

## การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและผลกระทบจากใช้งาน อุปกรณ์เชื่อมต่อสาย (Connector) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

นายพลวัฒน์ คุกมาศ

กองควบคุมคุณภาพมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ball\_pea@hotmail.com

### บทคัดย่อ

ตามที่มีการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงรายละเอียดสเปคของอุปกรณ์เชื่อมต่อสาย (Connector) ประเภท Hot line clamp และ Bail clamp (สเปคเลขที่ RHOT-081/2561) และเริ่มติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ทั้งนี้ พบว่าการติดตั้งใช้งานในบางพื้นที่ ยังมีการใช้อุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp สเปคใหม่ร่วมกับอุปกรณ์สเปคเก่า (สเปคเลขที่ R-542/2543) เนื่องจากอุปกรณ์สเปคเก่ายังคงค้างอยู่ในคลังพัสดุของ กฟภ. เป็นจำนวนมาก นั้น

บทความนี้จะทำการศึกษาและทดสอบอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ทั้งสเปคใหม่และสเปคเก่าของ กฟภ. เพื่อเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพจากรูปแบบของการติดตั้งใช้งานตามที่มาตรฐาน กฟภ. กำหนด และรูปแบบการติดตั้งต่างๆ ที่พบได้ในปัจจุบัน โดยใช้วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยวิธีการตรวจวัดความต้านทานฉนวนสัมผัส (Contact resistance) และการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Temperature rise test) ตามที่มาตรฐาน กฟภ. และมาตรฐานสากลกำหนด รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องจากการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าว พร้อมจัดทำข้อมูลสนับสนุนทางเทคนิคสำหรับการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ที่มีคุณภาพ และเหมาะสมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ต่อไป

**คำสำคัญ:** คุณสมบัติทางไฟฟ้า มาตรฐานการทดสอบ  
อุปกรณ์เชื่อมต่อสาย

### 1. บทนำ

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ได้มีการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อสาย (Connector) ติดตั้งและใช้งานเป็นจำนวนมาก รวมไปถึงอุปกรณ์เชื่อมต่อสายประเภท Hot line clamp และ Bail clamp เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อสายจากสายจำหน่ายหลักไปยังสายจำหน่ายย่อย รวมไปถึงการเชื่อมต่อระหว่างสายจำหน่ายกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า โดยทางกองควบคุมคุณภาพมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้า (กมอ.) ได้รับรายงานการชำรุดจากปัญหาด้านคุณภาพของอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ทั้งในขั้นตอนก่อนการติดตั้งใช้งานและที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้วในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ตามรูปที่ 1



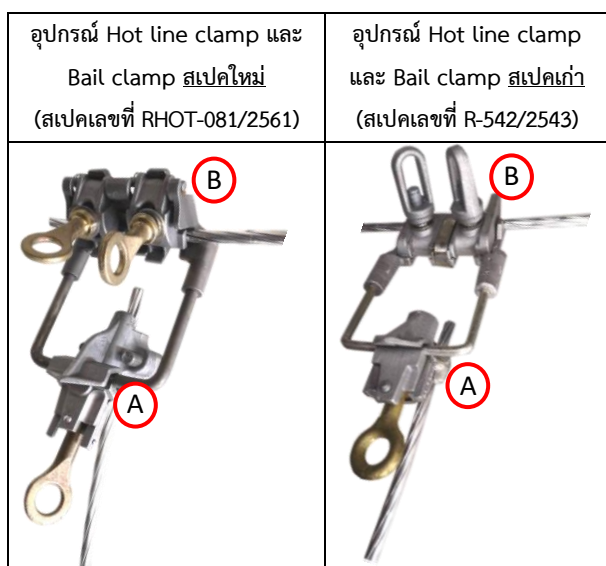
รูปที่ 1 ลักษณะการชำรุดของอุปกรณ์เชื่อมต่อสาย

ทั้งนี้ เมื่อนำอุปกรณ์ดังกล่าวที่ไม่มีคุณภาพไปติดตั้งใช้งาน จะทำให้เกิดความร้อนสะสมเกิดขึ้น และส่งผลให้อุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงนั้นเกิดความเสียหายจนไม่สามารถนำไฟฟ้าและใช้งานต่อไปได้ ทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดการขัดข้องหรือเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ส่งผลต่อความมั่นคง และความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. อาจทำให้

เกิดอันตรายกับบุคคลหรือสถานที่ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหายได้

ปัจจุบัน กฟภ. ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงรายละเอียดสเปคของอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp แล้วเสร็จตามสเปคเลขที่ RHOT-081/2561 [1] โดยมีเนื้อหาและสาระสำคัญที่เพิ่มเติมจากสเปคเก่า ดังนี้

- กำหนดเกรดวัสดุและวิธีการขึ้นรูป
- กำหนดหัวข้อการทดสอบเฉพาะแบบ การทดสอบประจำ การทดสอบเพื่อการตรวจรับ
- กำหนดให้ทำ trademark และเลขที่สัญญาบนตัวอุปกรณ์
- กำหนดขนาดและค่าความคลาดเคลื่อนของมิติต่างๆ ให้ชัดเจน
- กำหนดค่าของแรงขันอัดสลักเกลียวต่างๆ



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบลักษณะและรูปแบบทางกายภาพของ Hot line clamp (A) และ Bail clamp (B) สเปคใหม่และสเปคเก่า ตามลำดับ

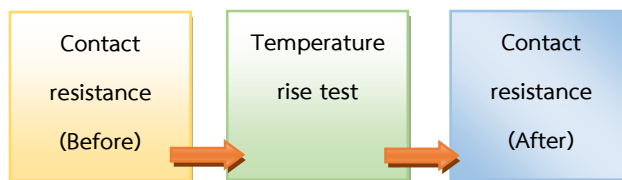
โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทดแทนการใช้สเปคเก่าเลขที่ R-542/2543 [2] ที่ถูกยกเลิก ทั้งนี้ พบว่าอุปกรณ์ที่จัดซื้อด้วยสเปคเก่านั้น ยังมีอุปกรณ์คงค้างอยู่ในคลังพัสดุของ กฟภ. อยู่เป็นจำนวนมาก และพนักงานที่ปฏิบัติงานได้นำอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp สเปคเก่าดังกล่าวมาติดตั้งใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp สเปคใหม่ ทั้งนี้หากพิจารณารายละเอียดตามสเปคใหม่ของอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp นั้น

ได้มีการกำหนดขนาดทางมิติและระยะในการประกอบสายของอุปกรณ์ และเมื่อนำไปติดตั้งใช้งานกับอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp สเปคเก่า อาจทำให้เกิดความร้อนบริเวณผิวสัมผัสของจุดเชื่อมต่อ เนื่องจากการติดตั้งประกอบใช้งานที่ไม่แข็งแรง บริเวณจุดเชื่อมต่อเกิดการหลุดหลวมเนื่องจากขนาดของอุปกรณ์ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ติดตั้งใช้งานร่วมกัน รวมถึงแรงที่ใช้ขันอัดสลักเกลียวขณะทำการติดตั้งตามจุดต่างๆ หากไม่สามารถติดตั้งได้ตามที่มาตรฐานกำหนด ส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความร้อนสะสมและชำรุดในที่สุดเป็นสาเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับ กระทบต่อความมั่นคงต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ.

ทั้งนี้ จากปัญหาด้านการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ตามที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและดำเนินการทดสอบตามที่มาตรฐานกำหนด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ทั้งสเปคใหม่และสเปคเก่า รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องจากการใช้งานเพื่อที่จะหาวิธีหรือรูปแบบที่จะดำเนินการติดตั้งใช้งานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพเหมาะสมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ต่อไป

ในบทความนี้จะศึกษาและทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตามหัวข้อการทดสอบ ตามมาตรฐานต่างๆ ดังนี้

- 1) การทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส (Contact resistance) ตามมาตรฐาน ANSI C119.0-2015 [3] และ ANSI C119.4-2016 [4]
- 2) การทดสอบเพื่อตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Temperature rise) ตามมาตรฐาน ANSI/NEMA CC 1-2018 [5]



รูปที่ 3 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

ลำดับขั้นตอนการทดสอบในแต่ละหัวข้อแสดงตามรูปที่ 3 โดยทำการตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัสก่อนการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และเมื่อทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแล้วเสร็จ จะทำการตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัสหลังการทดสอบอีกครั้ง ตามลำดับ

## 2. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์

### 2.1 การทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส (Contact resistance)

ตามมาตรฐาน ANSI C119.0-2015 และ ANSI C119.4-2016 กำหนดให้มีการทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัสบริเวณจุดเชื่อมต่อ โดยในบทความนี้จะทำการตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัสก่อนและหลังการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เพื่อศึกษาและความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ

โดยการทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส ตามที่มาตรฐานกำหนดนั้น จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องทดสอบที่ 20 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ห้องทดสอบดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบจะส่งผลกับค่าความต้านทานที่ตรวจวัดได้ แต่หากห้องทดสอบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในให้ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด สามารถใช้สมการคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิห้องทดสอบที่ 20 องศาเซลเซียส ได้ตามสมการที่ 1

$$R_{20} = R_m / [1 + \alpha_{20} (T_m - 20)] \quad (1)$$

โดย  $R_{20}$  คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิที่ 20 °C (ohm)

$R_m$  คือ ความต้านทานที่ตรวจวัดได้ (ohm)

$T_m$  คือ อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ (°C)

$\alpha_{20}$  คือ  $3.6 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$  (°F) เป็นค่าคงที่สำหรับ

ตัวอย่างอุปกรณ์และสายตัวนำประเภทอะลูมิเนียม



รูปที่ 4 การทดสอบการตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส

ขั้นตอนการทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัสนั้น จะทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 10 A ด้วยเครื่องวัดความต้านทานผิวสัมผัส (Micro-ohm meter) (หมายเลข 1) วัดแรงดันตกคร่อมบริเวณตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทดสอบ (หมายเลข 2) อ่านค่าความต้านทานที่ได้ พร้อมจดบันทึกอุณหภูมิภายในห้องทดสอบขณะทำการตรวจวัด ตามที่แสดงในรูปที่ 4

### 2.2 การทดสอบเพื่อตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Temperature rise)

จากปัญหาด้านการติดตั้งและประกอบใช้งานอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ตามที่กล่าวมาในข้อ 1 ทั้งการติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp ด้วยสเปคใหม่ทั้งหมด หรือเป็นการติดตั้งใช้งานร่วมกันระหว่างสเปคใหม่และสเปคเก่าของแต่ละอุปกรณ์ รวมทั้งการติดตั้งใช้งานร่วมกันระหว่างสเปคเก่าทั้งหมดนั้น ทางผู้จัดทำสามารถจัดรูปแบบจากการติดตั้งและประกอบใช้งานได้ทั้งหมด 4 รูปแบบ เพื่อนำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละรูปแบบ ในหัวข้อตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และการตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส ดังนี้

**รูปแบบที่ 1 :** การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp (สเปคใหม่) และ Bail clamp (สเปคใหม่)

**รูปแบบที่ 2 :** การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp (สเปคเก่า) และ Bail clamp (สเปคใหม่)

**รูปแบบที่ 3 :** การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp (สเปคเก่า) และ Bail clamp (สเปคเก่า)

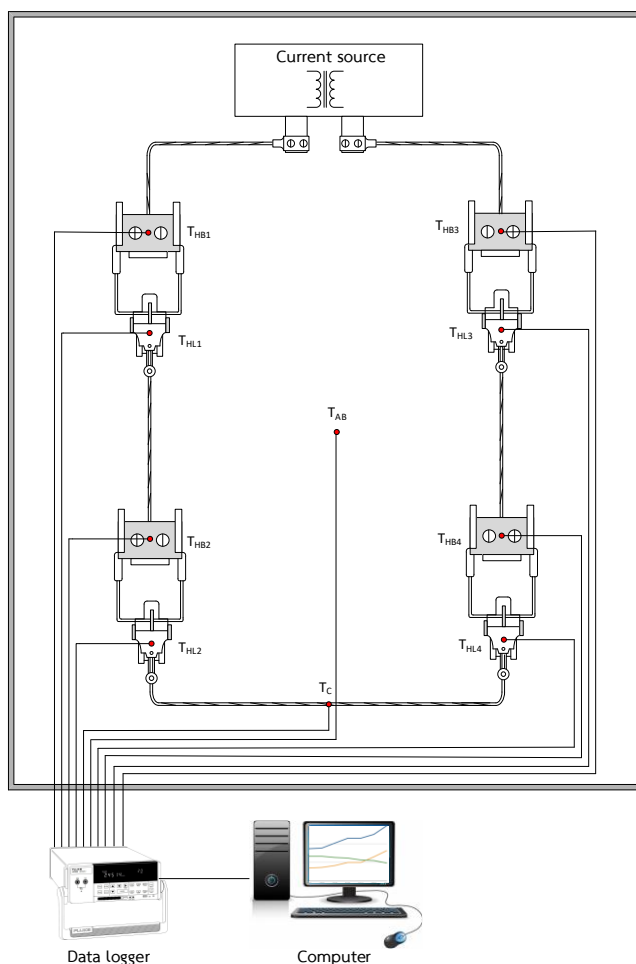
**รูปแบบที่ 4 :** การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp (สเปคใหม่) และ Bail clamp (สเปคเก่า)

โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI/NEMA CC 1-2018 ตามวงจรการทดสอบ รูปที่ 5 ดังนี้

1) ติดตั้งและประกอบ Hot line clamp และ Bail clamp ร่วมกับสายอะลูมิเนียมทีเกลียวเปลี่ยนขนาด 50 ตารางมิลลิเมตร โดยใช้แรงขันอัดบริเวณสลักเกลียวเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ทดสอบกับสาย ตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด พร้อมทั้งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้ตรวจวัดอุณหภูมิที่บริเวณจุดวัดของอุปกรณ์ที่ทดสอบต่างๆ

2) ทำการจ่ายกระแส (AC) ตามขนาดของสายตัวนำที่ใช้ในการทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน คือ 200A ในขณะทดสอบ เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ที่ทำการทดสอบคงที่แล้ว หรืออุณหภูมิ

มีค่าไม่เกิน  $\pm 2$  องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 5 นาที จะทำการเพิ่มกระแสทดสอบที่ 125% (250A) และ 150% (300A) ของพิกัดกระแสเริ่มต้น (200A) ตามลำดับ โดยในระหว่างการทดสอบผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้จะถูกบันทึกโดยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data recorder) และสามารถอ่านค่าที่ได้จากตรวจวัดผ่านคอมพิวเตอร์ได้ทันที



รูปที่ 5 วงจรการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

#### กำหนดให้

- $T_{HB1}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิฮอตไลน์แคลมป์ รูปแบบที่ 1
- $T_{HL1}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิเบลแคลมป์ รูปแบบที่ 1
- $T_{HB2}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิฮอตไลน์แคลมป์ รูปแบบที่ 2
- $T_{HL2}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิเบลแคลมป์ รูปแบบที่ 2
- $T_{HB3}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิฮอตไลน์แคลมป์ รูปแบบที่ 3
- $T_{HL3}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิเบลแคลมป์ รูปแบบที่ 3
- $T_{HB4}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิฮอตไลน์แคลมป์ รูปแบบที่ 4
- $T_{HL4}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิเบลแคลมป์ รูปแบบที่ 4
- $T_{AB}$  คือ จุดวัดอุณหภูมิห้องทดสอบ
- $T_C$  คือ จุดวัดอุณหภูมิสายตัวนำที่ใช้ในการทดสอบ

การตรวจวัดอุณหภูมิสามารถทำได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ติดตั้งบนตัวอย่างบนอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบและสายตัวนำที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ จากนั้นนำอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้บนตัวอย่างอุปกรณ์ ( $T_{EQUIPMENT}$ ) และสายตัวนำ ( $T_{CONDUCTOR}$ ) มาหักล้างกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ( $T_{AMBIENT}$ ) จะเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทดสอบ ( $T_{RISE \text{ of } EQUIPMENT}$ ) และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของสายตัวนำ ( $T_{RISE \text{ of } CONDUCTOR}$ ) ตามลำดับ ดังนี้

$$T_{RISE \text{ of } EQUIPMENT} = T_{EQUIPMENT} - T_{AMBIENT} \quad (2)$$

$$T_{RISE \text{ of } CONDUCTOR} = T_{CONDUCTOR} - T_{AMBIENT} \quad (3)$$

โดยมีเกณฑ์ในการตัดสินผลการทดสอบตามที่มาตรฐาน ANSI/NEMA CC 1-2018 กำหนด คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทดสอบ ( $T_{RISE \text{ of } EQUIPMENT}$ ) จะต้องไม่สูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของสายตัวนำ ( $T_{RISE \text{ of } CONDUCTOR}$ ) ในวงจรทดสอบ ถึงจะผ่านเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด

$$T_{RISE \text{ of } EQUIPMENT} \leq T_{RISE \text{ of } CONDUCTOR} \quad (4)$$



รูปที่ 6 การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

### 3. ผลการทดสอบ

#### 3.1 ผลการทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส

การทดสอบ	ความต้านทานผิวสัมผัส ก่อนการทดสอบ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ	ความต้านทานผิวสัมผัส หลังการทดสอบ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ
รูปแบบที่ 1	138.4 $\mu\Omega$	476.4 $\mu\Omega$
รูปแบบที่ 2	250.6 $\mu\Omega$	508.4 $\mu\Omega$
รูปแบบที่ 3	451.0 $\mu\Omega$	3.174 m $\Omega$
รูปแบบที่ 4	238.4 $\mu\Omega$	625.6 $\mu\Omega$

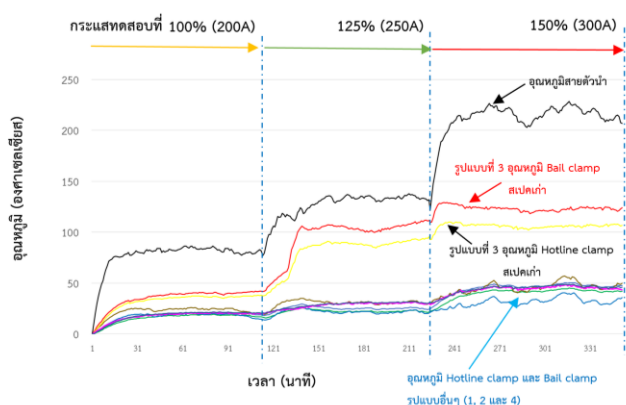


ตามข้อ 2.1 ที่กล่าวถึงการทดสอบเพื่อตรวจวัดความต้านทานผิวสัมผัส โดยทำการตรวจวัดก่อน-หลังการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เพื่อศึกษาความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่า

3.1.1 ความต้านทานผิวสัมผัสที่ตรวจวัดได้ที่มีค่าต่ำที่สุดซึ่งส่งผลต่อการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในระบบ คือ การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp ในรูปแบบที่ 1 (ตัวอักษรสีเขียว) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกกำหนดขึ้นตามสเปคใหม่ของ กฟผ. โดยมีค่าของความต้านทานผิวสัมผัสก่อนทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่  $138.4 \mu\Omega$  และความต้านทานผิวสัมผัสหลังทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่  $476.4 \mu\Omega$

3.1.2 ความต้านทานผิวสัมผัสที่ตรวจวัดได้ที่มีค่ามากที่สุดซึ่งส่งผลต่อการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในระบบ และอาจจะทำให้เกิดจุดร้อนได้นั้น คือ การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp ในรูปแบบที่ 3 (ตัวอักษรสีแดง) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกกำหนดขึ้นตามสเปคเก่าของ กฟผ. โดยมีค่าของความต้านทานผิวสัมผัสก่อนทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่  $451.0 \mu\Omega$  และความต้านทานผิวสัมผัสหลังทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มากถึง  $3.174 m\Omega$

### 3.2 ผลการทดสอบเพื่อตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ



รูปที่ 7 ผลการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

จากผลการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ตามที่แสดงในรูปที่ 7 สามารถสรุปประเด็นที่เกี่ยวข้อง ได้ดังนี้

3.2.1 หากนำผลการทดสอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การทดสอบตามมาตรฐาน ANSI/NEMA CC 1-2018 ตามที่กล่าวมาในข้อ 2.2 พบว่าตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทดสอบทุก

รูปแบบ (ติดตั้งตามรูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 4) ผ่านการทดสอบตามที่มาตรฐานกำหนด เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทดสอบมีอุณหภูมิไม่สูงเกินกว่าอุณหภูมิของสายตัวนำ (กราฟเส้นสีดำ)

3.2.2 หากนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับด้านอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่รูปแบบที่ 1 ถึง รูปแบบที่ 4 นั้น พบว่าการติดตั้งในรูปแบบที่ 3 ซึ่งเป็นการติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp สเปคเก่าทั้งหมด (กราฟเส้นสีแดงและสีแดงตามลำดับ) จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการติดตั้งใช้งานรูปแบบอื่นๆ (รูปแบบที่ 1, 2 และ 4) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 10 ถึง 15 องศาเซลเซียส (ที่พิกัดกระแสทดสอบ 200A), 70 ถึง 75 องศาเซลเซียส (ที่พิกัดกระแสทดสอบ 250A) และ 80 ถึง 85 องศาเซลเซียส (ที่พิกัดกระแสทดสอบ 300A) ตามลำดับ

### 4. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้น ตามข้อ 3.1 และ 3.2 นั้น พบว่า รูปแบบการติดตั้งใช้งานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือ รูปแบบที่ 1 การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp ด้วยสเปคใหม่ทั้งหมด ทั้งในด้านของความต้านทานผิวสัมผัสบริเวณจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ต่ำ ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ดี รวมทั้งช่วยลดการเกิดจุดร้อนสะสม และจากการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ที่ให้ผลของการตรวจวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งและประกอบใช้งานรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากการที่สเปคใหม่ของอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ได้กำหนดขนาดและมิติของส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองนั้น และได้มีการกำหนดเกรดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตให้ดีขึ้น รวมทั้งกำหนดให้มีการทา Electrical contact compound ให้ทั่วบริเวณผิวสัมผัส เพื่อช่วยลดการเกิดการกัดกร่อน (Corrosion) และลดความต้านทานผิวสัมผัสนั้น ส่งผลให้การจับยึดระหว่างอุปกรณ์ในส่วนของบริษัทบริเวณผิวสัมผัสทำได้มากขึ้น ค่าความต้านทานผิวสัมผัสที่ตรวจวัดได้ที่มีค่าต่ำซึ่งส่งผลต่อการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในระบบ ลดการเกิดจุดร้อนและช่วยลดการเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้อีกทางหนึ่งด้วย

ส่วนการติดตั้งใช้งานที่ไม่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุด คือ รูปแบบที่ 3 การติดตั้งและประกอบใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp ด้วยสเปคเก่าทั้งหมด

ที่ให้ผลการทดสอบทั้งความต้านทานผิวสัมผัสที่สูง และมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งและประกอบใช้งานรูปแบบอื่นๆ ทั้งนี้ หากมีความ จำเป็นต้องติดตั้งและประกอบใช้งานอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp สเปคใหม่และสเปคเก่าร่วมกัน (ตามรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 4) จากผลการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ผลการทดสอบที่ได้ นั้น มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบของ อุปกรณ์สเปคใหม่ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำไปใช้ติดตั้งในระบบได้ แต่ต้องพิจารณาค่าแรงดึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1) ควรติดตั้งอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ให้เหมาะสมกับขนาดและประเภทของสายตัวนำที่ใช้ตาม ที่มาตรฐาน กฟผ. กำหนด

2) การติดตั้งอุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp ควรติดตั้งโดยใช้แรงขันอัดสลักเกลียวตามที่มาตรฐานกำหนด ไม่แนะนำให้ขันอัดสลักเกลียวแรงเกินหรือต่ำกว่าที่มาตรฐาน กำหนด เพราะจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ ในส่วนของบริเวณผิวสัมผัสกับสายตัวนำ จะเกิดการหลุดหลวม นำมาซึ่งความร้อนสะสมจากการใช้งาน อุปกรณ์เกิดความ เสียหาย ทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดการขัดข้องหรือ เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ส่งผลต่อความมั่นคงและความเชื่อถือ ได้ในระบบไฟฟ้าของ กฟผ.

## 5. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการเลือกใช้งานอุปกรณ์เชื่อมต่อสาย โดยเฉพาะ อุปกรณ์ Hot line clamp และ Bail clamp จากผลการทดสอบ ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น เห็นควรให้เลือกใช้ที่ผลิตและจัดซื้อ ตามสเปคอุปกรณ์ กฟผ. เลขที่ RHOT-081/2561 เท่านั้น เพื่อประสิทธิภาพในการจ่ายไฟในระบบ และควรหลีกเลี่ยงการ ใช้งาน Hot line clamp และ Bail clamp ที่ผลิตและจัดซื้อ ตามสเปคอุปกรณ์ กฟผ. เลขที่ R542-2543 ซึ่งเป็นสเปคเก่า ของ กฟผ. ที่ใช้นานเกือบ 20 ปี

ภายหลังจากที่ กฟผ. ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสเปค เพื่อควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ติดตั้งใช้งานใน ระบบจำหน่ายของ กฟผ. นั้น จากผลการทดสอบในบทความนี้ แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาและปรับปรุงสเปคของอุปกรณ์ ทำ ให้ประสิทธิภาพด้านการติดตั้งใช้งาน และการจ่าย กระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น โดยถือเป็นส่วนหนึ่งที่จะ ทำให้ระบบไฟฟ้าของ กฟผ. มีการพัฒนาด้านความมั่นคงและ ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าได้ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สเปคอุปกรณ์ กฟผ.เลขที่ RHOT-081/2561, “HOTLINE CLAMPS”,2018.
- [2] สเปคอุปกรณ์ กฟผ.เลขที่ R542-2543, “HOTLINE CLAMPS”,2000.
- [3] ANSI C119.0-2015. “Electric Connectors - Testing Methods and Equipment Common to the ANSI C119 Family of Standards”
- [4] ANSI C119.4-2016. “Electric Connectors - Connectors for Use between Aluminum-to-Aluminum and Aluminum-to-Copper Conductors Designed for Normal Operation at or Below 93°C and Copper-to-Copper Conductors Designed for Normal Operation at or Below 100°C
- [5] ANSI/NEMA CC 1-2018. “Electric Power Connection for Substations”