

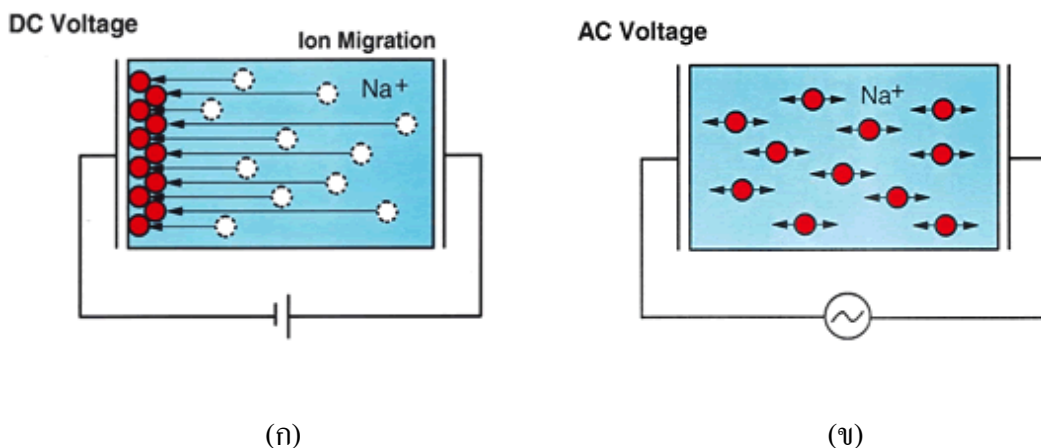
บทที่ 3

การทดสอบ และปรับปรุงคุณลักษณะของลูกถ้วยฉนวน

3.1 บทนำ

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้แก่ คุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนที่ใช้งานอยู่ในระบบในสภาวะแรงดันปกติ เกิดการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยอันเนื่องมาจากการเปราะเปื้อน และหรือเนื่องจากกรณีที่เกิดสภาวะเปียก ทั้งที่ไม่มีการเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าเกิน สำหรับการป้องกันปัญหาลักษณะดังกล่าว อาจสามารถดำเนินการด้วยการบำรุงรักษา เช่นการทำความสะอาด การล้าง การเคลือบผิวลูกถ้วยฉนวนด้วยสารต่างๆ หรือการเพิ่มฉนวนเข้าไป ดังนั้น การทราบถึงสมรรถนะของลูกถ้วยฉนวนของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ในเรื่องของมลภาวะที่เกาะติดผิวลูกถ้วยและในสภาวะสภาพอากาศแบบต่างๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงในอนาคต

เป็นที่ทราบโดยทั่วๆ ไปว่าในระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะมีการเปราะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวนสูงกว่าระบบกระแสสลับ สาเหตุเนื่องจากในระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะมีผลของขั้วบวกและลบ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้แรงที่เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าระหว่างขั้ว (+) และ (-) มีทิศทางที่แน่นอน คือจะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเคลื่อนตัวของอนุภาคภายใน (ก) สนามไฟฟ้ากระแสตรง (ข) และกระแสสลับ

ซึ่งส่งผลให้อนุภาคต่างๆ เช่น ฝุ่น ที่อยู่ภายในสนามในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจะมีการเรียงตัวกันไปจับเกาะที่พื้นผิวของลูกถ้วยฉนวน มากกว่าลูกถ้วยฉนวนในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ รูป 3.2 เป็นการทดสอบการล้างลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงที่มีการจับเกาะ

ของสิ่งเปราะเปื้อนจำนวนมาก และรูป 3.3 ซึ่งแสดงปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวนที่มีความแตกต่างระหว่าง ลูกถ้วยฉนวนกระแสดร และลูกถ้วยฉนวนกระแสดลั



รูปที่ 3.2 การล้างลูกถ้วยฉนวนกระแสดรที่มีการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อน



(ก) กระแสดร



(ข) กระแสดลั

รูปที่ 3.3 การจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนที่แตกต่างกันระหว่างลูกถ้วยฉนวนกระแสดรและสลั

จากจุดมุ่งหมายของการศึกษาวิจัยที่จะทำการปรับปรุงคุณลักษณะของลูกถ้วยฉนวนกระแสดลัแบบแขวนที่มีการใช้งานอยู่ทั่วๆ ไป เพื่อที่จะใช้งานแทนลูกถ้วยฉนวนกระแสดรแบบแขวน นั้นลำดับแรกที่จะต้องทำการศึกษาคือ นำลูกถ้วยฉนวนกระแสดลั และลูกถ้วยฉนวนกระแสดรมาทำการทดสอบหาคุณลักษณะต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขกระแสดร และกระแสดลั ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1.) การตรวจสอบคุณลักษณะทางมิติ
- 2.) การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าลูกถ้วยผิวแห้งสะอาด เพื่อศึกษาคุณลักษณะของลูกถ้วยแต่ละชนิดก่อนว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และหลังจากนั้นก็ทำการปรับปรุง

คุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับให้ดีขึ้นเทียบเคียง หรือดีกว่าลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงโดยการปรับปรุงคุณลักษณะ ดังข้อ 3 - 5

- 3.) การทดสอบปรับปรุงคุณลักษณะของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ และทำการทดสอบถึงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนที่เปลี่ยนแปลงไป
- 4.) การทดสอบลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับ เมื่อทำการปรับปรุงคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยการต่อร่วมกับวงแหวนโคโรนาที่ได้ทำการออกแบบไว้ ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง
- 5.) การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงแบบแขวนปกติ กับลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่มีการปรับปรุงคุณลักษณะด้วยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำศึกษา และทดสอบลูกถ้วยฉนวนที่มีการประอะเปื้อนทั้งในเงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง และกระแสสลับ เพื่อเปรียบเทียบผลของการจับเกาะของสิ่งประอะเปื้อนระหว่างเงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง และกระแสสลับ จากการที่นำเสนอไปแล้วในบทที่ 2 พบว่า ในระบบกระแสตรงพฤติกรรมของการจับเกาะของสิ่งประอะเปื้อนจะสูงกว่าระบบกระแสสลับ ซึ่งได้นำลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับ ที่ได้ทำปรับปรุงโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำที่มีกรรมวิธีที่ได้มาตรฐานจากบริษัทผู้ผลิตลูกถ้วยฉนวน เพื่อมาทำการทดสอบภายใต้การจำลองสถานะประอะเปื้อน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผล เนื่องจากว่าวิธีการแก้ปัญหาเรื่องการประอะเปื้อนโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำได้เริ่มนำมาใช้แล้วในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ยังไม่พบในระบบกระแสตรง

ซึ่งจากข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อสรุป ถึงความเป็นไปได้ในการที่จะนำลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนกระแสสลับมาใช้ทดแทนลูกถ้วยฉนวนกระแสตรง ในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

3.2 การตรวจสอบทางมิติ

การตรวจสอบรูปร่างทางมิติเป็นการทดสอบลักษณะทั่วไปของลูกถ้วยแต่ละชนิด มาตรฐานจะกำหนดรูปร่างลักษณะมิติไว้แน่นอนพร้อมกับค่าที่ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ ลูกถ้วยฉนวนที่ใช้ศึกษาทดสอบนี้เป็นลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนกระแสสลับและกระแสตรง ดังแสดงในรูป 3.4 ขนาดมิติได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ขนาดมิติของลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนที่ใช้ในการทดสอบกระแสดับ

ลักษณะทั่วไป	ผู้ผลิต ชนิดแบบลูกถ้วยแขวน น้ำหนัก/หน่วย สีของวัสดุที่เป็นฉนวน ชนิดของวัสดุที่เป็นฉนวน	NGK, Japan Fog type 7.1 kg Light grey Porcelain
ลักษณะสมบัติทางกล	แรงดึงทดสอบทางกล	160 kN
ขนาด	ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง ระยะร้าวของเนื้อฉนวน ระยะอาร์ค	146 mm 280 mm 455 mm 270 mm
ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า	แรงดันวาทไฟตามผิวแห้ง ทางบวก และทางลบ ที่ระดับความ คงทนของแรงดัน 110 % แรงดันวาท ไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต	140 kV 140 kV

ตารางที่ 3.2 ขนาดมิติของลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนที่ใช้ในการทดสอบกระแสดัง

ลักษณะทั่วไป	ผู้ผลิต ชนิดแบบลูกถ้วยแขวน น้ำหนัก/หน่วย สีของวัสดุที่เป็นฉนวน ชนิดของวัสดุที่เป็นฉนวน	NGK, Japan Fog type 10.5 kg Light grey Porcelain
ลักษณะสมบัติทางกล	แรงดึงทดสอบทางกล	160 kN
ขนาด	ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง ระยะร้าวของเนื้อฉนวน ระยะอาร์ค	170 mm 320 mm 570 mm 320 mm
ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า	แรงดันวาทไฟตามผิวแห้งทางบวก และ ทางลบ ที่ระดับความคงทนของแรงดัน 110 %	140 kV

	แรงดันวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต	140 kV
--	--------------------------------	--------



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างลูกถ้วยที่ใช้ในการทดสอบ

(ก) ลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับ (ข) ลูกถ้วยฉนวนกระแสตรง

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าลูกถ้วยผิวแห้งสะอาด

คุณสมบัติทางไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดและเกณฑ์พิจารณาตัดสินคุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนว่าได้มาตรฐานหรือไม่

3.3.1 การทดสอบการวาบไฟตามผิวแห้ง

แรงดันวาบไฟตามผิวแห้ง (Dry Flashover Voltage) หมายถึง ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดการวาบไฟบนผิวลูกถ้วยฉนวนในสภาพแห้ง

3.3.1.1 การเตรียมการทดสอบ

การทดสอบได้ถูกจัดทำขึ้นที่ห้องทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งลำดับขั้นตอนในการเตรียมการทดสอบมีดังนี้

1.) นำลูกถ้วยฉนวนทดสอบกระแสสลับ และกระแสตรงแบบแวนดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทั้งแบบปกติ และแบบที่ได้ทำการปรับปรุงคุณลักษณะโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำดังแสดงในรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.3 มาต่อวงจรตามรูปที่ 3.6 ซึ่งลูกถ้วยฉนวนทดสอบประกอบด้วย



	สัญลักษณ์	ความหมาย
	NC/AC	ลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบ แขวนปกติ
	SC/AC	ลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบ แขวนที่เคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ
		
	NC/DC	ลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงแบบแขวน ปกติ
	SC/DC	ลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงแบบแขวน ที่เคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ

รูปที่ 3.5

การเคลือบ
ผิวของลูก
ถ้วยฉนวน
ด้วยสารกึ่ง
ตัวนำ

ตารางที่

3.3 ลูกถ้วย

ฉนวน
ที่ใช้ใน

การ

ทดสอบ

สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการเคลือบผิวลูกถ้วยฉนวนเป็นสารชนิด Tin-oxide (SnO_2) เป็นหลัก โดยมี Antimony (Sb^{5+}) ผสมอยู่เล็กน้อย รวมถึง Niobium-oxide (Nb_2O_5) เพื่อป้องกันการผุกร่อน ซึ่งมีค่าความนำไฟฟ้าสำหรับลูกถ้วยชนิด SC/AC เท่ากับ $188 \times 10^{-9} \text{ S}$ และลูกถ้วยฉนวนชนิด SC/DC เท่ากับ $68 \times 10^{-9} \text{ S}$ โดยมีความหนาในการเคลือบเท่ากับ 0.015 มิลลิเมตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

โดยที่รูป 3.6 (ก) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในสภาวะการทดสอบกระแสตรง และ 3.6 (ข) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในสภาวะการทดสอบกระแสสลับ

- (ก)
 1. เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 600 kV 10 mA
 2. Sphere gap diameter 25 mm
 3. Voltage divider 100 kV, 200 pF and 380 M Ω
 4. ลูกถ้วยฉนวนทดสอบ
- (ข)
 1. หม้อแปลงทดสอบ AC 100 kV
 2. Voltage divider 100 kV, 200 pF และ 380 M Ω
 3. ลูกถ้วยฉนวนทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดเตรียมลูกถ้วยฉนวนทดสอบตามตารางที่ 3.4
2. ต่อบังคับการทดสอบตามรูปที่ 3.6 ซึ่ง (ก) เป็นวงจรการทดสอบกระแสตรง และ (ข) เป็นวงจรการทดสอบกระแสสลับ

สภาวะการทดสอบ: อุณหภูมิ 32-33 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ 751-752 mmHg และความชื้นสัมพัทธ์ 71-72 %

3. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดการวาวไฟตามผิวแห้งจะถูกตรวจวัดโดย Resistive Voltage Divider ซึ่งวิธีการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C29.1-1992 [13]



(ก) สภาพะการทดสอบกระแสตรง



(ข) สภาพะการทดสอบกระแสสลับ

รูปที่ 3.6 วงจรการทดสอบ

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบค่าแรงดันวบไฟตามผิวกระแสตรงลูกถ้วยแขวนผิวแห้งสะอาดแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แรงดันวบไฟตามผิวในสภาวะการทดสอบกระแสตรง

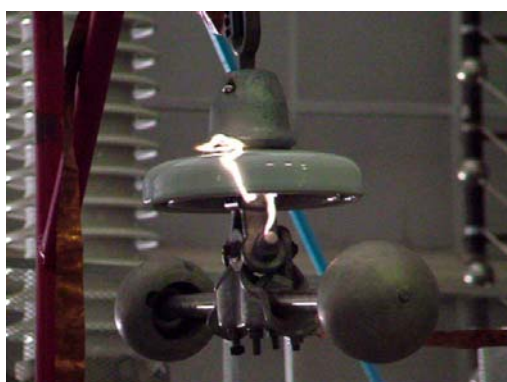
ชนิดของลูกถ้วย	แรงดันวบไฟตามผิว (kV)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
NC/AC	152.02	149.26	158.71	157.56	151.21	153.33
SC/AC	125.14	126.88	126.52	125.23	127.77	126.18
NC/DC	168.60	169.71	170.67	170.21	168.89	169.66
SC/DC	96.53	97.96	98.64	96.89	98.11	97.71

ผลการทดสอบค่าแรงดันวบไฟตามผิว 50 Hz ลูกถ้วยแขวนผิวแห้งสะอาดแสดงในตารางที่ 3.5

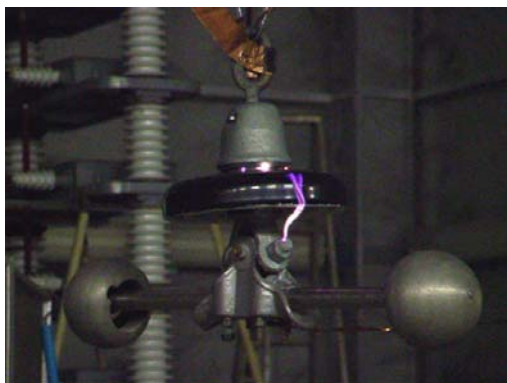
ตารางที่ 3.5 แรงดันวบไฟตามผิวในสภาวะการทดสอบกระแสสลับ

ชนิดของลูกถ้วย	แรงดันวบไฟตามผิว (kV)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
NC/AC	108.65	109.05	111.52	110.09	108.23	109.74
SC/AC	64.41	63.26	62.63	64.11	63.15	63.43
NC/DC	119.98	118.03	123.75	119.75	122.60	120.59
SC/DC	81.08	80.29	81.95	80.95	79.89	80.82

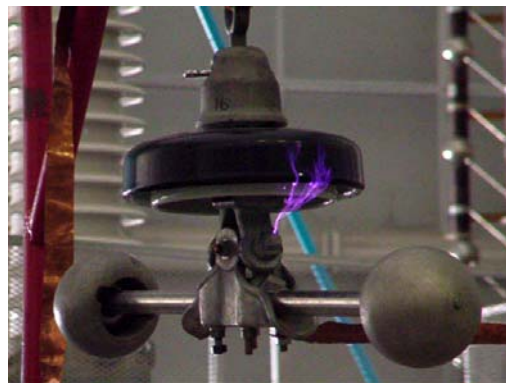
ลักษณะเส้นทางของการวบไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนเมื่อทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรงของลูกถ้วยทดสอบทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



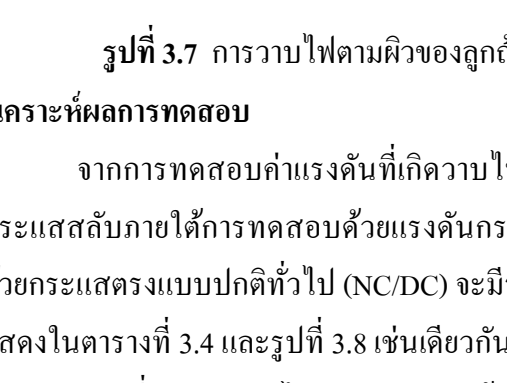
(ก) NC/AC



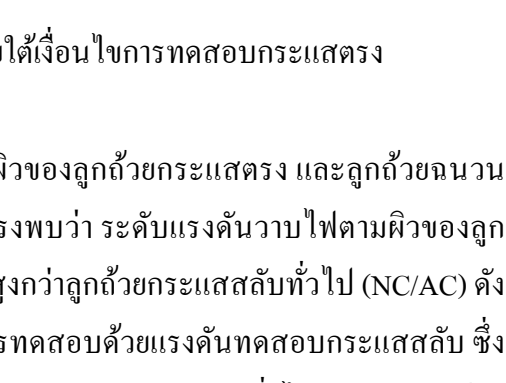
(ข) NC/DC



(ค) SC/AC



(ง) SC/DC

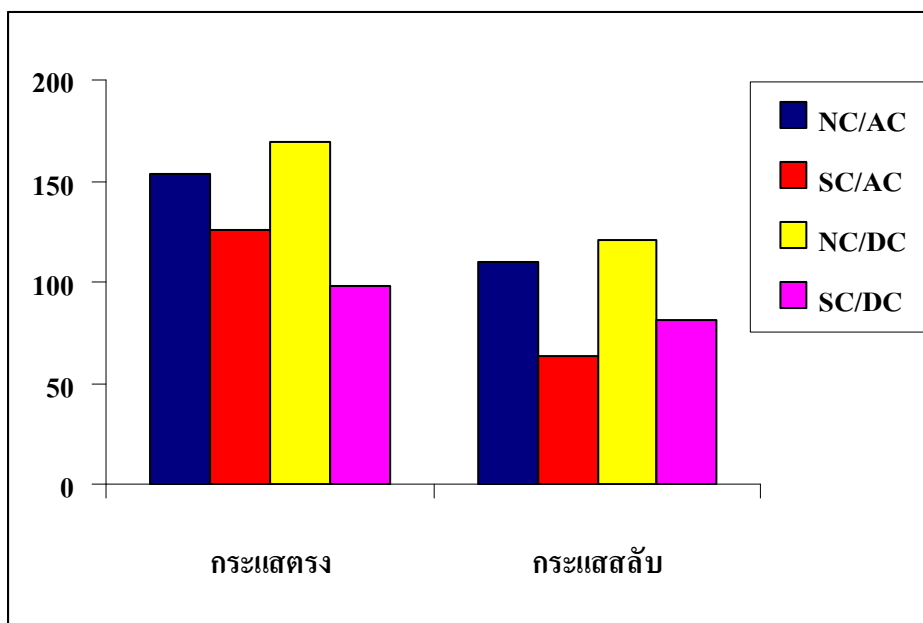


รูปที่ 3.7 การวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบค่าแรงดันที่เกิดวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยกระแสตรง และลูกถ้วยฉนวน กระแสสลับภายใต้การทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรงพบว่า ระดับแรงดันวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยกระแสตรงแบบปกติทั่วไป (NC/DC) จะมีระดับสูงกว่าลูกถ้วยกระแสสลับทั่วไป (NC/AC) ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.8 เช่นเดียวกันกับการทดสอบด้วยแรงดันทดสอบกระแสสลับ ซึ่งระดับแรงดันที่เกิดการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงแบบปกติทั่วไป (NC/DC) จะมีค่าสูงกว่าแรงดันวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบปกติทั่วไป (NC/AC) ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ รูปที่ 3.8 และในกรณีของการเคลือบผิวของลูกถ้วยฉนวนด้วยสารกึ่งตัวนำเมื่อนำไปทดสอบภายใต้แรงดันทดสอบกระแสตรง พบว่าแรงดันวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (SC/AC) จะพบระดับแรงดันวาวไฟตามผิวที่สูงกว่าลูกถ้วยฉนวนกระแสตรงที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (SC/DC) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ส่วนในกรณีการทดสอบภายใต้สภาวะกระแสสลับ พบว่าแนวโน้มของระดับแรงดันที่เกิดการวาวไฟตามผิวจะคล้ายกันกับลูกถ้วยแบบธรรมดาที่ไม่มีการเคลือบผิว แต่ต่างกันที่ระดับแรงดันวาวไฟตามผิวจะมีค่าต่ำกว่า ซึ่งสาเหตุเกิดมาจากบริเวณพื้นผิวของลูกถ้วยที่มีการเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำจะมีการรั่วไหลของกระแส

kV



รูปที่ 3.8 การวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสดังและกระแสลัด

เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบเส้นทางที่เกิดการวาวไฟตามผิวระหว่างลูกถ้วยกระแสดังและกระแสลัดพบว่า ลูกถ้วยกระแสดังจะมีเส้นทางที่ยาวกว่า เนื่องจากลำดับที่ 2 ของลูกถ้วยกระแสดังจะยื่นออกมาทำให้ค่าระยะอาร์คมีค่าสูงกว่าลูกถ้วยกระแสลัดซึ่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าแรงดันวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนกระแสดังจะมีค่าสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนกระแสลัดทั้งในสภาวะการทดสอบด้วยแรงดันกระแสดังและกระแสลัด ซึ่งระดับแรงดันมีความแตกต่างกันไม่สูงมากนัก สาเหตุเนื่องมาจากระยะทางมิติของลูกถ้วยฉนวนกระแสดังมีค่าสูงกว่ากระแสลัด และลักษณะการเกิดการอาร์คบางส่วน (Partial Arc) เนื่องจากลักษณะการวางครีปที่แตกต่างกันระหว่างลูกถ้วยกระแสดังและสลัด จึงทำให้ระดับแรงดันวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยกระแสดังจะมีระดับแรงดันสูงกว่าลูกถ้วยฉนวนกระแสลัด

3.3.2 การทดสอบการเกิดปรากฏการณ์โคโรนา

โคโรนาเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงทั่วไป การเกิดโคโรนามักจะเกิดขึ้นบริเวณจุดที่มีจุดแหลมคมพื้นผิวไม่เรียบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น โคโรนามีสาเหตุมาจากการแตกตัวของประจุของแก๊สโดยจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงอัลตราไวโอเล็ต คลื่นรบกวนสัญญาณวิทยุ และการเกิดโคโรนายังเป็นสาเหตุของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมสภาพของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าและอุปกรณ์ฉนวนอื่นๆ รวมทั้งการเกิดสัญญาณรบกวนของระบบสื่อสาร และการ

สร้างไอโซนขึ้นมา [10] การตรวจจับโคโรนาในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถใช้กล้องโคโรนาหรือเครื่องมือที่เหมาะสมอื่นๆ

3.3.2.1 การทดสอบการเกิดปรากฏการณ์โคโรนากับลูกถ้วยฉนวนลูกเดี่ยว

ซึ่งในการทดลองการปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนใช้กล้องโคโรนาคือ DayCor II ทำการถ่ายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยที่วงจรการทดสอบจะใช้วงจรเดียวกันกับการทดสอบการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนดังแสดงในรูปที่ 3.9 (ก) และ (ข) และภาพถ่ายปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนทดสอบภายใต้สภาวะการทดสอบกระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.10



(ก) กล้องโคโรนา



(ข) การบันทึกภาพ

รูปที่ 3.9 กล้องโคโรนา



(ก) NC/AC



(ข) SC/AC



(ค) NC/DC

(ง) SC/DC

รูปที่ 3.10 ปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยภายใต้กระแสตรง

และเมื่อนำลูกถ้วยฉนวนทดสอบมาทำการบันทึกภาพปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาลูกถ้วยใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



(ก) NC/AC



(ข) SC/AC



(ค) NC/DC



(ง) SC/DC

รูปที่ 3.11 ปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยภายใต้กระแสสลับ

ระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยฉนวนทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสสลับ ดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 แรงดันเริ่มเกิดโคโรนาลูกถ้วยใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง

ชนิดของลูกถ้วย	แรงดันเริ่มเกิดโคโรนา (kV)
----------------	----------------------------

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
NC/AC	84.45	86.67	85.95	85.69
SC/AC	124.68	127.23	126.63	126.18
NC/DC	83.42	84.77	88.13	85.44
SC/DC	98.54	97.98	96.61	97.71

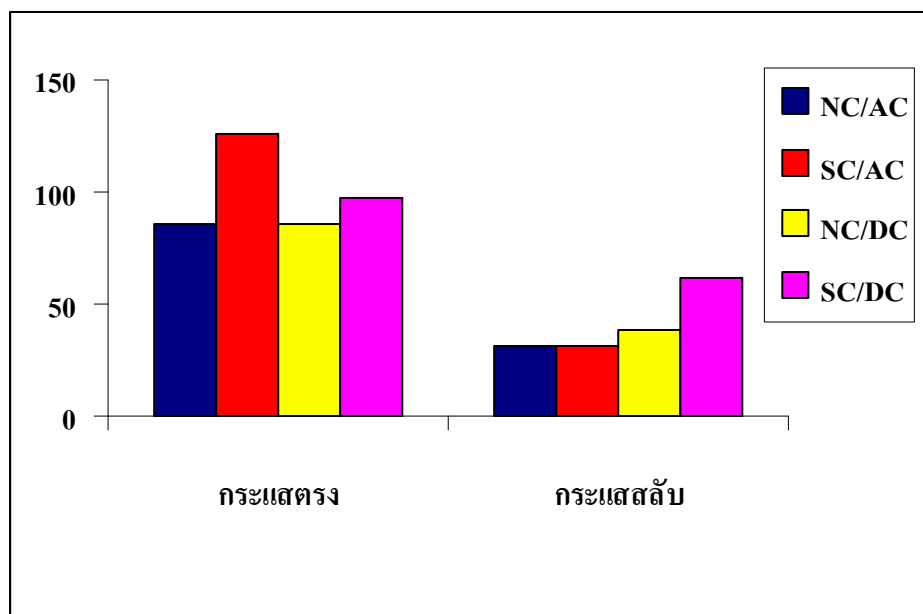
ตารางที่ 3.7 แรงดันเริ่มเกิดโคโรนาภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสสลับ

ชนิดของลูกถ้วย	แรงดันเริ่มเกิดโคโรนา (kV)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
NC/AC	30.08	31.56	31.51	31.04
SC/AC	31.62	31.55	30.58	31.26
NC/DC	36.64	38.81	38.74	38.04
SC/DC	63.93	62.43	58.00	61.45

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสตรง และลูกถ้วยกระแสสลับภายใต้เงื่อนไขการทดสอบทั้งกระแสตรง และกระแสสลับพบว่า ระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยฉนวนเคลื่อนสารกึ่งตัวนำทั้งกระแสตรง และกระแสสลับจะเกิดขึ้นที่ระดับแรงดันที่สูงกว่า จะสังเกตได้อย่างชัดเจนสำหรับลูกถ้วยฉนวนชนิด SC/AC ซึ่งมีระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาเท่ากับ 126.18 kV หรือแม้ว่าจะเทียบเป็นอัตราส่วนของลูกถ้วยฉนวนทั้งกระแสตรง และกระแสสลับ ในเงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง และกระแสสลับพบว่า สัดส่วนของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่มีการปรับปรุงคุณลักษณะทางไฟฟ้า โดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (SC/AC) จะมีอัตราส่วนที่สูงกว่า เหตุผลเนื่องจากสารกึ่งตัวนำที่เคลือบทำให้เกิดกระแสบางส่วนรั่วไหลที่บริเวณผิวของลูกถ้วยฉนวนทดสอบทำให้การกระจายของศักย์ไฟฟ้าดีขึ้น ส่งผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นลดลงด้วย จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนายากขึ้น

kV



รูปที่ 3.12 แรงดันเริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสดร่งและกระแสดลั้บ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ลูกถ้วยฉนวนที่มีการปรับปรุงโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำจะทำให้ปรากฏการณ์โคโรนาเกิดได้ยากขึ้น จะเห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับลูกถ้วยฉนวนกระแสดลั้บที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (SC/AC) สาเหตุเกิดจากการกระจายของสนามไฟฟ้าที่ดีขึ้น ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าลดลง

3.3.2.2 การทดสอบการเกิดปรากฏการณ์โคโรนากับพวงลูกถ้วยฉนวนและวงแหวนโคโรนา

จากการทดสอบปรากฏการณ์แรงดันเริ่มเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนในหัวข้อที่ 3.3.2.1 พบว่าลูกถ้วยฉนวนที่มีการปรับปรุงคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำนั้น จะพบคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ดีขึ้นคือ ระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาจะเกิดได้ยากกว่า ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎี และข้อมูลต่างๆ ที่ผ่านมา พบว่าวิธีการหนึ่งที่สามารถลดปรากฏการณ์การเกิดโคโรนากับอุปกรณ์ในระบบแรงดันสูง คือ โคโรนาซิลด์ ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดที่จะประยุกต์โดยการต่อร่วมกับวงแหวนโคโรนาร่วมกับพวงลูกถ้วยฉนวน เพื่อทำให้ระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนากับพวงลูกถ้วยฉนวนกระแสดลั้บที่จะนำมาใช้งานในระบบกระแสดร่ง เกิดได้ยากขึ้น ซึ่งจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในกรณีที่ต้องการนำลูกถ้วยฉนวนกระแสดลั้บไปใช้งานในระบบกระแสดร่ง

การทดสอบได้ถูกจัดทำขึ้นที่ห้องทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูง สถาบัน เทคโนโลยีพระจอม

เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การออกแบบวงแหวนโคโรนา

สำหรับวงแหวนโคโรนาที่นำมาต่อร่วมกับพวงลูกถ้วยฉนวนมีการออกแบบเพื่อคำนวณหาขนาดของวงแหวนโคโรนาตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

1. ระดับแรงดันที่ใช้ในการคำนวณเป็นแรงดันกระแสตรง ที่มีการใช้งานจริงในประเทศไทย เพราะฉะนั้นค่า V_{peak} จะมีค่าเท่ากับ V_{DC} ซึ่งเท่ากับ 300 kV ซึ่งใช้กับพวงลูกถ้วยฉนวนจำนวน 22 ลูก สำหรับในการทดลองนี้ จะทำการทดสอบกับพวงลูกถ้วยแบบแขวนจำนวน 3 ลูก ที่ระดับแรงดัน 300 kV
2. จากสมการที่ 2.8

$$r \geq \frac{U}{E_{\max}} = \frac{U}{25} \quad \text{เซนติเมตร}$$

3. เพราะฉะนั้น ระดับแรงดันที่ใช้ในการคำนวณ (U) จะมีค่าเท่ากับ

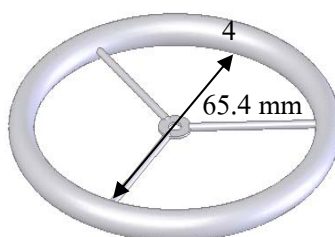
$$\frac{300\text{kV}}{22} \times 3 = 49.9 \text{ kV}$$

4. หาค่ารัศมีของวงแหวนโคโรนา โดยการแทนค่า U ลงในสมการที่ 2.8

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น} \quad r_1 &\geq \frac{49.9\text{kV}}{25\text{kV/cm}} \\ r_1 &\geq 1.67 \text{ cm} \end{aligned}$$

ใช้ Safety factor 1.25 ~ 2 เท่า

จะได้ $r_1 \approx 3.27 \text{ cm}$ หรือ $d_1 \approx 65.4 \text{ mm}$ ในที่นี้ใช้ Safety factor 2 เท่า
 ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงแหวนโคโรนาที่ได้ทำการออกแบบ

5. ขนาดของวงแหวนโคโรนาที่นำมาวิเคราะห์ จะมีด้วยกันทั้งหมด 4 ขนาด ดังนี้

3.1) เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm

3.2) เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 mm

3.3) เส้นผ่าศูนย์กลาง 210 mm

3.4) เส้นผ่าศูนย์กลาง 270 mm

ซึ่งวงแหวนโคโรนาทั้งหมดมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ 19 มิลลิเมตร ซึ่งจากการออกแบบพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนโคโรนาค่อนข้างเล็กมาก (65.4 มิลลิเมตร) ซึ่งกระบวนการผลิตทำได้ค่อนข้างยาก อีกทั้งยังยากต่อการติดตั้งเนื่องจากต้องมีอุปกรณ์ต่อร่วมอีกหลายตัว ดังนั้นสำหรับการศึกษาวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องหาขนาดที่สามารถจัดหาได้ทั่วไป ตามห้างร้านต่างๆ

อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 600 kV 10 mA
2. Sphere gap diameter 25 mm
3. ลูกถ้วยฉนวนทดสอบ
4. วงแหวนโคโรนา ดังแสดงในรูปที่ 3.13
5. กล้องโคโรนา ยี่ห้อ DayCor II ดังแสดงในรูปที่ 3.9

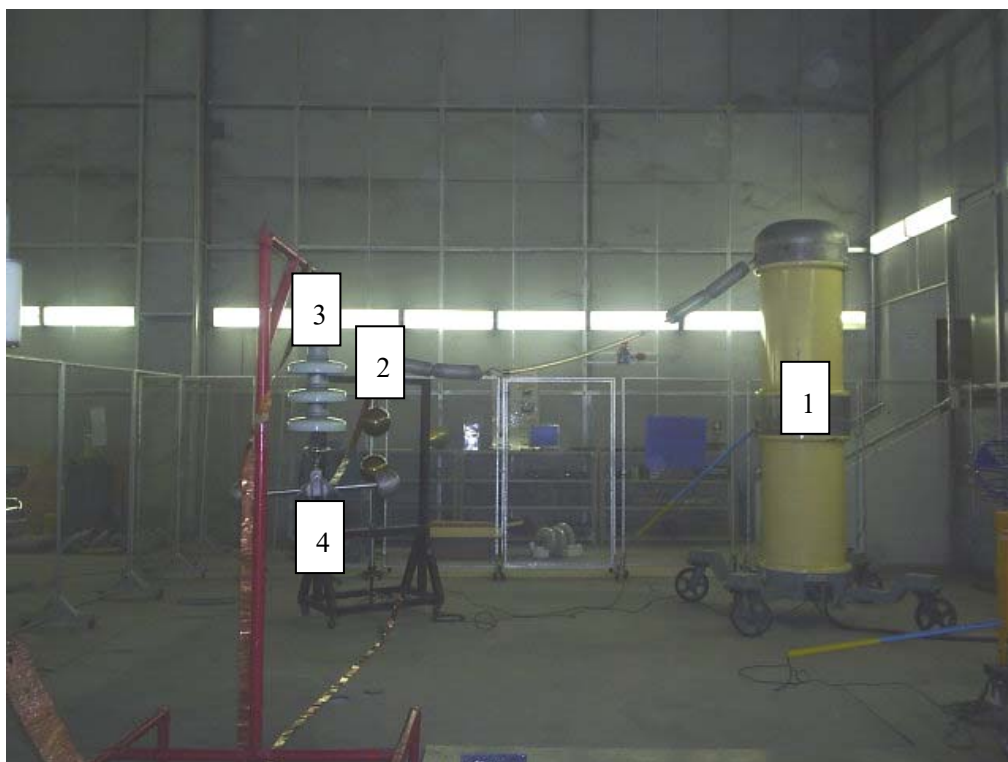
ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดเตรียมลูกถ้วยฉนวนทดสอบโดยทำการต่อร่วมกับวงแหวนโคโรนาตามที่ได้จัดทำไว้โดยเริ่มจากวงแหวนโคโรนาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุด
2. ต่อวงจรการทดสอบตามรูปที่ 3.14
3. นำกล้องโคโรนามาทำการติดตั้งโดยตำแหน่งที่ติดตั้งจะต้องอยู่ในรัศมีที่ไม่ทำให้อุปกรณ์เครื่องมือเกิดการชำรุดเสียหายได้
4. เริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์โคโรนา โดยที่แรงดันสูงสุดจะต้องไม่เกิน 300 kV
5. ทำการถ่ายภาพเพื่อดูปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนา
6. ทำการเปลี่ยนวงแหวนโคโรนาจนครบทุกแบบ
7. ทำการทดสอบซ้ำจนครบทุกแบบ

สภาวะการทดสอบ: อุณหภูมิ 32-33 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ 751-752 mmHg

ลำดับที่	สัญลักษณ์	เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง (มิลลิเมตร)	ขนาดท่อ (มิลลิเมตร)
1	A	270	19
2	B	210	19
3	C	200	19
4	D	100	19

และความชื้นสัมพัทธ์ 71-72 %



รูปที่ 3.14 วงจรการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสดัง

วงแหวนโคโรนาที่ได้ออกแบบเพื่อนำมาต่อร่วมกับพวงลูกถ้วยฉนวนใช้ในการทดสอบดัง
แสดงในตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.8 วงแหวนโคโรนาที่ใช้ในการทดสอบ



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 3.15 วงแหวนโคโรนา

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของกระแสดรูกด้วยแขนพวง 3 ลูกที่มีการต่อร่วมกับวงแหวนโคโรนา ดังแสดงในตารางที่ 3.9 และรูปที่ 3.16

ตารางที่ 3.9 ระดับแรงดันเกิดโคโรนาของลูกถ้วยกระแสดรูกที่สภาวะการทดสอบกระแสดรูก

แบบของวงแหวนโคโรนา	แรงดันเริ่มเกิดโคโรนา (kV) ของพวงลูกถ้วยขนาน 3 ลูก			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
E (ไม่ต้องวงแหวนโคโรนา)	138.83	139.85	143.72	140.8
A	185.56	186.65	188.49	186.9
B	182.39	181.98	184.03	182.8
C	135.89	137.33	137.48	136.9
D	127.38	128.76	126.66	127.6



(ก) แบบ A



(ข) แบบ B



(ค) แบบ C



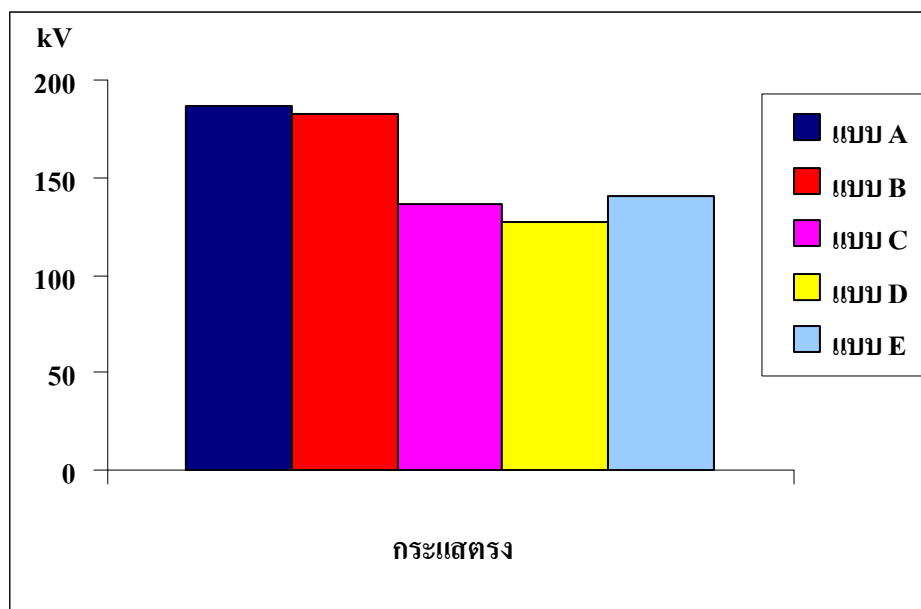
(ง) แบบ D

(จ) แบบ E (ไม่ต่อฟ่วงกับวงแหวนโคโรนา)

รูปที่ 3.16 การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยกระแสดับภายใต้การทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรง

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาของพวงลูกถ้วยฉนวน 3 ลูกที่มีการต่อร่วมกับวงแหวนโคโรนาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระดับแรงดันที่เริ่มเกิดโคโรนาพบว่า วงแหวนโคโรนาแบบ A ระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาจะเกิดที่ระดับสูงสุด 127.6 kV และ B และ C ตามลำดับ ส่วนวงแหวนโคโรนาแบบ D พบว่าระดับที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาจะเกิดขึ้นที่ระดับต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แรงดันโคโรนาที่เริ่มเกิดเมื่อมีการเปลี่ยนวงแหวนโคโรนา

ซึ่งพอที่สังเกตได้ว่าเป็นผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี กล่าวคือเมื่อไรก็ตามที่รัศมีของวงแหวนโคโรน่ายิ่งสูงขึ้นตามสมการที่ 2.7 จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เริ่มเกิดโคโรนาจะยิ่งลดลง ในขณะที่เมื่อทำการทดสอบกับพวงลูกถ้วยฉนวนที่ไม่มีการต่อร่วมกับวงแหวนโคโรนาพบว่าระดับแรงดันที่เริ่มเกิดโคโรนาเมื่อจะเกิดขึ้นที่ระดับแรงดัน 140.8 kV

สรุปผล

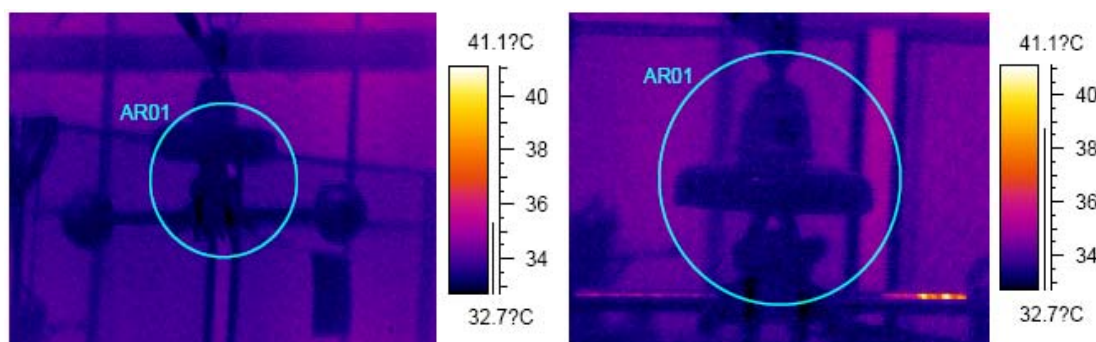
จากการทดสอบพบว่าระดับแรงดันเริ่มต้นที่เกิดปรากฏการณ์โคโรนาของพวงลูกถ้วยกระแสดร่งที่มีการติดตั้งนำวงแหวนโคโรนาตามที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบด้วยแรงดันกระแสดร่งพบว่า วงแหวนโคโรนาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด หรือแบบ A ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 270 มิลลิเมตร ระดับแรงดันที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาจะมีค่าจะเกิดขึ้นสูงสุด

3.3.3 การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

จากคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำ เมื่อทำการเคลื่อนผิวฉนวนของลูกถ้วยฉนวนกระแสดร่งโดยพฤติกรรมของสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านบริเวณพื้นผิวของพื้นที่ที่มีการเคลื่อน ในปริมาณเล็กน้อย ทำให้เกิดความร้อนขึ้น

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระหว่างลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบปกติ (NC/AC) กับลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่มีการปรับปรุงคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยการเคลือบผิวฉนวนด้วยสารกึ่งตัวนำ ว่าระดับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ มากน้อยเพียงไร และจะมีผลกระทบอะไรตามมาหรือไม่

โดยในการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของลูกถ้วยฉนวน จะทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง ซึ่งต้องจรรยาตามรูปที่ 3.6 (ก) โดยใช้กล้องเทอร์โมสแกนทำการบันทึกภาพเพื่อดูพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งผลการตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยในการทดสอบ จะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 kV ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที และบันทึกผล พบว่า อุณหภูมิของลูกถ้วยฉนวน NC/AC จะมีอุณหภูมิ 35.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่ ลูกถ้วยฉนวน SC/AC จะมีอุณหภูมิ 39.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 3 องศาเซลเซียส



(ก) NC/AC

(ข) SC/AC

รูปที่ 3.18 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของลูกถ้วยฉนวน โดยการเปรียบเทียบระหว่างลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบฉนวนปกติทั่วไป (NC/AC) กับลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (SC/AC) พบมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบริเวณผิวของลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสาเหตุเกิดมาจากการมีกระแสรั่วไหลบริเวณพื้นผิวที่เคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะช่วยให้ไม่เกิดปรากฏการณ์แถบแห้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญของการเกิดวาทไฟตามผิวได้ง่าย อันเนื่องมาจากสิ่งประอะเปื้อน

สรุปผลการทดลอง

ลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำจะพบทั้งข้อดี และข้อด้อย ซึ่งข้อดีคือ ไม่เกิดปรากฏการณ์แถบแห้ง เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดผิวลูกถ้วยฉนวน ดังนั้นแทบจะไม่มีโอกาสที่จะเกิดแถบแห้งขึ้นเลย แต่จะมีข้อด้อยที่ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าบางส่วนไป จาก

การทดสอบแสดงให้เห็นว่าระดับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Thermal runaway [14]

3.4 ปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยฉนวนที่มีระดับความประเอื้อนต่างๆ

3.4.1 ปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบแขวนที่มีระดับความประเอื้อนที่ระดับต่างๆ

เนื่องจากในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงไม่ว่าจะเป็นภายในประเทศไทย หรือแม้กระทั่งต่างประเทศก็ตาม ปัญหาเรื่องการเกาะจับของสิ่งประเอื้อนยังคงเป็นสิ่งที่ต้องทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อหาแนวทางป้องกัน เพื่อที่จะยังคงรักษาเสถียรภาพในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในหัวข้อนี้จะเน้นไปที่ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ซึ่งมีการเปรียบเทียบปรากฏการณ์การเกิดโคโรนา ของพวงลูกถ้วยฉนวน โดยที่จะทำการจำลองระดับความประเอื้อนที่ค่าต่างๆ เพื่อที่จะกำหนดรูปแบบของการเกิดปรากฏการณ์โคโรนา เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาต่อไปถึงสิ่งประเอื้อนต่างๆ ต่อไป

ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

กระบวนการเตรียมสิ่งประเอื้อน และรายละเอียดของส่วนผสมที่นำมาจำลอง ESDD ดังแสดงในรูปที่ 3.19 [14] ซึ่งระดับความประเอื้อนที่ค่าต่างๆ รวมไปถึงระดับแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.9 ซึ่งลูกถ้วยฉนวนที่นำมาทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยทำการทดสอบในกระโจมน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.19 การเตรียมสิ่งประเอื้อนหรือ ESDD ที่ระดับความประเอื้อนสูง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเตรียมและทดสอบ ESDD ประกอบด้วย

1. เกลือแกง (NaCl)
2. เกาดิน (Kaolin)

3. น้ำ De-Ionic
4. ภาชนะตวง
5. กาฟ้น
6. ตาชั่ง ยี่ห้อ OHAUS ความละเอียด มิลลิกรัม
7. Conductivity Meter ยี่ห้อ YOKOKAWA รุ่น SC 82
8. แปรง
9. ถังน้ำ
10. ตู้อบลูกถ้วยฉนวน

นำลูกถ้วยทดสอบไปทำการอบแห้งในตู้อบ โดยการอุณหภูมิในตู้อบควบคุมที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.21 เพื่อให้พื้นผิวของลูกถ้วยแห้ง ซึ่งจะทำการกระบวนกรพ่น สิ่งประกอบเปื้อน ทำได้ง่ายและได้ผลดี



รูปที่ 3.20 ลูกถ้วยฉนวนที่นำมาใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.21 การอบลูกถ้วยฉนวนเพื่อให้พื้นผิวของลูกถ้วยฉนวนแห้ง



4] ทำก
พื้นผิวค

ะ
ง

แสดงในรูปที่ 3.22 และจากนั้นนำไปอบในตู้อบอีกครั้งเพื่อให้สิ่งประกอบเปื้อนจำลองที่พ่นแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.22 การพ่นสิ่งประกอบเปื้อนจำลองที่พื้นผิวด้านบนและด้านล่างของลูกถ้วยฉนวน



รูปที่ 3.23 การอบลูกถ้วยฉนวนเพื่อให้พื้นผิวของลูกถ้วยฉนวนแห้งหลังจากพ่นสิ่งประกอบเปื้อนจำลอง ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการต่อวงจรโดยใช้วงจรการทดลองดังรูปที่ 3.24 โดยนำพวงลูกถ้วยทดสอบติดตั้งในกระโจมไอน้ำ ซึ่งกระโจมไอน้ำจะจำลองเสมือนหมอกที่อึดตัว โดยที่ระยะของลูกถ้วยทดสอบมีระยะห่างจากพื้นมากกว่า 1.5 เมตร ตามมาตรฐาน IEC 507 และหลังจากนั้นก็ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยใช้กล้องโคโรนาจับภาพปรากฏการณ์เริ่มเกิดโคโรนา โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายจะต้องไม่ทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวเนื่องจากไอน้ำที่อยู่ภายในกระโจม ดังนั้นเมื่อสามารถตรวจจับปรากฏการณ์โคโรนาได้แล้ว จะต้องหยุด และปรับระดับแรงดันลง เพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ทดสอบ

อุปกรณ์การทดลอง

(ก) 1. เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 600 kV 10 mA

2. Sphere gap diameter 25 mm

3. กระโจมไอน้ำ (Fog Chamber) ขนาด กว้าง 2.2 เมตร ยาว 2.5 เมตร สูง 3 เมตร

4. หม้อต้มน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 0.5 เมตร

5. ลูกถ้วยทดสอบ

6. กล้องโคโรนา ดังรูปที่ 3.9

สภาวะการทดสอบ: อุณหภูมิ 28-29 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ 751-752 mmHg และความชื้นสัมพัทธ์ 58-59 %

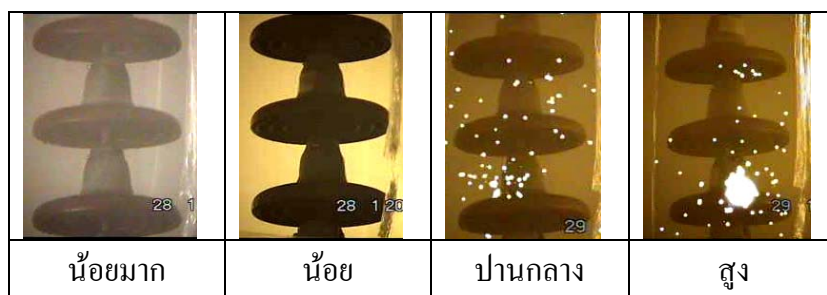


รูปที่ 3.24 วงจรการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบกระแสตรง ผลการทดสอบปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยฉนวนที่ระดับความเปราะเปื้อนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.10

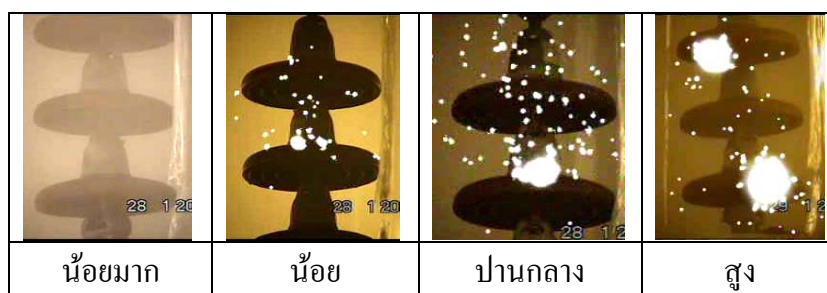
ตารางที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเริ่มเกิดโคโรนา และแรงดันสูงสุดที่ใช้การทดสอบของระดับความเปราะเปื้อน (ESDD) ต่าง ๆ กัน

ESDD(mg/cm ²)		แรงดันเริ่มเกิดโคโรนา (kV)		แรงดันสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (kV)	
		AC	DC	AC	DC
น้อยมาก	0.006	-	-	30	30
	0.009	17	25	24	30
	0.011	15	24	24	28
	0.020	14	22	18	24
น้อย	0.034	9	14	12	19
	0.048	10	17	13	20
ปานกลาง	0.061	7	13	10	20
	0.070	7	17	11	20
	0.081	7	15	10	20
	0.085	9	15	13	17
มาก	0.108	7	13	9	20
	0.182	9	15	13	17

ผลการทดสอบโดยใช้กล้องโคโรนาในการถ่ายภาพปรากฏการณ์การเกิดโคโรนา จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ การทดสอบภายใต้เงื่อนไขกระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.25 ถึง 3.27 และภายใต้เงื่อนไขกระแสตรง 3.28 ถึง 3.30 ตามลำดับ



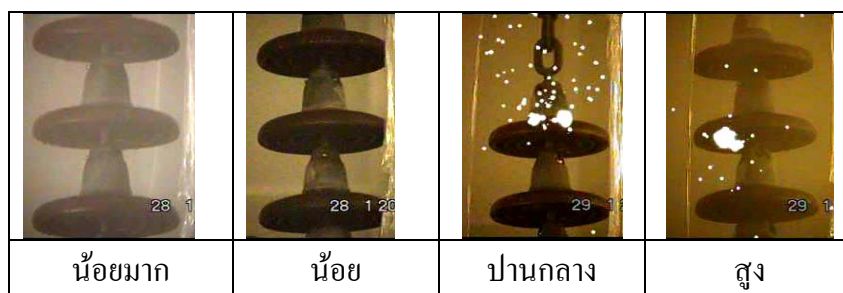
รูปที่ 3.25 ปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่ระดับแรงดัน 7 kVAC



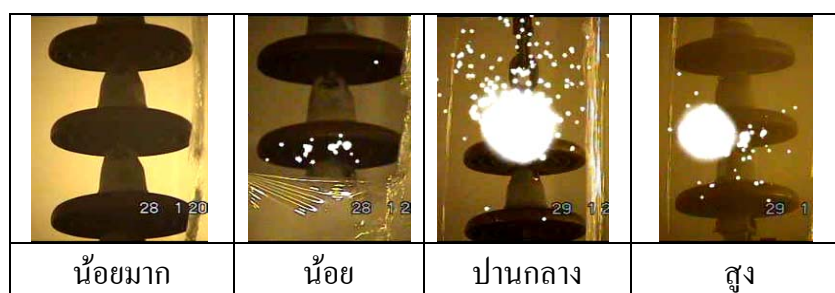
รูปที่ 3.26 ปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่ระดับแรงดัน 9 kVAC

	ระดับแรงดัน สูงสุดที่ ทดสอบน้อย กว่า 14 kV	ระดับแรงดัน สูงสุดที่ ทดสอบน้อย กว่า 14 kV	ระดับแรงดัน สูงสุดที่ ทดสอบน้อย กว่า 14 kV
น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	สูง

รูปที่ 3.27 ปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับที่ระดับแรงดัน 14 kVAC



รูปที่ 3.28 ปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสดตรงที่ระดับแรงดัน 13 kVDC



รูปที่ 3.29 ปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสดตรงที่ระดับแรงดัน 17 kVDC

	ระดับแรงดัน สูงสุดที่ ทดสอบน้อย กว่า 22 kV	ระดับแรงดัน สูงสุดที่ ทดสอบน้อย กว่า 22 kV	ระดับแรงดัน สูงสุดที่ ทดสอบน้อย กว่า 22 kV
น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	สูง

รูปที่ 3.30 ปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาของลูกถ้วยฉนวนกระแสดตรงที่ระดับแรงดัน 22 kVDC

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบพบว่า ปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาจะสามารถตรวจจับได้ที่ระดับความเปราะเปื้อนน้อย และจะเห็นได้ปรากฏการณ์ได้ชัดเมื่อ ระดับความเปราะเปื้อนสูงขึ้น หรือระดับแรงดันที่ทำการทดสอบสูงขึ้น ซึ่งข้อมูลการทดสอบนี้ค่อนข้างที่จะมีประโยชน์สูงกับหน่วยการซ่อมบำรุงระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง ในการกำหนดระยะเวลาการซ่อมบำรุงเพื่อลดความเสี่ยงของโอกาสเกิดความผิดปกติในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบกระแสดตรงที่อาจจะนำไปประยุกต์ให้เหมาะสมกับประเทศไทย

3.4.2 การทดสอบการเกิดปรากฏการณ์โคโรนากับลูกถ้วยฉนวนกระแสดลับในกระโจมไอน้ำ

ในระบบการการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบกระแสตรงพบว่าระดับการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนหรือ ESDD จะมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบกระแสสลับ ซึ่งผลเกิดมาจากผลของสนามไฟฟ้า ดังจะแสดงในบทที่ 4 ซึ่งจากหัวข้อการทดสอบที่ 3.2 พบว่าลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับเมื่อทำการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (SC/AC) ระดับแรงดันที่เกิดการวาวไฟตามผิวจะมีค่าลดลงมาเล็กน้อย เมื่อทำการทดสอบภายใต้สภาวะแห้งสะอาด จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการเคลือบผิวของลูกถ้วยฉนวนด้วยสารกึ่งตัวนำ และใช้งานในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับพบว่าจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการเปราะเปื้อนได้ แต่ยังไม่พบว่าได้มีการนำมาใช้ในระบบกระแสตรง ดังนั้นจากสมมติฐานดังกล่าวจึงได้เกิดการทดลองนี้ขึ้นมา เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิวของลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับด้วยสารกึ่งตัวนำว่าสามารถที่จะแก้ปัญหาเรื่องการเปราะเปื้อนได้หรือไม่ ซึ่งลูกถ้วยฉนวนที่นำมาใช้ในการทดสอบ เป็นลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยกระบวนการที่ได้มาตรฐานโดยโรงงานผู้ผลิตลูกถ้วย โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบปรากฏการณ์การเริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนาโดยทำการจำลองระดับความเปราะเปื้อนในระดับสูงสุด ซึ่งค่า ESDD มีค่ามากกว่า 0.1 mg/cm^2 โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะการทดสอบกระแสตรง ในกระโจมไอน้ำซึ่งเปรียบเสมือนว่าอยู่ในสภาวะรุนแรงที่สุด

ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

ชุดลูกถ้วยทดสอบประกอบด้วย 6 ชุด โดยที่ 3 ชุดจะเป็นลูกถ้วยฉนวนแบบปกติ และอีก 3 ชุดจะเป็นลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะต่อแขนเป็นพวง 3 ลูก โดยระดับความเปราะเปื้อนที่จำลองเข้าไปจะอยู่ที่ระดับความเปราะเปื้อนรุนแรง (Heavy) ซึ่งค่า ESDD ที่จำลองเข้าไปมีค่า 0.16 mg/cm^2

ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการต่อวงจรโดยใช้วงจรการทดลองดังรูปที่ 3.24 โดยนำพวงลูกถ้วยทดสอบติดตั้งในกระโจมไอน้ำ ตามมาตรฐาน IEC 507 และหลังจากนั้นก็ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยใช้กล้องโคโรนาทำการถ่ายภาพปรากฏการณ์เริ่มเกิดโคโรนา ซึ่งโดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายจะต้องไม่ทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวเนื่องจากไอน้ำที่อยู่ภายในกระโจม ดังนั้นเมื่อสามารถตรวจจับปรากฏการณ์โคโรนาได้แล้ว จะต้องหยุด และปรับระดับแรงดันลง เพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ทดสอบ

ผลการทดสอบค่าแรงดันเริ่มเกิดโคโรนา ของลูกถ้วยกระแสสลับแบบแขนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับลูกถ้วยฉนวนแบบแขนปกติทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 แรงดันเริ่มเกิดโคโรนาในสภาวะการทดสอบกระแสตรง

ชนิดของลูกถ้วย	ESDD ที่จำลอง (mg/cm ²)		ความต้านทาน (MΩ)		แรงดันที่เริ่มเกิดโคโรนา (kV)			ระดับแรงดันสูงสุดที่จ่าย (kV)
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ทางที่ 1	ทางที่ 2	ทางที่ 3	
ปกติ	-	-	2.7	0.7	15	13	16	20
เคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ	-	-	0.001	0.001	-	-	-	20
ปกติ	0.16	-	0.004	0.002	9.7	9.5	9.8	20
เคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ	0.16	-	0.001	0.001	-	-	-	20

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาของพวงลูกถ้วยฉนวนทดสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

1) การเปรียบเทียบระหว่างลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนกระแสสลับแบบปกติทั่วไป กับลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในตารางที่ 3.9 แถวที่หนึ่ง และ สอง ไม่พบปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาทั้งลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่พบปรากฏการณ์การเกิดโคโรนาทั้งลูกถ้วยฉนวนปกติ ที่ระดับแรงดันเฉลี่ย 14.67 kV ตามลำดับเหตุผลเนื่องมาจากคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่เคลือบบริเวณพื้นผิวของลูกถ้วยฉนวน ซึ่งลูกถ้วยฉนวนเมื่อทำการปรับปรุงคุณลักษณะ โดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำแล้ว ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมีการกระจายที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ จึงทำให้ไม่พบปรากฏการณ์โคโรนา

2) การเปรียบเทียบระหว่างลูกถ้วยฉนวนแบบแขวนกระแสสลับแบบปกติทั่วไป กับลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ ซึ่งลูกถ้วยทั้งสองชนิดมีการจำลองการเปราะเปื้อนเข้าไปด้วยที่ระดับความเปราะเปื้อนรุนแรง และทำการทดสอบเปรียบเทียบเช่นเดียวกับข้อ 1) พบว่าระดับแรงดันที่เกิดปรากฏการณ์โคโรนาของลูกถ้วยฉนวนแบบปกติ จะลดระดับลงมาซึ่งมีระดับแรงดันเฉลี่ย 9.67 kV หรือประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไม่พบปรากฏการณ์โคโรนาทั้งลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ ซึ่งด้วยเหตุผลเดียวกันว่า การกระจายของสนามไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นไม่ว่าจะทำการทดสอบโดยการจำลองสิ่งเปราะเปื้อนเข้าไปหรือไม่ ก็จะไม่เกิดกับปรากฏการณ์การเริ่มเกิดโคโรนาทั้งลูกถ้วยฉนวนชนิดนี้ จะเห็นได้ว่าในระดับความเปราะเปื้อนรุนแรง ซึ่งไม่พบปรากฏการณ์การเกิดโคโรนา

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่า ลูกถ้วยฉนวนกระแสสลับแบบแขวนเมื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ และนำไปทดสอบภายใต้เงื่อนไขจำลองในห้องที่มีหมอกปริมาณสูง พบว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีมากดังจะเห็นได้ว่าไม่พบปรากฏการณ์โคโรนาเลย ในขณะที่ลูกถ้วยฉนวนปกติโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการจำลองสิ่งประอะเปื้อนเข้าไปด้วย พบระดับแรงดันที่เริ่มเกิดโคโรนาลดลงเกินกว่าครึ่งเมื่อเทียบกับลูกถ้วยฉนวนปกติ