



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างชุดจำลองการเกิดดิซชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวนเพื่อใช้
สำหรับการเรียนรู้ในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและรายวิชาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
รวมทั้งการทำวิจัยขั้นสูง

Design and construction of partial discharge testing models of the
insulation system for studying in high voltage engineering and related
subjects as well as for advance research

รศ.ดร. นรเศรษฐ์ พัฒนเดช
นาย เพทาย นิมสนอง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวนเพื่อใช้
สำหรับการเรียนรู้ในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและรายวิชาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
รวมทั้งการทำวิจัยขั้นสูง

Design and construction of partial discharge testing models of the
insulation system for studying in high voltage engineering and related
subjects as well as for advance research

รศ.ดร. นรเศรษฐ์ พัฒนเดช
นาย เพทาย นิมสนอง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวนเพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้ในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและรายวิชาอื่นๆที่เกี่ยวข้องรวมทั้งการทำวิจัยขั้นสูง

แหล่งเงิน โครงการวิจัยงบประมาณเงินได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 100,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2558 ถึง 30 ก.ย. 2559

หัวหน้าโครงการ รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายเพทาย นิมนสอน ฝ่ายควบคุมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวนเพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้ในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง และรายวิชาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการทำวิจัยขั้นสูง โดยทำการจำลองรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน 10 ประเภท ได้แก่ 1) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศ 2) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศ 3) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง 4) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง 5) ดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ 6) ดิสชาร์จตามผิวเพอร์สโอบอร์ดในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง 7) ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ 8) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ 9) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน 10) ดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโครนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ และได้ทำการวัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนของชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการวัดดิสชาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิมตามมาตรฐาน IEC 60270 รูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนทั้งหมดที่ตรวจวัดได้ถูกรวบรวมไว้ จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ต่อการปฏิบัติงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและสามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาวิจัยขั้นสูงต่อไป

คำสำคัญ: สัญญาณดิสชาร์จบางส่วน ชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน การวัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน รูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน

Research Title: Design and construction of partial discharge testing models of the insulation system for studying in high voltage engineering and related subjects as well as for advance research

Researcher:

1) Assoc.Prof.Dr. Norasage Pattanadech

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

2) Mr. Phethai Nimsanong

Power System Operation and Control Section 2, Power System Control Department, Metropolitan Electricity Authority, Thailand

ABSTRACT

This research work presents a design and construction of partial discharge (PD) testing models of the insulation system for studying in high voltage engineering and related subjects as well as for advance research. Ten artificial partial discharge models comprised of 1) corona at high voltage side in air 2) corona at low voltage side in air 3) corona at high voltage side in mineral oil 4) corona at low voltage side in mineral oil 5) surface discharge in air 6) surface discharge in mineral oil 7) discharge in air cavity 8) discharge from floating metal object 9) discharge from floating insulation object 10) mixed partial discharge combined with corona at high voltage side and surface discharge in air were designed and constructed. Then, PD signals generated from each PD model were investigated using the conventional PD measurement technique according to IEC 60270. The detected PD patterns were classified that could be useful for high voltage engineering education and for applying in high voltage engineering field as well as for further advance research.

Keywords: partial discharge signal, artificial partial discharge model, partial discharge measurement, partial discharge pattern

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยงบประมาณเงินได้ลำดับที่ 2559 - 01 - 01021 ประจำปี งบประมาณ 2559 ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องทดสอบและเครื่องมือวัดต่างๆ ในการทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษาประจำห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายกิตติพงศ์ จริยานุรัตน์ นางสาว วิลาสินี วัฒนโกปบุลย์ และนายสุรศักดิ์ น้อยหอม สำหรับความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้

รศ.ดร. นรเศรษฐ์ พัฒนเดช

นายเพทาย นิมสนอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	8
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	8
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	9
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	9
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 ดิสชาร์จบางส่วน	11
2.2 การวิเคราะห์สนามไฟฟ้า	13
2.3 แรงแดันเบรกดาวน์ของอากาศและแรงแดันเริ่มเกิดโคโรน่า	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การออกแบบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน	21
3.1 การออกแบบชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน	22
3.2 การออกแบบและประกอบสร้างชุดทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน	27
บทที่ 4 การทดลองตรวจวัดรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	39
4.1 วงจรการทดลองการเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและวิธีการทดลอง.....	39
4.2 ผลการทดลอง	41
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม.....	50

ภาคผนวก ก การใช้ประโยชน์ผลงานวิจัยเชิงวิชาการและเชิงสาธารณะ	51
ภาคผนวก ข ใบหลักฐานการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย	55
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้วิเคราะห์สนามไฟฟ้า.....	14
ตารางที่ 3-1 ค่าสนามไฟฟ้าที่อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ของชุดจำลอง CHV-A และ CHV-O	23
ตารางที่ 3-2 ค่าสนามไฟฟ้าที่อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ของชุดจำลอง CLV-A และ CLV-O	23
ตารางที่ 3-3 ผลการคำนวณแรงดัน PDIV ชุดจำลอง CHV-A, CLV-A, CHV-O และ CLV-O	24
ตารางที่ 3-4 ค่าสนามไฟฟ้าที่ขอบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ของชุดจำลอง SF-A.....	24
ตารางที่ 3-5 ค่าสนามไฟฟ้าที่ขอบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ของชุดจำลอง SF-O	24
ตารางที่ 3-6 ค่าสนามไฟฟ้าที่ขอบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์และในโพรงอากาศของชุดจำลอง INT-A.....	25
ตารางที่ 3-7 ค่าสนามไฟฟ้าที่ทรงกลมตัวนำของชุดจำลอง FT-C	26
ตารางที่ 3-8 ค่าสนามไฟฟ้าที่ทรงกลมฉนวนของชุดจำลอง FT-I.....	26
ตารางที่ 3-9 ค่าสนามไฟฟ้าที่ขอบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ Needle 1 สำหรับ CH-V และ Needle 2 สำหรับ SF-A.....	27
ตารางที่ 4-1 รูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน.....	41
ตารางที่ 4-2 รูปแบบและคุณลักษณะเฉพาะของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน	45

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 รูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	11
ภาพที่ 2.2 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PDตามข้อกำหนด IEC 602270:2000.....	12
ภาพที่ 2.3 การแสดงผลการวัดของ PD.....	13
ภาพที่ 2.4 flow chart ขั้นตอนการหา T.....	18
ภาพที่ 3.1 แบบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน	21
ภาพที่ 3.2 ค่าแรงดันเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วน (ก) ฉนวนอากาศ (2.9kV) (ข) ฉนวนน้ำมันหม้อแปลง (25.4kV) ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 25 มม. และรัศมีที่ปลายเข็มมีค่าเท่ากับ 10 ไมโครเมตร.....	22
ภาพที่ 3.3 การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าเพื่อหาขนาดท่ออะคริลิกที่เหมาะสม	28
ภาพที่ 3.4 เปรียบเทียบขนาดท่ออะคริลิก ความเข้มสนามไฟฟ้า และปริมาณน้ำมันที่ใช้ทดสอบ.....	28
ภาพที่ 3.5 แบบท่ออะคริลิก	30
ภาพที่ 3.6 แบบฐานยึดท่ออะคริลิกด้านกราวด์	31
ภาพที่ 3.7 แบบฐานยึดท่ออะคริลิกด้านกราวด์ 3 มิติ	32
ภาพที่ 3.8 แบบอิเล็กโทรดปลายแหลม	33
ภาพที่ 3.9 แบบอิเล็กโทรดระนาบ.....	34
ภาพที่ 3.10 แบบวงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้าด้านแรงดันสูง.....	35
ภาพที่ 3.11 แบบวงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้าด้านกราวด์	36
ภาพที่ 3.12 แบบชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ออกแบบ	37
ภาพที่ 3.13 แบบชุดจำลองดิสชาร์จบางส่วนที่ออกแบบและประกอบสร้าง	38
ภาพที่ 4.1 ไดอะแกรมและวงจรการทดสอบการเกิด PD.....	39
ภาพที่ ผ.1 ชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวน	56
ภาพที่ ผ.2 ชุดทดลองสำหรับงานวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาเอก เรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงที่ผสมวัสดุนาโน โดย Ca คือชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวน ที่ได้จัดสร้างขึ้น	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในระบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนเป็นสาเหตุหลักที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และอาจก่อให้เกิดความสูญเสียต่อบุคลากรที่ปฏิบัติงานในขณะนั้น รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการจัดซ่อมและจัดซื้ออุปกรณ์ตัวใหม่มาติดตั้งแทนตัวเก่าที่ชำรุด ส่งผลให้เสถียรภาพและความเชื่อถือได้ต่อระบบไฟฟ้าลดลง และเกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคมตามมา อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจำเป็นที่จะต้องทดสอบวัดค่าการเกิดดิสชาร์จบางส่วนก่อนนำไปใช้งาน และจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจวัดการเกิดดิสชาร์จบางส่วนหลังจากการใช้งานไปช่วงระยะหนึ่งตามข้อกำหนดของแต่ละหน่วยงาน เพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบและแก้ปัญหาหาก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าวเกิดความล้มเหลวขึ้น การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงสามารถเกิดขึ้นได้หลายกรณี หลากหลายลักษณะรูปแบบ ผู้ที่ทำการทดสอบมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา วิเคราะห์ แยกแยะหาคุณลักษณะเฉพาะต่างๆของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน [1,2,3] เพื่อใช้ในการระบุว่าเป็นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนชนิดใด เพื่อที่จะได้นำไปแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง การแยกแยะคุณลักษณะและรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนนั้น จำเป็นต้องอาศัยความชำนาญจากประสบการณ์ที่ได้สั่งสมมาเป็นเวลานานรวมถึงเข้าใจคุณลักษณะการเกิดดิสชาร์จบางส่วนอย่างลึกซึ้ง ซึ่งบุคคลากรผู้ที่มีความรู้ความชำนาญดังกล่าวมีอยู่จำนวนน้อยมากในประเทศไทย

การศึกษาเรื่องการวัดและทดสอบดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงถูกกำหนดให้เป็นหัวข้อที่สำคัญของการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง รวมทั้งสำหรับรายวิชาการฉนวนในระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งในหลักสูตรระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก อย่างไรก็ตาม อุปสรรคที่สำคัญต่อการทำความเข้าใจในรายวิชาดังกล่าวคือเนื้อหาที่ซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจ ตลอดจนการขาดอุปกรณ์ทดลองเพื่อทำความเข้าใจปรากฏการณ์และรูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นได้ในระบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง งานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการออกแบบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆขึ้นมา ทำการศึกษาวัดรูปแบบของดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้น และปรับปรุงชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนให้สามารถสร้างรูปแบบของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนได้ถูกต้องสอดคล้องกับข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมจากบทความวิจัยและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในระบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง
- 2) ออกแบบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในระบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขึ้นมา 10 รูปแบบ
- 3) ทำการวัดและการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC บันทึกรูปแบบของสัญญาณ และวิเคราะห์คุณลักษณะรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
- 4) ปรับปรุงชุดจำลองดิสชาร์จบางส่วนให้สามารถสร้างรูปแบบและสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนสอดคล้องกับข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมหรือจากบทความและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ออกแบบและประกอบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจำนวนสิบรูปแบบ ได้แก่ 1) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศ 2) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศ 3) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง 4) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง 5) ดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ 6) ดิสชาร์จตามผิวเพอร์สโอร์ตในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง 7) ดิสชาร์จภายในแบบโพรงอากาศ 8) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ 9) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน 10) ดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและการดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ
- 2) ทำการทดลองหารูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่สร้างขึ้นตามมาตรฐาน IEC
- 3) วิเคราะห์คุณลักษณะรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
- 4) ปรับปรุงให้ชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน สามารถสร้างรูปแบบและสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนสอดคล้องกับข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมหรือจากบทความและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจำนวนสิบรูปแบบ เพื่อใช้ในการการศึกษาพฤติกรรมการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในระบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง สำหรับการศึกษาและทำวิจัยในระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก ของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและนักวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทดลองเพื่อหารูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานสากล IEC 60270 รูปแบบสัญญาณของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่วัดได้จะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะต้องเกิดขึ้นที่แรงดันที่เหมาะสม มีความถูกต้อง สามารถทดสอบได้จริงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนอาจจะถูกปรับปรุงอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้สามารถสร้างรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ต้องการได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

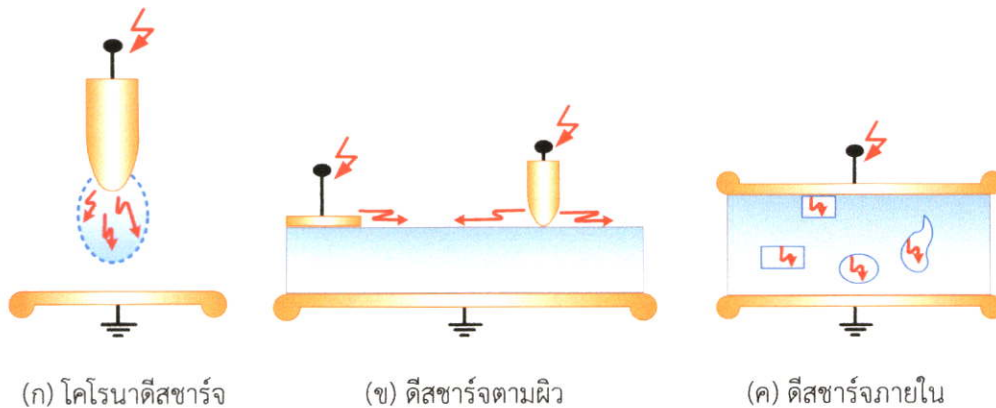
- 1) สามารถออกแบบและประกอบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจำนวนสิบรูปแบบ
- 2) เข้าใจปรากฏการณ์และรูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นได้ในระบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดิสชาร์จบางส่วน

1) รูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

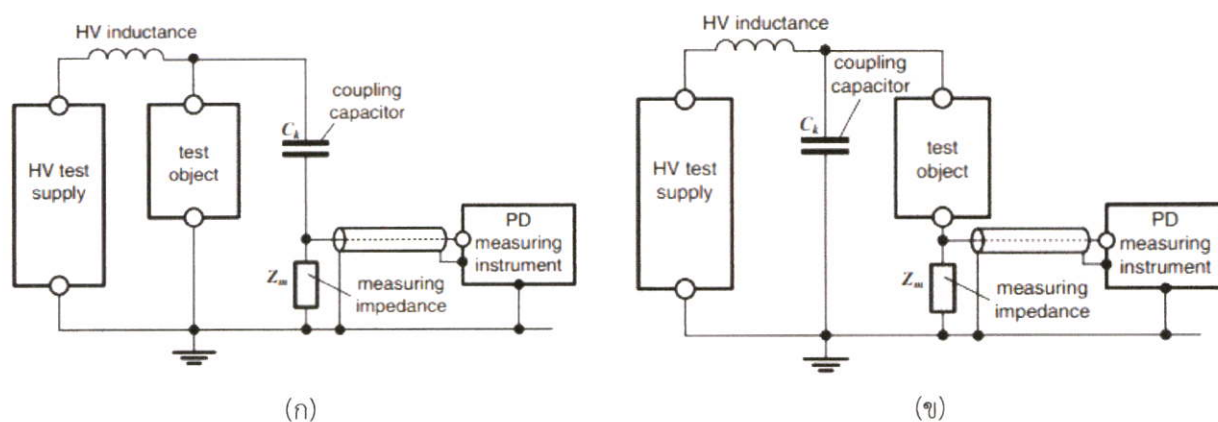
การเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge , PD) คือการเกิดการเสียหายการเป็นฉนวนเพียงบางส่วน ของระบบการฉนวน เป็นการเกิดเบรกดาวน์หรือดิสชาร์จที่ไม่ได้เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโตรด ไม่ได้เป็นการเสียหายการเป็นฉนวนสมบูรณ์ทั้งระบบ การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้า ไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ต่อเนื่องกันหรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียด สนามไฟฟ้าบางจุดสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต ดิสชาร์จบางส่วนแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ 1) โคโรนา ดิสชาร์จ 2) ดิสชาร์จตามผิวและ 3) ดิสชาร์จบางส่วนแบบภายใน [4,5] แสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 รูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

2) มาตรฐานการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

มาตรฐานสำหรับการตรวจจับ PD ตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล IEC 602270:2000[6] จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงหรือแรงดันทดสอบ (HV test supply) ตัวกรองสัญญาณ(Filter) จากแหล่งจ่ายหรืออิมพีแดนซ์ (HV inductance) วัสดุทดสอบ (Test object) ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) อุปกรณ์รับสัญญาณ (Measuring impedance) สายเคเบิลนำสัญญาณ (Connecting cable) และเครื่องมือวัด (PD Measuring instrument) ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 2.2 [7]



ภาพที่ 2.2 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PDตามข้อกำหนด IEC 602270:2000

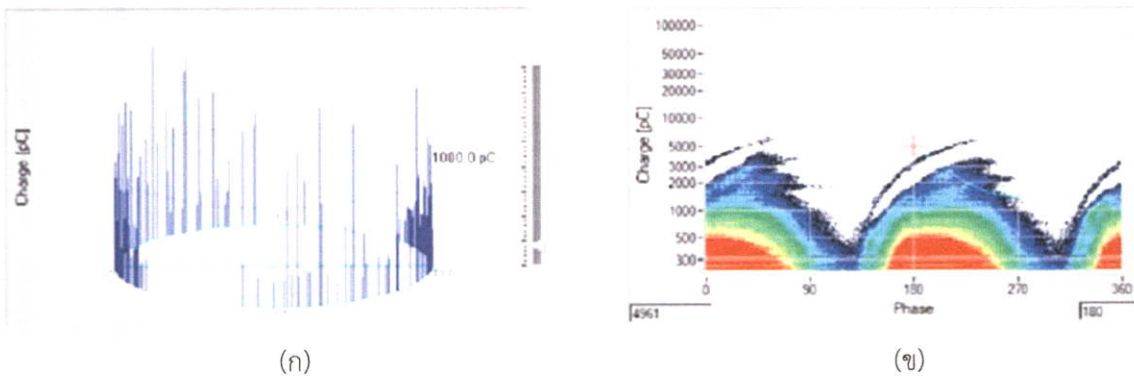
หน้าที่การทำงานและคุณสมบัติสำคัญของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทดสอบเป็นดังนี้

- 1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง (HV test supply)ใช้ในการจ่ายแรงดันให้วงจรทดสอบและมีฟังก์ชันกำลังไฟฟ้าเพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้
- 2) ตัวกรองสัญญาณหรืออิมพีแดนซ์ (HV inductance) ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย เช่น ฮาร์มอนิกส์ และ PD ที่เกิดภายในหม้อแปลงทดสอบเองที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายเป็นต้น และหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ป้องกัน PD จากวงจรทดสอบไหลย้อนลงกราวด์ผ่านทางแหล่งจ่าย ตัวกรองดังกล่าวต้องทนแรงดันทดสอบได้และปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบ
- 3) ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor; C_k) ใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อหรือคัปปลิงสัญญาณความถี่สูงให้ครบวงจรระหว่าง วัสดุทดสอบ ตัวเก็บประจุคัปปลิง และ อุปกรณ์รับสัญญาณ ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำ สำหรับการวัด PD ดังนั้นตัวเก็บประจุคัปปลิงต้องเป็นชนิดที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายในต่ำ ปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบ
- 4) อุปกรณ์รับสัญญาณ (Measuring impedance; Z_m) และเครื่องมือวัด (PD measuring instrument; MI) อุปกรณ์ทั้งสองส่วนนี้จะทำงานร่วมกันคือทำหน้าที่อินทิเกรต (Integrate) กระแสพัลส์ i_i ที่ไหลในวงจรทดสอบ เนื่องจากการเกิด PD โดยมีสายนำสัญญาณเป็นสายที่เชื่อมต่อระหว่าง Z_m กับ MI อุปกรณ์รับสัญญาณจะทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ เป็นตัวกรองกระแสความถี่ต่ำ (50 ถึง 400 เฮิรตซ์) และฮาร์มอนิกส์ต่าง ๆ จากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบมิให้เข้าไปที่เครื่องมือวัดได้ ส่วนเครื่องมือวัด MI จะทำหน้าที่สำคัญอีก 3 ประการ คือเป็นวงจรขยายสัญญาณ (Amplified) เป็นวงจรกรองสัญญาณชนิดผ่านแถบ เพื่อลดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบกับสัญญาณ รบกวนความถี่สูงที่มาจากคลื่นวิทยุ และเป็นอุปกรณ์แสดงผล PD

3) การแสดงผลดิซชาร์จบางส่วน

ผลการวัด PD สามารถแสดงผลการวัด ได้ สองรูปแบบ คือ ให้รูปพัลส์ของ PD ปรากฏบนฐานเวลารูปอิลิปส์ ดังภาพที่ 2.3(ก) หรือแสดงเป็นรูปคลื่นพัลส์ PD ปรากฏบนฐานเวลารูปคลื่นไซน์ดังภาพที่ 2.3(ข) ปัจจุบันผลการวัด PD นิยมนำเสนอในรูปแบบ PRPDA (Phase Resolving Partial Discharge Analyzer) ซึ่งเป็นการแสดงผลการวัด PD ในรูปแบบ 3 มิติ $\Phi - q - n$ เมื่อ Φ คือมุมเฟสของแรงดัน, q คือขนาดประจุ และ n คือจำนวนครั้งการเกิด PD ซ้ำ

การแสดงผลการวัด PD บนฐานเวลารูปคลื่นไซน์แบบ PRPDA มีข้อดีตรงที่สามารถสังเกตขนาดของ PD และตำแหน่งที่เกิด PD ได้ง่าย ชัดเจน ซึ่งจะช่วยในการแยกแยะ ชนิดของ PD พื้นฐานที่เกิดขึ้นได้



ภาพที่ 2.3 การแสดงผลการวัดของ PD

2.2 การวิเคราะห์สนามไฟฟ้า

การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าในกรณีที่รูปร่างของระบบอิลีกโตรดที่จะวิเคราะห์ไม่ซับซ้อนการหาผลเฉลยแม่นยำ (exact solutions) สามารถหาคำตอบได้ แต่ในงานวิจัยนี้รูปร่างของระบบอิลีกโตรดค่อนข้างซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าบริเวณปลายแหลม หรือการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าบริเวณรอยต่อฉนวน การหาผลเฉลยแม่นยำจะทำได้ยาก จึงประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยแบบประมาณด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) โดยใช้โปรแกรม COMSOL ประมาณคำตอบของปัญหาโดยวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแบบสถิต เนื่องจากขนาดทางไฟฟ้า (electrical size) หรือสัดส่วนระหว่างความยาวแบบจำลอง (L) ต่อความยาวคลื่น λ (wavelength) น้อยกว่า $1/10$ [8] โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-1)

$$\text{ขนาดทางไฟฟ้า} = \frac{L}{\lambda} = \frac{L}{(v/f)} = \frac{50 \times 10^{-3}}{(2.02 \times 10^8 / 50)} = \frac{5 \times 10^{-2}}{40.4 \times 10^5} = \frac{1}{(8.08 \times 10^7)} \ll \frac{1}{10} \quad (2-1)$$

- โดยที่ L คือ ความยาวแบบจำลองเท่ากับ 50 มิลลิเมตร (ระยะช่องว่างน้ำมันระหว่างอิเล็กโทรด)
 v คือ wave velocity ผ่านตัวกลางฉนวนน้ำมัน = $c / \sqrt{\epsilon_r} = 3 \times 10^8 / \sqrt{2.2} = 2.02 \times 10^8 \text{ m/s}$
 f คือ ความถี่เท่ากับ 50 เฮิรตซ์

โดยแก้สมการลาปลาซ (Laplace Equation) ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ที่ใช้อธิบายค่าแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบฉนวนระหว่างอิเล็กโทรด ดังสมการที่ (2-2) โดยกำหนดค่าเปอร์มิตติวิตี้ของระบบฉนวนเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น และกำหนดแรงดันที่ป้อนที่อิเล็กโทรดเป็นเงื่อนไขขอบเขต

$$\nabla(\epsilon_0 \epsilon_r \nabla V) = 0 \quad (2-2)$$

- โดยที่ ϵ_r คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ของวัสดุฉนวน
 ϵ_0 คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสุญญากาศ (F/m)
 V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้วิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้วิเคราะห์สนามไฟฟ้า

Material	ค่าเปอร์มิตติวิตี้
น้ำมันหม้อแปลง	2.2
อะคริลิก	3.2
อากาศ	1
Steel	1000
ฉนวนกระดาษที่อิมพรีกเนตด้วยน้ำมันหม้อแปลง	4.9
วัสดุเปลือกปลอม	5

กรณีค่าเปอร์เซ็นต์ดีฟสมของฉนวนกระดาศที่อิมเพิร์กเนตด้วยฉนวนเหลวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-3) [9]

$$\varepsilon_{res} = \frac{1}{\frac{V_1}{\varepsilon_1} + \frac{V_2}{\varepsilon_2} + \frac{V_3}{\varepsilon_3} + \dots + \frac{V_n}{\varepsilon_n}} \quad (2-3)$$

เมื่อ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ดีฟสมของฉนวนองค์ประกอบ 1, 2, 3, ... n
 $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$ คือ ปริมาตรสัมพันธ์ฉนวนองค์ประกอบ 1, 2, 3, ... n
 $\sum_1^n V_n = 1$ หรือ 100% เป็นปริมาตรรวมทั้งหมด

เมื่อกำหนดให้ ฉนวนกระดาศเซลลูโลส ($\varepsilon_r = 6$) มีความพรุน 13 เปอร์เซ็นต์ผสมฉนวนน้ำมันหม้อแปลง ($\varepsilon_r = 2.2$) ค่าเปอร์เซ็นต์ดีฟสมจะมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon_{res} = \frac{1}{\frac{V_1}{\varepsilon_1} + \frac{V_2}{\varepsilon_2}} = \frac{1}{\frac{0.87}{6} + \frac{0.13}{2.2}} = \frac{1}{0.145 + 0.0591} = 4.9$$

2.3 แรงดันเบรกดาวนของอากาศและแรงดันเริ่มเกิดโคโรน่า

1) เงื่อนไขการเกิดเบรกดาวนของฉนวนก๊าซ

เงื่อนไขการเกิดสตีมเมอร์และการเกิดเบรกดาวนแสดงดังสมการที่ 2-4 [9,10]

$$\int_0^{x_c} \bar{\alpha}(x) dx = K \quad (2-4)$$

โดยที่ x_c = Critical avalanche length
 $\alpha(x)$ = Effective ionization coefficient
 K = Streamer constant

2) การคำนวณแรงดันเบรกดาวนและแรงดันเริ่มเกิดโคโรน่า

จากสมการที่ 2-4 เนื่องจาก α มีค่าขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้า E และความดันก๊าซ p คือ $\alpha = f[E(x), p]$ G.Friedrich ได้ทำการวัดข้อมูลสำหรับอากาศสังเคราะห์ (20% O₂, 80% N₂) และได้ความสัมพันธ์ $f[E/p]$ ดังสมการที่ 2-5 จะได้ $(E_c/p) = 2.588kV/mm.bar$, E_c หมายถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต [5]

$$\frac{\bar{\alpha}}{p} = C \left[\frac{E}{p} - \left[\frac{E_c}{p} \right] \right]^2 - A \quad (2-5)$$

โดยที่ $C = 1.6053 \text{ mm.bar/kV}^2$

$$(E_c/p) = 2.588kV/mm.bar$$

$$A = 0.2873$$

$$p = 1.013 \text{ bar (ความดันที่สภาวะมาตรฐานที่ใช้ในตารางที่ 1 ของ IEC 52)}$$

แทนค่า $\bar{\alpha}$ จากสมการที่ 2-5 ลงในสมการที่ 2-4 โดยใช้ $K=9.15$

$$\int_0^{x_c} \left[pC \left[\frac{E(x)}{p} - \left[\frac{E_c}{p} \right] \right]^2 - pA \right] dx = K \quad (2-6)$$

จากสมการที่ 2-6 เปลี่ยนช่วงการอินทิเกรตจาก 0 ถึง X_c เป็นอินทิเกรตตลอดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด คือ จาก 0 ถึง S แต่มีเงื่อนไขในการอินทิเกรต และเปลี่ยนฟังก์ชัน $E(x)$ เป็น T คู่กับ $E(x)$ ดังสมการที่ 2-7

$$\int_0^S \left[pC \left[\frac{TE(x)}{p} - \left[\frac{E_c}{p} \right] \right]^2 - pA \right] dx = K \quad (2-7)$$

โดยที่ T คือ ค่าคงที่ที่ทำให้สมการทั้ง 2 ข้างเท่ากัน

$E(x)$ คือ เป็นฟังก์ชันการกระจายความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด

เปลี่ยนการอินทิเกรตเป็นการรวมพื้นที่ย่อยๆ ดังสมการที่ 2-8 โดยเปลี่ยนฟังก์ชัน $E(x)$ เป็น E_n ซึ่ง E_n คือค่าความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดตามจำนวนของข้อมูล (ค่า E_n ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนในโปรแกรม FEM)

$$pC \sum_{n=1}^M Bn \left[\frac{TE_n}{p} - \left[\frac{E}{p} \right]_M \right]^2 - pA \sum_{n=1}^M Bn = K \quad (2-8)$$

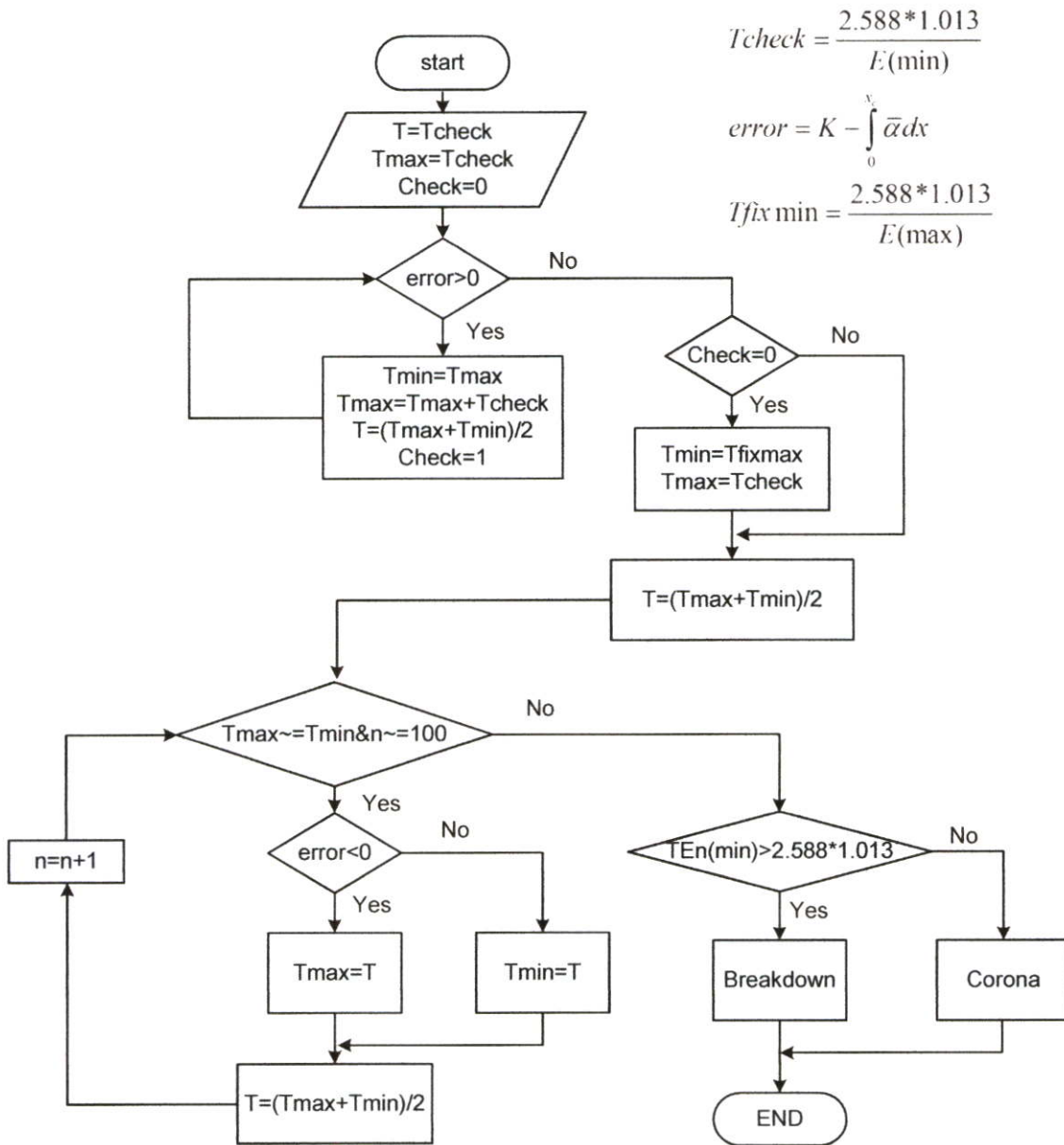
โดยที่ M คือ จำนวนข้อมูล

จากสมการที่ 2-8 หาค่า T ที่ทำให้สมการทั้ง 2 ข้างเท่ากันโดยมีเงื่อนไขของ E_n และ B_n คือ

$$E_n = \begin{cases} E_n, TE_n \geq 2.588 * 1.013 \\ 0, TE_n < 2.588 * 1.013 \end{cases}$$

$$B_n = \begin{cases} \frac{s}{M}, TE_n \geq 2.588 * 1.013 \\ 0, TE_n < 2.588 * 1.013 \end{cases}$$

เมื่อได้ค่า T นำ T คูณกับแรงดันที่ป้อน U จะได้แรงดันเริ่มเกิดโคโรน่าหรือแรงดันเบรกดาวน์ เพราะ T เป็นตัวคูณ E_n ที่ทำให้สมการเท่า K เนื่องจากแรงดันที่ป้อนกับค่าความเครียดสนามไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ดังนั้น $T * E_n$ เท่ากับการกระจายสนามไฟฟ้าเริ่มดาวน์ จะสอดคล้องกับ $T * U$ (ที่ป้อนในโปรแกรม FEM) เท่ากับแรงดันเบรกดาวน์หรือแรงดันเริ่มเกิดโคโรน่า และการหาค่า T แสดงดัง flow chart ภาพที่ 2-4



$$T_{check} = \frac{2.588 * 1.013}{E(\min)}$$

$$error = K - \int_0^y \bar{\alpha} dx$$

$$T_{fix \min} = \frac{2.588 * 1.013}{E(\max)}$$

ภาพที่ 2.4 flow chart ขั้นตอนการหา T

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการเกิดดิสชาร์จบางส่วนมักจะเริ่มจากการศึกษาพฤติกรรมการดิสชาร์จของก๊าซ โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน คือ ปลายแหลม-ระนาบ หรือ ปลายแหลม-ทรงกลม ลักษณะมิติของอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานดังกล่าว อธิบายในงานวิจัยและหนังสือที่แต่งโดย Kreuger, F. H (1964) และหนังสือที่อธิบายเกี่ยวกับการทำการทดลองทางด้านไฟฟ้าแรงสูงของ Dieter Kind (1978) รวมทั้งงานวิจัยและหนังสือที่แต่งโดย Dieter Koenig และ Y. Narayama. Rao (1993) อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบการเกิดดิสชาร์จของฉนวนเหลวตั้งรายงานของ B. Fallau (1986) และในงานวิจัยและหนังสือที่แต่งโดย R. Bartnikas (1997) เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจคุณลักษณะการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบอื่นๆอีกด้วย นักวิจัยจึงได้ออกแบบลักษณะมิติที่ซับซ้อนขึ้นของชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนเพื่อใช้สำหรับการศึกษาและการวิจัย สามารถดูได้จาก งานวิจัยของ A. Krivda และคณะ (1995), R. Eberhardt (2010) และของ J. Fabian (2012) รวมทั้งงานวิจัยของ Hui ma และคณะ (2013)

การออกแบบลักษณะมิติของอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องใช้โปรแกรมวิเคราะห์สนามไฟฟ้ามาช่วย โปรแกรมวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Comsol multiphysic การใช้โปรแกรมวิเคราะห์ดังกล่าว จะช่วยให้สามารถออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ง่ายขึ้น และช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วย ในทางทฤษฎีแล้วการคำนวณสนามไฟฟ้าของรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์แบบง่ายขึ้นสามารถที่จะหาจากผลเฉลยแม่นยำตรงของสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ ดังตัวอย่างสนามไฟฟ้าของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เข็ม -ระนาบ ดูได้จากงานวิจัยของ R. Coelho และ J. Debeau (1971) อย่างไรก็ตามด้วยมิติที่ซับซ้อนขึ้นของอิเล็กทรอนิกส์และระบบการฉนวนทำให้ การหาผลเฉลยแม่นยำตรงทำได้ยากในทางปฏิบัติตั้งรายงานของ W. Pfeiffer และคณะ (1997) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้โปรแกรมคำนวณสนามไฟฟ้ามาช่วยในการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์และช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน อิเล็กทรอนิกส์ที่จำลองขึ้นสำหรับการศึกษาวิจัยนั้นจะนำไปทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน ปกติแล้วนักวิจัยจะทำการทดลองตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 60270

การศึกษาวิจัยรวมทั้งการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนในระบบฉนวนนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาคูสมบัติและประเภทของดิสชาร์จบางส่วนจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kreuger และ Gulski (1988) ได้ศึกษาการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนในระบบฉนวนต่างๆและใช้การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบดิสชาร์จบางส่วนที่วัดได้เพื่อประโยชน์ในการแยกแยะชนิดของการเกิดดิสชาร์จ นอกจากนี้แล้ว เกรวิน วิเศษจินดาวัฒน์ และคณะ (2544) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้ 3 ประเภทคือ โคโรนาดิสชาร์จ, ดิสชาร์จภายใน และดิสชาร์จตามผิว อย่างไรก็ตามการศึกษากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมถึงรูปแบบการเกิดดิสชาร์จพื้นฐานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบการฉนวน

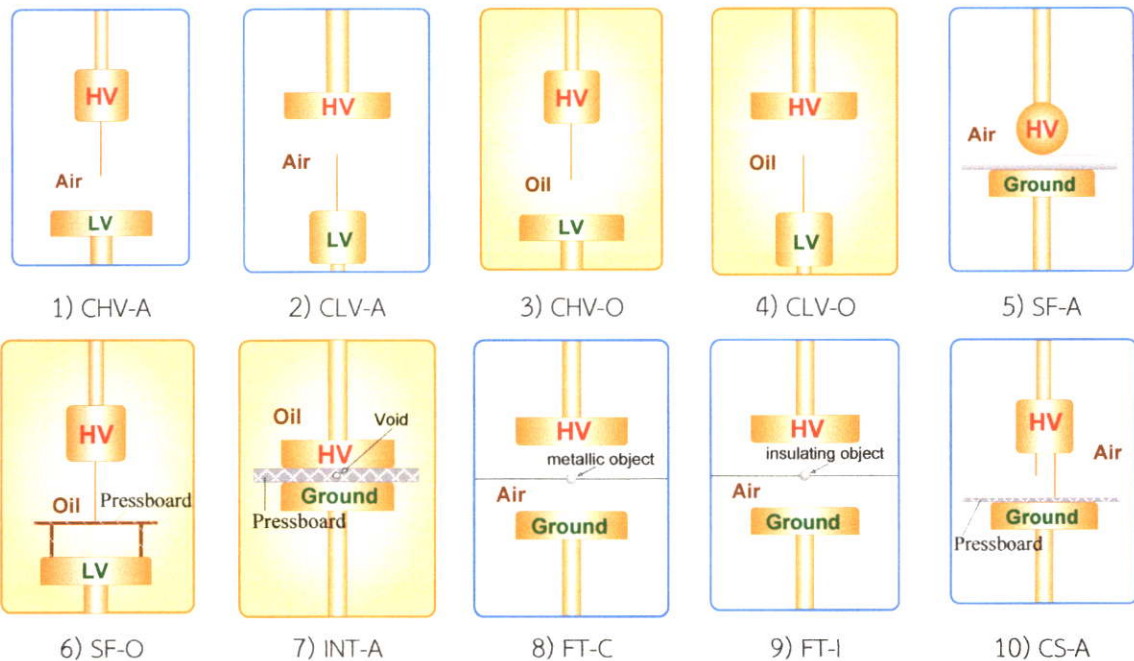
เพื่อให้การเรียนการสอนเกี่ยวกับการเกิดดิซชาร์จบางส่วนในระบบการฉนวน ซึ่งเป็นเนื้อหาที่สำคัญในรายวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง และ วิชาการวิเคราะห์เกี่ยวกับการฉนวน ทั้งระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอกนั้นเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทางผู้วิจัยจึงเห็นควรว่าควรจะมีการออกแบบและประกอบสร้างชุดจำลองพื้นฐานของการเกิดดิซชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขึ้นมาจำนวนสิบรูปแบบ เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้คุณลักษณะและรูปแบบการเกิดดิซชาร์จบางส่วนจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้แล้วโมเดลการเกิดดิซชาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้นมาสามารถนำไปใช้วิจัยระดับสูง เช่น โครงงานวิศวกรรม และ งานวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาโท และปริญญาเอก ต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

การออกแบบและประกอบสร้างชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (PD) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในงานวิจัยนี้ มีจำนวน 10 รูปแบบ ได้แก่

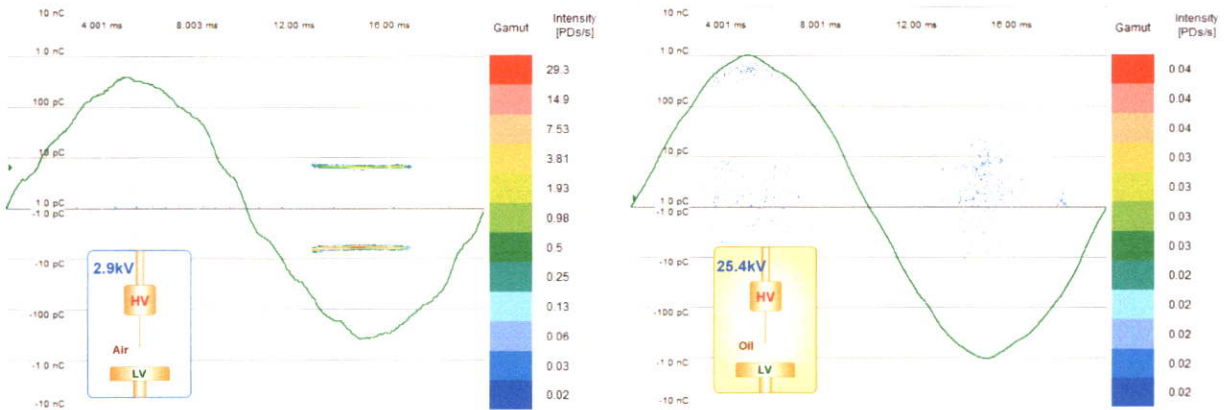
- 1) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศ (CHV-A)
- 2) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศ (CLV-A)
- 3) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง (CHV-O)
- 4) โคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง (CLV-O)
- 5) ดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ (SF-A)
- 6) ดิสชาร์จตามผิวเพรสบอร์ดในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง (SF-O)
- 7) ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ (INT-A)
- 8) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ (FT-C)
- 9) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (FT-I)
- 10) ดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิวฉนวนเพรสบอร์ดในอากาศ (CS-A)



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

3.1 การออกแบบชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ในการออกแบบชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนหรือ PD นั้น งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) วิเคราะห์รูปแบบสนามไฟฟ้าของชุดจำลองการเกิด PD และนำผลรูปแบบการกระจายสนามไฟฟ้าไปคำนวณแรงดันเริ่มเกิด PD ในฉนวนอากาศ สำหรับโมเดล CHV-A และ CLV-A โดยใช้ทฤษฎีการเกิดเบรคดาวน์ของสตรีมเมอร์และใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วน (PDIV) ของอากาศเปรียบเทียบกับน้ำมันหม้อแปลงโดยซึ่งผู้วิจัยได้ใช้อิเล็กโทรดปลายเข็ม-ระนาบทำการทดลองหาความสัมพันธ์ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ผลการทดลองดังภาพที่ 3-2 ซึ่งพบว่าค่า PDIV ของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงมีค่าสูงกว่าอากาศประมาณ 8 เท่า ค่าแรงดัน PDIV ที่ได้จากการคำนวณนำไปกำหนดขนาดมิติของชุดจำลองการเกิด PD กำหนดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดด้านแรงดันสูงและด้านแรงดันต่ำ ทั้งนี้ค่า PDIV ที่คำนวณได้ ใช้เพื่อออกแบบชุดจำลองการเกิด PD เท่านั้น ในการทดลองจริงระดับแรงดัน PDIV ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น รูปทรงอิเล็กโทรด ระยะระหว่างอิเล็กโทรด วิธีการปรับขึ้นแรงดันทดสอบ อุณหภูมิขณะทดสอบ ระดับความดันบรรยากาศ ความชื้นและสิ่งเจือปนในน้ำมันหม้อแปลง ความชื้นในกระดาศเพรสเซอร์ ความสมบูรณ์ของการเชื่อมกระดาศเพรสเซอร์ จากประสบการณ์ของผู้วิจัยในการออกแบบชุดจำลองการเกิด PD ที่ดี ควรออกแบบให้ความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณจุดบกพร่องมีค่าสูงมากๆเมื่อเปรียบเทียบกับความเครียดสนามไฟฟ้าในบริเวณอื่นๆของระบบการฉนวนที่จะนำไปทดสอบ



(ก) โครนาดีสชาร์จในอากาศ

(ข) โครนาดีสชาร์จในน้ำมันหม้อแปลง

ภาพที่ 3.2 ค่าแรงดันเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วน (ก) ฉนวนอากาศ (2.9kV) (ข) ฉนวนน้ำมันหม้อแปลง (25.4kV) ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 25 มม. และรัศมีที่ปลายเข็มมีค่าเท่ากับ 10 ไมโครเมตร

1) แบบจำลองการเกิดโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศและน้ำมันหม้อแปลง (CHV-A, CHV-O) โครโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศและน้ำมันหม้อแปลง (CLV-A, CLV-O)

ชุดจำลอง CHV-A, CLV-A, CHV-O และ CLV-O ออกแบบโดยใช้อิเล็กโทรดปลายแหลมรัศมี 10 ไมโครเมตร และอิเล็กโทรดระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร จำลอง PD ที่เกิดจากจุดบกพร่องของฉนวนบริเวณปลายแหลม ซึ่ง PD สามารถเกิดได้ทั้งทางด้านแรงดันสูงและด้านแรงดันต่ำในฉนวนอากาศและฉนวนน้ำมันหม้อแปลง แบบจำลองและผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธี FEM กรณีโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศและน้ำมันหม้อแปลง (CHV-A, CHV-O) ดังตารางที่ 3-1 และกรณีโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศและน้ำมันหม้อแปลง (CLV-A, CLV-O) ดังตารางที่ 3-2 และผลการคำนวณแรงดัน PDIV ชุดจำลอง CHV-A, CLV-A, CHV-O และ CLV-O ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-1 ค่าสนามไฟฟ้าที่อิเล็กโทรดปลายแหลมของชุดจำลอง CHV-A และ CHV-O

	needle (10um) - plane (75mm)	
	gap (mm)	Emax (kV/cm)
	CHV-A	30 mm 18.6
	CHV-O	gap (mm) Emax (kV/cm) 30 mm 18.6

ตารางที่ 3-2 ค่าสนามไฟฟ้าที่อิเล็กโทรดปลายแหลมของชุดจำลอง CLV-A และ CLV-O

	plane (75mm) - needle (10um)	
	gap (mm)	Emax (kV/cm)
	CHV-A	30 mm 15.4
	CHV-O	gap (mm) Emax (kV/cm) 30 mm 15.4

ตารางที่ 3-3 ผลการคำนวณแรงดัน PDIV ชุดจำลอง CHV-A, CLV-A, CHV-O และ CLV-O

gap (mm)	PDIV (kV)			
	CHV-A	CLV-A	CHV-O	CLV-O
30	2.52	2.92	20.16	23.36

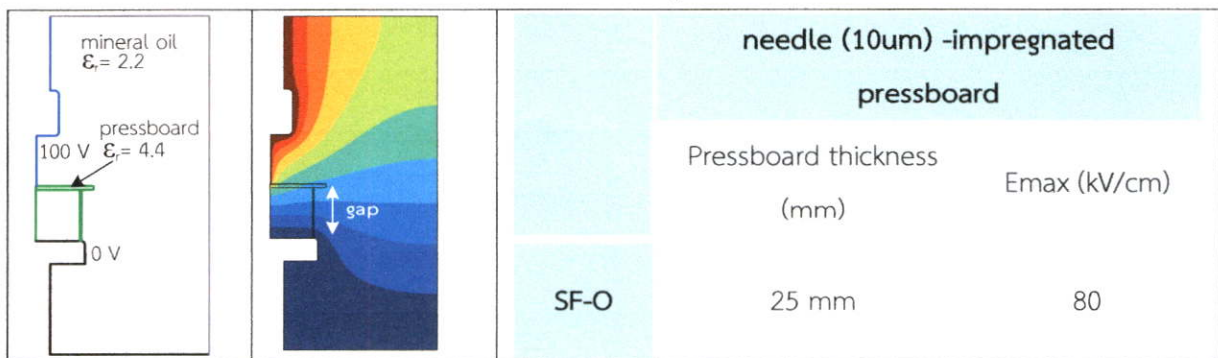
2) แบบจำลองการเกิดดิสชาร์จตามผิวฉนวนในอากาศและในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง (SF-A SF-O)

ชุดจำลอง SF-A และ SF-O ออกแบบโดยจำลองสนามไฟฟ้าตามผิวฉนวนให้มีค่าสูงที่ทำให้เกิด PD ตามผิวฉนวน อิเล็กโทรดด้านแรงดันสูงออกแบบโดยใช้อิเล็กโทรดปลายแหลมตั้งบนผิวฉนวนแข็ง เนื่องจากต้องการให้ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงบริเวณรอยปลายแหลมเพื่อให้สนามไฟฟ้าตามผิวฉนวนมีค่าสูง กรณี SF-A จำลองรูปแบบสนามไฟฟ้าเพื่อให้ง่ายขึ้นจะใช้แผ่นอะคริลิกเป็นฉนวนแข็ง (แต่ในการทดลองจริงเพื่อความสะดวกได้ใช้เพอร์สโอร์ตแทนแผ่นอะคริลิก) กรณี SF-O จำลองโดยใช้แผ่นกระดาษฉนวนเพอร์สโอร์ตชุบน้ำมันเป็นฉนวนแข็ง แบบจำลองและผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธี FEM กรณีดิสชาร์จตามผิวฉนวนในอากาศดังตารางที่ 3-4 และกรณีดิสชาร์จตามผิวฉนวนในน้ำมันหม้อแปลงดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-4 ค่าสนามไฟฟ้าที่รอบอิเล็กโทรดปลายแหลมของชุดจำลอง SF-A



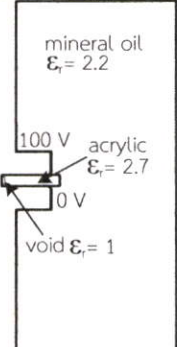

ตารางที่ 3-5 ค่าสนามไฟฟ้าที่รอบอิเล็กโทรดปลายแหลมของชุดจำลอง SF-O



3) แบบจำลองการเกิดดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ (INT-A)

ชุดจำลองดิสชาร์จภายในออกแบบโดยใช้อิเล็กโทรด ระนาบ - ระนาบ คั่นด้วยวัสดุฉนวนแข็งที่มีโพรงอากาศอยู่ในเนื้อฉนวน ชุดจำลอง INT-A จำลองโดยใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 20 มม. มีโพรงอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ภายในการทดลองจะให้ชุดอิเล็กโทรดและฉนวนแข็งวางอยู่ในน้ำมันเพื่อป้องกันดิสชาร์จตามผิวบริเวณขอบอิเล็กโทรด แบบจำลองและผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธี FEM ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ค่าสนามไฟฟ้าในโพรงอากาศของชุดจำลอง INT-A

		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">plane (75mm) - plane (75mm)</th> </tr> <tr> <th>Void dia. (mm)</th> <th>E_{max} (kV/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INT-A 5 mm</td> <td>0.27</td> </tr> </tbody> </table>	plane (75mm) - plane (75mm)		Void dia. (mm)	E _{max} (kV/cm)	INT-A 5 mm	0.27
plane (75mm) - plane (75mm)								
Void dia. (mm)	E _{max} (kV/cm)							
INT-A 5 mm	0.27							

4) แบบจำลองการเกิดดิสชาร์จเนื่องจากวัสดุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำและวัสดุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (FT-C และ FT-I)

ชุดจำลอง FT-C และ FT-I ออกแบบโดยจำลองดิสชาร์จบางส่วนจากวัสดุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำและมีคุณสมบัติเป็นฉนวน อยู่ระหว่างอิเล็กโทรดระนาบ-ระนาบ โดยใช้วัสดุลอยที่มีลักษณะมิติเป็นทรงกลมทั้งตัวนำและวัสดุฉนวน ซึ่งจะมีค่าเปอร์มิตติวิตีแตกต่างจากฉนวนหลัก ระยะห่างอิเล็กโทรดระนาบ-ระนาบ ควรมีระยะห่างมากพอที่ทำให้สนามไฟฟ้าของวัสดุลอยสูงกว่าสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดระนาบ-ระนาบ เพื่อป้องกันการเกิดเบรคดาวน์ระหว่างอิเล็กโทรดระนาบ แบบจำลองและผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธี FEM กรณีดิสชาร์จเนื่องจากวัสดุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำดังตารางที่ 3-7 และกรณีดิสชาร์จเนื่องจากวัสดุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-7 ค่าสนามไฟฟ้าที่ทรงกลมตัวนำของชุดจำลอง FT-C

<p>air $\epsilon_r = 1$ 10 mm ตัวนำทรงกลม $\epsilon_r = 10000$</p>	<p>gap</p>	plane (75mm) - plane (75mm)	
		gap (mm)	E_{max} (kV/cm)
FT-C	50 mm	3.2	

ตารางที่ 3-8 ค่าสนามไฟฟ้าที่ทรงกลมฉนวนของชุดจำลอง FT-I

<p>air $\epsilon_r = 1$ 10 mm ฉนวนทรงกลม $\epsilon_r = 5$</p>	<p>gap</p>	plane (75mm) - plane (75mm)	
		gap (mm)	E_{max} (kV/cm)
SF-O	50 mm	0.8	

5) การเกิดดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิวฉนวนเพรสบอร์ดในอากาศ (CS-A)

ชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิวฉนวนเพรสบอร์ดในอากาศ (CS-A) ใช้อิเล็กโทรดปลายเข็ม 2 เล่มที่มีความยาวไม่เท่ากัน-ระนาบ โดยที่ปลายเข็มสั้นจะสร้างโคโรนาดิสชาร์จ ส่วนปลายเข็มยาวซึ่งแตะอยู่กับผิวของเพรสบอร์ดจะสร้างดิสชาร์จตามผิว แบบจำลองและผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธี FEM กรณีดิสชาร์จเนื่องจากเกิดดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิวฉนวนเพรสบอร์ดในอากาศดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 ค่าสนามไฟฟ้าที่ขอบอิเล็กโทรดปลายแหลม Needle 1 สำหรับโคโรนาดิสชาร์จ และ Needle 2 สำหรับดิสชาร์จตามผิว

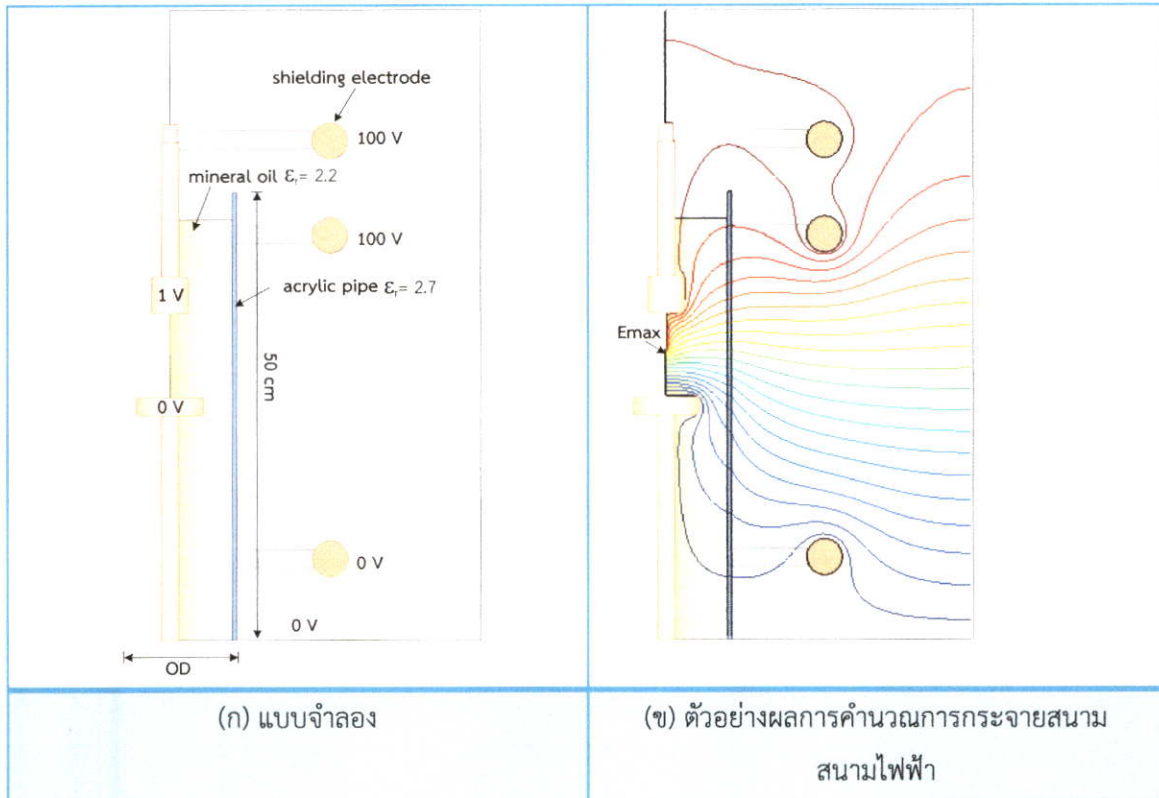
		needle (10um) -pressboard	
		gap (mm)	E _{max} (kV/cm)
Needle 1		10 mm	14.4
		gap (mm)	E _{max} (kV/cm)
Needle 2		0 mm	85.2

3.2 การออกแบบและประกอบสร้างชุดทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

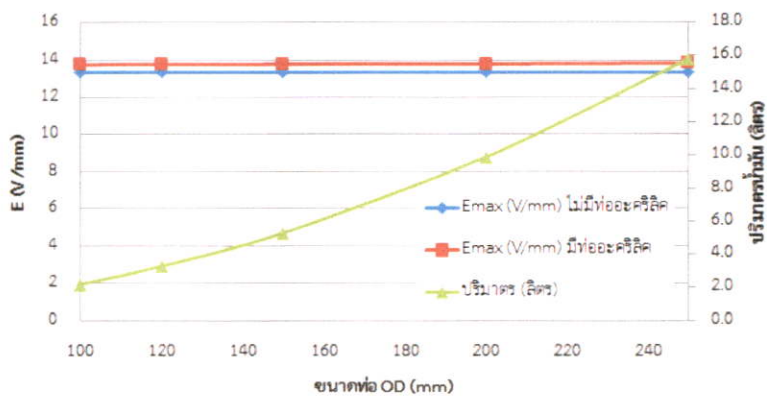
1) ท่ออะคริลิก

หลักการออกแบบชุดบรรจุน้ำมันของชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในงานวิจัยนี้คือ ออกแบบให้บรรจุของเหลวและสามารถทนต่อแรงดันทดสอบได้ โดยที่ส่วนประกอบต่างๆของชุดบรรจุของเหลวต้องไม่เกิดดิสชาร์จบางส่วนขณะทดสอบ ดังนั้นในการออกแบบชุดบรรจุของเหลวเลือกใช้เป็นท่ออะคริลิกซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง โปร่งแสง และสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้สูง มีขนาดที่เหมาะสม และสามารถถอดประกอบได้ ขนาดท่ออะคริลิกที่พิจารณาในการออกแบบมีความหนาของขอบท่อ 5 มม.เส้นผ่านศูนย์กลาง (Outer Diameter; OD) : 100, 120, 150, 180 และ 200 มม. ความสูงของชุดบรรจุของเหลวขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดและระดับแรงดันทดสอบ ออกแบบโดยคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าของชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่ออะคริลิกแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรม FEM

ดังภาพที่ 3.3(ก) ตัวอย่างผลการคำนวณการกระจายสนามไฟฟ้าดังภาพที่ 3.3(ข) และภาพที่ 3.4 เปรียบเทียบขนาดท่ออะคริลิก ความเข้มสนามไฟฟ้า และปริมาณน้ำมันที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3.3 การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าเพื่อหาขนาดท่ออะคริลิกที่เหมาะสม



ภาพที่ 3.4 เปรียบเทียบขนาดท่ออะคริลิก ความเข้มสนามไฟฟ้า และปริมาณน้ำมันที่ใช้ทดสอบ

ในงานวิจัยนี้เลือกออกแบบท่ออะคริลิกมีขนาดความหนาของท่อ 5 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง(OD) 100 มม. สูง 35 ซม. เนื่องจากใช้น้ำมันหม้อแปลงในการทดลองประมาณ 2 ลิตร โดยที่ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (Emax) ที่ปลายเข็มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ปลายเข็มกรณีไม่มีท่ออะคริลิก และสามารถประกอบยึดอิเล็กโทรดปลายแหลม-ระนาบได้สะดวก โดยที่ขนาดท่ออะคริลิกไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป รายละเอียดแบบท่ออะคริลิกดังภาพที่3.5

2) ฐานยึดท่ออะคริลิก

ฐานยึดท่ออะคริลิกออกแบบโดยใช้อลูมิเนียม โดยมีร่องยึดท่ออะคริลิกและร่องสำหรับโอริงป้องกันน้ำมันหม้อแปลงรั่วซึม ขนาดโอริงคำนวณตามสมการ (3-1) ค่าความหนาแน่นของการติดตั้งโอริงสูงสุดที่ยอมรับได้ คือ 2 เปอร์เซ็นต์ เจาะรูตรงกลางทำเกลียวสำหรับยึดอิเล็กโทรดด้านกราวด์ (ไม่ทะลุ) และเจาะรูทำเกลียวสำหรับบวาล์วระบายน้ำมันหม้อแปลง รายละเอียดแบบฐานยึดท่ออะคริลิกดังภาพที่3.6 – 3.7

$$\text{ความหนาแน่นของการติดตั้งโอริง} = \frac{OD_{\text{โอริง}} - ID_{\text{ท่ออะคริลิก}}}{OD_{\text{โอริง}}} \times 100 \quad (3-1)$$

เลือกใช้โอริงขนาด ID = 80.5 มม. W = 5.5 มม. ดังนั้น OD = 91.5 มม.

โดยที่ ID คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบในโอริง W คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโอริง OD คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนอกโอริง

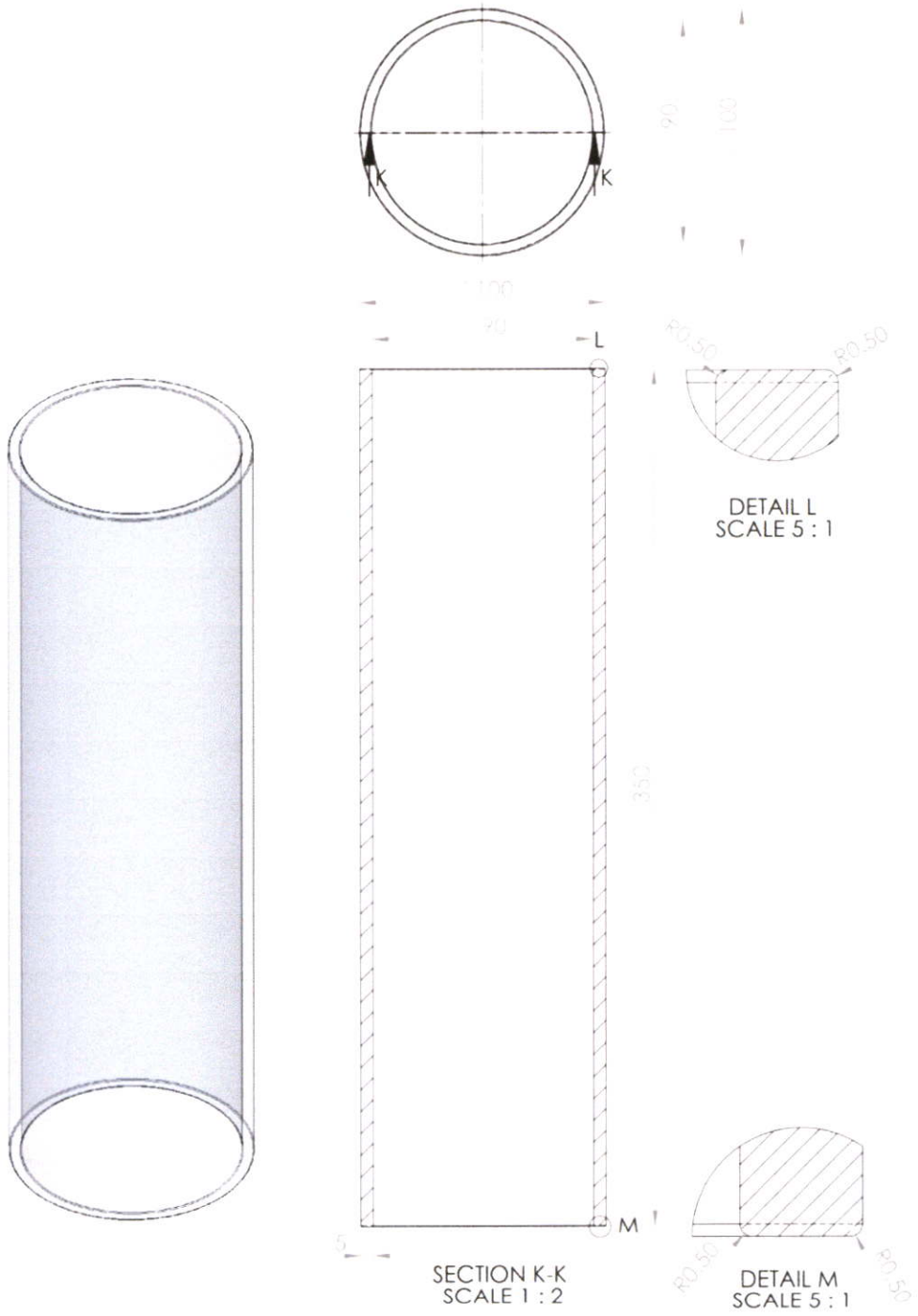
$$\text{ความหนาแน่นของการติดตั้งโอริงที่เลือกใช้} = \frac{91.5 - 90}{91.5} \times 100 = 1.63 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

3) ชุดอิเล็กโทรด

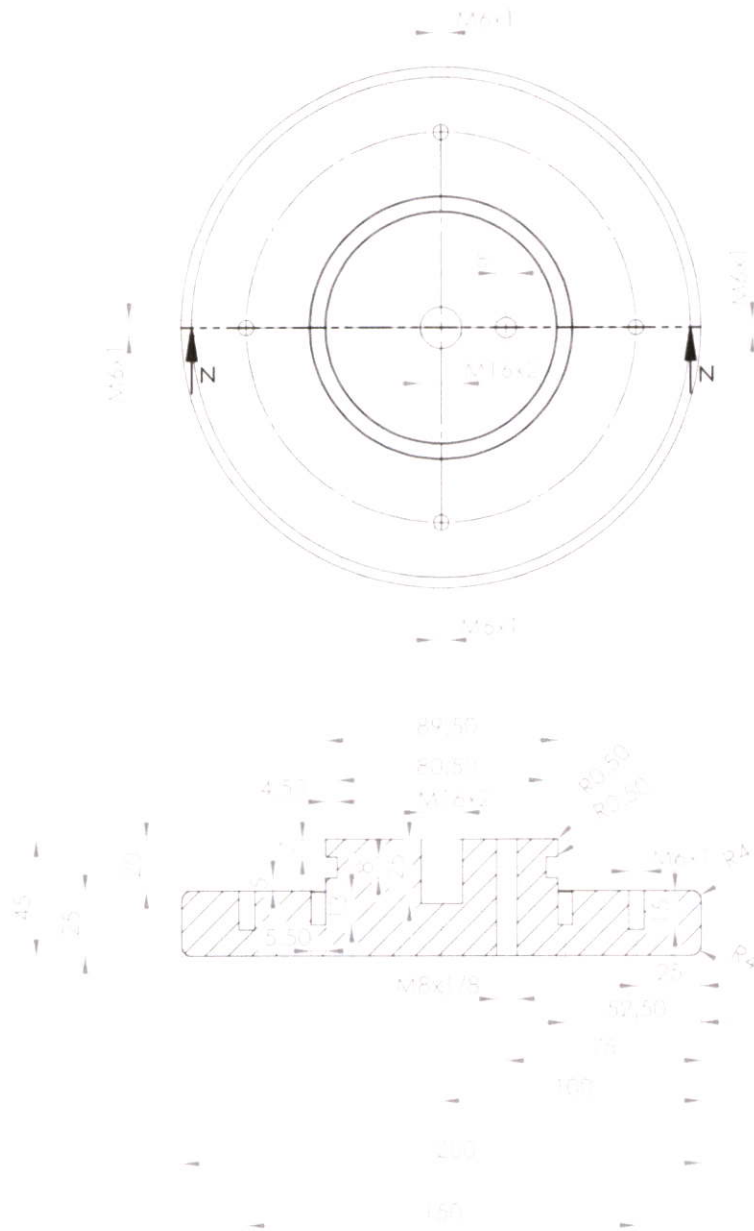
รายละเอียดแบบชุดอิเล็กโทรดปลายแหลมและอิเล็กโทรดระนาบ แสดงดังภาพที่ 3.8 – 3.9

4) วงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้า

เพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดต่ออิเล็กโทรดด้านแรงดันสูงและด้านแรงดันต่ำ จึงออกแบบให้มีวงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้าขึ้น เพื่อช่วยกระจายสนามไฟฟ้าของชุดจำลองดีสชาร์จบางส่วน รายละเอียดแบบวงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้าด้านแรงดันสูงและด้านกราวด์ดังภาพที่ 3.10 – 3.11

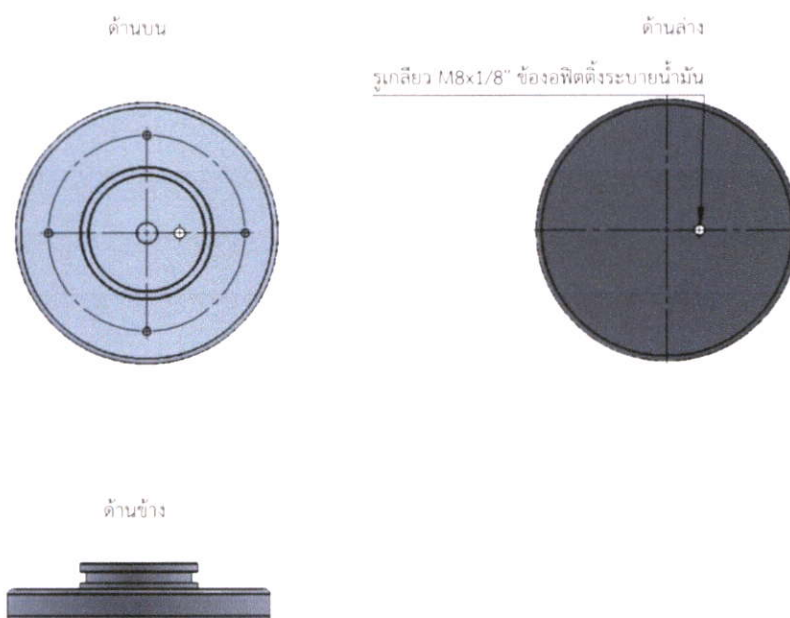
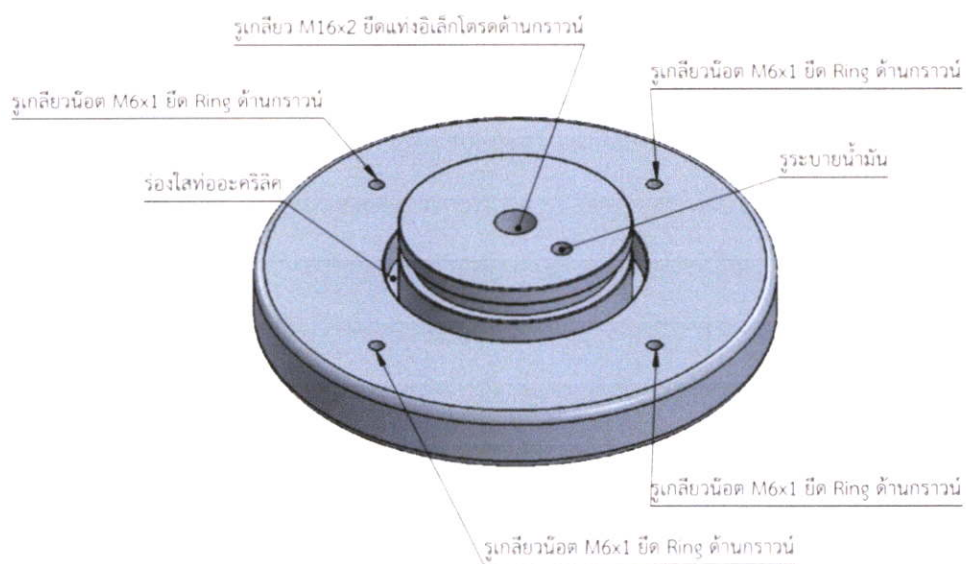


ภาพที่ 3.5 แบบท่ออะคริลิก



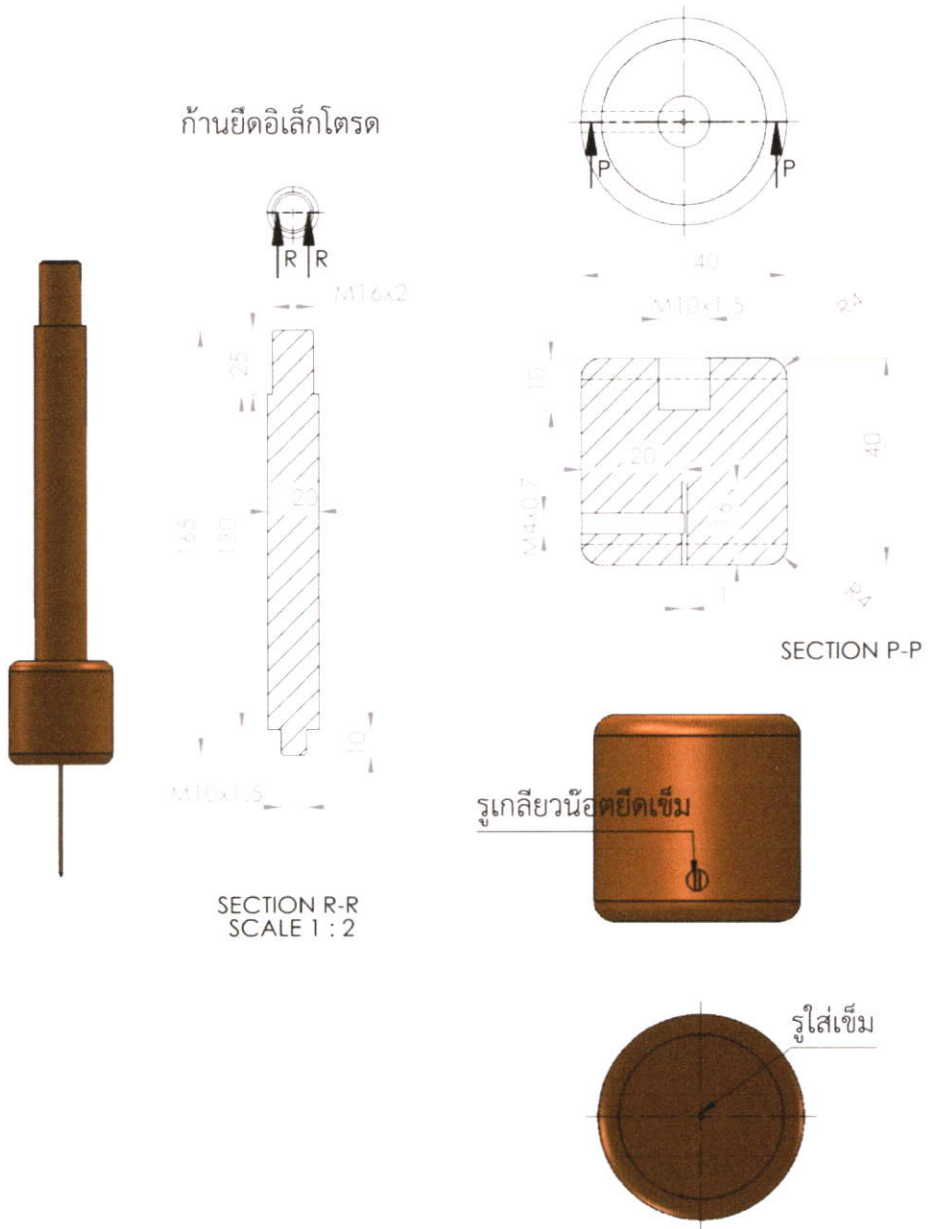
SECTION N-N
SCALE 1 : 2

ภาพที่ 3.6 แบบฐานยึดท่ออะคริลิคด้านกราวน์



ภาพที่ 3.7 แบบฐานยึดท่ออะคริลิคด้านกราวด์ 3 มิติ

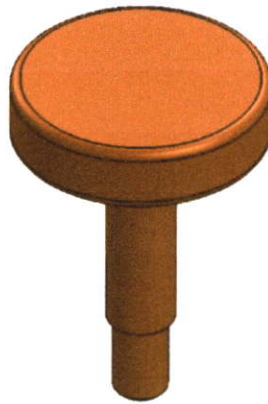
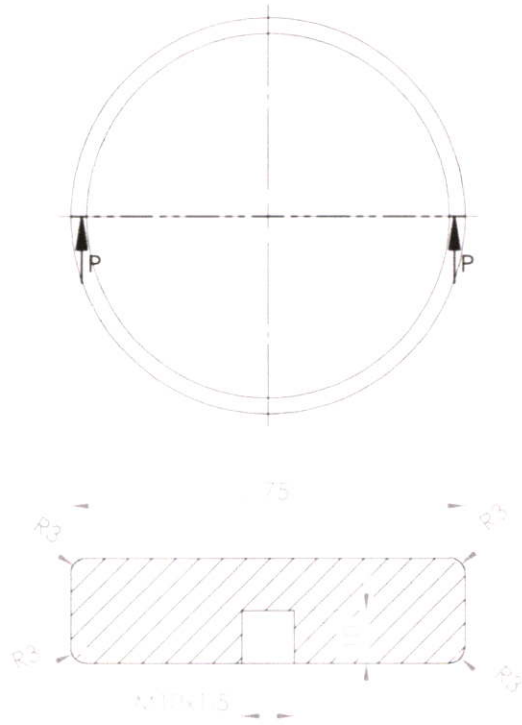
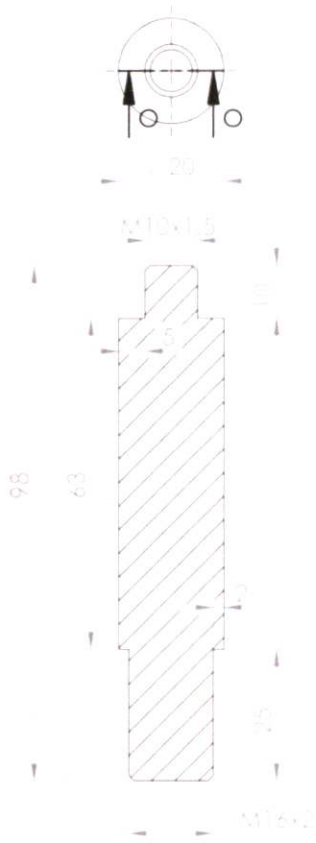
อิเล็กทรอนิกส์ยึดเข็มปลายแหลม



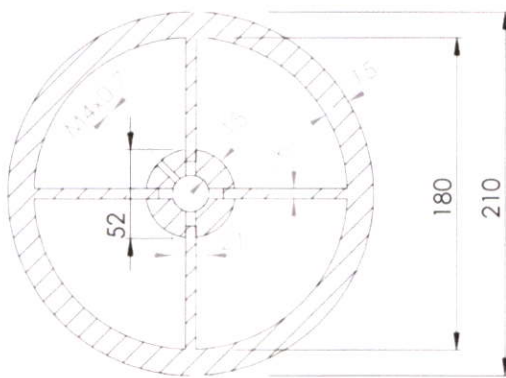
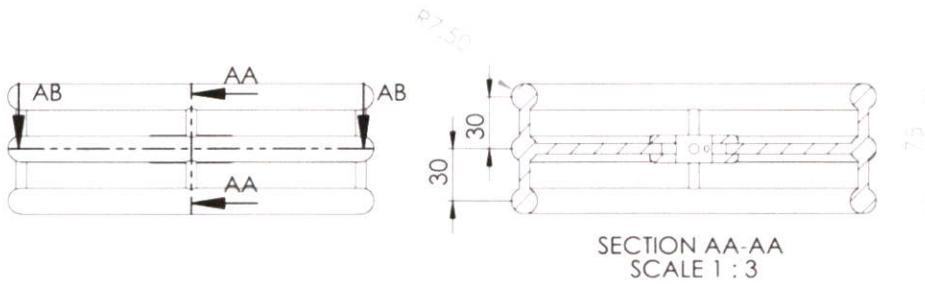
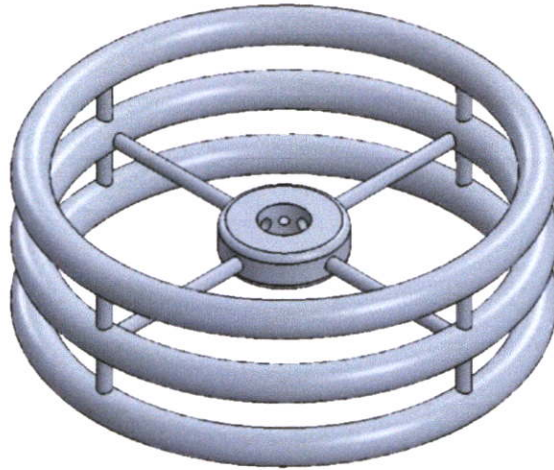
ภาพที่ 3.8 แบบอิเล็กทรอนิกส์ปลายแหลม

อิเล็กทรอนิกส์ระนาบ

ก้านยึดอิเล็กทรอนิกส์

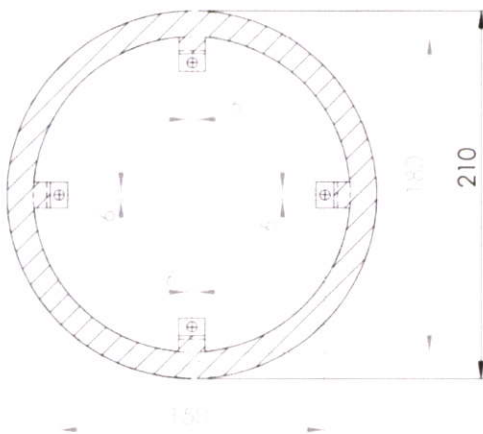
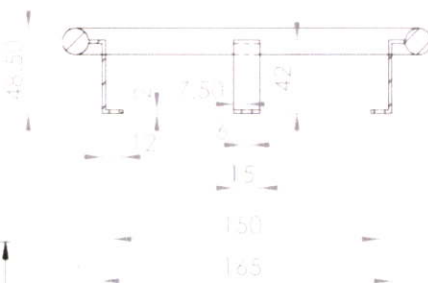
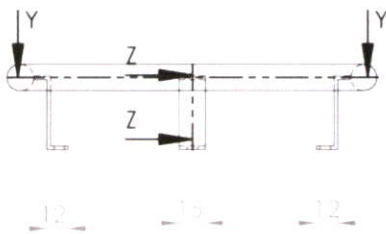
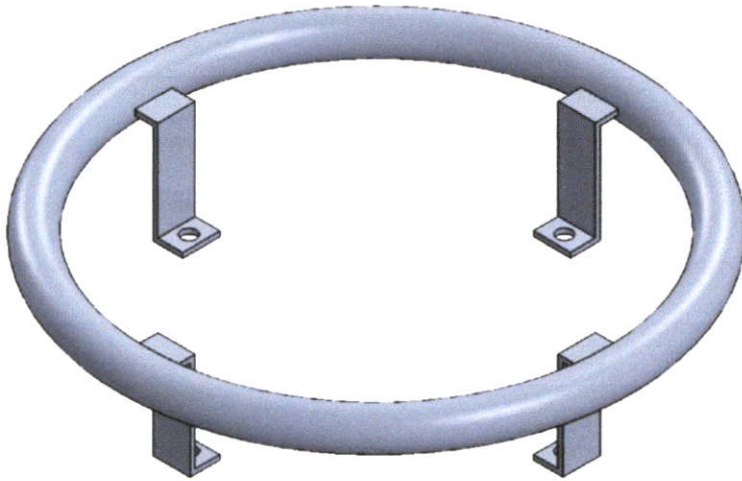


ภาพที่ 3.9 แบบอิเล็กทรอนิกส์ระนาบ



SECTION AB-AB
SCALE 1 : 3

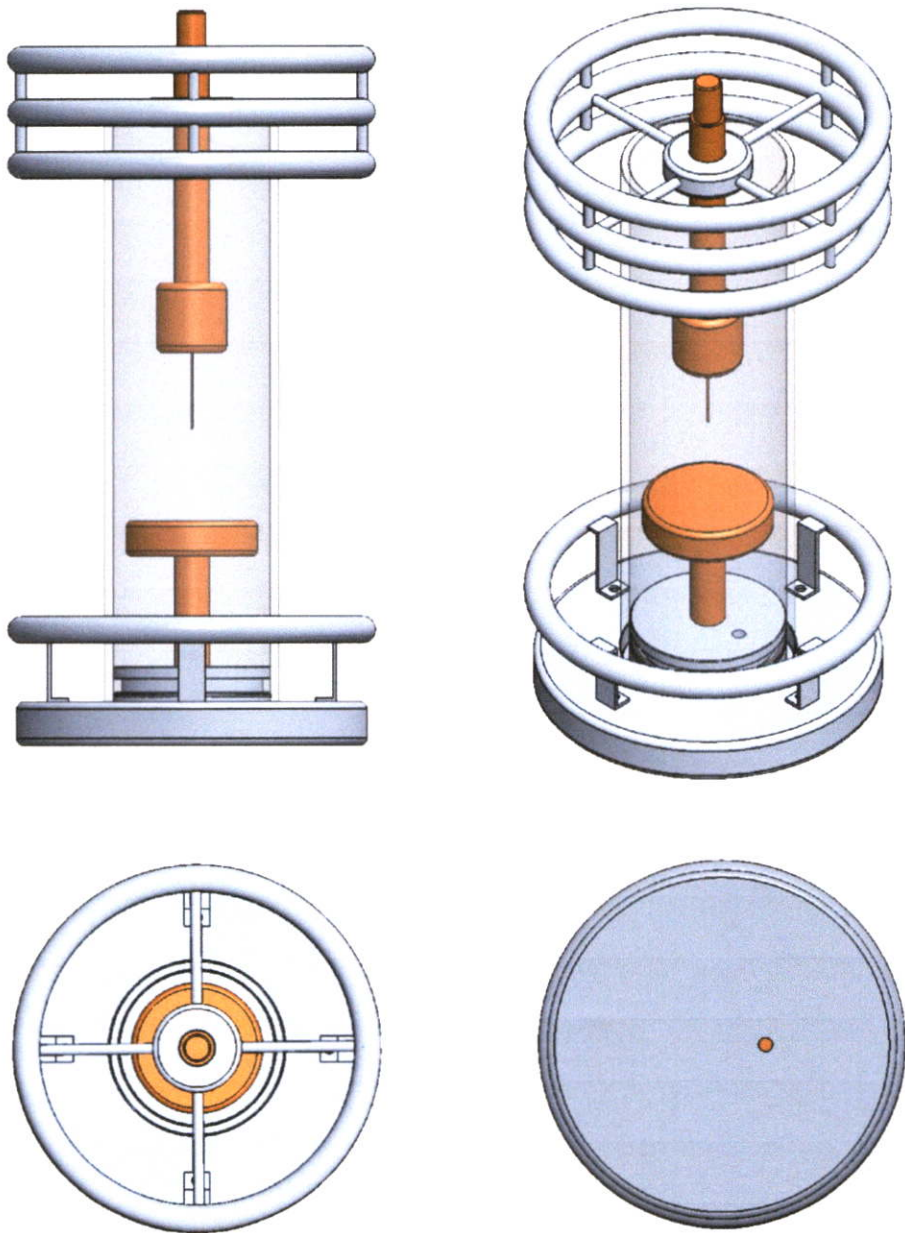
ภาพที่ 3.10 แบบวงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้าด้านแรงดันสูง



SECTION Y-Y
SCALE 1 : 3

SECTION Z-Z
SCALE 1 : 3

ภาพที่ 3.11 แบบวงแหวนลดความเครียดสนามไฟฟ้าด้านกราวด์



ภาพที่ 3.12 แบบชุดจำลองการเกิดดีสชาร์จบางส่วนที่ออกแบบ

3.3 ชุดจำลองดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ออกแบบสร้าง

ชุดจำลองดีสชาร์จบางส่วน ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ออกแบบและประกอบสร้างดังภาพที่ 3.13 ในภาพดังกล่าวจะเป็นการประกอบชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อทดสอบการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในกรณีของโคโรนาดีสชาร์จ เมื่อต้องการทดลองดีสชาร์จบางส่วนในกรณีของดีสชาร์จตามผิว ดีสชาร์จภายใน หรือดีสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอย และกรณีการเกิดดีสชาร์จแบบผสม จะทำการเปลี่ยนชุดอิเล็กทรอนิกส์และใช้เพรสบอร์ดที่อิมเพร็กเนตที่ออกแบบไว้ทดสอบต่อไป



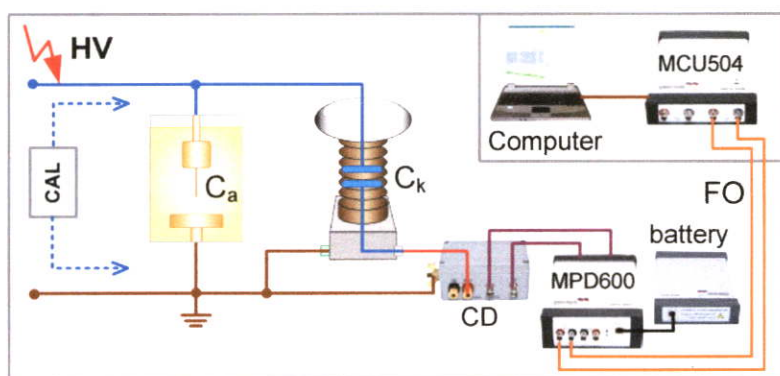
ภาพที่ 3.13 แบบชุดจำลองดีสชาร์จบางส่วนที่ออกแบบและประกอบสร้าง

บทที่ 4

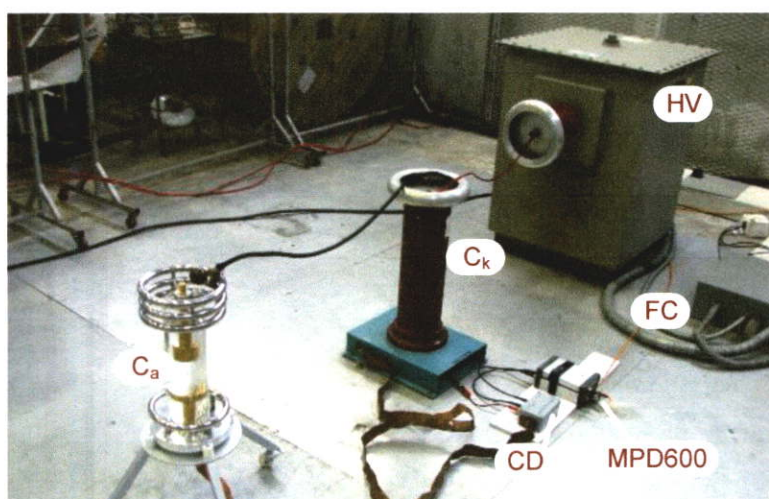
การทดลองตรวจวัดรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

4.1 วงจรการทดลองการเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและวิธีการทดลอง

ไดอะแกรมและวงจรการทดสอบการเกิด PD แสดงดังภาพที่ 4.1 ประกอบด้วย HV คือ หม้อแปลงทดสอบ, C_a คือ ชุดจำลองดิสชาร์จบางส่วน ในกรณีโคโรนาดิสชาร์จนั้น ปลายเข็มจะมีรัศมี 10 ไมโครเมตร แผ่นเพลทมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม, C_k คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว, CD คือ ตัวตรวจจับสัญญาณคาบเกี่ยว, FO คือ สายเคเบิลใยแก้วนำแสง, MPD600 คือ Acquisition unit, MCU504 คือ Fiber optic controller



(ก) ไดอะแกรมการตรวจวัด
ดิสชาร์จบางส่วน



(ข) วงจรการทดลอง

ภาพที่ 4.1 ไดอะแกรมและวงจรการทดสอบการเกิด PD

เมื่อ HV คือ หม้อแปลงทดสอบ Ck คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว CD คือ อุปกรณ์คาบเกี่ยว Ca คือ วัสดุทดสอบ
FO คือ สายเคเบิลวัดใยแก้วนำแสง MPD600 คือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณแสง
MCU504 คือ อุปกรณ์สัญญาณแสงเป็นสัญญาณดิจิทัล

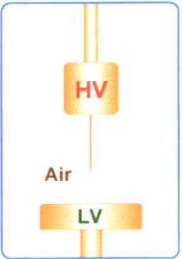
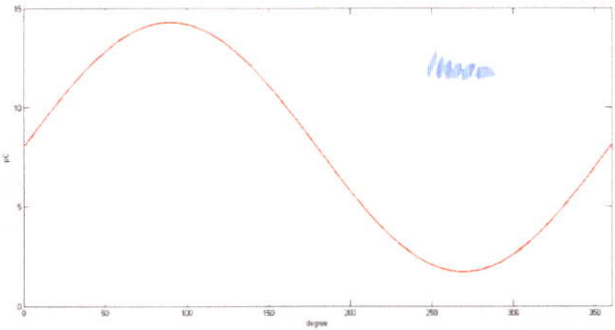
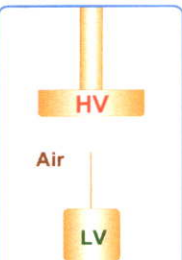
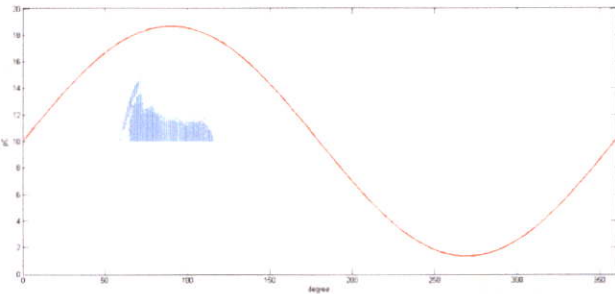
ขั้นตอนการทดลองตรวจวัดรูปแบบ PD ที่ออกแบบ

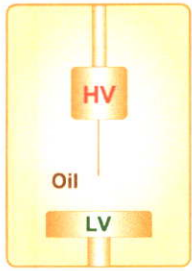
1. ต่อดังภาพที่ 4.1
2. ทำการปรับเทียบระบบวัด PD และนำชุดป้อนประจุปรับเทียบออกก่อนทำการทดลอง
3. ป้อนแรงดันให้กับชุดทดลอง โดยทำการป้อนแรงดันเป็นขั้นบันได สำหรับ ฉนวนอากาศ 1kV/step สำหรับ ฉนวนชนิดอื่นๆ 2 kV/ step จนสามารถตรวจเจอ PD
4. เพิ่มแรงดันอีก 10%ทำการบันทึกรูปแบบของ PD เป็นเวลา 1 นาที
5. ลดแรงดันทดสอบลงเป็น 0 สิ้นสุดการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

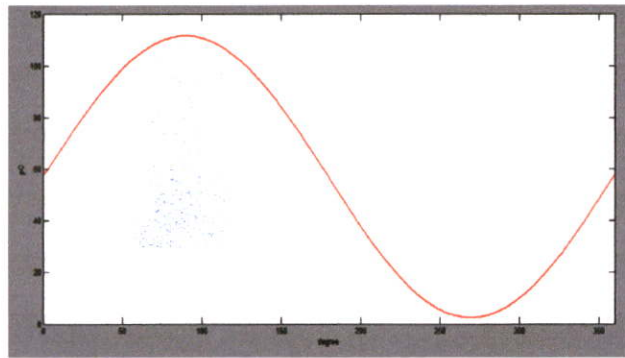
จากการทดลองตรวจวัดสัญญาณดิซาร์จบางส่วนโมเดลที่ออกแบบและประกอบสร้าง รูปแบบสัญญาณดิซาร์จบางส่วนแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 รูปแบบสัญญาณดิซาร์จบางส่วน

โมเดลจำลองดิซาร์จบางส่วน	รูปแบบสัญญาณดิซาร์จบางส่วน
 <p>1) โครนาดิซาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศ</p>	 <p>แรงดันทดสอบ 2.18 kV Q_{max} 12.57 pC (ระยะแกป 30 มม)</p>
 <p>2) โครนาดิซาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศ</p>	 <p>แรงดันทดสอบ 2.87 kV Q_{max} 14.32 pC (ระยะแกป 30 มม)</p>



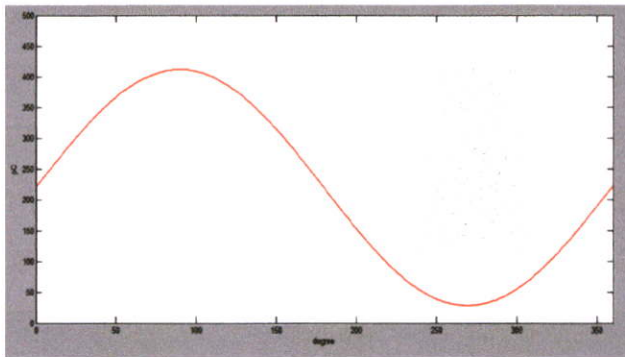
3) โครนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง



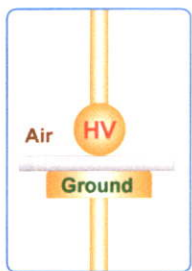
แรงดันทดสอบ 14.66 kV Q_{max} 100 pC (ระยะแก๊ป 30 มม)



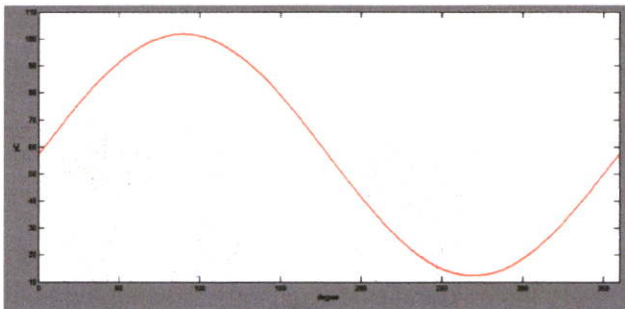
4) โครนาดีสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง



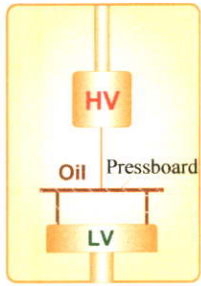
แรงดันทดสอบ 16.02 kV Q_{max} 400 pC (ระยะแก๊ป 30 มม)



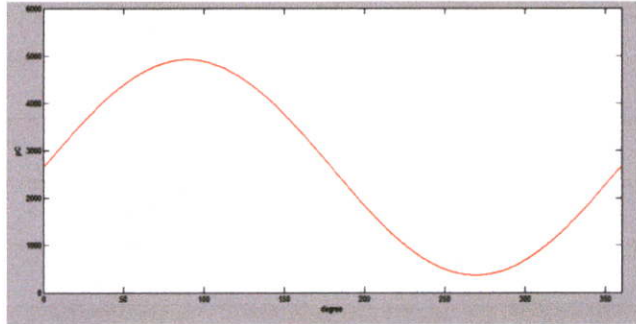
5) การดีสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ



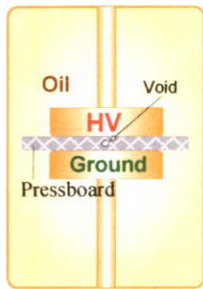
แรงดันทดสอบ 14.0 kV Q_{max} 80 pC (อิเล็กโตรดทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม เพรสอ์รตหนา 30 มม)



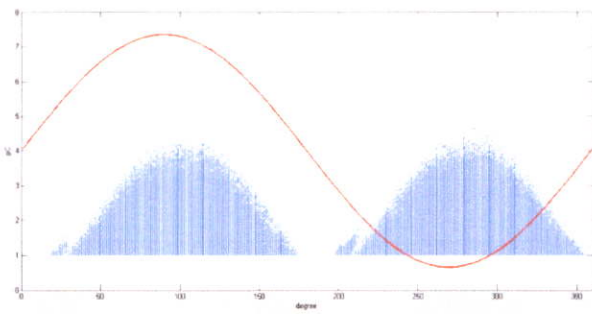
6) การเกิดดิสชาร์จตามผิวเพรสบอร์ดในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง



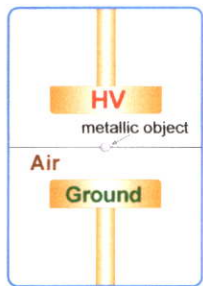
แรงดันทดสอบ 22.05 kV Q_{max} 4500 pC (เพรสบอร์ดหนา 30 มม)



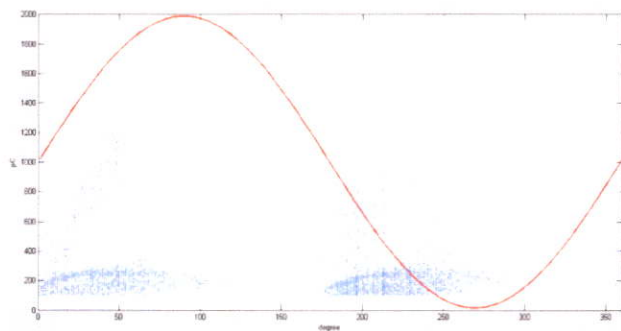
7) การเกิดดิสชาร์จภายในแบบโพรงอากาศในฉนวนเพรสบอร์ด



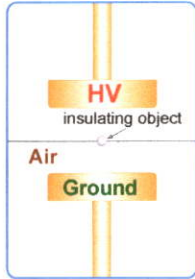
แรงดันทดสอบ 4.61 kV Q_{max} 6.32 pC (เพรสบอร์ดหนา 30 มม, โพรงอากาศมีรูปร่างทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม)



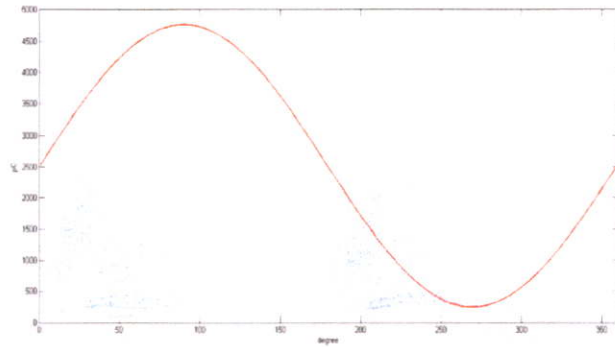
8) การเกิดดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ



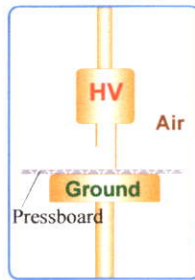
แรงดันทดสอบ 23.9 kV Q_{max} 1600 pC (ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 4 ซม และวัตถุลอยทรงกลมโลหะ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม)



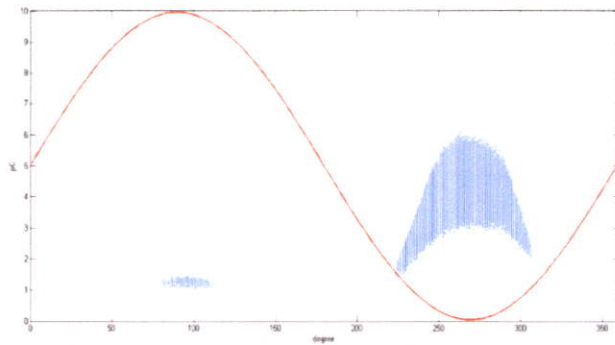
9) การเกิดดิสชาร์จเนื่องจาก
วัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็น
ฉนวน



แรงดันทดสอบ 33.61 kV Q_{max} 3600 pC (ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด
4 ซม. และวัตถุลอยทรงกลมฉนวน PE มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม)



10) การเกิดดิสชาร์จแบบผสม
ระหว่างโคโรนาดิสชาร์จด้าน
แรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิว
ฉนวนเพรสบอร์ดในอากาศ

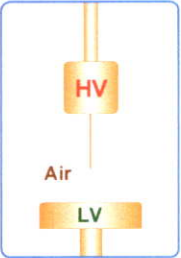
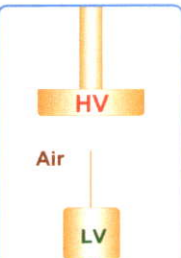


แรงดันทดสอบ 1.6 kV Q_{max} 6 pC (เข็มสั้นมีความยาว 2 มม, เข็มที่ยาวกว่า
จะมีความยาว 3 มม และ เพรสบอร์ดหนา 20 มม)

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

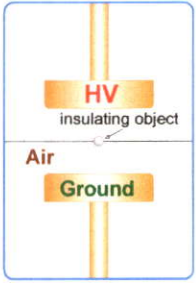
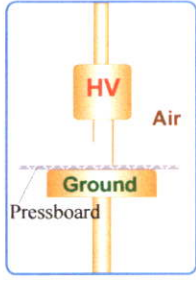
จากผลการทดลองพบว่ารูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนที่วัดได้มีความแตกต่างกันตามชนิดของแหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนดังแสดงในตารางที่ 4-2 รูปแบบสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนพื้นฐาน เช่น โคโรนา ดิสชาร์จ หรือดิสชาร์จตามผิว สอดคล้องกับข้อมูลจากบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรม เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4-2 รูปแบบและคุณลักษณะเฉพาะของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน

โมเดลจำลองดิสชาร์จ บางส่วน	คุณลักษณะเฉพาะของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน
 <p>1) โคโรนาดิสชาร์จด้าน แรงดันสูงในอากาศ</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 270 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรัศมีปลายแหลม อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : สูง รูปแบบไม่สมมาตร แรงดันเริ่มเกิด PD ต่ำกว่าโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศ</p>
 <p>2) โคโรนาดิสชาร์จด้าน แรงดันต่ำในอากาศ</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 90 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรัศมีปลายแหลม อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : สูง รูปแบบไม่สมมาตร แรงดันเริ่มเกิด PD สูงกว่าโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศ</p>

 <p>3) โครนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 90 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรัศมีปลายแหลม อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : ปานกลาง รูปแบบไม่สมมาตร แรงดันเริ่มเกิด PD ต่ำกว่าโครนาดีสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง</p>
 <p>4) โครนาดีสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 270 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรัศมีปลายแหลม อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : ปานกลาง รูปแบบไม่สมมาตร แรงดันเริ่มเกิด PD สูงกว่าโครนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง</p>
 <p>5) การดีสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 0 - 110 องศา และ 180 - 290 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรูปทรงอิเล็กโทรด อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : สูง รูปแบบสมมาตร</p>

 <p>6) การดิสชาร์จตามผิวเพรสบอร์ดในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 0 - 110 องศา และ 170 - 270 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรูปทรงอิเล็กโตรด อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : ปานกลาง รูปแบบสมมาตร</p>
 <p>7) การเกิดดิสชาร์จภายในแบบโพรงอากาศในฉนวนเพรสบอร์ด</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 30 - 160 องศา และ 210 - 330 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรูปทรงโพรงอากาศ อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : สูง รูปแบบสมมาตร</p>
 <p>8) การเกิดดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 350 - 120 องศา และ 180 - 320 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรูปทรงวัตถุตัวนำลอย อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : ปานกลาง รูปแบบสมมาตร</p>

 <p>9) การเกิดดิสชาร์จเนื่องจาก วัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็น ฉนวน</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 350 - 110 องศา และ 180 - 350 องศา ขนาดของ PD : ขึ้นอยู่กับรูปทรงวัตถุฉนวนลอยและค่าคงที่ไดอิเล็กตริก อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : ต่ำ รูปแบบสมมาตร</p>
 <p>10) การเกิดดิสชาร์จแบบ ผสมระหว่างโคโรนา ดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและ ดิสชาร์จตามผิวฉนวนเพรส บอร์ดในอากาศ</p>	<p>มุมการเกิด PD : ประมาณ 80 - 110 องศา และ 225 - 310 องศา อัตราการเกิดซ้ำที่ 110% : สูง รูปแบบไม่สมมาตร</p>

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ชุดจำลองรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน 10 ประเภท ได้แก่ 1) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในอากาศ 2) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในอากาศ 3) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงในน้ำมันหม้อแปลง 4) โครนาดิสชาร์จด้านแรงดันต่ำในน้ำมันหม้อแปลง 5) ดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ 6) ดิสชาร์จตามผิวเพรสบอร์ดในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง 7) ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ 8) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ 9) ดิสชาร์จเนื่องจากวัตถุลอยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน 10) ดิสชาร์จแบบผสมระหว่างโครนาดิสชาร์จด้านแรงดันสูงและดิสชาร์จตามผิวฉนวนแข็งในอากาศ ที่ได้จัดสร้างขึ้นมานั้น เมื่อนำไปทำการทดลองจะให้รูปแบบของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง และรายวิชาที่เกี่ยวข้อง เช่นวิชาเทคนิคการทดสอบทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง วิชาเทคนิคการฉนวนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง หรือรายวิชาอื่นๆของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา นอกจากนี้แล้ว ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โดยได้มีการนำชุดจำลองรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแสดงและสาธิตการใช้งานให้กับผู้เยี่ยมชมห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จากหน่วยงานภายนอกและภายในสถาบันเอง หน่วยงานภายนอกที่ได้มาเยี่ยมชมการทดสอบ ยกตัวอย่างเช่น เจ้าของ ผู้จัดการและ พนักงานบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม ซึ่งมีโครงการที่จะพัฒนาน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นน้ำมันของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ชุดทดสอบที่สร้างขึ้นเป็นชุดทดสอบหลักเกี่ยวกับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของน้ำมันหม้อแปลงและน้ำมันปาล์ม นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานภายนอกอื่นอีกเช่น เจ้าของและผู้จัดการโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าละมุนวิศวกรรมให้ความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ที่โรงงานหม้อแปลงเพื่อใช้ทดสอบน้ำมันหม้อแปลง เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากความรู้เรื่องการเกิดดิสชาร์จบางส่วน มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการทำวิจัยเกี่ยวกับดิสชาร์จบางส่วนให้มากยิ่งขึ้น โดยที่หัวข้อที่น่าสนใจนอกจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนเหลวและฉนวนก๊าซแล้ว การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนแข็งก็เป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งมีการใช้งานในปริมาณมากขึ้นทุกปี

บรรณานุกรม

- [1] N. Pattanadech V.Chatpattananan., P.Yutthagowith and S.Phamvuthisarn. “Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment by Hierarchical Cluster Analysis” 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October, 2006.
- [2] V.Chatpattananan, N. Pattanadech “Fuzzy C-Means Clustering for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment” 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October 16-19, 2006.
- [3] N. Pattanadech, V.Chatpattananan, P.Yutthagowith. “Classification and Regression Tree for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment” 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October 16-19, 2006.
- [4] Dr. F.H.Kreuger “Partial Discharge Detection in High – Voltage Equipment” Butterworth&Co. (Publishers) Ltd, 1989
- [5] ดร.สำรวย สัจจ์สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528
- [6] IEC Standard IEC-60270, “High Voltage Techniques Partial Discharge Measurement”, International Electrotechnical Commission 2000.
- [7] Wolfgang Hauschild, Eberhard Lemke, “High-Voltage Test and Measuring Techniques” Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014
- [8] AC/DC Module, comsol User’s Guide, VERSION 3.5
- [9] Ravindra Arora, Wolfgang Mosch, High Voltage and Electrical Insulation Engineering, 1995, Wiley Eastern Limited
- [10] E. Kuffel, W.S. Zaengl, J. Kuffel, “High Voltage Engineering Fundamentals” Second edition 2000, Butterworth-Heinemann

ภาคผนวก ก

การใช้ประโยชน์ผลงานวิจัยเชิงวิชาการและเชิงสาธารณะ



คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
**หนังสือรับรองการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์จากหน่วยงานภายนอก
 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

1. ข้าพเจ้าดร. สมภพ ผลไม้.....
 ตำแหน่ง.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....
 ชื่อหน่วยงาน.....ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า.....
 สถานที่ตั้ง.....คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 เบอร์ติดต่อ.....02 2329 8000 ต่อ 3515, 3938.....

ขอรับรองว่าได้นำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/งานวิชาการ เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดจำลอง
 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวนเพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้ในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและรายวิชา
 อื่นๆที่เกี่ยวข้องรวมทั้งการท้าววิจัยขั้นสูง

(Design and construction of partial discharge testing models of the insulation system for
 studying in high voltage engineering and related subjects as well as for advance research)

ซึ่งเป็นผลงานของ รศ.ดร.นรเศรษฐ์ พัฒนเดช.....

สังกัดสาขา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มาใช้ประโยชน์ในองค์กร/หน่วยงาน/กลุ่มของ
 ข้าพเจ้า ทางด้านต่อไปนี้ (โปรดเลือกรูปแบบการนำไปใช้ประโยชน์และสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

(✓) การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ ระบุ.....ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชา High voltage
 Engineering Testing Techniques..และ....ได้มีการนำไป อธิบาย และสอนให้กับนักศึกษาที่ทำ โครงการงาน
 วิศวกรรมทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง รวมทั้งใช้ประยุกต์เป็นชุดทดลองสำหรับงานวิจัยของนักศึกษาระดับ
 ปริญญาเอก เรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงที่ผสมวัสดุนาโน โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่
 วันที่ ...1... เดือนสิงหาคม..... พ.ศ.2559.... ถึงวันที่30... เดือนตุลาคม..... พ.ศ.
 2560....

(✓) การใช้ประโยชน์ในเชิงสาธารณะ ระบุ.....ใช้ในการเผยแพร่ความสามารถของห้องปฏิบัติการ
 ไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โดยได้มีการนำไปสาธิตให้กับผู้เยี่ยมชมห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จาก
 หน่วยงานภายนอกและภายในสถาบันเอง หน่วยงานภายนอกที่ได้มาเยี่ยมชมการทดสอบ ยกตัวอย่างเช่น เจ้าของ
 ผู้จัดการและ พนักงานบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม ซึ่งมีโครงการที่จะพัฒนาน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นน้ำมันของหม้อ

แปลงไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ชุดทดสอบที่สร้างขึ้นเป็นชุดทดสอบหลักของน้ำมันหม้อแปลง นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานภายนอกอีกเช่น เจ้าของและผู้จัดการโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าละมุนวิศวกรรม ผู้จัดการโรงงานผลิตสายไฟ เฟลส์ดอจส์ สาขาระยอง เป็นต้น

โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่1.... เดือนกันยายน..... พ.ศ. ..2559....
ถึงวันที่ ...30... เดือนตุลาคม..... พ.ศ.2560..

() การใช้ประโยชน์ในเชิงนโยบาย ระบุ

โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่ เดือน พ.ศ.
ถึงวันที่ เดือน พ.ศ.

() การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ระบุ

โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่ เดือน พ.ศ.
ถึงวันที่ เดือน พ.ศ.

ทั้งนี้ ผลจากการที่องค์กร/หน่วยงาน/กลุ่ม ได้นำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/งานวิชาการ

ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในองค์กร/หน่วยงาน/กลุ่ม พอสรุปได้คือหน่วยงานภาคเอกชน บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม ซึ่งมีโครงการที่จะพัฒนาน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นน้ำมันของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ชุดทดสอบที่สร้างขึ้นเป็นชุดทดสอบหลักของน้ำมันหม้อแปลง และบริษัทผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าละมุนวิศวกรรม มีความสนใจที่จะทำงานวิจัยร่วมกับทางห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและยินดีที่จะสนับสนุนให้ทุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาที่ทำโครงการวิจัยด้านน้ำมันหม้อแปลง เป็นต้น

ข้าพเจ้าขอลงนามในหนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อเป็นหลักฐานการนำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ มาใช้ประโยชน์ดังกล่าว

ลงลายมือชื่อ

(.....ดร. สมภพ ผลไม้.....)

ตำแหน่งหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....

วันที่/...../.....



บริษัท สุขสมบุญ น้ำมันปาล์ม จำกัด
SUKSOMBOON PALM OIL CO.,LTD.

บริษัท สุขสมบุญน้ำมันปาล์ม จำกัด

97 หมู่ 4 ตำบลวังสูง อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี

30 กันยายน 2559

เรียน รศ.ดร. นงนุชจรูญ พิพัฒน์เดช

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

เนื่อง ขาดข้อมูลใบความผิดปกติที่เขียนมา

ตามที่หม่อมราชวงศ์ บริษัท สุขสมบุญน้ำมันปาล์ม จำกัด ได้เข้ายื่นขอขมข้อฎีกาวิธีการ ไฟฟ้ากำลัง
สูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. เมื่อวันที่ 2 กันยายน 2559 ในกรณีศึกษา
คุณสมบัติ Partial Discharge ของน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้งานเป็นน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง และได้รับความ
อนุเคราะห์เป็นอย่างไร ในการอธิบายและมีข้อเสนอของท่านและนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ของ บริษัทขอ
แสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ด้วยความนับถือ

(นายสุภรภัฏ จินตนาเสิศ)

กรรมการผู้จัดการ

ภาคผนวก ข

ใบหลักฐานการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย



คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

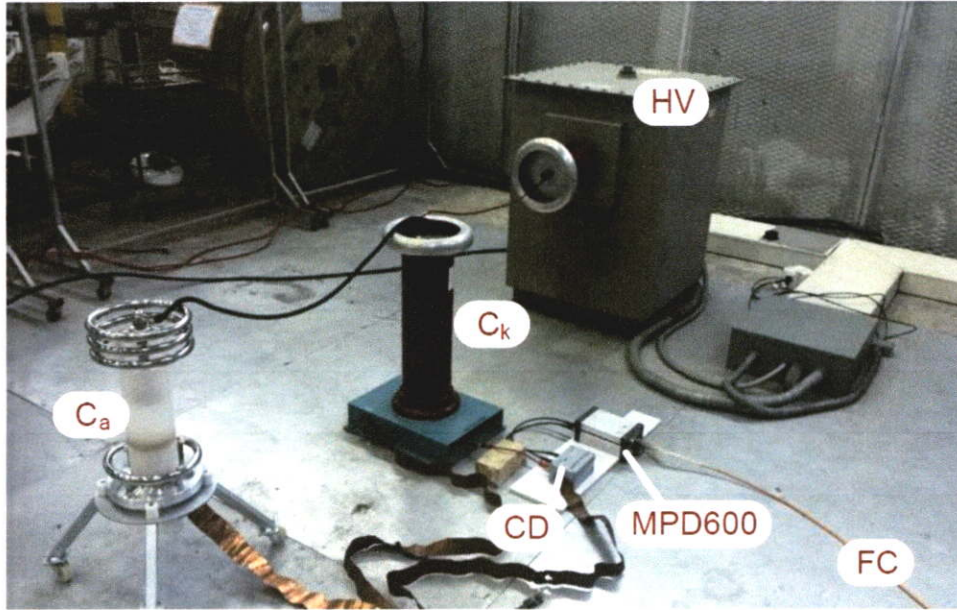
ใบแนบหลักฐานการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์จากหน่วยงานภายนอก ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หลักฐานที่แนบมาพร้อมนี้ เพื่อเป็นการยืนยันการนำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ไปใช้ประโยชน์
(สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () ภาพถ่ายกิจกรรม/โครงการ/ผลงานที่ได้พัฒนาจากผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์
- () เอกสารที่แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ไปปรับปรุงหรือพัฒนา
- () ผลงาน ผลิตภัณฑ์ หรือรางวัลที่เกิดขึ้น อันมีผลจากการใช้ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์
ไปปรับปรุงหรือพัฒนา
- () ผลประกอบการขององค์กร/หน่วยงาน/กลุ่ม ด้านบัญชี หรือรายได้ที่แสดงให้เห็นว่าเพิ่มขึ้นจากการได้พัฒนาจากผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์
- () ผลงานหรือหลักฐานอื่น ๆ



ภาพที่ ผ.1 ชุดจำลองการเกิดดิซซาร์จบางส่วนของระบบการฉนวน



ภาพที่ ๘.๒ ชุดทดลองสำหรับงานวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาเอก เรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงที่ผสมวัสดุนาโน โดย Ca คือชุดจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของระบบการฉนวน ที่ได้จัดสร้างขึ้น

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว(หัวหน้าโครงการวิจัย)

ชื่อ-สกุล นายนรเศรษฐ์ พัฒนเดช

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 21 เมษายน 2518 อายุ.. 41 ปี

สถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2541
วศ.ม.	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2545
Dr. techn.	Engineering Sciences Electrical Engineering	Graz University of Technology, Austria	2556

ประสบการณ์งานวิจัย

- 2551-2552 หัวหน้าโครงการวิจัย “การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์วัดแรงดันสูง กระแสสลับพิกัด 50 kV โดยรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สาย” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2551-2552 หัวหน้าโครงการวิจัย “การออกแบบและวิเคราะห์ตัวนำล่อฟ้า” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2551-2552 หัวหน้าโครงการวิจัย “กรณีศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการเกิด Overshoot ของแรงดันสูงอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงของบริษัท PRECISE Electric MFG.co” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2551-2552 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย “เครื่องกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าวด้วยสนามไฟฟ้า” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2551 หัวหน้าโครงการวิจัย การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันและกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น ผสม 6kV 3 kA คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- 2551 หัวหน้าโครงการวิจัย เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220v คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2550-2551 หัวหน้าโครงการวิจัย“ การศึกษาและออกแบบตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวและอุปกรณ์รับสัญญาณ เพื่อใช้ในการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2550-2551 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย“การออกแบบสร้างเคเบิลสเปซเซอร์สำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2550-2551 หัวหน้าโครงการวิจัย“การศึกษาการวัดดีสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ UHF”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2550-2551 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย“การออกแบบสร้างอุปกรณ์วัดแรงดันสูงแบบผสม พิกัด 300kV”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2550-2551 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย“การทดสอบและออกแบบตรอปเอ้าท์พิวส์”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2550 หัวหน้าโครงการวิจัย อุปกรณ์วัดกระแสอิมพัลส์ชนิดความต้านทานทรงกระบอกซ้อนกันร่วม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2550 หัวหน้าโครงการวิจัยอุปกรณ์วัดกระแสอิมพัลส์โดยขดลวดโรกอฟสกี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2549-2550 หัวหน้าโครงการวิจัย“การศึกษาการออกแบบลูกถ้วยฉนวนที่ใช้กับสภาวะเปรอะเปื้อน”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2549-2550 หัวหน้าโครงการวิจัย“การออกแบบสร้างหม้อแปลงทดสอบ 200kV 10 kVA และชุดควบคุม”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2549-2550 หัวหน้าโครงการวิจัย“การศึกษาและออกแบบกับดักฟ้าผ่า”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2549-2550 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย“การศึกษาและพัฒนา connector สำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IRPUS
- 2548 นักวิจัยระยะสั้น โครงการวิจัย “Combine Electrical Power Source” Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Tokai University, ประเทศญี่ปุ่น
- 2542-2544 ผู้ช่วยนักวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานตีพิมพ์ที่ผ่านมา

National Papers (in Thai)

- [1] N. Pattanadech and S. Sangkasaad, **Electrical Characteristics of Polluted Semiconducting glazed Insulator**, 23rd Electrical Engineering Conference (EECON-23), 23-24 November, 2000, Chaing Mai University.
- [2] N. Pattanadech and S. Sangkasaad, **Alternating Shed Long rod Insulator for 33 kV System Voltage**, 24th Electrical Engineering Conference (EECON-24), 23-24 November, 2001, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [3] N. Pattanadech, **Leakage Current Measurement by Current Transformer**, 26th Electrical Engineering Conference (EECON-26), 6-7 November, 2003, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, pp. 489-494.
- [4] N. Pattanadech, **Humidity Effect on Electrical Breakdown of Suspension String Insulator**, 26th Electrical Engineering Conference (EECON-26), 6-7 November, 2003, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, pp. 500-504.
- [5] P. Keaddonfag, U. Samanmitr and N. Pattanadech, **Development of DC High Voltage Source with Changeable Polarities of for Laboratory**, 26th Electrical Engineering Conference (EECON-26), 6-7 November, 2003, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, pp. 402-405.
- [6] P. Yutthagowith and N. Pattanadech, **The Effect of Water Resistivity on Wet Flashover Voltage of Cable Spacer**, 27th Electrical Engineering Conference (EECON-27), 11-12 November, 2004, Khonkean University, pp 37-40.
- [7] N. Pattanadech, **Data Logger for Leakage Current Measurement of An Insulator**, 27th Electrical Engineering Conference (EECON-27), 11-12 November 2004, Khonkean University, pp. 45-48.
- [8] P. Yutthagowith and N. Pattanadech, **Design and Construction of A Impulse Voltage Generator for Triggering at Any Phase Angle of 50 Hz AC Reference Voltage**, 27th Electrical Engineering Conference (EECON-27), 11-12 November, 2004, Khonkean University, pp. 61-64.

- [9] AmornchaiKarn, SiriwatPotivejkul,NorasagePattanadech and PearawutYutthagowith, **Behavior Comparison of Corona Inception and Flashover Voltage of AC and DC Insulator**, 28th Electrical Engineering Conference (EECON-27), 20-21 October, 2005, Thammasat University, pp. 429-432.
- [10] RonnakornManosngiam, MonthonLeelajindakrairerkand NorasagePattanadech, **Analysis of Corona Phenomena in Substations using Matlab**, 28th Electrical Engineering Conference (EECON-28), 20-21 October, 2005, Thammasat University, pp. 509-512.
- [11] P.Chomlim,P.Yuttagowith,N.Pattanadech and S. Phumvuttisan, **Impulse Current Generation from Conventional Impulse Voltage Generator**, 28th Electrical Engineering Conference (EECON-28), 20-21 October, 2005, Thammasat University, pp. 457- 460.
- [12] P. Pingrit, S. Potivejkul,N.Pattanadech and Ch. Lawthongkam, **The Simulation of Impulse Voltage Generator System for Testing and Education in HV Engineering**, 28th Electrical Engineering Conference (EECON-28), 20-21 October, 2005, Thammasat University, pp. 461-464 .
- [13] P.Chomlim,P.Yuttagowith,N.Pattanadech, A. Kunakornand S. Phumvuttisan, **Impulse Current Measurement by Rogowski's Coil with Digital Integrator**, 28th Electrical Engineering Conference (EECON-28), 20-21 October 2005, Thammasat University, pp. 465-468.
- [14] P. Sakjirarat, S. Potivejkul and N. Pattanadech,**Case Study Pattern of Wave Form Failure in Transformer during Impulse Tests**,29th Electrical Engineering Conference (EECON-29), 9-10 November, 2006, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, pp. 237-240.
- [15] A. Pinjom, T. Chuchnapipat, E. Wassanasong, N. Pattanadechand P.Yutthagowith,**Improvement of Standard Suspension Type Insulator by The Semiconducting Glaze for Pollution Condition**,29th Electrical Engineering Conference (EECON-29), 9-10 November, 2006, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, pp. 245-248.

- [16] P.Chomlim,P.Yuttagowith,N.Pattanadech, P. Preuksanubal, A. Kunakornand S. Phumvuttisan,**Improvement of The Capacitive Voltage Divider Response Time**, 29th Electrical Engineering Conference (EECON-29), 9-10 November, 2006, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, pp. 249-252.
- [17] P.Chomlim,P.Yuttagowith,N.Pattanadech, P. Preuksanubaland S. Phumvuttisan,**Steep Impulse Current and Switching Impulse Current Generation**, 29th Electrical Engineering Conference (EECON-29), 9-10 November, 2006, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, pp. 253-256.
- [18] P.Chomlim,P.Yuttagowith,N.Pattanadech, A. Limseemaratand S. Phumvuttisan,**Validation of Impulse Voltage Measuring System from Step Response**, 29th Electrical Engineering Conference (EECON-29), 9-10 November, 2006, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, pp. 257-260.
- [19] P. Sakjirarat, S. Potivejkul and N. Pattanadech,**Analysis Impulse Test of Transformer with Transfer Function Method**,29th Electrical Engineering Conference (EECON-29), 9-10 November, 2006, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, pp. 261-264.
- [20] NorasagePattanadech,**“Preventive Investigation Methods of Using Insulation in Electrical Power System (Part I)**, Electrical Engineering Magazine, March– April, 2007, pp. 78-84.
- [21] NorasagePattanadech,**“Problem Solving for Using Porcelain Insulators in Contaminated Areas (Part I)**, Electrical Engineering Magazine, March–April, 2007, pp. 85 -91.
- [22] NorasagePattanadech, **“Preventive Investigation Methods of Using Insulation in Electrical Power System (Part II)**, Electrical Engineering Magazine, May–June, 2007, pp. 36-43.
- [23] NorasagePattanadech, **“Problem Solving for Using Porcelain Insulators in Contaminated Areas (Part II)**,Electrical Engineering Magazine, May–June, 2007, pp. 44-48.

- [24] K. Klongchongsan, A. Kunakorn, P. Yutthagowith and N. Pattanadech, **Construction of A Circuit for Superimposed Impulse Voltage on AC Voltage 50Hz Control with Microcontroller**, 30th Electrical Engineering Conference (EECON-30), 25-26 October, 2007, King Mongkut's University of Technology Thonburi, pp. 189-192.
- [25] Phoochit Boontho, Norasage Pattanadech, Pearawut Yutthagowith and Monthol Leelajindakraierk, **The Study of Composite Voltage Generating Simulation Using PSpice Program Compared with Matlab and Electronics Workbench**, 9th National Grad Research Conference, 14 – 15 March, 2008, Burapha University.
- [26] Buarian Chalee, Norasage Pattanadech and Monthol Leelajindakraierk, **EMTP Model for Analysis of Neutral Grounding Resister Failures**, 9th National Grad Research Conference, 14 – 15 March, 2008, Burapha University.
- [27] B. Chalee, N. Pattanadech and M. Leelajindakraierk, **Analysis of Neutral Grounding Resister Failures in PEA Substation**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 41-44.
- [28] P. Bunto, N. Pattanadech, P. Yutthagowith and M. Leelajindakraierk, **The Study of Electrical Insulation Property after Receive Composite Voltage**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 161-164.
- [29] P. Chomlim, N. Pattanadech, P. Yutthagowith, and A. Kunakorn, **Design of a High Voltage Measuring System with High Resolution Digitizers**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 207-210.
- [30] S. Phuphasuk, N. Pattanadech and M. Leelajindakraierk, **Electrical Characteristic Comparison of Porcelain Insulators and Polymer Insulators Polluted Condition for Distribution System 33kV of PEA**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 211-214.
- [31] N. Pattanadech, P. Nimsanong, T. Penthong and P. Yutthagowith, **Design and Construction of Coupling Capacitor and Coupling Device for Partial Discharge Measurement**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 227-230.

- [32] N. Pattanadech and T. Worthong, **Partial Discharge On Line Monitoring of Synchronous Generator of 15.75 kV 211.75 MVA**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 243-246.
- [33] N. Pattanadech, **The Study of Partial Discharge Simulation of a Stator of a Rotating Machine**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 247-250.
- [34] S. Chevataveesub,N. Pattanadech and P. Janjareunsuk,**Electrical Characteristic of Various Design of Air Terminals**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 251-254.
- [35] N. Pattandech and P.Nimsanong, **The Electrical Characteristics of Contaminated Transformer Oil under Direct Current Voltage**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 291-294.
- [36] P. Nimsanong, N. Pattanadech and S. Khamfoi, **Classification of Partial Discharge of High Voltage Equipment by Using Probabilistic Neural Networks**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 295-298.
- [37] P.Tuengsook, N. Pattanadech, S. Khamfoi and K. Tongkamkawe,**Frequency Response Analysis for Transformer Diagnosis**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 311-314.
- [38] A.Nimtien, N. Pattanadech, P. Prisuvanna and K.Tongkamkawe, **The Measurement Technique of Moisture Content in Oil-Paper Insulations of A Transformer**,31st Electrical Engineering Conference (EECON-31),29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 315-318.

- [39] N. Pattanadech, K. Keawdam, K. Visitsil, P. Thongkeaw, P. Suwanmajo, P. Sa-ngaun, P. Deangrak, S. Klanreungsang and S. Aun-ar-char, **The feasibility Study of Design and Construction of Data Transfer System of AC Voltage Divider via Wireless System**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 319-322.
- [40] C. Ruttanapun, S. Siridejachai, S.Vannarat, T. Penthong, N. Aim-ood, S. Gakavand and N. Pattanadech, **Simulation of Electric Field in Stator Bar by Using Finite Element Method**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 323-326.
- [41] S.Ludpa, N. Pattanadech and M. Leelajindakraierk, **The Comparison of Pattern Classification of Partial Discharge in High Voltage Equipment by Regression Analysis and Principal Component Regression Analysis**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 403-406.
- [42] S. Somboon, S. Potivejkul and N. Pattanadech, **Operation Characteristics of Zinc Oxide Arrester with Arcing Horn**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 157-160.
- [43] N. Pattanadech, **The Feasibility Study of Using Long Flashover Arrester in Distribution System**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 399-402.
- [44] N. Boonsaner, N. Pattanadech, P.Yuttagowith and A.Kunakorn, **The effect of Floating Object on Electrical Discharge of Pressurized air, N₂ and SF₆**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 419-422.
- [45] P. Thongkeaw, A.Kunakorn and N. Pattanadech, **Electrical and Dielectric Characteristics of Used Vegetable Oil**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32), 28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 111-114.

- [46] S. Aun-ar-char, A.Kunakorn and N. Pattanadech, **Experimental Studies of Breakdown Characteristics of Rod- Rod Gaps with Negative Lightning impulses superimposed on AC Supply Voltage**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 115-118.
- [47] N. Pattanadech, N. Tanbun, K. Senanuch, N. Suraporn, P. Wongsaroj and P.Yuttagowith, **Case Study for Solving The Overshoot Problem of Impulse Voltage in the High Voltage Equipment Industrial**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 127-130.
- [48] P. Viriyakitikul,A.Kunakorn and N. Pattanadech, **A Simulator for Partial Discharge Pulses in Power Transformer**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 143-146.
- [49] N. Pattandech, Ch. Soseepar, Ch. Changtong, N. Wongkamkao, P. Thongkeaw, P. Dangruk and S. Samol, **The Study of Voltage Distribution on Porcelain Insulator Surface of High Voltage Equipment**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 167-170.
- [50] N. Pattanadech,N. Suraporn,N. Tanbun,K. Senanuch,P. Wongsaroj and P.Yuttagowith, **A 6-kV, 3kVA Combination Wave Generator**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 187-190.
- [51] P. Nimsanong, N. Pattanadech and S. Khamfoi, **The Comparison of Neural Network Models for Partial Discharge Classification**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 215-218.
- [52] N. Pattanadech,P.Tuengsook and S. Chevataveesub, **The Study and Analysis of Electrical Characteristic of Air Terminal Part 1**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 323-326.
- [53] N. Pattanadech,P.Tuengsook and S. Chevataveesub, **The Study and Analysis of Electrical Characteristic of Air Terminal Part 2**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp 327-330.

- [54] A.Nimtien, N. Pattanadech and K.Tongkamkawe, **The Measurement Technique Response in Oil-Paper Insulations of A Transformer by Analyzing Polarization and Depolarization Current**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 363-366.
- [55] A.Nimtien, N. Pattanadech and K.Tongkamkawe, **The Study of Oil Impregnated Paper Characteristics Influenced by Moisture Content and Oil's Acidity under AC Voltage**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 367-370.
- [56] N. Pattanadech, A.Nimtien and P. Nimsanong, **The Study of Design of Underground Cable up to 24 kV Deal with Mechanical Strength Determination of Installed Cables**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 375-378.
- [57] P.Tuengsook, N. Pattanadech and K.Tongkamkawe, **Sweep Frequency Response Analysis: Background and Application Example of A Transformer Diagnosis**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 387-390.
- [58] N. Pattanadech, P. Nimsanong and A.Nimtien, **The Study of Underground Cable Defect rate 12/20(24) kV**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 395-398.
- [59] N. Pattanadech, P. Nimsanong,P.Tuengsook andN. Suraporn, **The Study of Unit Step Response of An Impulse Voltage Divider Using ATPDraw**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32),28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 411-414.
- [60] K. Wangsaad, P. Prisuvanna and N. Pattanadech, **Study of Behavior Electrical Tree in Insulation**, 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33),28-30 October, 2009, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chiang Mai University and Mahanakorn University of Technology, pp. 269-272.

- [61] S. Potivejkul, N. Pattanadech, P. Thongkeaw and P. Keaddonfag, **A Prototype of Mini Rice Seed Stimulation using Electric Field**, 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33), 28-30 October, 2009, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chiang Mai University and Mahanakorn University of Technology, pp. 269-272.
- [62] P. Thongkeaw, A. Kunakorn, N. Pattanadech and Ch. Chompu-in-wai, **Effects of Partial Discharges on AC Breakdown Voltage Characteristics of Vegetable and Transformer Insulating Oils**, 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33), 28-30 October, 2009, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chiang Mai University and Mahanakorn University of Technology, pp. 293-296.
- [63] P. Tuengsook, N. Pattanadech and P. Thongkeaw, **Electric Field Controlling Technique under Alternating Current Voltage**, 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33), 28-30 October, 2009, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chiang Mai University and Mahanakorn University of Technology, pp. 473-476.

International Papers

- [1] S. Sangkasaad, B. Staub, B. Marangsree and N. Pattanadech, **Investigation on Electrical Performance of Semiconducting Glazed Insulators under Natural Pollution in Thailand**, 2000 International Conference on Power System Technology, PowerCon 2000, The University of Western Australia, Perth, Australia, 4-7 Dec, 2000, pp. 1229-1232,
- [2] N. Pattanadech, **The Measurement Technique for Distributed Voltage of A String Insulator Using a Standard Sphere Gap**, 2004 International Conference on Power System Technology, Power Con 2004, Singapore, Nov 21-24, 2004, pp. 1043-1048.
- [3] N. Pattanadech and P. Yutthagowit, **Punctured Insulator Examination of A String Insulator**, 2005 IEEE St. Petersburg Power Tech, Russia, June 27-30, 2005.
- [4] A. Karn, S. Potivejkul, N. Pattanadech and P. Yutthagowith, **Behavior Comparison of Corona Inception and Flashover Voltage between HVAC and HVDC Insulator**, IPEC 2005 Singapore, 29 Nov–2 Dec, 2005.
- [5] P. Yutthagowit, N. Pattanadech, A. Kunakorn and S. Phoomvuthisarn, **Accuracy Verification of Impulse Voltage Measuring Systems by Convolution Methods**, IPEC 2005 Singapore, 29 Nov–2 Dec, 2005.

- [6] S. Inthala, P. Yutthagowit, A. Ngaopitakkul, A. Kunakorn, N. Pattanadech and M. Kando, **Computer-aided Analysis Tools for Step Response Parameters of High Voltage Dividers**, ECTI-CON 2005, The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology(ECTI) International Conference, 12-13 May, 2005 Pattaya, Cholburi, Thailand, pp. 153-156.
- [7] N. Pattanadech and P. Yutthagowit, **Problems, Investigation Methods, and Solution of Using String Suspension Insulators**, Proc.of the 5th WSEAS/IASME Int. Conf. on Electric Power System, High Voltages, Electric Machine. Tenerife, Spain, December 16-18, 2005,pp 194-198.
- [8] P. Yutthagowit, S. Phoomvuthisarn and N. Pattanadech, **Computer Aided- Program for Validation of HV Impulse Measuring Systems from Unit Step Response**,Proc.of the 5th WSEAS/IASME Int. Conf. on Electric Power System, High Voltages, Electric Machine. Tenerife, Spain, December 16-18, 2005, pp 619-624.
- [9] Jaiwong Prayat, Saenggunyoun Sambhop, Pattanadech Norasage and Yutthagowith Pearawut, **HVDC Test for Live- Line Washing on EGAT's HVDC Transmission Line**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [10] Jaiwong Prayat, Saenggunyoun Sambhop, Pattanadech Norasage, and Yutthagowith Pearawut, **The Behavior of Corona Phenomena on AC and DC Polluted Insulator**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [11] Amornchai. Karn, Siriwat. Potivejkul, Norasage Pattanadech and Pearawut Yutthagowith, **Corona Phenomena of AC Semi-Conducting Glazed Insulators under DC Test Condition**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [12] Ronnakorn Manosngiam, Monthon Leelajindakrairerkand Norasage Pattanadech, **Identification of Corona Phenomena in Substations Detected by Ultraprobe Using Computer Programming**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.

- [13] Yutthagowith Pearawut, Phoomvuthisarn Sukumvit and Pattanadech Norasage, **Design and Construction of A resistive Impulse Voltage Divider for Steep-Front Impulse Voltage Measurement**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [14] Chatpattananan Vuttichai, Pattanadech Norasage and Yutthagowith Pearawut, **Nonlinear Regression for Sphere Gap Voltage with Gap Diameter and Gap Spacing**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [15] Chatpattananan Vuttichai, Pattanadech Norasage and Yutthagowith Pearawut, **AIC Model Selection Criteria for Hidden Layers in Neural Networks to Predict Breakdown Voltage**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [16] Chatpattananan Vuttichai, Pattanadech Norasage and Yutthagowith Pearawut, **A Prediction of The Breakdown Voltage with Radial Basis Function Networks**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [17] ChatpattanananVuttichai, Pattanadech Norasage and Yutthagowith Pearawut, **A Prediction of The Breakdown Voltage with Principal Component Analysis**, CMD 2006 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, April 2-5, 2006.
- [18] V.Chatpattananan, N. Pattanadech and K. Vicetjindavat, **PCA – LDA for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment**, ICPADM 2006 8th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 2, 26-30 June, 2006, Grand Bali Beach Hotel Denpasar, Bali, Indonesia, pp. 479-481.
- [19] V. Chatpattananan, N. Pattanadech and P. Yutthagowith, **Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment with K-Means**, ICPADM 2006 8th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 2, 26-30 June, 2006, Grand Bali Beach Hotel Denpasar, Bali, Indonesia, pp. 191-194.

- [20] V. Chatpattananan, N. Pattanadech and K. Vicetjindavat, **Quest Tree Model for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment**, ICPADM 2006 8th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 2, 26-30 June, 2006, Grand Bali Beach Hotel Denpasar, Bali, Indonesia, pp. 476-478.
- [21] N. Pattanadech, V.Chatpattananan, P. Yutthagowith and S. Phoomvuthisan, **Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment by Hierarchical Cluster Analysis**, ACED 2006, 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October 16-19, 2006, Sapporo, Japan, P-1-37.
- [22] V. Chatpattananan and N. Pattanadech, **Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment by CHAID Classification tree**, ACED 2006, 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October 16-19, 2006, Sapporo, Japan, P-1-38.
- [23] V. Chatpattananan and N. Pattanadech, **Fuzzy C- Means Clustering for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment**, ACED 2006, 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October 16-19, 2006, Sapporo, Japan, P-1-39.
- [24] N. Pattanadech, V.Chatpattananan and P. Yutthagowith, **Classification and regression tree for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment**, ACED 2006, 13th Asian Conference on Electrical Discharge, October 16-19, 2006, Sapporo, Japan, P-1-41.
- [25] Norasage Pattanadech, Siritwat Potivetkul and Pearawut Yutthagowith, **Corona Phenomena of Various High Voltage Shielding Types**, 2006 International Conference on Power System Technology, PowerCon 2006, 22-26 October, 2006, Chongqing, China, AP2-01.
- [26] P. Yutthagowith, N. Pattanadech, V. Chatpattananan and S. Phoomvuthisan, **The Effect of Convexity of Lightning Impulse Voltage Waveforms on Accuracy of HV Measuring System**, 2006 International Conference on Power System Technology, PowerCon 2006, 22-26 October, 2006, Chongqing, China, AP2-01.
- [27] Apisit Chaisaengsukkul, Norasage Pattanadech and Siritwat Potivetkul, **The Hydrophobic of Polymeric Insulator under Dust Pollution and A Comparison with Artificial**, ECTI-CON 2007, 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) International Conference, Mae FahLuang University, Chiang Rai, Thailand, May 9-12, 2007, pp 349-352.

- [28] Apisit Chaisaengsukkul, Siriwat Potivetkul and Norasage Pattanadech, **A Comparison of Corona Inception Phenomena between Porcelain and Polymeric Insulators under Dust Pollution in Thailand**, ECTI-CON 2007, 2007 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) International Conference, Mae FahLuang University, Chiang Rai, Thailand, May 9-12, 2007, pp 353-356.
- [29] Chaisaengsukkul Apisit, Potivetkul Siriwat and Pattanadech Norasage, **Corona Inception Phenomena of Porcelain Insulators and A Comparison with Polymeric Insulators under Salt Fog Pollution in Thailand**, The International Conference on Electrical Engineering, Intelligent Clean Efficient Electricity for the 21st Century with Focus on Sustainability and Reliability, 8-12 July 2007, Hotel Nikko, Hong Kong, ICEE-332.
- [30] Chaisaengsukkul Apisit, Pattanadech Norasage and Potivetkul Siriwat, **The Study of Ageing of Polymeric Insulator under Industrial Dust Pollution in Thailand and A Comparison with Artificial Pollution**, The International Conference on Electrical Engineering, Intelligent Clean Efficient Electricity for the 21st Century with Focus on Sustainability and Reliability, 8-12 July 2007, Hotel Nikko, Hong Kong, ICEE-465.
- [31] P. Petchphung, M. Leelajindakraierk, N. Pattanadech, P. Yutthagowith and K. Aunchaleevarapan, **The Study of Disc Monopole Antenna for Partial Discharge Measurement**, The 8th International Power Engineering Conference IPEC 2007, Singapore, 3-6 Dec, 2007, pp 1292-1296..
- [32] U. Samanmit, S. Chusanapiputt, S. Phoomvuthisarn, A. Vassanasong, A. Pinjom, N. Pattanadech, P. Yutthagowith and N. Bunsaner, **Improvement of Standard Suspension Type Insulator by The Semiconducting Glaze for Pollution Condition**, The 8th International Power Engineering Conference IPEC 2007, Singapore, 3-6 Dec, 2007, pp 1297-1300.
- [33] P. Yutthagowith, N. Pattanadech, A. Kunakorn and M. Leelajindakraierk, **Design and Construction of A Rogowsk's Coil with Compensated RC Integrators for Measuring Impulse Current**, The 8th International Power Engineering Conference IPEC 2007, Singapore, 3-6 Dec, 2007, pp. 189-192.

- [34] S.Ludpa,N. Pattanadech, M. Leelajindakraierk and P. Yutthagowith, **The Pattern Classification of Partial Discharge in High Voltage Equipment by Regression Analysis**, ECTI-CON 2008, Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) International Conference,Krabi, Thailand, May 14-17, 2008, pp. 921-924.
- [35] N. Pattanadech and P. Nimsanong, **PCA-ANN for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment**, 6International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2008), Doshisha University, Kyoto, Japan, October 24 -25, 2008, HV-08-37.
- [36] N. Pattanadech and P.Yutthagowith, **The Effect of Disturbance Signal on Conventional Partial Discharge Measurement**, 6International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2008), Doshisha University, Kyoto, Japan, October 24 -25, 2008, HV-08-38.
- [37] N.Pattanadech,P. Petchphung,P.Yutthagowith,M.Leelajindakraierk, and N. Boonsaner, **The Study of Partial Discharge Measurement According to Conventional Method Compared with VHF Antenna Measurement Technique**, 6International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2008), Doshisha University, Kyoto, Japan, October 24 - 25, 2008, HV-08-40.
- [38] P.Chomlim, N. Pattanadech,P.Yuttagowith and A.Kunakorn, **Application of High Resolution Digitizer in High Voltage Measuring Systems**, 6International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2008) Doshisha University, Kyoto, Japan, October 24 -25, 2008,HV-08-41.
- [39] N. Pattanadech and P. Nimsanong, **Partial Discharge Classification by Using Multilayer Perceptron Neural Network**, IEEJ-EIT Symposium on Advance Technology in Power System, Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand, 4-5 November, 2008.
- [40] N. Pattanadech and P. Nimsanong, **Partial Discharge Classification Using Neural Networkfor A Conventional and UHF Measurement Technique**, IEEJ-EIT Symposium on Advance Technology in Power System, Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand, 26-27 November, 2009.

- [41] N. Pattanadech et al, “**Partial Discharge Characteristics in Oil of Different Electrode Systems**”, ISH 2011, 17th International Symposium on High Voltage Engineering, August 22-26, 2011, Hannover, Germany.
- [42] N. Pattanadech et al, “**The Study of Partial Discharge Characteristics of Mineral Oil Using Needle-Plane Electrode Configuration**”, ICHVE 2012: The 2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Sept. 17-20, 2012, China.
- [43] N. Pattanadech et al, “**The Study of Partial Discharge Characteristics of Mineral Oil Using Needle-Plane Electrode Configuration Base on Partial Discharge Pulse Current Measurement**”, ICHVE 2012: The 2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Sept. 17 - 20, 2012, China.
- [44] N. Pattanadech et al, “**SEM and EDX Analysis of The Needle-Plane and The Rod-Plane Electrodes for The Partial Discharge Inception Voltage Measurement and The Arcing Test of The Mineral Oil**”, CMD 2012: 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring, Sept. 23-27, 2012, Bali, Indonesia, pp. 353-356.
- [45] N. Pattanadech et al, “**The Influence of The Test Methods on The Partial Discharge Inception Voltage Value of The Mineral Oil Using The Needle-Plane Electrode Configuration**”, CMD 2012: 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring, Sept. 23-27, 2012, Bali, Indonesia, pp. 597-600.
- [46] N. Pattanadech et al, “**The Study of The Arcing Phenomena of The Mineral Oil Using The Rod-Plane Electrode Configuration**”, CMD 2012: 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring, Sept. 23-27, 2012, Bali, Indonesia, pp. 1059-1062.
- [47] N. Pattanadech et al, “**The Partial Discharge Characteristics of Mineral Oil Using Needle-Plane and Needle-Sphere Electrode Configuration Base on Pulse Current Measurement**”, CEIDP 2012: Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2012), Oct. 14-17, 2012, Montreal, Quebec, Canada, pp. 64-67.
- [48] N. Pattanadech et al, “**Effect of Mineral Oil Condition on Partial Discharge Inception Voltage Characteristics**”, ISH 2013, 18th International Symposium on High Voltage Engineering, August 25-30, 2013, Seoul, Korea.

- [49] N. Pattanadech et al, “**Partial Discharge Inception Voltage Characteristics of Mineral Oil of Different Electrode Arrangement**”, ISH 2013, 18th International Symposium on High Voltage Engineering, August 25-30,2013, Seoul,Korea.
- [50] N. Pattanadech et al, “**The Possibility of Using ANeedle-Plane Electrode for Partial Discharge Inception Voltage Measurement**”, CEIDP 2013: Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2013), Oct. 20-23, 2013, Shenzhen, China.
- [51] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Partial Discharge Classification Using Principal Component Analysis Combine with Self-Organizing Map**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [52] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Partial Discharge Classification Using Learning Vector Quantization Network Model**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [53] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Effect of Training Methods on The Accuracy of PCA-KNN Partial Discharge Classification Model**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [54] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Effect of Noise Signals on Partial Discharge Classification Models**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [55] Peerawut Yutthagowithand Norasage Pattanadech,**Fast and Accurate Curve Fitting Method for Base Curve Extraction in Lighting Impulse Test Techniques**, 17th Asian Conference on Electrical Discharge(ACED2014), Bangkok, Thailand, 8-9 December, 2014, pp. 45-48.
- [56] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Partial Discharge Classification Using LVQ Model Compared with PNN Model**, 17th Asian Conference on Electrical Discharge(ACED2014), Bangkok, Thailand, 8-9 December, 2014, pp. 94-97.
- [57] P. Thonginta, N. Pattanadech, P. Yuthagowit and T. Worthong,“**Rotating Machine Insulation Analysis by means of Polarization and Depolarization current**”, ISLH 2015, 1st International Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, June 12-13,2015, Bangkok,Thailand, pp 35-38.

- [58] K. Jariyanurat, G. Harnmetta, S. Noimor, P. Yuthagowit, and N. Pattanadech, “**The Study of Electrical Characteristics of Pressboard Impregnated with Mineral Oil and Ester**”, ISLH 2015, 1st International Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, June 12-13,2015, Bangkok,Thailand, pp 75-78.
- [59] N. Pattanadech and P. Nimsanong,“**Self-Organizing Map Performance for Partial Discharge Classification**”, ISLH 2015, 1st International Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, June 12-13,2015, Bangkok,Thailand, pp 85-89.
- [60] S. Noimor, N. Pattanadech, and P. Yuthagowit,“**Lightning Impulse Voltage Generation Circuit for Low Inductive Loads**”, ISLH 2015, 1st International Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, June 12-13,2015, Bangkok,Thailand, pp 91-94 .
- [61] S. Kirapee, S. Potivejkul ,and N. Pattanadech “**Surface Tracking Resistance Investigation for Space Aerial Cable**”, ISLH 2015, 1stInternational Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, June 12-13,2015, Bangkok,Thailand, pp 95-97.
- [62] N. Pattanadech and P. Yutthagowith, “ **Induce Electric Field and Magnetic Field inside A Car Struck by Lightning Impulse**”, APL 2015, 9th Asia-Pacific International Conference on Lightning, June 23-27,2015, Nagoya, Aichi, Japan.
- [63] P. Yutthagowith, N. Pattanadech and S. Pothivejkul, “ **Fast Technique for Parasitic Impedance Extraction in An Impuls Voltage Generator Circuit**”, APL 2015, 9th Asia-Pacific International Conference on Lightning, June 23-27,2015, Nagoya, Aichi, Japan.

National journals

- [1] P. Sakjirarat, S. Potivejkul and N. Pathanadech, **Case Study of the Impulse Test Results with Transformer Failure**, Ladkrabang Engineering Journal, Volume 23 Number 4, December 2006, pp. 1 – 6, ISSN 0125-1724.

International journals

- [1] N. Pattanadech and P. Yutthagowit, **Problems, Investigation Methods, and Solution of Using String Suspension Insulators in Transmission System**, WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEM, Issue 2, Volume 1, February 2006 issn 1790-5079, pp. 430-437.

- [2] P. Yutthagowith, S. Phoomvuthisarn and N. Pattanadech, **Computer Aided- Program for Validation of HV Impulse Measuring Systems from Unit Step Response in Time Domain and Frequency Domain**, WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEM, Issue 2, Volume 1, February 2006 issn 1790-5079, pp 438-445.
- [3] F. Pratomosiwi, N. Pattanadech, B. Wieser, G. Pukel, M. Stössl, M. Muhr **“Considerations for Dielectric Properties Measurement Of Oil Immersed Pressboard”**, International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Volume 4, Number 3, October, 2012, pp. 508-522.
- [4] N. Pattanadech, F. Protomosiwi, Martin A. Baur. Michael Muhr **“SEM and EDX analysis of the electrode system for the partial discharge inception voltage measurement and arcing test of the mineral oil”**, International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Volume 4, Number 4, December, 2012, pp. 633-645.
- [5] Ferdinand Sipahutar, Suwarno, Ahmad Azhari Kemma, Norasage Pattanadech, Fari Protomosiwi. Michael Muhr, **“The Implementation of Needle-Plane Electrode Configuration and Test Methods for Partial Discharge Inception Voltage Characteristic Measurement of Mineral Oil”**, International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Volume 5, Number 2, June, 2013, pp. 205-216.
- [6] T.F. Sipahutar, A. A. Kemma, N. Pattanadech, F. Protomosiwi, Suwarno, M. Muhr, **“Effect of Test Method and Needle Plane Configuration on Partial Discharge Inception Voltage Measurement of Mineral oil Based on Weibull Analysis”**, The 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics(ICEEI 2013), Procedia Technology 11(2013) 411-418, Available online at www.sciencedirect.com.
- [7] A. A. Kemma, T.F. Sipahutar, N. Pattanadech, F. Protomosiwi, Suwarno, M. Muhr, **“Ramp Rates Effect in Ramp Method for Partial Discharge Inception Voltage Measurement in Mineral Oil”**, The 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics(ICEEI 2013), Procedia Technology 11(2013) 608-613, Available online at www.sciencedirect.com

ประวัติส่วนตัว(ผู้วิจัยร่วม)

ชื่อ-สกุลนายเพทาย นิ่มสนอง

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 22เมษายน 2526อายุ..... 33ปีสถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบันวิศวกรไฟฟ้า 7, การไฟฟ้าานครหลวง

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2549
วศ.ม.	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2554

ผลงานทางวิชาการ

National Papers (in Thai)

- [1] N. Pattanadech, P. Nimsanong, T. Penthong and P. Yutthagowith, **Design and Construction of Coupling Capacitor and Coupling Device for Partial Discharge Measurement**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 227-230.
- [2] N. Pattandech and P. Nimsanong, **The Electrical Characteristics of Contaminated Transformer Oil under Direct Current Voltage**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 291-294.
- [3] P. Nimsanong, N. Pattanadech and S. Khamfoi, **Classification of Partial Discharge of High Voltage Equipment by Using Probabilistic Neural Networks**, 31st Electrical Engineering Conference (EECON-31), 29-31 October, 2008, Srinakharinwirot University and Sripatum University, pp. 295-298.
- [4] P. Nimsanong, N. Pattanadech and S. Khamfoi, **The Comparison of Neural Network Models for Partial Discharge Classification**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32), 28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 215-218.

- [5] N. Pattanadech, A. Nimtien and P. Nimsanong, **The Study of Design of Underground Cable up to 24 kV Deal with Mechanical Strength Determination of Installed Cables**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32), 28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 375-378.
- [6] N. Pattanadech,P. Nimsanong and A. Nimtien, **The Study of Underground Cable Defect rate 12/20(24) kV**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32), 28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 395-398.
- [7] N. Pattanadech,P. Nimsanong, P. Tuengsook and N. Suraporn, **The Study of Unit Step Response of An Impulse Voltage Divider Using ATPDraw**, 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32), 28-30 October, 2009, Mahidol University, pp. 411-414.
- [8] P. Maungpratum, P. Nimsanong and N. Pattanadech, **Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles on Breakdown Characteristics of Mineral Oil Based Nanofluids**, Proceedings of the 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016, EENET2016, Phuket, Thailand, 25-27 May 2016, pp. 13-16.

International Papers

- [1] N. Pattanadech and P. Nimsanong, **PCA-ANN for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment**, 6th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2008), Doshisha University, Kyoto, Japan, October 24 -25, 2008, HV-08-37.
- [2] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Partial Discharge Classification by Using Multilayer Perceptron Neural Network**, IEEJ-EIT Symposium on Advance Technology in Power System, Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand, 4-5 November, 2008.
- [3] N. Pattanadech and P. Nimsanong,**Partial Discharge Classification Using Neural Networkfor A Conventional and UHF Measurement Technique**, IEEJ-EIT Symposium on Advance Technology in Power System, Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand, 26-27 November, 2009.
- [4] N.Pattanadech and P. Nimsanong,**Partial Discharge Classification Using Principal Component Analysis Combine with Self-Organizing Map**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.

- [5] N.Pattanadech and P. Nimsanong, **Partial Discharge Classification Using Learning Vector Quantization Network Model**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [6] N.Pattanadech and P. Nimsanong, **Effect of Training Methods on The Accuracy of PCA-KNN Partial Discharge Classification Model**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [7] N.Pattanadech and P. Nimsanong, **Effect of Noise Signals on Partial Discharge Classification Models**, IEEE TENCON-2014, Bangkok, Thailand, 22-25 October, 2014.
- [8] N.Pattanadech and P. Nimsanong, **Partial Discharge Classification Using LVQ Model Compared with PNN Model**, 17th Asian Conference on Electrical Discharge (ACED2014), Bangkok, Thailand, 8-9 December, 2014, pp. 94-97.
- [9] N. Pattanadech and P. Nimsanong, **“Self-Organizing Map Performance for Partial Discharge Classification”**, ISLH 2015, 1st International Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, June 12-13, 2015, Bangkok, Thailand, pp 85-89.
- [10] N. Pattanadech, P. Nimsanong, S. Potivejkul, P. Yutthagowith and S. Polmai **“Generalized Regression Networks for Partial Discharge Classification”**, ICEMS 2015, the 18th International Conference on Electrical Machines and Systems, October 25-28, 2015, Pattaya City, Thailand, paper 760.
- [11] N. Pattanadech, P. Nimsanong, S. Potivejkul, P. Yutthagowith and S. Polmai **“Partial Discharge Classification Using Probabilistic Neural Network Model”**, ICEMS 2015, the 18th International Conference on Electrical Machines and Systems, October 25-28, 2015, Pattaya City, Thailand, paper 763.
- [12] P. Nimsanong, E. Khemthong, V. Thep-om and N. Pattanadech, **“Dielectric Analysis of 24kV XLPE Cable Using Conventional and Non-Conventional PD Measurement Methods”**, ISLH 2016, 2nd International Symposium on Lightning Protection High Voltage Engineering, March 9-10, 2016, Bangkok, Thailand, pp 129-132.
- [13] P. Nimsanong, N. Pattandech, P. Yutthagowith, **“Dielectric Diagnosis of 24kV XLPE Cable Using Polarization and Depolarization Current, Conventional Partial Discharge Measurement and High Frequency Current Measurement”**, The 12th IET

International Conference on AC and DC Power Transmission, 28-29 May,2016, Beijing, China, ACDC 2016_0214, pp 1-5.

