บทที่ 3
การทดสอบคุณสมบัติทางกลและความร้อน

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศตามมาตรฐาน ICEA S-66-524 [6]

3.1.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

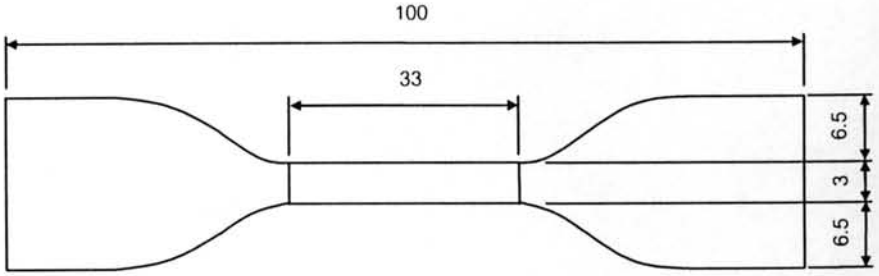
เตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบก่อนเร่งอายุใช้งาน 3 ตัวอย่าง และ สำหรับการทดสอบหลังเร่งอายุใช้งาน 3 ตัวอย่างตัดจากตัวอย่างสายไฟฟ้าท่อนเดียวกัน

กรณีฉนวน (Insulation)

เตรียมชิ้นทดสอบของฉนวนเป็นรูปดัมเบลล์ แบบ Die D ตาม ASTM D-412 [7] โดยในการเตรียมชิ้นทดสอบได้ใช้มีดผ่าฉนวนตามแกน และเปิดเพื่อเอาตัวนำออก จากนั้นนำชิ้นงานไปผ่านเครื่องเฉือนเพื่อเฉือนเอาส่วนที่ไม่ใช่ฉนวน ทั้งผิวด้านในและผิวด้านนอกออก และเฉือนฉนวนผ่านเครื่องเฉือนจนกระทั่งผิวทั้ง 2 ด้าน ของชิ้นทดสอบเรียบ และมีความหนาสม่ำเสมออยู่ระหว่าง 0.8 – 2.0 มิลลิเมตร และทำเครื่องหมายที่ชิ้นตัวอย่าง และตัวอย่างทดสอบให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้ทราบว่าตัดชิ้นทดสอบมาจากตัวอย่างใดที่ตำแหน่งใด และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

กรณีเปลือกนอก (Jacket)

เตรียมชิ้นทดสอบของเปลือกนอกเป็นรูปดัมเบลล์ โดยใช้มีดผ่าเปลือกนอกออกตามแนวแกน แล้วแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่เปลือกนอกออก จากนั้นนำส่วนของเปลือกนอกมาผ่านเครื่องเฉือนเพื่อเฉือนเอาส่วนที่ไม่เรียบออก และเฉือนเปลือกนอกผ่านเครื่องเฉือนจนกระทั่งผิวทั้ง 2 ด้านของชิ้นทดสอบเรียบ และมีความหนาสม่ำเสมออยู่ระหว่าง 0.8 – 2.0 มิลลิเมตร จากนั้นได้เตรียมชิ้นทดสอบให้เป็นรูปดัมเบลล์ตาม ASTM D – 412 Die D ในการทำรูปดัมเบลล์ทุกครั้งต้องรองพื้นด้วยกระดาษหรือวัตถุอ่อนนิ่มเพื่อป้องกันไม่ให้ดัมเบลล์เกิดการชำรุดหรือเสียหาย โดยชิ้นทดสอบจะต้องยาวไม่น้อยกว่า 11.43 เซนติเมตร (4.5 นิ้ว) และทำเครื่องหมายที่ชิ้นตัวอย่าง และตัวอย่างทดสอบให้สัมพันธ์กัน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3.1 รูปดัมเบลล์ ตาม ASTM D-412 Die D

3.1.2 การหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ คำนวณจากความกว้างและความหนาต่ำสุดซึ่งได้มาจากการวัดชิ้นทดสอบ 3 ครั้ง ระหว่างขีดเครื่องหมาย ค่าน้อยที่สุดของพื้นที่หน้าตัด 3 ค่าที่หาได้นำไปคำนวณหาความต้านทานแรงดึง ในการวัดความหนาและความกว้าง คิดทศนิยม 3 ตำแหน่ง เป็นมิลลิเมตร

สำหรับชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบลล์ คำนวณพื้นที่หน้าตัดจากสูตร

$$A = W \times T$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของงานทดสอบ หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร

W คือ ความกว้างของชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

T คือ ความหนาของชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ในการวัดความกว้าง และ ความหนาของชิ้นงานทดสอบได้ใช้ไมโครมิเตอร์วัด 3 ค่าภายในระยะ gauge mark แล้วหาค่าเฉลี่ย บันทึกค่าหน่วยเป็นมิลลิเมตร ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.3 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ

3.1.3.1 เก็บชิ้นงานทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ 24 ± 4 ^{o}C เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที ก่อนการทดสอบ

3.1.3.2 สำหรับชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ แบบ Die D ได้ทำขีดเครื่องหมาย 2 แห่ง ห่างกัน 25.4 มิลลิเมตร(1 นิ้ว) เป็นความยาวพิกัดตรงกลางของชิ้นทดสอบเพื่อเป็นระยะ gauge mark

3.1.4 วิธีการทดสอบ

3.1.4.1 การทดสอบก่อนเร่งอายุใช้งาน

3.1.4.1.1 ตั้งระยะระหว่างปากจับของเครื่องดึง Tensile ไว้ให้ห่างกันไม่เกิน 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) กับชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์

3.1.4.1.2 ยึดทั้ง 2 ปลายของชิ้นงานทดสอบไว้ด้วยปากจับ แล้วทำการดึงชิ้นทดสอบโดยใช้ความเร็วในการดึงเท่ากับ 508 มิลลิเมตร (20 นิ้ว) ต่อนาที ดึงชิ้นงานทดสอบจนชิ้นงานทดสอบขาด

3.1.4.1.3 บันทึกค่าแรงดึง และระยะห่างระหว่างขีดเครื่องหมายทั้ง 2 ในขณะที่ชิ้นทดสอบขาดถ้าชิ้นทดสอบขาดนอกความยาวพิกัด ไม่ต้องนำมาพิจารณาแต่ให้ทดสอบซ้ำตามจำนวนชิ้นทดสอบที่ขาดนอกความยาวพิกัด

3.1.4.1.4 คำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึง(Tensile Strength) และความยืด (Elongation) โดยรายงานผลการทดสอบเป็นค่าเฉลี่ย และค่า Tensile Strength ได้บันทึกค่าเป็นตัวเลขทศนิยม 1 ตำแหน่ง ส่วนค่า Elongation และบันทึกค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม

3.1.4.1.5 ให้คำนวณความต้านแรงดึงและความยืดดังนี้

$$TS = \frac{F}{A}$$

โดยที่ TS คือ ความต้านแรงดึง เป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

F คือ แรงที่ได้ที่จุดขาด เป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นทดสอบ เป็นตารางมิลลิเมตร

$$EL = \frac{(L_1 - L_0) \times 100}{L_0}$$

โดยที่ EL คือ ความยืด เป็นร้อยละ

L1 คือ ความยาวพิกัดขณะที่ขาด เป็นมิลลิเมตร

L0 คือ ความยาวพิกัดเดิม เป็นมิลลิเมตร

3.1.4. 2 การทดสอบหลังเร่งอายุใช้งาน 121 ^{o}C ± 1 ^{o}C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง

3.1.4.2.1 เตรียมตู้อบความร้อนที่มีอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ หรือโดยการขับอากาศภายในตู้อบที่สามารถไหลผ่านทั่วผิวของชิ้นทดสอบ และไหลออกใกล้ส่วนบนของตู้อบอากาศภายในตู้อบ

3.1.4.2.2 นำชิ้นทดสอบมาแขวนในตู้อบ โดยไม่ให้ชิ้นทดสอบถูกผนังตู้อบหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของตู้อบ และระยะห่างระหว่างชิ้นทดสอบไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร แล้วทำการอบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 121 ^{o}C ± 1 ^{o}C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง

3.1.4.2.3 หลังจากถึงเวลาที่กำหนด นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบปล่อยชิ้นงานทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 96 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบตามการทดสอบก่อนเร่งอายุใช้งาน

3.1.4.2.4 การหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับในกรณีที่ต้องการทดสอบการเร่งอายุใช้งานด้วยนั้น ได้หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบก่อนการเร่งอายุใช้งาน (ก่อนใส่ชิ้นงานทดสอบในตู้อบ) เสมอ

3.1.4.2.5 ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ (ดึงชิ้นงานทดสอบ) ใช้เท่ากับ 25 ± 5 มม./นาที สำหรับ PE หรือ XLPE

3.1.4.2.6 ชิ้นงานที่นำออกจากตู้อบหลังจากที่ครบเวลาการเร่งอายุแล้ว ได้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ถูกแสงแดดเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบในขั้นต่อไป

3.1.5 การทดสอบความยืดตัวของฉนวนเมื่อได้รับความร้อน

3.1.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจากตัวอย่าง โดยแยกตัวกั้นออกตามแนวแกน ขัดหรือตัดชิ้นทดสอบจนผิวทั้ง 2 ด้านมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวพิกัด ในขณะที่ขัดแต่งต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินควร ภายหลังการขัดหรือตัด ความหนาของชิ้นทดสอบต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 16 ตารางมิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบมาตัดเป็นรูปดัมบ์เบลล์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ 2 แห่ง ห่างกัน 25.4 มิลลิเมตร เป็นความยาวพิกัด

3.1.5.2 วิธีการทดสอบ

แขวนชิ้นทดสอบในตู้อบ โดยมีน้ำหนักถ่วงอยู่ด้านล่าง ใช้แรงถ่วงเท่ากับ 20 นิวตันต่อตารางเซนติเมตรของพื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบส่วนที่ทำเครื่องหมาย อบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส วัดระยะห่างระหว่างเครื่องหมายและคำนวณร้อยละของความยืด

3.2 การทดสอบ Heat Distortion สำหรับสายหุ้มฉนวน XLPE

เพื่อทดสอบความหนาของฉนวนที่ลดลงของสายสำเร็จรูปเมื่อถูกกดที่อุณหภูมิ 120 – 122 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชม.

3.2.1 อุปกรณ์ทดสอบ

1) ตู้อบ ซึ่งมี Dial micrometer
2) ตุ้มน้ำหนักที่ใช้กดทับบนชิ้นงาน
3) ไมโครมิเตอร์
4) Pressure Foot

3.2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบแบบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมโดยตัดตัวอย่างสายสำเร็จรูปยาวประมาณ 203 มิลลิเมตร แล้วทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 25.4 x 14.3 มิลลิเมตร หนา 1.27 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยผิวทั้งสองด้านต้องขัดให้เรียบ

3.2.3 วิธีการทดสอบ

3.2.3.1 วัดความหนาของฉนวนก่อนทดสอบ (T_1) เตรียมชิ้นตัวอย่างแบบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ให้ใช้ Dial micrometer ที่ติดกับตู้อบวัดค่าความหนาฉนวน โดยใช้ Pressure Foot และถ่วงน้ำหนักกดทับบนชิ้นทดสอบน้ำหนัก 85 กรัม (น้ำหนักจะเป็นน้ำหนักรวมอุปกรณ์ทั้งหมดที่กดทับชิ้นงาน) แล้วอ่านความหนาฉนวน (t_1) (ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)

3.2.3.2 วางอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักตามตารางที่ 3.1 (โดยน้ำหนักจะรวมอุปกรณ์ทั้งหมดที่กดทับ) บน Pressure Foot ให้พร้อมกดทับชิ้นตัวอย่างทดสอบแต่ยังไม่ต้องวางชิ้นตัวอย่างทดสอบบนฐานรองรับ ทำการอุ่นตู้อบโดยให้มีอากาศหมุนเวียนเต็มที่ ที่อุณหภูมิ 120 – 122 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชม.

3.2.3.3 หลังจากอุ่นตู้อบเป็นเวลา 1 ชม. ได้วางชิ้นงานทดสอบบนฐานรองรับ โดยยังไม่ปล่อยน้ำหนักกดทับลงบนชิ้นงานทดสอบอบไว้เป็นเวลา 1 ชม.

3.2.3.4 หลังจากอบชิ้นงานทดสอบครบ 1 ชม. แล้วให้ปล่อยน้ำหนักถ่วงลงโดยใช้ Pressure Foot กดทับบนชิ้นตัวอย่าง อ่านค่าบน dial gauge(A) บันทึกผล (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ทดสอบเป็นเวลา 1 ชม.

3.2.3.5 คำนวณหาค่าผลต่างของความหนาของฉนวนเมื่อกดทับชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 1 ชม. เมื่อสิ้นสุดเวลากดทับชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 1 ชม. ให้อ่านค่าจาก dial gauge(B) บันทึกผล (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) นำมาคำนวณหาผลต่างของความหนาฉนวนหลังจากกดชิ้นงานตัวอย่างไป 1 ชม.

$$T_1 - T_2 = A - B \qquad \text{(ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)}$$

$T_1 - T_2$ = ผลต่างของความหนาฉนวนหลังจากกดชิ้นงานตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม.

A = ค่าที่อ่านจาก dial gauge หลังจากปล่อยน้ำหนักถ่วงลงบนชิ้นงานตัวอย่าง

B = ค่าที่อ่านจาก dial gauge หลังจากปล่อยน้ำหนักถ่วงลงบนชิ้นงานตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม.

3.2.3.6 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนาฉนวนที่ลดลง

$$\% \text{ Distortion} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\ \%$$

3.2.3.7 นำค่า Distortion เป็นเปอร์เซ็นต์ที่คำนวณได้มาหาค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง

3.2.3.8 ทำการทดสอบทั้งหมดเหมือนฉนวน แต่เปลี่ยนจากฉนวนเป็นเปลือกนอกสาย

3.2.3.9 ทำการทดสอบเหมือนสายที่ยังไม่ใช้งาน แต่เปลี่ยนจากสายที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเป็นสายที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักที่กดบนชิ้นงาน

ขนาดของตัวนำ (AWG)	น้ำหนักที่กดบนชิ้นงาน	
	กรัม	นิวตัน
14 – 8	500	4.91
6 – 1	750	7.36
1/0 – 4/0	1000	9.81
สำหรับชิ้นตัวอย่างที่มีขนาดตัวนำมากกว่า 4/0	2000	19.62

3.3 การทดสอบแรงดึงของฉนวนและเปลือกนอกสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศที่น้ำหนักถ่วงต่างๆ ภายใต้เงื่อนไข UV(แสงแดดธรรมชาติ)

3.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบอย่างละ 10 ชิ้นจากตัวอย่างของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศที่ผ่านการใช้งานและอย่างละ 10 ชิ้นจากตัวอย่างของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน รวมทั้งหมดเป็น 160 ชิ้น โดยแยกตัวกั้นออกตามแนวแกน ขัดหรือตัดชิ้นทดสอบจนผิวทั้ง 2 ด้านมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวพิกัด ในขณะที่ขัดแต่งต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินควร ภายหลังการขัดหรือตัด ความหนาของชิ้นทดสอบต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 16 ตารางมิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบมาตัดเป็นรูปดัมบ์เบลล์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ 2 แห่ง ห่างกัน 25.4 มิลลิเมตร เป็นความยาวพิกัด

3.3.2 วิธีการทดสอบ

3.3.2.1 วัดความหนาของฉนวนและเปลือกสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศทั้ง 160 ชิ้น

3.3.2.2 แขวนชิ้นทดสอบกลางแจ้งตากแดด โดยมีน้ำหนักถ่วงอยู่ด้านล่าง ใช้แรงถ่วงชิ้นละ 1.0 กิโลกรัม 1.4 กิโลกรัม 1.8 กิโลกรัม และ 2.2 กิโลกรัม ตามลำดับของชิ้นทดสอบอย่างละ 10 ชิ้น

3.3.2.3 วัดความหนาที่ลดลงและความยาวที่ยืดออกของฉนวนและเปลือกที่ระยะเวลา 72 144, 216, 288 และ 360 ชั่วโมง

3.3.2.4 คำนวณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความหนาและความยาวของชิ้นทดสอบทั้ง 160 ชิ้น หาค่าเฉลี่ยของชิ้นงาน

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับการทดสอบทั้งหมดนั้น สายที่นำมาทดสอบเป็นสายจากผู้ผลิตรายเดียวกัน สายที่ผ่านการใช้งานเป็นสายที่ตัดมาจากบริเวณเดียวกับสายที่เกิดการขาดจริง ซึ่งมีการติดตั้งใช้งาน 3 ปี ตั้งแต่ปี 2545 – 2548 และสายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ตัดมาจากสายที่มีการผลิตเดือน กรกฎาคม 2549 แต่วันที่ผลิตไม่ตรงกันในแต่ละการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้