

โครงการศึกษาวิจัย

“ลดค่าความต้านทานจุดต่อระหว่าง Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC กับสาย Ground Wire”

สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)

พฤษภาคม 2562

กรรมวิธีการต่อเกาะโลหะฯ กับสายกราวด์ ได้รับความคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา
เจ้าของทรัพย์สินทางปัญญา บมจ.ทีโอที

1. ความเป็นมาและสภาพปัญหา

บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที ในฐานะหน่วยงานรัฐวิสาหกิจภายใต้สังกัดกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม เป็นผู้ให้บริการโทรคมนาคมและดิจิทัลชั้นนำของประเทศ ที่มุ่งมั่น สร้างสรรค์นวัตกรรม โดยมีวิสัยทัศน์ “ผู้ให้บริการโทรคมนาคมและดิจิทัลชั้นนำของประเทศ” มีพันธกิจ คือ

- 1) เป็นรัฐวิสาหกิจสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมไทยสู่ยุคดิจิทัล
- 2) ให้บริการโครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคมและดิจิทัล อย่างมีคุณภาพเพื่อความมั่นคงปลอดภัยของประเทศ และ
- 3) นำนวัตกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัลมาให้บริการเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของคนไทย

บมจ. ทีโอที ได้ขยายการให้บริการการสื่อสารและบริการบรอดแบนด์เพื่อรองรับการขยายตัวของเศรษฐกิจยุคดิจิทัล การใช้สาย Optical Fiber Cable (OFC) จึงเป็นโครงข่ายหลักในการให้บริการให้ครอบคลุมทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีทั้งฝังใต้ดินและแขวนอากาศ

2. วัตถุประสงค์โครงการศึกษาวิจัย

โครงข่ายสายสื่อสารเปลี่ยนจากสายเคเบิลสื่อสารที่มีโลหะตัวนำผลิตจากเส้นลวดทองแดง (Copper Wire) มาเป็นสายเคเบิล OFC ซึ่งมีโครงสร้างสายที่ไม่มีโลหะ เช่น สาย ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [1] ไม่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สายเคเบิล OFC กลุ่มนี้ไม่จำเป็นต้องมีระบบ Ground

โครงสร้างสายเคเบิล OFC ที่มีโครงสร้างโลหะ เช่น สาย ARSS OFC (Anti-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [2] สาย FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) และ สายเคเบิล OFC โครงการ TNEP ติดตั้งบนเสา

ไฟฟ้าร่วมกับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องมีระบบ Ground รองรับ

สายเคเบิล OFC โครงการ TNEP โครงสร้างห่อหุ้มด้วย Corrugate Aluminum Shield คล้าย Shield สายเคเบิลทองแดง เนื้อ Aluminum Shield นี้สามารถใช้อุปกรณ์ต่อสาย Ground กับ Aluminum Shield ได้สะดวก ค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ จุดต่อได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ($\leq 2 m\Omega$)

สาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC โครงสร้างห่อหุ้มด้วย Corrugate Armoured Steel หนา 1.5 mm. ปัจจุบัน (พ.ศ.2562) บมจ.ทีโอที ประยุกต์นำอุปกรณ์ต่อสาย Ground กับ Aluminum Shield มาประยุกต์ใช้พบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ จุดต่อสูงกว่าตามมาตรฐานที่กำหนด ($\leq 2 m\Omega$)

โครงการศึกษาวิจัยนี้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อ “ลดค่าความต้านทานจุดต่อระหว่าง Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC กับสาย Ground ” ด้วย ขบวนการหรือวิธีที่เรียบง่าย ต้นทุนการดำเนินการต่ำ ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ

3. วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

สำรวจปัญหาและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ประกอบในการวิจัย กำหนด วิธีการ หัวข้อทดลอง การนำไปใช้งานภาคสนามและสรุปผล ในการวิจัยหาวิธีการลดค่าความต้านทานที่จุดต่อ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอาร์คที่จุดต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC ก่อนนำไปใช้งานจริงและนำผลมาประกอบในการจัดทำมาตรฐานต่อไป กำหนดขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

- 1) เก็บข้อมูลปัญหา วิธีการต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel
- 2) วิเคราะห์ข้อมูล ปัญหาและวิธีการต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel ที่ได้รับ
- 3) ออกแบบ ศึกษาวิธีการต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel
- 4) ทดลองวิธีการต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel ในห้องปฏิบัติการ และภาคสนาม
- 5) วิเคราะห์สรุปผลและขยายผลใช้งาน

4. ปัญหาภาคสนามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สายเคเบิล OFC ที่โครงสร้างโลหะห่อหุ้ม โลหะที่ห่อหุ้มใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ Aluminum Shield และ Steel Shield ห่อหุ้มภายนอกรูปร่างเป็นลูกคลื่น Corrugate ป้องกันเปลือกโลหะฉีกขาด ชำรุดจากการโค้งงอของสายเคเบิล

สายเคเบิล OFC โครงการ TNEP โครงสร้างห่อหุ้มด้วย Corrugate Aluminum Shield วัตถุประสงค์ต้องการลดความชื้นภายในสายเคเบิล OFC และรองรับการโค้งงอ สาย ARSS OFC และ

สาย FRSS OFC โครงสร้างห่อหุ้มด้วย Corrugate Armoured Steel วัตถุประสงค์ป้องกันสัตว์กัดแทะ ป้องกันไฟไหม้ และรองรับการโค้งงอ แต่ Corrugate Armoured Steel สร้างปัญหาในการต่อสาย Ground กับแผ่น Steel Shield

4.1 ชนิดของสายเคเบิล OFC ที่มีโครงสร้าง Corrugate Armoured Steel

4.1.1 สาย ARSS OFC แก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC

ข้อมูลปัญหาในการใช้งาน OFC แขนงอากาศพบว่าปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดจากการกัดแทะของสัตว์ ส่งผลกระทบต่อการให้บริการทั้งโครงข่ายหลัก (Core Network) และโครงข่ายรอง (Access Network) ที่ติดตั้งผ่านต้นไม้หรือป่าทึบที่เป็นพื้นที่อาศัยของ กระจอก กระแต หนู เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 1. สายเคเบิล OFC ที่โดนกระจอกกัดแทะ

จากปัญหาที่เกิดขึ้น บมจ.ทีโอที ได้ “วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์” [3] ออกแบบสาย ARSS OFC โครงสร้างห่อหุ้มภายนอกด้วย Corrugate Armoured Steel หนา 0.15 mm. ผลการใช้งานสามารถป้องกันและลดปัญหาสัตว์กัดแทะลงได้

4.1.2 สาย FRSS OFC แก้ปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC

อีกปัญหาคือสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากไฟป่า ลักษณะพื้นที่ของจังหวัดทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน บางพื้นที่สายเคเบิล OFC ติดตั้งพาดสายร่วมกับเสาไฟฟ้าที่ติดตั้งคู่ขนานไปกับถนนทางหลวงบางส่วนพาดผ่านป่าทึบพื้นที่ป่า โดยเฉพาะช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงหน้าแล้งป่าขาดความชุ่มชื้นเกิดเหตุไฟป่าได้ง่าย



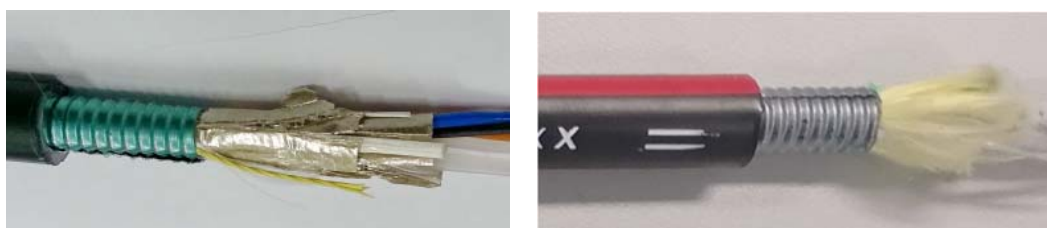
ภาพประกอบที่ 2. สายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากไฟไหม้ป่า

ผลสำรวจข่ายสายที่ติดตั้งพาดสายผ่านพื้นที่ป่า บางพื้นที่ระยะห่างของเสาไฟฟ้ามากกว่า 80 เมตร สายเคเบิล OFC ช่วงนี้จะตกท้องช้างมากกว่าปกติ จุดที่สายตกท้องช้างระยะสายใกล้กับยอดไม้หรือยอดหญ้ามาก เมื่อเกิดไฟไหม้ความร้อนจากเปลวไฟทำให้สายเคเบิล OFC ติดไฟ สายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC และ ARSS OFC เมื่อถูกไฟไหม้ชำรุดเสียหาย ในการซ่อมต้องคอยไฟดับและความร้อนในพื้นที่เย็นตัวลงก่อนจึงจะสามารถเข้าไปดำเนินการได้



ภาพประกอบที่ 3. การซ่อมสายที่ชำรุดจากไฟไหม้สายเคเบิล OFC

ปัญหาไฟไหม้โครงข่ายสายเคเบิล OFC หน่วยงานซ่อมบำรุงต้องเตรียมความพร้อมตลอดเวลา เมื่อเกิดไฟไหม้ต้องคอยให้ไฟในพื้นที่ดับและคลายความร้อนก่อนนำสายเคเบิล OFC ขนาดเดียวกันไปต่อक्रमช่วงนั้น เพื่อแก้ปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC บมจ.ทีโอที ได้ทำการวิจัยและพัฒนาสายเคเบิลใยแก้วนำแสงทนไฟ FRSS OFC



(A)

(B)

ภาพประกอบที่ 4. สาย FRSS OFC (A) และ ARSS OFC (B) ที่ห่อหุ้ม Corrugate Armoured Steel

สาย FRSS OFC ออกแบบให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถใช้งานตามปกติขณะที่สาย FRSS OFC ถูกไฟเผาเปลือกหุ้ม คุณสมบัติวัสดุที่นำมาผลิตสายฯ ช่วยยืดระยะเวลาในการใช้งานได้นานยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามสาย FRSS OFC ที่ถูกไฟไหม้เผาอย่างรุนแรง จำเป็นต้องมีการตัดคร่อมเปลี่ยนสายฯ ช่วงนั้นใหม่ โครงสร้างสาย FRSS OFC คล้ายสาย ARSS OFC มีการใช้ Corrugate Armoured Steel หนา 0.15 mm . ห่อหุ้ม

4.2 การรบกวนทางไฟฟ้าที่มีต่อสาย ARSS OFC และ FRSS OFC

สาย ARSS OFC และ FRSS OFC มีโครงสร้างส่วนหนึ่งที่ใช้ Corrugate Armoured Steel หนา 0.15 mm . เป็นตัวห่อหุ้มสายใยแก้วนำแสงไว้ เมื่อนำไปแขวนบนเสาไฟฟ้าจากการศึกษาวิจัย (ITU-Recommendation K.11, 1993) พบว่าการรบกวนทางไฟฟ้าที่มีต่อสาย ARSS OFC และ FRSS OFC ประกอบด้วย

- 1) ฟิวส์ลางโครงข่ายสาย ARSS OFC และ FRSS OFC โดยตรงเมื่อมีฟ้าผ่าโดยตรงลงบนสายตัวนำไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลไปตามสายหรือเคเบิลเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เป็นมลลิวินาที่อาจสร้างความเสียหายจุดต่อระบบ Ground และอุปกรณ์พ่วงต่อต่าง ๆ
- 2) ฟิวส์ลางในบริเวณใกล้เคียง กระแสฟ้าผ่าจากก้อนเมฆที่ถ่ายเทลงดินเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงเกินเกิดในสาย ARSS OFC และ FRSS OFC ที่แขวนอากาศบริเวณใกล้เคียงกับจุดฟ้าผ่า
- 3) สายตัวนำไฟฟ้าพาดแตะสาย ARSS OFC และ FRSS OFC มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยเนื่องจากโครงสร้างสาย ARSS OFC และ FRSS OFC แผ่นโลหะ Corrugate Armoured Steel จะถูกห่อหุ้มด้วยฉนวนหนา 1.5 mm .
- 4) ความต่างศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสาย ARSS OFC และ FRSS OFC เกิดจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากสายส่งระบบไฟฟ้าแรงสูงมายังสาย ARSS OFC และ FRSS OFC ที่แขวนขนานเป็นระยะทางยาว
- 5) ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงเกินจากศักย์ไฟฟ้าดินยกขึ้นหรือ GPR (Ground Potential Rise) เกิดจากจุดที่ต่อระบบ Ground มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด สาเหตุอาจมาจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงบางจุดรั่วลงดินหรือจากกระแสจากฟ้าผ่าช่วงสั้น ๆ ก็ได้ ความเสียหายที่เกิดจาก GPR เกิดจากความแตกต่างของความต่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณที่เกิด GPR กับจุดดินอ้างอิงที่ (Remote ground) ปรากฏความต่างศักย์ไฟฟ้าปรากฏ ณ ระบบ Ground นั้น ๆ

ผลกระทบจากกระแสฟ้าผ่าส่งผลกระทบต่อสาย ARSS OFC และ FRSS OFC ไม่มากนัก เนื่องจากสาย ARSS OFC และ FRSS OFC ติดตั้งระดับต่ำสุดของเสาไฟฟ้าต้นนั้น ๆ ระบบสายส่งไฟฟ้าซึ่งติดตั้งด้านบนช่วยลดผลกระทบจากฟ้าผ่าสาย ARSS OFC และ FRSS OFC ลงได้ระดับหนึ่ง



ภาพประกอบที่ 5. ความต่างศักย์ไฟฟ้าจากไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ปรากฏบนสายเคเบิล OFC โครงการ TNEP

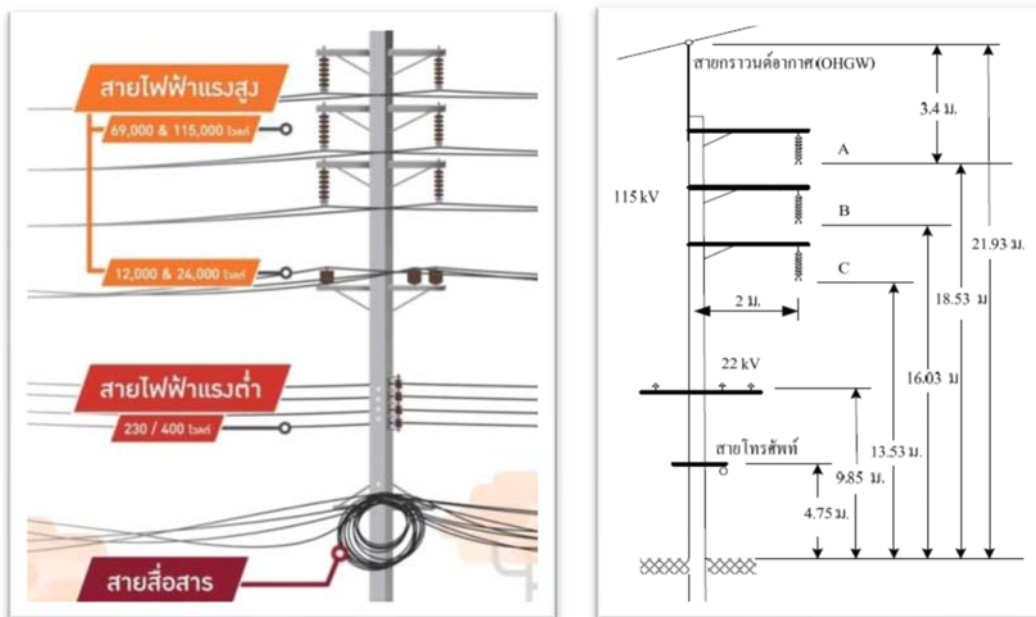
แต่การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อสาย ARSS OFC และ FRSS OFC รุนแรงที่สุดจากการเก็บข้อมูลภาคสนามสายเคเบิล OFC โครงการ TNEP ของ บมจ.ทีโอที โครงสร้างมี Corrugate Aluminium Shield ป้องกันความชื้นห่อหุ้มคล้าย Corrugate Armoured Steel มีปัญหาจุดเชื่อมสายเคเบิล OFC ระเบิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้า สุ่มวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระยะสายเคเบิล OFC ยาว 4 000 เมตร (ไม่ต่อลง Ground) เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง Shield กับหลักดิน (Ground Rod) ประมาณ $200 V_{AC}$ ปริมาณกระแสสามารถจุดไส้หลอดไฟได้ตามภาพประกอบที่ 5.

4.2.1 ระบบสายส่งไฟฟ้า

ระบบสายส่งไฟฟ้า ส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ปลายทาง ผ่านสายส่งที่ติดตั้งบนเสาหรือฝังใต้ผิวดินขึ้นกับการออกแบบ ระบบสายส่งไฟฟ้าแบ่งเป็นระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง คือ ระบบฯ ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสายไฟฟ้ามักกว่า $1\ 000\ V$. ขึ้นไป และระบบสายส่งไฟฟ้าแรงต่ำ ระยะทางไกล ๆ จะส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้าแรงสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดอัตราสูญเสียพลังงาน ส่วนระยะทางใกล้ ๆ จะส่งพลังงานด้วยระบบไฟฟ้าแรงต่ำเพื่อความปลอดภัย

สายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีหลายระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า¹ เช่น $230\ 000\ V$. $69\ 000\ V$. และ $22\ 000\ V$. เมื่อแจกจ่ายไปตามชุมชนต่าง ๆ จะลดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเหลือ $400\ V$. และ $230\ V$. สำหรับใช้ตามบ้านเรือน สายส่งไฟฟ้าแรงต่ำมีความยาวไม่มากนักเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นเสาไฟฟ้าหนึ่งต้นจะมีระบบสายส่งหลายระดับความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

¹ <https://www.thairath.co.th/scoop/958613>



ภาพประกอบที่ 6. สายต่างๆ ที่ใช้งานร่วมกันบนเสาไฟฟ้า

จากข้อกำหนดภูมิประเทศสายสื่อสารโทรคมนาคมไม่สามารถปักเสาแยกจากเสาไฟฟ้าได้ ดังนั้นในการให้บริการโทรคมนาคมจึงใช้เสาร่วมกันระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร (ติดตั้งระดับล่างสุด) ความสูงของเสาไฟฟ้าบนถนนสายหลักมี 4 ความสูง คือ 22, 12, 10 และ 8.50 เมตร สำหรับในซอยส่วนมากจะมีความสูง 12 และ 8.50 เมตร ตามลำดับ

สำหรับเสาไฟฟ้าที่สูง 12 เมตร นั้นบนสุดจะเป็นสายไฟฟ้าแรงสูง 22 000 V. เพื่อความปลอดภัยจึงติดตั้งให้อยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 10 เมตร รองมาความสูงจากพื้น 8 เมตร เป็นสายไฟฟ้าแรงต่ำ 230 V. หรือ 400 V. เพื่อต่อโยงไว้อย่างง่ายไฟฟ้าเข้าบ้านเรือนประชาชนทั่วไป ความสูงจากพื้น 5 ถึง 5.50 เมตร

สายแนวต่ำสุดคือสายสื่อสารโทรคมนาคมซึ่งจะพาดสายอยู่ในระดับเดียวกัน ประกอบด้วย สายเคเบิล OFC สายเคเบิลโทรศัพท์ที่มีตัวนำทองแดง สายเคเบิลระบบทีวี สายเคเบิลระบบควบคุมสัญญาณจราจร หรือสายเคเบิลระบบสายสื่อสารกล่องวงจรปิด เป็นต้น

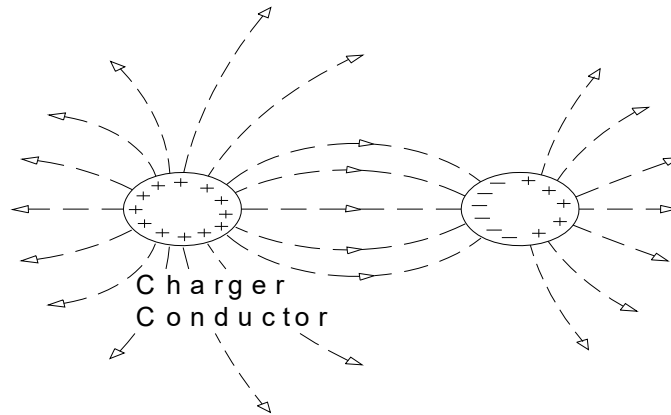
โครงสร้างสายสื่อสารแบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นสายสื่อสารโครงสร้างภายในไม่มีโลหะ เช่น สายเคเบิล OFC กลุ่มที่สองเป็นสายสื่อสารที่มีโครงสร้างมีโลหะภายใน เช่น สายสื่อสารที่มีตัวนำเป็นทองแดง สาย Coaxial Cable สำหรับระบบเคเบิลทีวี สาย ARSS OFC สาย FRSS OFC และสาย Drop Optic ที่สายสะพานรับแรงเป็นโลหะ

สายกลุ่มที่สองที่มีโครงสร้างโลหะได้รับผลกระทบจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากระบบสายส่งแรงสูงหรือการสัมผัสโดยตรงจากไฟฟ้าแรงสูงผ่านเสาไฟฟ้าลงมา หรือสัมผัสโดยตรงกับไฟฟ้าแรงต่ำซึ่งติดตั้งใกล้กับสายสื่อสารโทรคมนาคม

4.2.2 การเหนี่ยวนำที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์และจากเส้นแรงไม่เหล็กไฟฟ้า

1) การเหนี่ยวนำที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์

สายสื่อสารวางแนวเดียวกับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำ กรณีโครงสร้างสายสื่อสารมีส่วนประกอบของโลหะมักจะได้รับ การเหนี่ยวนำจากสายส่ง ในรูปแบบของไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic) และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field)



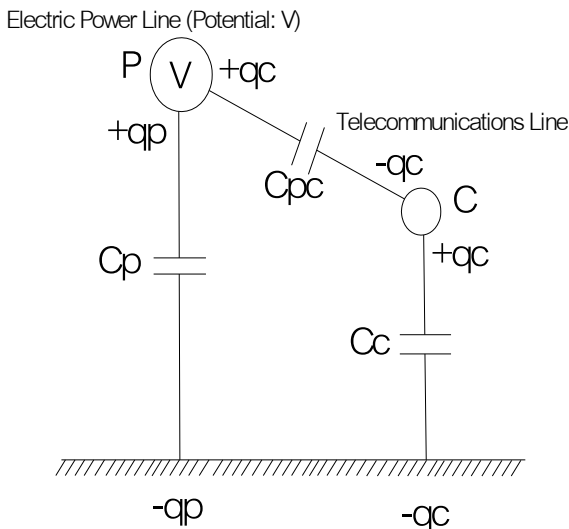
ภาพประกอบที่ 7. Electrostatic Induction

การเหนี่ยวนำที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์ เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติเมื่อเรามีตัวนำที่มีประจุไฟฟ้าวางอยู่ในอากาศ รอบ ๆ ตัวนำนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าสถิตย์ขึ้น เมื่อมีตัวนำอื่นเข้ามาใกล้อยู่ในสนามไฟฟ้าสถิตย์จะเกิดประจุตรงข้ามขึ้นที่ผิวหน้าที่อยู่ใกล้กันและประจุที่ปรากฏจะเป็นประจุตรงข้าม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเหนี่ยวนำที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์” ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำทั้งสอง กำหนดโดยปริมาณของประจุเหนี่ยวนำและระยะห่าง

กรณีสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสายสื่อสารวางขนานกันและขนานไปกับผิวดิน ให้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง (P) มีประจุความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) เทียบกับผิวดิน ประจุไฟฟ้ากำหนดค่าโดย Capacitance ระหว่างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสายสื่อสาร และให้ตั้งสมมุติฐานว่าผิวเป็นตัวนำเสมือนตัวหนึ่ง ดังนั้นประจุความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_c) ระหว่างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสายสื่อสารตามสมการที่ 1.

$$V_c = \frac{C_p}{(C_{pc} + C_c)} V \quad \text{สมการที่ 1.}$$

สมการแสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของไฟฟ้าสถิตย์เป็นสัดส่วนกับความต่างศักย์ของไฟฟ้าแรงสูง ในสภาพพื้นที่จริงสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะประกอบด้วยตัวนำมากกว่า 2 เส้น ปรากฏการณ์ที่แสดงของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิตย์จะซับซ้อนขึ้นตามภาพประกอบที่ 8.

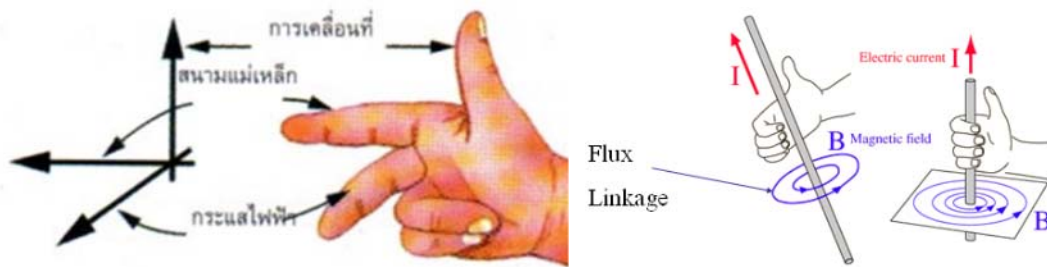


ภาพประกอบที่ 8. แสดงของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิตย์

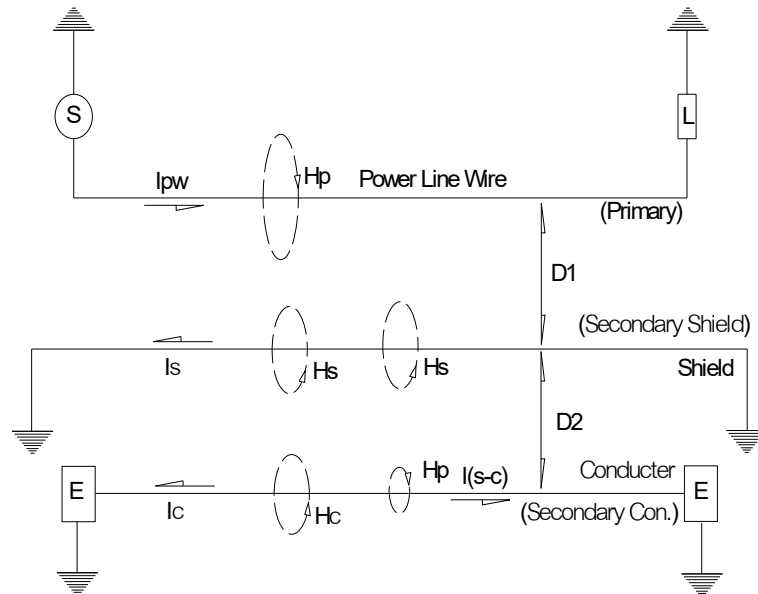
การเหนี่ยวนำที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์นั้นค่า Capacitance จะผูกพันกับของระยะห่างระหว่างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสายสื่อสาร ความเข้มของสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างเป็นนัยยะสำคัญอย่างรวดเร็วเมื่อสายทั้งสองอยู่ห่างกัน การเหนี่ยวนำที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์จะมีผลเฉพาะเมื่อสายทั้งสองอยู่ใกล้กันเท่านั้น สายสื่อสารมีชั้นโลหะพันเป็นเกราะกำบัง (Shield) ไฟฟ้าสถิตย์ไม่ส่งผลกระทบต่อ ใดๆ กับสายสื่อสารภายใน (กรณีตัวนำภายในเป็นโลหะ) แต่จะมีประจุไฟฟ้าปรากฏที่เกราะกำบังตามความเข้มของสนามไฟฟ้า

2) การเหนี่ยวนำที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำนั้น เมื่อมีลวดตัวนำอื่นเข้ามาอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเกิด Magnetic Flux เหนี่ยวนำขึ้นกับตัวนำนั้น เกิดแรงความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก การไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆ ตัวนำนั้น และมีฟลักซ์แม่เหล็กไหลเป็นวงปิดมีทิศทางตามกฎมือขวาของเฟรมมิงหรือกฎไดนาโม ที่กล่าวไว้ว่าทิศของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหาได้จากทิศของสนามแม่เหล็ก และทิศการเคลื่อนที่เป็นไปตามกฎมือขวาของสกรู (Right Hand Screw Rule)



ภาพประกอบที่ 9. การไหลของกระแสไฟฟ้าและฟลักซ์แม่เหล็กตามกฎมือขวา



ภาพประกอบที่ 10. การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมายังสายสื่อสาร

ปัญหาที่เกิดจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Coupling) เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเหนี่ยวนำมายังสายสื่อสารตามภาพประกอบที่ 10. สาย Power Line Wire เหนี่ยวนำมายัง Shield ของสายสื่อสารเกิดกระแสไหลตรงข้าม กรณีสายสื่อสารเส้นนั้นมีโลหะตัวนำภายใน สนามแม่เหล็กจากสาย Power Line Wire สนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำมายังตัวนำนี้ด้วย

ขณะเดียวกันกระแสของ Shield จะเหนี่ยวนำตัวนำภายในสายสื่อสารพร้อมกัน ปรากฏกระแสไหลในทิศทางเดียวกับ Shield จากที่ระยะห่าง Shield กับตัวนำใกล้กันมากกระแสที่เกิดใน Shield สร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่ตัวนำภายใน ทิศทางกระแสไหลตรง เกิดกระแสหักล้างบนตัวนำ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นช่วยลดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏที่ตัวนำที่ห่อหุ้มด้วย Shield

ดังนั้นสายสื่อสารชนิดที่มีโลหะตัวนำ เช่น สายเคเบิลสื่อสารทองแดงจำเป็นต้องมี Shield ห่อหุ้มเพื่อลดปัญหาสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กربกวนการ รับ-ส่ง สัญญาณสื่อสาร

4.3 ค่าระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลอดภัยบนสายสื่อสาร

ระดับความต่างศักย์ที่ปรากฏบนสายสื่อสาร ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของมนุษย์และอุปกรณ์ หน่วยงาน CCITT ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นหน่วยงาน ITU (International Telecommunication Union) กำหนดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลอดภัยภายในการทำงานปกติต้องไม่เกิน 60V. อ้างอิงมาตรฐานกำหนดให้มนุษย์ยืนอยู่บนพื้นดินแห้งและร่างกายไม่มีเปียกฝนหรือเหงื่อ ร่างกายมีค่าความต้านทานประมาณ 1 000 Ω

4.4 ระบบ Ground สายเคเบิลสื่อสาร

สายเคเบิลสื่อสารปัจจุบัน (พ.ศ. 2562) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีสื่อตัวนำผลิตทางเส้นลวดทองแดง (Copper Wire) และกลุ่มที่มีสื่อตัวนำผลิตจากเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) สายเคเบิลสื่อสารทั้ง 2 กลุ่ม ติดตั้งบนเสาไฟฟ้าร่วมกับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ถ้าโครงสร้างสายเคเบิลข้างต้นมีโลหะจะได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

4.4.1 ระบบ Ground สายเคเบิลทองแดง

สายเคเบิลทองแดงโครงสร้างมี Corrugate Aluminum Shield ป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกเพื่อให้ระบบป้องกันสัญญาณรบกวนสมบูรณ์เปลือก Shield ต้องต่อถึงกันตั้งแต่ต้นปลายถึงปลายทางระยะทางสูงสุดประมาณ 5 กิโลเมตร โครงข่ายเคเบิลทองแดงที่วางขนานไปกับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงปรากฏความต่างศักย์ไฟฟ้าบนเปลือก Shield สูงกว่ามาตรฐาน ITU เพื่อลดความต่างศักย์ไฟฟ้าสะสมบนสายเคเบิลทองแดง ป้องกันสนามแม่เหล็กรบกวนการส่งผ่านสัญญาณ จำเป็นต้องลง Ground ทุกหัวต่อซึ่งเป็นจุดต่อสายเคเบิลทองแดง

มาตรฐานระบบ Ground ข่ายสายเคเบิลแบ่งออกได้ 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ

- Ground ของสายสะพาน
- Ground ของ Shield เคเบิล

โดย Ground ทั้ง 2 ระบบนี้ต้องแยกจากกันอย่างเด็ดขาด เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าส่วนเกินจากระบบสายส่ง จากฟ้าผ่าสาย Overhead Ground Wire² ของระบบสายส่งที่วิ่งผ่านแกนเสาไฟฟ้าเพื่อลงดิน อาจวิ่งผ่านสายสะพานมายัง Shield เคเบิลจึงต้องแยกออกจากกันอย่างเด็ดขาด

ระบบ Ground ข่ายสายเคเบิลวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติการหรือประชาชน ลดความรุนแรงที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์โทรคมนาคม เสริมคุณภาพบริการ

โครงข่ายเคเบิลทองแดง ประกอบด้วยเคเบิลสายผ่าน (Trunk Cable) เคเบิลที่ออกจากชุมสายไปยังตู้พักปลายทาง (Local Cable) อุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ เช่น ตู้ผ่าน (Cross Connecting Cabinet) หัวต่อ (Splice Closure) บ่อพัก (Manhole) บ่อพักย่อย (Pull Box) ตู้พักปลายทางทั้งแบบ Stub Cable Terminals หรือ Ready Access Cable Terminal/Closure เป็นต้น ซึ่งโครงข่ายเคเบิลทองแดงทั้งระบบต้องต่อลง Ground ผ่านสาย Ground Wire ลงหลักดิน

² ติดตั้งบนยอดสูงสุดตลอดความยาวของสายส่งไฟฟ้า เพื่อสร้าง Lightning Protection Zone ป้องกันระบบสายไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ 11. จุดต่อสาย Ground Wire กับ Shield ของสายเคเบิลทองแดง

จุดต่อระบบ Ground ทุกจุดต้องแน่นหนามั่นคง ค่าความต้านทานต่อตำ มาตรฐานจุดต่อระหว่าง Corrugate Aluminum Shield สายเคเบิลทองแดงกับสาย Ground Wire มาตรฐานที่กำหนด $\leq 2 \text{ m}\Omega$

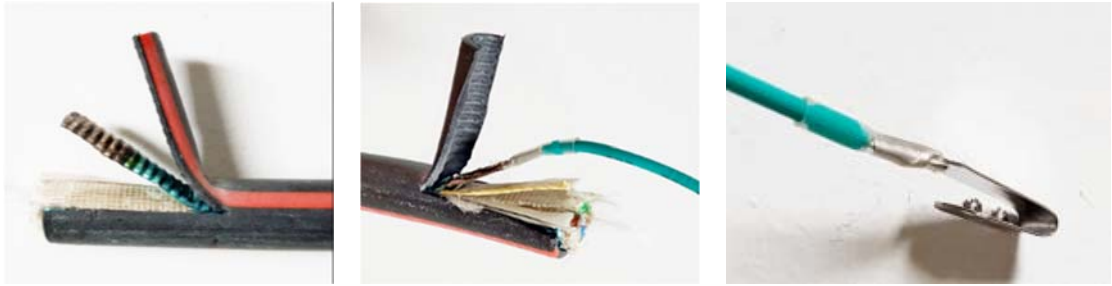
จุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Aluminum Shield ของสายเคเบิลทองแดงตามภาพประกอบที่ 11. Corrugate Aluminum Shield ผลิตจากแผ่นอลูมิเนียมเคลือบพลาสติกทั้งสองด้าน (Laminate) ขึ้นรูปเป็นลอนรองรับการโค้งงอของสายเคเบิล อุปกรณ์ต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Aluminum Shield ออกแบบเป็นแผ่นมีพื้นโลหะให้กดทะลุแผ่นพลาสติกเคลือบ เมื่อขันอัดด้วยน็อต (Nut) 2 ตัว ตัวในช่วยเพิ่มแรงกดทับบริเวณหน้าสัมผัสช่วยลดค่าความต้านทานบริเวณจุดสัมผัส น็อตตัวนอกป้องกันคลาย

4.4.2 ระบบ Ground สายเคเบิล OFC

สายเคเบิล OFC (Optical Fiber Cable) คุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงไม่ได้รับผลกระทบจากสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังนั้นสายเคเบิล OFC ที่ไม่มีโครงสร้างโลหะไม่จำเป็นต้องมีระบบ Ground เช่น สาย ADSS OFC

แต่สายเคเบิล OFC ที่มีโครงสร้างโลหะจำเป็นต้องมีระบบ Ground เช่น สาย ARSS OFC สาย FRSS OFC โครงสร้างห่อหุ้มด้วย Corrugate Armoured Steel ลง Ground และสายเคเบิล OFC โครงการ TNEP โครงสร้างห่อหุ้มด้วย Corrugate Aluminum Shield ความยาวสายเคเบิล OFC ตั้งแต่ต้นปลายถึงปลายทางระยะทาง 60 ถึง 120 กิโลเมตร **รายละเอียดระบบ Ground อยู่ในภาคผนวก ก.**

จากข้อกำหนดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสายเคเบิล ARSS OFC มีขนาดเล็ก จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง $12 F$ ถึง $60 F$ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 13 mm . $72 F$ ถึง $120 F$ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 16 mm . ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าสายเคเบิลทองแดงมากไม่สามารถใช้อุปกรณ์ต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Aluminum Shield ของสายเคเบิลทองแดงได้ แต่ มาตรฐานจุดต่อกำหนดค่าความต้านทาน $\leq 2 \text{ m}\Omega$ มาตรฐานเดียวกัน



ภาพประกอบที่ 12. จุดต่อสาย Ground Wire กับ Shield ของสายเคเบิล OFC

จากข้อจำกัดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสาย ARSS OFC ข้างต้น อุปกรณ์ต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ที่ใช้งานจึงออกแบบเป็นแผ่นโลหะตัวนำชิ้นเล็ก ๆ ต่อด้วยการบีบอัดกับ Corrugate Armoured Steel ที่เป็นแผ่นโลหะเคลือบพลาสติกทั้งสองด้านตามภาพประกอบที่ 12. มีปัญหาเรื่องจุดสัมผัสไม่มีความมั่นคง ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสไม่เสถียร

ดังนั้นโครงการศึกษาวิจัยนี้ เป้าหมายเพื่อ “ลดค่าความต้านทานจุดต่อระหว่าง Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC กับสาย Ground ” รองรับปัญหาที่เกิดขึ้น

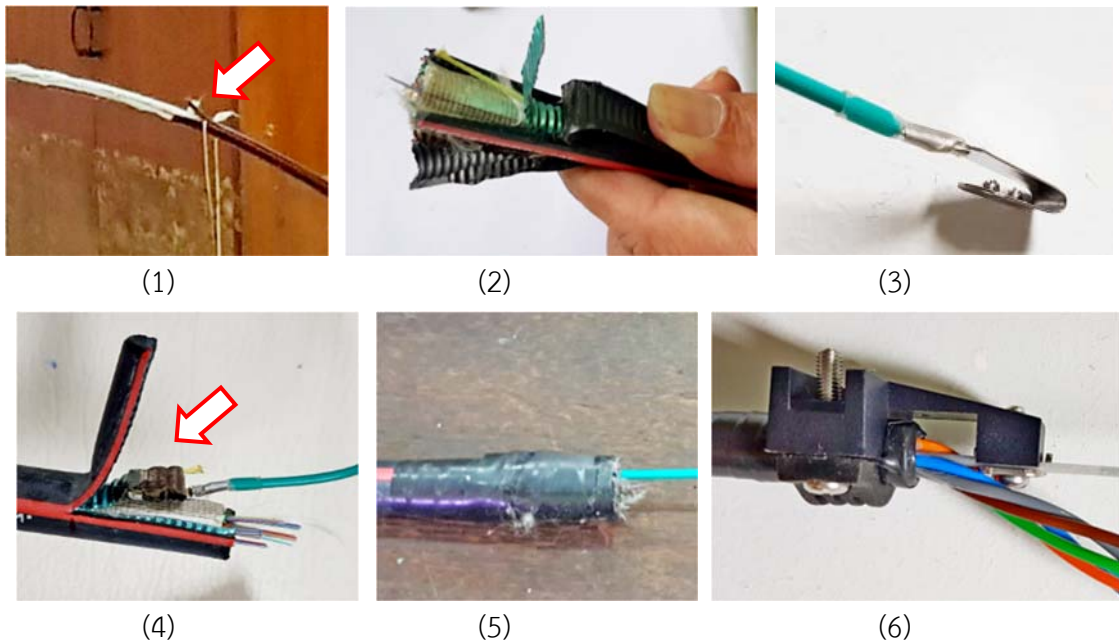
5. ออกแบบวิธีต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel

การศึกษานี้ศึกษาหาวิธีการลดค่าความต้านทานจุดต่อระหว่าง Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC กับสาย Ground อ้างอิงมาตรฐานจุดต่อกำหนดค่าความต้านทาน $\leq 2 \text{ m}\Omega$ จุดต่อต้องมีความแน่นหนามั่นคง ลดปัญหาการอาร์ค (Arc) ที่จุดต่อเชื่อมจนเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟไหม้ที่หัวต่อนั้น ๆ ได้

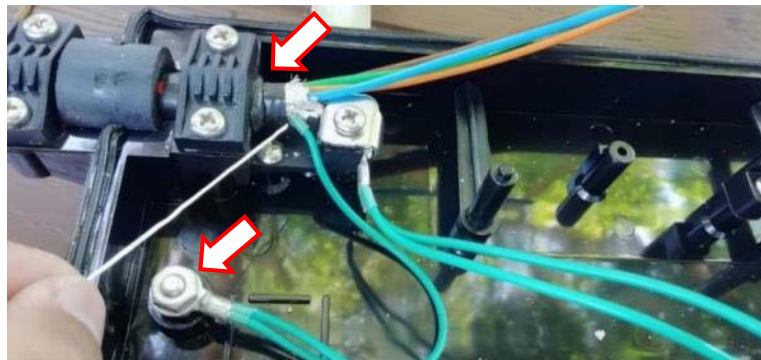
ขั้นตอนการต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ปอกเปลือกสาย OFC เตรียมความยาวเส้นใยแก้วนำแสง โดยเปิดปลายสายเพื่อดึงสาย Ripcord 2 เส้น (สำหรับปอกเปลือกสายฯ) ที่วางตำแหน่งตรงข้ามในโครงสร้างสาย OFC ตามระยะความยาวสำหรับตัดต่อเส้นใยแก้วนำแสงตามกรรมวิธีปกติ (ภาพประกอบที่ 13. หมายเลข 1)
- 2) ตัดเปลือกสายเคเบิลออกให้เหลือรอยผ่าลึกที่เกิดจากสาย Ripcord จากปลายสายเคเบิล OFC ลึกเข้ามาประมาณ 5 cm. และแยกแผ่น Corrugate Armoured Steel ออกจากเปลือกสายเคเบิล OFC (ภาพประกอบที่ 13. หมายเลข 2)
- 3) พับแผ่น Corrugate Armoured Steel กลับทำมุม 180° ระยะเท่ากับแผ่นโลหะที่ต่อกับสาย Ground Wire
- 4) เตรียมสาย Ground Wire ปลายที่จะต่อกับ แผ่น Corrugate Armoured Steel มีแผ่นโลหะโค้งงอทำมุม 180° (ภาพประกอบที่ 13. หมายเลข 3)

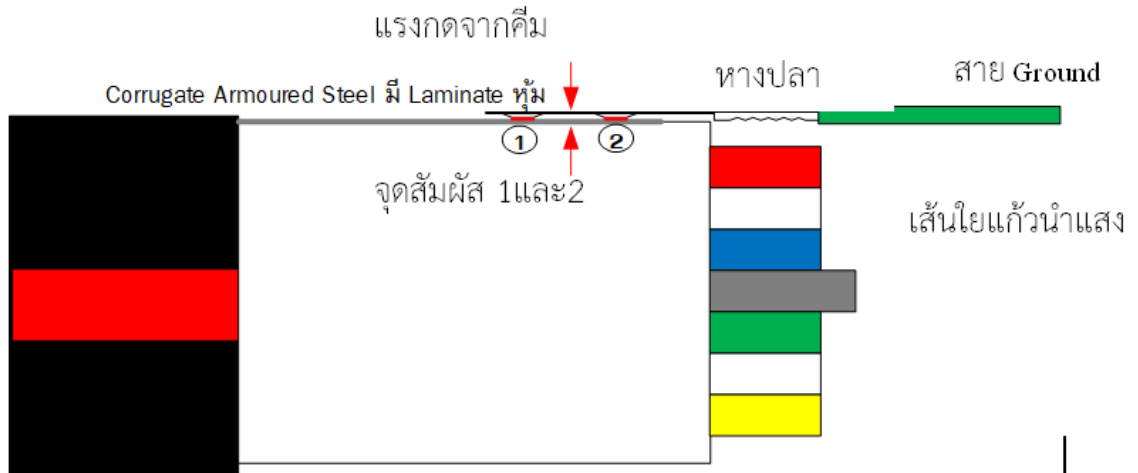
- 5) บีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel (ภาพประกอบที่ 13. หมายเลข 4)
- 6) ปิดเปลือกสายเคเบิลกดทับจุดต่อสาย Ground Wire พร้อมพันเทปอย่างน้อย 2 รอบ (ภาพประกอบที่ 13. หมายเลข 5)
- 7) นำ Clamp ของอุปกรณ์หัวต่อประกบปิดพร้อมประกอบเข้าหัวต่อเคเบิล (ภาพประกอบที่ 13. หมายเลข 6)
- 8) ติดตั้งสาย OFC ที่ต่อแล้วเสร็จเข้ากับหัวต่อตำแหน่ง Cable Entrance (ภาพประกอบที่ 14.)



ภาพประกอบที่ 13. ขั้นตอนการต่อสาย Ground กับ Corrugate Armoured Steel



ภาพประกอบที่ 14. ตำแหน่งติดตั้งสาย OFC ลูกศรด้านบนและการต่อสาย Ground Wire เข้ากับจุดลง Ground ที่หัวต่อตำแหน่งลูกศรด้านล่าง



ภาพประกอบที่ 15. จุดสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะกับ Corrugate Armoured Steel ที่มีแผ่นพลาสติกเคลือบ

แผ่นโลหะโค้งงอของสาย Ground Wire สำหรับต่อกับ Corrugate Armoured Steel ซึ่งมีพลาสติกเคลือบทั้งสองด้าน ขั้นตอนการติดตั้งจะใช้คีมบีบที่ Corrugate Armoured Steel กับแผ่นโลหะของสาย Ground Wire หากจุดสัมผัสไม่แน่นพอ มีค่าความต้านทานจุดต่อสูง หรือจุดสัมผัสเคลือบพลาสติกซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าวางกันอยู่หากไม่ทะลุผ่านก็จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการอาร์คในขณะที่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่สูงได้

5.1 ค่าความต้านทานจุดต่อฯ มีแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel

จากขั้นตอนและปัญหาหน้าสัมผัสจุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ข้างต้น เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องมีข้อมูลว่าค่าความต้านทานจุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel เดิมมีปัญหาอะไรบ้าง จากมาตรฐานจุดต่อสาย Ground Wire กับ Shield สายเคเบิลทองแดงระบุ $\leq 2 \text{ m}\Omega$ แต่ค่าความต้านทานจุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ยังไม่มีมาตรฐานกำหนด

เพื่อศึกษาจุดต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel เตรียมตัวอย่างโดยตัดสาย ARSS OFC ยาว 30 cm. เปิดปลายทั้ง 2 ด้านตามภาพประกอบที่ 16. จำนวน 10 ตัวอย่าง และสาย Ground Wire ตามภาพประกอบที่ 17. จำนวน 10 ตัวอย่าง



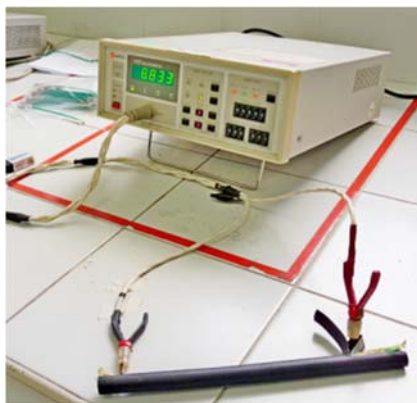
ภาพประกอบที่ 16. สายตัวอย่าง ARSS OFC เพื่อวัดค่าความต้านทาน Corrugate Armoured Steel



ภาพประกอบที่ 17. สาย Ground Wire ต่อกับ Corrugate Armoured Steel สาย ARSS OFC

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) วัดค่าความต้านทานสาย ARSS OFC ยาว 30 cm. ด้วยเครื่อง Milliohm Meter จำนวน 10 ตัวอย่าง พร้อมบันทึกลงในตารางที่ 1.
- 2) วัดค่าความต้านทานสาย Ground Wire ด้วยเครื่อง Milliohm Meter จำนวน 10 ตัวอย่าง พร้อมบันทึกลงในตารางที่ 1.
- 3) ติดตั้งสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel สายตัวอย่างที่เปิดปลายไว้ ด้านใดด้านหนึ่ง จากนั้นพันด้วยเทปพันสายไฟอย่างน้อย 2 รอบ ตามภาพประกอบที่ 17.
- 4) วัดค่าความต้านทานรวมด้วยเครื่อง Milliohm Meter สายวัดค่าเส้นแรกจับที่สาย Ground Wire สายวัดค่าอีกเส้นจับที่ Corrugate Armoured Steel จำนวน 10 ตัวอย่าง พร้อมบันทึกลงในตารางที่ 1.



ภาพประกอบที่ 18. วัดค่าความต้านทานจุดต่อฯ ด้วยเครื่อง Milliohm meter

ผลการวัดค่าความต้านทานจุดต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel สาย ARSS OFC ซึ่งมีแผ่นพลาสติกเคลือบทั้งสองด้านตามตารางที่ 1.

รายละเอียดค่าในตารางที่ 1. ช่องที่ (1) วัดค่าความต้านทางสาย Ground Wire ช่องที่ (2) วัดค่าสาย ARSS OFC ยาว 30 cm. ช่องที่ (3) รวมค่า (1) + (2) ช่องที่ (4) เป็นค่าความต้านทานรวมที่วัด

ด้วยเครื่อง Milliohm meter ส่วนช่องที่ (5) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงค่าเฉพาะจุดต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC

สรุปตามตารางที่ 1. จุดต่อฯ วัดค่าหลังพันเทปอย่างน้อย 2 รอบ ค่าความต้านทานเฉลี่ย $4.01\ m\Omega$ ค่าสูงสุด $9.30\ m\Omega$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Deviation) 3.05 เมื่อนำ Clamp มารัดด้วยอุปกรณ์ที่มาจับหัวต่อสำหรับติดตั้งสาย ARSS OFC กับช่องเข้าสายหัวต่อเคเบิล (Cable Entrance) ค่าความต้านทานเฉลี่ย $1.32\ m\Omega$ ค่าสูงสุด $4.20\ m\Omega$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.35

จับยึดเพิ่มเติมด้วย Clamp ค่าความต้านทานจุดต่อต่ำกว่าพันเทป แต่สูงกว่ามาตรฐานจุดต่อระหว่าง Shield กับสาย Ground Wire ของสายเคเบิลทองแดงที่ระบุ $\leq 2\ m\Omega$ เมื่อดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดต่อพันเทปค่าอยู่ที่ 3.05 เมื่อจับยึดเพิ่มเติมด้วย Clamp ค่าลดลงมาที่ 1.35 (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานยิ่งน้อยยิ่งดี)

ตารางที่ 1. ค่าความต้านทานจุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel

Sample	(1) Resistance Cable $m\Omega$	(2) Resistance Ground Wire $m\Omega$	(3) = (1)+(2) Contact Resistance $m\Omega$	(4) Contact Resistance $m\Omega$		(5) = (4)-(3) Contact Resistance $m\Omega$	
				พันเทป 2 รอบ	พันเทป รัด Clamp	พันเทป 2 รอบ	พันเทป รัด Clamp
1	7.98	6.74	14.72	19.04	15.20	4.32	0.48
2	8.12	6.45	14.57	22.77	14.92	8.20	0.35
3	7.55	7.23	14.78	16.23	15.90	1.45	1.12
4	8.23	7.82	16.05	16.59	16.48	0.54	0.43
5	7.97	6.47	14.44	15.42	15.31	0.98	0.87
6	8.32	8.15	16.47	25.77	20.67	9.30	4.20
7	7.90	7.64	15.54	16.67	16.44	1.13	0.90
8	8.77	7.99	16.76	21.19	20.16	4.43	3.40
9	9.24	8.03	17.27	22.63	18.47	5.36	1.20
10	9.99	7.16	17.15	21.49	17.42	4.34	0.27
			Max			9.30	4.20
			Min			0.54	0.27
			Avg.			4.01	1.32
			Std. Deviation			3.05	1.35

การทดลอง High Current

ทดลองจุดต่อระหว่างสาย Ground wire กับ Corrugate Armoured Steel มาตรฐานจุดต่อระหว่าง Shield กับสาย Ground Wire ของสายเคเบิลทองแดงระบุต้องสามารถทนต่อกระแส 50 Amp. ระยะเวลา 3 sec. ทดลองจำนวน 5 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง High Current



ภาพประกอบที่ 19. ทดลองจุดต่อฯ ด้วยเครื่อง High Current

ผลการทดลอง High Current จำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดลอง 2 ตัวอย่างไม่ผ่าน เนื่องจากจุดที่สัมผัสระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ค่าความต้านทานสูงหรือหน้าสัมผัสไม่แน่น และ 3 ตัวอย่างเกิดเปลวไฟที่ห่อหุ้มที่นำมาหุ้มจุดจําสาย Ground Wire กับแผ่นโลหะ

โดยสรุปจุดต่อระหว่างสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC ผลการทดลองจำนวน 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดลองพันเทปและรัดด้วย Clamp พร้อมติดตั้งกับช่องเข้าสายหัวต่อเคเบิลค่าความต้านทานเฉลี่ย $1.32\text{ m}\Omega$ ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ค่าความต้านทานจุดต่อสูงสุด $4.20\text{ m}\Omega$ เกินมาตรฐาน ($\leq 2\text{ m}\Omega$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.35 และผลทดลอง High Current จำนวน 5 ตัวอย่าง ผ่านการทดลองเพียง 3 ตัวอย่าง

5.2 ค่าความต้านทานจุดต่อฯ เอาแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel ออก

จากปัญหาจุดสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะที่ต่อกับสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ที่มีแผ่นพลาสติกเคลือบไม่เต็มพื้นที่จากแผ่นพลาสติกซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวน อาจเป็นต้นเหตุให้ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสสูง

ทีมงานมีแนวคิดถ้าไม่มีแผ่นพลาสติกเคลือบค่าความต้านทานจุดต่อน่าจะมีค่าน้อยลง เพิ่มผิวสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะของสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel จึงทดลองใช้ความร้อนเผาแผ่นพลาสติกเคลือบออกพร้อมทาเจลป้องกันสนิม³

³ เจลป้องกันสนิม มีคุณสมบัติกัดสนิมเก่า ป้องกันสนิมใหม่ (Food Grade) รายละเอียดเพิ่มเติมขอข้อมูลได้ที่สถาบันนวัตกรรม ทีโอที

ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ปอกเปลือกสาย OFC ด้วยสาย Ripcord 2 เส้น (สำหรับปอกเปลือกสายฯ) ที่วางตำแหน่งตรงข้ามในโครงสร้างสาย OFC ให้เหลือรอยผ่าลึกที่เกิดจากสาย Ripcord จากปลายสายเคเบิล OFC ลึกเข้ามาประมาณ 5 cm. และแยกแผ่น Corrugate Armoured Steel ออกจากเปลือกสายเคเบิล OFC (ภาพประกอบที่ 20. หมายเลข 1)
- 2) ใช้ไฟเผาแผ่นพลาสติกที่เคลือบ Corrugate Armoured Steel ให้หมดด้วยไฟแช็คเล็กหรือเครื่องพ่นไฟตามภาพประกอบที่ 20. หมายเลข 1 หรือ 2 และทำความสะอาดจุดที่เผาด้วยแอลกอฮอล์ซึ่งอยู่ในชุดประกอบของหัวต่อสายเคเบิล OFC
- 3) ทาเจลกันสนิมที่ผิวของ Corrugate Armoured Steel ที่ทำความสะอาดทั้งสองด้านก่อนบีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel (ภาพประกอบที่ 20. หมายเลข 6) แบ่งตัวอย่างทดลองออก 2 กลุ่ม ๆ ละ 5 ตัวอย่าง
 - No. 1-5 ทาเจลกันสนิมก่อนบีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel
 - No. 6-10 บีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel ก่อนแล้วทาเจลกันสนิมภายหลัง
- 4) พับ Corrugate Armoured Steel ใช้เทปพันทับและใช้ Clamp รัด



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

ภาพประกอบที่ 20. ขั้นตอนการเอาแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel ทาเจลและต่อสาย Ground Wire

หลังจากเตรียมตัวอย่างซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มทั้ง 10 ตัวอย่าง ขั้นตอนการตรวจสอบเหมือนกับ การทดลองของตารางที่ 1. ผลการทดลองตามตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. คตท. จุดต่อๆ โดย Corrugate Armoured Steel ไม่มีแผ่นพลาสติกเคลือบ

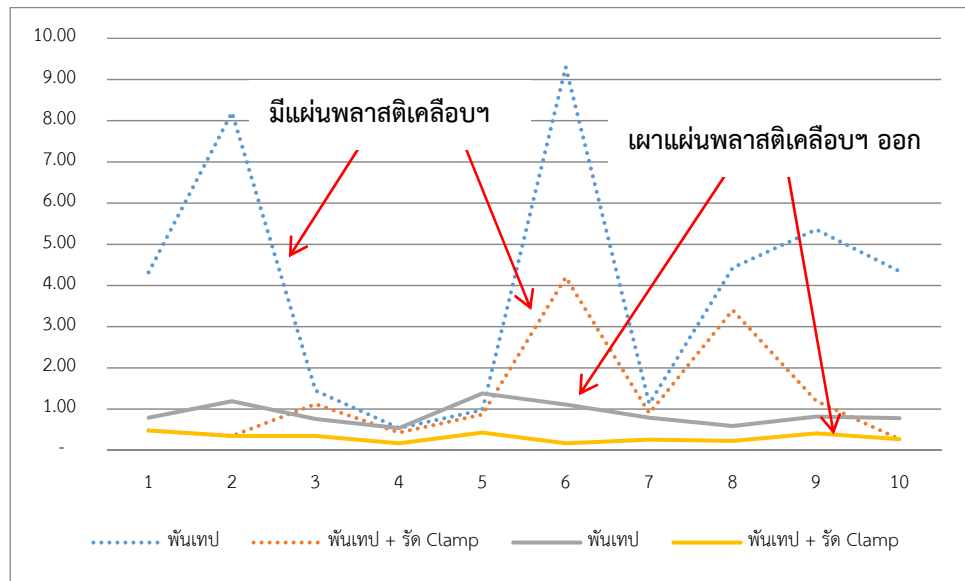
Sample	(1) Resistance Cable $m\Omega$	(2) Resistance Ground Wire $m\Omega$	(3) = (1)+(2) Contact Resistance $m\Omega$	(4) Contact Resistance $m\Omega$		(5) = (4)-(3) Contact Resistance $m\Omega$	
				พันเทป 2 รอบ	พันเทป รัด Clamp	พันเทป 2รอบ	$m\Omega$
				1	7.51	6.44	13.95
2	7.22	6.15	13.37	14.56	13.72	1.19	0.35
3	8.83	6.93	15.76	16.52	16.11	0.76	0.35
4	7.12	7.52	14.64	15.18	14.81	0.54	0.17
5	8.55	6.17	14.72	16.10	15.15	1.38	0.43
6	7.54	7.85	15.39	16.50	15.56	1.11	0.17
7	8.35	7.34	15.69	16.48	15.95	0.79	0.26
8	9.21	7.69	16.90	17.49	17.13	0.59	0.23
9	9.48	7.73	17.21	18.03	17.62	0.82	0.41
10	10.62	6.86	17.48	18.26	17.75	0.78	0.27
Max						1.38	0.48
Min						0.54	0.17
Avg.						0.88	0.31
Std. Deviation						0.26	0.10

ผลการทดลองตามตารางที่ 2. จุดต่อๆ ที่ใช้ไฟเผาแผ่นพลาสติกที่เคลือบ Corrugate Armoured Steel ออกจนหมด แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก No. 1-5 ทาเจลกันสนิมก่อนบีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel กลุ่มที่สอง No. 6-10 บีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel ก่อนแล้วทาเจลกันสนิมภายหลัง

ทั้งสองกลุ่มตัวอย่างวัดค่าหลังพันเทปอย่างน้อย 2 รอบ ค่าความต้านทานเฉลี่ย $0.88 m\Omega$ ค่าสูงสุด $1.38 m\Omega$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Deviation) 0.26 เมื่อนำ Clamp มารัดด้วยอุปกรณ์ที่มาจับหัวต่อสำหรับติดตั้งสาย ARSS OFC กับช่องเข้าสายหัวต่อเคเบิล (Cable Entrance) ค่าความต้านทานเฉลี่ย $0.31 m\Omega$ ค่าสูงสุด $0.48 m\Omega$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.10

ผลการทดลองจุดต่อฯ ที่ใช้ไฟเผาแผ่นพลาสติกที่เคลือบ Corrugate Armoured Steel ออกจนหมดทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างไม่มีความแตกต่าง ค่าความต้านทานจุดเชื่อมทั้งบพันเทปและรัด Clamp ได้มาตรฐานตามที่สายเคเบิลทองแดงกำหนด $\leq 2\ m\Omega$ เมื่อดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีการเกาะกลุ่มค่า 0.10 ซึ่งค่าเข้าใกล้ “0” แสดงถึงขั้นตอนในการปฏิบัติงานมีความเสถียร ควบคุมค่าความต้านทานได้ ทุกตัวอย่างทดลอง

ผลการทดลอง High Current กระแส 50 Amp. ระยะเวลา 3 sec. สุ่มทดลอง 5 ตัวอย่าง ผ่านการทดลองทุกตัวอย่างทดลอง



กราฟที่ 1. เปรียบเทียบจุดต่อที่มีและไม่มีแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel

เปรียบเทียบจุดต่อที่มีและไม่มีแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel ตามกราฟที่ 1. อย่างละ 10 ตัวอย่างทดลอง ตัวอย่างจุดต่อที่ไม่เอาแผ่นพลาสติกออกพันเทป 2 รอบ ค่าความต้านทานสูงสุด $9.30\ m\Omega$ เมื่อรัดด้วย Clamp ค่าความต้านทานสูงสุด $4.20\ m\Omega$

เมื่อเผาแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel ตัวอย่างทดลองรวม 10 ตัวอย่างค่าความต้านทานได้มาตรฐานทั้งหมด ($\leq 2\ m\Omega$) สรุบบื้องต้นแผ่นพลาสติกเคลือบมีผลต่อค่าความต้านทานจุดต่อ

5.3 ค่าความต้านทานจุดต่อฯ เอาแผ่นพลาสติกเคลือบ Corrugate Armoured Steel ออกและทาเจลก่อนบีบแผ่นโลหะจุดต่อ

ผลการทดลองตามตารางที่ 2. จุดต่อฯ ที่ใช้ไฟเผาแผ่นพลาสติกที่เคลือบ Corrugate Armoured Steel ออกจนหมด แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือทาเจลกันสนิมก่อนและหลังบีบอัดแผ่นโลหะเข้ากับแผ่น Corrugate Armoured Steel ค่าความต้านทานใกล้เคียงกัน

ผลจากการทดลองทาเจลกันสนิมก่อนบีบอัดแผ่นโลหะปฏิบัติสะดวกกว่า ดังนั้นเพื่อความชัดเจนคณะทำงานจึงกำหนดแนวทางว่าให้ “ทาเจลกันสนิมก่อนบีบอัดแผ่นโลหะ” พร้อมเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีทาเจลก่อนเพิ่มอีก 30 ตัวอย่าง เพื่อสรุปผลก่อนเผยแพร่

ผลการทดลองตารางที่ 3. จุดต่อๆ “ทาเจลกันสนิมก่อนบีบอัดแผ่นโลหะ” จำนวน 30 ตัวอย่าง วัดค่าหลังพันเทปอย่างน้อย 2 รอบ ค่าความต้านทานเฉลี่ย $1.05\ m\Omega$ ค่าสูงสุด $1.90\ m\Omega$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.36 เมื่อนำ Clamp มารัดด้วยอุปกรณ์ที่มาจับหัวต่อสำหรับติดตั้งสาย ARSS OFC กับช่องเข้าสายหัวต่อเคเบิลค่าความต้านทานเฉลี่ย $0.43\ m\Omega$ ค่าสูงสุด $1.13\ m\Omega$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.25

ผลการทดลอง High Current กระแส $50\ Amp.$ ระยะเวลา $3\ sec.$ สุ่มทดลอง 5 ตัวอย่าง ผ่านการทดลองทุกตัวอย่างทดลอง

โดยสรุปผลการทดลองจุดต่อๆ ที่ใช้ไฟเผาแผ่นพลาสติกที่เคลือบ Corrugate Armoured Steel ออกจนหมด จากนั้นทาเจลกันสนิมก่อนบีบอัดแผ่นโลหะกับ Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC ผลการทดลองจำนวน 30 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดลองพันเทปและรัดด้วย Clamp พร้อมติดตั้งกับช่องเข้าสายหัวต่อเคเบิลค่าความต้านทานเฉลี่ย $0.43\ m\Omega$ ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ค่าความต้านทานจุดต่อสูงสุด $1.13\ m\Omega$ ได้ตามมาตรฐาน ($\leq 2\ m\Omega$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.25 และผลทดลอง High Current จำนวน 5 ตัวอย่าง ผ่านการทดลองทุกตัวอย่างทดลอง

ตารางที่ 3. คตท. จุดต่อๆ โดย Corrugate Armoured Steel ไม่มีแผ่นพลาสติกเคลือบเทาเจล

Sample	(1)	(2)	(3) = (1)+(2)	(4) Contact		(5) = (4)-(3)	
	Resistance	Resistance	Contact	Resistance $m\Omega$		Contact Resistance	
	Cable	Ground Wire	Resistance			$m\Omega$	
	$m\Omega$	$m\Omega$	$m\Omega$	พันเทป	รัด Clamp	พันเทป	รัด Clamp
1	7.51	6.44	13.95	14.74	14.43	0.79	0.48
2	7.22	6.15	13.37	14.56	13.72	1.19	0.35
3	8.83	6.93	15.76	16.52	16.11	0.76	0.35
4	7.12	7.52	14.64	15.18	14.81	0.54	0.17
5	8.55	6.17	14.72	16.10	15.15	1.38	0.43
6	7.54	7.85	15.39	16.50	15.56	1.11	0.17
7	8.35	7.34	15.69	16.48	15.95	0.79	0.26
8	9.21	7.69	16.90	17.49	17.13	0.59	0.23
9	9.48	7.73	17.21	18.03	17.62	0.82	0.41
10	10.62	6.86	17.48	18.26	17.75	0.78	0.27
11	7.23	7.83	15.06	15.90	15.25	0.84	0.19
12	7.56	6.65	14.21	15.65	15.01	1.44	0.80
13	7.42	7.95	15.37	16.51	15.63	1.14	0.26
14	6.60	6.78	13.38	15.04	14.31	1.66	0.93
15	7.42	7.79	15.21	15.96	15.54	0.75	0.33
16	9.05	6.45	15.50	16.94	16.32	1.44	0.82
17	7.52	8.13	15.65	16.77	16.45	1.12	0.80
18	7.83	7.41	15.24	16.55	15.64	1.31	0.40
19	7.22	6.84	14.06	15.96	15.19	1.90	1.13
20	8.84	7.74	16.58	17.55	16.85	0.97	0.27
21	7.33	6.95	14.28	15.68	14.98	1.40	0.70
22	8.78	7.77	16.55	17.30	16.83	0.75	0.28
23	8.75	7.26	16.01	16.52	16.28	0.51	0.27
24	7.22	7.29	14.51	15.87	15.06	1.36	0.55
25	7.75	7.85	15.60	16.33	15.85	0.73	0.25
26	7.06	7.58	14.64	16.20	14.97	1.56	0.33
27	8.04	7.63	15.67	16.76	16.13	1.09	0.46
28	6.91	6.92	13.83	15.18	14.48	1.35	0.65
29	8.89	8.16	17.05	17.66	17.23	0.61	0.18
30	9.92	8.05	17.97	18.91	18.23	0.94	0.26
Max						1.90	1.13
Min						0.51	0.17
Avg.						1.05	0.43
Std. Deviation						0.36	0.25

ผลการทดลองตัวอย่างทั้ง 3 รูปแบบข้างต้น แบ่งเป็น

- 1) จุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel โดยใช้ความร้อนเผาแผ่นพลาสติกเคลือบทั้งสองด้าน (Laminate) ทาเจลกันสนิมก่อนบีบแผ่นโลหะของสาย Ground Wire จำนวน 30 ตัวอย่าง
- 2) จุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel โดยใช้ความร้อนเผาแผ่นพลาสติกเคลือบทั้งสองด้าน (Laminate) ทาเจลกันสนิมก่อนและหลังบีบแผ่นโลหะของสาย Ground Wire อย่างละ 5 ตัวอย่าง รวม 10 ตัวอย่าง
- 3) จุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ที่มีแผ่นพลาสติกเคลือบทั้งสองด้าน (Laminate) จำนวน 10 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4. เปรียบเทียบผลการทดลองจาก 3 ตารางข้างต้น

รายละเอียด	รูปแบบที่ 1.		รูปแบบที่ 2.		รูปแบบที่ 3.	
	ทาเจลไม่มีแผ่นพลาสติกพันเทป	ทาเจลไม่มีแผ่นพลาสติกพันเทปและรัด Clamp	ทาเจลไม่มีแผ่นพลาสติกพันเทป	ทาเจลไม่มีแผ่นพลาสติกพันเทปและรัด Clamp	มีแผ่นพลาสติกพันเทป	มีแผ่นพลาสติกพันเทปและรัด Clamp
Sample	30.00	30.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Std. Deviation	0.36	0.25	0.27	0.11	3.05	1.36
Min $m\Omega$	0.51	0.17	0.54	0.17	0.54	0.27
Max $m\Omega$	1.90	1.13	1.38	0.48	9.30	4.20
Avg. $m\Omega$	1.05	0.43	0.88	0.31	4.01	1.32

ผลการทดลองทั้ง 3 รูปแบบสรุปเปรียบเทียบตามตารางที่ 4. Corrugate Armoured Steel ที่ใช้ความร้อนเผาแผ่นพลาสติกเคลือบทั้งสองด้านออก ค่าความต้านทานจุดต่อผ่านมาตรฐานที่กำหนด ($\leq 2 m\Omega$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเข้าใกล้ "0" และผลการทดลองกระแส 50 Amp. ระยะเวลา 3 sec. ผ่านทุกตัวอย่างทดลอง ขั้นตอนการทำเจลกันสนิมไม่มีผลต่อความต้านทานจุดต่อ แต่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานกรณีไม่ได้ทาเจลกันสนิม

6. สรุปผลการทดลอง

โครงข่ายสายสื่อสารโทรคมนาคมติดตั้งร่วมกับระบบสายส่งไฟฟ้าบนเสาต้นเดียวกันระดับต่ำสุดของเสาไฟฟ้าต้นนั้น ๆ กรณีสายสื่อสารมีโครงสร้างโลหะจะได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จำเป็นต้องมีระบบ Ground เพื่อความปลอดภัยและความเสถียรของโครงข่าย

สาย ARSS OFC (Anti-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) และสาย FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) โครงสร้างหุ้มด้วย Corrugate Armoured Steel หนา 1.5 mm. ตามมาตรฐานจุดต่อระบบ Ground บมจ.ทีโอที กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ จุดเชื่อม $\leq 2 \text{ m}\Omega$

วิธีการจุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ของสาย ARSS OFC และสาย FRSS OFC ที่มีแผ่นพลาสติกเคลือบซึ่งเป็นวิธีการต่อที่ใช้งานผลการทดลองค่าความต้านทานจุดต่อสูงกว่ามาตรฐาน ผลการทดลอง High Current กระแส 50 Amp. ระยะเวลา 3 sec. สุ่มทดลอง 5 ตัวอย่างบางตัวอย่างไม่ผ่านการทดลอง

จากปัญหาจุดต่อที่ทีมงานได้ทดลองเผาแผ่นพลาสติกเคลือบออก และดำเนินการต่อด้วยกรรมวิธีที่ปฏิบัติเดิม ผลการทดลองเบื้องต้น 10 ตัวอย่าง แบ่งเป็นทางเจลกันสนิมก่อนต่อและต่อแล้วเสร็จจึงทางเจลกันสนิม อย่างละ 5 ตัวอย่าง เจลกันสนิมไม่มีผลกระทบต่อค่าความต้านทานจุดต่อ ผลการทดลอง High Current กระแส 50 Amp. ระยะเวลา 3 sec. สุ่มทดลอง 5 ตัวอย่างผ่านการทดลองทุกตัวอย่าง

ทดลองเพิ่มอีก 30 ตัวอย่าง โดยต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel ตามกรรมวิธีและทางเจลกันสนิม ผลการวัดค่าความต้านทานหลังพันเทปอย่างน้อย 2 รอบและรัด Clamp ค่าความต้านทานจุดต่อผ่านมาตรฐานที่กำหนด ($\leq 2 \text{ m}\Omega$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเข้าใกล้ "0" และผลการทดลองกระแส 50 Amp. ระยะเวลา 3 sec. ผ่านทุกตัวอย่างทดลอง

สรุปจุดต่อสาย Ground Wire กับ Corrugate Armoured Steel เผาพลาสติกเคลือบพลาสติกทั้งสองด้าน (Laminate) ออก ก่อนนำแผ่นโลหะตัวนำของสาย Ground Wire ปีบกับแผ่น Corrugate Armoured Steel และทาเจลกันสนิม สุดท้ายดำเนินการตามกรรมวิธีปกติ

คณะกรรมการวิจัยฯ

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. นาย สรรเสริญ ทรงเผ่า | ส่วนนวัตกรรมผลิตภัณฑ์โทรคมนาคมและเศรษฐกิจดิจิทัล (แผนฐ.) |
| 2. นาย ไพล ตะโสรัจัน | ส่วนนวัตกรรมผลิตภัณฑ์โทรคมนาคมและเศรษฐกิจดิจิทัล (แผนฐ.) |
| 3. นาย ไพศาล แข่งเจริญ | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |
| 4. นาย ถนอมศักดิ์ แก้วสุกณี | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |
| 5. นาย ดิเรก เย็นนภา | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |
| 6. นาย ดำริห์ ตรีจรรยา | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |
| 7. นาย กิตติโชค บุญชัยยะ | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |
| 8. นาย สุวันชัย เจริญนนทวัฒน์ | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |
| 9. นาย ทศไนย เลานวัฒนา | ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทนฐ.) |

หน่วยงานภายใน บมจ.ทีโอที ที่ร่วมเก็บข้อมูลและให้คำปรึกษา

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. นาย เลอศักดิ์ พลธงชัยสวัสดิ์ | ผู้จัดการส่วนพัฒนาโทรศัพท์ประจำที่และบรอดแบนด์ |
| 2. นาย พิพัฒน์ จงรักวิทย์ | ผู้จัดการศูนย์มาตรฐานระบบข่ายสายและอุปกรณ์โทรคมนาคมปลายทาง |
| 3. นาย พีรพงษ์ นิยมสินธุ์ | ส่วนพัฒนาโทรศัพท์ประจำที่และบรอดแบนด์ |
| 4. นาย กนกศักดิ์ อารงลักษณ์รัตน์ | ส่วนพัฒนาโทรศัพท์ประจำที่และบรอดแบนด์ |

ที่ปรึกษาโครงการวิจัยฯ

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. นาย เทพธีระ เพชรรัตน์ | ผู้จัดการสถาบันนวัตกรรม ทีโอที |
| 2. นาย วรวิทย์ รอดอนันต์ | ผู้จัดการส่วนนวัตกรรมผลิตภัณฑ์โทรคมนาคมและเศรษฐกิจดิจิทัล |
| 3. นาย นฤทธิสมเจริญ สำเภาพล | ผู้จัดการส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ |

หน่วยงานภายนอก บมจ.ทีโอที ที่ร่วมศึกษาวิจัย

- บริษัท เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-045-02 Issued; February 2007 “ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)”
- [2] TOT Public Company Limited, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-054-01 Issued; November 2016 “ARSS OFC (Anti-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)”
- [3] รายงานผลการวิจัยและพัฒนา เรื่อง “วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์” นาย สมศักดิ์ มหาวิริโย ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่ สำนักขายและบริการลูกค้าภูมิภาคที่ 1: 16 มกราคม 2560