

การประเมินความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์และความสูญเสียเนื้อวัสดุของ อิเล็กโทรดชนิดต่างๆ ด้วย SEM

Evaluating the relationship of breakdown voltage and material losses of different types of electrodes by SEM

อุไรรัตน์ เพ็ญสูงเนิน และ วิษัย พุกกะวัน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email: urairatf@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอากาศด้วยชุดทดลองอิเล็กโทรด 4 แบบ คือ แบบปลายแหลม แบบเข็มแบบทรงกลม และแบบครึ่งทรงกลมซึ่งสรุปได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นในอิเล็กโทรดแบบครึ่งทรงกลม มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ อิเล็กโทรดแบบทรงกลม อิเล็กโทรดแบบเข็ม และอิเล็กโทรดแบบปลายแหลม ตามลำดับ และเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นที่วัดค่าได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์แปรผันไปตามระยะห่างของอิเล็กโทรด และเมื่อนำอิเล็กโทรดแบบเข็มที่ผ่านการทดลองการเกิดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์มาตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพความเสียหายบนพื้นผิวอิเล็กโทรดด้วยกล้อง SEM ทำให้ทราบว่าเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น และค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เพิ่มขึ้นตามระยะห่างของอิเล็กโทรดจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่หน้าตัดของเส้นผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมของอิเล็กโทรดมีค่าเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าพื้นที่หน้าตัดของเส้นผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมของอิเล็กโทรดแปรผันโดยตรงกับระยะห่างของอิเล็กโทรดและค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้น และลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวอิเล็กโทรดแบบเข็มมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบ มีรอยแตก และมีหลุมลึก จากการวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบปัญหาของการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการเกิดดีสชาร์จบางส่วนสะสม ในที่สุดจึงทำให้เกิดเบรกดาวน์ของฉนวนเกิดขึ้น เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้อุปกรณ์นั้นๆ เกิดความเสียหายถาวร ไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป

คำสำคัญ:

ดีสชาร์จบางส่วน แรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

● Abstract

This research was presented the measurement of the breakdown voltage of air with 4 sets of electrode experimenting kits which consisted of rod gap electrode type, needle gap electrode

type, spherical gap electrode type and partial spherical gap electrode type. The result showed that the highest breakdown voltage occurred in a partial spherical gap electrode type, followed by spherical gap electrode type, needle gap electrode type and rod gap electrode type. It also showed that the greater the gap distance was, the higher the breakdown voltage occurred. The breakdown voltage varied in proportion to the gap distance. The surface damage of the needle gap electrode after the breakdown voltage experiment was characterized by SEM and revealed that cross-sectional area of electrode's sharpness diameter increased as the gap distance and breakdown voltage increased. This also showed that the cross-sectional area of electrode's sharpness diameter was directly proportional to the gap distance and the breakdown voltage. The physical characteristic of the surface of the needle gap electrode was rough with cracks and deep holes. In conclusion, based on this research, the deterioration of electrical equipment caused by accumulated partial discharge activities over time would eventually cause insulation breakdown and permanent damage of the equipment.

Keywords:

partial discharge, breakdown voltage, scanning electron microscope (SEM)

1. คำนำ

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าที่ดีคือระบบที่เสถียรหรือมีความน่าเชื่อถือสูงซึ่งระบบนั้นจะต้องไม่เกิดเบรกดาวน์เกิดขึ้นในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและในอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน การเกิดเบรกดาวน์ของฉนวนในขณะที่ยูปรณ์กำลังถูกใช้งานอยู่ เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ยูปรณ์เกิดความเสียหาย และระบบที่ถูกเชื่อมต่อกับยูปรณ์นั้นๆ ก็จะเกิดความเสียหายตามมาด้วยเช่นเดียวกัน ฉนวนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการป้องกันการเกิดการเบรกดาวน์ ผู้วิจัยจึงได้วิจัยการเกิดเบรกดาวน์เฉพาะฉนวนที่เป็นก๊าซเท่านั้น คือ อากาศ ซึ่งสภาพการเป็นฉนวนของก๊าซนี้ก็สามารถเสียได้เช่นกัน เมื่อมีการเกิดดิสชาร์จขึ้น [1], [2] ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ คือ อิเล็กตรอนและไอออน ที่เกิดเพิ่มทวีคูณมากขึ้น เรียกว่า กระบวนการไอออนไนเซชัน

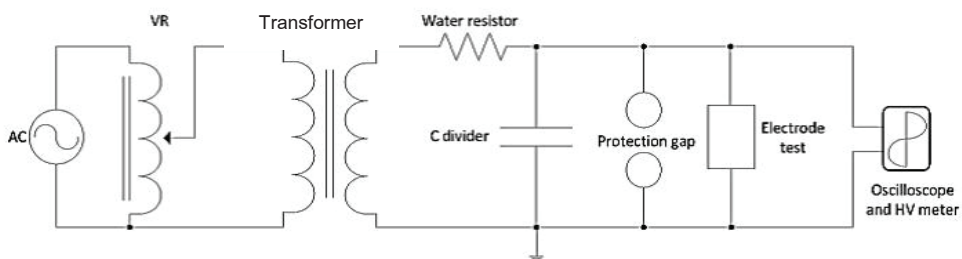
ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในออกแบบชุดการทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำการวิจัยศึกษาและทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กทรอนิกส์ 4 แบบ คือ แบบปลายแหลม แบบเข็มแบบทรงกลม และแบบครึ่งทรงกลมโดยการปรับระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน และนำค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่วัดค่าได้มาวิเคราะห์และประเมินความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นกับชนิดของอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ และได้นำอิเล็กทรอนิกส์แบบเข็มมาตรวจสอบ และวิเคราะห์สภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิววัสดุอิเล็กทรอนิกส์ด้วยกล้อง SEM (เนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์แบบเข็มเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ด้วยกล้อง SEM ได้อย่างละเอียดและชัดเจน และมีตัวอย่างสำหรับนำมาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเป็นจำนวนมาก) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของเส้น

ภาพที่1 ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 4 แบบ

3.2 วงจรสำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์

วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std. 4-1995 และ IEC 60060-1,2 ประกอบด้วย ตัวจ่ายแรงดันสูง (AC) ปรับค่าได้เชื่อมต่อกับหม้อแปลงทดสอบขนาด 100 kV ป้อนแรงดันให้กับอุปกรณ์ นำความต้านทานน้ำขนาด 8.31 GOhm เชื่อมต่อกับหม้อแปลงทดสอบกับอุปกรณ์โวลเตจดีไวเดอร์

แบบตัวเก็บประจุวัดแรงดันกระแสสลับขนาด 100 pF เพื่อจำกัดกระแสไม่ให้เกินพิกัดที่หม้อแปลงกำหนด และเชื่อมต่อกับแกปป้องกันทรงกลมซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกินพิกัดของหม้อแปลงและนำชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ มาเชื่อมต่อกับแกปป้องกันทรงกลม และนำเครื่องมือวัดแรงสูงมาเชื่อมต่อเพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ [5], [8], [9]



ภาพที่2 วงจรสำหรับนำมาใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กทรอนิกส์

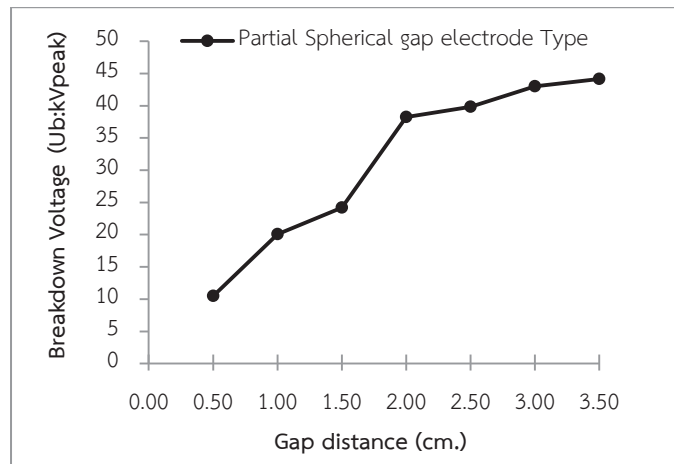
4. ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์

จากการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ในอิเล็กทรอนิกส์แบบครึ่งทรงกลม-ครึ่งทรงกลม เมื่อปรับระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์ที่ระยะ 0.50 เซนติเมตร 1.00 เซนติเมตร 1.50 เซนติเมตร 2.00 เซนติเมตร 2.50

เซนติเมตร 3.00 เซนติเมตร และ 3.50 เซนติเมตร จะเห็นว่าเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นที่วัดค่าได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์แปรผันโดยตรงกับการปรับระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์ (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กทรอนิกส์แบบครึ่งทรงกลม-ครึ่งทรงกลม Gap distance (cm.)

Gap distance (cm.)	Breakdown Voltage (Ub: kVpeak)						
No.	1	2	3	4	5	6	AVG
0.5	10.60	11.00	10.30	9.85	10.65	10.65	10.51
1.0	20.30	20.15	19.70	19.80	20.25	20.15	20.06
1.5	24.15	24.10	24.10	24.25	24.25	24.30	24.19
2.0	38.20	38.45	37.90	38.30	38.35	38.10	38.22
2.5	40.15	40.05	40.00	40.05	39.40	39.30	39.83
3.0	42.55	42.90	43.10	43.15	43.25	43.15	43.02
3.5	44.95	43.90	44.60	43.50	44.05	43.75	44.13

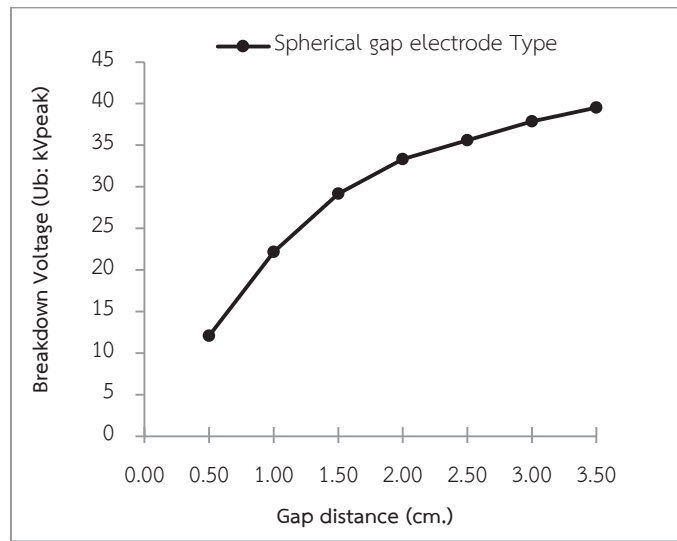


ภาพที่ 3 ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนของอิเล็กโทรดแบบครึ่งทรงกลม

จากการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน ในอิเล็กโทรดแบบทรงกลม-ทรงกลม เมื่อปรับระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ระยะ 0.50 เซนติเมตร 1.00 เซนติเมตร 1.50 เซนติเมตร 2.00 เซนติเมตร 2.50 เซนติเมตร 3.00 เซนติเมตร และ 3.50 เซนติเมตรจะเห็นได้ว่าเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนที่เกิดขึ้นที่วัดค่าได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนแปรผันโดยตรงกับการปรับระยะห่างของอิเล็กโทรด (ภาพที่ 4)

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนอิเล็กโทรดแบบทรงกลม-ทรงกลม

Gap distance (cm.)	Breakdown Voltage (Ub: kVpeak)						
No.	1	2	3	4	5	6	AVG
0.5	11.50	11.65	12.35	12.30	12.35	12.30	12.08
1.0	22.30	22.75	22.30	21.75	21.95	21.85	22.15
1.5	28.90	29.15	28.70	29.40	29.45	29.45	29.18
2.0	33.15	33.15	33.15	33.75	32.85	33.80	33.31
2.5	35.20	35.75	35.45	36.00	35.95	35.25	35.60
3.0	37.80	37.55	38.05	37.65	38.00	38.15	37.87
3.5	39.50	39.60	39.55	39.50	39.50	39.50	39.53

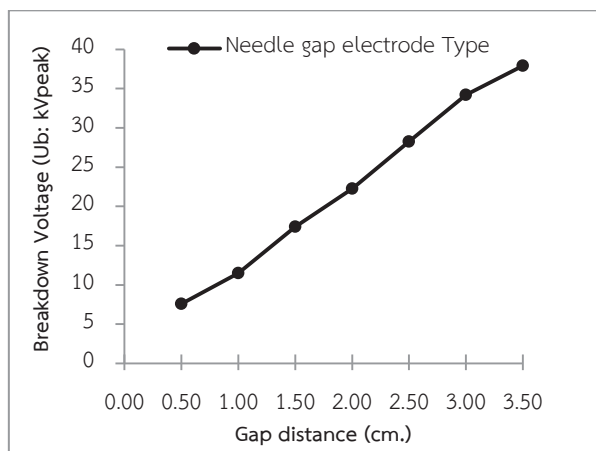


ภาพที่ 4 ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนของอิเล็กโตรดแบบทรงกลม

จากการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนในอิเล็กโตรดแบบเข็ม-เข็ม เมื่อปรับระยะห่างของอิเล็กโตรดที่ระยะ 0.50 เซนติเมตร 1.00 เซนติเมตร 1.50 เซนติเมตร 2.00 เซนติเมตร 2.50 เซนติเมตร 3.00 เซนติเมตร และ 3.50 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า เมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโตรดเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนที่เกิดขึ้นที่วัดค่าได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนแปรผันโดยตรงกับการปรับระยะห่างของอิเล็กโตรด (ภาพที่ 5)

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการวัดค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนของอิเล็กโตรดแบบเข็ม-เข็ม

Gap distance (cm.)	Breakdown Voltage (Ub: kVpeak)						
No.	1	2	3	4	5	6	AVG
0.5	6.78	6.93	7.05	7.83	8.16	8.67	7.57
1.0	11.15	11.21	11.28	11.38	11.76	12.19	11.49
1.5	16.70	17.02	17.22	17.60	17.87	18.03	17.41
2.0	20.96	21.93	22.06	22.63	22.91	23.05	22.26
2.5	27.04	27.56	28.18	28.58	28.92	29.27	28.26
3.0	33.36	33.83	34.13	34.33	34.55	34.90	34.18
3.5	36.55	36.78	37.55	38.55	38.75	39.33	37.92



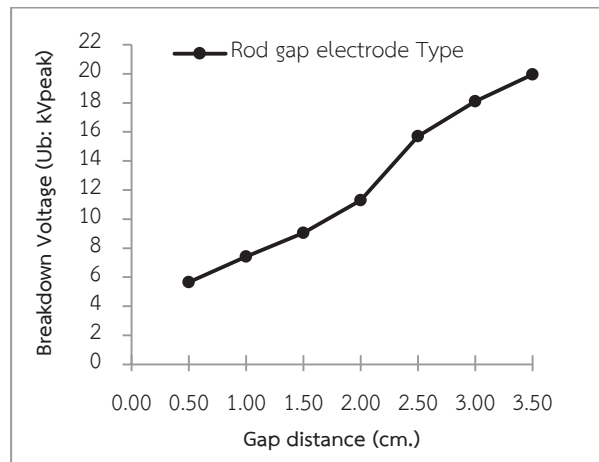
ภาพที่ 5 ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กโทรดแบบเข็ม

จากการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ในอิเล็กโทรดแบบปลายแหลม-ปลายแหลม เมื่อปรับระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ระยะ 0.50 เซนติเมตร 1.00 เซนติเมตร 1.50 เซนติเมตร 2.00 เซนติเมตร 2.50 เซนติเมตร 3.00 เซนติเมตร และ 3.50 เซนติเมตร จะ

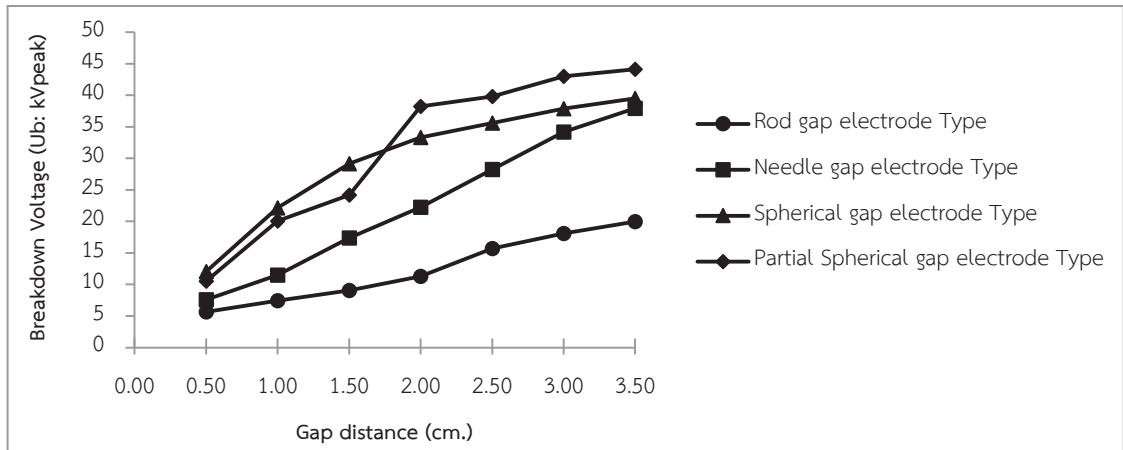
เห็นได้ว่าเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นที่วัดค่าได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์แปรผันโดยตรงกับการปรับระยะห่างของอิเล็กโทรด (ภาพที่ 6)

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กโทรดแบบปลายแหลม-ปลายแหลม

Gap distance (cm.)	Breakdown Voltage (Ub: kVpeak)						
No.	1	2	3	4	5	6	AVG
0.5	5.00	5.75	6.15	5.00	6.15	5.85	5.65
1.0	6.75	7.30	7.55	6.95	7.65	8.35	7.43
1.5	9.00	9.00	9.05	9.15	9.15	8.95	9.05
2.0	11.60	10.50	11.60	11.55	10.95	11.60	11.30
2.5	16.25	15.55	16.15	15.20	15.45	15.55	15.69
3.0	19.45	17.65	18.30	18.20	17.10	17.90	18.10
3.5	21.15	20.30	19.40	19.95	19.15	19.75	19.95



ภาพที่ 6 ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดแบบปลายแหลม



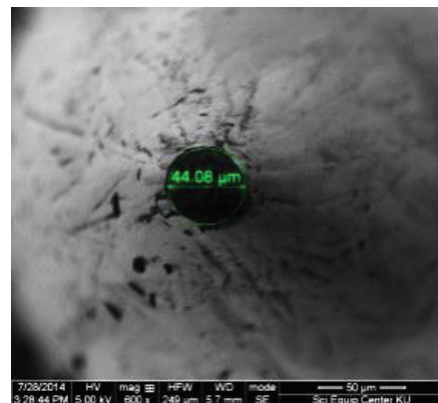
ภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดทั้ง 4 ประเภท

5. การวิเคราะห์สภาพพื้นผิววัสดุอิเล็กโตรดด้วย SEM

5.1 วัสดุอิเล็กโตรดโลหะของแบบเข็มที่ไม่ได้

ผ่านการทดลองแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์

การวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางความแหลมคมของอิเล็กโตรดโลหะแบบเข็มที่ไม่ได้ผ่านการทดลองแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ด้วยกล้อง SEM [10], [11] โดยได้นำอิเล็กโตรดโลหะแบบเข็ม จำนวน 100 ตัวอย่าง มาวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางความแหลมคมซึ่งระยะเส้นผ่านศูนย์กลางความแหลมคมที่วัดได้ที่มีขนาดเท่ากัน มีจำนวน 42 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.08 ไมโครเมตร แสดงดังภาพที่ 8

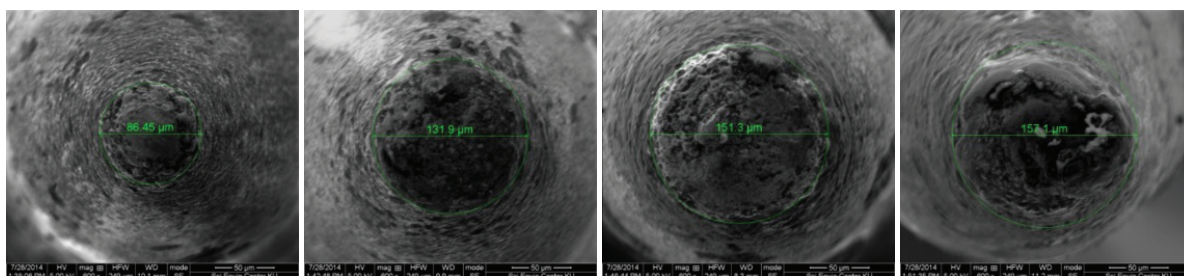


ภาพที่ 8 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมของวัสดุอิเล็กโตรดโลหะแบบเข็มที่ไม่ได้ผ่านการทดลองแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์

5.2 วัสดุอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็มที่ผ่านการ ทดลองการเกิดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน

จากการทดลองการเกิดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน
ในวัสดุอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็มเมื่อปรับระยะห่างของ
อิเล็กโทรดที่ระยะ 0.50 เซนติเมตร 1.00 เซนติเมตร
1.50 เซนติเมตร 2.00 เซนติเมตร 2.50 เซนติเมตร 3.00

เซนติเมตร และ 3.50 เซนติเมตร (ตารางที่ 5) แสดง
ให้เห็นว่าเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น
และค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนที่เพิ่มขึ้นตามระยะห่าง
ของอิเล็กโทรดจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่หน้าตัดของเส้น
ผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมของอิเล็กโทรดแบบ
เข็มมีค่าเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 9 และ 10)

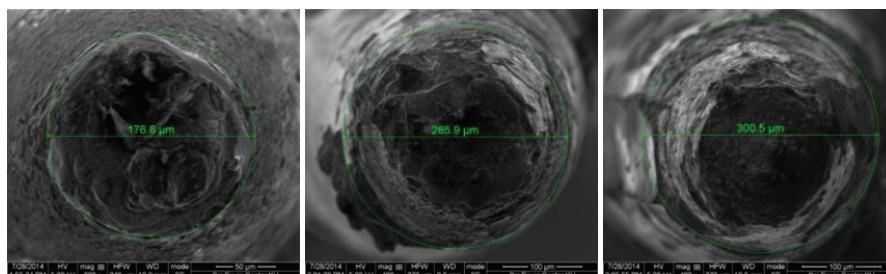


(ก) 0.50 เซนติเมตร

(ข) 1.00 เซนติเมตร

(ค) 1.50 เซนติเมตร

(ง) 2.00 เซนติเมตร



(จ) 2.50 เซนติเมตร

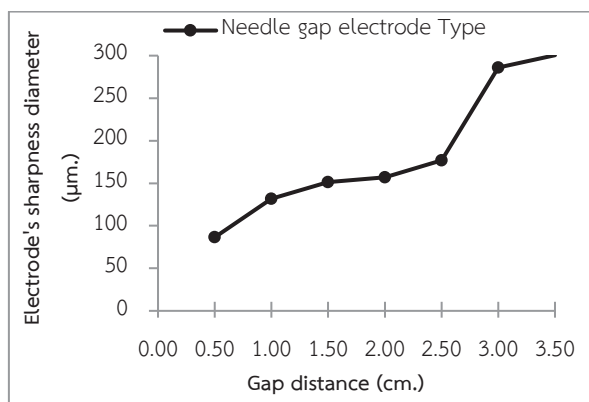
(ฉ) 3.00 เซนติเมตร

(ช) 3.50 เซนติเมตร

ภาพที่ 9 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมของอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็ม

ตารางที่ 5 ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางความแหลมคมของอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็มที่ผ่านการทดลองการเกิดแรงดัน
ไฟฟ้าเบรกดาวนด้วยกล้อง SEM

Gap distance (cm.)	Electrode's sharpness diameter (μm.)						
No.	1	2	3	4	5	6	AVG
0.5	86.45	86.47	86.45	86.46	86.45	86.46	86.46
1	131.90	131.89	131.89	131.90	131.91	131.90	131.90
1.5	151.30	151.30	151.31	151.31	151.29	151.32	151.31
2	157.10	157.08	157.10	157.11	157.11	157.09	157.10
2.5	176.80	176.80	176.81	176.81	176.80	176.79	176.80
3	285.90	285.88	285.92	285.90	285.91	285.90	285.90
3.5	300.50	300.51	300.51	300.49	300.48	300.50	300.50



ภาพที่ 10 กราฟแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมของอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็ม

6. สรุปและอภิปรายผล

1. สำหรับการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์นี้ได้นำนักวิจัยจำนวนมากทำการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์สำหรับฉนวนเหลวเท่านั้น ทดสอบที่ระยะห่างอิเล็กโทรดไม่เกิน 2.50 มิลลิเมตร และใช้อิเล็กโทรดแบบทรงกลมและแบบครึ่งทรงกลม [12], [13] ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดทำวิจัยเพิ่มเติม ในการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์สำหรับฉนวนอากาศในอิเล็กโทรดแบบปลายแหลมแบบเข็มแบบทรงกลม และแบบครึ่งทรงกลม และทดสอบที่ระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ระยะ 0.50 เซนติเมตร, 1.00 เซนติเมตร 1.50 เซนติเมตร 2.00 เซนติเมตร 2.50 เซนติเมตร 3.00 เซนติเมตร และ 3.50 เซนติเมตร ตามลำดับ เพิ่มขึ้นตามระเบียบวิธีที่มาตรฐานกำหนด ที่สภาวะบรรยากาศเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 31 °C ความดันบรรยากาศ 760 mmHg และความชื้น 70% สรุปได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นในอิเล็กโทรดแบบครึ่งทรงกลม มีค่ามากที่สุด รองลง คือ อิเล็กโทรดแบบทรงกลม อิเล็กโทรดแบบเข็ม และอิเล็กโทรดแบบปลายแหลมตามลำดับ และเมื่อปรับเพิ่มระยะห่างของอิเล็กโทรดเพิ่ม

ขึ้นเรื่อยๆ ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นที่วัดค่าได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์แปรผันตามระยะห่างของอิเล็กโทรด จากผลการทดลองดังกล่าวผู้วิจัยได้นำไปพัฒนาวิธีการในการกำหนดค่ามาตรฐานพร้อมทั้งระบุระดับความรุนแรงของปัญหาที่เกิดจาก PD เพื่อประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และเพื่อทำนายความรุนแรงของการเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้ล่วงหน้า เพื่อหาแนวทางในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไม่ให้เกิดความเสียหาย และเพื่อวางแผนในการซ่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะเกิดความเสียหายได้ทันเวลาที่ ตลอดจนเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและสร้างฉนวนที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและพัฒนาเทคนิคการฉนวนไฟฟ้าแรงสูงในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าต่อไป

2. วิเคราะห์สภาพพื้นผิววัสดุในอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็มที่ไม่ผ่านการใช้งานและไม่ผ่านการทดลองการเกิดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ จากการตรวจสอบด้วยกล้อง SEM โดยนำอิเล็กโทรดโลหะแบบเข็ม จำนวน 100 ตัวอย่าง มาวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแหลมคมสรุปได้ว่าค่าระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแหลมคมที่มีขนาดเท่ากัน มีจำนวน 42 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.08 ไมโครเมตร ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวอิเล็กโทรด มีพื้นผิวเรียบไม่ขรุขระ ไม่มีรอยแตก หรือความเสียหาย เพียงแต่สภาพความแหลมคมยังมีค่าความไม่แน่นอน เพราะตามหลักแล้วในขั้นตอนการผลิตอิเล็กโทรดแบบเข็ม ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของความแหลมคมควรมีค่าเท่าๆ กัน (คงที่) ซึ่งสิ่งที่ตรวจพบอาจมีสาเหตุจากกระบวนการผลิตที่มีความคลาดเคลื่อนจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

3. วิเคราะห์สภาพพื้นผิววัสดุอิเล็กทรอนิกส์แบบ
เข็ม ที่ผ่านการทดลองการเกิดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์
เมื่อปรับระยะห่างอิเล็กทรอนิกส์ตามที่กำหนดไว้จากการ
ตรวจสอบด้วยกล้อง SEM สรุปได้ว่าเมื่อปรับเพิ่ม
ระยะห่างอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้น และการเกิดแรงดันไฟฟ้า
เบรกดาวน์เพิ่มขึ้นตามระยะห่างอิเล็กทรอนิกส์จะส่งผลกระทบต่อ
ให้พื้นที่หน้าตัดของเส้นผ่านศูนย์กลางความแหลมคม
ของอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้น แสดงว่าพื้นที่หน้าตัด
ของเส้นผ่านศูนย์กลางความแหลมคมของอิเล็กทรอนิกส์
แปรผันตามระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์และค่าแรงดันไฟฟ้า
เบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าลักษณะสันฐาน
วิทยาพื้นผิววัสดุแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดการระเบิด
เกิดขึ้นที่บริเวณเฉพาะบางส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกันที่ส่วน
บริเวณที่เชื่อมต่อประสานกันระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ นำไปสู่
การเกิดดีสชาร์จบางส่วน (PD) เกิดขึ้นเฉพาะที่เกิดการ
กัดกร่อนโดยรอบพื้นผิววัสดุในส่วนที่เกิด PD ซึ่งผลจาก
การเกิด PD ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว
อิเล็กทรอนิกส์พื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบ มีรอยแตก และมีหลุม
ลึก ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลทำให้ค่าความเครียด
สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เกิด PD มีค่าสูงกว่าค่า
ความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต และค่าความคงทนของ
ฉนวนก๊าซ (อากาศ) เกิดแรงผลักเกิดขึ้นซ้ำหลายๆ ครั้ง
จนทำให้เกิดเบรกดาวน์เกิดขึ้น และนำไปสู่การเสื่อม
สภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความ
เสียหาย และไม่สามารถใช้งานต่อไปได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Kreuger F.H. (1964), Partial Discharge
Detection in HV Equipment. Butterworths,
London.

[2] Plueksawan W., Apiratikul P. and
Fuangsoongnern U., (2008), “Partial Discharge
Analysis for Power Distribution Transformer
Model”. 31st Electrical Engineering Conference.
pp. 299-302.

[3] Meek J.M. and Crag J.D. (1953),
Electrical Breakdown of Gases. Oxford, London.

[4] Rather H. (1964), Electron Avalanches
and Breakdown in Gases. Butterworth's,
London.

[5] IEC Standard Techniques 60060-1. (1989),
High voltage test techniques Part 1: General
Definitions and Test Requirements.

[6] IEC Standard Techniques 60052. (2002),
Voltage measurement by means of standard
air gaps.

[7] IEC Standard Techniques 60156. (1995),
Insulating Liquids Determination of the Breakdown
Voltage at Power Frequency Test Method.

[8] IEEE Standard. (1995), Standard
Techniques for High-Voltage Testing.

[9] IEC Standard Techniques 60060-2 (1994),
High voltage test techniques Part 2: Measuring
System.

[10] Vernon K.D. (2000), “Scanning electron
microscopy”. Journal of Lii-vs Review, Vol.13,
No. 4, pp. 40-44.

[11] Vasile M. and Kammlott G. (1971),
“Scanning Electron Microscopy of Contact
Surfaces Before and After Arcing”. Journal
of IEEE Transactions, Vol. 7, No. 1, pp. 16-
22.

[12] Chen G. and Zuber M. H. (2007), “Pre-breakdown Characteristics of Contaminated Power Transformer Oil”. Electrical Insulation Magazine, IEEE Publication, Vol. 21, pp. 11-19.

[13] Namhormchan T. (2011), “Field Utilization Factor of Electrode for Breakdown Voltage Test for Liquid Insulation According to IEC 60156 Standard”. The Journal of KMUTNB, Vol. 21, No. 3, pp. 543-548.