การวิเคราะห์สาเหตุการบกพร่องของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศในระบบจำหน่ายกรณีศึกษาผลกระทบทางกลและความร้อน

นาย พรชัย ทีอุปมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF SPACE AERIAL CABLE FAILURE CAUSES IN DISTRIBUTION SYSTEM
CASE STUDY IN MECHANICAL AND THERMAL EFFECTS

Mr. Pornchai Teeuppama

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501814

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สาเหตุการบกพร่องของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศในระบบจำหน่ายกรณีศึกษาผลกระทบทางกลและความร้อน
โดย	นาย พรชัย ทีอุปมา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา)

.....กรรมการ

(นายพิเชฐ ศรีสวัสดิ์)

พรชัย ทีอุปมา : การวิเคราะห์สาเหตุการบกพร่องของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศในระบบจำหน่ายกรณีศึกษาผลกระทบทางกลและความร้อน.(ANALYSIS OF SPACE AERIAL CABLE FAILURE CAUSES IN DISTRIBUTION SYSTEM CASE STUDY IN MECHANICAL AND THERMAL EFFECTS) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา, 85 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์และการประเมินสาเหตุการบกพร่องของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ เนื่องจากผลกระทบทางกลที่เกิดจากแรงลมที่ปะทะสายร่วมกับน้ำหนักของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ เนื่องจากสายหุ้มฉนวนจะมีพื้นที่ในการรับแรงลมรวมทั้งน้ำหนักสายมากกว่าสายไฟฟ้าไม่หุ้มฉนวน ซึ่งทำให้มีความเครียดสูง เมื่อมีความร้อนในสายไฟฟ้าจากการจ่ายโหลด ผลกระทบร่วมระหว่างแรงทางกลและความร้อนที่มีต่อการยืดตัวของสายที่แตกต่างกันระหว่างอลูมิเนียมและฉนวนครอสลิงค์โพลีเอทธีลีนรวมทั้งเปลือกนอก เนื่องจากคุณสมบัติการขยายตัวและค่าโมดูลัสยืดหยุ่น โดยแรงดึงในสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนคำนวณจากน้ำหนักสาย ระยะช่วงห่างระหว่างเสา ระยะหย่อน และแรงลมที่ปะทะกับสาย และนำไปใช้เป็นค่าในการตรวจสอบโดยทำชิ้นตัวอย่างของฉนวนเป็นรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ICEA S – 66 – 524 เพื่อทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2550

4770649621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: SPACE AERIAL CABLE/ MECHANICAL EFFECTS / EXPANSION COEFFICIENT

PORNCHAI TEEUPPAMA: ANALYSIS OF SPACE AERIAL CABLE FAILURE CAUSES IN DISTRIBUTION SYSTEM CASE STUDY IN MECHANICAL AND THERMAL EFFECTS.

THESIS ADVISOR : WEERAPUN RUNGSEEVIJITPRAPA, Dr.-Ing., 85pp.

This thesis presents a method of a failure assessment and analysis on Space Aerial Cable(SAC) due to mechanical effects, combining of wind collide to pole and weight of Space Aerial Cable. Since SAC have surface area and weight more than non-insulation wire, the cable have more mechanical stress while supplying to load. The combined thermal and mechanical effect to wire elongation differs between aluminium and XLPE main insulation including screen due to expansion coefficient and young's modulus.Tension of SAC can be calculated from span, sag, weight of conductor and wind collide to wire. Made dumbells from insulation according to ICEA S – 66 – 524 use to analysis and inspect tension of wire in laboratory.

Department : Electrical Engineering Student's Signature : P. Teeuppama.

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature : W. Rungseevijitprapa

Academic Year : 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร. วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

นอกจากนี้ ต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์ (ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์) และคุณพิเชฐ ศรีสวัสดิ์ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท เฟิลปส์ดอด์จ ไทยแลนด์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องทดสอบ และพนักงานบริษัทโดยเฉพาะ คุณวิมลพันธ์ เรืองศรี และคุณวินัย นิลโต ที่ได้ให้คำแนะนำในการทดสอบคุณสมบัติของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ

ขอขอบคุณพนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 3

1.3 แนวทางการวิจัย..... 3

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 การหาระยะหย่อนและแรงดึงของสายไฟฟ้า..... 6

2.1.1 การหาระยะหย่อนและแรงดึงในสายเมื่อปักเสาไฟฟ้าระดับเดียวกัน 6

2.1.2 การหาระยะหย่อนและแรงดึงในสายเมื่อปักเสาไฟฟ้าต่างระดับ.. 12

2.2 การหาระยะหย่อนและแรงดึงของสายขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง..... 14

2.3 แรงเนื่องจากลมที่กระทำกับสายไฟฟ้า..... 17

2.4 แรงลมที่กระทำกับสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ..... 18

2.4.1 แรงดันลมสำหรับผิวทรงกระบอก..... 18

2.4.2 แรงลมที่กระทำกับสายแนวแกนราบ..... 18

2.4.3 กรณีทางโค้ง..... 18

3 การทดสอบคุณสมบัติทางกลและความร้อน..... 20

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศตามมาตรฐาน ICEA S-66-524..... 20

3.1.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ..... 20

บทที่ หน้า

3.1.2 การหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์..... 21
3.1.3 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ..... 21
3.1.4 วิธีการทดสอบ..... 22
3.1.4.1 การทดสอบก่อนเร่งอายุการใช้งาน..... 22
3.1.4.2 การทดสอบหลังเร่งอายุใช้งาน 121 ^{o}C $\pm$ 1 ^{o}C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง..... 23
3.1.5 การทดสอบความยืดตัวของฉนวนเมื่อได้รับความร้อน..... 24
3.1.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ..... 24
3.1.5.2 วิธีการทดสอบ..... 24
3.2 การทดสอบ Heat Distortion สำหรับสายหุ้มฉนวน XLPE..... 25
3.2.1 อุปกรณ์ทดสอบ..... 25
3.2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ..... 25
3.2.3 วิธีการทดสอบ..... 25
3.3 การทดสอบแรงดึงของฉนวนและเปลือกนอกสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศที่น้ำหนักถ่วงต่างๆภายใต้ UV(แสงแดดธรรมชาติ)..... 27
3.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ..... 27
3.3.2 วิธีการทดสอบ..... 27
4 สถิติการบกพร่องของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ การประเมินความเค้นและกระแสใช้งานของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ..... 28
4.1 สถิติการบกพร่องของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ..... 28
4.2 การคำนวณอัตราการรับแรงดึงต่ำสุดของฉนวนและเปลือกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ..... 34
4.2.1 การคำนวณความเค้นที่ใช้งานและระยะหย่อนยานของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ..... 35
4.2.2 การคำนวณแรงดึงของสาย..... 37
4.2.2.1 กรณีคิดแรงลม..... 37
4.2.2.2 กรณีไม่คิดแรงลม..... 38
4.3 การประเมินกระแสใช้งานของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ(SAC)... 39

บทที่ หน้า

4.3.1 พลังงานสูญเปล่าไดอิเล็กตริกของสาย SAC..... 39
4.3.2 การคำนวณกระแสใช้งานของสาย SAC..... 43
5 ผลการทดสอบ..... 45
5.1 การทดสอบแรงดึงของฉนวนและเปลือกโดยการเปลี่ยนแปลงความหนา 45
5.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืด..... 47
5.3 ผลการทดสอบความยืดสูงสุดเมื่อออบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 150 °C ± 2 °C และความยืดสูงสุดหลังจากปล่อยให้เย็นลง 52
5.4 ความต้านทานแรงดึงต่อความยืด..... 54
5.5 Heat Distortion ของฉนวนและเปลือก..... 56
5.6 การทดสอบแรงดึงของฉนวนและเปลือกที่น้ำหนักถ่วงต่างๆ 58
6 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 66
6.1 สรุป..... 66
6.2 ข้อเสนอแนะ..... 68
รายการอ้างอิง..... 70
ภาคผนวก ก. 71
ภาคผนวก ข. 75
ภาคผนวก ค. 83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 85

ตารางที่		หน้า
3.1	น้ำหนักที่กดบนชิ้นงาน	26
4.1	ความเค้นที่ใช้งานที่ระยะช่วงเสาและอุณหภูมิต่างๆจากการคำนวณ	36
4.2	ระยะหย่อนยานต่ำสุด	36
4.3	แรงดึงของสาย 185 ตารางมิลลิเมตร กรณีคิดแรงลม 40 กิโลกรัม/ตารางเมตร	37
4.4	แรงดึงของสาย185 ตารางมิลลิเมตร กรณีไม่คิดแรงลม	38
4.5	แสดงค่าพลังงานสูญเสียของสาย SAC แปรผันตามอุณหภูมิการใช้งาน	42
4.6	แสดงกระแสรั่วไหลทำให้เกิดพลังงานสูญเสีย	43
4.7	แสดงกระแสที่ทำให้อุณหภูมิของสายเปลี่ยนแปลงและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดซึ่งอุณหภูมิโดยรอบ 40°C	44
5.1	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศของสายที่ผ่านการใช้งานก่อนเร่งอายุ	47
5.2	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศของสายใหม่ก่อนเร่งอายุ	48
5.3	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศของสายที่ผ่านการใช้งานและเร่งอายุ	49
5.4	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศของสายใหม่และเร่งอายุ	50
5.5	ผลการทดสอบความยืดสูงสุดเมื่อออบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 15 นาทีที่อุณหภูมิ 150 °C ± 2°C และความยืดสูงสุดหลังจากปล่อยให้เย็นลงของสายที่ผ่านการใช้งาน	52
5.6	ผลการทดสอบความยืดสูงสุดเมื่อออบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 15 นาทีที่อุณหภูมิ 150 °C ± 2°C และความยืดสูงสุดหลังจากปล่อยให้เย็นลงของสายใหม่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	53
5.7	แสดงผลการทดสอบ Heat Distortion ของฉนวนสายที่ผ่านการใช้งาน	56
5.8	แสดงผลการทดสอบ Heat Distortion ของเปลือกสายที่ผ่านการใช้งาน	56
5.9	แสดงผลการทดสอบ Heat Distortion ของฉนวนสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	57
5.10	แสดงผลการทดสอบ Heat Distortion ของเปลือกสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	57

ตารางที่ หน้า

6.1 แรงดึงของสาย 185 ตารางมิลลิเมตร กรณีคิดแรงลม 40 กิโลกรัม/ตารางเมตร..... 68

6.2 แรงดึงของสาย 185 ตารางมิลลิเมตร กรณีไม่คิดแรงลม..... 68

6.3 ระยะหย่อนยานต่ำสุดที่แนะนำ..... 69

ก.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดสายโดยประมาณ..... 71

ก.2 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุตัวนำที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะทางกล..... 72

ก.3 ขนาดของดัมเบลล์ตามมาตรฐาน Dies^{A} (ระบบเมตริก)..... 72

ก.4 ขนาดของดัมเบลล์ตามมาตรฐาน Dies^{A} (ระบบ U.S. Customary)..... 73

ก.5 คุณลักษณะที่กำหนดของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ (SAC) ตามมาตรฐาน ICEA S-66-524..... 74

ข.1 ข้อมูลจากสเปค กฟภ..... 75

ข.2 ค่าคาปาซิเตอร์ของสาย(C)และค่าพลังงานสูญเปล่าไดอิเล็กตริกของสาย SAC(W_d)..... 77

ข.3 ค่าความต้านทานเชิงความร้อนระหว่างตัวนำและเปลือกนอก (T_1)..... 77

ข.4 ค่าความต้านทานเชิงความร้อนของเปลือกภายนอก (T_3)..... 78

ข.5 แสดงค่า K_A..... 79

ข.6 แสดงค่า $\Delta\theta_d$..... 79

ข.7 แสดงค่า $\Delta\theta_{ds}$..... 79

ข.8 แสดงค่า $\Delta\theta + \Delta\theta_d + \Delta\theta_{ds}$..... 80

ข.9 แสดงค่า$(\Delta\theta_s)^{1/4}$..... 80

ข.10 แสดงค่า $T_4^{'}$..... 80

ข.11 แสดงค่า R_0 , $R^{'}$, X_S^2 , Y_S , X_P^2 , d_C , Y_P และ R..... 82

ข.12 พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ (SAC) ที่ใช้กับแรงดัน 33 กิโลโวลต์..... 82

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่ หน้า

1.1 รูปที่ 1.1 Aluminium Space Aerial Power Cables with Cross – Linked Polyethylene Insulated and Sheathed For Rated Voltage 25 kV and 35 kV..... 2

2.1 แสดงระยะหย่อนและแรงดึงในสาย..... 6

2.2 แสดงระยะหย่อนและแรงดึงในสายต่างระดับ..... 13

2.3 แสดงการรวมแรงกระทบสายทางเวกเตอร์..... 17

2.4 มุมหักเหของสาย..... 19

3.1 รูปดัมเบลล์ ตาม ASTM D-412 Die D..... 21

4.1 แผนภูมิแสดงสถิติการกระจายจำนวนครั้งตั้งแต่ 1 มกราคม 2546 ถึง 31 ธันวาคม 2548..... 28

4.2 แผนภูมิแสดงสถิติการกระจายจำนวนครั้งต่อลักษณะพื้นที่..... 29

4.3 แผนภูมิแสดงสถิติจำนวนครั้งกับตำแหน่งที่เกิดการขาดของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ..... 29

4.4 แผนภูมิแสดงสถิติการกระจายจำนวนครั้งตั้งแต่ 1 มกราคม 2546 ถึง 31 ธันวาคม 2546..... 30

4.5 แผนภูมิแสดงสถิติความเร็วลมสูงสุดใน จ.สงขลา ปี 2546..... 30

4.6 แผนภูมิแสดงสถิติการกระจายจำนวนครั้งตั้งแต่ 1 มกราคม 2547 ถึง 31 ธันวาคม 2547..... 31

4.7 แผนภูมิแสดงสถิติความเร็วลมสูงสุดใน จ.สงขลา ปี 2547..... 31

4.8 แผนภูมิแสดงสถิติการกระจายจำนวนครั้งตั้งแต่ 1 มกราคม 2548 ถึง 31 ธันวาคม 2548..... 32

4.9 แผนภูมิแสดงสถิติความเร็วลมสูงสุดใน จ.สงขลา ปี 2548..... 32

4.10 แสดงสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศขนาด 185 ตร.มม.ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 33 กิโลโวลต์..... 34

4.11 กระแสไหลของวงจรสมมูลของสายหุ้มฉนวน..... 39

4.12 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของสายหุ้มฉนวน..... 39

4.13 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ค่าความสูญเสียไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิใช้งาน..... 40

ภาพประกอบที่ หน้า

4.14 แสดงความสัมพันธ์ของค่า ε, กับอุณหภูมิของ Fill XLPE..... 41

5.1 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของฉนวน xlpe สายใหม่ 45

5.2 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของเปลือก xlpe สายใหม่ 46

5.3 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงของสายเก่าและสายใหม่..... 51

5.4 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อความยืดก่อนเร่งอายุ..... 54

5.5 แผนภูมิความต้านทานแรงดึงต่อความยืดหลังเร่งอายุใช้งานที่อุณหภูมิ 121 ^{o}C ±1 ^{o}C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง..... 55

5.6 ความยาวที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของฉนวน xlpe สายเก่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 58

5.7 ความยาวที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของเปลือก xlpe สายเก่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 58

5.8 แผนภูมิแสดงความหนาที่ลดลงเป็นร้อยละของฉนวน xlpe สายเก่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 59

5.9 แผนภูมิแสดงความหนาที่ลดลงเป็นร้อยละของเปลือก xlpe สายเก่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 59

5.10 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของฉนวน xlpe สายที่ผ่านการใช้งาน..... 60

5.11 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของเปลือก xlpe สายที่ผ่านการใช้งาน..... 61

5.12 ความยาวที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของฉนวน xlpe สายที่ยังไม่ใช้งานเปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 62

5.13 ความยาวที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของเปลือก xlpe สายที่ยังไม่ใช้งานเปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 62

5.14 แผนภูมิแสดงความหนาที่ลดลงเป็นร้อยละของฉนวน xlpe สายที่ยังไม่ใช้งานเปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 63

5.15 แผนภูมิแสดงความหนาที่ลดลงเป็นร้อยละของเปลือก xlpe สายที่ยังไม่ใช้งานเปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 63

5.16 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของฉนวน xlpe สายที่ยังไม่ใช้งาน..... 64

5.17 แผนภูมิแสดงความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของเปลือก xlpe สายที่ยังไม่ใช้งาน..... 64

ภาพประกอบที่ หน้า

ค.1 การเตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาก 25.4 x 14.3 มิลลิเมตร หนา 1.27 มิลลิเมตร..... 83

ค.2 ตู้อบที่มี Dial micrometer..... 83

ค.3 Pressure Foot ที่ใช้วัดความหนาฉนวน..... 84

ค.4 ชิ้นงานสำเร็จรูปที่ถูกกดทับจากตุ้มน้ำหนัก..... 84