การศึกษาผลกระทบของแรงดันเบรกดาวน์ที่มีต่อรูปทรงของอิเล็กโตรดในระหว่างก๊าซออกซิเจนและอากาศ

Study of Electrode to Breakdown Voltage to Electrode Shapes Oxygen and Air

ธวัชชัย สอนสนาม และ มนตรี หุ่นดี
Tawatchai Sonsanam and Montri Hundee

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
Tawatchai.son@gmail.com, m.honndee17@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาลักษณะของสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวน์ระหว่างก๊าซออกซิเจนและอากาศ โดยใช้ชุดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2477-96 ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1 ใช้หัวอิเล็กโตรดแบบทรงกลม-แบน และตัวอย่างที่ 2 ใช้หัวอิเล็กโตรดแบบแหลม – แบน โดยใช้ก๊าซออกซิเจนและอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ ระยะห่างแกป 2,4,6 และ 8 มิลลิเมตร ในการทดสอบ แรงดันเบรกดาวน์จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างที่ 2 จะมีค่าแรงดันเบรกดาวน์ต่ำกว่าตัวอย่างที่ 1 ทุกช่วงระยะห่าง และหากเปรียบเทียบชนิดของก๊าซพบว่าทั้งตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ก๊าซออกซิเจนจะมีระดับแรงดันเบรกดาวน์สูงกว่าอากาศที่ระยะห่างเท่ากัน

คำสำคัญ : แรงดันเบรกดาวน์ อิเล็กโตรด

Abstract

This paper analyzes the electric field under O_2 and Air The chamber designed according to ASTM D 2477 standard . The experiment was separated into 2 sampling, which consists of sphere - plane and rod - plane. Gap distances in this work were 2,4,6 and 8 mm, while the gas pressure was controlled at 1 bar. The result showed thad the second sampling had the lower breakdown voltage than the first sampling. Moreover, the breakdown voltage of the O_2 was higher than that of the Air of both samplings.

Keyword: breakdown voltage, electrode

1. บทนำ

ก๊าซ ที่มีความสำคัญในด้านเทคนิคการฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ซึ่ง อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงทั่วๆไปส่วนใหญ่จะใช้อากาศเป็นฉนวน เช่น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า นอกจากนั้นยังมีการนำก๊าซเฉื่อยต่างๆมาทำเป็นฉนวนในตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น SF6 [1] ระบบที่เสถียรภาพและมีความน่าเชื่อถือสูงนั้น คือ ระบบนั้นจะต้องไม่เกิดเบรกดาวน์ในอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน [2] งานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดทำการสร้างชุดทดสอบ โดยควบคุมระยะห่างแกปด้วยควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อศึกษาสนามไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อแรงดันเบรกดาวน์ในอากาศและก๊าซออกซิเจน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะความคงทนอยู่ได้ทางไฟฟ้าของฉนวนในก๊าซต่างชนิดกัน

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติและลักษณะของฉนวนไฟฟ้า

ก๊าซที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้าแรงสูงนั้น ควรมีคุณสมบัติ คือ เป็นก๊าซเฉื่อยและไม่ควรทำปฏิกิริยาเคมีใดๆ มีจุดหลอมเหลวต่ำเพื่อสามารถใช้ที่ความดันสูงๆ [3] งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฉนวนก๊าซ ซึ่งก็คืออากาศ เพื่อทำการทดลองหาค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์อากาศเป็นฉนวนที่นิยมเป็นอย่างมากในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศ [1] ข้อดีคือไม่มีค่าใช้จ่ายของฉนวน [3] แต่ข้อเสียคืออาจมีผลกระทบจากความชื้นความร้อน และใช้ก๊าซออกซิเจนทอสอบซึ่งเป็นก๊าซที่หาง่ายในท้องตลาด และ มีราคาถูกกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ [2]

2.2 ทฤษฎีการเกิดเบรกดาวน์

การเกิดเบรกดาวน์ในก๊าซคือการเปลี่ยนสภาพการฉนวนไปสู่สภาพนำไฟฟ้าเป็นช่วงต่อระหว่างสถานะภาพที่กระแสไหลประทังตัวเองไม่ได้ไปสู่สถานะภาพที่กระแสไหลประทังตัวเองได้จะหาค่าแรงดันเบรกดาวน์โดยตรง U_b หาได้จากค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจากสมการ [1]

$$U_b = E_b . d . \eta^* \qquad (1)$$

เมื่อ

U_b ***คือ***แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์

E_b คือความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์

d คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด

η^* คือแฟคเตอร์สนามไฟฟ้า

2.3 ทฤษฎีสนามไฟฟ้า

คุณสมบัติของอำนาจรอบประจุไฟฟ้าหนึ่งที่ทำให้เกิดแรงกระทำต่อประจุที่สองเมื่อประจุที่สองนั้นอยู่ห่างจากประจุไฟฟ้าที่หนึ่ง โดยทั่วไปสนามไฟฟ้าที่ศึกษาจะถูกพิจารณาในรูปของค่าเฉลี่ยของระยะห่างหาจากสมการ[2]

$$E_{max} = E = \frac{U}{d} \qquad (2)$$

เมื่อ

E_{max} คือความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดเบรกดาวน์สูงสุด

U *คือ*แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์

d คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด

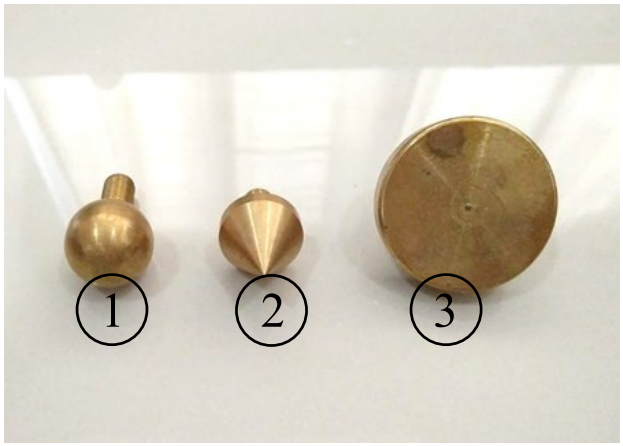
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 การออกชุดทดสอบ

ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบเพื่อทำการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 2477 [4] โดยคำนึงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และจุดต่อทางไฟฟ้าของชุดทดสอบ ต้องไม่ส่งผลต่อลักษณะการกระจายสนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรด ส่วนในการปรับระยะห่าง มีชุดควบคุมเพื่อความสะดวกและความแม่นยำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887 ดังภาพที่1

ภาพที่ 1 : ชุดทดสอบอิเล็กโตรดปรับระยะด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบชุดอิเล็กโตรดเพื่อทำการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 2477 จำนวน 3 แบบคืออิเล็กโตรดแบบปลายแหลม มีมุม 60 องศา อิเล็กโตรดแบบทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร และอิเล็กโตรดแบบแบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตรเป็นวัสดุตัวนำประเภทโลหะทองเหลือง[5] แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 : อิเล็กโตรดทดสอบทั้ง 3 แบบ
(1) : อิเล็กโตรดแบบ ทรงกลม
(2) : อิเล็กโตรดแบบ ปลายแหลม
(3) : อิเล็กโตรดแบบ แบน

3.2 โวลเตจดิไวเดอร์

ใช้ เป็นอุปกรณ์วัดแรงดันสูง ต่อร่วมกับอุปกรณ์แรงดันต่ำยี่ห้อ Phenix technology รุ่น KVM 100, อัตราส่วนแรงดัน 1 :10000 ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 : โวลเตจดิไวเดอร์

3.3 หม้อแปลง

ใช้เป็นอุปกรณ์สร้างแรงดันสูง ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับยี่ห้อ MWB โดยมีพิกัด 50 Hz 100 kVrms ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 : หม้อแปลงไฟฟ้า

3.4 ออสซิลโลสโคป

ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS340 ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 : ออสซิลโลสโคป

3.5 ก๊าซที่ใช้ทดสอบ

ก๊าซอุตสาหกรรมที่หาง่าย และมีราคาถูกคือก๊าซออกซิเจน มีขนาดถัง 5 คิว ดังภาพที่ 6 และปั๊มลมอัดอากาศ ยี่ห้อ Puma ดังภาพที่ 7

ภาพที่ 6 : ถังก๊าซออกซิเจน

ภาพที่ 7 : ปั๊มลมอัดอากาศ

3.5 ขั้นตอนการทดสอบ

3.5.1 แวคคั่มอากาศภายในชุดทดสอบให้มีความดันต่ำกว่า 1 torr

3.5.2 เติมก๊าซที่ใช้ในการทดสอบที่ความดันบรรยากาศ

3.5.3 ดูดอากาศภายในชุดทดสอบซ้ำอีกครั้งให้มีความดันต่ำ กว่า 1 torr

3.5.4 เติมก๊าซที่ใช้ในการทดสอบที่ความดัน 1 บาร์

3.5.5 ทำการป้อนแรงดันโดยการเพิ่มแรงดันจากศูนย์จนกระทั่งเกิดเบรกดาวน์ และทำการบันทึกค่าแรงดันเบรกดาวน์ 5 ครั้ง[4]

4. ผลการทดสอบ

การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์เมื่อทำการปรับระยะห่างของอิเล็กโตรดที่ระยะ 2 , 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร ตามลำดับพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ในอิเล็กโตรดแบบแหลมกับอิเล็กโตรดแบบแบน และอิเล็กโตรดแบบทรงกลมกับอิเล็กโตรดแบบแบนสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับเพิ่มระยะความกว้างของแกปในแต่ละแบบเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงดังภาพที่ 8-10 ผลลการวัดค่าแรงดันเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดแบบต่างๆ ที่ระยะห่างช่องว่างแกป 2,4,6 และ 8 mm ระหว่างก๊าซออกซิเจนและอากาศที่ความดัน 1 บาร์ แสดงได้ดังตารางที่ 1-4

กรณีที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นในอิเล็กโตรดแบบทรงกลม- แบน ค่าแรงดันเบรกดาวน์มีค่ามากที่สุดเพราะมีพื้นที่หน้าตัดกว้างและมีพื้นที่โค้งมน ส่วนอิเล็กโตรดแบบแหลม- แบนจะค่าแรงดันเบรกดาวน์น้อยที่สุด เพราะมีลักษณะทรงมีมุมแหลมทำให้สนามฟ้าไม่คงที่ให้เกิดแรงดันเบรกดาวน์ที่แรงดันน้อยกว่าแบบทรงกลม ส่วนระยะของอิเล็กโตรดทั้ง 2 แบบมีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าต่างกันยิ่งมีระยะห่างของแกปเพิ่มขึ้น การเพิ่มแรงดันเบรกดาวน์ก็จะมากขึ้นไปด้วย

กรณีที่ 2 เกี่ยวกับก๊าซ 2 ชนิดคืออากาศกับ ก๊าซออกซิเจน ผลออกมาคือก๊าซที่มีแรงดันเบรกดาวน์มากที่สุดคือก๊าซออกซิเจนเพราะมีระยะอิสระเฉลี่ยหรือ น้ำหนักโมเลกุลมากกว่าอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ช้า และจะใช้แรงดันเบรกดาวน์มาก ส่วนอากาศมีค่าแรงดันเบรกดาวน์น้อยดังภาพที่ 12-13 อีกทั้งอากาศ มีส่วนผสมหลายอย่าง เช่นก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซอาร์กอน เป็นต้น ทำให้อากาศมีความชื้น จึงให้อิเล็กตรอนนำไฟฟ้าและเกิดแรงดันเบรกดาวน์ง่ายกว่าก๊าซออกซิเจนซึ่งแสดงดัง- ภาพที่ 12-13

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้า เบรกดาวน์ ของอิเล็กโตรด แหลม - แบน กรณีอากาศ

ระยะแกป (mm)	แรงดันเบรกดาวน์ (kVrms)					
No.	1	2	3	4	5	AVG
2	3.98	3.95	4.13	4.62	4.10	4.16
4	6.88	7.08	7.36	6.45	6.97	8.34
6	9.12	9.04	9.40	8.04	7.65	8.65
8	11.1	12.0	11.4	11.7	11.7	11.6

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ ของอิเล็กโตรด แหลม – แบน กรณีก๊าซออกซิเจน

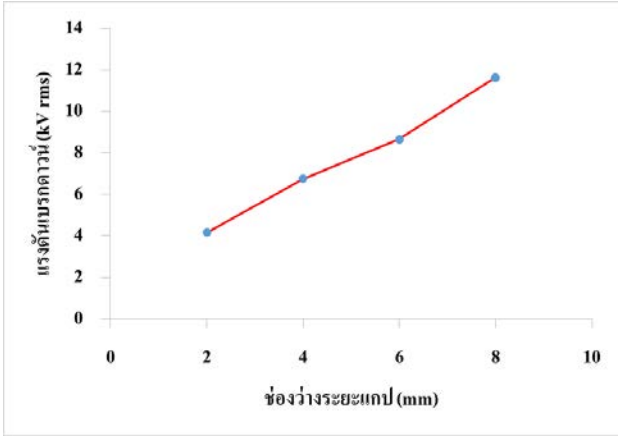
ระยะแกป (mm)	แรงดันเบรกดาวน์ (kVrms)					
No.	1	2	3	4	5	AVG
2	4.68	3.441	4.50	4.57	4.50	4.23
4	7.61	7.52	7.52	7.56	7.52	7.55
6	9.74	10.0	10.7	11.0	10.6	10.4
8	12.8	12.7	12.8	13.9	12.6	13.2

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ ของอิเล็กโตรด ทรงกลม – แบน กรณีอากาศ

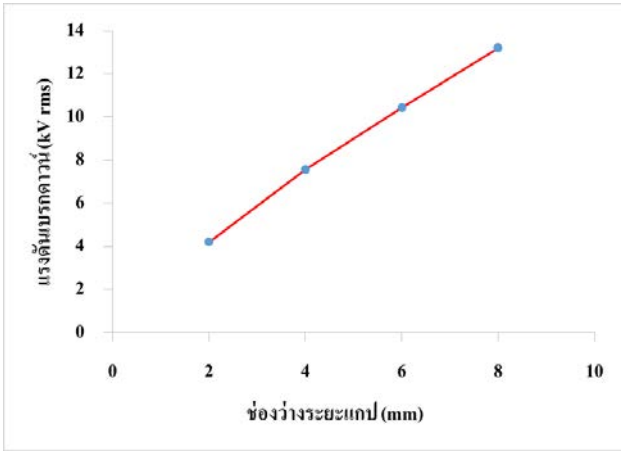
ระยะแกป (mm)	แรงดันเบรกดาวน์ (kVrms)					
No.	1	2	3	4	5	AVG
2	4.74	4.71	4.64	4.00	4.64	4.54
4	7.90	7.81	8.10	8.54	7.89	8.05
6	7.90	8.93	9.86	8.51	8.44	8.73
8	13.4	13.4	9.91	10.7	11.7	11.8

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ ของอิเล็กโตรด ทรงกลม – แบน กรณีก๊าซออกซิเจน

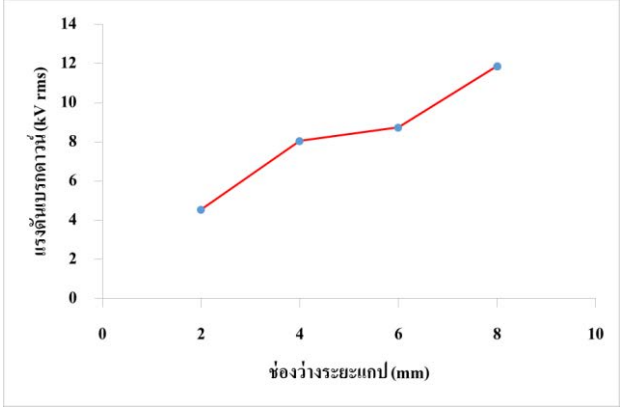
ระยะแกป (mm)	แรงดันเบรกดาวน์ (kVrms)					
No.	1	2	3	4	5	AVG
2	5.48	5.55	6.18	6.82	5.76	5.96
4	8.26	7.71	9.80	8.72	9.31	8.76
6	8.72	9.23	9.72	10.4	9.91	9.60
8	13.4	10.1	11.8	14.7	14.1	12.7



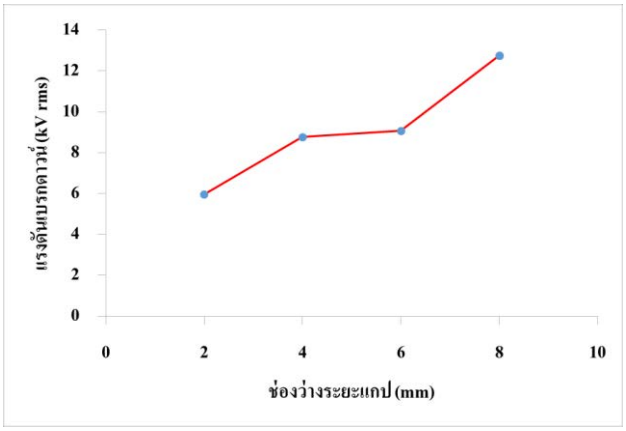
ภาพที่ 8 : ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดแหลม - แบน กรณีก๊าซอากาศ



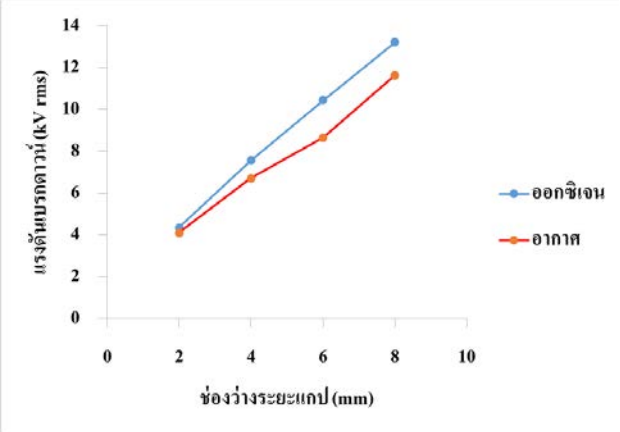
ภาพที่ 9 : ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดแบบ แหลม – แบน กรณีก๊าซออกซิเจน



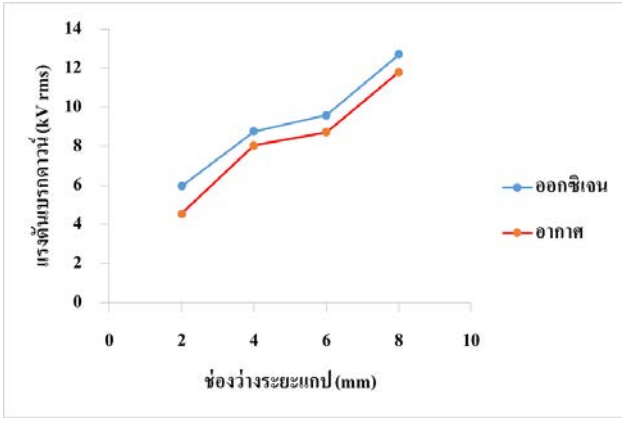
ภาพที่ 10 : ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรด แบบทรงกลม – แบน กรณีอากาศ



ภาพที่ 11 : ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของอิเล็กโตรดแบบทรงกลม - แบน กรณีก๊าซออกซิเจน



ภาพที่ 12 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงดันเบรกดาวน์ก๊าซออกซิเจน กับอากาศของอิเล็กโตรดแบบ แหลม – แบน



ภาพที่ 13 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงดันเบรกดาวน์ก๊าซออกซิเจน กับอากาศของอิเล็กโตรดแบบ ทรงกลม – แบน

5. บทสรุป

สำหรับการทดสอบเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ พบว่าก๊าซที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำ ผลของระยะแกปค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า ของก๊าซมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อก๊าซมีค่าระยะแกปมีมากขึ้น และอิเล็กโตรดที่สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะมีแรงดันเบรกดาวน์มากกว่า อิเล็กโตรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงอย่างอิเล็กโตรด แบบ แหลม-แบน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อนุเคราะห์และให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำรวย สังข์สะอาด. “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”.พิมพ์ครั้งที่ 3.คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2528.

[2] วิเชียร เบญจวัฒนาผล, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”พิมพ์รั้งที่2. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น,2539.

[3] ชำนาญ ห่อเกียรติ “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง High Voltage Engineering” : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

[4] Designation : D 2477 – 96 Standard Test Method For Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength