาดเท่ากับ 75% ของค่าการวางไฟตามผิวแห้งเฉลี่ยที่คาดการณ์ไว้ จากนั้นเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ การวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนทดสอบต้องเกิดขึ้นภายใน 5 - 30 s หลังจากป้อนแรงดัน 75% ของค่าการวางไฟตามผิวแห้งเฉลี่ยที่คาดการณ์ไว้ ดังรูปที่ 3.6 การทดสอบในหัวข้อนี้ต้องทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ครั้งต่อตัวอย่าง โดยแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบจะต้องใช้เวลาทั้งหมดไม่น้อยกว่า 15 s แต่ไม่เกิน 5 min.



รูปที่ 3.6 การเพิ่มแรงดันของการทดสอบการวางไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบในหัวข้อการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับความถี่ต่ำ เป็นจำนวน 5 ครั้งต่อตัวอย่าง



รูปที่ 3.7 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่ใช้ในการทดสอบ

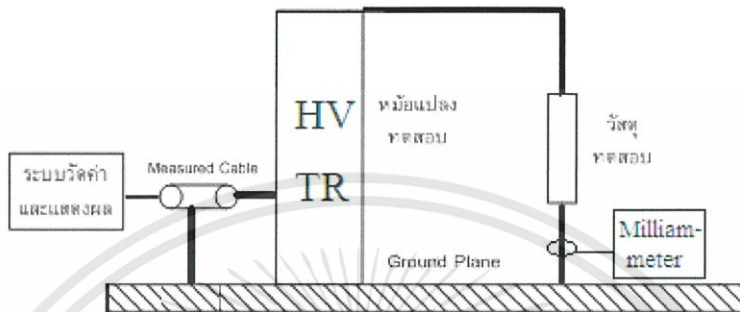
3.3.4 บันทึกผลการทดสอบ

ทำการบันทึกค่าผลการทดสอบ และ บันทึกสถานะแวดล้อมทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ โดยบันทึกค่าดังต่อไปนี้คือ ความดันบรรยากาศ (mmHg) , อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) แล้วนำผลการทดสอบที่ได้ไปปรับเทียบค่าให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน การปรับเทียบค่าให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.4 การทดสอบกระแสรั่วไหล (Leakage Current Tests)

3.4.1 วงจรทดสอบและข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ

การทดสอบในหัวข้อกระแสรั่วไหลนี้จะใช้วงจรทดสอบ และข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ เช่นเดียวกันกับการทดสอบการวางไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ



รูปที่ 3.8 วงจรการทดสอบกระแสรั่วไหล

3.4.2 การป้อนแรงดันทดสอบ

ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz ให้ลูกถ้วยฉนวนทดสอบมีค่าเท่ากับค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวด์ของแรงดันของระบบ 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19 kV ทำการวัดวัดขนาดกระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ โดยใช้มิลลิแอมป์มิเตอร์เคลื่อนที่สายกราวด์

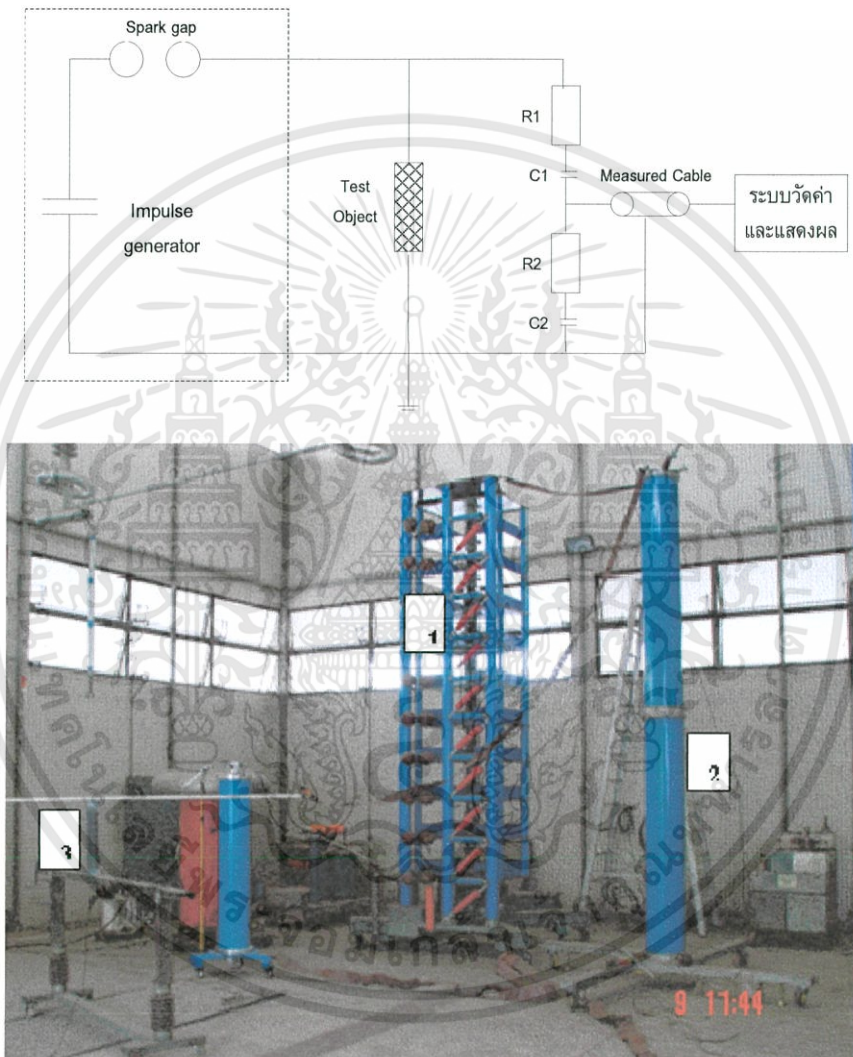
3.4.3 บันทึกผลการทดสอบ

ทำการบันทึกค่าผลการทดสอบ

3.5 การทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตขั้วลบ (Critical impulse Negative Polarity Flashover Voltage) [23,24]

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตเฉพาะขั้วลบเท่านั้น เพื่อเป็นการป้องกันการบอบซ้ำของเครื่องมือและความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสลับขั้วไปมา เนื่องจากการทดสอบในหัวข้อนี้จะต้องทำการป้อนแรงดันอิมพัลส์หลายๆครั้ง

3.5.1 วงจรทดสอบ



รูปที่ 3.9 วงจรทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตขั้วลบ

1) Impulse generator 1,000 kV, 2) Voltage divider, 3) Test object

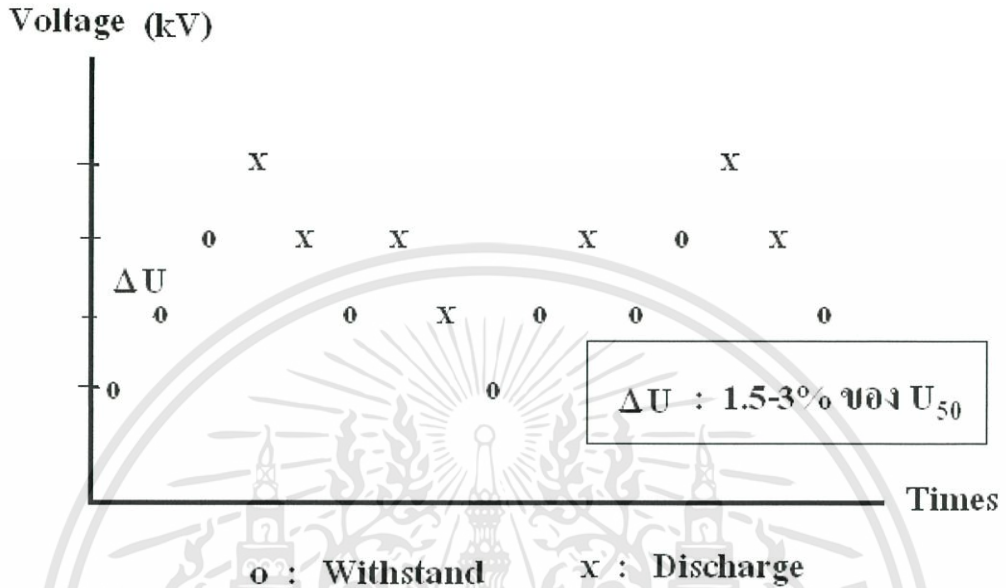
3.5.2 ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ [23]

การทดสอบในหัวข้อนี้จะใช้ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ เช่นเดียวกันกับการทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

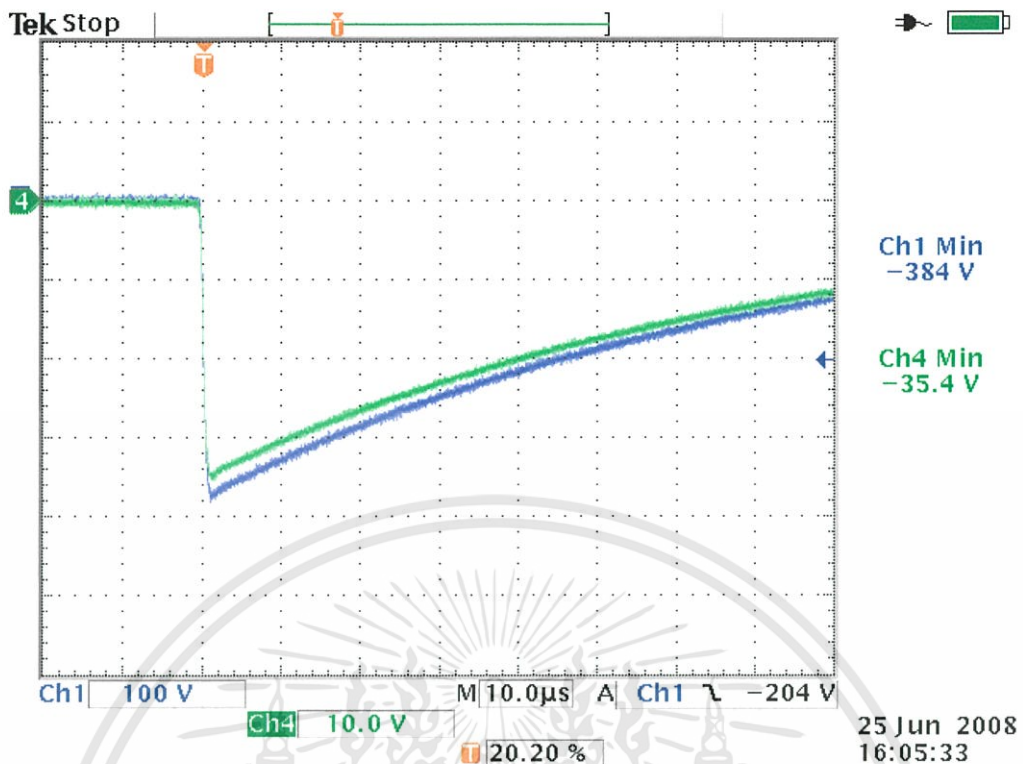
3.5.3 การป้อนแรงดันทดสอบ

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบตามหลักการ Up-and-down method[3,23] โดยจะทดสอบวัดค่าการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต หรือเรียกว่า Up-down 50% DD test ; U_{50} มีวิธีการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่3.10 การทดสอบโดยวิธี Up-and-down method

1. ป้อนแรงดันอิมพัลส์ให้กับลูกถ้วยฉนวนทดสอบ โดยค่าแรกจะหาได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลเดิมของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ หรือค่าที่หาจากการคำนวณจากค่าระยะรั้วของลูกถ้วยฉนวนเอง
2. หากไม่เกิดการวาวไฟตามผิวให้ป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ผ่านมามาก ΔU หรือหากเกิดการวาวไฟตามผิวให้ป้อนแรงดันลดลงจากครั้งที่ผ่านมามาก ΔU
3. เมื่อ ΔU มีค่าประมาณ 1.5 - 3 % ของค่าโดยประมาณของ U_{50}
4. ทำการป้อนค่าแรงดันอิมพัลส์ จนกระทั่งครบจำนวน 20 ครั้ง แล้วนำผลการทดสอบทั้ง 20 ค่า ไปหาค่าเฉลี่ย ก็จะเท่ากับ U_{50} หรือค่าการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตนั่นเอง



รูปที่ 3.11 คลื่นแรงดันอินพุตส์ ขั้วลบที่ใช้ทดสอบ

โดย : รูปคลื่นสีน้ำเงินเป็นรูปคลื่นทดสอบ และรูปคลื่นสีเขียวเป็นรูปคลื่นมาตรฐาน

3.5.4 บันทึกผลการทดสอบ

ทำการบันทึกค่าผลการทดสอบ และ บันทึกสภาวะแวดล้อมทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ โดยบันทึกค่าดังต่อไปนี้ ความดันบรรยากาศ(mmHg) , อุณหภูมิแวดล้อม (เซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) แล้วนำผลการทดสอบที่ได้ไปปรับเทียบค่าให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน การปรับเทียบค่าให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.6 การตรวจวัดค่าความประอะเปื้อน (ESDD) [16]

หลังจากทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าแล้ว จะต้องนำลูกถ้วยฉนวนทดสอบมาทำการตรวจวัดค่าความประอะเปื้อนเพื่อที่จะแบ่งแยกได้ว่า ตัวอย่างทดสอบนั้นๆมีความประอะเปื้อนในระดับใด

3.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความประอะเปื้อน (ESDD)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความประอะเปื้อนมีดังนี้

1. มิเตอร์วัดความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งมีเตอร์ต้องสามารถวัดความนำไฟฟ้าได้ต่ำถึง $1 \mu\text{S}/\text{cm}$
2. น้ำบริสุทธิ์ มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า $10 \mu\text{S}/\text{cm}$
3. ถ้วยตวงขนาด 1,000 CC.
4. กระจกที่มีคุณสมบัติไม่เป็นฟลูออไรด์ ไม่มีขีดข่วนและไม่ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง
5. ถุงมือที่สามารถกันน้ำได้
6. ขาตั้งลูกถ้วย



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความประอะเปื้อน

3.6.2 ขั้นตอนการวัดค่าความประอะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวนและการคำนวณหาค่า ESDD

1. นำลูกถ้วยที่จะตรวจวัดวางเตรียมไว้ที่ขาตั้ง โดยระวังไม่ให้เกิดการสัมผัสที่ผิวของลูกถ้วยหรือสัมผัสให้น้อยที่สุด
2. ผู้ตรวจวัดสวมถุงมือ แล้วล้างทำความสะอาดถ้วยตวงให้สะอาด
3. ใช้ถ้วยตวงเพื่อตวงน้ำบริสุทธิ์ 500 CC แล้วนำกระดาษจุ่มลงไปใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้มิเตอร์วัดความนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำ แล้วจดบันทึกโดยค่าความนำของน้ำต้องน้อยกว่า $10 \mu\text{S/cm}$

5. บีบน้ำออกจากกระดาษก่อนนำไปเช็ดลูกถ้วย นำกระดาษกลับไปป้อนและเขย่าในน้ำ แล้วบีบออกอีกครั้งก่อนนำไปเช็ดลูกถ้วยต่อ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนลูกถ้วยสะอาดไม่มีสิ่งเปื้อนเหลืออยู่บนผิว ลูกถ้วย (ยกเว้นส่วนที่เป็นโลหะไม่ต้องเช็ดทำความสะอาด)

6. คนน้ำให้สิ่งเจือปนละลายก่อนใช้มิเตอร์วัดค่าความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำอีกครั้งแล้วจดบันทึก

7. คำนวณค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 20°C โดยใช้สมการที่ (3.1) และ คำนวณหาค่าตัวประกอบ b ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้สมการ (3.2)

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)] \quad (3.1)$$

เมื่อ θ คือ อุณหภูมิของสารละลาย ($^\circ\text{C}$)
 σ_{θ} คือ ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ $\theta^\circ\text{C}$ (S/m)
 σ_{20} คือ ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20°C (S/m)
 b คือ ค่าตัวประกอบแปรตามอุณหภูมิของสารละลาย

$$b = -3.200 \times 10^{-8} \theta^3 + 1.032 \times 10^{-5} \theta^2 - 8.272 \times 10^{-4} \theta + 3.544 \times 10^{-2} \quad (3.2)$$

8. คำนวณความเข้มข้นของเกลือ (Salinity; S_a) โดยใช้สมการที่ (3.3)

$$S_a = (5.7 \sigma_{20})^{1.03} \quad (3.3)$$

9. คำนวณค่าความเปื้อนเกลือ (ESDD) โดยใช้สมการที่ (3.4)

$$ESDD = S_a V / A \quad (3.4)$$

เมื่อ S_a คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (kg/m^3)
 V คือ ปริมาตรสารละลาย (cm^3)
 A คือ พื้นที่ผิวลูกถ้วย (cm^2)

ค่า ESDD ของลูกถ้วยชนิดทดสอบที่ได้ต้องนำมาลบกับค่า ESDD ของน้ำก่อนการตรวจวัดด้วย จึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง

3.7 การปรับเทียบค่าผลการทดสอบ (Atmospheric correction factor) [23]

เมื่อได้ค่าผลการทดสอบทางไฟฟ้าของแต่ละตัวอย่างทดสอบ ในแต่ละระดับความแปรอะเป็อนแล้ว เนื่องจากสภาวะของสิ่งแวดล้อมเช่น อุณหภูมิ ความชื้น และ ความดันบรรยากาศ มีผลต่อการเกิดการวาวไฟตามผิว หรือการเบรคควาน์ผ่านอากาศนั่นเอง ฉะนั้นทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ จะต้องบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ,ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ และ ความดันบรรยากาศ ดังนั้นเพื่อที่จะนำค่าผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน ได้นั้นจึงจำเป็นต้องปรับเทียบค่าของแต่ละการทดสอบให้มาอยู่ในสภาวะเดียวกัน ซึ่งก็คือสภาวะมาตรฐานจะประกอบด้ว

ความดันบรรยากาศ : 29.92 inches of mercury
(10.086 X 10⁴ pascalS or 759.968 mmHg)

อุณหภูมิ : 77 °F (25 °C)

ความดันไอน้ำ : 0.6085 inch of mercury (2.051 X 10³ pascals)

การปรับเทียบค่าทางไฟฟ้า โดยใช้สมการที่ 3.5

$$U_n = U_{today} \times K_h / K_d \quad (3.5)$$

เมื่อ U_n คือ แรงดันในสภาวะมาตรฐาน

U_{today} คือ แรงดันขณะทำการทดสอบ

K_h คือ Correction factor โดยจะหาค่าได้จากตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 จากภาคผนวก ก

K_d คือ Relative air density correction factor สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.6

$$K_d = 0.392 \times P / (273 + T) \quad (3.6)$$

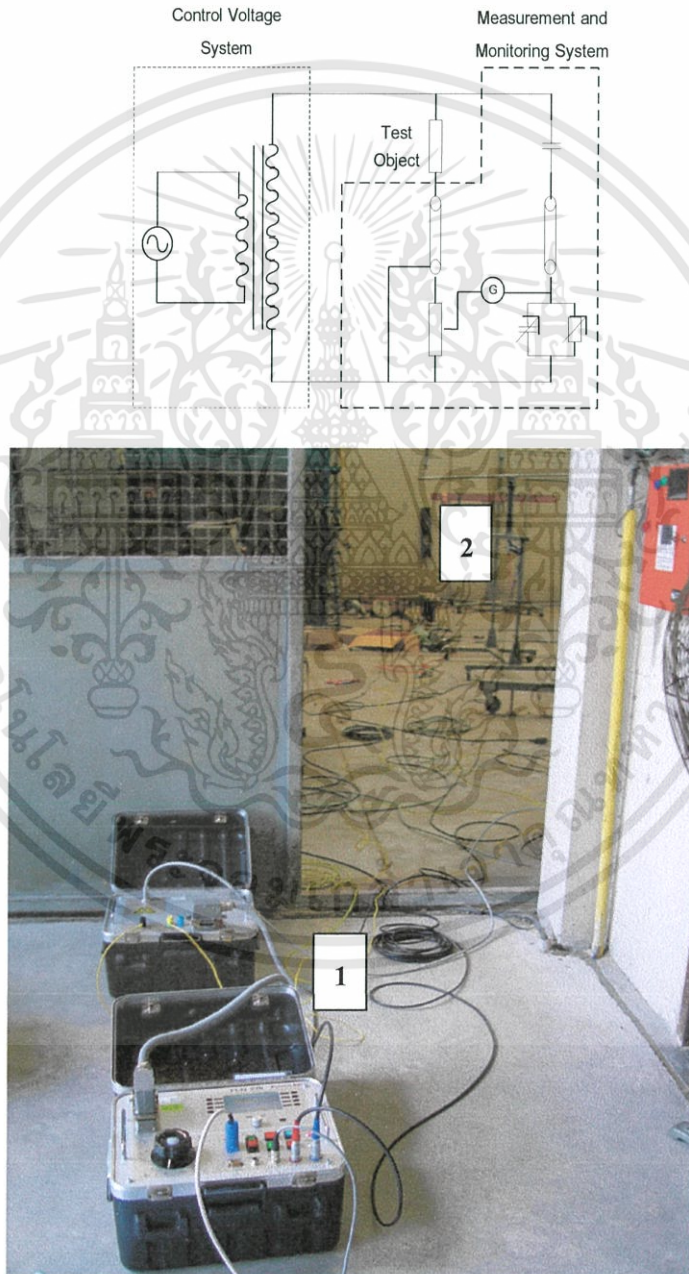
เมื่อ P คือ ความดันบรรยากาศขณะทดสอบ
(millimeters of mercury ; mmHg)

T คือ อุณหภูมิขณะทดสอบ (องศาเซลเซียส ; °C)

3.8 การทดสอบวัดค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$)

หลังจากทดสอบค่ากระแสรั่วไหลแล้ว เพื่อให้สามารถนำค่ากระแสรั่วไหลที่ได้จากการทดสอบนั้นไปคำนวณหาค่ากำลังสูญเสียตามสมการที่ 2.2 ได้นั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบวัดค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก โดยจะวัดค่าจากตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนทดสอบในสถานะที่เปราะเปื้อนในระดับที่ 4 ซึ่งเป็นระดับสูงสุดของงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะศึกษากำลังสูญเสียสูงสุดที่เกิดขึ้น

3.8.1 วงจรทดสอบ



รูปที่ 3.13 วงจรทดสอบวัดค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก

เมื่อ 1 คือ เครื่องทดสอบค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก , 2 คือ ลูกถ้วยฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยฉนวนทดสอบ

การทดสอบในหัวข้อนี้จะใช้ข้อกำหนดการติดตั้งลูกถ้วยทดสอบ เช่นเดียวกันกับการทดสอบการวางไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ และการทดสอบการวางไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตซ์วลบ

3.8.3 การป้อนแรงดันทดสอบ

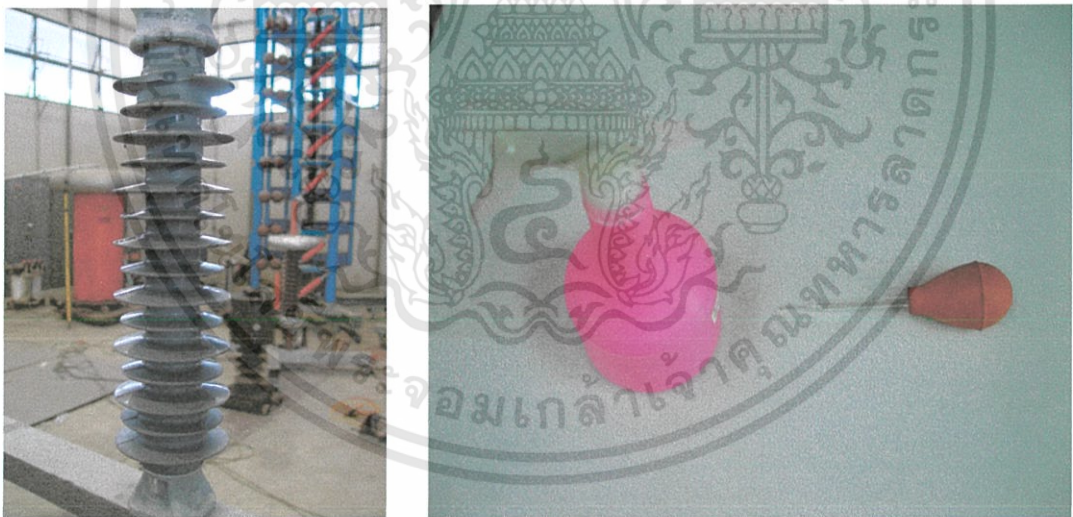
ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 2.5 kV 50 Hz ให้กับวัสดุทดสอบ

3.8.4 บันทึกผลการทดสอบ

ทำการบันทึกค่าผลการทดสอบ

3.9 การทดสอบคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าเสร็จสิ้นแล้ว ได้นำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์มาทำการทดสอบคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำตามมาตรฐาน STRI Guide 92/1 [21] เปรียบเทียบระหว่างลูกถ้วยใหม่ที่ยังมิได้นำไปติดตั้งใช้งานกับลูกถ้วยฉนวนที่ผ่านการติดตั้งใช้งานที่บริเวณภาคป่าตอง จ.ภูเก็ต มาแล้วประมาณ 2 ปี โดยติดตั้งลูกถ้วยฉนวนทดสอบตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการติดตั้งทดสอบคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.9.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. กระบอกฉีดยา
2. น้ำที่ใช้ทดสอบ ในมาตรฐานระบุว่าเป็นน้ำประปา ที่ไม่มีสารเคมีจำพวก ฟอสฟอรัส, สารลดแรงตึงผิว, สารตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อความชัดเจนของผลการทดสอบ อาจจะใช้แว่นขยาย, โคมไฟ และ เทปวัดระยะ ร่วมด้วยได้

3.9.2 ขั้นตอนการทดสอบและข้อกำหนดของการทดสอบ

พื้นที่ผิวที่ใช้ทดสอบควรมีพื้นที่ $50 - 100 \text{ cm}^2$ ทำการฉีดละอองน้ำจาก กระบอกฉีด 1-2 time/s ห่างจากผิวลูกถ้วยจนวนทดสอบประมาณ $25 \pm 10 \text{ cm}$. ทำการฉีดต่อเนื่อง เป็นเวลา 20 - 30 s แล้วทำการพิจารณาระดับของการไม่ชอบน้ำ (HC1 – HC7) ภายในเวลา 10 s หลังจากฉีดน้ำเสร็จ

หมายเหตุ ควรทำการทดสอบในบริเวณที่ไม่มีลมพัดรุนแรง

3.9.3 บันทึกผลการทดสอบ

การทดสอบในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่ผิวลูกถ้วยจนวนแบบโพลีเมอร์ ที่ปีกบนสุดและปีกล่างสุด แล้วทำการบันทึกผลการทดสอบโดยใช้กล้องถ่ายรูป



บทที่ 4

ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้า และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบของลูกถ้วยฉนวนทดสอบในสภาวะระดับความเปรอะ
เป็นต้นต่างๆ การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างลูกถ้วยฉนวนแต่ละประเภทที่ใช้ติดตั้งทดแทน
กัน ระหว่างแบบพอร์ซเลนกับแบบโพลีเมอร์ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยผลการทดสอบ
ที่แสดงในตารางนี้ถูกปรับค่าทางไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานแล้ว

4.1 ผลการทดสอบ

4.1.1 ผลการทดสอบกระแสรั่วไหล (Leakage current)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)

Sample	Sample No. A1	Sample No. A2	Sample No. A3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.07	0.07	0.06	0.07
Level 1	0.07	0.07	0.06	0.07
Level 2	0.07	0.08	0.07	0.07
Level 3	0.08	0.08	0.07	0.08
Level 4	0.08	0.09	0.07	0.08

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)

ของ บริษัท X

Sample	Sample No. B1	Sample No. B2	Sample No. B3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.08	0.08	0.07	0.08
Level 1	0.08	0.08	0.08	0.08
Level 2	0.09	0.08	0.08	0.08
Level 3	0.09	0.09	0.09	0.09
Level 4	0.10	0.09	0.10	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)

ของ บริษัท Y

Sample	Sample No. C1	Sample No. C2	Sample No. C3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.07	0.08	0.08	0.08
Level 1	0.07	0.08	0.08	0.08
Level 2	0.08	0.09	0.08	0.08
Level 3	0.09	0.09	0.09	0.09
Level 4	0.09	0.09	0.10	0.09

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)

ของ บริษัท Z

Sample	Sample No. D1	Sample No. D2	Sample No. D3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.08	0.06	0.06	0.07
Level 1	0.08	0.06	0.07	0.07
Level 2	0.09	0.08	0.08	0.08
Level 3	0.10	0.08	0.09	0.09
Level 4	0.10	0.09	0.09	0.09

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) เฉลี่ย

Sample	Sample No. B	Sample No. C	Sample No. D	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.08	0.08	0.07	0.08
Level 1	0.08	0.08	0.07	0.08
Level 2	0.08	0.08	0.08	0.08
Level 3	0.09	0.09	0.09	0.09
Level 4	0.10	0.09	0.09	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)

Sample	Sample No. E1	Sample No. E2	Sample No. E3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.06	0.06	0.06	0.06
Level 1	0.06	0.06	0.06	0.06
Level 2	0.06	0.06	0.06	0.06
Level 3	0.06	0.06	0.06	0.06
Level 4	0.06	0.06	0.06	0.06

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)

Sample	Sample No. F1	Sample No. F2	Sample No. F3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.02	0.02	0.02	0.02
Level 1	0.02	0.02	0.02	0.02
Level 2	0.02	0.02	0.02	0.02
Level 3	0.02	0.02	0.02	0.02
Level 4	0.02	0.02	0.02	0.02

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)

Sample	Sample No. H1	Sample No. H2	Sample No. H3	Average
Level	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
Clean	0.04	0.04	0.04	0.04
Level 1	0.04	0.04	0.04	0.04
Level 2	0.04	0.04	0.04	0.04
Level 3	0.05	0.04	0.04	0.04
Level 4	0.05	0.05	0.04	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบการทดสอบการวับไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ (Low-Frequency Dry Flashover Voltage Tests)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)

Sample	Sample No. A1	Sample No. A2	Sample No. A3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	148.2	147.5	149.4	148.4
Level 1	147.0	147.1	149.4	147.8
Level 2	145.1	147.3	148.5	147.0
Level 3	142.4	145.8	144.4	144.2
Level 4	139.8	141.6	142.5	141.3

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)
ของ บริษัท X

Sample	Sample No. B1	Sample No. B2	Sample No. B3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	141.6	142.8	142.9	142.4
Level 1	141.1	140.4	138.8	140.1
Level 2	138.2	138.7	136.5	137.8
Level 3	137.2	137.1	136.0	136.8
Level 4	135.0	135.5	134.1	134.9

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)
ของ บริษัท Y

Sample	Sample No. C1	Sample No. C2	Sample No. C3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	142.8	144.1	142.6	143.2
Level 1	139.6	140.1	141.4	140.4
Level 2	136.8	137.8	140.2	138.3
Level 3	136.2	136.3	137.5	136.7
Level 4	134.5	135.2	135.0	134.9

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)
ของ บริษัท Z

Sample / Level	Sample No. D1 (kV)	Sample No. D2 (kV)	Sample No. D3 (kV)	Average (kV)
Clean	139.9	138.0	138.8	138.9
Level 1	138.0	137.2	138.4	137.9
Level 2	137.1	136.8	135.1	136.3
Level 3	135.2	136.1	135.1	135.5
Level 4	133.5	133.4	132.8	133.2

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type(class 57-3) เฉลี่ย

Sample / Level	Sample No. B (kV)	Sample No. C (kV)	Sample No. D (kV)	Average (kV)
Clean	142.4	143.2	138.9	141.5
Level 1	140.1	140.4	137.9	139.5
Level 2	137.8	138.3	136.3	137.5
Level 3	136.8	136.7	135.5	136.3
Level 4	134.9	134.9	133.2	134.3

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)

Sample / Level	Sample No. E1 (kV)	Sample No. E2 (kV)	Sample No. E3 (kV)	Average (kV)
Clean	171.6	168.5	171.4	170.5
Level 1	170.2	173.4	168.4	170.5
Level 2	169.2	170.0	171.2	170.1
Level 3	168.3	167.8	169.4	168.5
Level 4	166.6	164.8	164.8	165.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)

Sample	Sample No. F1	Sample No. F2	Sample No. F3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	263.2	267.0	262.4	264.2
Level 1	262.3	266.4	263.7	264.1
Level 2	260.5	264.0	263.3	262.6
Level 3	259.2	263.6	263.2	262.0
Level 4	258.4	259.9	262.6	260.3

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)

Sample	Sample No. H1	Sample No. H2	Sample No. H3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	238.8	243.0	241.6	241.1
Level 1	239.8	241.6	238.5	240.0
Level 2	236.3	240.2	239.0	238.5
Level 3	235.8	238.3	236.0	236.7
Level 4	231.4	233.1	230.8	231.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตซ์วลบ (Critical impulse Negative Polarity Flashover Voltage)

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)

Sample	Sample No. A1	Sample No. A2	Sample No. A3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	303.7	306.2	302.3	304.1
Level 1	303.1	305.9	303.3	304.1
Level 2	301.0	303.4	302.9	302.4
Level 3	300.1	303.2	303.4	302.2
Level 4	299.2	301.0	300.1	300.1

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท X

Sample	Sample No. B1	Sample No. B2	Sample No. B3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	290.1	290.3	291.1	290.5
Level 1	288.6	290.2	289.8	289.5
Level 2	288.4	287.9	289.2	288.5
Level 3	286.1	287.2	286.0	286.4
Level 4	285.2	286.9	285.0	285.7

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) ของ บริษัท Y

Sample	Sample No. C1	Sample No. C2	Sample No. C3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	289.2	291.1	290.4	290.2
Level 1	288.8	289.4	290.2	289.5
Level 2	285.4	287.3	286.9	286.5
Level 3	284.2	285.6	285.1	285.0
Level 4	283.8	283.6	284.2	283.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)
ของ บริษัท Z

Sample	Sample No. D1	Sample No. D2	Sample No. D3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	287.7	288.4	288.2	288.1
Level 1	286.4	288.0	287.2	287.2
Level 2	285.5	286.1	284.5	285.4
Level 3	283.4	283.0	282.0	282.8
Level 4	282.4	281.6	281.4	281.8

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3) เฉลี่ย

Sample	Sample No. B	Sample No. C	Sample No. D	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	290.5	290.2	288.1	289.6
Level 1	289.5	289.5	287.2	288.7
Level 2	288.5	286.5	285.4	286.8
Level 3	286.4	285.0	282.8	284.7
Level 4	285.7	283.9	281.8	283.8

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)

Sample	Sample No. E1	Sample No. E2	Sample No. E3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	334.8	338.9	336.2	336.2
Level 1	334.7	337.1	334.1	335.3
Level 2	331.9	334.7	333.7	333.4
Level 3	332.0	336.8	334.8	334.5
Level 4	331.3	336.5	332.3	333.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวน โพลีเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)

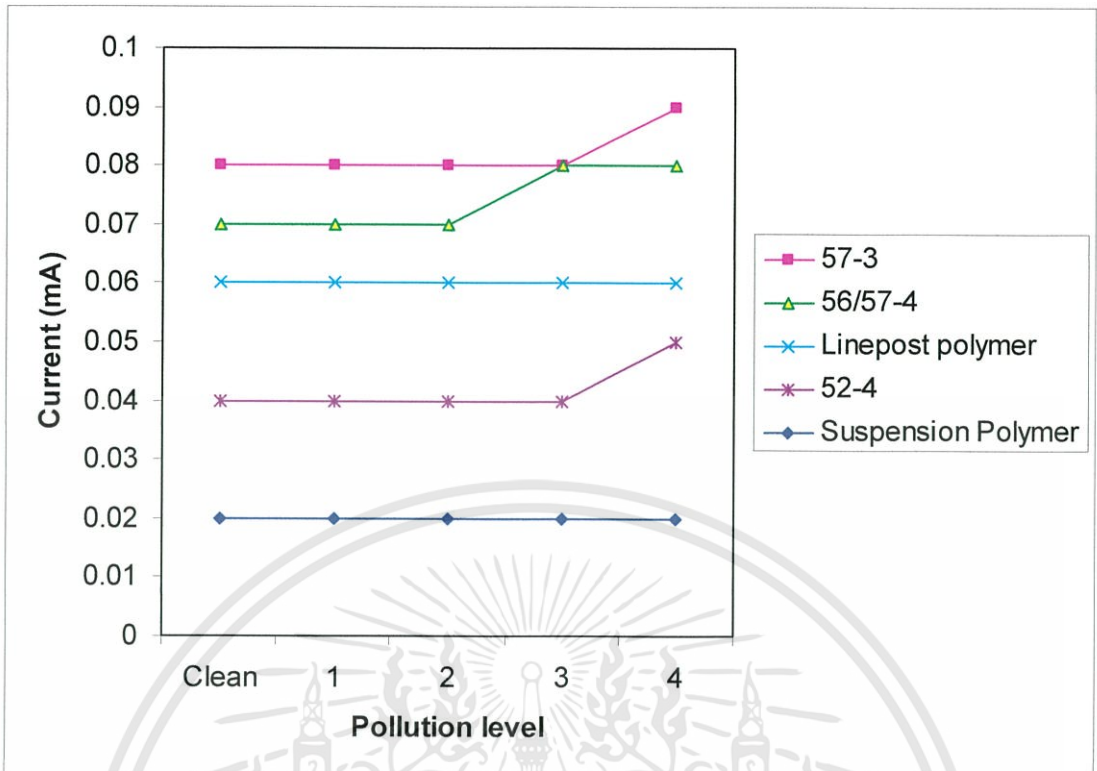
Sample	Sample No. F1	Sample No. F2	Sample No. F3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	492.3	490.8	494.3	492.5
Level 1	493.3	489.1	491.3	491.2
Level 2	494.0	488.2	491.9	491.4
Level 3	492.7	489.4	490.9	491.0
Level 4	492.7	487.6	489.1	489.1

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)

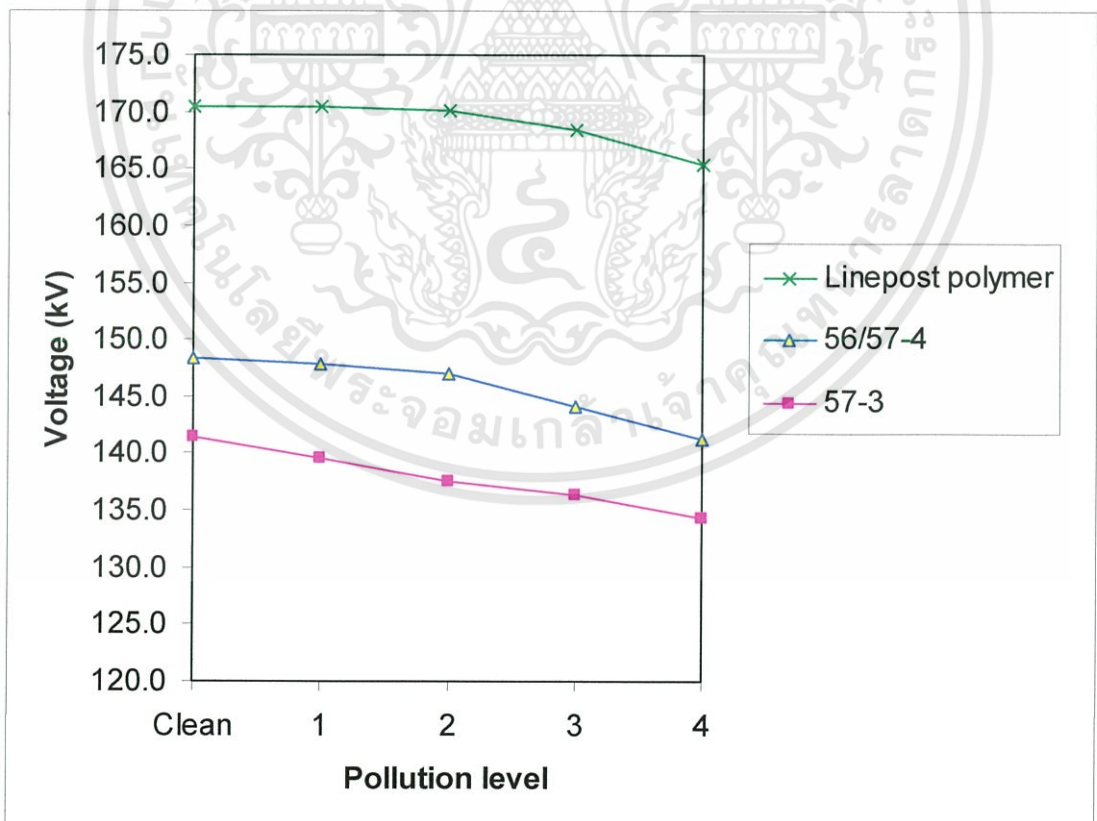
Sample	Sample No. H1	Sample No. H2	Sample No. H3	Average
Level	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
Clean	401.5	407.6	407.8	405.6
Level 1	402.4	407.1	406.6	405.4
Level 2	402.2	403.0	405.1	403.4
Level 3	398.8	399.1	403.1	400.3
Level 4	393.5	393.9	398.3	395.2

4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเปราะเปื้อนที่รุนแรงขึ้น ค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยดังรูปที่ 4.1 ส่วนค่าความคงทนของลูกถ้วยฉนวนต่อการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำและค่าความคงทนของลูกถ้วยฉนวนต่อการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพลบ มีแนวโน้มลดลงทั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์และลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน ดังรูปที่ 4.2 - 4.5

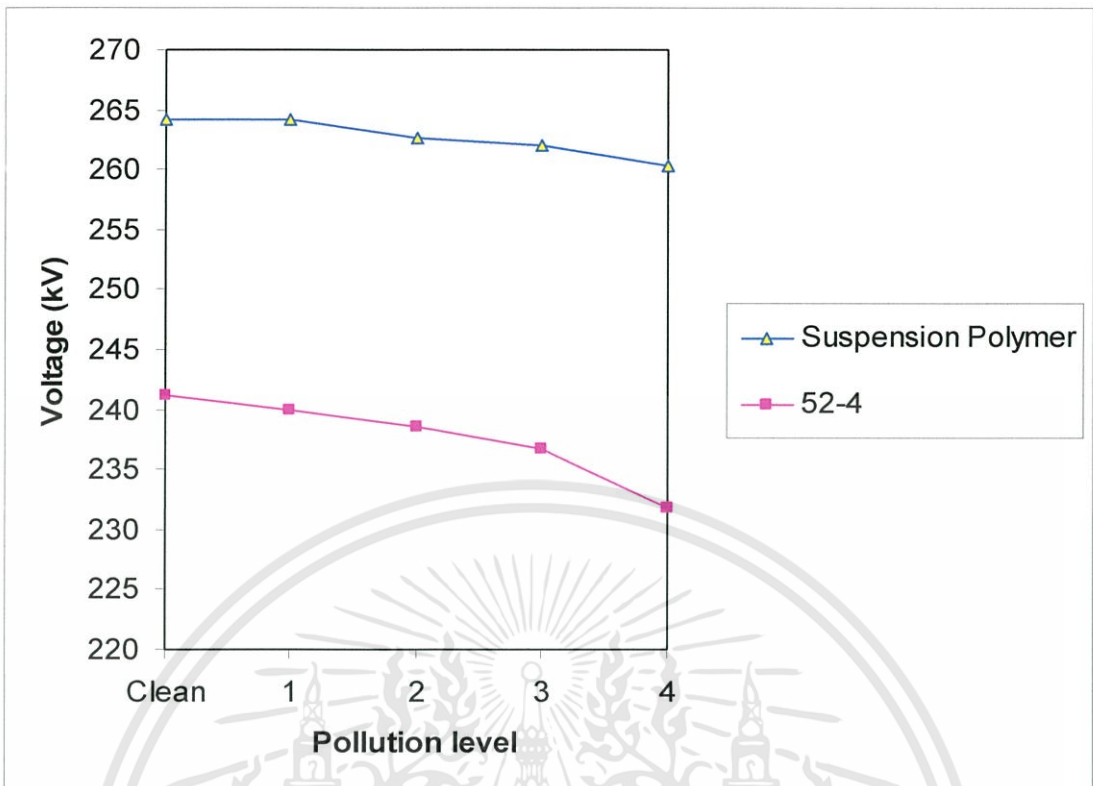


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกระแสรั่วไหล

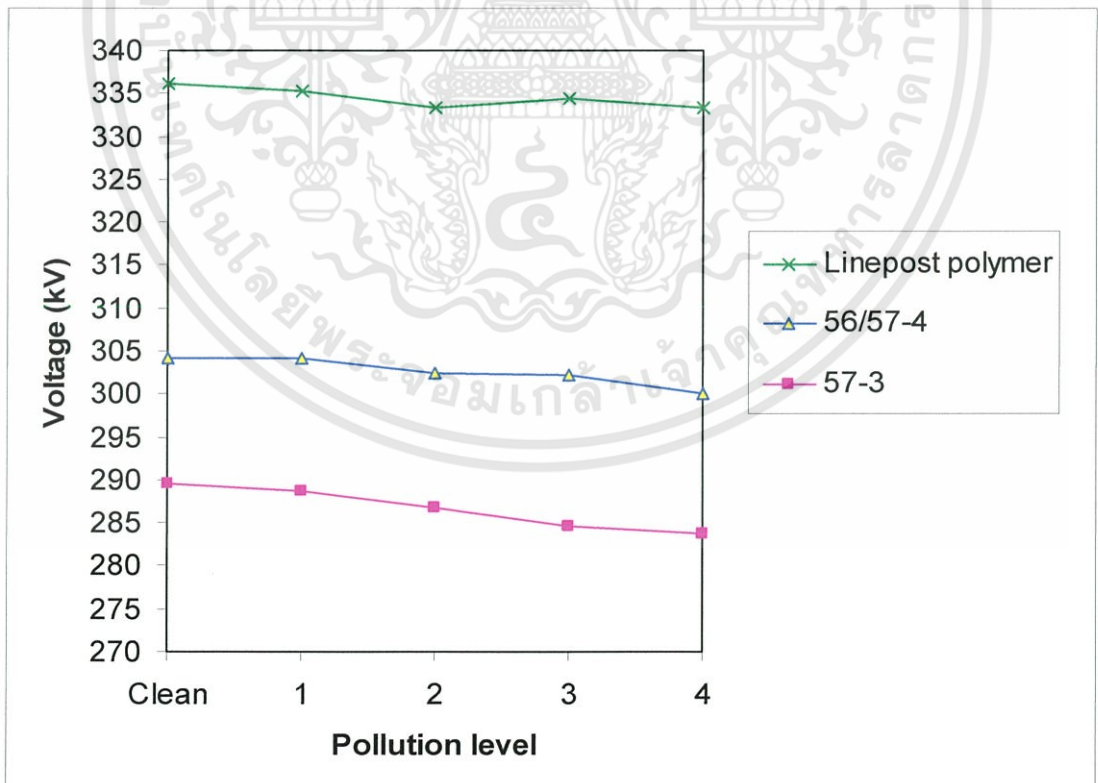


รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำของลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

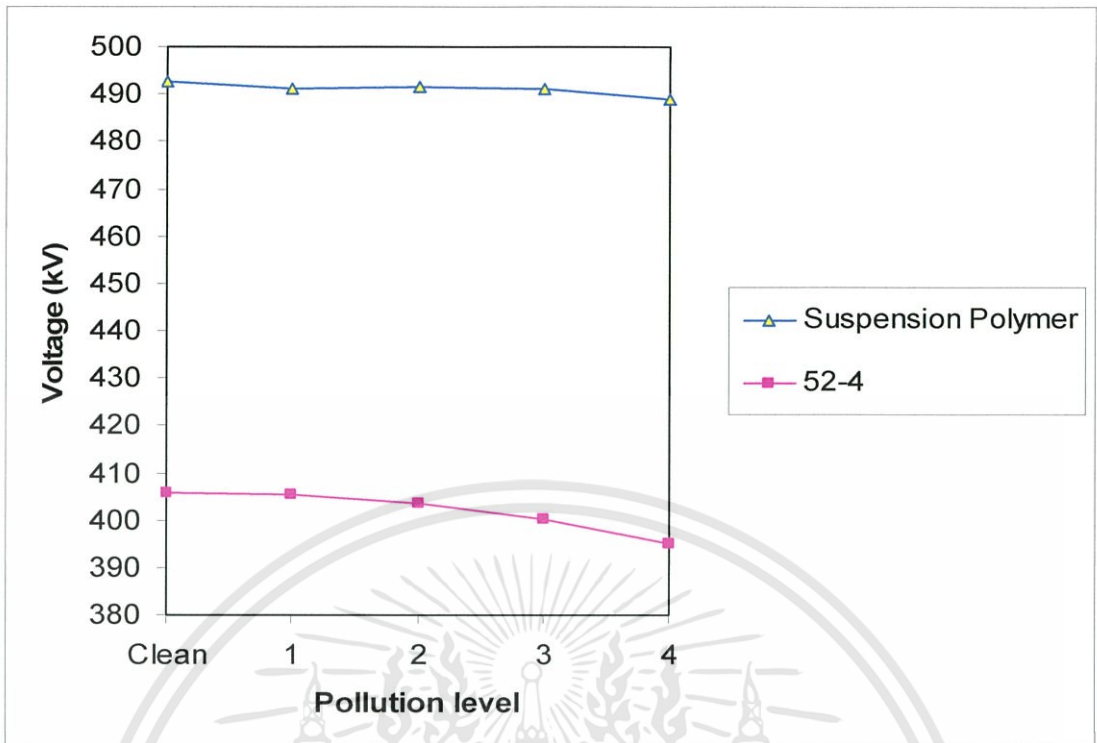


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำของลูกถ้วยชนิดนวนแบบแขวน



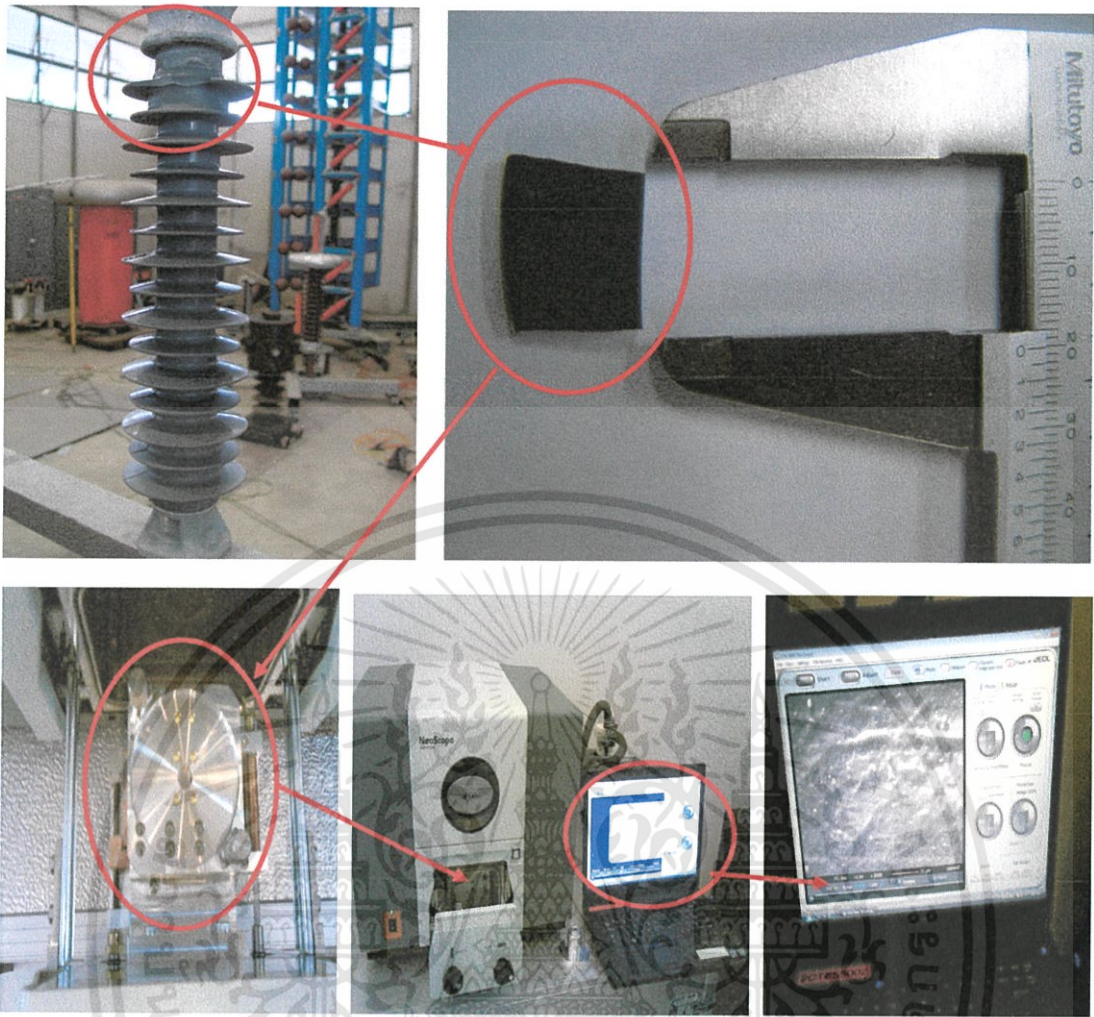
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิฤตชั่วลบ ของลูกถ้วยชนิดนวนแบบก้านตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

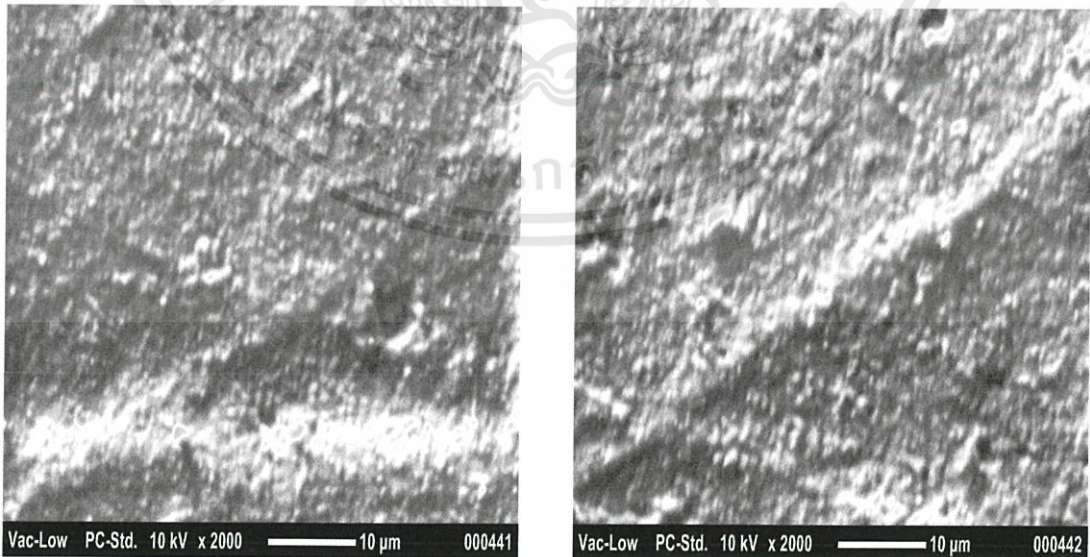


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตขั้วลบของลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน

จากนั้นงานวิจัยนี้ได้นำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ไปศึกษาความเสื่อมสภาพของฉนวนจากการติดตั้งใช้งาน โดยการนำตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน และตัวอย่างที่ติดตั้งใช้งานแล้วที่บริเวณริมชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต มาทำการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM ; Scanning Electron Microscope) โดยนำตัวอย่างที่บริเวณปีกบนสุดของของลูกถ้วยฉนวน โพลิเมอร์แบบก้านตรง เนื่องจากเป็นบริเวณดังกล่าวได้รับความเครียดมากที่สุด ทั้งจากระดับแรงดัน, รั้งสีเหนือม่วง (UV), ความร้อนจากดวงอาทิตย์ตอนตั้งฉากกับพื้นโลก เป็นต้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งสามารถรองรับชิ้นงานทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางได้ถึง 70 mm. มีความหนาถึง 50 mm. โดยตัวอย่างทดสอบมีขนาด 20x20 mm. ดังรูปที่ 4.6 ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.7 แสดงพื้นผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งานจำนวน 2 รูป และรูปที่ 4.8 แสดงพื้นผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ที่ได้ติดตั้งใช้งานแล้วประมาณ 2 ปี จำนวน 6 รูป

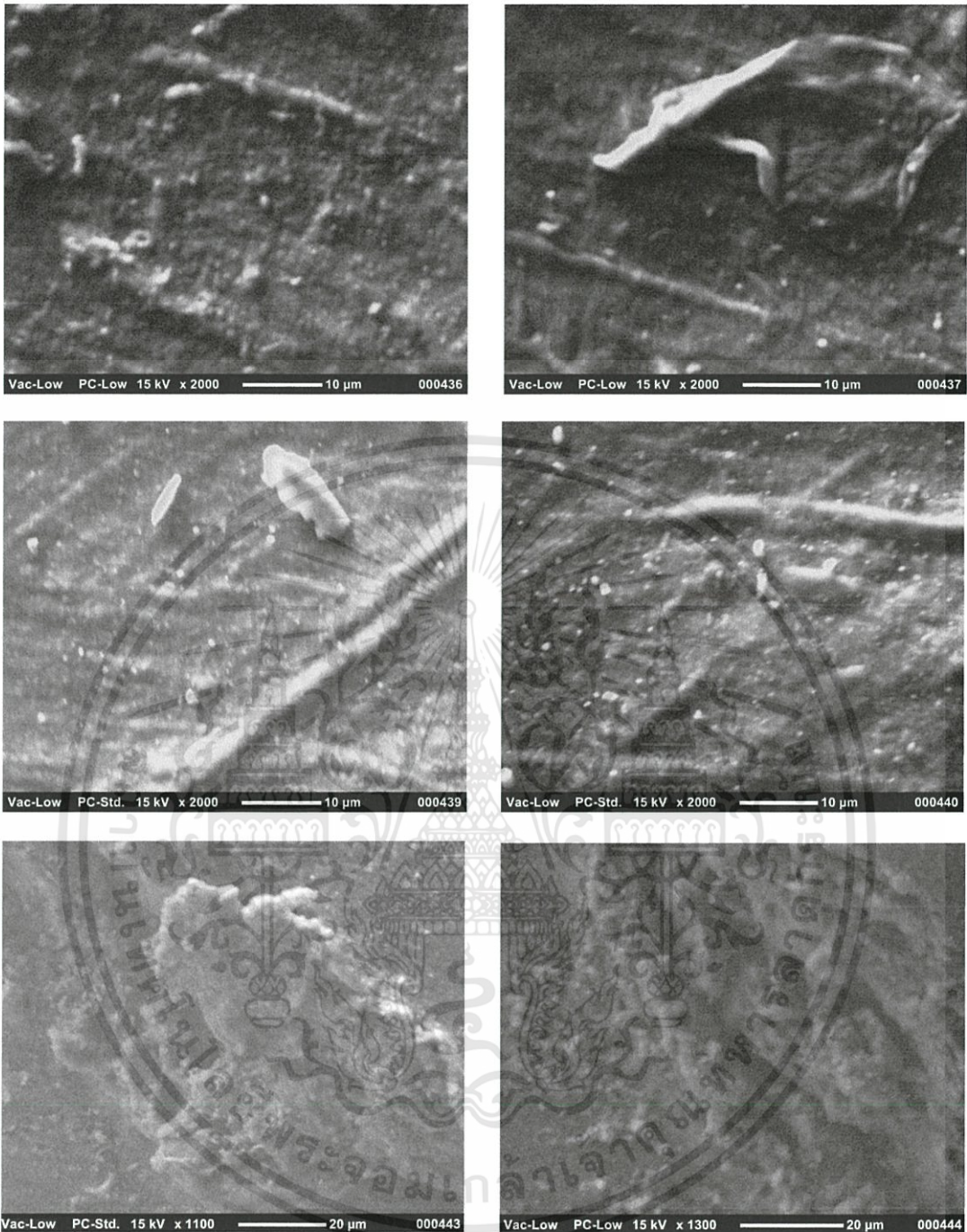


รูปที่ 4.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ที่
ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน จำนวน 1 ชิ้นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

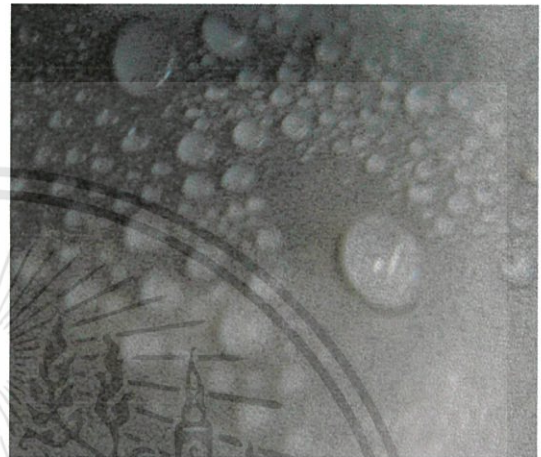
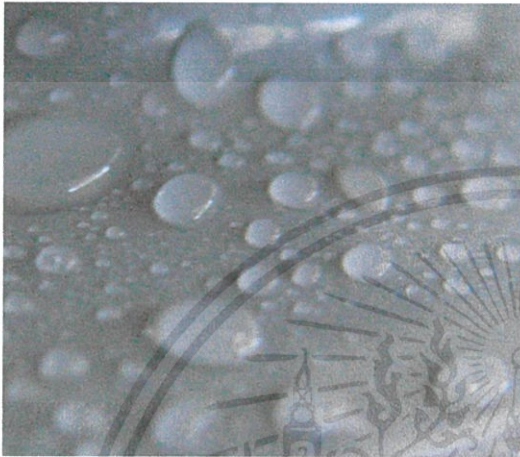


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ประมาณ 2 ปี จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง

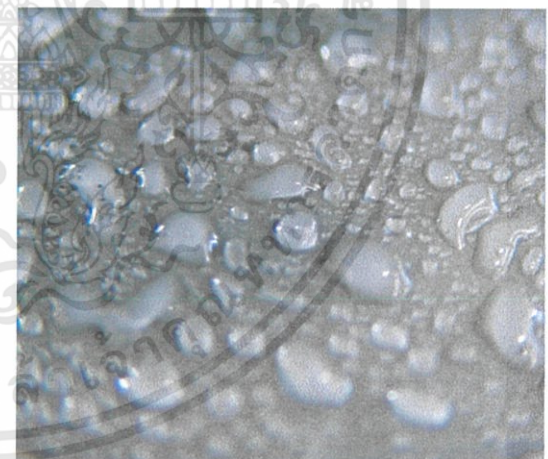
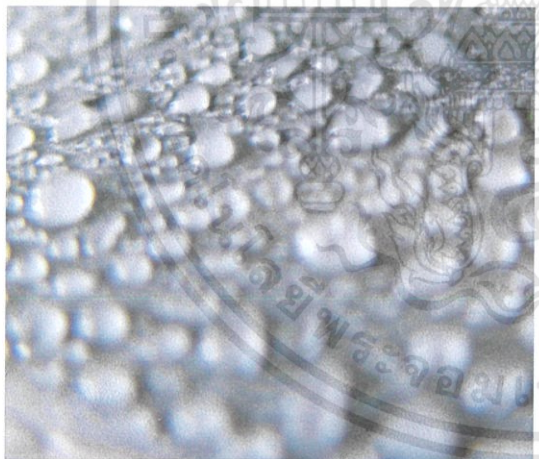
หลังจากนำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ไปทำการศึกษาสภาพพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นได้นำตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนลูกเดียวกันไปทดสอบคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีผลการทดสอบของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งานเป็นดังรูปที่ 4.9 จากรูปจะเห็นได้ว่าหยดน้ำมีลักษณะกลม และอยู่แยกจากกันโดยสิ้นเชิงไม่มีร่องทางน้ำเชื่อมถึงกัน เมื่อพิจารณาการแบ่งระดับ HC1 - HC7 ตามรูปตัวอย่างในมาตรฐาน STRI Guide 92/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดั่งรูปที่ 2.28 สามารถจัดให้อยู่ในระดับ HC1 และจากผลการทดสอบของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ ที่ที่ติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต แล้วประมาณ 2 ปี เป็นดั่งรูปที่ 4.10 เห็นได้ว่า หยกน้ำจะมีลักษณะค่อนข้างยาวกว่าและแบนกว่าหยกน้ำในรูปที่ 4.9 อย่างชัดเจน เนื่องจากสาเหตุ คุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ แต่ก็ยังไม่มีย่นทางน้ำเชื่อมถึงกัน ตามรูปตัวอย่างในมาตรฐาน STRI Guide 92/1 ดั่งรูปที่ 2.8 สามารถจัดให้อยู่ในระดับ HC3



ปีกบนสุด ของลูกถ้วยฉนวน
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายหยกน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน

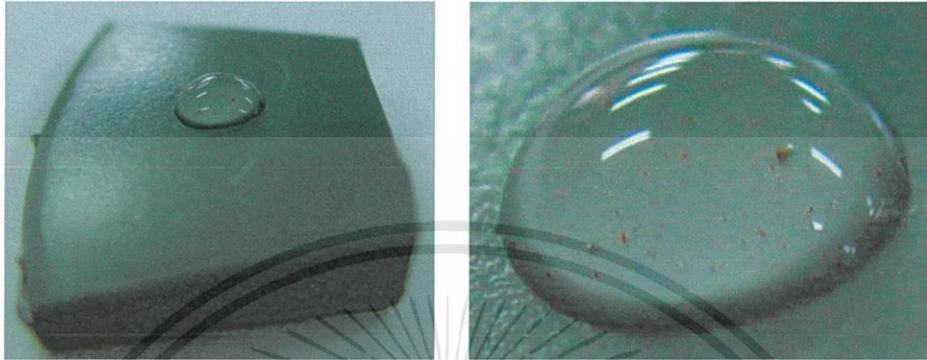


ปีกบนสุด ของลูกถ้วยฉนวน
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายหยกน้ำของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต แล้วประมาณ 2 ปี

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำได้ง่ายและชัดเจนขึ้น จึงทำการทดสอบเพิ่มเติม โดยใช้หลอดหยด หยดน้ำลง ไปบนผิวของลูกถ้วยฉนวนทดสอบเพียงหยดเดียวแล้ว วิเคราะห์ผลที่ได้ จากรูปที่ 4.11 จะพบว่าเมื่อพิจารณาหยดน้ำบนผิวลูกถ้วยฉนวนโพลีเมอร์ที่ไม่ได้ติดตั้งใช้งานนั้นจะมีลักษณะกลมกว่าหยดน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ประมาณ 2 ปี ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ทำให้ทราบว่าภายหลังจากติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้มีคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำลดลง ส่วนคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำจะลดลงโดยสิ้นเชิงจะเกิดขึ้นเมื่อติดตั้งใช้งานไปนานเท่าใด ยังต้องศึกษาอีกต่อไป



รูปที่ 4.11 แสดงหยดน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบ โพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน



รูปที่ 4.12 หยดน้ำบนผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานบริเวณริมชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ประมาณ 2 ปี

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบของงานวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

การทดสอบกระแสรั่วไหล จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีค่ากระแสรั่วไหลที่ต่ำกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนทั้งแบบก้านตรงและแบบแขน ตั้งแต่ในสถานะที่สะอาดจนไปถึงการเพิ่มระดับมลภาวะที่สูงขึ้น เมื่อทำการทดสอบหาค่าแฟลคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก เพื่อจะนำมาคำนวณค่ากำลังสูญเสียของลูกถ้วยแต่ละประเภท ซึ่งมีผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์มีค่ากำลังสูญเสียต่ำกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนอยู่ประมาณ 2 - 3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ค่ากำลังสูญเสียของลูกถ้วยแต่ละประเภท

ประเภท ลูกถ้วยฉนวน	กระแสรั่วไหล ⁽¹⁾ (mA)	แฟกเตอร์พลังงาน สูญเสียค่าไดอิเล็กตริก	กำลังสูญเสีย ⁽²⁾ (W)	กำลังสูญเสีย ⁽³⁾ (W)
Pin post type class 56/57-4	0.08	0.0032	0.004864	4.864
Line post type class 57-3	0.09	0.0024	0.004104	4.104
Line post polymer	0.06	0.0019	0.002166	2.166
Suspension polymer	0.02	0.0048	0.001824	1.824
Suspension type class 52-4 (3 Pcs./set)	0.05	0.0055	0.005225	5.225

หมายเหตุ (1) เป็นค่ากระแสรั่วไหลเฉลี่ย ของลูกถ้วยฉนวนในระดับความเปรอะเปื้อนระดับที่ 4

(2) เป็นค่าที่คำนวณจาก สมการที่ 2.2 (และเป็นค่าต่อตัวอย่างทดสอบ)

(3) เป็นค่ากำลังสูญเสียเมื่อคำนวณจากการติดตั้งลูกถ้วยฉนวน 1,000 ชุด

การทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง โพลีเมอร์จะมีค่าความคงทนของฉนวนต่อการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ สูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรงพอร์ซเลน และจากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน โพลีเมอร์จะมีค่าความคงทนของฉนวนต่อการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำ สูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนพอร์ซเลน เช่นกัน เมื่อนำข้อมูลของค่าการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำที่ระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุดเปรียบเทียบกับสภาวะที่ลูกถ้วยฉนวนสะอาด ได้ผลดังตารางที่ 4.26 และจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าลูกถ้วยฉนวน โพลีเมอร์แบบไลน์โพสท์จะมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 2.99% ส่วนลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน พินโพสท์ แบบ 56/57-4 และไลน์โพสท์แบบ 57-3 ก็มีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 4.78% และ 5.09% ตามลำดับ และในทำนองเดียวกันลูกถ้วยโพลีเมอร์แบบแขวนมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 1.48% และลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน 52-4 ก็จะมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 3.86% สรุปได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีค่าความคงทนของฉนวนต่อการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนเมื่ออยู่ในสภาวะความเปรอะเปื้อนที่รุนแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของการทดสอบการวางไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ

ประเภทของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ	การเปลี่ยนแปลง (%)
Pin post type class 56/57-4	4.78
Line post type class 57-3	5.09
Line post polymer	2.99
Suspension polymer	1.48
Suspension type class52-4	3.86

การวางไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตด้วยแรงดันอิมพัลส์ชั่วพล จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรงโพลิเมอร์จะมีค่าความคงทนของฉนวนต่อการวางไฟตามผิวอิมพัลส์ วิกฤตชั่วพล สูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรงพอร์ซเลน และจากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนโพลิเมอร์จะมีค่าความคงทนของฉนวนต่อการวางไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล สูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนพอร์ซเลนเช่นกัน เมื่อนำข้อมูลของค่าการวางไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพลที่ระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุดเปรียบเทียบกับสถานะที่ลูกถ้วยฉนวนสะอาด ก็จะได้ผลดังตารางที่ 4.27 และจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าลูกถ้วยฉนวนโพลิเมอร์แบบไลน์โพลท์จะมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 0.83 % ส่วนลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนพิน โพลท์ แบบ 56/57-4 และไลน์โพลท์แบบ 57-3 ก็มีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 1.32% และ 2.00% ตามลำดับ และในทำนองเดียวกันลูกถ้วยโพลิเมอร์แบบแขวนมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 0.69% และลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน 52-4 ก็จะมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่ลดลง 2.56% สรุปได้ว่า ลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์จะมีค่าความคงทนของฉนวนต่อการวางไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพลสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนเมื่ออยู่ในสถานะความเปรอะเปื้อนที่รุนแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของการทดสอบการวางไฟตามผิวอิมพัลส์ วิกฤตชั่วพล

ประเภทของลูกถ้วยฉนวนทดสอบ	การเปลี่ยนแปลง (%)
Pin post type class 56/57-4	1.32
Line post type class 57-3	2.00
Line post polymer	0.83
Suspension polymer	0.69
Suspension type class52-4	2.56

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีโครงการศึกษาและติดตามผลการทดลองใช้งานลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานทดแทนลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนในพื้นที่ที่ประสบปัญหา ลูกถ้วยฉนวนเกิดการวาวไฟตามผิว เนื่องจากลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีคุณสมบัติข้อดี คือ เป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดี น้ำหนักเบา ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งใช้งาน โดยเฉพาะคุณสมบัติเด่นในเรื่องการไม่ชอบน้ำทำให้ละอองของสิ่งเปรอะเปื้อนต่าง ๆ รวมถึงความชื้นหรือหยดน้ำสามารถเกาะที่ผิวได้ยาก ส่วนลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนก็จะมีคุณสมบัติข้อดี คือ เป็นฉนวนทางไฟฟ้าและความร้อนที่ดี อีกทั้งสมบัติเชิงกลที่แข็งแรงทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่ก็ค่อนข้างเปราะ มีความทนต่อแรงดึงต่ำ มีความเหนียวต่ำ สามารถทนต่อแรงกดได้มากกว่าแรงดึงประมาณ 5 - 10 เท่า และจากผลของงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน เมื่ออยู่ในสภาวะเปรอะเปื้อนที่รุนแรงมากขึ้น ดังนั้นจึงทำการศึกษาต่อในเรื่องอายุการใช้งานของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ โดยการนำตัวอย่างของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานจริงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบริเวณชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ประมาณ 2 ปี มาทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ติดตั้งใช้งานมาแล้ว ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.8 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.7 จากภาพของผลการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าภาพตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนที่ถูกติดตั้งใช้งานแล้วจะมีร่องรอยความเสียหายเกิดขึ้น เมื่อเทียบกับภาพตัวอย่างของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน จากนั้นได้นำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์มาทำการทดสอบคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ จากผลการทดสอบก็พบอีกว่าคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำของลูกถ้วยแบบโพลีเมอร์ก็ลดลงเช่นกันหลังจากถูกติดตั้งใช้งาน ซึ่งความเสื่อมสภาพดังกล่าวอาจจะเกิดมาจาก ความร้อน รังสีเหนือม่วง (UV) มลภาวะจากไอเกลือ หรือจากสาเหตุอื่น ๆ ซึ่งต้องศึกษากันอีกต่อไป โดยเฉพาะเรื่องอายุการใช้งานของลูกถ้วยแบบโพลีเมอร์ซึ่งเดิมลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนที่ใช้งานอยู่นั้นจะมีอายุการใช้งานมากกว่า 50 ปี อีกทั้งในปัจจุบันลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ยังมีราคาค่อนข้างสูงกว่าแบบพอร์ซเลน [25] และจากตารางที่ 4.25 จะเห็นว่าแม้ลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์นั้นจะสามารถลดค่ากำลังสูญเสียของระบบได้บ้างแต่ก็ถือว่ายังมีปริมาณน้อย แต่เพื่อเสถียรภาพของระบบแล้วการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก็ต้องดำเนินการปรับปรุงและหาทางแก้ไขให้ระบบจำหน่ายมั่นคงต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

เมื่อเทคโนโลยีสูงขึ้นก็ทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นในทุกพื้นที่เช่นกัน อีกทั้งนโยบายของรัฐบาลและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเองนั้นก็ต้องการขยายเขตการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ทุกๆภาคครัวเรือนในประเทศ เมื่อการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศนั้นแล้ว ด้านประสิทธิภาพการส่งจ่ายพลังงานก็ถือว่ามีความสำคัญเช่นกัน โดยเฉพาะแนวของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณที่มีมลภาวะสูงเช่น บริเวณริมชายฝั่งทะเลก็จะได้รับผลกระทบจากไอเกลือจากทะเล หรือบริเวณที่ทำอุตสาหกรรมที่มีฝุ่นผงในระดับสูง เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นต้น เมื่อฝุ่นหรือไอเกลือมาเกาะที่ลูกถ้วยฉนวนที่เป็นพอร์ชเลนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าตั้งแต่เกิดกระแสรั่วไหลจนนำไปสู่การวาบไฟตามผิว ทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่มีเสถียรภาพ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงเริ่มมีการทดลองติดตั้งใช้งานลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวในบางพื้นที่ที่ประสบปัญหา

จากงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อระดับความเปรอะเปื้อนเพิ่มขึ้น พบว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีคุณสมบัติของกระแสรั่วไหลต่ำกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ชเลน ทำให้มีค่ากำลังสูญเสียต่ำกว่าอีกด้วย ส่วนการทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ และการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล พบว่าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ก็จะมีค่าความคงทนของฉนวนสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ชเลน แต่ความเป็นไปได้ที่จะนำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์มาใช้แทนลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ชเลนในทุกๆพื้นที่นั้น จะต้องมีการศึกษาวิจัยด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ในเรื่องอายุการใช้งานของโพลีเมอร์ต่อสภาวะอากาศของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้นำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ไปศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเกิดความเสียหายขึ้นบนพื้นผิวลูกถ้วยฉนวนที่ผ่านการติดตั้งใช้งานมาแล้ว 2 ปี และในเรื่องคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง งานวิจัยนี้จึงได้นำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ไปทำการทดสอบคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ พบว่าลูกถ้วยตัวอย่างที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมีคุณสมบัติการไม่ชอบน้ำลดลงไป ก็หมายความว่าคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองก็ลดลงไปด้วย แม้แต่ด้านหลักเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์จะมีค่ากำลังสูญเสียในระบบต่ำกว่า แต่ราคาของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ในปัจจุบันก็ยังมียราคาสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ชเลน อย่างไรก็ตามถ้าลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์สามารถแก้ปัญหาการวาบไฟตามผิวที่เกิดจากลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ชเลนที่ติดตั้งในบริเวณที่มีมลภาวะของ ไอเกลือที่รุนแรงได้ก็ถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุนเพื่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเอง

บรรณานุกรม

- [1] การไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค , โครงการวิจัยเพื่อตรวจวัดระดับมลภาวะในระบบจำหน่ายไฟฟ้าพื้นที่ภาคใต้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, โดยศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กองวิจัย , 2545-2546
- [2] ภูษิต บุญโท, สกลวุฒิ ภูผาสุข, สราวุธ บุรีแก้ว, การศึกษาและออกแบบครอบเอาท์พาส์และกับดักฟ้าผ่า, ปรินูญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2548
- [3] IEC 60060-1 , second edition 1989-11, **High voltage test techniques Part1 : General definitions and test requirements**
- [4] ตำรวจ สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [5] IEC 383-1, fourth edition 1993-04, **Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V**
- [6] การไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค , รายงานผลการศึกษาปัญหาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณที่มีมลภาวะ, พิมพ์ครั้งที่1, กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย, 2548
- [7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, หลักเกณฑ์การใช้ลูกถ้วยแรงสูงในระบบจำหน่าย 22 และ 33 kV, 2540
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, มอก.1077 – 2535 ลูกถ้วยแท่ง : พอร์ซเลน **STANDARD FOR LINE-POST TYPE PORCELAIN INSULATORS**, 2535
- [9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, มอก.1251 – 2537 ลูกถ้วยแท่งก้านตรง : พอร์ซเลน **PIN-POST TYPE PORCELAIN INSULATORS**, 2537
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, มอก.354 – 2528 ลูกถ้วยแขวน : พอร์ซเลน **STANDARD FOR SUSPENSION-TYPE PORCELAIN INSULATORS**, 2528
- [11] นรเศรษฐ พัฒนเดช, วัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า เล่ม 1 : ฉนวนและวัสดุฉนวนไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [12] IEC 507, second edition 1994-04, **Artificial pollution on high voltage insulators to be used on a.c. systems**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] IEC 815, **Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions**, 1986
- [14] CIGRE WG 33.01 Guide to procedures for estimating the lightning performance transmission lines. CIGRE Technical Bulletin No. 63.1991.
- [15] IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines IEEE, Std 1243-1997.
- [16] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, **มาตรฐานวิธีการตรวจวัดและคำนวณหาค่า ESDD ของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ภายใน กฟภ.**, 2548
- [17] รศ. แม้น อมรสิทธิ, **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**, พิมพ์ครั้งที่ 1 ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ กรุงเทพฯ ๑ พ.ศ. 2534
- [18] T. Toya , R. Jotaki , A. Kato , Specimen Preparations in EPMA and SEM , JEOL Training Center EP Section , January, 1986
- [19] Fred W. Billmeyer, JR., **Textbook of Polymer Science, Second edition**, New York, JOHN WILEY & SONS, Inc.
- [20] B Karthick and Ramesh Maheshwari, **Lotus-Inspired Nanotechnology Applications**, RESONANCE P.1141-1145, December, 2008
- [21] STRI Guide 92/1, **Hydrophobic classification guide**
- [22] IEC TS 62073, **Guidance on the measurement of wettability of insulator surfaces**, First edition 2003 - 06
- [23] ANSI C29.1 1992, **American National Standard for test method for electrical power insulator.**
- [24] IEC 60060-2, second edition 1994-11, **High voltage test techniques Part2 : Measuring Systems**
- [25] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, **อนุมัติราคามาตรฐานพัสดุ เริ่มใช้วันที่ 15 กรกฎาคม 2552 ถึง 31 ธันวาคม 2552**
- [26] www.phukettoday.com , ข่าวเศรษฐกิจ ฉบับที่ 642 , EXPRESS DATA

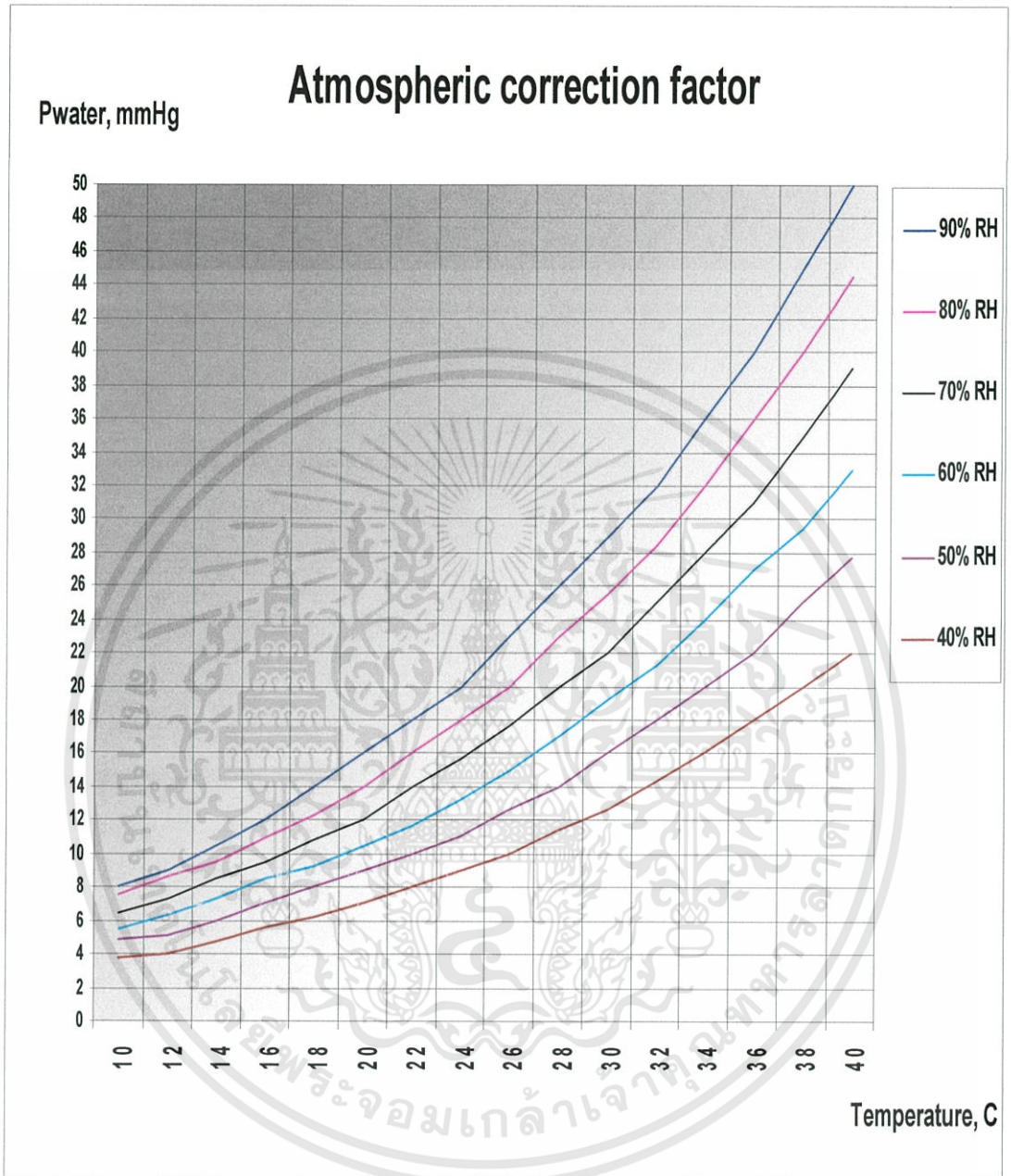
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

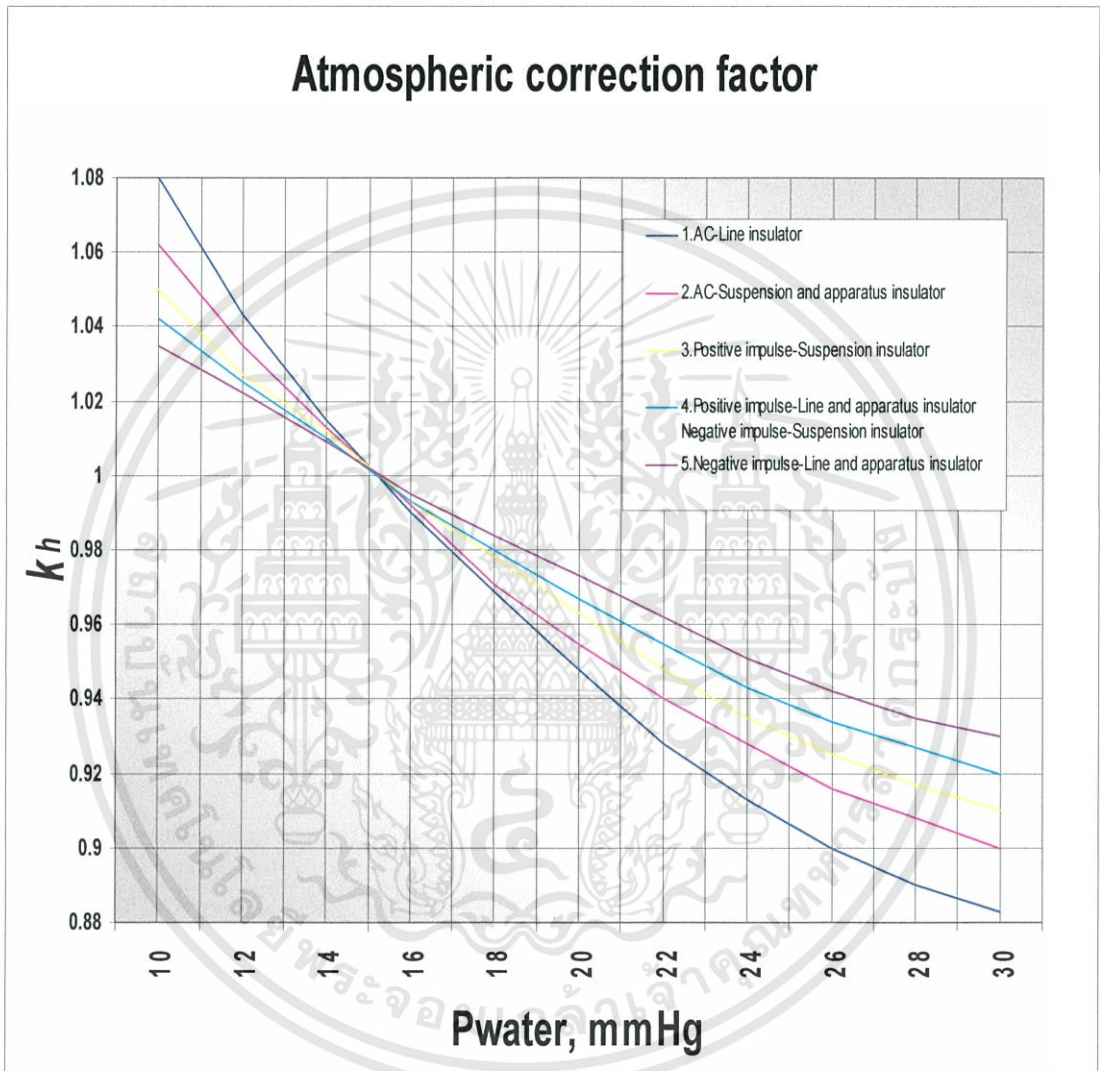


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 กราฟสำหรับปรับเทียบค่าผลทดสอบทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 กราฟสำหรับเปรียบเทียบค่าผลทดสอบทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. สกลวุฒิ ภูผาสุข นรเศรษฐ พัฒนเดช มณฑล ถีลาจินดาไกรฤกษ์, “การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนและโพลีเมอร์สภาวะเปราะเปื้อน ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ กฟภ.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), หน้า 211-214, ณ รอยัลฮิลล์ กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครนายก, 29 – 31 ตุลาคม 2551

EECON XXXI

การประชุมวิชาการ
ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31
31st Electrical Engineering Conference (EECON-31)

Volume I

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- คอมพิวเตอร์ ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

29 - 31 ตุลาคม 2551
ณ โรงแรมอิมพีเรียล โกลด์ รีซอร์ส แอนด์ สเปา จังหวัดนครนายก

ร่วมจัดโดย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
SHINAKHARAWIROJ UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สนับสนุนโดย

WD Western Digital AIS อุตสาหกรรม CAT NECTEC ABB

รูปที่ 3 วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนและโพลีเมอร์สภาวะเปรอะเปื้อน ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงระบบ 33 kV ของ กฟภ.

Electrical Characteristic Comparison of Porcelain Insulators and Polymer Insulators Polluted Condition for Distribution system 33 kV of PEA.

สกลวุฒิ ภูผาสุข นรเศรษฐ พัฒนเดช มณฑล อีลาจินดาไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง E-mail: note790@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษาวิจัยการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ระหว่างลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนกับลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงสูงพิกัด 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งแบบลูกถ้วยแขวนและลูกถ้วยก้านตรง โดยทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ดังนี้คือ การวาบไฟตามผิวในสภาวะแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำ, กระแสรั่วไหล และค่าแรงดันวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล

จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มระดับมลภาวะที่รุนแรงขึ้น ค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำและทดสอบการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต ด้วยแรงดันอิมพัลส์ชั่วพลนั้น พบว่าระดับแรงดันมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยทั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์และแบบพอร์ซเลน

คำสำคัญ : ESDD , ลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน , ลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์

Abstract

This paper presents the study of electrical characteristic comparison of porcelain insulators and polymer insulators, suspension and line post type using in 33 kV distribution system of Provincial Electricity Authority (PEA). The electrical characteristic power frequency dry flashover, leakage current and critical impulse negative polarity flashover voltage are investigated.

From the experimental, in the severe condition. The amplitude of leakage current of polymer insulator is in the same level when using clean normal condition , on the other hand the leakage current of porcelain insulator increase when it is employed in higher severity pollution levels. For power frequency dry flashover test and

critical impulse negative polarity flashover voltage test, the flashover voltage decrease for both insulators.

Keywords : ESDD , porcelain insulator , polymer insulator

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นแบบสายอากาศโดยใช้สายตัวนำเดินพาดไปตามเสาไฟฟ้า โดยใช้ลูกถ้วยเป็นฉนวนรองรับ ซึ่งหน่วยงานที่มีหน้าที่ส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ภาคประชาชน คือ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) โดยจะมีเขตรับผิดชอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ 3 จังหวัด คือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยจะมีเขตรับผิดชอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าอีก 73 จังหวัดที่เหลือ โดยจะส่งผ่านระบบจำหน่ายแรงสูง 22 และ 33 kV โดยเฉพาะระบบจำหน่ายแรงสูง 33 kV จะมีใช้ในบริเวณภาคใต้ของประเทศ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นแนวยาวขนานกับชายฝั่งทะเลทั้ง 2 ด้าน และมักจะมีเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องบ่อยครั้งของระบบจำหน่ายตามแนวชายฝั่งทะเล เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าสะสมคราบสกปรกที่เกิดจากไอเกลือจากทะเลสูงจนกระทั่งเกิดวาบไฟตามผิว (Flashover) กลายเป็นการลัดวงจรลงดินอีกทั้งเกิดกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ทำให้กำลังสูญเสียของระบบสูงขึ้น นอกจากการเลือกใช้ประเภทของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่แล้ว [1] ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการติดตั้งใช้งานลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบโพลีเมอร์ในระบบจำหน่ายแรงสูงในบริเวณที่ได้รับผลกระทบบางพื้นที่ทดแทนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบพอร์ซเลน จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยนี้เพื่อที่จะเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าระหว่างแบบโพลีเมอร์ กับแบบพอร์ซเลน โดยจะทดสอบคุณสมบัติการวาบไฟตามผิวแห้ง (Dry flashover) กระแสรั่วไหลตามผิว (Leakage Current) และเกิดการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตชั่วพล (Critical impulse negative polarity flashover voltage) [2,3] โดยจะเริ่มทดสอบตั้งแต่สภาวะที่สะอาดแล้วเพิ่มระดับการเปรอะเปื้อนตามผิวสูงขึ้นเรื่อยๆ

2. การตรวจวัดค่า ESDD [4,5]

ค่า ESDD (Equivalent Salt Deposit Density) คือ ปริมาณการสะสมของสิ่งประอะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยเทียบเท่ากับปริมาณของเกลือ (NaCl) เป็น mg / cm^2 ซึ่งจะให้ความนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้จากการนำเอาสิ่งประอะเปื้อนมาละลายน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน โดยมาตรฐาน IEC 507 ได้กำหนดระดับของค่า ESDD สรุปได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งระดับของค่าความประอะเปื้อน

Level	Description	ESDD (mg/cm^2)
1	Very light	0 – 0.03
2	Light	0.03 – 0.06
3	Moderate	0.06 - 0.10
4	Heavy	> 0.10

วิธีการตรวจวัดและคำนวณหาค่า ESDD

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความประอะเปื้อนมีดังนี้

- 1.1 มิเตอร์วัดความนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งมีเตอร์ต้องสามารถวัดความนำไฟฟ้าได้ต่ำถึง $1 \mu\text{S}/\text{cm}$
- 1.2 น้ำบริสุทธิ์ มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า $10 \mu\text{S}/\text{cm}$
- 1.3 ถ้วยตวงขนาด 1,000 cc.
- 1.4 กระจกที่มีคุณสมบัติไม่เป็นฝุ่นฟู ไม่ฉีกขาดง่าย และไม่ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง
- 1.5 ถุงมือที่สามารถกันน้ำได้
- 1.6 ขาดังลูกถ้วย



รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับเก็บค่า ESDD และการเก็บค่า ESDD

2. ขั้นตอนการวัดความประอะเปื้อนของลูกถ้วยมีขั้นตอนดังนี้

- 2.1 นำลูกถ้วยที่จะตรวจวัดวางเตรียมไว้ที่ข้างตั้ง โดยระวังไม่ให้มีการสัมผัสที่ผิวของลูกถ้วยหรือสัมผัสให้น้อยที่สุด
- 2.2 ผู้ตรวจวัดสวมถุงมือ แล้วล้างทำความสะอาดถ้วยตวงให้สะอาด
- 2.3 ใช้ถ้วยตวงเพื่อตวงน้ำบริสุทธิ์ 500 cc. แล้วนำกระจกจุ่มลงไปใต้น้ำ
- 2.4 ใช้มิเตอร์วัดความนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำ แล้วจดบันทึกโดยค่าความนำของน้ำต้องน้อยกว่า $10 \mu\text{S}/\text{cm}$

2.5 บีบน้ำออกจากกระจกก่อนนำไปเช็ดลูกถ้วย นำกระจกกลับ ไปจุ่มและเขย่าใต้น้ำแล้วบีบออกอีกครั้งก่อนนำไปเช็ดลูกถ้วยต่อ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนลูกถ้วยสะอาดไม่มีสิ่งประอะเปื้อนเหลืออยู่บนผิวลูกถ้วย (ยกเว้นส่วนที่เป็นโลหะไม่ต้องเช็ดทำความสะอาด)

2.6 คนน้ำให้สิ่งเจือปนละลายก่อนใช้มิเตอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำอีกครั้งแล้วจดบันทึก

3. ทำการวัดหาพื้นที่ผิวลูกถ้วย

4. คำนวณค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 20°C โดยใช้สมการที่ (1) และคำนวณหาค่าตัวประกอบ b ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้สมการ (2)

$$\sigma_{20} = \sigma_\theta [1 - b(\theta - 20)] \quad (1)$$

เมื่อ θ คือ อุณหภูมิของสารละลาย ($^\circ\text{C}$)

σ_θ คือ ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ $\theta^\circ\text{C}$ (S/m)

σ_{20} คือ ค่าความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20°C (S/m)

b คือ ค่าตัวประกอบแปรตามอุณหภูมิของสารละลาย

$$b = -3.200 \times 10^{-8} \theta^3 + 1.032 \times 10^{-5} \theta^2 - 8.272 \times 10^{-4} \theta + 3.544 \times 10^{-2} \quad (2)$$

5. คำนวณความเข้มข้นของเกลือ (Salinity; S_e) โดยใช้สมการที่ 3

$$S_e = (5.7 \sigma_{20})^{1.03} \quad (3)$$

6. คำนวณค่า ESDD โดยใช้สมการที่ 4

$$ESDD = S_e V / A \quad (4)$$

เมื่อ S_e คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (kg/m^3)

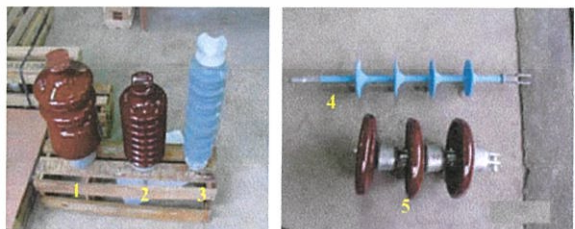
V คือ ปริมาตรสารละลาย (cm^3)

A คือ พื้นที่ผิวลูกถ้วย (cm^2)

3. การทดสอบ

3.1 การเตรียมการทดสอบ

ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นลูกถ้วยที่มีติดตั้งใช้งานในระบบจำหน่าย 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งแบบก้านตรงและแบบแขวน ทั้งหมด 5 ชนิด ดังรูปที่ 2 โดยทำการทดสอบชนิดละ 3 ตัวอย่าง รวมเป็น 15 ตัวอย่าง



รูปที่ 2 ลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบ

- โดยที่
- 1 คือ ลูกถ้วยพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Pin post type (class 56/57-4)
 - 2 คือ ลูกถ้วยพอร์ซเลนก้านตรงแบบ Line post type (class 57-3)
 - 3 คือ ลูกถ้วยโพลิเมอร์ก้านตรง (Line post polymer)
 - 4 คือ ลูกถ้วยโพลิเมอร์แบบแขวน (Suspension polymer)
 - 5 คือ ลูกถ้วยพอร์ซเลนแบบแขวน (class 52-4)



รูปที่ 4 วงจรทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต

1) Impulse generator 1,000 kV, 2) Voltage divider, 3) Test object

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางมิติของลูกถ้วยชนิดที่นำมาทดสอบ

Insulators Type	Leakage distance (mm.)	Arcing distance (mm.)
Pin post type class 56/57-4	1,068	410
Line post type class 57-3	810	328
Line post polymer	1,062	430
Suspension polymer	1,129	665
Suspension type class 52-4	957	518

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ

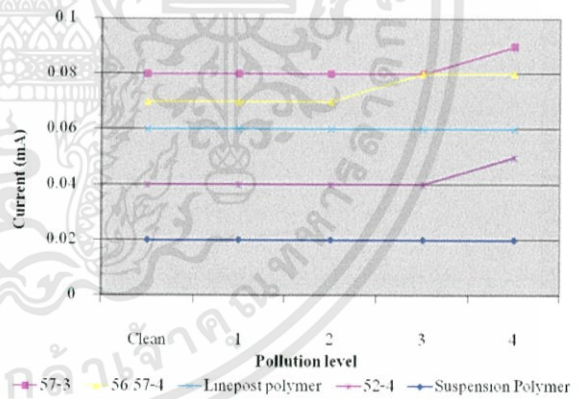
ผลการทดสอบแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยชนิดต่าง ๆ 5 ชนิดเริ่มตั้งแต่ขณะที่ลูกถ้วยชนิดที่ยังสะอาดแล้วนำไปปนไอเกลือเพื่อเพิ่มระดับมลภาวะให้ลูกถ้วยชนิดตั้งแต่ระดับ 1-4 แล้ววัดค่ากระแสรั่วไหลที่แรงดันใช้งาน 19 kV ได้ผลดังรูปที่ 5 , ค่าแรงดันวาวไฟตามผิวแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 6 และค่าทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต ด้วยแรงดันอิมพัลส์ขั้วลบได้ผลดังรูปที่ 7

3.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบนี้จัดทำขึ้นที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รายละเอียดอุปกรณ์ต่างที่ใช้ในการทดสอบนั้น แสดงดังรูปที่ 3 และ 4

สภาวะการทดสอบ : อุณหภูมิ 26-31 °C , ความดันบรรยากาศ 759 mm.Hg. และความชื้นสัมพัทธ์ 60-80 %

โดยใช้วงจรรูปที่ 3 ทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำ และวัดกระแสรั่วที่ระดับแรงดันใช้งาน 19 kV ส่วนวงจรตามรูปที่ 4 ทดสอบการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตด้วยแรงดันอิมพัลส์ขั้วลบ ซึ่งวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน [2,3,6]

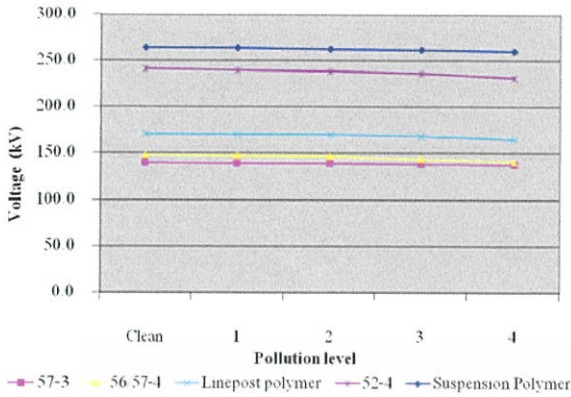


รูปที่ 5 ค่ากระแสรั่วไหลที่แรงดันใช้งาน 19 kV ของลูกถ้วยชนิดต่าง ๆ

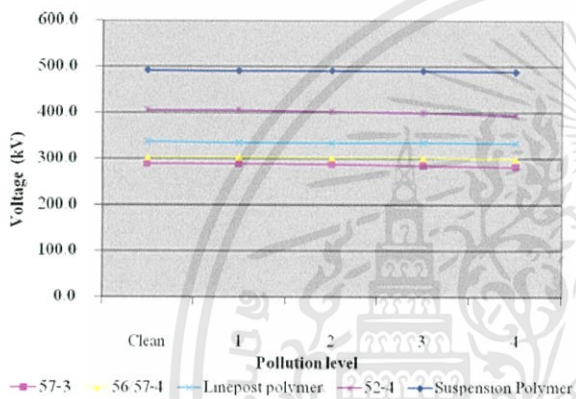


รูปที่ 3 วงจรทดสอบการวาวไฟตามผิวแห้ง

1) Transformer 400 kV, 2) Voltage divider, 3) Test object



รูปที่ 6 ผลการทดสอบค่าแรงดันวาทตามผิวแห้งของลูกถ้วยชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 7 ผลการทดสอบค่าแรงดันวาทตามผิวอิมพัลส์วิกฤต ด้วยแรงดันอิมพัลส์ชั่วพล ของลูกถ้วยชนิดต่าง ๆ

4.2 การวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มระดับมลภาวะที่รุนแรงขึ้น ค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการทดสอบการวาทไฟตามผิวแห้งด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำและทดสอบการวาทไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต ด้วยแรงดันอิมพัลส์ชั่วพลนั้น พบว่ามีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยทั้งแบบโพลิเมอร์และแบบพอร์ซเลน

5. สรุปผล

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้า จะพบว่าลูกถ้วยฉนวนแบบ โพลิเมอร์จะมีคุณสมบัติดีกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน ตั้งแต่ในสภาวะที่สะอาดจนกระทั่งมีการเพิ่มระดับมลภาวะที่รุนแรงขึ้น แต่ความเป็นไปได้ที่จะนำลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์มาใช้แทนลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน จะต้องมีการศึกษาวิจัยด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น คุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง อายุการใช้งานของโพลิเมอร์ต่อ

สภาวะอากาศของประเทศไทย แม้แต่ด้านหลักเศรษฐศาสตร์ถึงแม้ลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์จะมีค่ากระแสรั่วไหล ที่น้อยกว่าทำให้ค่าสูญเสียในระบบต่ำกว่า แต่ราคาของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลิเมอร์ก็ยังมีราคาสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลนมาก เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณ กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและเครื่องวัดความนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำ และพื้นที่อเนกทดสอบ กองวิศวกรรมไฟฟ้าและทดสอบ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจจะทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค “หลักเกณฑ์การเลือกใช้ลูกถ้วยแรงสูงในระบบจำหน่าย 33 kV”
- [2] IEC 60060-1 , second edition 1989-11, “High voltage test techniques Part1 : General definitions and test requirements”
- [3] IEC 60060-2, second edition 1994-11, “High voltage test techniques Part2 : Measuring Systems”
- [4] IEC 507, second edition 1994-04, “ Artificial pollution on high voltage insulators to be used on a.c. systems”
- [5] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค “มาตรฐานวิธีการตรวจวัดและคำนวณค่า ESDD ของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ภายใน กฟภ.”
- [6] ANSI C29.1 1992 American National Standard for test method for electrical power insulator.



สกุลวุฒิ ภูผาสุข ปัจจุบันศึกษาในระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง



นรเศรษฐ พัฒนเดช ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง



มณฑล สลีจินดาไกรฤกษ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรอง ศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

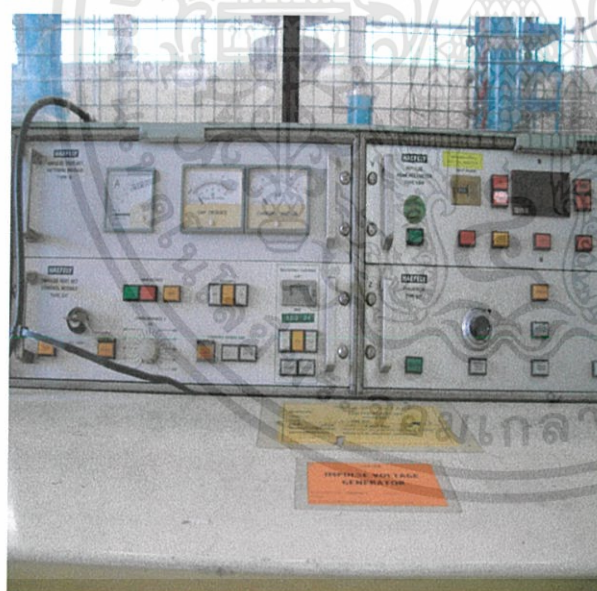


รูปที่ 4 ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 5 ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีพลังงาน
Center of Excellence in Electrical Power Technology
อาคาร 50 ชั้น 5 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
10150 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10130 Thailand, Thailand, Bangkok 10130 THAILAND
Tel: 0662-254425-51 Fax: 0662-210-6547 E-mail: eept@kmutt.ac.th

คู่มือเลขที่: 0162204 วันที่: _____

ชื่อเอกสาร: ใบสั่งงาน (ใบสั่งงาน)

ผู้จัดทำ: ศาสตราจารย์ ดร. วิชาญ วัฒนศิริ
2563-01-18-01-01-01
ชื่อเอกสาร: ใบสั่งงาน
เลขที่เอกสาร: 0162204

ชื่อผู้ควบคุม: ศาสตราจารย์ ดร. วิชาญ วัฒนศิริ
2563-01-18-01-01-01-01
ชื่อเอกสาร: ใบสั่งงาน
เลขที่เอกสาร: 0162204

วันที่	ชื่อรายการ	จำนวน
01/01/2563	ใบสั่งงาน (ใบสั่งงาน) 1000 kV 50 kJ	1 ชุด

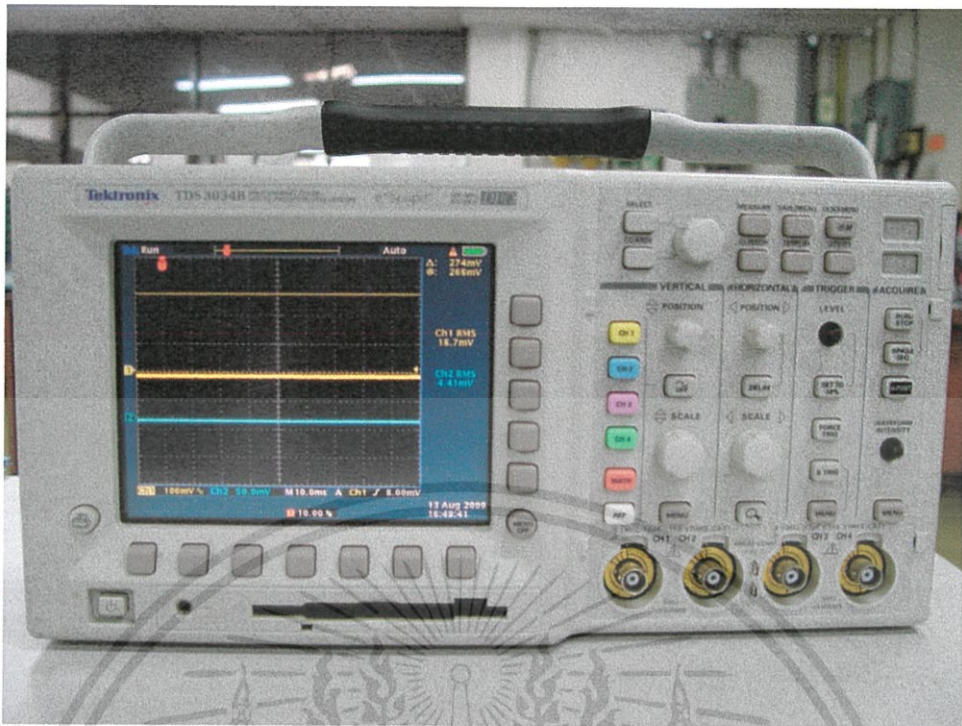
ได้ตรวจและถูกต้องตามแบบฉบับเรียบร้อยแล้ว
ผู้ควบคุม: _____ วันที่: 01/01/2563
ผู้ตรวจสอบ: _____ วันที่: 01/01/2563

รูปที่ 6 Impulse voltage test set (Cap. 1000 kV 50 kJ)

ผลิตภัณฑ์ : HAEFELY

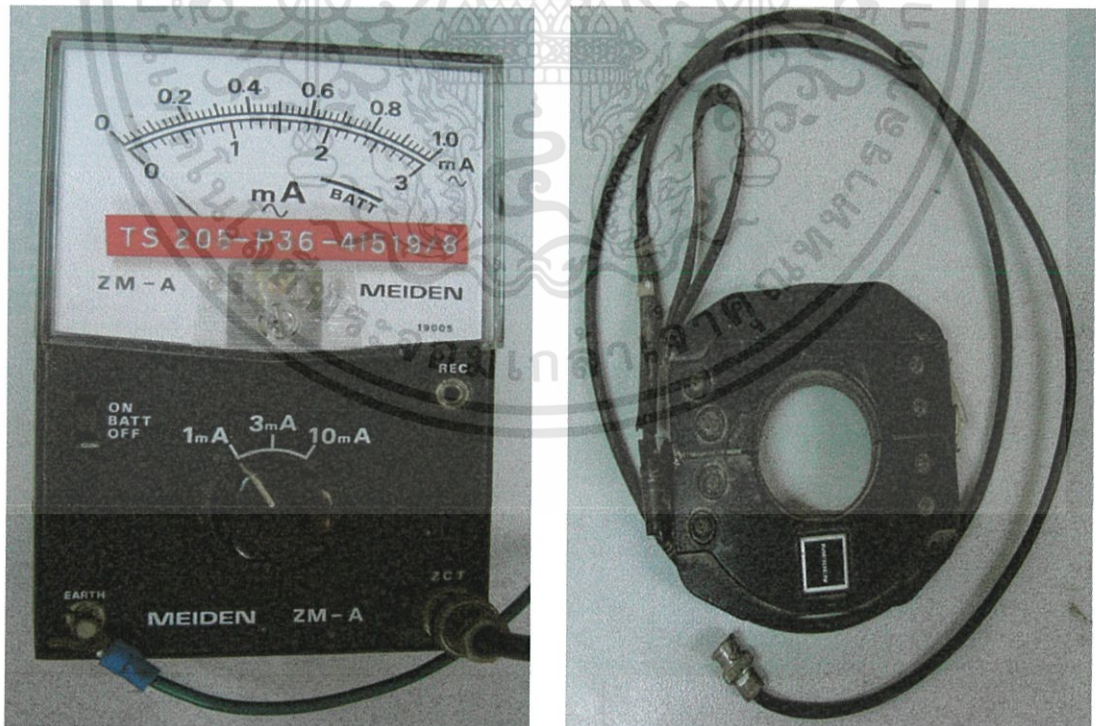
ปรับปรุงเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ พร้อมชุดวัดแรงดันไฟฟ้า โดย : ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 ออสซิลอสโคป

ผลิตภัณฑ์ : Textronix Model : TDS 3034B



รูปที่ 9 มิลลิแอมมิเตอร์ (0 – 10 mA)

ผลิตภัณฑ์ : MEIDEN Model : ZM - A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

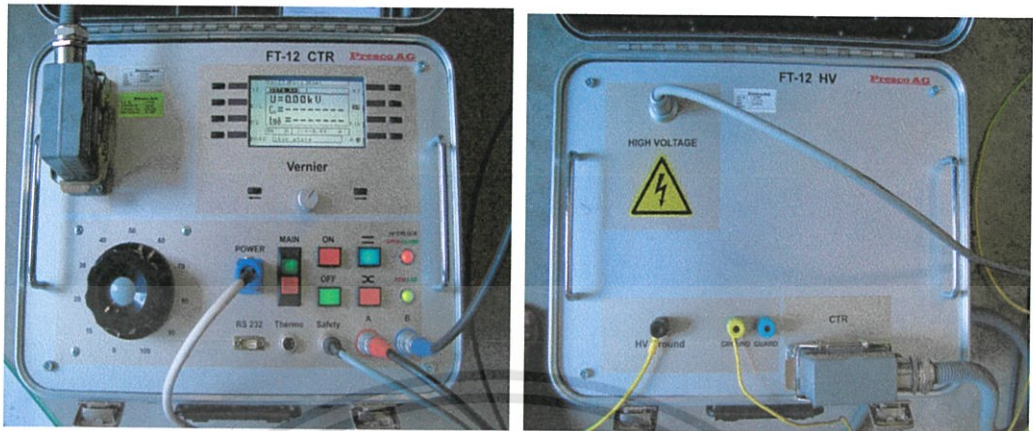


รูปที่ 10 เครื่องมือวัดความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำ
ผลิตภัณฑ์ : HACH Model : session 5



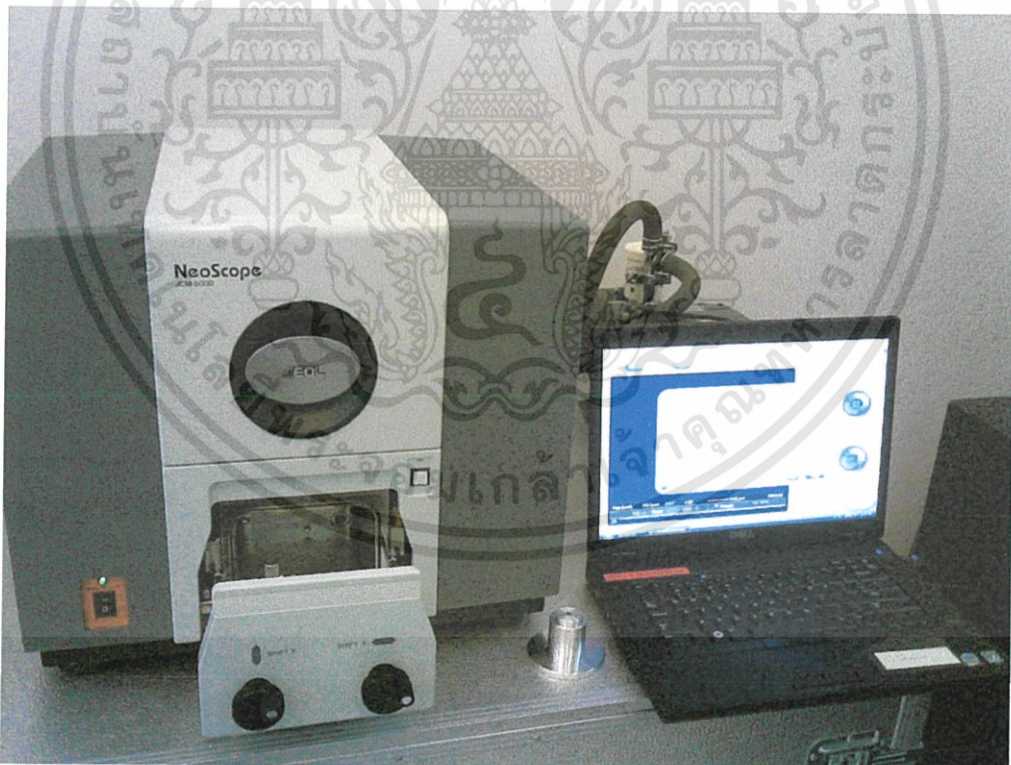
รูปที่ 11 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ความละเอียดสูง
ผลิตภัณฑ์ : METTLER Model : AB 204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 เครื่องทดสอบค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปลวโคอีเล็กตริก ($\tan \delta$)

ผลิตภัณฑ์ : Presco AG Model : FT - 12



รูปที่ 13 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

ผลิตภัณฑ์ : JEOL Model : Neoscope JCM-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักเกณฑ์การใช้ลวดสายแรงสูงในระบบจำหน่าย 22 kv RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 22 kv DISTRIBUTION LINE		การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 9502
ลักษณะพื้นที่ของระบบจำหน่าย NATURE OF DISTRIBUTION SYSTEM LOCATION	ชนิดของลวดสายที่ให้งาน TYPE OF ALLOWABLE INSULATOR	
1. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ เช่น :- - บริเวณทั่วไป - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลเกินกว่า 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง 1. LIGHT POLLUTED AREAS, SUCH AS:- - GENERAL AREAS, - AREAS FAR FROM SEA COAST MORE THAN 1 km, AND MAY BE EXPOSED TO WINDS FROM THE SEA .	- ลวดสายโตนโพลีไทพ์ แบบ 57-2 ตาม มอก. 1077 (วัสดุเลขที่ 03010001) - ลวดสายพินโพลีไทพ์ แบบ 56/57-2 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010100) - LINE POST TYPE INSULATOR, CLASS 57-2, TIS 1077 (MAT.No. 03010001). - PIN POST TYPE INSULATOR, CLASS 56/57-2, TIS 1251 (MAT.No. 03010100).	
2. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับปานกลาง เช่น :- - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรมในระดับปานกลาง - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง 2. MEDIUM POLLUTED AREAS, SUCH AS:- - AREAS WITH MEDIUM POLLUTED INDUSTRIES, - AREAS FAR FROM SEA COAST NOT MORE THAN 1km, AND MAY BE EXPOSED TO WINDS FROM THE SEA .	- ลวดสายพินโพลีไทพ์ แบบ 56/57-2 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010100) - PIN POST TYPE INSULATORS, CLASS 56/57-2, TIS 1251 (MAT.No. 03010100).	
3. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับรุนแรง (ที่ใช้ลวดสาย พินโพลีไทพ์ 56/57-2 มาแล้วไม่ได้ผล) เช่น :- - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรมในระดับรุนแรง - บริเวณที่อยู่ชายฝั่งทะเล และมีลมทะเลพัดถึงรุนแรง 3. HEAVY POLLUTED AREAS (PIN POST TYPE INSULATORS CLASS 56/57-2 WERE NOT EFFECTIVENESS.), SUCH AS :- - AREAS WITH HEAVY POLLUTED INDUSTRIES, - SEA COAST AREAS AND EXPOSED TO STRONG WINDS FROM THE SEA .	- ลวดสายพินโพลีไทพ์ แบบ 56/57-3 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010103) - PIN POST TYPE INSULATORS, CLASS 56/57-3, TIS 1251 (MAT.No. 03010103).	
กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	
ผู้เขียน <i>Suppholite Saornung</i> ผู้สำรวจ วิศวกร หัวหน้าแผนก ผู้อำนวยการกอง ผู้อำนวยการฝ่าย	ผู้ว่าการ <i>พ.ศ. ๒๕๖๐</i>	ใช้นโยบาย SA1-015/24019.. ถูกแทนโดยแบบ เขียนเสร็จวันที่ 6 พ.ค. 2541.. แก้มแบบวันที่ มีดิงเป็น มาตราส่วน แบบเลขที่ SA1-015/40019.. แผ่นที่ 1. ของจำนวน 3. แผ่น
รองผู้ว่าการเทคนิคและบริการ <i>พ.ศ. ๒๕๖๐</i>	RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 22 kv DISTRIBUTION SYSTEM	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

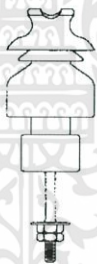
การประกอบเลขที่ **9502**
ASSEMBLY NO.



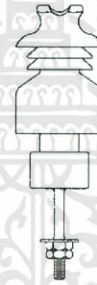
ลูกถ้วยก้านตรง 22 กิโลโวลต์
แบบ 56-2
PIN TYPE INSULATOR, 22 kV
CLASS 56-2
MAT.No. 0300001



ลูกถ้วยไลน์โพลท์ไทพ์
แบบ 57-2
LINE POST TYPE INSULATOR
CLASS 57-2
MAT.No. 0301001



ลูกถ้วยพินโพลท์ไทพ์
แบบ 56/57-2
PIN POST TYPE INSULATOR
CLASS 56/57-2
MAT.No. 03010100



ลูกถ้วยพินโพลท์ไทพ์
แบบ 56/57-3
PIN POST TYPE INSULATOR
CLASS 56/57-3
MAT.No. 03010103

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ SAI-015/24019.. ถูกแทนโดยแบบ
ผู้เขียน <i>Supradit Paomuang</i> ผู้สำรวจ	ผู้ว่าราชการ	เขียนเสร็จวันที่ ๑๗/๑๒/๒๕๕๑
วิศวกร	หลักเกณฑ์การใช้ลูกถ้วยแรงสูง ในระบบจำหน่าย 22 kV	แก้แบบวันที่
หัวหน้าแผนก		มีมติเป็น
ผู้อำนวยการกอง		มาตรฐานส่วน
ผู้อำนวยการฝ่าย		
รองผู้อำนวยการเทคนิคและบริการ	RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 22 kV DISTRIBUTION SYSTEM	แบบเลขที่ SA4-015/40019. แผ่นที่ 2. ของจำนวน 3. แผ่น





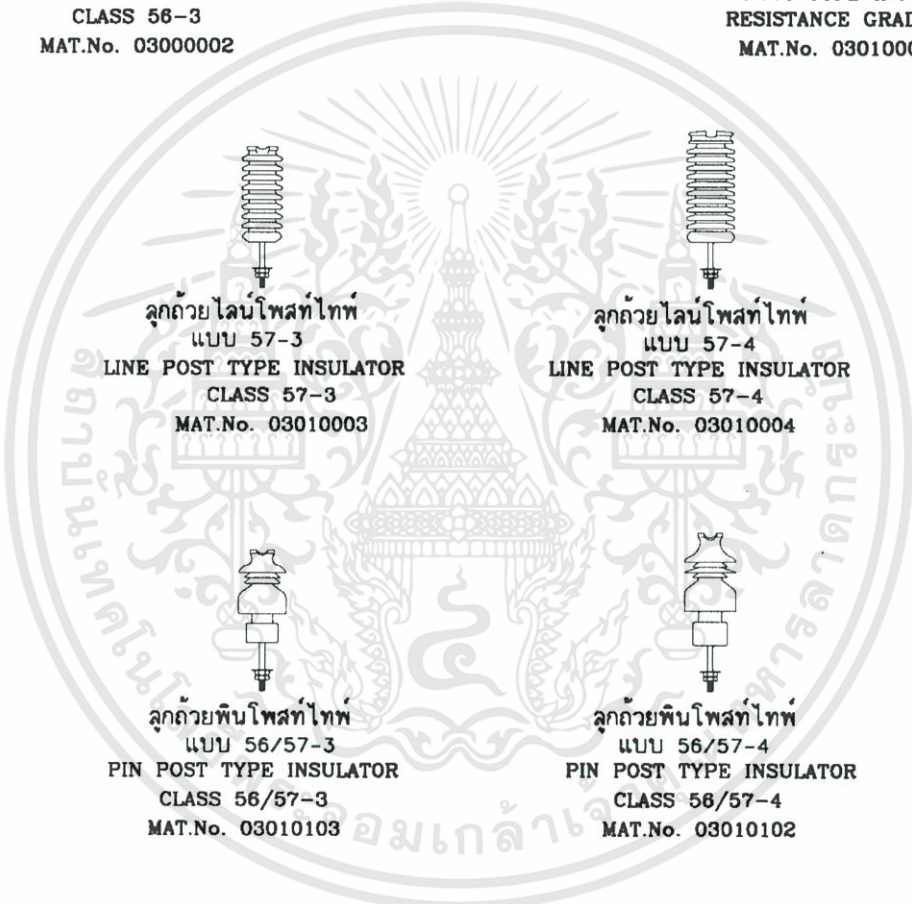



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 9502
หมายเหตุ		NOTES
1. สำหรับลูกถ้วยก้านตรง 22 กิโลโวลต์ ตาม มอก. 279 แบบ ข (แบบ 56-2) (วัสดุเลขที่ 03000001) ที่เหลือคงคลังพัสดุและใช้งานได้ ให้นำไปใช้สำหรับก่อสร้างสายระบบจำหน่ายในพื้นที่ทั่วไปที่มีมลภาวะในระดับต่ำซึ่งอยู่ในชนบท (ท้องถิ่นที่ห่างไกล) และไม่ได้ครอบคลุมโหลตที่ล่าช้าๆ หรืออยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมจนกว่าลูกถ้วยดังกล่าวจะหมดไป โดยไม่จัดซื้อมาใช้งานอีก	1. FOR THE GOOD AND REMAINING 22 KV PIN TYPE INSULATORS TYPE B (CLASS 56-2) TIS 279 (MAT. NO. 03000001): SHALL BE USED FOR DISTRIBUTION LINE CONSTRUCTION IN RURAL AREAS WITH LIGHT POLLUTION AND NOT COVER THE IMPORTANCE LOAD OR NOT IN INDUSTRIAL ESTATE UNTIL INSULATORS TO OUT OF STOCK AND WILL NOT PURCHASE ANY MORE.	
2. การใช้ลูกถ้วยแขวน : - ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ ให้ใช้ลูกถ้วยแขวน ตาม มอก. 354 แบบ ก (แบบ 52-1) (วัสดุเลขที่ 03020000) จำนวน 3 ลูก ต่อชุด - ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับปานกลาง ให้ใช้ลูกถ้วยแขวน ตาม มอก. 354 แบบ ก (แบบ 52-1) (วัสดุเลขที่ 03020000) จำนวน 4 ลูก ต่อชุด - ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับรุนแรง ให้ใช้ลูกถ้วยแขวน ตาม มอก. 354 แบบ ก (แบบ 52-1) (วัสดุเลขที่ 03020000) จำนวน 5 ลูกต่อชุด	2. SUSPENSION TYPE INSULATOR APPLICATION : - IN LIGHT POLLUTED AREAS, USE 3 (THREE) TYPE A TIS 354 SUSPENSION TYPE (CLASS 52-1) INSULATORS (MAT. NO. 03020000) PER STRING . - IN MEDIUM POLLUTED AREAS, USE 4 (FOUR) TYPE A TIS 354 SUSPENSION TYPE (CLASS 52-1) INSULATORS (MAT. NO. 03020000) PER STRING . - IN HEAVY POLLUTED AREAS, USE 5(FIVE) TYPE A TIS 354 SUSPENSION TYPE (CLASS 52-1) INSULATORS (MAT. NO. 03020000) PER STRING.	
3. ควรหลีกเลี่ยงการใช้สายเคเบิลอากาศ และสายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มหุ้ม ในพื้นที่ที่มีปัญหา มลภาวะรุนแรง ควรใช้เคเบิลอากาศชนิดพันเกลียว หรืออย่างอื่นแทน	3. SPACED AERIAL CABLES AND PARTIALLY INSULATED CABLES (PIC) SHOULD BE AVOIDED TO INSTALL IN HEAVY POLLUTED AREA, TWIST AERIAL CABLE OR OTHER SHOULD BE USED.	
กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้นิทานแบบ SAI-015/24019... ถูกแทนโดยแบบ.....
ผู้เขียน <i>Suratdit Boonwong</i> ผู้สำรวจ..... วิศวกร..... หัวหน้าแผนก..... ผู้อำนวยการกอง..... ผู้อำนวยการฝ่าย.....	ผู้ว่าการ.....	เขียนเสร็จวันที่ 6 พค 2541... แก้แบบวันที่.....
รองผู้ว่าการเทคนิคและบริการ	RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 22 KV DISTRIBUTION SYSTEM	แบบเลขที่ SA4-015/40019. แผ่นที่ 3. ของจำนวน 3. แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักเกณฑ์การใช้ลู่ถ้วยแรงสูงในระบบจำหน่าย 33 kv		การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 9506
RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 33 kv DISTRIBUTION LINE		
ลักษณะพื้นที่ของระบบจำหน่าย NATURE OF DISTRIBUTION SYSTEM LOCATION	ชนิดของลู่ถ้วยที่ให้อำนาจ TYPE OF ALLOWABLE INSULATOR	
<p>1. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ เช่น :-</p> <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณทั่วไป - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลเกินกว่า 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง <p>1. LIGHT POLLUTED AREAS, SUCH AS:-</p> <ul style="list-style-type: none"> - GENERAL AREAS, - AREAS FAR FROM SEA COAST MORE THAN 1 km, AND MAY BE EXPOSED TO WINDS FROM THE SEA . 	<ul style="list-style-type: none"> - ลู่ถ้วยโสมโพสท์ไทพ์ แบบ 57-3 ตาม มอก. 1077 (วัสดุเลขที่ 03010003) - ลู่ถ้วยพินโพสท์ไทพ์ แบบ 56/57-3 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010103) <p>- LINE POST TYPE INSULATOR, CLASS 57-3, TIS 1077 (MAT.No. 03010003).</p> <p>- PIN POST TYPE INSULATOR, CLASS 56/57-3, TIS 1251 (MAT.No. 03010103).</p>	
<p>2. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับปานกลาง เช่น :-</p> <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรมในระดับปานกลาง - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงบ้าง <p>2. MEDIUM POLLUTED AREAS, SUCH AS:-</p> <ul style="list-style-type: none"> - AREAS WITH MEDIUM POLLUTED INDUSTRIES, - AREAS FAR FROM SEA COAST NOT MORE THAN 1km, AND MAY BE EXPOSED TO WINDS FROM THE SEA . 	<ul style="list-style-type: none"> - ลู่ถ้วยแบบฟ็อก 33 kv (วัสดุเลขที่ 03000003) - ลู่ถ้วยพินโพสท์ไทพ์ แบบ 56/57-4 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010102) <p>- FOG TYPE INSULATOR, 33 kv, (MAT.No. 03000003).</p> <p>- PIN POST TYPE INSULATORS, CLASS 56/57-4, TIS 1251 (MAT.No. 03010102).</p>	
<p>3. พื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับรุนแรง เช่น :-</p> <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรมในระดับรุนแรง - บริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 1 กม. และมีลมทะเลพัดถึงรุนแรง <p>3. HEAVY POLLUTED AREAS, SUCH AS:-</p> <ul style="list-style-type: none"> - AREAS WITH HEAVY POLLUTED INDUSTRIES, - AREAS FAR FROM SEA COAST NOT MORE THAN 1 km, AND EXPOSED TO STRONG WINDS FROM THE SEA . 	<ul style="list-style-type: none"> - ลู่ถ้วยแบบฟ็อก 33 kv (วัสดุเลขที่ 03000003) ที่เคลือบด้วย RTV SILICONE (น้ำยาซิลิโคนแบบ ROOM TEMPERATURE VULCANIZING) - ลู่ถ้วยพินโพสท์ไทพ์ แบบ 56/57-4 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010102) ที่เคลือบด้วย RTV SILICONE - ลู่ถ้วยโสมโพสท์ไทพ์แบบผิวเคลือบสารกึ่งตัวนำ (วัสดุเลขที่ 03010005) โดยพิจารณาตามความเหมาะสมเป็นแห่งๆไป <p>- FOG TYPE INSULATORS, 33 kv, (MAT.No. 03000003) COATED WITH RTV SILICONE (ROOM TEMPERATURE VULCANIZING SILICONE RUBBER COATINGS).</p> <p>- PIN POST TYPE INSULATORS, CLASS 56/57-4, TIS 1251 (MAT.No. 03010102) COATED WITH RTV SILICONE.</p> <p>- LINE POST TYPE INSULATORS, RESISTANCE GRADED (RG), (MAT.No. 03010005) ; BY APPROPRIATE CONSIDERING ACCORDING TO SITES.</p>	
กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	
ผู้เขียน <i>Supphakit Boonwong</i> ผู้สำรวจ วิศวกร <i>กวี</i> หัวหน้าแผนก ผู้อำนวยการกอง ผู้อำนวยการฝ่าย	ผู้ว่าราชการ <i>พ. พว 10301</i>	ใช้แทนแบบ ถูกแทนโดยแบบ
รองผู้ว่าราชการเขตภาคตะวันออก <i>พ. พว 10301</i>	หลักเกณฑ์การใช้ลู่ถ้วยแรงสูง ในระบบจำหน่าย 33 kv	
	RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 33 kv DISTRIBUTION SYSTEM	
		เขียนเสร็จวันที่ ..5. ต.ค. 2540. แก้แบบวันที่ มีมติเป็น มาตราส่วน..... แบบเลขที่ SA4-015/40016. แผ่นที่ 1. ของจำนวน 3. แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 9506			
 ลูกถ้วยก้านตรง 33 กิโลโวลต์ แบบ 56-3 PIN TYPE INSULATOR CLASS 56-3 MAT.No. 03000002	 ลูกถ้วยแบบฟ็อก FOG TYPE INSULATOR MAT.No. 03000003	 ลูกถ้วยไลน์โพลท์ไทป์ แบบผิวเคลือบสารกึ่งตัวนำ LINE POST TYPE INSULATOR RESISTANCE GRADED MAT.No. 03010005	
 ลูกถ้วยไลน์โพลท์ไทป์ แบบ 57-3 LINE POST TYPE INSULATOR CLASS 57-3 MAT.No. 03010003			 ลูกถ้วยไลน์โพลท์ไทป์ แบบ 57-4 LINE POST TYPE INSULATOR CLASS 57-4 MAT.No. 03010004
 ลูกถ้วยพินโพลท์ไทป์ แบบ 56/57-3 PIN POST TYPE INSULATOR CLASS 56/57-3 MAT.No. 03010103	 ลูกถ้วยพินโพลท์ไทป์ แบบ 56/57-4 PIN POST TYPE INSULATOR CLASS 56/57-4 MAT.No. 03010102		
กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้นทนแบบ ฐานทนโดยแบบ	
ผู้เขียน <i>Supphet Panwong</i> ผู้สำรวจ วิศวกร <i>[Signature]</i> หัวหน้าแผนก <i>[Signature]</i> ผู้อำนวยการกอง <i>[Signature]</i> ผู้อำนวยการฝ่าย <i>[Signature]</i>	วิศวกร <i>[Signature]</i>	เขียนเสร็จวันที่ 5. ต.ค. 2540. แก้ไขฉบับวันที่ รับผิดชอบ มาตรฐานส่วน	
วิศวกร <i>[Signature]</i>	หลักเกณฑ์การใช้ลูกถ้วยแรงสูง ในระบบจำหน่าย 33 kV	แบบเลขที่ SA4--015/40016. แผ่นที่ 2. ของจำนวน 3. แผ่น	
วิศวกร <i>[Signature]</i>	RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 33 kV DISTRIBUTION SYSTEM		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		การประชุมเลขที่ ASSEMBLY NO. 9506
หมายเหตุ	NOTES	
1. สำหรับลูกถ้วยก้านตรง 33 กิโลโวลต์ ตาม มอก. 279 แบบ ค (แบบ 56-3)(วัสดุเลขที่ 03000002) ที่เหลือคงคลังพัสดุและใช้งานได้ ให้นำไปใช้สำหรับก่อสร้างสายระบบจำหน่ายในพื้นที่ทั่วไปที่มีมลภาวะในระดับต่ำซึ่งอยู่ในชนบท (ท้องที่ห่างไกล) และไม่ได้ครอบคลุมโหนดที่สำคัญ หรืออยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรม จนกว่าลูกถ้วยดังกล่าวจะหมดไป โดยไม่จัดซื้อใช้งานอีก	1. FOR THE GOOD AND REMAINING 33 KV PIN TYPE INSULATORS TYPE C (CLASS 56-3)TIS 279 (MAT. NO. 03000002): SHALL BE USED FOR DISTRIBUTION LINE CONSTRUCTION IN RURAL AREAS WITH LIGHT POLLUTION AND NOT COVER THE IMPORTANCE LOAD OR NOT IN INDUSTRIAL ESTATE UNTIL INSULATORS TO OUT OF STOCK AND WILL NOT PURCHASE ANY MORE.	
2. สำหรับลูกถ้วยโชนโศทโทพ์ แบบ 57-4 ตาม มอก. 1077 (วัสดุเลขที่ 03010004) และลูกถ้วยโชนโศทโทพ์ แบบ 56/57-4 ตาม มอก. 1251 (วัสดุเลขที่ 03010002) ในกรณีนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ ให้นำไปใช้งานที่ครอบคลุมโหนดที่มีความสำคัญ หรือภายในนิคมอุตสาหกรรม ก่อน ทั้งนี้สำหรับลูกถ้วยโชนโศทโทพ์ แบบ 57-4 ให้ใช้งานจนหมดไป โดยไม่จัดซื้อใช้งานอีก	2. FOR LINE POST TYPE INSULATORS,CLASS 57-4,TIS 1077 (MAT. NO. 03010004) OR PIN POST TYPE INSULATORS, CLASS 56/57-4,TIS 1251 (MAT. NO. 03010102) : USE IN LIGHT POLLUTED AREA FOR DISTRIBUTION LINE CONSTRUCTION COVER THE IMPORTANCE LOAD OR IN INDUSTRIAL ESTATE PRIOR . FOR LINE POST INSULATOR, CLASS 57-4, USE UNTIL TO OUT OF STOCK AND WILL NOT PURCHASE ANY MORE.	
3. การใช้ลูกถ้วยแขวน : -ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับต่ำ ให้ใช้ลูกถ้วยแขวน ตาม มอก. 354 แบบ ง (แบบ 52-4) (วัสดุเลขที่ 03020002) จำนวน 3 ลูก ต่อชุด -ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับปานกลาง ให้ใช้ลูกถ้วยแขวน ตาม มอก. 354 แบบ ง (แบบ 52-4) (วัสดุเลขที่ 03020002) จำนวน 4 ลูก ต่อชุด -ในพื้นที่ที่มีมลภาวะในระดับรุนแรง ให้ใช้ลูกถ้วยแขวน ตาม มอก. 354 แบบ ง (แบบ 52-4) (วัสดุเลขที่ 03020002) ที่ทานเคลือบด้วย RTV SILICONE จำนวน 5 ลูก ต่อชุด	3. SUSPENSION TYPE INSULATOR APPLICATION : -IN LIGHT POLLUTED AREAS, USE 3(THREE) TYPE D TIS 354 SUSPENSION TYPE (CLASS 52-4) INSULATORS (MAT. NO. 03020002) PER STRING . -IN MEDIUM POLLUTED AREAS, USE 4(FOUR) TYPE D TIS 354 SUSPENSION TYPE (CLASS 52-4) INSULATORS (MAT. NO. 03020002) PER STRING . -IN HEAVY POLLUTED AREAS, USE TYPE D TIS 354 SUSPENSION TYPE (CLASS 52-4) INSULATORS (MAT. NO. 03020002) ,COATED WITH RTV SILICONE, 5(FIVE) SETS PER STRING .	
4. ควรหลีกเลี่ยงการใช้สายเคเบิลอากาศ และสายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด ในพื้นที่ที่มีปัญหา มลภาวะรุนแรง ควรใช้เคเบิลอากาศชนิดพันเกลียว หรืออย่างอื่นแทน	4. SPACED AERIAL CABLES AND PARTIALLY INSULATED CABLES (PIC) SHOULD BE AVOIDED TO INSTALL IN HEAVY POLLUTED AREA, TWIST AERIAL CABLE OR OTHER SHOULD BE USED.	
กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ
ผู้เขียน <i>Suphadit Boonrong</i> ผู้สำรวจ	ผู้ว่าการ	ถูกแทนโดยแบบ
วิศวกร	หลักเกณฑ์การใช้ลูกถ้วยแรงสูง ในระบบจำหน่าย 33 kv	เขียนเสร็จวันที่ .. 5. ต.ค. 2540
หัวหน้าแผนก		แก้แบบวันที่
ผู้อำนวยการกอง		มีมติเป็น
ผู้อำนวยการฝ่าย		มาตราส่วน
รองผู้อำนวยการเทคนิคและปฏิบัติการ <i>พ.ศ. 10.30</i>	RULES FOR H.T. INSULATOR APPLICATION IN 33 KV DISTRIBUTION SYSTEM	แบบเลขที่ SA4-015/40016
		แผ่นที่ 3 ของจำนวน 3 แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงราคากลางงบประมาณของลูกถ้วยฉนวน [25]

** อนุมัติให้เริ่มใช้วันที่ 15 กรกฎาคม 2552 ถึง 31 ธันวาคม 2552 **

รหัสพัสดุ	ประเภทของลูกถ้วย	ราคา (บาท)
03000003	ลูกถ้วยก้านตรงแบบฟ็อก 33 เควี	2,022.00
03010002	ลูกถ้วยไลน์โพสท์ไทป์ 22 เควี แบบ 57-2L ชนิดทนเพาเวอร์อาร์ค	641.50
03010003	ลูกถ้วยไลน์โพสท์ไทป์ 33 เควี แบบ 57-3L มอก.1077	969.00
03010004	ลูกถ้วยไลน์โพสท์ไทป์ 33 เควี แบบ 57-4L มอก.1077	1,524.00
03010005	ลูกถ้วยไลน์โพสท์ไทป์ 33 เควี แบบผิวเคลือบสารกึ่งตัวนำ	2,950.00
03010006	ลูกถ้วยแท่งชนิด COMPOSITE ระบบ 33 เควี	3,295.00
03010101	ลูกถ้วยพินโพสท์ไทป์ 22 เควี ชนิดทนเพาเวอร์อาร์ค	796.00
03010102	ลูกถ้วยพินโพสท์ไทป์ แบบ 56/57-4 มอก.1251	2,779.00
03020000	ลูกถ้วยแขวนแบบ ก(แบบ 52-1) มอก.354	267.00
03020001	ลูกถ้วยแขวนแบบ ค(แบบ 52-3) มอก.354	496.00
03020002	ลูกถ้วยแขวนแบบ ง(แบบ 52-4) มอก.354	501.00
03020003	ลูกถ้วยแขวนแบบ จ(แบบ 52-8) มอก.354	680.00
03020004	ลูกถ้วยแขวนชนิด COMPOSITE ระบบ 33 เควี	2,300.00

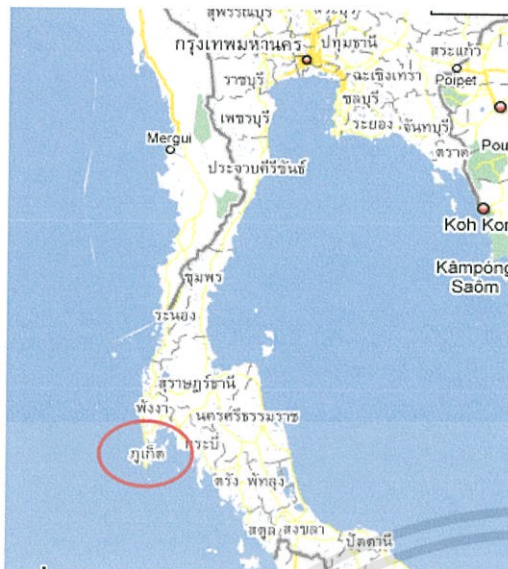
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
**กรณีศึกษา : การทดลองติดตั้งตู้กดด้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์เพื่อแก้ปัญหามลภาวะจาก
 ไอเกลือที่รุนแรงบริเวณริมหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต**

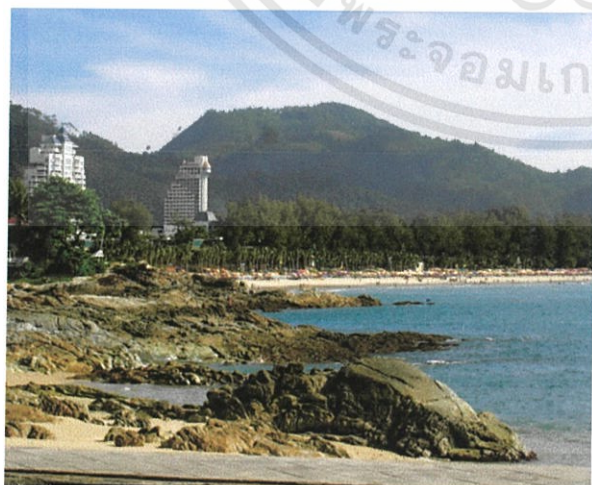
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัดภูเก็ตมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเกาะซึ่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทย ตั้งอยู่ฝั่งทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย พื้นที่จังหวัดภูเก็ตประมาณร้อยละ 70 เป็น ภูเขาสลับซับซ้อนทอดจากแนวทิศเหนือถึงทิศใต้ ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันตกของเกาะ และอีกประมาณร้อยละ 30 เป็นพื้นที่ราบอยู่ตอนกลางและตะวันออกของเกาะ ส่วนพื้นที่ฝั่งตะวันตกเป็นภูเขา โขดหินและหาดทราย จากรูปที่ 14 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของเกาะภูเก็ต จากรูปที่ 15 จะแสดงตำแหน่งที่ตั้งของหาดป่าตอง ซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นที่ตั้งของ โรงแรม, สถานบันเทิง และห้างสรรพสินค้าที่ใหญ่ที่สุดในภาคใต้ จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าหาดป่าตองจะมีลักษณะเป็นพื้นที่เว้าเข้าไปในเกาะ และมีโขดหินอยู่บางส่วนสลับกับหาดทรายดังจะเห็นดังรูปที่ 15 เมื่อคลื่นทะเลมาปะทะกับโขดหินก็จะเกิดละอองของไอเกลือ ลมทะเลก็จะพัดละอองไอเกลือเข้าสู่ชายฝั่งทำให้ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในบริเวณนี้ได้รับผลกระทบที่รุนแรงกว่าบริเวณอื่นๆ

ตามอนุมัติผู้ว่าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ลงวันที่ 15 พฤษภาคม 2549 ให้มีการดำเนินการทดลองติดตั้งใช้งาน โดยทำการจัดซื้อลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์แบบก้านตรง จำนวน 3,000 ลูก และแบบแขนจำนวน 1,050 ลูก เพื่อใช้ในระบบจำหน่าย 33 kV ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นเมืองท่องเที่ยวที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่เคยได้รับผลกระทบจากปัญหามลภาวะจากไอเกลือที่รุนแรงจนทำให้ลูกถ้วยฉนวนเกิดการวาบไฟตามผิวทำให้เกิดความสูญเสียของระบบจำหน่าย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงได้ทำการนำลูกถ้วยฉนวนที่จัดซื้อมาติดตั้งทดลองใช้งานเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในบริเวณพื้นที่ หาดป่าตอง หาดกะรน และหาดกะหลิม โดยเริ่มติดตั้งในช่วง เดือนสิงหาคม 2550 ซึ่งมีระยะทางประมาณ 13 km โดยให้ กองวิจัย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่), การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคใต้) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดภูเก็ต เป็นผู้ประเมินผลการทดลองใช้งาน และได้นำตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ทั้งแบบก้านตรงและแบบแขนอย่างละ 3 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบเก็บบันทึกเป็นค่าเริ่มต้นก่อนนำไปติดตั้งใช้งาน และค่าผลการทดสอบดังกล่าวก็ได้ปรากฏในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งก็คือค่าการวาบไฟตามผิวด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำและค่าการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤติขั้วลบในสถานะที่ลูกถ้วยฉนวนยังสะอาด ในเบื้องต้นได้วางแผนจะติดตามและประเมินผลการใช้งานเป็นเวลา 3 ปี



รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของจังหวัดภูเก็ต



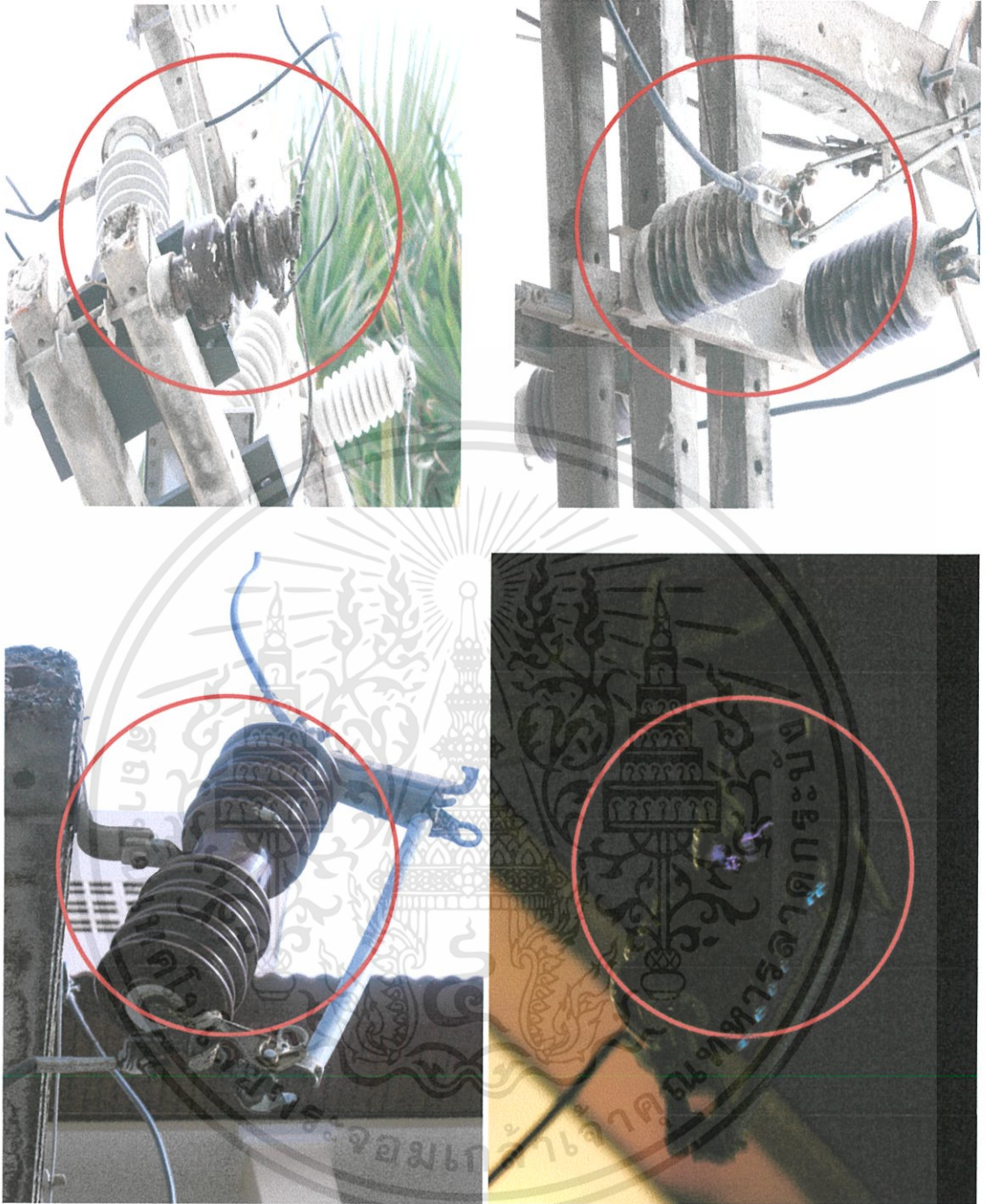
รูปที่ 15 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต และลักษณะภูมิประเทศของหาดป่าตอง ในช่วงบริเวณที่เป็นโขดหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 16 จะแสดงภาพถ่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในระบบจำหน่าย 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ได้รับผลกระทบจากไอเกลือที่รุนแรง บริเวณหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าเริ่มเกิดการคิสซาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ของฉนวน ถ้าหากไม่มีการแก้ไขก็อาจจะพัฒนาไปสู่การวาวไฟตามผิว จนทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบจำหน่ายและเศรษฐกิจในพื้นที่ได้ ดังนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขระบบจำหน่ายในพื้นที่ดังกล่าว โดยทดลองติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ โดยใช้งบประมาณจัดซื้อลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์เป็นเงิน 19,650,000 บาท $(=(3,000 \times 5,500)+(1,050 \times 3,000))$ พร้อมค่าดำเนินงานปรับปรุงระบบเป็นเงิน 335,250 บาท รวมทั้งสิ้นเป็นเงิน 19,985,250 บาท พร้อมกันนี้ยังมีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ยินดีมอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับพื้นที่มลภาวะให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นำไปทดลองติดตั้งใช้งานโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย ได้แก่ LT switch ชนิดมีเครื่องหุ้ม, ดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ 33 kV แบบ โพลีเมอร์ และ Fault indicators รวมมูลค่า 169,500 บาท โดยรูปที่ 17 จะแสดงการติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ บริเวณหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต เมื่อประมาณเดือนสิงหาคม 2550

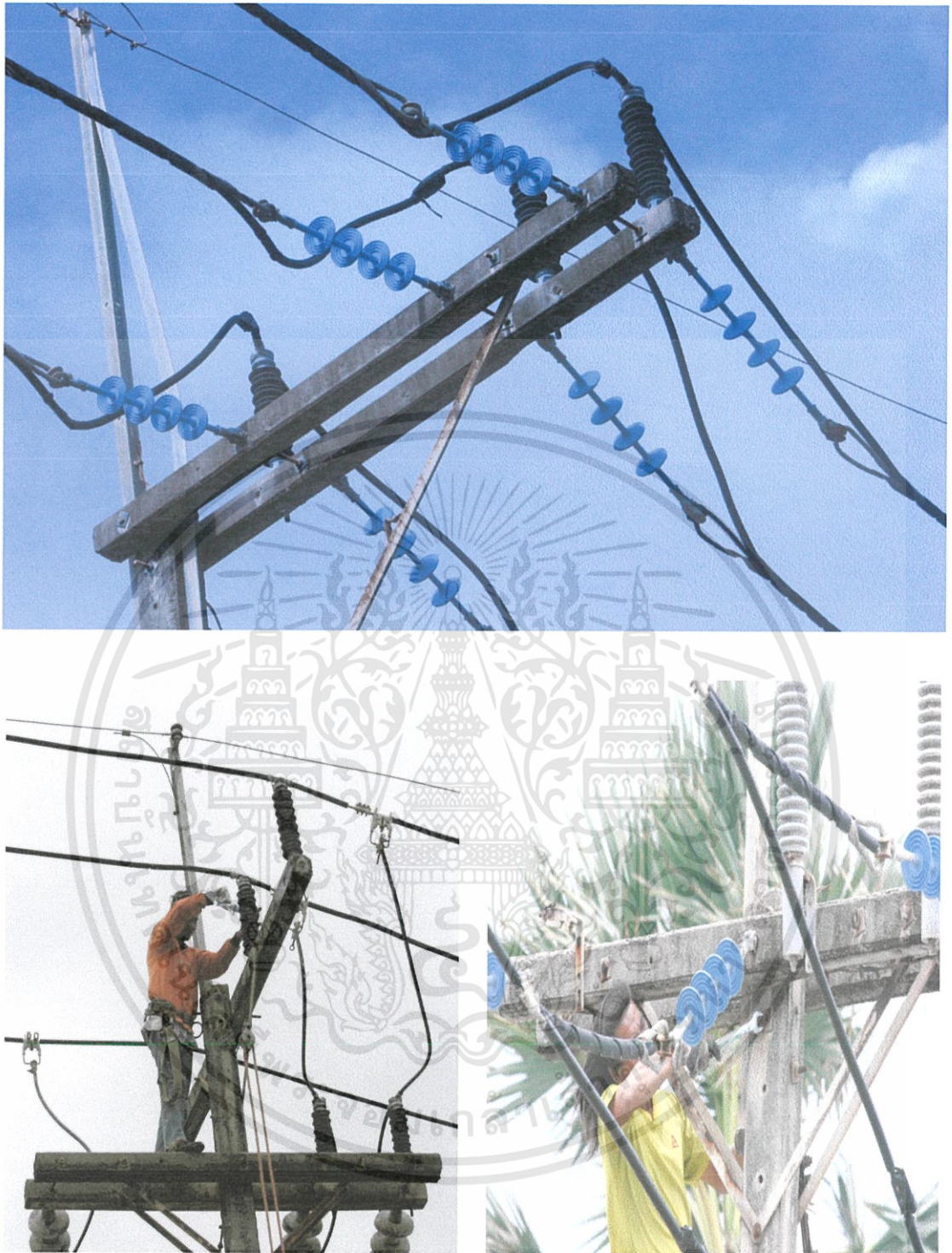
เมื่อประมาณปลายเดือนกรกฎาคม 2552 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดภูเก็ต ได้ทำการรื้อถอนลูกถ้วยฉนวนที่นำไปทดลองติดตั้งใช้งานทั้งแบบก้านตรงและแบบแขวน อย่างละ 3 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งรายงานผลการทดลองติดตั้งใช้งานของลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ว่ายังสามารถใช้งานได้เป็นปกติ และยังไม่เคยเกิดเหตุการณ์การวาวไฟตามผิวของฉนวนลูกถ้วยอันมีสาเหตุมาจากมลภาวะไอเกลือ แต่ในช่วง 1-2 ปีที่ผ่านมา จังหวัดภูเก็ตยังไม่ประสบปัญหาหามลภาวะไอเกลือที่รุนแรงเท่ากับเหตุการณ์ที่ผ่านมาในอดีต

จากข้อมูลทางเศรษฐกิจ[26] จังหวัดภูเก็ตมีรายได้จากการท่องเที่ยวคิดเป็นมูลค่าประมาณปีละกว่า 30,000 ล้านบาท และเมื่อจังหวัดภูเก็ตเกิดไฟฟ้าดับทั้งเกาะจะมีมูลค่าความเสียหายประมาณวันละ 187.4 ล้านบาท หาดป่าตองเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญทางเศรษฐกิจแห่งหนึ่งของจังหวัดภูเก็ต จากการที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ใช้งบลงทุนประมาณ 20 ล้านบาท เพื่อแก้ปัญหาการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนแบบพอร์ซเลน โดยติดตั้งลูกถ้วยฉนวนแบบโพลีเมอร์ทดแทนนั้นถือว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า



รูปที่ 16 แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากมลภาวะจากไอเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 แสดงการติดตั้งลูกถ้วยโพลีเมอร์ ในพื้นที่หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บันทึก

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	
วันที่	3 ส.ค. 2552
เลขที่รับ	1788

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
National Electricity Board (NEB)

จาก ผ.ค.ฟ.ภ.ก. ถึง กว.จ.

เลขที่ ต.๒.ภ.ก.(ค.ฟ.)- 3022 วันที่ 3 สิงหาคม 2552

เรื่อง รายงานข้อมูลเพิ่มเติมการติดตั้งลูกถ้วย Silicone Rubber กฟภ.ภูเก็ต

อ้างถึง

เรียน อ.ก.ว.จ.

ตามบันทึกที่ กว.จ.(วอ.) 838/2552 ลว. 23 ก.ค. 2552 เรื่องสอบถามข้อมูลการติดตั้งลูกถ้วย Silicone rubber กฟภ.ภูเก็ต ซึ่ง กว.จ.ได้ทำการรื้อถอนลูกถ้วย Silicone Rubber ที่ติดตั้งทดลงตามอนุมัติ ผ.ก.ลว. 15 พ.ค. 2549 นั้น

กว.จ.ได้ทำการรื้อถอนลูกถ้วย Silicone Rubber จำนวน 6 ลูก คือ ลูกถ้วยแห่งผลิตภัณฑ์ MACLEAN 3 ลูก และลูกถ้วยแขวนผลิตภัณฑ์ LAPP 3 ลูก ซึ่งทำการติดตั้งตั้งแต่เดือน ส.ค. 2550 บริเวณภาคทะเลซึ่งระบบจำหน่ายอยู่ห่างจากทะเล 15 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่มีลมภาวะไอเกลือรุนแรงมาก หลังจากการติดตั้งใช้งานลูกถ้วย Silicone Rubber สามารถใช้งานได้เป็นปกติ ยังไม่เคยเกิดเหตุการณ์ Flashover ข้ามฉนวนลูกถ้วยอันมีสาเหตุมาจากลมภาวะไอเกลือ แต่ในช่วง 1-2 ปีที่ผ่านมา จังหวัดภูเก็ตยังไม่ประสบปัญหาลมภาวะไอเกลือที่รุนแรงเท่ากับเหตุการณ์ที่ผ่านมาในอดีต

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(นายชัยพร กุชศิริพงศ์)

ผ.ค.ฟ.ภ.ก. ปฏิบัติงานแทน ผ.ค.ฟ.ภ.ก.

- ๒๐๗๓.๙

- ๑๔๗๐.




๓- 3 ส.ค. 2552

๗ ส.ค. ๕๒

แผนกควบคุมการจ่ายไฟ จังหวัดภูเก็ต
โทร 45504
โทรสาร 076-217274



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบลูกถ้วยฉนวนแบบก้านตรง

รายละเอียด	Line post type class 57-3	Pin post type class 56/57-4	Line post polymer
รูปร่างลักษณะ			
Leakage distance ,mm.	811	1,068	1,062
Arcing distance ,mm.	329	410	430
ผลการทดสอบกระแส รั่วไหล ,mA	0.08	0.07	0.06
ผลการทดสอบการวาบ ไฟตามผิวแห้งด้วย แรงดันความถี่ต่ำ ,kV	141.5	148.4	170.5
ผลการทดสอบการ วาบไฟตามผิว อิมพัลส์วิวกฤต ,kV	289.6	304.1	336.2
ราคา ,บาท	969	2,779	5,500

หมายเหตุ ผลการทดสอบทางไฟฟ้าเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะลูกถ้วยฉนวนที่สะอาด

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน

รายละเอียด	Suspension type class 52-4	Suspension polymer
รูปร่างลักษณะ		
Leakage distance ,mm.	957	1,129
Arcing distance ,mm.	518	665
ผลการทดสอบกระชั้วไหล ,mA	0.04	0.02
ผลการทดสอบการวาวไฟตามผิว แห้งด้วยแรงดันความถี่ต่ำ ,kV	241.1	264.2
ผลการทดสอบการวาวไฟตาม ผิวอิมพัลส์วิกฤต ,kV	492.5	405.6
ราคา ,บาท	1,503	3,000

- หมายเหตุ 1. ผลการทดสอบทางไฟฟ้าเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะลูกถ้วยฉนวนที่สะอาด
2. ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบแขวน แบบ ง (Class 52-4) 1 ชุดประกอบด้วย 3 ลูก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสกลวุฒิ ภูผาสุข
วัน เดือน ปีเกิด	7 มกราคม 2526
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 20 ซอยสามัคคี 46 ถนนสามัคคี ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) งานบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้า 2) งานทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำ
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2545-2549	ตำแหน่งพนักงานช่างระดับ 2 กองโรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
พ.ศ. 2549 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรระดับ 5 แผนกทดสอบ กองวิศวกรรมไฟฟ้าและทดสอบ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้