

การประยุกต์ใช้การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทย

รฐนนท์ ศรีเผือก¹ ศุภกิตต์ โชติโก²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชากรูทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

และ กิตติมศักดิ์ ดิกะโกศล³

บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด

58 ซอยนวมินทร์ 98 ถนนนวมินทร์ แขวงคันนายาว เขตคันนายาว กรุงเทพมหานคร 10230

บทคัดย่อ

การตรวจสอบและวินิจฉัยคุณภาพของฉนวนไฟฟ้านั้นถือเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแรงสูง โดยการตรวจติดตามอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะทำให้พบความบกพร่องในอุปกรณ์ก่อนที่จะได้รับความเสียหาย และจะทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งเทคนิคการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสูงสุดวิธีหนึ่งในการตรวจสอบฉนวน ทั้งในแง่ของความเสื่อมของฉนวนหรือการเกิดเบรกดาวน์ในเนื้อฉนวน เมื่อเทียบกับการตรวจสอบโดยวิธีอื่น เช่น วิธีการทางเคมีหรือวิธีตรวจจับความร้อน ซึ่งในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละครั้งจะปลดปล่อยพลังงานออกมาและทำให้เกิดปรากฏการณ์บางอย่างซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของพลังงานต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล พลังงานแสง และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า บทความนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์เทคนิคการตรวจวัดและการวิเคราะห์การดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ โดยใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ ในการตรวจวัดอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง นอกจากนี้ยังได้แสดงกรณีศึกษา ซึ่งเป็นประสบการณ์โดยตรงของผู้เขียนในการวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์ในระบบไฟฟ้าแรงสูง 3 กรณี ได้แก่ การวัดการดิสชาร์จบางส่วนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ ซึ่งในทั้ง 3 กรณีนี้ได้ตรวจพบการดิสชาร์จบางส่วนและระบุตำแหน่งได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ ซึ่งยืนยันได้จากร่องรอยการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นภายในเนื้อฉนวน ซึ่งระบุไว้ใน การตรวจวัด โดยกรณีศึกษาทั้ง 3 นั้นเป็นการตรวจวัดจริงที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

คำสำคัญ : การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ / อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

* Corresponding Author : supakit.cho@kmutt.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

³ ประธานบริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด

Application of On-line Partial Discharge Measurement for High Voltage Equipment in Thailand

Ratanon Sriphuek¹, Supakit Chotigo^{2*}

King Mongkut's University of Technology Thonburi,
126 Pracha Uthit Rd., Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand

and Kittimasak Tikakosol³

Advance Power Equipment Company Limited (Thailand),
58 Soi Nawamindra 98, Kannayao, Kannayao, Bangkok 10230

Abstract

Insulation monitoring and diagnosis is a condition-based maintenance and essential for an economic usage of high-voltage equipment. Appropriate monitoring and diagnosis before severe faults occurs makes it possible to control and operate a power system in a more reliable, effective, and sustainable way. Compared to other monitoring techniques such as chemical and thermal techniques, partial discharge (PD) monitoring seems to be the most promising methodology for detecting possible dielectric breakdown, aging and, ultimately, faults in power system components. PD is indeed an important indicator of an insulation condition in medium voltage (MV) and high voltage (HV) systems. The PD phenomenon is exhibited in various observable forms such as electrical, mechanical, optical and electromagnetic energies. The objectives of this paper were to present the application of on-line PD measurement and monitoring technology for the insulation condition assessment in medium and high voltage systems. The paper presents some of the sensor technology used to measure power cables, switchgear, transformers, and rotating machines for on-line PD. The paper also includes case studies of past experiences carried out by authors when using on-line PD measurement in various MV & HV assets in Thailand. Three cases studies are presented; generator, transformer and gas insulated switchgear. The efficiency and accuracy of on-line PD measurement was indicated by burn mark at equipment part as analyzed via partial discharge measurement.

Keywords : On-line Partial Discharge Measurement / High Voltage Equipment

* Corresponding Author : supakit.cho@kmutt.ac.th

¹ Student of Philosophy Degree of Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.

² Lecturer of Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.

³ President of Advance Power Equipment Company Limited (Thailand).

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นพลังงานที่สำคัญที่สุดเพื่อใช้ในสิ่งอำนวยความสะดวกสบายต่างๆ ในการที่จะทำให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ จำเป็นจะต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าและเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษานั้นต้องมีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูง ซึ่งการที่ระบบไฟฟ้าล้มเหลวในแต่ละครั้งนั้นสร้างค่าใช้จ่ายเป็นเงินจำนวนมากศาล โดยเฉพาะโรงงานหรืออาคารที่ต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบการผลิต ซึ่ง [1] ได้แนะนำสมมติฐานของค่าความเสื่อมสภาพของฉนวนตามทฤษฎีสมการของ Arrhenius ซึ่งกล่าวไว้ว่าที่อายุของฉนวนจะมีฟังก์ชันเหมือนกับลอการิทึม ดังสมการที่ 1

$$\log_{10} \text{life}(\text{Hour_of_life}) = A + \frac{B}{T} \quad (1)$$

A, B คือค่าคงที่

T คืออุณหภูมิของฉนวน

ดังนั้นการใช้ระบบตรวจติดตามที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถใช้ในการตรวจสอบและพัฒนาาระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การตรวจสอบการดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD) ถือว่าเป็นวิธีที่มีศักยภาพสูงวิธีหนึ่งในวิธีการตรวจติดตามและการตรวจสอบความผิดพลาดของการฉนวนก่อนที่จะเกิดขึ้นในระบบและทำให้ระบบล้มเหลว โดยในปัจจุบันนี้ได้มีวิธีการตรวจสอบความผิดปกติในระบบหรือการดิสชาร์จบางส่วนในแบบออนไลน์ คือสามารถตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนได้โดยไม่ต้องทำการปิดระบบก่อน ซึ่งในการตรวจวัดวิธีนี้ คือวิธีการวิเคราะห์เชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance, PDM) โดยการตรวจจับด้วยวิธีการวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์นั้นถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบและเป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ความผิดพลาดของระบบในเวลาที่เกิดขึ้นจริง (Real Time) อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดและวิเคราะห์การดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละอุปกรณ์จะมีพื้นฐานคล้ายๆ กัน แต่จะแตกต่างกันในวิธีการตรวจวัด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแต่ละอุปกรณ์ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สวิตช์เกียร์ สายเคเบิลแรงสูง มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในบทความนี้ได้อธิบายถึงประสบการณ์การวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ของผู้เขียนที่ได้ทำการวัดในระบบไฟฟ้าแรงสูงหลายแห่งในประเทศไทย ซึ่งในที่นี้จะรวมไปถึงทั้งหน่วยงานของเอกชนและรัฐบาล เช่น หน่วยงานผลิตไฟฟ้า หน่วยงานพลังงานทดแทน เรือชุดเจาะน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันและก๊าซ การทางรถไฟ เป็นต้น โดยในการริเริ่มโครงการตรวจสอบการดิสชาร์จแบบออนไลน์กับทางหน่วยงานต่างๆ ส่วนใหญ่นั้นจะเกิดความเสียหายในระบบไฟฟ้าแรงสูงก่อนที่จะนำไปสู่การตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์ในระบบไฟฟ้าแรงสูงที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาทดแทนระบบเก่าที่เสียหายไป

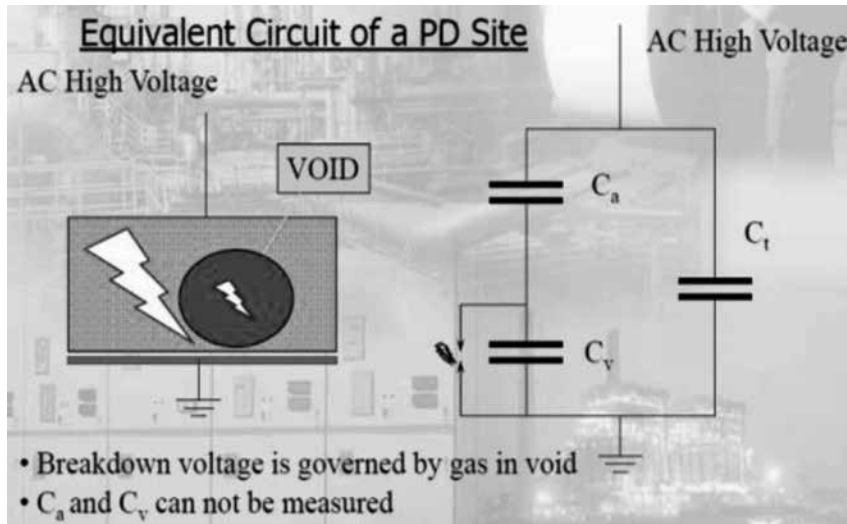
โดยปัญหาเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิล สวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นในการตรวจการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจสอบการฉนวนแบบอื่นๆ และจะทำให้ระบบไฟฟ้านั้นมีเสถียรภาพและมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น

2. การเกิดการดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD)

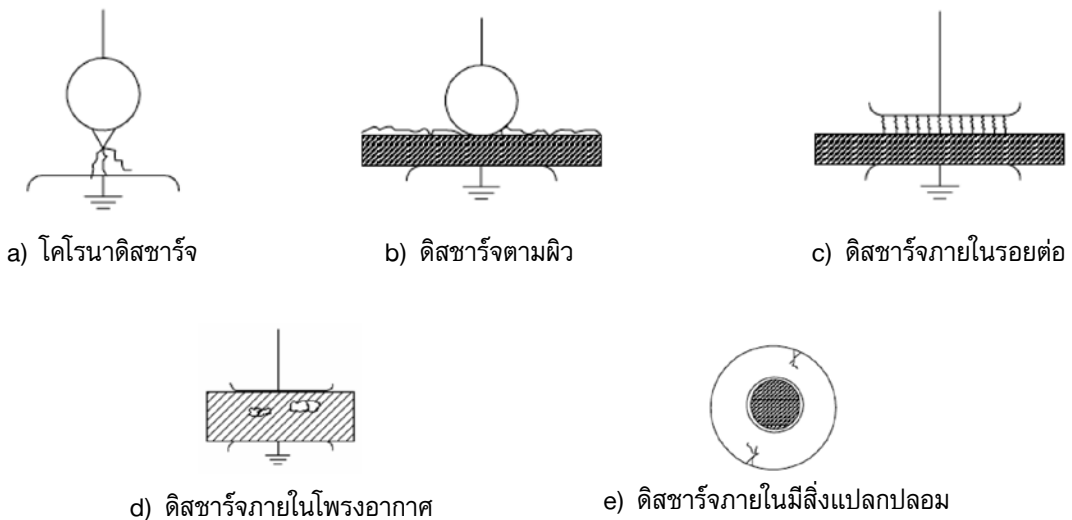
การเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD) คือการเกิดการเสียหายการเป็นฉนวนเพียงบางส่วนของระบบการฉนวนและจะมีลักษณะคล้ายเป็นตัวเก็บประจุแฝงซึ่งจะทำให้เกิดการดิสชาร์จที่ไม่ได้เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโตรดต้ววงจรสมมูลในรูปที่ 1 ซึ่งถือว่าไม่ได้เป็นการเสียหายการเป็นฉนวนสมบูรณ์ทั้งระบบ การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันหรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต การดิสชาร์จบางส่วนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักคือ 1) โคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge), 2) ดิสชาร์จตามผิว (Surface Discharge) และ 3) ดิสชาร์จบางส่วนแบบภายใน (Internal Discharge) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 โดยการดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละครั้งจะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวนในลักษณะชนกระแทกเป็นเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุดเป็นผลทำให้

ฉนวนเสียเป็นจุดๆ และเกิดความผิดปกติของขยายตัวมากขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวนอย่างสมบูรณ์ได้ทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายและอายุการใช้งานของฉนวนจะลดลง ซึ่งในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะให้สัญญาณซึ่งอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น แสง เสียง รั้งสี ปฏิกริยาเคมี คลื่นความถี่วิทยุ และผลทางไฟฟ้า เป็นต้น [2] ผลของดิสชาร์จ

ทำให้เกิดพลังงานสูงเป่าและยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบการฉนวน ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็ว อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง และนำไปสู่การเบรกดาวนในที่สุด ดังในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงการล้มเหลวในระบบซึ่งเป็นผลมาจากความเสื่อมของการฉนวน



รูปที่ 1 วงจรสมมูลในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน [2]



รูปที่ 2 ประเภทของการดิสชาร์จบางส่วน [2]



รูปที่ 3 ความล้มเหลวของการฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงซึ่งเกิดจากการดิสชาร์จบางส่วน (จากการสำรวจ
 หน่วยงานของบริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

3. การวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์และออฟไลน์ (On-line PD V.S. Off-line PD Measurement System)

ในบทความนี้การตรวจสอบการดิสชาร์จแบบออนไลน์นั้นหมายถึงระบบที่มีสถานะดังต่อไปนี้

- ตรวจวัดการดิสชาร์จในขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงทำงานอยู่ในสภาวะปกติ
- ทำการตรวจติดตามได้อย่างต่อเนื่อง (Continuous Monitoring)
- ไม่จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกเพื่อที่จะจ่ายไฟเข้าอุปกรณ์ที่ต้องการตรวจวัดเพื่อจำลองการใช้งาน (External Voltage or Current Source)
- สามารถตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนในสภาพการใช้งานปกติ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น การสั่นของอุปกรณ์ และอื่นๆ

ในทางตรงกันข้ามการตรวจสอบการดิสชาร์จแบบออฟไลน์นั้นจะมีลักษณะการตรวจวัดดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบต้องต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกเพื่อจำลองการใช้งานของอุปกรณ์

- ติดตั้งวงจรและอุปกรณ์การตรวจวัดเข้ากับอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ

- ขณะทำการตรวจวัดจำเป็นจะต้องขึ้นแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการทดสอบ

- สามารถหาแรงดันเริ่มต้น (Inception Voltage) และแรงดันสิ้นสุด (Extinction Voltage) ของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนได้

ในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์และออฟไลน์ มีหลักการวัดแตกต่างกันอยู่หลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด สภาวะการตรวจวัด เช่น เซอร์ที่ใช้ในการวัด การวิเคราะห์ผลและการแสดงผลการตรวจวัด โดยจะเห็นว่าข้อเสียหลักๆ ในการวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออฟไลน์คือ ในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ การตรวจวัดแบบออฟไลน์บางครั้งไม่สามารถตรวจจับได้เพราะอุปกรณ์ที่ได้ทำการทดสอบนั้นไม่ได้ถูกนำมาใช้ในสถานการณ์จริงที่มีสภาวะที่แตกต่างจากการทดสอบ เช่น สภาวะการจ่ายโหลด การสั่นในสภาวะใช้งานจริง อุณหภูมิ ความชื้น สภาวะแวดล้อม และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์ที่ได้ผ่านการทดสอบ

การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออฟไลน์นั้น มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสียหายภายในระบบหลังถูกนำมาใช้งานจริงได้ ซึ่งวิธีการนี้นอกจากจะยังมีความยุ่งยากในการตรวจวัดเนื่องจากต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดใหญ่โดยจะต้องสามารถเหนี่ยวนำแรงดันทดสอบให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องการจะทดสอบและยังต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการจะตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนอีกด้วย [3]

อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออฟไลน์นั้นจะให้ความแม่นยำสูงและมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ ซึ่งเป็นเพราะว่าเป็นการวัดในระบบปิดซึ่งสามารถที่จะควบคุมสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดี สำหรับการตรวจสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์นั้นเป็นวิธีที่ยอมรับกันว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการบกพร่องของการฉนวนและแนวโน้มของการดิสชาร์จบางส่วนในสถานะการใช้งานจริงของอุปกรณ์ ซึ่งในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์นั้นควรจะใช้วิธีการและอุปกรณ์ให้เหมาะสมเพื่อจะหาตำแหน่งและแหล่งที่มาของการดิสชาร์จบางส่วนได้อย่างถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็นเซ็นเซอร์ต่างๆ (AE, HFCT, UHF ฯลฯ) การกรองสัญญาณรบกวน การวิเคราะห์ผล รวมไปถึงประสบการณ์ของผู้ทำการวิเคราะห์ผลด้วย ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้การความน่าเชื่อถือ

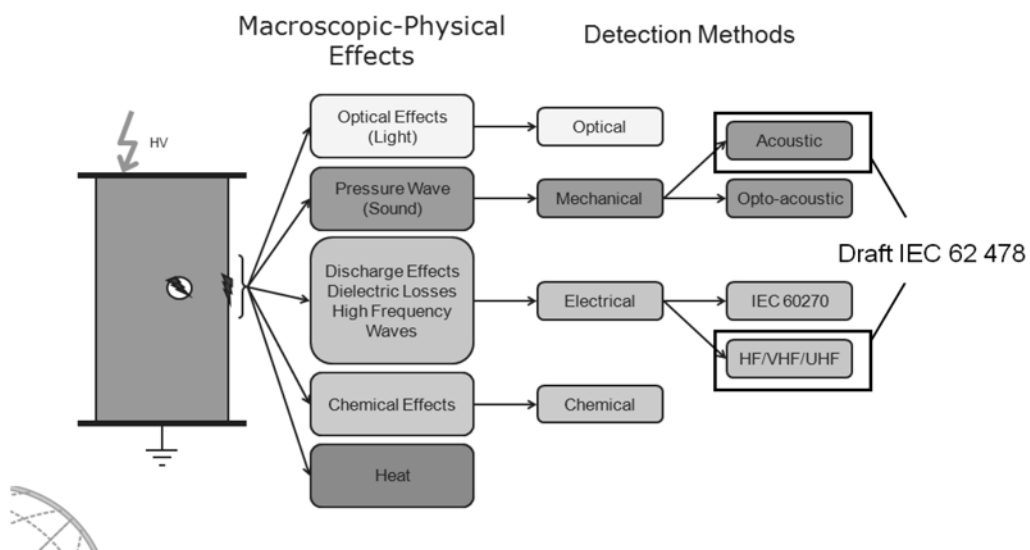
ของการตรวจวัดการดิสชาร์จนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4. เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์

ในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนนั้นอาจจะสามารถทำได้หลายวิธีเนื่องจากในความเป็นจริงนั้นในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละครั้งจะสร้างปฏิกิริยาบางอย่างขึ้นมาโดยจะแปรผันไปตามระบบและสถานะการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบพลังงานต่างๆ เช่น เสียง สัญญาณทางไฟฟ้า ปฏิกิริยาเคมี แสง และสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ ดังนั้นในการตรวจวัดจะใช้วิธีการที่แตกต่างกันออกไปโดยขึ้นกับการประยุกต์ใช้งานดังรูปที่ 4

ในบทความนี้ผู้เขียนจะกล่าวถึงการตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์ด้วยวิธีการจับสัญญาณการดิสชาร์จในแบบ สัญญาณเสียง สัญญาณทางไฟฟ้า และสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเท่านั้น ซึ่งจะอ้างอิงจากแบบร่างของมาตรฐาน IEC 62478 [4] และ IEEE C57.143 [5] นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงการใช้เซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ ในการตรวจจับสัญญาณดิสชาร์จ โดยเซ็นเซอร์แต่ละตัวนั้นจะมีคุณลักษณะและความเหมาะสมในแต่ละอุปกรณ์ที่ต้องการวัดแตกต่างกันออกไปดังที่แสดงในตารางที่ 1

Partial Discharge Detection Principles



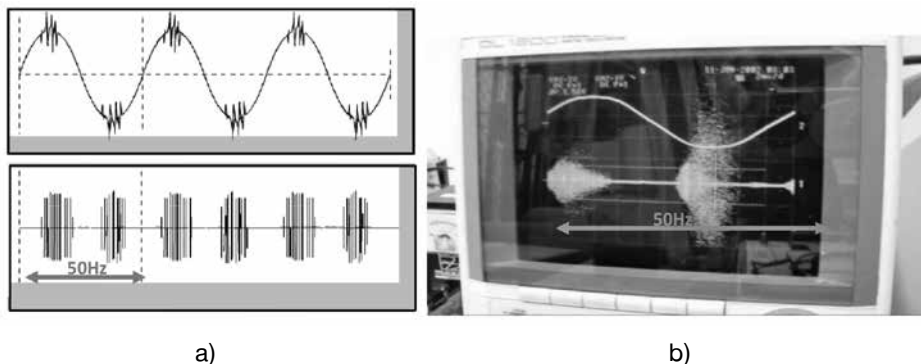
รูปที่ 4 ผลของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนและเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วน (IEC 62478A)

ตารางที่ 1 ความเหมาะสมในการใช้งานเซ็นเซอร์กับอุปกรณ์แต่ละชนิด (จากบริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

Sensor \ Equipment	Cable	Transformer	Gas Insulated Switchgear	Rotating Machine
AE	OK	Good	OK	Good
HFCT	Good	Good	Good	Good
UHF	OK	No	Good	No

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบธรรมชาติของการดิสชาร์จนั้น ถ้าอ้างอิงตามรูปคลื่นไซน์ชื่อยอดดอลที่แรงดันใช้งานจริงนั้น (50 Hz หรือ 20 ms) จะเกิดขึ้น 2 พัลส์ใน 1 คาบเวลา [6,7] คือจะมีพัลส์ของการดิสชาร์จเกิดขึ้นที่ไซเคิลบวกและ

ลบซึ่งเป็นผลมาจากการคายประจุของค่าคาปาซิแตนซ์แฝงภายในฉนวนที่ เมื่อเทียบกับแรงดันที่ใช้งานจริงดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 a) สัญญาณการดิสชาร์จเมื่อเทียบกับแรงดันใช้งาน และ b) สัญญาณของการดิสชาร์จ ซึ่งเป็นการตรวจวัดแบบออฟไลน์ที่ได้ทำการทดลองในห้องทดสอบ (จากการทดลองในห้องแล็บของ บริษัท พาวเวอร์ ฟิตี จำกัด)

4.1 เซ็นเซอร์ตรวจจับเสียง (Acoustic Emission Sensor, AE)

หลักในการตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วน ด้วยเสียงนั้นจะอาศัยหลักการตรวจจับสัญญาณคลื่นความดันที่สร้างขึ้นโดยการดิสชาร์จแบบโคโรนาหรือแบบโพรงอากาศภายในเนื้อฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งจะอยู่ในช่วงความถี่ 100-300 kHz ถือว่าเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงที่มนุษย์เราไม่สามารถได้ยิน โดยในการดิสชาร์จแต่ละครั้ง จะเกิดการระเบิดขนาดเล็กมากซึ่งจะอยู่รอบๆ จุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนและกระตุ้นให้สร้างคลื่นกลและแผ่

กระจายออกมาผ่านฉนวนและสิ่งกีดขวางต่างๆ ภายในอุปกรณ์ ซึ่งความเร็วของคลื่นเสียงนั้นก็ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เสียงนั้นผ่าน นอกจากนั้นเสียงยังมีคุณสมบัติสะท้อนและหักเห จึงทำให้การเดินทางของคลื่นเสียงนั้นถูกการดูดซับจากวัสดุที่คลื่นเสียงนั้นผ่าน ดังนั้นคลื่นของสัญญาณเสียงที่วัดได้อาจเกิดการลดทอนและผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ จึงทำให้การวัดการดิสชาร์จโดยการตรวจจับคลื่นเสียงนั้นอาจจะไม่สามารถหารูปแบบที่แท้จริงของการดิสชาร์จแบบออนไลน์ได้อย่างไรก็ตามประเด็นหลักในการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์เสียงนั้นคือการหาตำแหน่งของการ

ดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์โดยใช้เซ็นเซอร์หลายตัวติดตั้งไว้บนอุปกรณ์ที่ทำการวัดดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นวิธีการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์อื่นๆ นอกจากนี้การตรวจวัดโดยใช้เซ็นเซอร์เสียงนั้นจะมีสัญญาณรบกวนที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าไม่สามารถ

รบกวนคลื่นสัญญาณเสียงได้ ยิ่งไปกว่านั้นการใช้เซ็นเซอร์เสียงยังสามารถตรวจจับการสั่นที่ผิดปกติของอุปกรณ์ได้ ซึ่งอาจเกิดจาก ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดเกิดการหลุดหลวม หรืออาจเกิดจากสิ่งของแปลกปลอมตกอยู่ภายในอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัดอีกด้วย



a)



b)

รูปที่ 6 a) เซ็นเซอร์เสียง (Acoustic Emission Sensor) และ b) การติดตั้งเซ็นเซอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้า (จากการตรวจสอบพนักงานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

4.2 เซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส (High Frequency Current Transducer, HFCT)

ในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนขึ้นในฉนวนจะทำให้ไอเล็กตรอนและไอออนเกิดการเคลื่อนที่ไปในพื้นที่เล็กๆ ในช่วงเวลาที่ยาวนาน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดกระแสพัลส์เล็กๆ ไหลลงสู่ระบบกราวด์อยู่ตลอดเวลาในขณะที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วน โดยในการไหลของกระแสพัลส์ผ่านพื้นที่หนึ่งนั้นแล้วจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นภายในฉนวน หนึ่งในวิธีตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์คือการตรวจจับกระแสพัลส์ซึ่งมีขนาดเล็กมากซึ่งจะมาพร้อมกับการเกิดการดิสชาร์จในระบบ โดยในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้งนั้นจะสร้างจำนวนพัลส์ซึ่งมีความถี่สูง ($\approx 100\text{kHz}$ - 30MHz) ขึ้นมาหลายร้อยพัลส์ต่อวินาทีและขนาด (Amplitude) ของกระแสพัลส์นั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเส้นทางการเดินทางของกระแสพัลส์นั้นๆ ซึ่งอาจจะเกิดจาก คอยล์ ขดลวด บาร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ภายในระบบ ดังนั้นจะเห็นว่าการใช้เซ็นเซอร์กระแสอาจจะไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการหาตำแหน่งของการ

ดิสชาร์จบางส่วน เพราะในการตรวจวัดเซ็นเซอร์กระแสจะถูกติดตั้งเข้ากับสายกราวด์ของอุปกรณ์ที่เราต้องการจะวัดดังรูปที่ 7 b) และเนื่องจากกราวด์ของระบบมีการต่อเชื่อมถึงกันในทุกอุปกรณ์ ดังนั้นสัญญาณที่ตรวจจับได้นั้นอาจจะถูกเหนี่ยวนำมาจากภายในระบบซึ่งอาจจะไม่ใช่ตำแหน่งที่แท้จริงของการดิสชาร์จ [8] อย่างไรก็ตามวิธีการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์กระแสก็ยังเป็นที่นิยมอย่างมากในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนในระบบไฟฟ้า เพราะเป็นเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพและมีความไวสูงต่อการตรวจจับสัญญาณดิสชาร์จ คือจะสามารถตรวจจับรูปแบบกระแสพัลส์ที่แท้จริงของสัญญาณซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์ความรุนแรงของการดิสชาร์จ ประเภทของการดิสชาร์จบางส่วนหรือแม้แต่สัญญาณอาร์คชิ่ง (Arcing) นอกจากนั้นยังสามารถตรวจวัดจำนวนของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในระบบได้อีกด้วย แต่สิ่งสำคัญอีกอย่างในวิธีการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์กระแสจำเป็นต้องมีการใช้การประมวลผลทางสัญญาณ (Signal Processing) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผล โดยเฉพาะเทคนิคการกรอง

สัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณการดิสชาร์จ เพราะในการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์กระแสที่นั้นอาจจะตรวจจับสัญญาณรบกวนเข้ามาด้วยไม่ว่าจะเป็น สัญญาณฮาร์โมนิค

สัญญาณจากอินเวอร์เตอร์ หรือสัญญาณอื่นๆ ภายในระบบ ซึ่งอาจจะทำให้ผู้วิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ผิดพลาดไปจากความเป็นจริงได้



a)



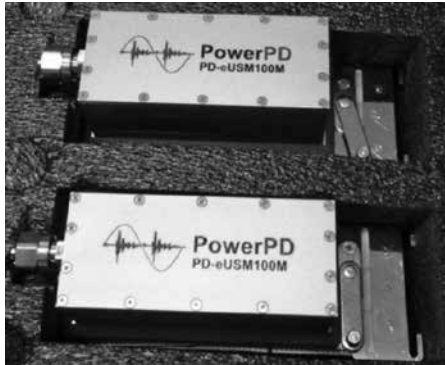
b)

รูปที่ 7 a) เซ็นเซอร์กระแส (HFCT Sensor) และ b) การติดตั้งเซ็นเซอร์ที่กราวด์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (จากการตรวจสอบหน้างานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

4.3 เซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุ (Ultra High Frequency Sensor, UHF)

สวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ (Gas Insulated Switchgear) ถือว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นต้องทำการบำรุงรักษาบ่อยครั้ง เนื่องจากมีการใช้ก๊าซ SF_6 ซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนสูงมากและบำรุงรักษาค่อนข้างยาก แต่ในความเป็นจริงแล้วยังมีสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซเกิดความเสียหายอยู่บ่อยครั้ง โดยเฉพาะตำแหน่งของ T Position ของ Disconnecting Switch หรือ Cable Termination End ซึ่งเกิดจากการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซโดยในการเกิดการดิสชาร์จจะกระตุ้นทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้เกิดกระแสพัลส์ไหลเวียนอยู่ภายในรูปทรงกระบอกของสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซซึ่งจากผลที่เกิดขึ้นจะนำไปสู่การเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์และทำให้เกิดความเสียหายของฉนวนภายในสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ ดังนั้นจึงได้มี

การคิดค้นการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนในสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซด้วยวิธีการตรวจวัดในย่านความถี่สูงเป็นพิเศษ (Ultra High Frequency, UHF) เพราะกระแสพัลส์ซึ่งเกิดจากการดิสชาร์จมีความเร็วมากซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการเดินทางนั้นสั้นมาก (nS) จึงทำให้ความถี่ของกระแสพัลส์มีความถี่สูงถึงย่านกิกะเฮิรตซ์ (GHz) [9] โดยเซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุจะถูกออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับเสาอากาศซึ่งถูกพัฒนาให้สามารถตรวจจับคลื่นทรานเซียนท์ได้ (Transient Wave) โดยประสิทธิภาพและความสามารถในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบคลื่นความถี่วิทยุนี้จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับการวัดแบบดั้งเดิม (Conventional Method, IEC60270) [10] โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ด้วยวิธีนี้จะติดตั้งกับฉนวนที่เป็นจุดต่อของสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซดังรูปที่ 8 และจุดต่อนั้นต้องไม่เป็นเหล็กหรืออะลูมิเนียม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการฉนวนจะเป็นอีพ็อกซี (Epoxy)



a)



b)

รูปที่ 8 a) เซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุ (UHF Sensor) และ b) และการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่สวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ (จากการตรวจสอบหน่วยงานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

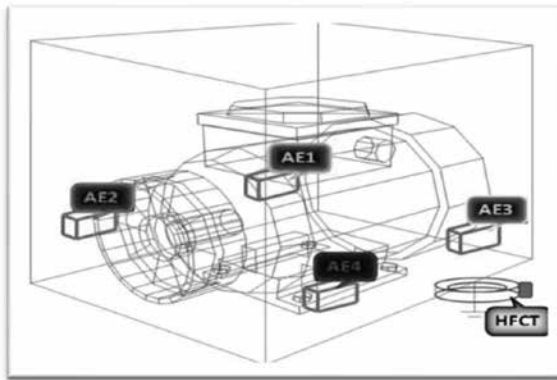
จะเห็นว่าเซ็นเซอร์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างกันออกไป จึงทำให้การตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์โดยใช้เซ็นเซอร์เพียงชนิดเดียวนั้นเป็นเรื่องยาก ดังนั้นทางมาตรฐาน IEC62478 และ IEEE C57.143 จึงได้มีการแนะนำให้ใช้เซ็นเซอร์อย่างน้อย 2 ชนิดในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความถูกต้องในการตรวจวัด

5. กรณีศึกษาการดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

ในบทความนี้จะยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีซึ่งเป็นประสบการณ์การตรวจวัดจากผู้เขียนเอง โดยได้ทำการตรวจวัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และสวิตช์เกียร์แบบก๊าซ [11] ดังต่อไปนี้

5.1 กรณีศึกษาที่ 1 การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำ (Stream Turbine Generator) ขนาด 68.125 MVA แรงดัน 11 KV

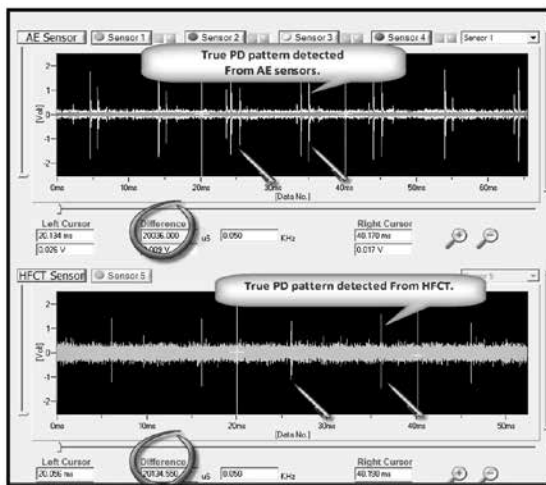
ในกรณีแรกจะเป็นการตรวจวัดการดิสชาร์จของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำของโรงไฟฟ้าเอกชน โดยจะใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจวัดคือ เซ็นเซอร์เสียง 4 ตัวและเซ็นเซอร์กระแส 1 ตัว ซึ่งเซ็นเซอร์เสียงทั้ง 4 นั้นจะถูกนำไปติดตั้งไว้ที่รอบๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในขณะที่เซ็นเซอร์กระแสจะถูกนำไปติดตั้งไว้ที่กราวด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดรูปที่ 9 โดยรูปที่ 9(a) เป็นการจำลองการติดตั้งเซ็นเซอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนรูปที่ 9(b) เป็นการติดตั้งเซ็นเซอร์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการตรวจวัดจริง



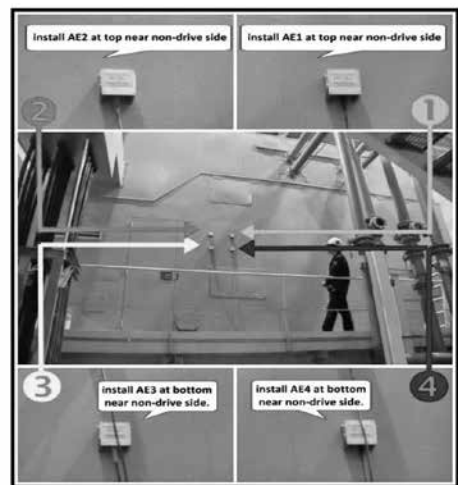
a)



b)



c)



d)

รูปที่ 9 a) การจำลองการติดตั้งเซ็นเซอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, b) การติดตั้งเซ็นเซอร์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 68.125 MVA แรงดัน 11 kV, c) สัญญาณการดิสชาร์จที่ตรวจจับได้จากเซ็นเซอร์เสียง (บน) และเซ็นเซอร์กระแส [8] (ล่าง) และ d) ตำแหน่งการดิสชาร์จของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 68.125 MVA แรงดัน 11 kV (จากการตรวจสอบหน้างานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์และทำการตรวจวัดการดิสชาร์จของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปรากฏว่าทั้งเซ็นเซอร์เสียงและเซ็นเซอร์กระแสทำการตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเซ็นเซอร์ทั้งสองได้แสดงรูปแบบของสัญญาณดิสชาร์จไว้ดังรูปที่ 9c) และหลังจากที่ทำการหาตำแหน่งของการดิสชาร์จโดยการปรับตำแหน่งของเซ็นเซอร์เสียงจนได้ตามในรูปที่ 9d) ทำให้พบว่าการดิสชาร์จนั้นเกิดขึ้นทางด้านขวาของด้านท้าย (Non Drive End) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยที่ระดับความรุนแรงของการดิสชาร์จนั้นเกิดในระดับเล็ก (Minor Level) ซึ่งได้รับการยืนยันจากเซ็นเซอร์กระแส

เมื่อทำการตรวจวัดการดิสชาร์จไปได้ประมาณ 3 เดือน โรงไฟฟ้าได้ทำการปิดระบบเพื่อซ่อมบำรุงรักษาใหญ่ประจำปี โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกทำการเปิดเพื่อทำการตรวจสอบและซ่อมแซม ซึ่งจะเน้นหนักไปที่จุดที่ตรวจพบการดิสชาร์จซึ่งเป็นส่วนของสเตเตอร์ ปรากฏว่าหลังจากทำการตรวจสอบจุดที่พบการดิสชาร์จนั้นได้ทำการเจาะร่องสลีตระหว่างขดลวดสเตเตอร์ออกจะเห็นรอยไหม้ซึ่งเกิดจากการดิสชาร์จดังรูปที่ 10 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเซ็นเซอร์เสียงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูงในการหาตำแหน่งของการดิสชาร์จได้เป็นอย่างดี

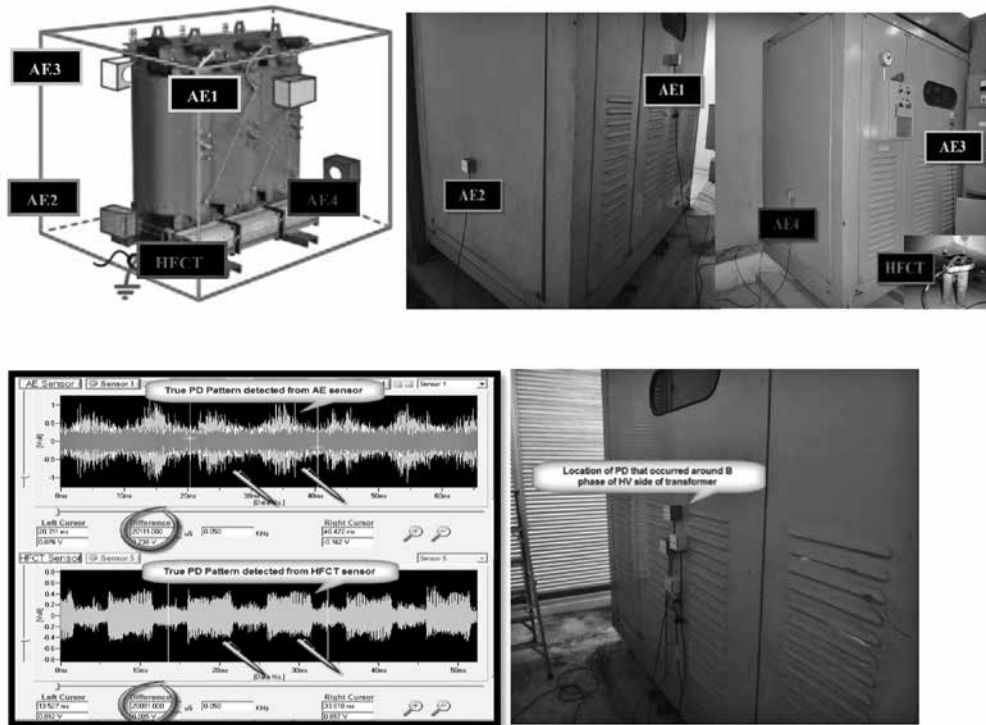


รูปที่ 10 รอยไหม้ภายในสลีตระหว่างขดลวดสเตเตอร์ซึ่งเกิดจากการดิสชาร์จบางส่วน (จากการตรวจสอบหน้างานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

5.2 กรณีศึกษาที่ 2 การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์กับหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง (Dry Type Transformer) ขนาด 1000 kVA แรงดัน 22kV/400V

ในกรณีที่ 2 เป็นการตรวจวัดการดิสชาร์จของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้งซึ่งทำการจ่ายไฟให้กับโรง-

พยาบาล โดยในการตรวจวัดจะใช้เซ็นเซอร์ 2 ชนิดเช่นเดียวกับในกรณีศึกษาแรก โดยจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์เสียงไว้ทั้ง 4 ด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าและติดตั้งเซ็นเซอร์กระแสไว้ที่กราวด์ของหม้อแปลงดังรูปที่ 11 โดยรูปที่ 11 a) เป็นการจำลองการติดตั้งเซ็นเซอร์เข้าหม้อแปลงไฟฟ้า และรูปที่ 11 b) เป็นการติดตั้งเซ็นเซอร์กับหม้อแปลง

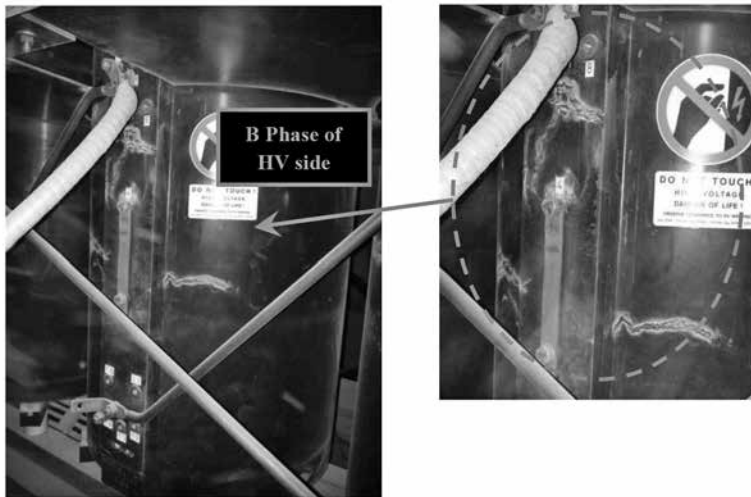


รูปที่ 11 a) การจำลองการติดตั้งเซ็นเซอร์เข้ากับหม้อแปลง, b) การติดตั้งเซ็นเซอร์กับหม้อแปลงแบบแห้งขนาด 1,000 kVA แรงดัน 22kV/400V, c) สัญญาณการดิสชาร์จที่ตรวจจับได้จากเซ็นเซอร์เสียง (บน) และเซ็นเซอร์กระแส (ล่าง) และ d) ตำแหน่งการดิสชาร์จที่เฟส B ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้งขนาด 1,000 kVA แรงดัน 22kV/400V (จากการตรวจสอบหน้างานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

หลังจากการติดตั้งเซ็นเซอร์และทำการตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จ เซ็นเซอร์กระแสและเซ็นเซอร์เสียงที่ 1 (สีเขียวบนในรูปที่ 11 a)) ได้ตรวจพบสัญญาณดิสชาร์จดังในรูปที่ 11 c) จากนั้นได้ทำการหาตำแหน่งของการดิสชาร์จ ได้พบว่าตำแหน่งของการดิสชาร์จเกิดขึ้นที่เฟส B ของฝั่งปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าดังรูปที่ 11 d) โดยยืนยันได้จากเซ็นเซอร์เสียงทั้ง 4 และสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์กระแสนั้นได้บ่งชี้สัญญาณของการดิสชาร์จภายในหม้อแปลงนั้นอยู่ในระดับใหญ่ (Major Level)

หนึ่งอาทิตย์หลังจากที่ได้ทำการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ได้มีการตรวจสอบและซ่อม

บำรุงหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้งเนื่องจากสัญญาณที่ได้นั้นมีความอันตรายที่เสี่ยงต่อการเสียหายของหม้อแปลงสูงถ้าหากยังใช้งานต่อไปอย่างต่อเนื่อง หลังจากที่ได้ทำการเปิดฝาคอรของหม้อแปลงออกได้ทำการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) โดยจะเจาะลงไปเฟส B ของฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ปรากฏว่าพบร่องรอยของการดิสชาร์จตามผิวของฉนวนของหม้อแปลงดังรูปที่ 12 และได้ทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจะเห็นว่าการตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์นั้นมีประโยชน์อย่างมากซึ่งทำให้สามารถตรวจพบสิ่งผิดปกติและทำการแก้ไขได้ทันท่วงทีก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นภายในระบบไฟฟ้า

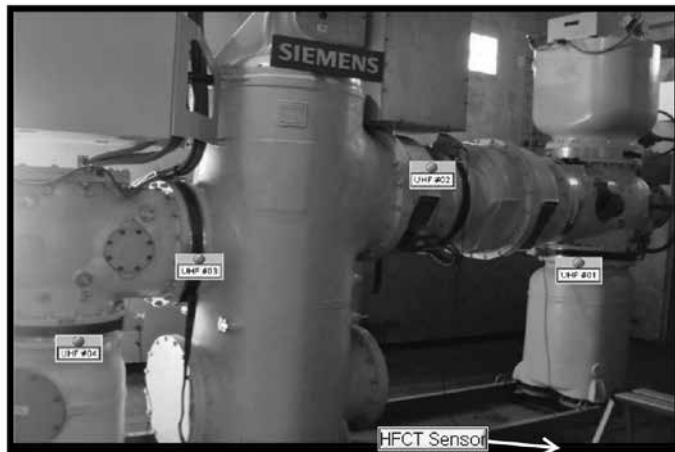


รูปที่ 12 ร่องรอยการดิสชาร์จตามผิวฉนวนที่เฟส B ของฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง (จากการตรวจสอบหน้างานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิกวิปमेंท์ (ประเทศไทย) จำกัด)

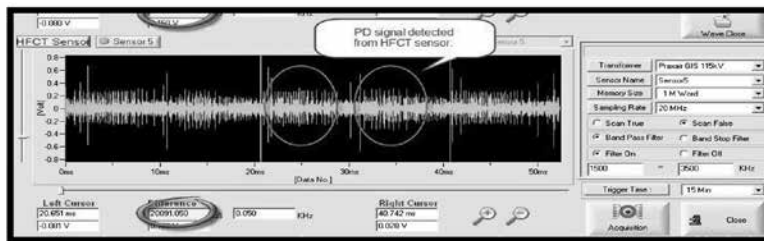
5.3 กรณีศึกษาที่ 3 การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์กับสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ (Gas Insulated Switchgear, สวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ) แรงดัน 115 kV

กรณีศึกษาสุดท้ายเป็นการตรวจวัดสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซแรงดัน 115 kV ของโรงงานปิโตรเคมีคอล โดยเทคนิคการตรวจวัดจะใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุ (UHF Sensor) 4 ตัวซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการหาตำแหน่งของการเกิดการดิสชาร์จร่วมกับเซ็นเซอร์กระแสในการตรวจวัดสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซดังที่ได้แสดงในตารางที่ 1 โดยจะติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุไว้ที่จุดต่อ (Spacer) ของแต่ละส่วนประกอบของสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซเช่น Disconnecting Switch, Voltage Transformer, Circuit Breaker และ Current

Transformer ส่วนเซ็นเซอร์กระแสจะถูกติดตั้งไว้ที่กราวด์ของจุดต่อของสายเคเบิลกับสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซดังรูปที่ 13a โดยในการตรวจวัดจะทำการดึงสัญญาณจากเซ็นเซอร์พร้อมกันทั้ง 4 ตัวแล้วนำมาเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณเพื่อหาตำแหน่งที่แท้จริงของการดิสชาร์จ โดยแสดงค่า พัลส์ต่อวินาที (Pulse/sec), มุมเฟส (Phase angle) และขนาดของสัญญาณการดิสชาร์จ (Amplitude) ผ่านกราฟ 3 มิติดังตารางที่ 2 [12] ดังนั้นในการตรวจวัดสามารถวิเคราะห์และระบุได้ว่าการดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง Disconnecting Switch ของสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซเนื่องจากมีความแรงของสัญญาณการดิสชาร์จมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ หลังจากนั้นจะใช้เซ็นเซอร์กระแสทำการวิเคราะห์รูปแบบและความรุนแรงของการดิสชาร์จดังรูปที่ 13b



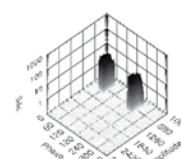
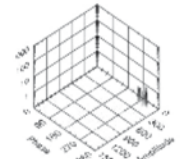
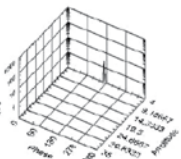
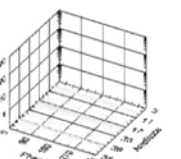
a)



b)

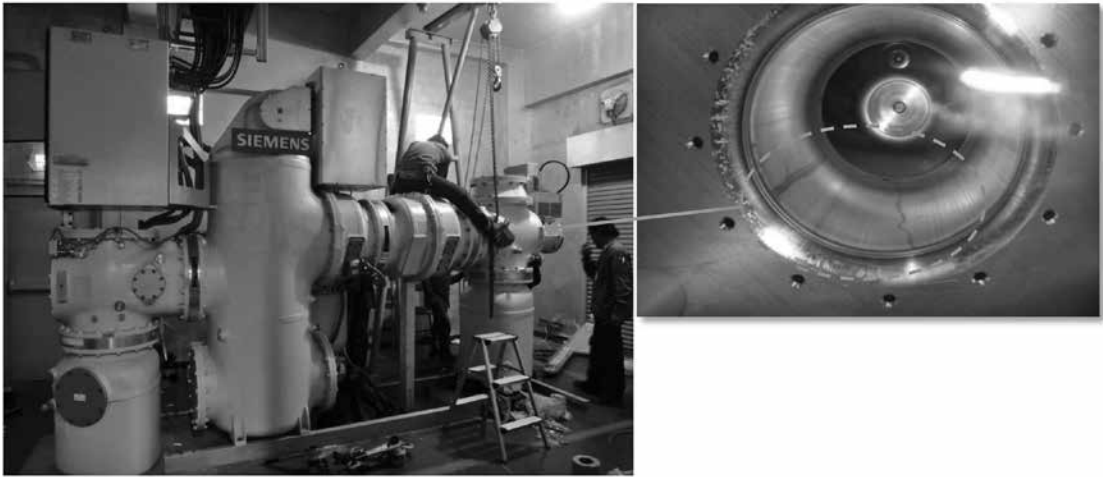
รูปที่ 13 a) การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุและเซ็นเซอร์กระแสเข้ากับสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ, b) สัญญาณการดิสชาร์จที่ตรวจจับได้จากเซ็นเซอร์กระแส (จากการตรวจสอบหน้างานของบริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อิควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณการดิสชาร์จในแต่ละส่วนประกอบของสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ

Sensor	UHF1	UHF2	UHF3	UHF4
ส่วนประกอบ สวิตช์เกียร์ แบบฉนวน ก๊าซ	Disconnecting Switch	Current Transformer	Circuit Breaker	Voltage Transformer
PD Signal				

หลังจากที่พบสัญญาณการดิสชาร์จที่ Disconnecting Switch ของตัวสวิตช์เกียร์แล้วทางโรงงานปิโตรเคมีคอลจึงมีมาตรการให้ทำการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนทุกๆ สามเดือนเป็นเวลาสองปี (2010-2012) เพื่อดูแนวโน้มและพฤติกรรมของการดิสชาร์จภายในสวิตช์เกียร์ปรากฏว่าแนวโน้มของการเกิดการดิสชาร์จนั้น (จำนวน Pulse/Sec) มีการเพิ่มมากขึ้นโดยเข้าใกล้ขั้นวิกฤต (Severe Level) โดยวิเคราะห์ได้จากเซ็นเซอร์

กระแส จึงทำให้โรงงานแห่งนี้ตัดสินใจเปลี่ยน Disconnecting Switch ของสวิตช์เกียร์ใหม่เพื่อป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นในระบบซึ่งอาจจะประเมินค่ามิได้ โดยหลังจากทำการเปิด Disconnecting Switch ที่พบสัญญาณการดิสชาร์จ จะเห็นว่ามียอรงรอยการเปลี่ยนสีของอุปกรณ์ดังรูปที่ 14 ซึ่งโดยทั่วไปภายในของสวิตช์เกียร์ฉนวนก๊าซนั้นควรมีสภาพที่มันวาวและมีเนื้อเป็นสีเดียวกัน



รูปที่ 14 การเปลี่ยนสีของเนื้อฉนวนภายใน Disconnecting Switch ของสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซ (จากการตรวจสอบหน้างานของ บริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด)

จากผลการตรวจวัดการดิสชาร์จออนไลน์ในอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 3 กรณีแล้วจะเห็นว่า ในการวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูง ไม่ว่าจะเป็นการเกิดการดิสชาร์จในระบบ การหาตำแหน่งของการดิสชาร์จ การหาจำนวนของการดิสชาร์จ ดังนั้นในการการตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์นี้ถือว่าเป็นงานที่มีประโยชน์ในเชิงพยากรณ์และป้องกันระบบไฟฟ้า โดยที่สามารถแจ้งเตือนให้รู้ก่อนเมื่อมีสัญญาณความผิดปกติในอุปกรณ์ ซึ่งจะสามารถวางแผนและป้องกันระบบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปประเมินอายุของฉนวนเพื่อลดความเสี่ยงต่อความเสียหายต่อระบบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากเครื่องมือการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์รุ่น PowerPDTP-500A และ PowerPD PD-iGMS ของบริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ (ประเทศไทย) จำกัด ขอขอบคุณมณฑนา ดิเกโกศล กรรมการผู้จัดการบริษัท แอดวานซ์ เพาเวอร์ อีควิปเมนต์ จำกัด(ประเทศไทย) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวิเคราะห์การดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์และข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการทำงานวิจัยและค้นคว้าหาข้อมูล

7. สรุปผลการวิจัย

ในบทความนี้ได้บรรยายเกี่ยวกับประสบการณ์ในการตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์ในระบบไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์การใช้เทคนิคการตรวจวัดการดิสชาร์จแบบออนไลน์และการวิเคราะห์ประเมินสภาพการฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้เซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ ในการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขณะที่ใช้งานจริงตามปกติ เช่น มอเตอร์ หม้อแปลง สายเคเบิลแรงสูง และสวิตช์เกียร์ เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้เซ็นเซอร์จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัดและจุดเด่นของเซ็นเซอร์แต่ละชนิด โดยเซ็นเซอร์เสียงนั้นจะถูกนำมาใช้ในการหาตำแหน่งของการดิสชาร์จบางส่วนหรือสัญญาณที่มีความผิดปกติภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น การหลุดหลวมหรือการอาร์คภายในอุปกรณ์ ส่วนเซ็นเซอร์กระแสจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบและระดับความรุนแรงของการดิสชาร์จบางส่วน และนอกจากนั้นยังสามารถใช้ในการหาสัญญาณการดิสชาร์จหรือสัญญาณที่มีความผิดปกติภายในระบบเช่น สัญญาณอาร์คได้อีกด้วย และสุดท้ายคือเซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุ นั้นจะเหมาะกับการใช้ในการตรวจวัดกับสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซเนื่องจากการดิสชาร์จในสวิตช์เกียร์แบบฉนวนก๊าซนั้นจะเกิดในย่านความถี่สูง (GHz) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ที่มีความถี่ตอบสนองในย่านความถี่สูงในการตรวจวัด ซึ่งก็คือเซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นวิทยุ แต่อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดและวิเคราะห์การดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์นั้นต้องใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจวัดอย่างน้อย 2 ชนิด [4, 5] จึงจำเป็นต้องเลือกเซ็นเซอร์ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัดโดยจะขึ้นอยู่กับเทคนิคและประสบการณ์ของผู้ทำการตรวจวัด ในส่วนของกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี จะเห็นว่า การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์สามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งได้อย่างแม่นยำโดยยืนยันได้จากร่องรอยความเสียหายของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนซึ่งตรงกับที่ได้ทำการระบุตำแหน่งไว้หลังจากการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วน ดังนั้นการวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์นั้นถือว่าเป็นการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) อย่างแท้จริง กล่าวคือสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงก่อนที่จะได้รับความเสียหายโดยอาจจะประเมินค่า

มิได้และจะสามารถทำให้มีแนวทางในการวางแผนแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

1. Tadsuan, S., 2008, "Testing and Planning of Load of Oil-Immersed Transformer when Non-linear Load Condition in Bangkok and Surrounding Area," *KMUTT Research and Development Journal*, 31 (2), pp. 335-355.
2. Sangkasaad, S., 2004, High Voltage Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. (In Thai)
3. Cho, S.I., 2011, On-Line PD (Partial Discharge) Monitoring of Power System Components, School of Electrical Engineering, AALTO University, Finland.
4. IEC 62478, High-Voltage Test Technique Measurement of Partial Discharges by Electro-magnetic and Acoustic Methods.
5. *IEEE PC57.143TM/D20*, 2008, Draft Guide for Application of Monitoring Liquid-Immersed Transformers and Components.
6. Zhou, Y. and Qin, Y., 2010, "Cost-Effective Online Partial Discharge Measurements for Electrical Machines: Preventing Insulation Failure," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, September/October, 26 (5), pp. 23-29.
7. HUI Wang, H., Huang, Ch., Zhang, L., Qian, Y., LIU, J., Yao, L., Guo, C. and Jiang, X., 2009, "On-line Partial Discharge Monitoring System and Data Processing Using WTST-NST Filter for High Voltage Power Cable," *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 8 (7), pp. 609-619.
8. Eom, D., 2013, "False Alarm Resulted from Mixed Data Collected on PDM," *5th International Conference on Large Transformers-Modern Trends in Application Insulation, Operation & Maintenance*,

pp. 328-331.

9. Oh, S.Ch., Hyo Lee, H.S., Lee, H.H. and Lee, S.M., 2010, "Discrimination of Partial Discharge Signal in Gas Insulated Switchgear from External Noise using Internal Signal processing method," *Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), 2010 IEEE International*, pp. 526-529.

10. IEC60270 INTERNATIONAL STANDARD, 2000, High-voltage test techniques – Partial discharge measurements.

11. Renforth, L., Seltzer-Grant, M., Mackinlay, R., Clark, D. and Shuttleworth, R., 2011, "Experiences

from over 15 Years of On-line Partial Discharge (OLPD) Testing of In-Service MV and HV Cables, Switchgear, Transformers and Rotating Machines," *Robotics Symposium, 2011 IEEE IX Latin American and IEEE Colombian Conference on Automatic Control and Industry Applications (LARC)*, pp. 1-7.

12. Sun, Sh., Tian, L., Yu, H. and Shen, J., 2011, "Study of the Online Monitoring for GIS Partial Discharge Based on UHF Method," *1st International Conference on Electric Power Equipment – Switching Technology*, pp. 266-270.