

โปรแกรมการรู้จำรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ก ร่วมกับ เจนเนติกอัลกอริทึม

Pattern Recognition of Partial Discharge in High Voltage Equipment

เกวริน วิเศษจินดาวัฒน์*, สำรวย สังข์สะอาด***, ณรงค์ ทองจิม*, สุวิทย์ นาคพิระยุทธ**

*ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

***เมธีวิจัยอาวุโส สกว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอโปรแกรมการรู้จำรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วน (PD) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง การใช้โปรแกรมนี้ทำให้สามารถจำแนกรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วนได้อัตโนมัติ การวิเคราะห์การเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเริ่มจากการสร้างฐานข้อมูล โดยการจำลองลักษณะการเกิด PD แบบต่างๆ ขึ้นมาเพื่อทำการคำนวณค่าคุณลักษณะของแต่ละรูปแบบจากการกระจายแบบ 3 มิติ $H_n(\phi, q)$ ซึ่งได้จากสัญญาณ PD ที่แสดงในรูปวงรี โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้จะนำมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้และจดจำคุณลักษณะที่สำคัญของการเกิด PD ในรูปแบบต่างๆ โดยอาศัยวิธีทางนิวรอลเน็ตเวิร์ก ร่วมกับ เจนเนติกอัลกอริทึม จากผลการทดสอบกับอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพลาดพบว่า โปรแกรมสามารถที่จะแยกแยะลักษณะการเกิด PD ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้ถูกต้อง

Abstract

This paper presents Partial Discharge (PD) pattern recognition program (PRP) for high voltage equipment. By using this program, the type of PD can be automatically diagnosed. The PD analysis method comprises of database creating in which the varieties of PD patterns were fabricated from artificial defection to calculate each characteristics in 3 dimension distribution, $H_n(\phi, q)$, obtained PD signal showing in elliptical form. The developed computer program with learning and recognition capacity was trained with distinct characteristic of each PD pattern. Neural network and

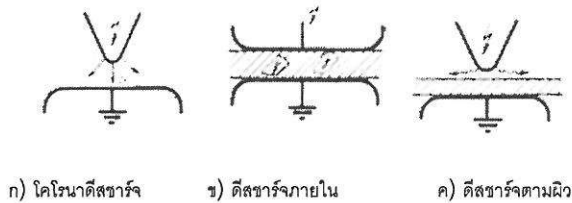
genetic algorithm were applied for training system, the computer program is higher effective. The test results show that the program could correctly analyze and recognize PD pattern in high voltage apparatus.

1. บทนำ

ฉนวนเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในระบบไฟฟ้าแรงสูง ความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าอาจเกิดจากความด้อยคุณภาพของฉนวน หรือความบกพร่องของการออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ อาจจะทำให้เกิดดีสชาร์จบางส่วน (PD) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ฉนวนเสื่อมคุณภาพและอายุการใช้งานของอุปกรณ์จะสั้นลง ดังนั้นเราจึงถือเอาดีสชาร์จบางส่วนเป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญที่จะบ่งชี้ถึงคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ การออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงต้องป้องกันหรือหลีกเลี่ยงมิให้มี PD เกิดขึ้น โดยการออกแบบลักษณะอุปกรณ์ให้มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำกว่าค่าวิกฤตของฉนวน และใช้เทคนิคในการฉนวนที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่ออกแบบหรือผลิตอาจมี PD เกิดขึ้นโดยมิได้ตั้งใจ ซึ่งอาจเกิดจากความบกพร่องของระบบฉนวนในระหว่างการผลิตหรือคุณภาพการฉนวนต่ำกว่ามาตรฐาน

การเกิด PD ในระบบฉนวนอาจเกิดขึ้นได้หลายกรณี ความบกพร่องของการฉนวนที่ทำให้เกิด PD แต่ละแบบจะมีลักษณะรูปแบบ (Pattern) ของ PD ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและแยกแยะหาคุณลักษณะของ PD เพื่อใช้ในการระบุ PD ที่เกิดขึ้นเป็นชนิดแบบใดใน 3 แบบ

ของการเกิด PD หลักคือ โคโรนาดีสชาร์จ ดีสชาร์จตามผิว หรือดีสชาร์จภายใน ดังรูปที่ 1 [1]



รูปที่ 1 ดีสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ

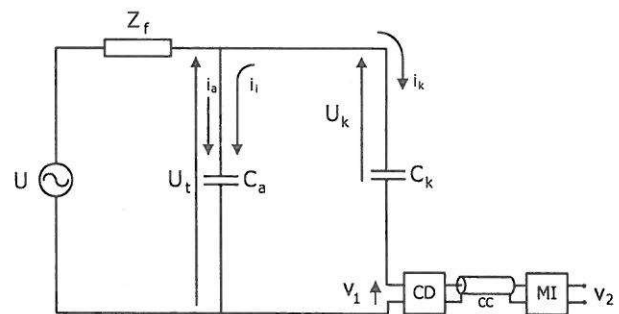
ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง สถาบันทดสอบไฟฟ้าแรงสูง และผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ในอดีตนั้น การเรียนรู้และจดจำรูปแบบของการเกิด PD กระทำโดยการใช้สายตาสังเกตที่สัญญาณวงรี หรือรูปคลื่นไซน์ หรือแบบการกระจาย 3 มิติบนจอของออสซิลโลสโคป และนำไปแปลความหมาย [1] การแปลความหมายจะขึ้นกับความรู้และประสบการณ์ของผู้ทดสอบ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์ PD นั้นทำให้สามารถจำแนกประเภทและสาเหตุของการเกิด PD โดยอัตโนมัติได้ [5-6] จึงเกิดความสะดวกต่อผู้ทดสอบ

2. หลักการและทฤษฎี

การวิเคราะห์ PD โดยอัตโนมัติ ประกอบด้วย การตรวจวัด ซึ่งจะได้รูปแบบของการเกิด PD (Discharge pattern) จากนั้นจะทำการคำนวณหาคุณลักษณะจากรูปแบบที่ได้ (Feature extraction) แล้วนำคุณลักษณะที่คำนวณได้นั้นมาทำการจำแนกประเภท (Classification) โดยอ้างอิงกับฐานข้อมูล (Data base) เพื่อนำมาสู่กระบวนการตัดสินใจในที่สุด

2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจวัด PD

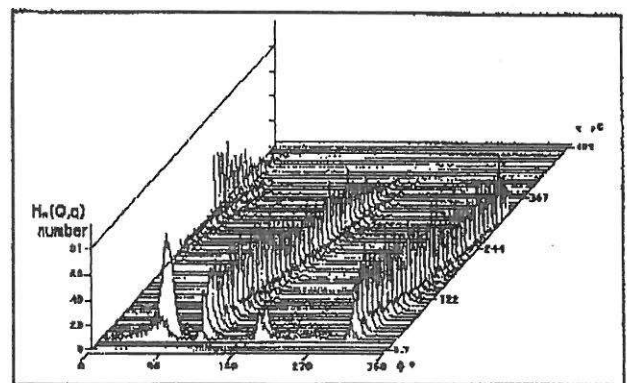
วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจวัด PD ตามมาตรฐานสากล IEC60270 จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ U ตัวกรองสัญญาณรบกวน (Filter) หรืออิมพีแดนซ์ (Z_f) วัสดุทดสอบ C_a ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) C_k อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling Device) CD สายเคเบิลนำสัญญาณ CC และเครื่องมือวัด MI [2] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจวัด PD

2.2 การแสดงผล PD

การตรวจวัด PD จะทำการเก็บสัญญาณแบบ วงรีมาแสดงในรูปแบบการกระจาย $H_n(\phi, q)$ และการกระจายที่เกี่ยวข้อง เมื่อ $H_n(\phi, q)$ คือความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหรือค่ายอดของ PD(q) มุมเฟสของแรงดันทดสอบ (ϕ) กับจำนวนครั้งที่เกิด PD ซ้ำในเฟสนั้น(n) ดังรูปที่ 3 สำหรับการกระจายอื่นๆ ก็สามารถคำนวณหาจาก $H_n(\phi, q)$ เช่น การกระจายขนาด PD เฉลี่ยตามมุมเฟส $H_{qn}(\phi)$ การกระจายจำนวนครั้งที่เกิด PD ซ้ำตามมุมเฟส $H_n(\phi)$ เป็นต้น[2]

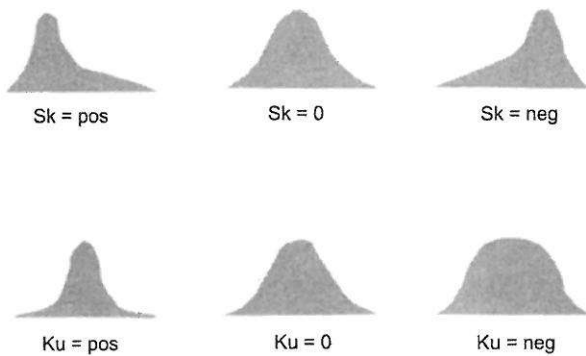


รูปที่ 3 การกระจายแบบ $H_n(\phi, q)$

2.3 การคำนวณหาคุณลักษณะของ PD

การคำนวณหาคุณลักษณะของ PD มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดมิติของข้อมูลลง โดยการคำนวณหาเฉพาะคุณลักษณะหรือคุณสมบัติที่สำคัญของรูปแบบ ซึ่งคุณลักษณะที่ได้ยังคงความสามารถในการจำแนกเช่นเดียวกับรูปแบบเดิม คุณลักษณะ

ที่หาได้ควรมีมิติที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้สามารถจำแนกประเภทได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในบทความนี้จะเลือกใช้การคำนวณพารามิเตอร์ทางสถิติ ของ $H_{gn}(\phi)$ และ $H_n(\phi)$ ซึ่งมีทั้งหมด 11 ค่า [3-4] ลักษณะการคำนวณที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยบอกถึงความเอียง (Skewness, Sk) และความแหลมคม (Kurtosis, Ku) ของรูปแบบการกระจาย และวิธีทางแฟร็กทัลซึ่งเป็นการอธิบายการกระจายของ $H_n(\phi, q)$ มิติของข้อมูลจะเหลือเพียง 2 มิติ คือ มิติแฟร็กทัล (Fractal dimension) จะแสดงถึงความขรุขระ และลาคูนาริตี (Lacunarity) แสดงถึงความหนาแน่นของพื้นผิวการกระจาย [5] ทั้ง 2 ลักษณะสามารถบอกถึงลักษณะสำคัญของ PD ได้ดี



รูปที่ 4 ตัวอย่างของรูปแบบการกระจายเนื่องจากผลพารามิเตอร์ทางสถิติ

2.4 วิธีการจำแนกประเภท PD

การจำแนก PD ในบทความนี้ได้นำ PRP (Pattern recognition program) ที่ได้พัฒนาขึ้น มาใช้ในการจำแนกสาเหตุของการเกิด PD เพื่อระบุสาเหตุที่ทำให้เกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยพิจารณาเปรียบเทียบคุณลักษณะที่คำนวณได้กับฐานข้อมูล PD ได้มีการนำวิธีการต่าง ๆ มาใช้ในการจำแนกสาเหตุของ PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น ตัวจำแนกแบบนิยม (Conventional classifier) นิวรอลเน็ตเวิร์ก (Neural network) ฟัซซีลอจิก และ เจนเนติกอัลกอริทึม เป็นต้น [6] แต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดในตัว เช่น ตัวจำแนกแบบนิยม จะมีปัญหาการจำแนกข้อมูลที่มีการกระจายแบบเกาะกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม ตัวจำแนกแบบนิวรอลเน็ตเวิร์กจะมีข้อจำกัด คือ การหาจำนวนโหนดในแต่ละชั้น เนื่องจาก

ยังไม่มีข้อกำหนดตายตัวในการคำนวณหาจำนวนโหนดที่เหมาะสม และมีปัญหาเกี่ยวกับการจำแนกข้อมูลบางกลุ่มที่ไกลจากกลุ่มฐานข้อมูล จึงได้มีการนำนิวรอลเน็ตเวิร์กมาใช้ร่วมกับเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหา เช่นหาจำนวนโหนดที่เหมาะสมของนิวรอลเน็ตเวิร์ก หรือนำมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนักของนิวรอลเน็ตเวิร์ก

2.5 นิวรอลเน็ตเวิร์กโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมปรับค่าน้ำหนัก

นิวรอลเน็ตเวิร์กเป็นกระบวนการในการเรียนรู้และตัดสินใจเพื่อหาคำตอบให้กับระบบ โดยลักษณะการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์ก จะถอดแบบมาจากการทำงานระบบสมองของมนุษย์ คือจะส่งผ่านข้อมูลกันโดยการเชื่อมต่อของโหนดกันเป็นโครงข่าย และมีการทำงานในลักษณะขนาน

นิวรอลเน็ตเวิร์กที่เลือกใช้ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้

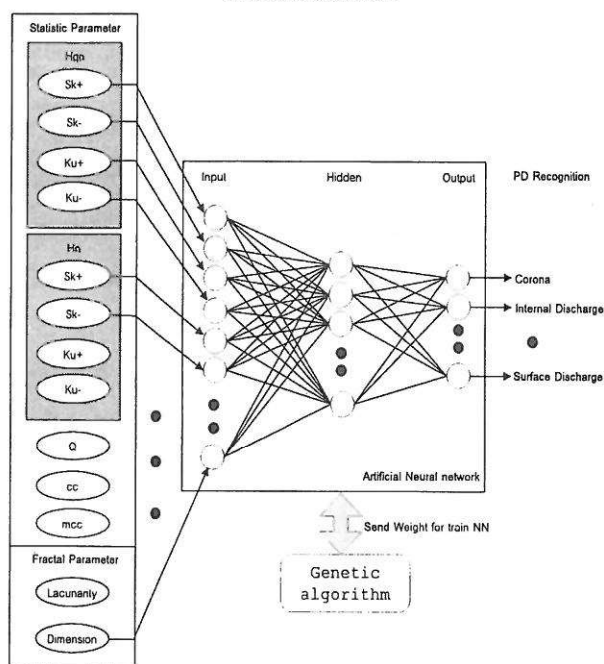
- 1) ชั้นนำเข้าข้อมูล มีจำนวนโหนดเท่ากับ 13 โหนดซึ่งได้มาจากการคำนวณค่าทางสถิติและแฟร็กทัลที่มีทั้งหมด 13 พารามิเตอร์
- 2) ชั้นแอบแฝงมี 1 ชั้นมีจำนวนโหนดเท่ากับ 26 โหนด
- 3) ชั้นผลลัพธ์มีจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนประเภทที่ต้องการจำแนกซึ่งในการทดลองนี้มี 6 ประเภท

ในแต่ละชั้นจะเชื่อมกันด้วยค่าน้ำหนัก (weight) การสอนให้เกิดการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์ก จะมีลักษณะของการให้ตัวอย่างของข้อมูลหรือชุดการสอน (Training pattern) ซึ่งประกอบด้วยคู่ของค่าพารามิเตอร์นำเข้าและค่าเป้าหมายที่ถูกต้องไว้ เมื่อส่ง 1 ชุดการสอนไปยังโครงข่ายเพื่อประมวลผล หลังจากการคำนวณจะมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับเป้าหมาย เมื่อยังมีค่าผิดพลาดมากกว่าค่าความผิดพลาดที่ตั้งไว้ อยู่จะทำการปรับปรุงค่าน้ำหนักใหม่ เพื่อที่จะหาชุดของค่าน้ำหนักที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่สุด วิธีการปรับค่าน้ำหนักจะใช้เจเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนการนำไปใช้เริ่มจากส่งค่าข้อมูลนำเข้าที่ต้องการจำแนกประเภทจากชั้นนำเข้าข้อมูลไปยังชั้นถัดไป ซึ่งคือชั้นแอบแฝง ที่ชั้นนี้จะมีการคำนวณค่าผลรวมของชุดข้อมูลนำเข้าที่ติดต่อกัน

มายังโหนดนั้นในชั้นแอบแฝงคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละข้อมูลนำเข้า ($\sum X_i W_{ij}$) จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะผ่านฟังก์ชันแอคทีเวชันหรือในที่นี้คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์ และผลลัพธ์สุดท้ายจะเป็นค่าผลลัพธ์ของโหนดหนึ่งในชั้นแอบแฝง (Y_p) และส่งข้อมูลต่อไปยังชั้นผลลัพธ์ ดังรูปที่ 5 [8]

Schematic diagram of PD recognition using artificial neural network trained by genetic algorithm



รูปที่ 5 สถาปัตยกรรมของนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบสร้าง

2.6 การปรับค่าน้ำหนักโดยเจเนติกอัลกอริทึม

การปรับปรุงค่าน้ำหนักแทนที่จะใช้แบกพรอเพกชันตามวิธีทางนิวรอลเน็ตเวิร์กทั่วไปมาปรับปรุงค่าน้ำหนัก ในที่นี้จะใช้เจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization technique) [8] ดังแสดงในไดอะแกรมรูปที่ 6

การนำเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนักมีขั้นตอนดังนี้

1) ทำการสุ่มชุดค่าน้ำหนักขึ้นมา 200 ชุด แต่ละชุดจะประกอบด้วยค่าน้ำหนักทั้งหมดของนิวรอลเน็ตเวิร์ก โดยค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง -1.0 ถึง 1.0

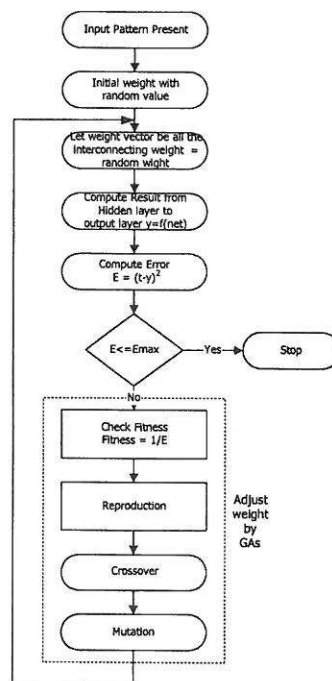
2) ทำการคำนวณหาค่าผลลัพธ์จากฟังก์ชันความเหมาะสมที่ได้จากทุกชุดค่าน้ำหนัก โดยฟังก์ชันความเหมาะสมเท่ากับส่วนกลับของค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์ นั่นคือถ้าค่าฟังก์ชันความเหมาะสมมีค่ามาก ค่าความผิดพลาดของนิวรอลเน็ตเวิร์กจะมีค่าน้อย

3) เข้าสู่กระบวนการรีโพรดักชัน โดยใช้วิธี "Roulette Wheel Parent Selection" [8] เพื่อทำการคัดเลือกค่าน้ำหนักที่เหมาะสมในรุ่นนั้นๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการการต่อไป

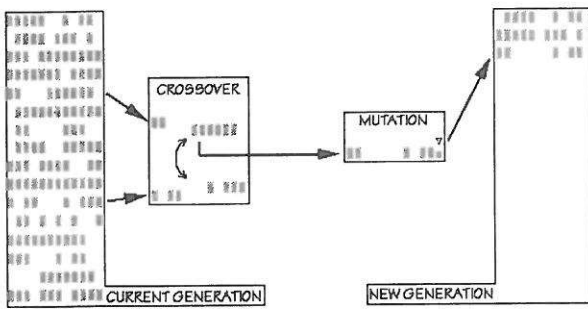
4) เข้าสู่กระบวนการครอสโอเวอร์ โดยทำการจับคู่สมาชิกในกลุ่มและทำการไขว้สลับค่าที่ค่าหลังตำแหน่งที่เลือกได้อย่างสุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 7 ทำให้ได้ค่าน้ำหนักชุดใหม่เพิ่มเติมขึ้นมา

5) เข้าสู่กระบวนการมิวเตชัน โดยทำการสุ่มค่าน้ำหนักที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่สุ่มไว้ขึ้นมาแล้วทำการสุ่มค่าน้ำหนักใหม่ เพื่อทำให้เกิดค่าน้ำหนักชุดใหม่เพิ่มเติมขึ้นอีก ดังรูปที่ 7

6) นำชุดค่าน้ำหนัก จากข้อ 3), 4), 5) ซึ่งจะมีจำนวน 200 ชุด กลับไปทำซ้ำในข้อ 2) อีก จนกระทั่งค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยกว่ากำหนดจึงหยุด



รูปที่ 6 ไดอะแกรมแสดงกระบวนการสอน

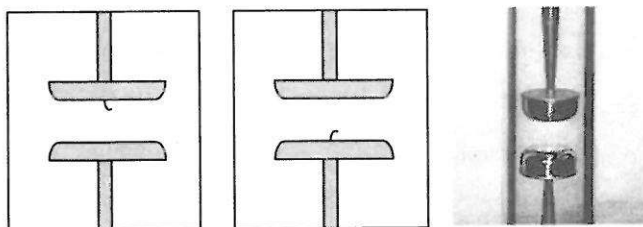


รูปที่ 7 แสดงกระบวนการเจเนติกอัลกอริทึม

3. การสร้างแบบจำลองของการเกิด PD

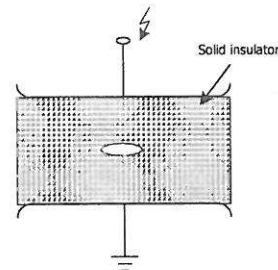
แบบจำลองที่ออกแบบสร้างขึ้นเป็นการจำลองรูปแบบการเกิดดีสชาร์จบางส่วนที่สามารถเกิดขึ้นได้จริงในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยแบบจำลองจะมีรูปแบบของ PD ทั้ง 3 แบบ เมื่อทำการออกแบบจำลอง PD แบบต่างๆแล้ว ได้ทำการประกอบสร้างขึ้นในกระบอกฉนวนครีติก โดยรูปแบบการจำลองมีดังต่อไปนี้

1) การจำลองการเกิดโคโรนาในอากาศ เป็นดีสชาร์จที่เกิดขึ้นบริเวณที่มีปลายแหลมซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง โดยการนำเส้นลวดทองแดงมาติดกับอิเล็กโตรดทางด้านแรงดันสูง และแรงดันต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 8

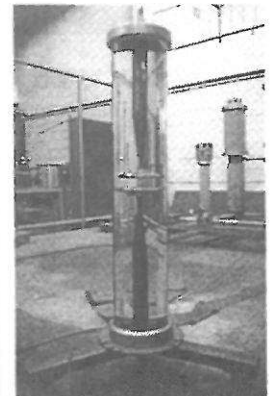


ก) โคโรนาที่ด้านแรงสูง ข) โคโรนาที่ด้านแรงต่ำ ค) แบบจำลองที่สร้างขึ้น
รูปที่ 8 การจำลองการเกิดโคโรนาในอากาศ

2) การจำลองการเกิดดีสชาร์จภายในฉนวนแข็งจะทำการจำลองโพรงอากาศเล็กๆให้เกิดขึ้นภายในแผ่นฉนวนครีติก ดังรูปที่ 9 ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมส่วนต่างๆของฉนวน ถ้าเกิดแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศสูงเกินกว่าค่าความคงทนต่อแรงดันที่โพรงอากาศสามารถทนได้ จะทำให้เกิดเบรกดาวนหรือดีสชาร์จเฉพาะบริเวณโพรงอากาศ



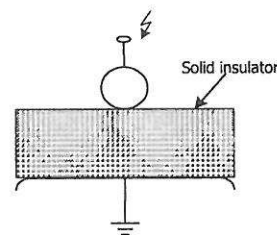
ก) ดีสชาร์จภายใน



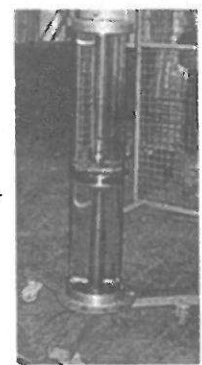
ข) แบบจำลองที่สร้างขึ้น

รูปที่ 9 การจำลองการเกิดดีสชาร์จภายใน

3) การจำลองการเกิดดีสชาร์จตามผิว ทำโดยใช้แผ่นฉนวนครีติก คั่นระหว่างอิเล็กโตรดทรงกลมกับอิเล็กโตรดระนาบ การนำแผ่นฉนวนครีติก มาคั่นจะทำให้มีรอยต่อของฉนวน 2 ชนิดซึ่งมีค่าเปอร์มิตติวิตีต่างกัน คือ อากาศกับแผ่นฉนวนครีติก ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งบริเวณรอยต่อของฉนวน 2 ชนิดจะมีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูง



ก) ดีสชาร์จตามผิว



ข) แบบจำลองที่สร้างขึ้น

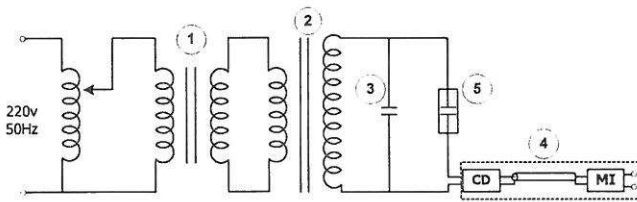
รูปที่ 10 การจำลองดีสชาร์จตามผิว

4. การทดสอบและประเมินผล

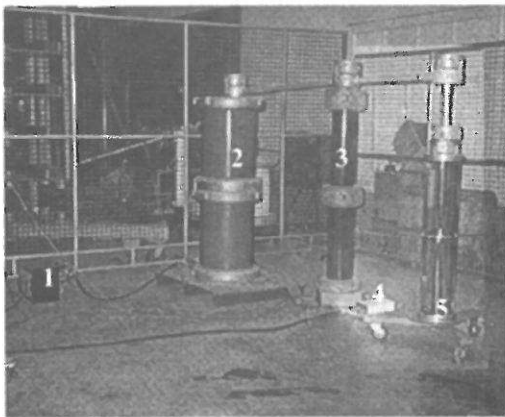
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองเพื่อเก็บฐานข้อมูลของการเกิด PD แบบต่างๆ ที่ได้ทำการจำลองขึ้นจะกระทำโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ PD มาตรวจจับ PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง วงจรทดสอบแสดงดังรูปที่ 11 ในวงจรทดสอบจริงไม่มีการต่อตัวกรองสัญญาณเข้าไป

ในวงจรเนื่องจากในหม้อแปลงทดสอบมีอิมพีแดนซ์เป็นตัวเหนี่ยวนำอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องต่อตัวกรองสัญญาณเข้าไปอีก นอกจากนี้ในวงจรทดสอบ PD ทั่วไปจะใช้ Coupling capacitor ขนาด 1 nF แต่ในการทดสอบนี้จะใช้ขนาด 50 pF เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับหม้อแปลงทดสอบไม่สามารถทนกระแสได้



ก) วงจรทดสอบ



ข) วงจรทดสอบจริง

รูปที่ 11 วงจรในการทดสอบจริงอุปกรณ์ทดสอบมีดังนี้

- 1) หม้อแปลงชดเชยแยก (Isolating Transformer)
- 2) หม้อแปลงทดสอบ 200kV 10 kVA
- 3) Coupling capacitor 50 pF 200kV
- 4) อุปกรณ์รับสัญญาณ (CD)
- 5) อุปกรณ์ทดสอบที่ทำการจำลองขึ้นดังรูปที่ 10

4.2 การทดลองตรวจจับ PD

ขั้นตอนการทดลองตรวจจับ PD มีขั้นตอนดังนี้

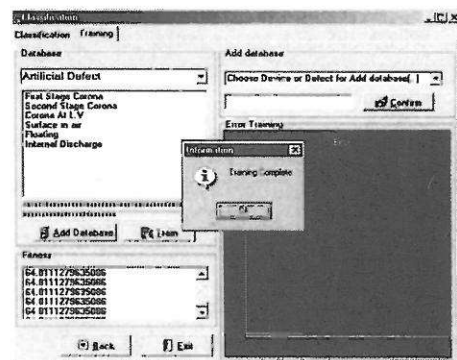
- 1) ทำการสอบเทียบวงจรทดสอบโดยใช้เครื่องสอบเทียบมาตรฐานป้อนประจุสอบเทียบคร่อมที่ขั้วไฟฟ้าของวัสดุทดสอบ
- 2) จากรูปที่ 11 ทำการปลดแบบจำลอง PD ออกแล้วป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบเริ่มจากศูนย์และเพิ่มแรงดันขึ้นอย่าง

สม่ำเสมอจนถึง 70 กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันพิกัดของเครื่องวัดพบว่าไม่เกิด PD ใดๆขึ้น

3) นำแบบจำลอง PD แบบต่างๆที่สร้างขึ้นต่อเข้าวงจรแล้วทำการป้อนแรงดันให้แก่วงจรอีกครั้ง พบว่าในแบบจำลอง PD แต่ละแบบจะเกิดที่ระดับแรงดันแตกต่างกัน

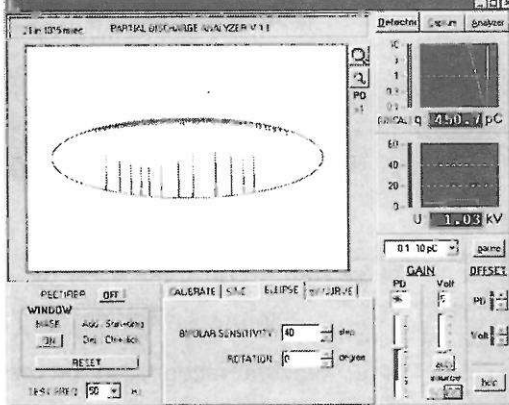
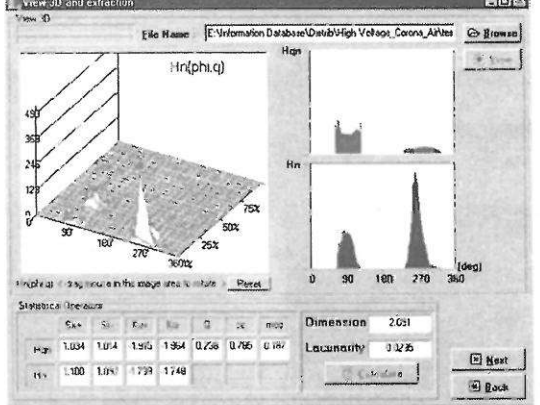
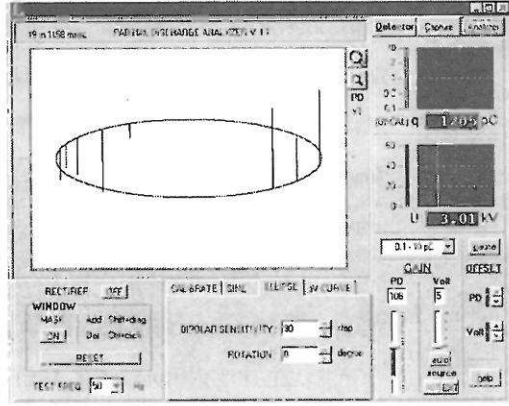
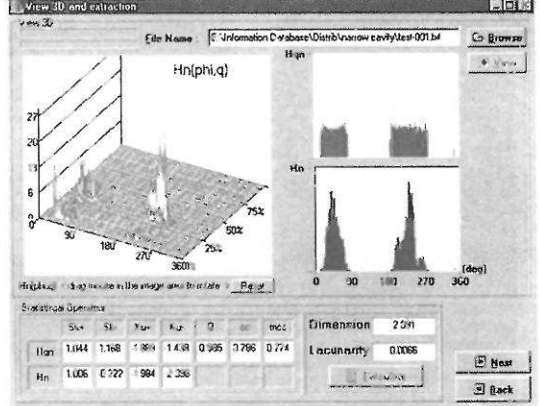
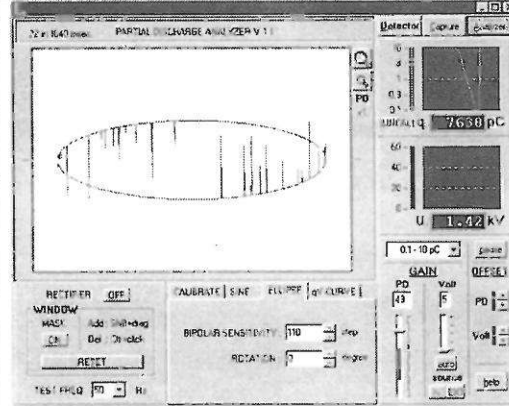
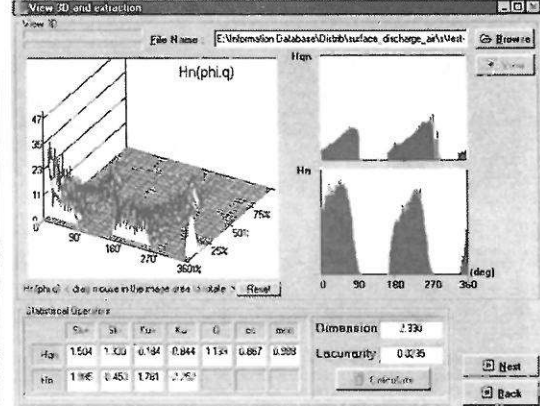
ผลการทดลองการเกิด PD ของแบบจำลอง PD ที่สร้างขึ้นพบว่ารูปแบบที่สังเกตได้บนฐานเวลารูปวงรีของเครื่องวัด PD สอดคล้องกับรูปแบบของสัญญาณ PD ที่แสดงไว้ในรายงานการวิจัยของ CIGRE [9]

ในตารางที่ 1 ผลการวัด PD ในฐานเวลารูปวงรีเปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายของ PD ในรูป 3 มิติ $H_n(\phi, q)$ ซึ่งการกระจาย $H_n(\phi, q)$ ได้มาจากรูปแบบการเกิด PD ที่แสดงบนฐานเวลารูปวงรี โดยทำการเก็บข้อมูล 250 คาบเวลา มาทำการวาดเป็น 3 มิติ โดยแกน x เป็นเฟสของแรงดัน, แกน y เป็นจำนวนครั้งที่เกิด PD ขึ้นในเฟสแรงดันนั้นๆ และแกน z เป็นขนาดของประจุปรากฏของ PD จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาการกระจาย $H_{qn}(\phi)$ และ $H_n(\phi)$ การวัด PD ที่แสดงผลในรูป 3 มิติ(ตารางที่1) จะพบว่ามีลักษณะเฉพาะแบบที่ชัดเจนที่สามารถบอกได้ว่าเป็น PD ชนิดใด ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัย [2] จึงคำนวณค่าคุณลักษณะของรูปแบบการกระจายโดยใช้ค่าทางสถิติ และค่าแฟร็กทัล เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสอนให้กับระบบ ให้ระบบมีความสามารถในการจำแนกประเภทของการเกิด PD ได้ ว่าเป็น PD ชนิดใดและระดับใด โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ฟอรัมการสอนให้กับระบบ

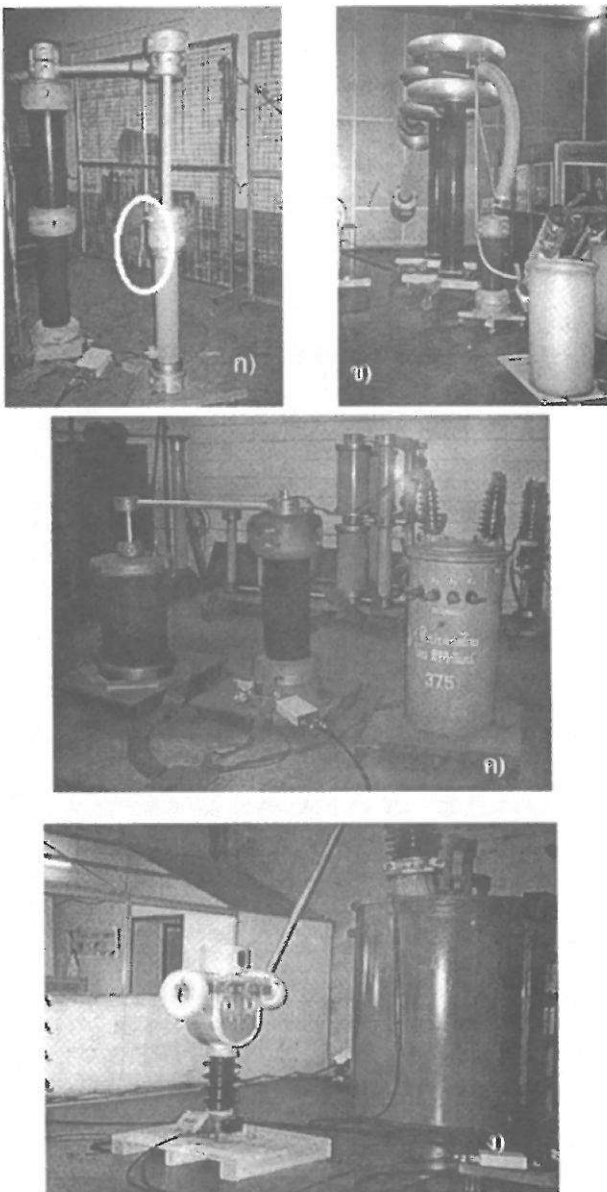
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะการแสดงผล PD บนฐานเวลาแบบวงรีและในรูปแบบการกระจาย $H_n(\phi, q)$

ชนิด PD	การแสดงผล PD บนฐานเวลาแบบวงรี	การแสดงผล PD ในรูปแบบการกระจาย $H_n(\phi, q)$																					
โคโรนา - ลักษณะของโคโรนาที่แสดงบนฐานเวลารูปวงรี PD จะเกิดที่มุมเฟส 270 องศา สำหรับแรงดันเริ่มต้น เมื่อแรงดันสูงขึ้น PD จะเกิดในช่วง 90 องศาด้วย		 <table><tr><th>Stat</th><th>St</th><th>Fun</th><th>Ru</th><th>Q</th><th>pc</th><th>mc</th></tr><tr><td>Hn</td><td>1.034</td><td>1.014</td><td>1.955</td><td>1.964</td><td>0.756</td><td>0.187</td></tr><tr><td>Hn</td><td>1.100</td><td>1.101</td><td>1.733</td><td>1.748</td><td></td><td></td></tr></table> Dimension: 2.631 Lacunarity: 0.125	Stat	St	Fun	Ru	Q	pc	mc	Hn	1.034	1.014	1.955	1.964	0.756	0.187	Hn	1.100	1.101	1.733	1.748		
Stat	St	Fun	Ru	Q	pc	mc																	
Hn	1.034	1.014	1.955	1.964	0.756	0.187																	
Hn	1.100	1.101	1.733	1.748																			
ดิสชาร์จภายใน - ลักษณะของดิสชาร์จภายในที่แสดงบนฐานเวลา รูปวงรี PD จะเกิดในช่วงมุมเฟสระหว่าง 0 - 90 องศา และ 180-270 องศา		 <table><tr><th>Stat</th><th>St</th><th>Fun</th><th>Ru</th><th>Q</th><th>pc</th><th>mc</th></tr><tr><td>Hn</td><td>1.044</td><td>1.168</td><td>1.884</td><td>1.418</td><td>0.905</td><td>0.774</td></tr><tr><td>Hn</td><td>1.005</td><td>0.722</td><td>1.984</td><td>2.336</td><td></td><td></td></tr></table> Dimension: 2.591 Lacunarity: 0.0065	Stat	St	Fun	Ru	Q	pc	mc	Hn	1.044	1.168	1.884	1.418	0.905	0.774	Hn	1.005	0.722	1.984	2.336		
Stat	St	Fun	Ru	Q	pc	mc																	
Hn	1.044	1.168	1.884	1.418	0.905	0.774																	
Hn	1.005	0.722	1.984	2.336																			
ดิสชาร์จตามผิว - ลักษณะของดิสชาร์จตามผิวที่แสดงบนฐานเวลารูปวงรี PD จะเกิดในช่วงมุมเฟสระหว่าง 0 - 90 องศา และ 180-270 องศา		 <table><tr><th>Stat</th><th>St</th><th>Fun</th><th>Ru</th><th>Q</th><th>pc</th><th>mc</th></tr><tr><td>Hn</td><td>1.504</td><td>1.100</td><td>0.134</td><td>0.844</td><td>1.134</td><td>0.867</td></tr><tr><td>Hn</td><td>1.185</td><td>0.451</td><td>1.761</td><td>2.761</td><td></td><td></td></tr></table> Dimension: 2.334 Lacunarity: 0.0035	Stat	St	Fun	Ru	Q	pc	mc	Hn	1.504	1.100	0.134	0.844	1.134	0.867	Hn	1.185	0.451	1.761	2.761		
Stat	St	Fun	Ru	Q	pc	mc																	
Hn	1.504	1.100	0.134	0.844	1.134	0.867																	
Hn	1.185	0.451	1.761	2.761																			

4.3 การทดลองตรวจจับ PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ

เมื่อระบบได้รับการสอนเสร็จสิ้นแล้วระบบจะมีความสามารถในการจำแนกรูปแบบการเกิด PD ได้ การทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบในการจำแนกประเภทของการเกิด PD ทำได้โดยการนำวัสดุทดสอบที่มีจุดบกพร่องที่ทราบแน่ชัดดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 วัสดุทดสอบ ที่ใช้ในการทดสอบจริงมีดังนี้

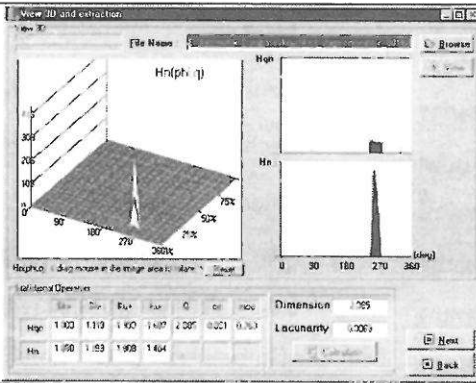
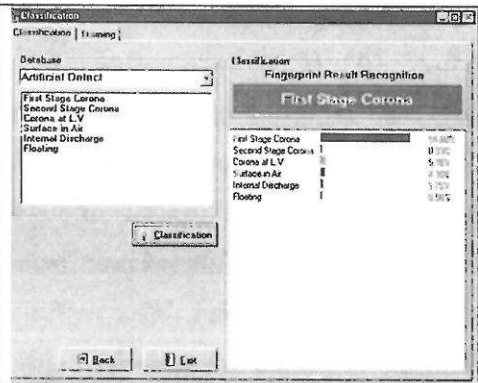
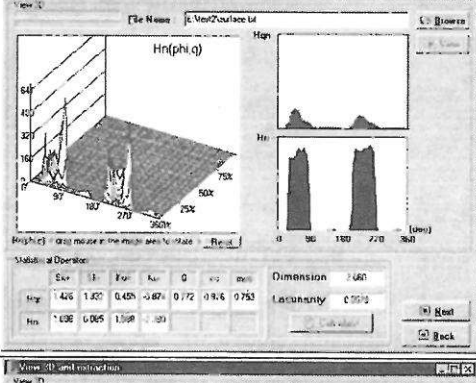
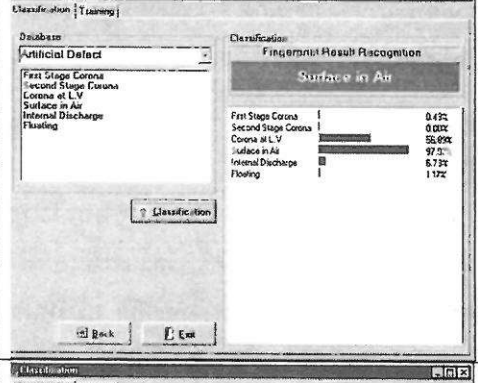
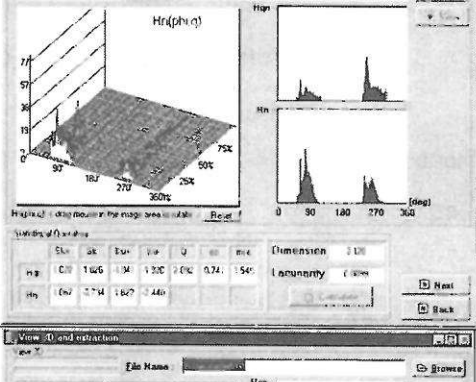
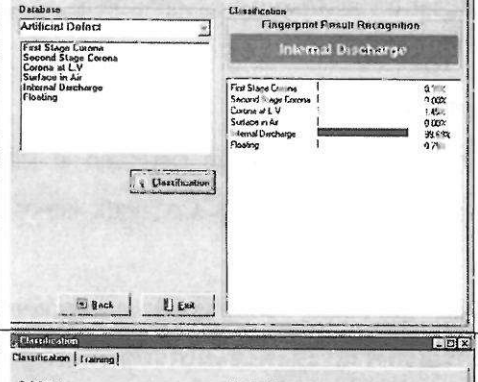
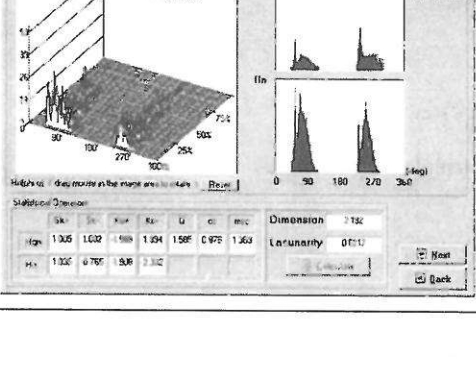
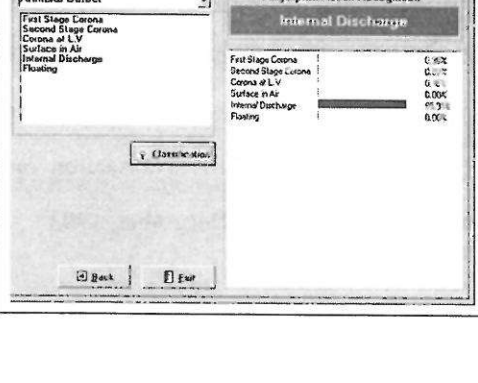
- 1) ทดสอบตัวเก็บประจุ 100pF ที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2) ทดสอบเคเบิล XLPE 12/21 kV ที่โรงงานบางกอกเคเบิล
- 3) หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 24 kV ที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 4) ทดสอบหม้อแปลงกระแส CT 36 kV ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

4.3.2 ผลการจำแนก PD ด้วย PRP

การทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของโปรแกรม PRP (Pattern recognition program) ที่ออกแบบขึ้นในการจำแนกประเภทของการเกิด PD ที่เกิดในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงดังรูปที่ 13 ที่มีจุดบกพร่องที่ทราบแน่ชัด นำผลที่ได้จากการทดสอบไปแยกแยะและวิเคราะห์หาสาเหตุและชนิดแบบของการเกิด PD ซึ่งผลการจำแนกโดยใช้โปรแกรม PRP ที่ได้ทำการสอนให้กับระบบเสร็จสิ้นแล้ว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโปรแกรม PRP สามารถจำแนกรูปแบบของการเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้ชัดเจน โดยเปรียบเทียบกับผลที่แสดงในรูปการกระจาย 3 มิติ ดังแสดงในตารางที่ 2 คือ

- 1) การทดลองในรูปที่ 13ก) แบบ 3 มิติ แสดงผลเป็น PD แบบโคโรนา และ PRP ซึ่ว่าเป็นโคโรนาอย่างเด่นชัด
- 2) การทดลองในรูปที่ 13ข) แบบ 3 มิติ แสดงผลเป็น PD แบบดีสชาร์จตามผิว และ PRP ซึ่ว่าเป็นดีสชาร์จตามผิวอย่างเด่นชัด
- 3) การทดลองในรูปที่ 13 ค) และ ง) แบบ 3 มิติ แสดงผลเป็น PD แบบดีสชาร์จภายใน และ PRP ซึ่ว่าเป็นดีสชาร์จภายในอย่างเด่นชัด

ตารางที่ 2 ผลการตรวจจับสน PD ในรูปการกระจาย 3 มิติ และผลการจำแนก PD ในวัสดุทดสอบแบบต่างๆ

การทดสอบ	ผลการตรวจจับสน PD ในรูปการกระจาย 3 มิติ	ผลการจำแนก
การทดลอง ในรูป 13 ก) ตัวเก็บประจุแรงสูงมีเส้นลวดติดที่ด้านแรงสูง ผลการตรวจจับสน PD แบบโคโรนา		
การทดลอง ในรูป 13 ข) เคเบิล XLPE ผลการตรวจจับสน PD เป็นแบบดีสชาร์จตามผิว		
การทดลอง ในรูป 13 ค) หม้อแปลงจำหน่าย ผลการตรวจจับสน PD เป็นแบบดีสชาร์จภายใน		
การทดลอง ในรูป 13 ง) หม้อแปลงกระแส CT ผลการตรวจจับสน PD เป็นแบบดีสชาร์จภายใน		

5. สรุป

โปรแกรมการรู้จำรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วนที่พัฒนาขึ้น (PRP) ได้ทำการจำลองรูปแบบของการเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูล และใช้ค่าทางสถิติที่คำนวณจากการกระจาย $H_{qn}(\phi)$, $H_n(\phi)$ และค่าแฟร็กทัลที่คำนวณจากการกระจายแบบ 3 มิติ $H_n(\phi, q)$ มาคำนวณหาคุณลักษณะของการเกิด PD ที่สำคัญพบว่าการคำนวณค่ารูปแบบของการเกิด PD ในแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปนอร์มัลไลซ์แล้วทำให้การจำแนกมีความถูกต้องสูง นอกจากนี้การนำเงื่อนไขการเกิดดีสชาร์จมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนักของนิวรอลเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมของนิวรอลเน็ตเวิร์กในการนำไปจำแนกประเภทของการเกิด PD มีความถูกต้องของการจำแนกถึง 85 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับความสนับสนุนเงินทุนจากศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริษัทบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Kreuger, F. H., "Discharge Detection in High Voltage Equipment", Butterworth & Co., Ltd., London, 2nd ed., 1989, pp. 7-85
2. รัฐภูมิ วุฒิจำนงค์. "เครื่องวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นฐาน". วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2542
3. Kreuger, F. H., Gulski, E and Krivda, A., "Classification of Partial Discharge" IEEE Transaction on Electrical Insulation Vol. 28, No.6, December, 1993
4. Gulski, E and Kreuger, F. H., "Computer-Aided Recognition Discharge Source", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol. 27, No.1, February, 1992
5. Hauschild W. and Mosch W., "Statistical Techniques for High-Voltage Engineering", UK, Peter Peregrinus, 1992
6. อุทัย ธิติประยูรวงศ์, "การจัดลำดับการกลั่นที่เหมาะสมโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2542
7. Srinivas, M and Patnaik, L. M., "Learning Neural Network Weights Using Genetic Algorithm-Improving Performance by Search-Space Reduction", IEEE Transaction, pp. 2331-2336, 1991
8. เกวริน วิเศษจินดาวัฒน์, "การรู้จำรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2544
9. Working Group 21.03 CIGRE, "Recognition of Discharges", Electra, Vol. 11, pp. 61-98, 1969