

การวิเคราะห์และตรวจหาการดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อำเภอนองแคะ จังหวัดสระบุรี

อดิสร พงษา^{1*} และวินัย พฤกษ์วัน²
adisorn.psa@gmail.com^{1*}, fengwnp@ku.ac.th²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Received : 09-Jul-2020
Revised : 10-Aug-2020
Accepted : 14-Sep-2020

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อ.หนองแคะ จ.สระบุรี ด้วยวิธีการทดสอบวิเคราะห์และตรวจหาการดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิล Partial Discharge (PD) โดยใช้แรงดันทดสอบชนิด Damped AC (DAC) และวงจรการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60270 และ IEEE 400.3 ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งตามแผนการบำรุงรักษาที่ต้องกระทำอย่างต่อเนื่องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยได้ทำการทดสอบวัดค่า PD ในสายไฟฟ้าใต้ดินชนิด XLPE ขนาด 12/20kV จำนวน 2 วงจร มีความยาวจากสวิตช์เกียร์ถึง Riser Pole ความยาว 336 เมตร และ 368 เมตร ซึ่งสายเคเบิลทั้ง 2 วงจรได้ถูกร้อยอยู่ในท่อ HDPE ที่อยู่ในดักแบงก์ (Duct Bank) ผลการศึกษาพบว่า ในวงจรที่ 1 สามารถตรวจพบ PDIV (Partial Discharge Inception Voltage) ที่แรงดันประมาณ 17.1 kVpk (1U_o) ที่ค่า PD 2,250 pC โดยมีความสัมพันธ์ของ Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดิสชาร์จภายในจำนวน 1 ตำแหน่งที่ระยะประมาณ 282 เมตรจากจุดที่ทำการตรวจวัด และในวงจรที่ 2 สามารถตรวจพบ PDIV ที่แรงดันประมาณ 7.6 kVpk (0.4U_o) ที่ค่า PD 2,750 pC โดย มีความสัมพันธ์ของ PRPD ตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดิสชาร์จภายในที่ระยะประมาณ 366 เมตรจากจุดที่ทำการตรวจวัด

คำสำคัญ: การดิสชาร์จบางส่วน สายเคเบิลใต้ดิน การซ่อมบำรุงสายเคเบิล

Partial Discharge Diagnosis and Localization in Underground Cable at Hinkong Power Station, Nong Kae District, Saraburi, Thailand

Adisorn Phongsa^{1*} and Winai Plueksawan²
adisorn.psa@gmail.com^{1*}, fengwnp@ku.ac.th²

^{1,2} Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University

Received	: 09-Jul-2020
Revised	: 10-Aug-2020
Accepted	: 14-Sep-2020

Abstract

This article presents an investigation of underground cable at Hinkong power station, Nongkae district, Saraburi province, Thailand which using Damped AC (DAC) Energizing and Conventional Partial Discharge (PD) Detection Method according to IEC 60270 and IEEE 400.3 as a regular maintenance program of Provincial Electricity Authority (PEA). The PD test has been performed over two underground power circuits in the duct bank, 12/20 kV - XLPE cable hosed in the HDPE pipe, length from switchgear to riser pole of 336 m and 368 m. The test result of the first circuit indicates the PDIV (Partial Discharge Inception Voltage) at voltage of around 17.1 kVpk (1U_o) at PD 2,250 pC which has Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) corresponded to the characteristics of PD occurring from the internal discharged at a distance of approximately 282 m from the test location. The test result of the second circuit indicates the PDIV at the voltage of around 7.6 kVpk (0.4U_o) at PD 2,750 pC which has PRPD corresponded to the characteristics of PD occurring from the internal discharged at a distance of approximately 366 m from the test location.

Keywords: Partial Discharge Diagnosis, Localization in Underground Cable, maintenance of cables

1. บทนำ

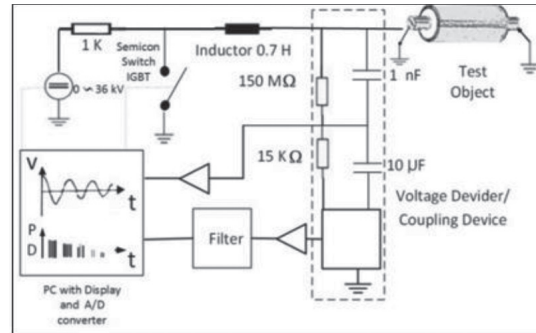
สาเหตุของไฟฟ้าดับในปัจจุบันมีจากหลายสาเหตุ โดยส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากการก่อสร้างและติดตั้งที่ไม่ได้คุณภาพ โดยเฉพาะสายเคเบิลใต้ดิน ที่ยากในการตรวจสอบด้วยวิธีการปกติ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลด้วยวิธีการวัดค่าการดีสชาร์จบางส่วน Partial Discharge (PD) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินและวินิจฉัยสภาพเคเบิลและอุปกรณ์ ที่เสื่อมสภาพก่อนการเบรกดาวน์ (Breakdown) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีการนี้เริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากการวัดค่า PD เป็นการวัดค่าการดีสชาร์จภายในเนื้อฉนวนซึ่งเกิดจากโพรงก๊าซหรือการมีสิ่งเจือปนอยู่ภายในเนื้อฉนวน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเคเบิลและอุปกรณ์การดีสชาร์จภายในภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้าและระยะเวลาการดีสชาร์จ (Discharge) ทำให้ฉนวนเกิดการเบรกดาวน์ในที่สุด

วิธีการวัดค่า PD เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพประหยัด และเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย [1]-[2] ที่สามารถใช้เพื่อการตรวจวัดหาการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลและจุดต่อต่าง ๆ [3] ซึ่งวิธีการวัดค่า PD นั้นสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ แต่วิธีการที่ได้ผลมากที่สุดคือวิธีการทดสอบแบบ PD off-line test [4]-[6]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและวิจัยเพื่อประเมินและวินิจฉัยสภาพของฉนวนในสายเคเบิลรวมถึงจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ของสายเคเบิล XLPE ด้วยวิธีการวัดค่า PD ในระหว่างตัดกระแสไฟฟ้า (Off-line) เพื่อการระบุตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดความบกพร่องในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อ.หนองแค จ.สระบุรี เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษาของไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการวัดค่า PD ขณะสายเคเบิลไม่จ่ายไฟ (Off-line) เป็นวิธีการวัด PD ที่มีประสิทธิภาพ และเที่ยงตรงวิธีหนึ่ง เนื่องจากสายเคเบิลและอุปกรณ์จะถูกปลดวงจรขณะทำการวัด ทำให้สัญญาณรบกวนขณะทำการวัดลดลง โดยชุดทดสอบจะต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อสร้างความเครียดสนามไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิด PD

วงจรการตรวจวัด PD ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ สวิตช์ ตัวเหนี่ยวนำ ชุดแบ่งแรงดันหรือ Voltage Divider ชุดตรวจจับ PD ชุดประมวลผลใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานและตัวเก็บประจุซึ่งเป็นสายเคเบิลทดสอบดังรูปที่ 1



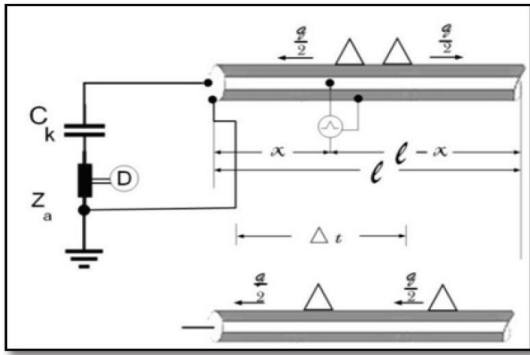
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างวงจรการตรวจวัด PD โดยป้อนแรงดันกระแสสลับแบบ Damped AC(DAC) [7]

เมื่อทำการจ่ายแรงดันทดสอบในที่นี้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำ กระแสทดสอบจะถูกชาร์จเข้าที่ตัวเก็บประจุทดสอบ จนถึงค่าแรงดันที่กำหนด ชุดสวิตช์จะปิดด้วยความเร็ว 1 ไมโครวินาที จะเกิดการดีสชาร์จจากตัวเก็บประจุทดสอบผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้เกิดการอสซิลเลตติ้งเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันกระแสสลับชนิดขายน้ด้วย ความถี่ (f_o) ดังสมการที่ (1)

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

เมื่อ L คือ ตัวเหนี่ยวนำของวงจรทดสอบมีค่าคงที่ และ C คือ ค่าตัวเก็บประจุของวัสดุทดสอบ

โดยชุดแบ่งแรงดันในวงจรทดสอบ (รูปที่ 1) ทำหน้าที่ลดแรงดันที่เกิดจากออสซิลเลตติ้งผ่านเข้าชุดตรวจจับ PD แล้วเข้าสู่ชุดประมวลผล



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างวงจร
การเดินทางของพัลส์และการคำนวณหา
ตำแหน่งของฟอลท์ PD [8]

ดังนั้นตำแหน่งพัลส์ (Pulse) PD ที่เกิดขึ้นจาก
ดิซชาร์จจากตัวเก็บประจุทดสอบ สามารถหาได้จากค่า
ความต่างของเวลา (Δt) ของพัลส์ ซึ่งเมื่อจ่ายแรงดัน
ทดสอบให้กับวัสดุทดสอบ จากที่กล่าวมาแล้วว่า เมื่อเกิด
การเบรกดาวน์ในโพรงก๊าซของตัวเก็บประจุวัสดุทดสอบ
จะเกิดกระแสพัลส์ PD ซึ่งวงจรการตรวจวัดสามารถ
แสดงได้ตามรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 แสดงพัลส์ PD ที่เกิดขึ้นในวัสดุ
ทดสอบตัวอย่างที่เป็นสายเคเบิล ในกรณีนี้เป็นสายเคเบิล
ชนิดฉนวนแข็ง XLPE โดยมีโครงสร้างเป็นตัวนำตรงกลาง
หุ้มด้วยฉนวน ซึ่งจะหุ้มด้วยตัวนำรอบ ๆ ฉนวน เมื่อเกิด
กระแสพัลส์ $\frac{q}{2}$ ณ ตำแหน่งดังรูป พัลส์ PD จะเดินทาง
จากจุดที่กำเนิดไปทั้ง 2 ด้านของสายเคเบิลคือที่ต้นทาง
และที่ปลายสายเคเบิลทดสอบแล้วจึงสะท้อนกลับมา
ต้นทางของสายเคเบิลทดสอบ โดยตำแหน่งของระยะเวลา
ของพัลส์ที่ส่งออกไป (Forward) และ พัลส์ที่สะท้อนกลับ
(Reflected) สามารถหาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$\text{Forward : } t_1 = \frac{x}{v} \quad (2)$$

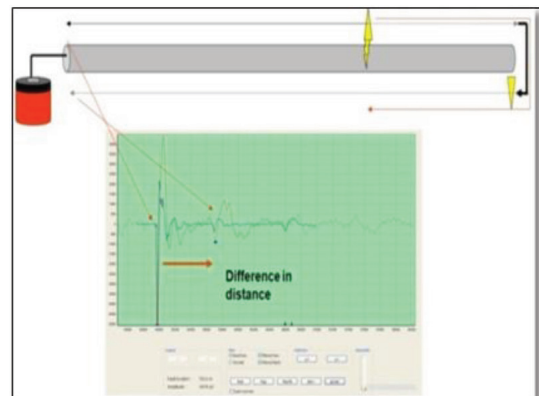
$$\text{Reflected : } t_2 = \frac{2l - x}{v} \quad (3)$$

เมื่อ $\frac{q}{2}$ คือ กระแสประจุพัลส์ PD, l คือ ความยาว
สายเคเบิลทดสอบ, x คือ ระยะของตำแหน่งที่เกิด PD ,
 t_1 คือ ระยะเวลาพัลส์ $\left(\frac{q}{2}\right)$ เดินทางจากจุดกำเนิดถึง
ต้นทางสาย, t_2 คือ ระยะเวลาพัลส์ $\left(\frac{q}{2}\right)$ เดินทางจากจุด
กำเนิดถึงปลายสายและสะท้อนกลับมาถึงต้นทาง

ดังนั้นค่าความต่างของเวลา (Δt) สามารถหาได้
จากสมการที่ (3)

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2(l - x)}{v} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) หากทราบความเร็วของพัลส์
(v) และความยาวสายเคเบิลทดสอบ (l) จะสามารถ
หาตำแหน่งที่เกิด PD (x) ได้โดย ที่ความเร็วของพัลส์
จะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของฉนวนโดยลักษณะ
ของคลื่นสะท้อนที่ได้จากการทดสอบสามารถแสดงได้
ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เกิด PD
ด้วยกราฟการสะท้อนกลับ [9]



ก) Damped AC Test System



ข) PD Calibrator



ค) Time Domain Reflectometer

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือและอุปกรณ์

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1. Damped AC Test System 30kV with PD coupler (รูปที่ 4ก)

2.1.2. เครื่องวัดคลื่นสะท้อน Time Domain Reflectometer (TDR) (รูปที่ 4ข)

2.1.3. เครื่องปรับเทียบ (Calibrator) PD (รูปที่ 4ค)

2.1.4. สายเคเบิลใต้ดินแรงกลางชนิดครอสลิงก์พอลิเอทิลีน (XLPE) แรงดัน 12/20(24) kV ขนาด 3x1C-240 ตร.มม.

2.2 วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษา ณ สถานีไฟฟ้า หินกอง อ.หนองแค จ.สระบุรี (รูปที่ 5) โดยได้ทำการทดสอบการวัดค่า PD ในสายไฟฟ้าใต้ดินแรงกลางชนิด XLPE ขนาด 12/20 kV จำนวน 2 วงจร ซึ่งวงจรแรกเป็นสายเคเบิลใต้ดินแรงกลางหมายเลข 2VB-01 จาก สวิตช์เกียร์ถึง Riser Pole ความยาว 336 เมตร และวงจรที่สองเป็นสายเคเบิลใต้ดินแรงกลางหมายเลข 3VB-01 จากสวิตช์เกียร์ถึง Riser Pole ความยาว 368 เมตร โดยสายเคเบิลทั้งสองวงจรได้ถูกร้อยอยู่ในท่อ HDPE ที่อยู่ในดักแบงค์ (Duct Bank) ดังรูปที่ 6 แต่อย่างไรก็ตามในสถานที่ที่ทำการศึกษาในดักแบงค์มักจะมีน้ำท่วมขังอยู่เสมอ

ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

2.2.1. การวัดระยะความยาวสาย โดยใช้เครื่องคลื่นสะท้อนกลับ (TDR) และเปรียบเทียบกับความยาวจริงของสายเคเบิล

2.2.2. ทำการปรับเทียบโดยป้อนประจุ PD มาตรฐานขนาด 1,000 pC ผ่านสายเคเบิลทดสอบ

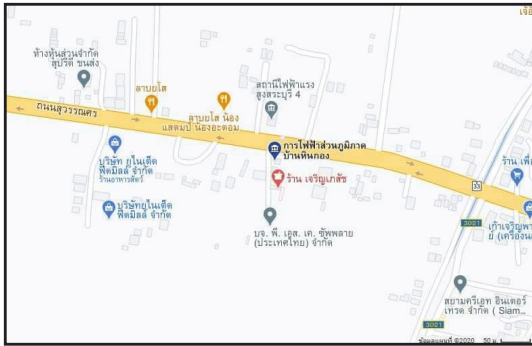
2.2.3. เริ่มการทดสอบโดยป้อนแรงดันขนาด 0 kV เพื่อวัดสัญญาณรบกวนในระบบทั้งหมด

2.2.4. ป้อนแรงดันกระแสสลับ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการดีสชาร์จจากแรงดันต่ำถึงแรงสูง U_0 ถึง $1.5 U_0$ แล้วบันทึกผลการทดสอบ

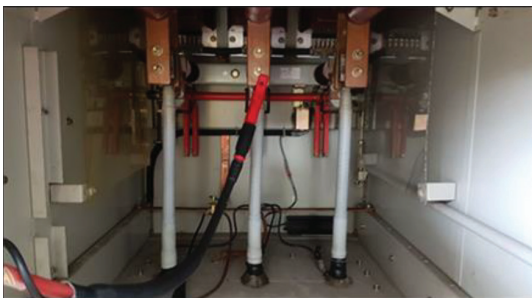
$$\text{เมื่อ} \quad U_0 = \frac{U_{L-L}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

โดย U_{L-L} คือ ค่าความต่างศักย์ของเฟส A และ B, U_0 คือ ค่าความต่างศักย์ของ Line และ Neutron

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานที่ทำการการศึกษา



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสายเคเบิล
ที่ทำการการศึกษา

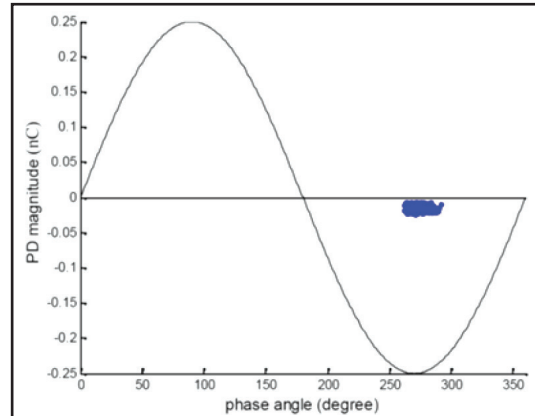
2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ PD เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60270 โดยการวิเคราะห์ผลจะพิจารณาถึง PD ที่เกิดขึ้นในผลการทดสอบ ซึ่งตำแหน่งของ PD ที่เกิดขึ้นในมุมเฟสต่าง ๆ จะสอดคล้องกับลักษณะของ PD ที่เกิดขึ้น สามารถสรุปลักษณะการเกิด PD โดยใช้กราฟ PRPD; Phase Resolved PD ได้ดังนี้ [10]

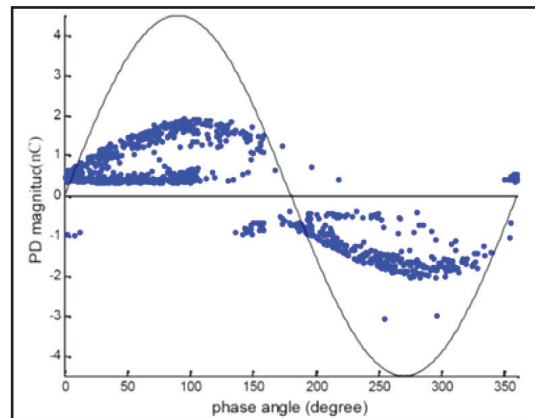
2.3.1 โคโรน่า : PD จะเกิดที่มุมเฟส 270° ที่ U_i เมื่อ U สูงขึ้น PD จะเกิดขึ้นในช่วง 90° ด้วย (รูปที่ 7)

2.3.2 ดิสชาร์จภายใน : PD จะเกิดที่มุมเฟส $0-90^\circ$ และ $180-270^\circ$ (รูปที่ 8)

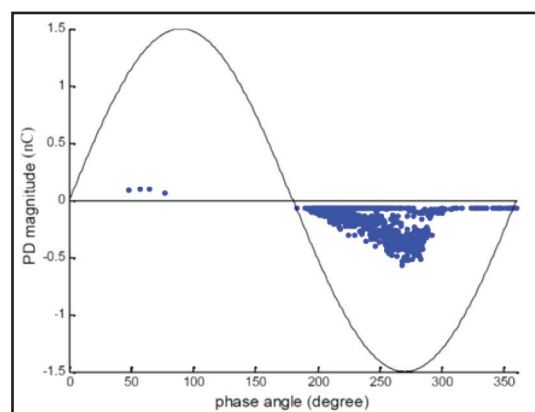
2.3.3. ดิสชาร์จตามผิว : PD จะเกิดที่มุมเฟสระหว่าง $0-90^\circ$ และ $180-270^\circ$ (รูปที่ 9)



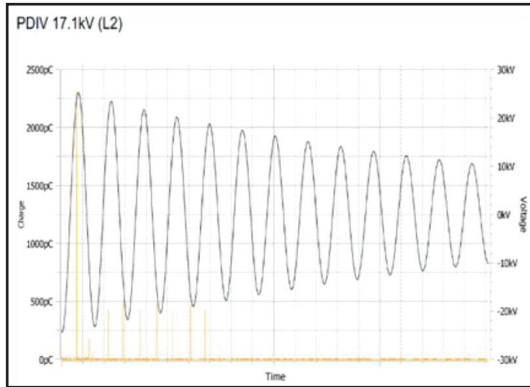
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ของการเกิด
โคโรน่า [11]



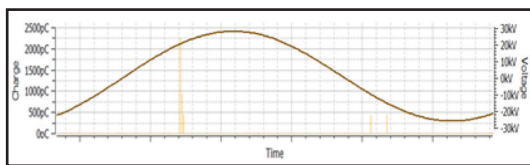
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ของการเกิดดิสชาร์จ
ภายใน [11]



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ของการเกิด
ดิสชาร์จตามผิว [11]

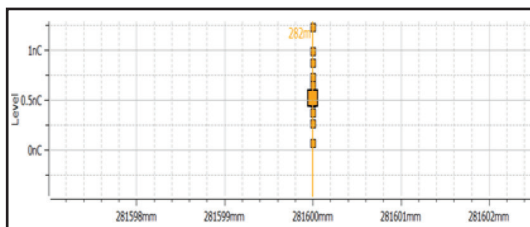


ก) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นแรงดันทดสอบ
Damped AC และพัลส์ PD ที่เกิด

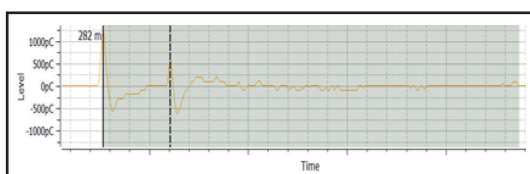


ข) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นแรงดันเมื่อ PD เริ่มเกิด
(PDIV)

รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง PDIV ที่ตรวจพบในวงจร
ที่ 1 PD เริ่มเกิดที่แรงดัน 17.1 kVpk



ก) ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและตำแหน่ง PD
ที่เกิดตามระยะความยาวสายทดสอบ
(PD Mapping) ในวงจรที่ 1

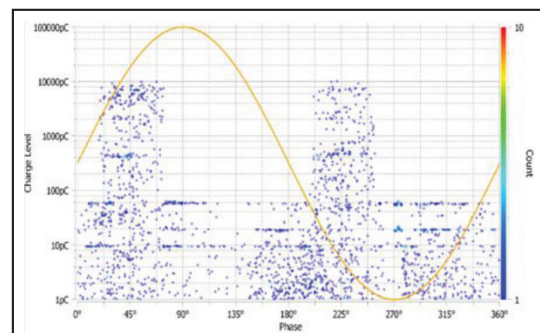


ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาการเดินทาง
ของพัลส์ PD จากจุดกำเนิดที่ตำแหน่ง 282 เมตรมาถึง
จุดตรวจวัดของพัลส์กำเนิด และพัลส์สะท้อน

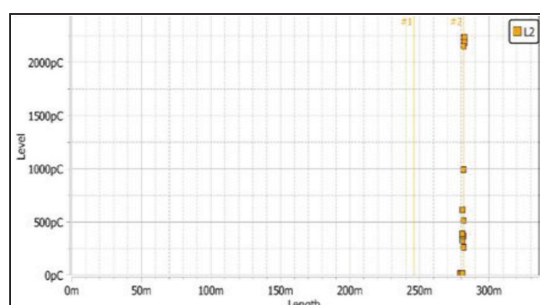
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ที่ตรวจพบ
ในวงจรที่ 1

3.ผลการศึกษา

ในวงจรที่ 1 สามารถตรวจพบ PDIV (Partial Discharge Inception Voltage) ที่แรงดันประมาณ 17.1 kVpk (1Uo) ที่ค่า PD 2,250 pC ดังแสดงในรูปที่ 10 และพัลส์ PD ที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 ซึ่งพัลส์เกิดขึ้นจะมีลักษณะรูปทรงเหมือนกันทั้งพัลส์ PD ลูกแรกซึ่งคือพัลส์ PD กำเนิด (Forward Pulse) และพัลส์ PD ที่สอง (Reflected Pulse) แต่แอมพลิจูดของพัลส์ PD ที่สองจะลดทอนลงเนื่องจากการสูญเสียในการเดินทาง รูปที่ 12 แสดง Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) ของวงจรที่ 1 โดย PD เกิดที่มุม $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดีสชาร์จภายในจำนวน 1 ตำแหน่งที่ระยะประมาณ 282 เมตร จากความยาวสายเคเบิล 336 เมตร โดยผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 (ก) และ 13

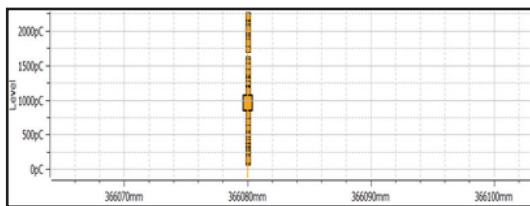


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง พัลส์ PD
ที่เกิดบนกราฟ PRPD; Phase Resolved
Partial Discharge ของวงจรที่ 1

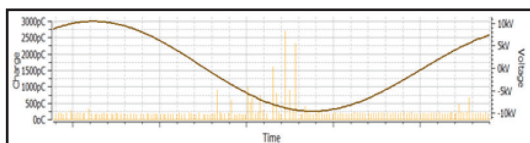


รูปที่ 13 รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง
กราฟ PD mapping การเกิด PD
ณ.ตำแหน่ง 282 เมตร ของวงจรที่ 1

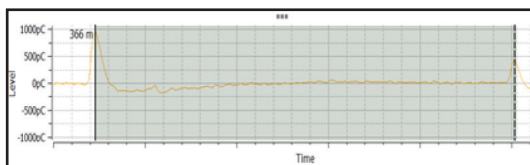
ในวงจรที่ 2 สามารถตรวจพบ PDIV ที่แรงดันประมาณ 7.6 kVpk(0.4Uo) ที่ค่า PD 2,750 pC ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยรูปที่ 16 แสดง PRPD ของวงจรที่ 2 โดย PD เกิดที่มุม $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดีสชาร์จภายในจำนวน 1 ตำแหน่งที่ระยะประมาณ 366 เมตร จากความยาวสายเคเบิล 368 เมตร โดยตำแหน่งของ PD สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 16



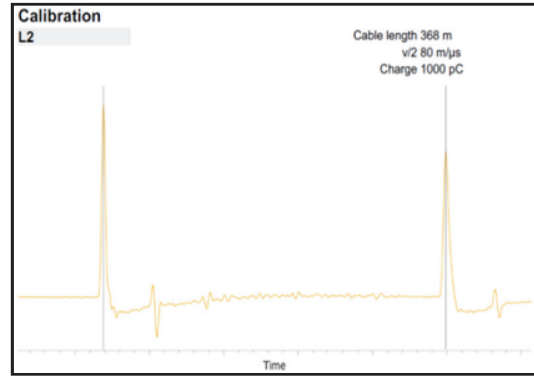
ก) ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและตำแหน่ง PD ที่เกิดตามระยะความยาวสายทดสอบ (PD Mapping) ในวงจรที่ 2



ข) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นแรงดันเมื่อ PD เริ่มเกิด (PDIV)

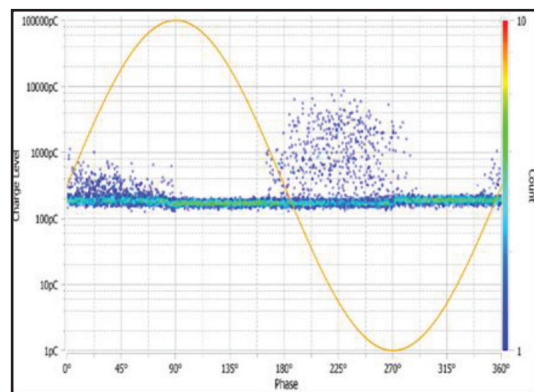


ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาการเดินทางของพัลส์ PD จากจุดกำเนิดที่ตำแหน่ง 366 เมตร มาถึงจุดตรวจวัดของพัลส์กำเนิดและพัลส์สะท้อน

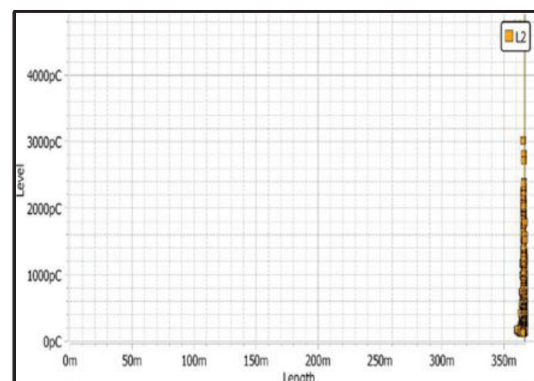


ง) ความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์คลื่นสะท้อนจากการวัดความยาวสายทดสอบซึ่งยาว 368 เมตร

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ที่ตรวจพบในวงจรที่ 2



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ PD ที่เกิดบนกราฟ PRPD; Phase Resolved Partial Discharge ของวงจรที่ 2



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ PD mapping การเกิด PD ณ ตำแหน่ง 366 เมตร ของวงจรที่ 2

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดสอบ PD

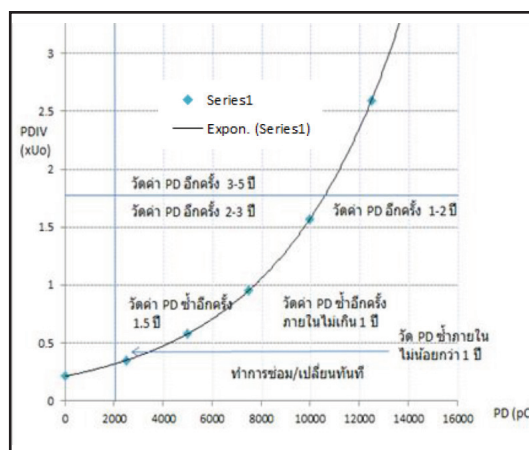
ค่าแรงดัน U_0		วงจรที่ 1	วงจรที่ 2
0	0 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$0.2U_0$	2.5 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$0.4U_0$	5.1 kVrms	ไม่พบ	พบ
$0.6U_0$	7.6 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$0.8U_0$	10.2 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$1.0U_0$	12.7 kVrms	พบ	ไม่พบ
$1.2U_0$	15.2 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$1.4U_0$	17.8 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$1.6U_0$	20.3 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 2 แสดงเกณฑ์ค่า PD ในการยอมรับในสายเคเบิลและอุปกรณ์ [12]

ประเภทอุปกรณ์	ชนิด	ค่า PD
ฉนวนสายเคเบิล	PILC XLPE	10,000 pC 20 pC
หัวต่อสาย	ชนิดน้ำมัน ฉนวนเรซิน ฉนวนน้ำมัน ฉนวนเรซิน/ น้ำมัน	5,000 pC 500 pC 10,000 pC 5,000 pC
หัวเคเบิล	ชนิดน้ำมัน ชนิดฉนวนแห้ง หัวเคเบิล ABB	6,000 pC 3,500 pC 250 pC

การวัดค่า PD ในสายเคเบิลขณะสายเคเบิลไม่ได้จ่ายไฟ เป็นวิธีประเมินการเสื่อมสภาพของฉนวนในสายเคเบิลที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเพื่อประเมินและวินิจฉัยการเสื่อมสภาพของฉนวนในสายเคเบิลนั้น ทำให้ทราบระดับค่า PD (pC) แรงดันที่ PD เริ่มเกิดและหมดไป ตลอดจนรูปแบบของ PD (PD patterns) และการสามารถระบุตำแหน่งของ PD (PD locations) โดยข้อมูล PD ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำมาประเมินการเสื่อมสภาพและวิเคราะห์แนวโน้มสภาพของฉนวน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจในแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม E. Gulski ได้เสนอเกณฑ์ค่า PD ในการยอมรับในสายเคเบิลและอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ (ตารางที่ 2) ในส่วนของการบำรุงรักษา

ในระยะยาว Martin Keller ได้ศึกษาและเสนอความสัมพันธ์ระหว่าง PD และค่า PDIV โดยพบว่าค่า PDIV ที่ค่าแรงดันทดสอบที่ต่ำกว่า $1 \times U_0$ มีแนวโน้มที่จะต้องทำการทวนทดสอบซ้ำในช่วงเวลาที่เร็วขึ้นกว่าในกรณีค่า PDIV ที่เกิดมากกว่า $1 \times U_0$ โดยแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางเกณฑ์การวางแผนและตัดสินใจบนความสัมพันธ์ระหว่างค่า PD ที่วัดได้เทียบกับค่าแรงดัน PDIV [13]

จากการผลการศึกษาพบว่า การวัดค่า PD สามารถตรวจพบ PDIV ของทั้งสองวงจร โดยวงจรแรกพบค่า PD ที่ระยะ 282 เมตร จากจุดที่วัดค่า จากระยะทางของสายเคเบิลทั้งหมด 336 เมตร ส่วนในวงจรที่สองสามารถตรวจพบ PD ที่ระยะประมาณ 366 เมตร จากตำแหน่งที่วัดค่า ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ PRPD ของทั้งสองวงจรพบว่าเป็น PD ที่เกิดที่มุม $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดีสชาร์จภายใน โดยการทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบ การวิเคราะห์และตรวจหาการดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี สามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งของการเกิด PD ที่ได้จากการทดลองมีค่าตรงกับตำแหน่งที่เกิด PD ของสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC

60270 และ IEEE 400.3 ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งตามแผนการบำรุงรักษาที่ต้องกระทำอย่างต่อเนื่องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บจก. เทสท์ อินสตรูเมนต์ เอ็นจิเนียริง ที่ให้ใช้เครื่องมือตรวจวัด PD และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้เผยแพร่ข้อมูลการตรวจวัด PD

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hauschild W. Critical review of voltage applied for quality-acceptance and diagnostic field tests on high-voltage and extra-high-voltage cable systems. IEEE insulation magazine. 2013 March/April.
- [2] Van Veen L. W. Comparison of measurement methods for partial discharge measurement in power cables. Master thesis delft University of Technology. 2014
- [3] Mashikian S M, Boone W. Guide for partial discharge testing of shielded power cable systems in a field environment. IEEE 400.3. 2006.
- [4] Bartnikas R. Partial discharges. Their mechanism, detection and measurement. IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation. 2002 Vol. 9. No.5.
- [5] Gulski E, Cichecki P, Wester F, Smit J, Bodega R, Hermans T, Seitz P. On-site testing and PD diagnosis of high voltage power cables. IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation. 2008; 15(6); 1691–700.
- [6] Kulick J, Law J D, Hulett H R. Guide for field testing of shielded power cable systems using VLF. IEEE 400.2 . 2004.
- [7] Gulski E. Insulation condition assessment of medium voltage power cables using on-site PD detection and analysis techniques. Delft University of Technology.
- [8] Engelstatter H. GRU_Test PD diagnosis ENG 20050125. SebaKMT, diagnosis seminar. 2004
- [9] Gotz D. Theory II influence to TDR analysis. 2010.
- [10] Sangsangsa S. High voltage engineering 1. Department of Electrical Faculty of Engineering Chulalongkorn University 1st edition. 2004. (In Thai)
- [11] Illias H, Yuan S T, Bakar A H, Mokhlis H, Chen G, Lewin L P. Partial discharge patterns in high voltage insulation. IEEE international conference on power and energy. 2012.
- [12] Gulski E, Wester J F, Smit J J, Groot E. PD knowledge rules for insulation condition assessment of distribution power cables. Delft University of Technology.
- [13] Keller M. OWTS PD diagnosis. OWTS-M seminar, Baunach, Germany, Seba Dynatronik Mess- und Ortungstechnik GmbH. 2007