

การศึกษาการทดสอบ CCT สำหรับอุปกรณ์จับยึดสายตัวนำเปลี่ยนตามมาตรฐาน ANSI C119.4

Studying of CCT Testing for Hotline Clamp According to ANSI C119.4 Standard

พินิจ จิตจรัส

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0-2549-3569 E-mail: jitjing@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการศึกษาการทดสอบชนิด CCT สำหรับอุปกรณ์จับยึดสายตัวนำเปลี่ยนทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง โดยยึดหลักวิธีการตามมาตรฐาน ANSI C119.4 [1] ซึ่งจะทำให้การทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้า โดยความสำคัญของการทดสอบเกี่ยวข้องกับผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร อันเป็นสาเหตุให้คุณสมบัติของอุปกรณ์ดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป เช่นคุณสมบัติของการถ่ายเทความร้อนและค่าความต้านทานของตัวนำ โดยบทความจะนำเสนอการศึกษาข้อกำหนดมาตรฐาน วิธีการต่อวงจร เครื่องมือวัดและทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุอุปกรณ์จับยึดสายตัวนำเปลี่ยนทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูงต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: อุปกรณ์จับยึดสายตัวนำเปลี่ยนทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง, การทดสอบป้อนกระแสสลับวัฏจักร, ความต้านทานไมโครโอม

Abstract

This article describes the studying of Current Cycle Testing (CCT) for Hotline Clamp According to ANSI C119.4 Standard [1], which will test on mechanical and electrical characteristic. The important of this testing deal with cycle change of temperature that had effect on material characteristic changing such as Heat exchange and Resistance characteristics. This article will present the studying on the requirement of standard, the connected circuit, Test equipments, and test result analysis. The result of that research will be used for development of Hotline Clamp in the future.

Keywords: Hotline Clamp, CCT Testing, Micro-Ohm Resistance

1. บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง ก่อนที่จะถูกนำไปใช้งาน จำเป็นต้องผ่านการทดสอบคุณสมบัติ ตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดมาตรฐานทดสอบอาจเป็นหน่วยงานที่ต้องการซื้ออุปกรณ์ขึ้น

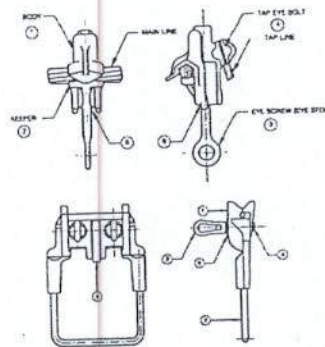
นั้นไปใช้ เช่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิต หน่วยงานต่างๆ เหล่านี้อาจกำหนดวิธีการทดสอบตามมาตรฐานสากล(IEC) แต่หากไม่มีมาตรฐานสากลรองรับ ก็สามารถกำหนดวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอื่นๆ ที่เทียบเคียงกันได้ ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์จับยึดสายตัวนำเปลี่ยนทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง (Hotline Clamp) ถูกกำหนดให้ทดสอบด้วยมาตรฐาน ANSI C119.4

1.1 มาตรฐาน ANSI C119.4

มาตรฐาน ANSI C119.4 [1] เป็นมาตรฐานการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมาตรฐานดังกล่าวใช้สำหรับอุปกรณ์ต่อสายตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะถูกนำไปใช้ต่อสายส่งไฟฟ้าแรงสูงชนิดเปลี่ยน ระหว่างตัวนำอลูมิเนียมกับอลูมิเนียม หรือระหว่างอลูมิเนียมกับทองแดง โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่อสายตัวนำไฟฟ้า โดยครอบคลุมถึงอุปกรณ์ต่อสายตัวนำชนิดต่างๆ ที่ใช้ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารวมทั้ง Hotline Clamp ด้วย วัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ต้องผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ซึ่งรายละเอียดวิธีทดสอบจะอธิบายในลำดับต่อไป

1.2 Hotline Clamps

Hotline Clamp จัดอยู่ในประเภทของอุปกรณ์ต่อสายตัวนำไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมในการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย สำหรับหน่วยงานการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 [2]



รูปที่ 1 Hotline Clamp and Bail Clamp

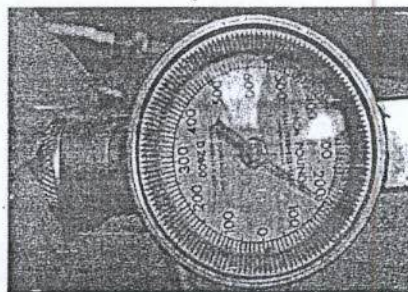
ลักษณะของสัปดาห์และโครงสร้างอาจแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิตแต่ละราย โดยหน่วยงานการไฟฟ้า[3] ได้กำหนดคุณสมบัติการใช้งานของ Hotline Clamp ต้องสามารถทนต่อแรงดันเกินเสิร์จที่รุนแรง ทนต่อแรงสั่นของสายตัวนำและทนต่อความบกพร่องทางกล และในส่วนของการรายงานผลการทดสอบนั้นจะต้องผ่านการทดสอบชนิด current cycle tests Class A 500 รอบ (CCT Class A 500 cycles) ด้วยมาตรฐานการทดสอบ ANSI C119.4 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเคียงได้

2. กระบวนการทดสอบ

ในส่วนของการทดสอบแบบ CCT tests Class A ตามมาตรฐาน ANSI C119.4 [1] นั้นจะมีกระบวนการทดสอบ 2 ประเภท คือ 1) การทดสอบทางกล 2) การทดสอบทางไฟฟ้า เป็นการทดสอบผลของการเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวนำ ซึ่งจะขออธิบายรายละเอียดของวิธีการทดสอบทั้ง 2 แบบดังนี้

2.1 การทดสอบทางกล

การศึกษาในส่วนของการทดสอบทางกลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน สำหรับงานเขียนฉบับนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนของความตึงเครียดของการขันสกรู โดยเครื่องมือทดสอบความตึงเครียดและทำการวัดค่าความตึงเครียดเรียกว่า "Tightening torque" ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวอาจแสดงผลในหน่วยของ lb-inch หรือ N-m ก็ได้และควรมีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ $\pm 2\%$ สกรูที่ทำการทดสอบต้องทนต่อความตึงเครียดได้ 120% ของค่าจากโรงงานที่ผู้ผลิตแจ้งไว้ หรือหากไม่ได้กำหนดมา ให้ใช้ค่าตามตารางมาตรฐาน [1] ซึ่งค่าความตึงเครียดของการทดสอบขึ้นอยู่กับขนาดของสกรูและชนิดของวัสดุ (การทดสอบทางกลในแต่ละส่วนควรใช้ชุดตัวอย่าง 3 ชุด) โดยผลการทดสอบความตึงเครียดต้องไม่มีความเสียหายหรือการแตกหักเกิดขึ้น ดังแสดงตัวอย่างผลการทดสอบดังรูปที่ 2 ตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลการทดสอบของสกรู 2 ขนาดคือ 3/8 นิ้วและ 1/2 นิ้ว



รูปที่ 2 เครื่องมือวัดความตึงเครียดของการขันสกรู "Tightening torque"

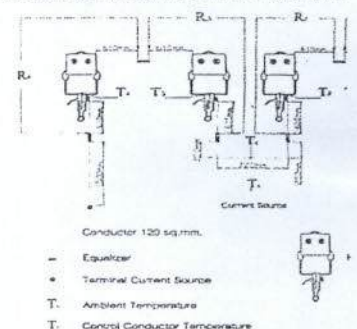
ตารางที่ 1 [4] ผลทดสอบความตึงเครียดของการขันสกรู

No. of Samples	Fastener Test (lb-inch)			Result
	Bail Clamp	Protected Thread Clamp	Times of test	
1	360	202	5	Pass
2	360	202	5	Pass
3	360	202	5	Pass

* Refer to Fig. HV06 Mechanical Test

2.2 การทดสอบทางไฟฟ้าและการประกาย

ในส่วนของการทดสอบทางไฟฟ้า CCT โดยนำเอา Hotline Clamp จำนวน 4 ชุด มาต่อเป็นแบบอนุกรม 1 วงรอบ (Loop) โดยแนวนอน ให้มีระยะห่างจากผนังอย่างน้อย 1 ตำแหน่งของการวัดค่าอุณหภูมิและค่าความต้านทานที่ 3 ซึ่งวงจร CCT ดังกล่าวจะประกอบไปด้วย (Control Conductor) มีขนาดและความยาวของ Hotline Clamp 4 ชุด, Equalizers เป็นข้อต่อสายระยะห่างของตำแหน่งในการวัดค่าความต้านทาน



รูปที่ 3 การประกอบวงจร CCT และส

3. เครื่องมือทดสอบ

ส่วนสำคัญสำหรับการทดสอบ CCT เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และเครื่องมือวัดค่าความละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

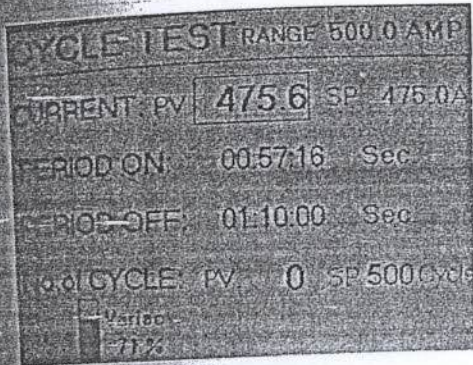
3.1 แหล่งจ่ายกระแส

แหล่งจ่ายกระแสที่ใช้สำหรับการทดสอบแปลงกระแสกำลังสูง เรียกว่าเครื่องทดสอบ "Fus Model HM4000-P40H" [5] ซึ่งถูกออกแบบมา Link และอุปกรณ์ป้องกันที่คล้ายคลึงกัน โดยกระแสทดสอบแบบต่อเนื่องได้ถึง 2,000 A มีการจอ LCD 5 ตำแหน่ง ความละเอียด 0.1 A ความแสดงผลค่าเวลาด้วยจอ LCD 6 ตำแหน่ง ระยะเวลาละเอียด 0.01 sec ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 การป้อนกระแสและการ

สำหรับขนาดของกระแสที่ป้อนจะขึ้นอยู่กับขนาดของ Hotline Clamp และขนาดของสายตัวนำควบคุม (Control Conductor) ที่เลือก ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามตารางมาตรฐาน [1] และระยะเวลาสำหรับการจ่ายกระแสทดสอบ CCT เรียกว่า "Current cycle period" จะประกอบด้วย "current ON" และ "current OFF" นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของสายตัวนำควบคุมเช่นเดียวกัน โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามตารางมาตรฐาน [1] ดังแสดงตัวอย่างการปรับตั้งค่ากระแสและเวลาที่ป้อนในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่ากระแสปรับตั้งและเวลาที่ป้อน

นอกจากนั้น ค่าของกระแสที่ป้อนยังต้องขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของสายตัวนำควบคุม ซึ่งมาตรฐานกำหนดให้ ต้องมีค่ามากกว่าอุณหภูมิห้อง 100 - 105 °C ในช่วงของ "current ON" โดยการทดสอบ (เช่นเดียวกับการทำในที่โล่งและมีค่าอุณหภูมิห้องอยู่ที่ระหว่าง 15-35 °C

1.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เนื่องจากการวัดค่าอุณหภูมิของตัวอย่างทดสอบ Hotline Clamp นั้น ต้องกำหนดตำแหน่งสำหรับการวัดที่แน่นอน และต้องทำการวัดที่ตำแหน่งเดิมหลายครั้ง ดังนั้นจึงควรใช้วิธีวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้และสามารถบันทึกค่าอุณหภูมิได้ นอกจากนั้นยังต้องสามารถวัดค่าอุณหภูมิได้หลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน โดยตัวอย่างการทดสอบที่ใช้เป็นอุปกรณ์ของ SUPCON รุ่น R3100, microprocessor สามารถแสดงผลค่าอุณหภูมิบนหน้าจอแสดงผล 5.6" TFT ดังแสดงในรูปที่ 6 สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ 12 ช่องสัญญาณแบบอะนาล็อก บันทึกค่าได้ในช่วงเวลา 1 วินาที (1 sec./min./hour) สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -100 ถึง 1000 °C และมีค่าความเที่ยงตรงในการวัดอยู่ที่ $\pm 2.0\%$.

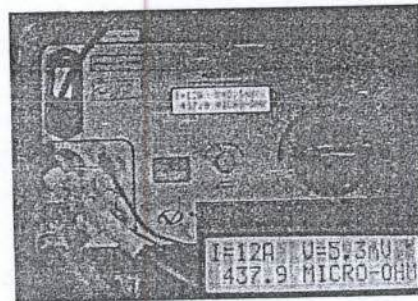
และโปรแกรมในรูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิ (แสดงรวม 6 ตำแหน่ง โดยเป็นค่าอุณหภูมิของสายตัวนำควบคุม 1 ตำแหน่ง และอุณหภูมิของสายตัวนำควบคุม 1 ตำแหน่ง และอุณหภูมิของสายตัวนำควบคุม 1 ตำแหน่ง) ดังแสดงตัวอย่างผลการวัดค่า

86.8	104.1
100.5	100.8
133.9	31.0

รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก R3100

3.3 เครื่องมือวัดค่าความต้านทาน

เนื่องจากการวัดค่าความต้านทานตัวนำซึ่งมีค่าต่ำมาก จึงต้องใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทานชนิดพิเศษเรียกว่า "Micro-Ohmmeter" ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมีฟังก์ชันกระแสที่ 10-200 A สามารถวัดค่าความต้านทานในย่าน 1 micro-ohm - 300 milliohms และมีค่าความเที่ยงตรงในการวัดอยู่ที่ $\pm 1.0\%$



รูปที่ 7 การวัดค่าความต้านทานด้วย "Micro-Ohmmeter"

4. ผลการทดสอบ

สำหรับการศึกษาผลการทดสอบจะอธิบายในส่วนของการรายงานผลการทดสอบ ซึ่งมาตรฐานได้กำหนดไว้ว่า จะต้องประกอบด้วย วันที่ทำการทดสอบ รายละเอียดของอุปกรณ์ ขั้นตอนการทดสอบ วิธีทดสอบ กระแสที่ป้อน สถานที่ทดสอบ และเงื่อนไขการทดสอบ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 [4] รายละเอียดและเงื่อนไขวิธีทดสอบ

Description of tests	Standard and clause	Test Method	Class
1. Current cycle tests	ANSI C119.4-1998 Clause 6	CCT	A
Test Items			
Conductor (AWG.)	4/0; 380 A		
Conductor lengths	24 inch (61.0 cm Stranded)		
Test current	475 A		
Test frequency	50 Hz		
Test duration	500 cycles		
Current ON period	1 h		
Current OFF period	1.10 h		
Atmospheric pressure	767.0 mm.Hg		
Relative humidity	60 %		

จากเงื่อนไขการทดสอบ CCT กำหนดให้ทำการทดสอบ 500 รอบ แต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง รวมเป็นเวลาทดสอบทั้งสิ้น 1,000 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 41 วัน กับอีก 16 ชั่วโมง หรือประมาณ 42 วัน

4.1 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิ

การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิ จะวัด ณ ช่วงเวลาสิ้นสุด Current ON หรือทันทีก่อนที่จะหยุดป้อนกระแส โดยมีจำนวนครั้งของการบันทึก และแสดงผลทั้งสิ้น 11 ครั้ง ดังแสดงตัวอย่างผลการทดสอบในตารางที่ 3 ซึ่งค่าอุณหภูมิของตัวอย่าง Hotline Clamp ทั้ง 4 ชุด จะได้นำมาลบออกจากค่าอุณหภูมิของสายตัวนำควบคุม และค่าความต่างของอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละช่วงทดสอบจะต้องมีค่าไม่เกิน 10 °C จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละชุด จึงจะถือว่ามีความเสถียรภาพ ผ่านการทดสอบ

ตารางที่ 3 [4] ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิ

No.	Cycle no.	Test samples of Hot Line Clamp									
		T _a	T _c	T _c	T _c -T _a	T _a	T _c	T _c	T _c -T _a	T _a	T _c -T _a
1	25-30	27.2	130.1	70.8	59.3	88.5	41.6	72.8	57.3	87.0	43.1
2	45-55	31.4	136.5	77.4	59.1	94.9	41.6	78.1	58.4	93.3	43.2
3	70-80	31.9	138.6	78.5	60.1	96.6	42.0	79.8	58.8	95.3	43.3
4	95-105	28.5	134.4	73.6	60.8	93.3	41.1	76.3	58.1	91.1	43.3
5	120-130	32.0	136.0	77.0	59.0	94.6	41.4	78.7	57.3	92.6	43.4
6	160-170	32.5	135.5	75.8	59.7	93.8	41.7	77.8	57.7	93.3	42.2
7	200-210	31.7	136.0	77.3	59.7	94.7	41.3	78.6	57.4	93.5	42.5
8	245-255	29.8	135.7	76.0	59.7	94.5	41.2	77.9	57.8	91.9	43.8
9	320-330	32.5	136.2	77.7	59.5	95.2	41.0	78.5	57.7	93.8	42.4
10	400-410	33.2	137.8	79.9	59.9	96.5	41.3	80.6	57.2	95.2	42.6
11	495-505	32.2	135.5	76.5	59.0	94.4	41.1	78.1	57.4	93.2	42.3
Test result		Stable		Stable		Stable		Stable		Stable	
Result		Pass		Pass		Pass		Pass		Pass	

* Refer to Fig. HV02 Measuring spots of Temperature
* Temperature measurements of the connectors, control conductors and ambient air made at the end of the specified current ON cycle, immediately before the current is turned off.
* T_a = Ambient temperature
* T_c = Control conductors temperature

4.2 ผลการทดสอบด้านค่าความต้านทาน

ตำแหน่งที่ต้องทำการวัดค่าความต้านทานของตัวอย่างทดสอบ แสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยจะทำการวัด ณ ช่วงเวลาสิ้นสุด Current OFF หรือช่วงเวลาที่อุณหภูมิกลับสู่สภาวะปกติ และในการวัดแต่ละครั้ง จะทำการป้อนกระแสตรง ขนาด ไม่เกิน 12 A

ค่าความต้านทานที่ทำการวัดและบันทึกผลข้างต้นจะต้องนำมาทำการปรับแก้ให้สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิมาตรฐาน 20 °C ดังสมการที่ (1)

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

เมื่อ R_m = ค่าความต้านทานที่วัดได้

T_m = ค่าอุณหภูมิที่วัด

α = ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ ซึ่งจะเลือกใช้ได้จาก

$$\alpha = 3.6 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C} \quad \text{for aluminum} \quad (2)$$

$$\alpha = 4 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C} \quad \text{for copper and ACSR} \quad (3)$$

โดยมีจำนวนครั้งของการบันทึกและแสดงผลทั้งสิ้น 11 ครั้งดังแสดงตัวอย่างผลการทดสอบในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 [4] ผลการทดสอบด้านค่าความต้านทาน

No.	Cycle no.	Test samples of Hot Line Clamp									
		R _m	T _a	R _m	T _a	R _m	T _a	R _m	T _a	R _m	T _a
1	25-30	437.9	33.2	418.0	440.3	33.8	419.5	434.1	32.5	415.4	32.5
2	45-55	443.5	35.8	419.6	444.6	36.0	420.4	433.8	34.8	415.9	34.8
3	70-80	445.8	36.9	420.2	445.1	37.5	418.7	438.1	35.7	414.7	35.7
4	95-105	444.2	34.3	422.5	447.7	35.1	424.6	439.9	33.6	418.4	33.6
5	120-130	448.4	36.4	423.4	452.7	36.5	427.3	441.4	35.5	418.1	35.5
6	160-170	447.8	36.9	423.1	451.8	37.0	425.7	441.5	36.1	417.3	36.1
7	200-210	446.7	36.4	421.8	452.1	36.6	426.6	441.8	35.6	418.3	35.6
8	245-255	444.1	35.2	421.1	452.2	36.1	427.4	446.9	34.5	424.7	34.5
9	320-330	448.8	37.5	422.2	451.7	38.0	424.2	448.8	36.1	424.2	36.1
10	400-410	447.4	37.8	420.5	456.4	38.3	428.2	448.0	36.6	422.7	36.6
11	495-505	448.5	36.9	422.8	450.5	37.1	424.4	448.2	36.1	423.6	36.1
Test result		Stable		Stable		Stable		Stable		Stable	
Result		Pass		Pass		Pass		Pass		Pass	

* Refer to Fig. HV02 Measuring spots of Resistance
* $R_{20} = R_m / [1 + \alpha(T_m - 20)]$; $\alpha = 3.6 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ for aluminum
* Resistance measurements made at the end of a current OFF period

5. สรุป

จากผลการศึกษาการทดสอบ CCT สำหรับ Hotline Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4 โดยใช้ตัวอย่างผลการทดสอบชุด ได้ผลวิเคราะห์การทดสอบด้านอุณหภูมิในตารางที่ 3 ผลอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละช่วงทดสอบ มีความเสถียรภาพ (Stability) มีความต่างของอุณหภูมิ ไม่เกิน 10 °C จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ย วิเคราะห์การทดสอบด้านค่าความต้านทานในตารางที่ 4 ผลความต้านทานที่วัดได้ในแต่ละช่วงทดสอบมีความแปรปรวนคลาดเคลื่อน ไม่เกิน $\pm 5\%$ ตามมาตรฐานกำหนด ทุกชุดทดสอบผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ANSI C119.4, "Connector for Use between Alum-to-Alum-to-Copper Bare Overhead Conductors", 2004.
- [2] System 3 Co., Ltd., "Bail Clamp-Hotline Clamp", Draw ST3 Z0150-2, 2010.
- [3] PEA., Power System Standard Division, "Hotline Clamp Specification", No. R-542/2543(DS.A.AHEP-023/2554
- [4] High Voltage Laboratory RMUTT, "Test report on Hotline Clamp", 2009.
- [5] DATA Entry Group, "Fuse Melting Time Tester User's Model. HM4000-P40H.



ประวัติผู้เขียนบทความ พินิจ จิตจิ
การศึกษาวศ.บ. สาขาไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปี พ.ศ. 2542
M.Sc. จาก RWTH-Aachen University
สาธารณรัฐเยอรมนี ในปี 2546 ปัจจุบันเป็น

ประจำและหัวหน้าห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจคือ วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง พลังงานทดแทน