บทที่ 3

มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานที่ใช้ทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐาน CSA C-57 ของประเทศแคนาดา และมาตรฐาน ANSI C119.4 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ทั้งสองมาตรฐานนี้มีวิธีการ และหลักการทดสอบโดยใช้วิธี*วัฏจักรกระแส* (Current-cycling) เหมือนกัน แต่เกณฑ์การพิจารณาของมาตรฐาน ANSI C119.4 จะมีความเข้มงวดมากกว่ามาตรฐาน CSA C-57 ดังนั้นมาตรฐานที่ใช้เป็นแนวทางในการวิจัยครั้งนี้คือ มาตรฐาน ANSI C119.4-2003

3.1 ขอบเขตและจุดประสงค์ของมาตรฐาน ANSI C119.4-2003

มาตรฐาน ANSI C119.4-2003 "Connectors for Use between Aluminum-to-Aluminum or Aluminum-to-Copper Bare Overhead Conductors" เป็นมาตรฐานสำหรับทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่เชื่อมต่อระหว่างตัวนำอะลูมิเนียม-อะลูมิเนียม หรือ ตัวนำอะลูมิเนียม-ทองแดง ที่ใช้*ในระบบส่งและระบบจำหน่าย ประเภทพาดในอากาศ* (overhead distribution and transmission lines) จุดประสงค์ของมาตรฐานนี้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเชื่อถือคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ผ่านการทดสอบแล้วได้ในระดับหนึ่ง เมื่อคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายนั้นได้รับการติดตั้งอย่างเหมาะสมตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ [ANSI C119.4-2003: 2003]

3.2 วิธีการทดสอบ

มาตรฐานได้แบ่งวิธีการทดสอบไว้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การทดสอบทางกล และการทดสอบทางไฟฟ้า การทดสอบทางกลประกอบไปด้วย การทดสอบความสามารถ*ในการทนต่อแรงดึง* (Pullout test), *ความแข็งแรงต่อการดึงของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย* (Tensile strength), *การนำกลับมาใช้ใหม่* (Reusability) และ *การทนต่อแรงขันสลักเกลียว* (Torque strength test) เป็นต้น

การทดสอบทางไฟฟ้าจะใช้ การทดสอบ*วัฏจักรกระแส* (Current cycle tests) ซึ่งสามารถแบ่งตามวิธีการทดสอบได้เป็น 2 ประเภท คือ *วิธีธรรมดา* (Current Cycle Test; CCT) กับ*วิธีเร่ง - โดยใช้การจุ่มในน้ำเย็น* (Current Cycle Submersion Test; CCST)

อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้จะเน้นศึกษาในส่วนการทดสอบทางไฟฟ้าเท่านั้น โดยการทดสอบทางไฟฟ้าจะใช้วิธีธรรมดา เนื่องจากง่ายต่อการทดสอบ และใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงมากกว่าวิธีเร่งโดยการจุ่มในน้ำเย็น ดังนั้นในบทนี้จึงจะกล่าวถึงเฉพาะวิธีธรรมดาเท่านั้น

ช่วงเวลาในการทดสอบวัฏจักรกระแสทั้งวิธีธรรมดา และวิธีเร่งโดยการจุ่มในน้ำเย็น จะขึ้นกับเงื่อนไขที่จะนำคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายไปใช้งาน มาตรฐานได้แบ่งระดับการการทดสอบออกเป็น 4 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ

Connector Class	Number of Test Cycles for:	
	CCT Method	CCST Method
Extra heavy duty (AA)	500	Not applicable
Heavy (A)	500	100
Medium (B)	250	75
Light (C)	125	50

3.3 วิธีการเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัฏจักรกระแส

มาตรฐานไม่ได้ระบุรายละเอียดวิธีการติดตั้งชุดคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายว่าต้องมีลักษณะใด การติดตั้งชุดคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายควรจะปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ผลิต และติดตั้ง*ในสภาวะอุณหภูมิแวดล้อม* (ambient) อยู่ในช่วง 15-35°C (59-95°F) อย่างไรก็ตามผู้ทำการทดสอบจะต้องแสดงรายละเอียดวิธีการทดสอบไว้ในรายงานผลการทดสอบ

สำหรับตัวนำที่ใช้ในการทดสอบจะต้องทำความสะอาดผิวนอกของบริเวณที่จะสัมผัสกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายด้วย*แปรงลวด* (Wire brush) เพื่อขจัดฟิล์มออกไซด์ และสิ่งเปรอะเปื้อนต่าง ๆ ออกให้หมด

ขนาดตัวนำที่ใช้ในการทดสอบจะต้องเป็นขนาดใหญ่สุดที่ใช้ได้กับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย เพื่อให้สามารถรับกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายตัวนั้นได้ กรณีที่คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายสามารถใช้ได้กับตัวนำอะลูมิเนียม-อะลูมิเนียม และ อะลูมิเนียม-ทองแดง จะต้องทำการทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายทั้ง 2 ชุด

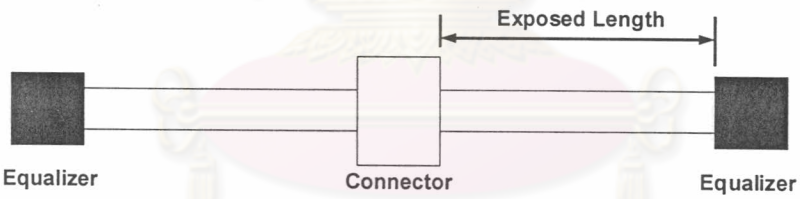
คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายทั้งหมดที่จะนำมาทดสอบควรจะมีค่าพิกัดกระแสใกล้เคียงกันนำมาต่ออนุกรมกัน ในกรณีที่ใช้*สายตัวนำเป็นแบบตีเกลียว* (Stranded conductor) จะต้องมี*อิควอไลเซอร์* (Equalizer) เพื่อใช้วัดค่าความต้านทาน โดยการทำให้ส่วนอิควอไลเซอร์มีค่าศักย์-

ไฟฟ้าค่าเดียว ดังนั้นรูปแบบของอิควอไลเซอร์จะต้องแน่ใจได้ว่าตัวนำตีเกลียวแต่ละสแตรนถูกเชื่อมติดกันหมดถาวร ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งอาจจะใช้*วิธีการเชื่อม* (Weld equalizer) หรือใช้*คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบบีบ* (Compression sleeve equalizer) มาเชื่อมชุดคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย

ความยาวของตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย จะขึ้นกับขนาดของตัวนำที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยความยาวในตารางเป็นความยาวที่วัดจากส่วนที่ไม่ได้อยู่ในตัวคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย และอิควอไลเซอร์

ตารางที่ 3.2 ความยาวของตัวนำ สำหรับทดสอบวัฏจักรกระแส

Composite Aluminum composite (mm^2)	Copper or Copper Composite (mm^2)	Exposed Length			
		Strand		Solid	
		in	cm*	in	cm*
A** ≤ 21.73	A ≤ 34.65	12	30.5	24	61.0
21.73 < A ≤ 402.83	34.65 < A ≤ 253.35	24	61.0	48	121.9
A > 402.83	A > 253.35	36	91.4	72	182.9



* ถูกเทียบมาจากหน่วย*นิ้ว* (inch) ** A = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ

ใน*วงทดสอบ* (Loop) นอกจากจะมีชุดคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ทดสอบ และอิควอไลเซอร์แล้ว จะต้องมี*ตัวนำควบคุม* (Control conductor) อยู่ด้วย เพื่อใช้เป็น*ตัวนำอ้างอิง* (Reference conductor) สำหรับวัดค่ากระแสที่ไหลในวงทดสอบ และควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ (กระแสที่ใช้ในการทดสอบจะกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.5) ตัวนำควบคุมจะต้องมีขนาด และเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับตัวนำเชื่อมต่อชุดคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย และมีความยาวเป็น 2 เท่าของความยาวในตารางที่ 3.2

3.4 การจัดวางวงทดสอบ (Loop configuration)

การจัดวางวงทดสอบจะเป็นรูปลักษณะใดก็ได้ ที่มีคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย และตัวนำควบคุมอยู่ในระนาบนอนเดียวกัน (Horizontal plane) ข้อกำหนดระยะห่างต่าง ๆ ดังนี้

- ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่น้อยกว่า 8 in (20.3 cm)
- อยู่ห่างจากกำแพงไม่น้อยกว่า 1 ft (30.5 cm)
- อยู่ห่างจากพื้น และเพดานไม่น้อยกว่า 2 ft (61 cm)

ข้อกำหนดนี้เพื่อที่จะทำให้แน่ใจได้ว่าตัวนำควบคุม และคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายจะมีอุณหภูมิเดียวกันในขณะเริ่มป้อนกระแส

3.5 กระแสที่ใช้ในการทดสอบ

กระแสที่จ่ายให้วงทดสอบจะต้องถูกปรับในช่วง ON ของ 25 วัฏจักรแรก เพื่อให้ได้อุณหภูมิของตัวนำควบคุมที่*สภาวะคงตัว* (Steady-state temperature) สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม 100-105°C สำหรับการทดสอบประเภท A, B, C ส่วนกรณีการทดสอบประเภท AA อุณหภูมิของตัวนำควบคุมจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม 175-180°C หลังจากได้ค่ากระแสที่ทำให้อุณหภูมิของตัวนำควบคุมมีค่าตามต้องการภายใน 25 วัฏจักรแล้ว ค่ากระแสนี้จะถูกใช้ระหว่างการทดสอบวัฏจักรที่เหลืออยู่ โดยไม่สนใจอุณหภูมิของตัวนำควบคุมอีก

ในการทดสอบแต่ละวัฏจักรจะประกอบไปด้วยช่วงจ่ายกระแสไฟสลับป้อนให้วงทดสอบเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้คอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย ซึ่งจะเรียกว่า "ช่วง ON" และช่วงหยุดจ่ายกระแส จะเรียกว่า "ช่วง OFF" (ในช่วงเวลา OFF นี้จะเป็นช่วงที่ทำการวัดค่าความต้านทาน โดยการป้อนกระแสไฟตรงไม่เกิน 12 A)

3.6 ช่วงเวลา ON-OFF แต่ละวัฏจักร

ช่วงเวลา ON เป็นไปตามตารางที่ 3.3 ซึ่งจะขึ้นกับขนาดของตัวนำควบคุม ในกรณีที่ตัวนำควบคุมมีขนาดใหญ่กว่าค่าในตาราง ให้พิจารณาจาก*เสถียรภาพทางความร้อน* (Thermal stability) ที่เกิดขึ้นบนคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย โดยเสถียรภาพทางความร้อนถูกนิยามไว้ว่า "อุณหภูมิจะต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2°C จากการอ่านค่า 2 ครั้งใน 3 ครั้ง ภายในช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 10 นาที"

คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ผ่านช่วง ON มาแล้ว จะถูกทิ้งให้เย็นลงในสภาวะแวดล้อมด้วยระยะเวลาเท่ากับช่วงเวลา ON ตามตารางที่ 3.3

3.7 การวัดค่าความต้านทาน และอุณหภูมิ

พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย ได้แก่ ความต้านทาน และอุณหภูมิ ช่วงเวลาที่วัดค่าความต้านทาน และอุณหภูมิ มาตรฐานกำหนดไว้ให้เป็นไปตามตารางที่ 3.4 สำหรับการทดสอบประเภท A, B และ C ส่วนประเภท AA ควรจะวัดค่าอย่างน้อยทุก 20 วัฏจักร

ตารางที่ 3.3 ช่วงเวลา ON-OFF ในแต่ละวัฏจักร

Aluminum or Aluminum Composite (mm^2)	Copper or Copper Composite (mm^2)	Current on Period (Hour)
$A^* \leq 170.46$	$A \leq 170.46$	1.0
$170.46 < A \leq 402.83$	$21.73 < A \leq 253.35$	1.5
$402.83 < A \leq 805.66$	$253.35 < A \leq 506.72$	2.0
$A > 805.66$	$A > 506.71$	Consider thermal stability

* A = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำควบคุม

ตารางที่ 3.4 ช่วงเวลาวัดค่าความต้านทาน และอุณหภูมิ
(สำหรับการทดสอบประเภท A, B และ C เท่านั้น)

Current Cycle
25-30
45-55
70-80
95-105
120-130
160-170
200-210
245-255
320-330
400-410
495-505

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดค่าความต้านทานควรวัดตอนจะสิ้นสุดช่วง OFF (ก่อนเข้าช่วง ON) ขณะที่คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายทุกตัวมีเสถียรภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิห้อง โดยป้อนกระแสไฟตรงไม่เกิน 12 A ผ่านเข้าไปในวงทดสอบ แล้ววัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมอิควอไลเซอร์ (ถ้าเป็นตัวนำตีเกลียว) จะได้ค่าความต้านทานจากสูตร V/I ค่าความต้านทานที่ได้ควรเทียบให้อยู่ที่อุณหภูมิเดียวกัน เพื่อให้ค่าที่วัดได้ทั้งหมดสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เช่นเทียบไว้ที่ 20°C ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$R_{20} = \frac{R_m}{\left[1 + \alpha\left(T_m - 20\right)\right]} \qquad (3.1)$$

โดย R_{20} แทน ความต้านทานที่ถูกเทียบไว้ที่ 20°C (Ω)

R_m แทน ความต้านทานที่วัดได้ (Ω)

T_m แทน อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)

α แทน สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลง ค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ

$= 4 \times 10^{-3}$ / °C สำหรับทองแดง และ ACSR

$= 3.6 \times 10^{-3}$ / °C สำหรับอะลูมิเนียม

ส่วนการวัดค่าอุณหภูมิควรวัดตอนจะสิ้นสุดช่วง ON (ก่อนเข้าช่วง OFF) เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดของวัฏจักรที่ต้องการวัด อุณหภูมิจะถูกวัดโดยเทอร์มอคัปเปิลซึ่งถูกติดตั้งถาวรที่คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแต่ละตัว

3.8 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย

คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายจะผ่านเกณฑ์การทดสอบทางไฟฟ้าก็ต่อเมื่อ คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ทำการทดสอบมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า 3 ข้อ ต่อไปนี้

- "ค่าความต้านทาน" ที่วัดได้จะต้องมีเสถียรภาพ โดยจะถือว่ามีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อความต้านทานที่วัดได้รวมถึง*ค่าความผิดพลาด* (Error) มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±5 % จากค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ในช่วงเวลาทั้งหมด ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ (3.2)

$$\left|\frac{R_m - R_{av}}{R_{av}}\right| \times 100\,\% \leq 5\% \qquad (3.2)$$

- "<u>อุณหภูมิของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย</u>" ต้องไม่เกินอุณหภูมิของตัวนำควบคุม ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ (3.3)

$$T_{connector,m} \leq T_{control} \tag{3.3}$$

- "<u>ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวนำควบคุม กับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย</u>"จะต้องมีเสถียรภาพ โดยจะถือว่ามีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองรวมถึงค่าความผิดพลาด มีค่าไม่เกินค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจากที่วัดได้ในช่วงเวลาทั้งหมดมากกว่า 10°C ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ (3.4)

$$\begin{aligned} D_m &= T_{control} - T_{connector,m} \\ D_{av} - D_m &\leq 10°C \end{aligned} \tag{3.4}$$

โดย R_m แทน ความต้านทานแต่ละค่า (Ω)

R_{av} แทน ความต้านทานเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่วัด (Ω)

$T_{connector,\,m}$ แทน อุณหภูมิของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแต่ละค่า (°C)

$T_{control}$ แทน อุณหภูมิของตัวนำควบคุม (°C)

D_m แทน ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างตัวนำควบคุมกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย (°C)

D_{av} แทน $\frac{\sum_{i=1}^{n}(Dm)_i}{n}$ (°C) เมื่อ n แทนจำนวนวัฏจักร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย