การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

นายณัฐพล นิพันธ์ไพศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6005-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF PROBLEMS OF POWER CONNECTORS INSTALLED IN DISTRIBUTION SYSTEM

Mr. Nattapol Niphanphaisal

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-6005-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
โดย	นายณัฐพล นิพันธ์ไพศาล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)

..... กรรมการ
(นายพิเชฐ ศรีสวัสดิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายณัฐพล นิพันธ์ไพศาล : การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า. (A STUDY OF PROBLEMS OF POWER CONNECTORS INSTALLED IN DISTRIBUTION SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์, จำนวนหน้า 98 หน้า. ISBN 974-17-6005-1.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอผลการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า การศึกษาทำโดยแจกแบบสอบถามไปยัง 12 เขตทั่วประเทศ เพื่อรวบรวมข้อมูลการใช้งาน ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข ตามสภาพการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามพบว่า คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบสลักเกลียวจะเกิดปัญหามากกว่าแบบบีบ ดังนั้นจึงทำการทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ PG 3 สลัก แบบ PG 2 สลัก และแบบ Hot line โดยใช้แนวทางการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4 – 2003 เพื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าแรงขันสลักเกลียวเริ่มต้น และชนิดของแหวนรองสลักเกลียว ชนิดของแหวนรองสลักเกลียวที่ทำการทดสอบ ได้แก่ แหวนรองสลักเกลียวแบบเดิมที่ติดมากับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย แบบกงจักร และแบบดิสก์สปริง ผลการทดสอบที่ได้พบว่า คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายทั้งแบบ PG 3 สลัก และแบบ PG 2 สลัก ที่มีค่าแรงขันสลักเกลียวเริ่มต้นสูงกว่าจะมีประสิทธิภาพการใช้งานดีกว่าชุดที่มีค่าแรงขันสลักเกลียวเริ่มต้นต่ำกว่า โดยค่าแรงขันสลักเกลียวเริ่มต้นควรจะมีค่าอย่างน้อย 200 lb-in และ 100 lb-in ตามลำดับ นอกจากนี้คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายทั้งแบบ PG 3 สลัก และแบบ PG 2 สลักที่ใช้งานร่วมกับแหวนรองสลักเกลียวแบบดิสก์สปริงจะมีประสิทธิภาพการใช้งานดีกว่าชุดที่ใช้งานร่วมกับแหวนรองสลักเกลียวแบบเดิม สำหรับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ Hot line จากผลการทดสอบไม่อาจสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการใช้งานมีความสัมพันธ์กับค่าแรงขันสลักเกลียวเริ่มต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4470300221 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS : POWER CONNECTOR / TIGHTENING TORQUE / WASHER

NATTAPOL NIPHANPHAISAL : A STUDY OF PROBLEMS OF POWER CONNECTORS INSTALLED IN DISTRIBUTION SYSTEM. THESIS ADVISOR : KOMSON PETCHARAKS Dr.Sc.Techn, 98 pp. ISBN 974-17-6005-1.

This thesis presents a study of problems of power connectors installed in distribution system. The study is consisted of two parts. Firstly, questionnaires are distributed to 12 areas of Thailand to collect user instructions, problems and preliminary solutions under real circumstances. Data collected from the questionnaires show that bolt-type connectors have more problems than compression-type connectors, particularly hot line-type and parallel groove 2 bolts-type connectors. Secondly, the temperature measurement are carried out on three types of connector which are Parallel Groove 3 bolts (PG 3 bolts), Parallel Groove 2 bolts (PG 2 bolts) and Hot line clamp for aluminum conductor. The testing procedures are Current Cycle Test according to ANSI C119.4 – 2003. The parameters under consideration are initial tightening torque and types of spring-washer. Types of spring-washer in this test are original, gear and Belleville disc spring-washer. The results show that the connector which has higher initial tightening torque has more efficiency. From testing, the initial tightening torque should be more than 200 lb-in and 100 lb-in for PG 3 bolts and PG 2 bolts, respectively. In addition, the connector that using Belleville disc spring-washer has more efficiency than the one using the original spring-washer. For Hot line clamp, the relation between the initial tightening torque and efficiency cannot be concluded.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering
Field of study Electrical Engineering
Academic year 2004

Student's signature N. Niphanphaisal
Advisor's signature K. Petcharaks
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้แนวทางแก้ปัญหา, ข้อแนะนำในการศึกษาวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ได้ รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ และคุณพิเชฐ ศรีสวัสดิ์ ที่ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดการวิจัย คุณถาวร เอื้อดี และคุณเกรียงไกร โอฐธนู ที่ให้คำแนะนำและช่วยสร้างอุปกรณ์การวัด รวมถึงวงจรทดสอบในการวิจัย คุณเรียน สุขเกษม ที่ช่วยอำนวยความสะดวก ดูแลห้องทดสอบให้เป็นอย่างดี พี่ ๆ ช่างกลึงโลหะของร้านวัฒนา ที่ช่วยทำชิ้นงานสำหรับทดสอบ ตลอดจนพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกท่านที่ช่วยเหลือทั้งกำลังกาย และกำลังใจด้วยดีเสมอ รวมทั้งศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ให้การสนับสนุนด้านการประสานงานด้านเงินทุนในการวิจัยและข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา, มารดา, พี่ชายและพี่สาว ผู้ให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง และเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 บทนำทั่วไป 1

1.2 ที่มาของปัญหา 1

1.3 ผลการวิจัยในอดีต 2

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 11

1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ 11

2. ทฤษฎีเบื้องต้น 12

2.1 คุณสมบัติของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ดี 12

2.1.1 คุณสมบัติทางกล 12

2.1.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า 12

2.2 การนำไฟฟ้าของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 12

2.3 การเสื่อมสภาพของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 14

2.3.1 พื้นที่หน้าสัมผัส 14

2.3.2 ออกซิเดชัน 14

2.3.3 การกัดกร่อนแกลแวนิก 15

2.3.4 การขยายตัวเหตุความร้อน 16

2.3.5 ปรากฏการณ์ Fretting 17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

2.3.6 การคลายตัวความเค้น/ การคืบ 17
2.3.7 ปรากฏการณ์ Diffusion/Alloying 19
3. มาตรฐานการทดสอบ 20
3.1 ขอบเขตและจุดประสงค์ของมาตรฐาน ANSI C119.4-2003 20
3.2 วิธีการทดสอบ 20
3.3 วิธีการเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัฏจักรกระแส 21
3.4 การจัดวางวงทดสอบ (Loop configuration) 23
3.5 กระแสที่ใช้ในการทดสอบ 23
3.6 ช่วงเวลา ON-OFF แต่ละวัฏจักร 23
3.7 การวัดค่าความต้านทาน และอุณหภูมิ 24
3.8 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 25
4. การทดลอง 27
4.1 การเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม 27
4.1.1 วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม 27
4.1.2 พื้นที่แจกแบบสอบถาม 27
4.2 การทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 29
4.2.1 การทดสอบทางกล 29
4.2.2. การทดสอบทางไฟฟ้า 31
4.3 พารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบ 36
4.3.1 การทดสอบแรงขันสลักเกลียว 36
4.3.2 การทดสอบชนิดของแหวนรองสลักเกลียว 37
4.4 ปัญหาที่พบขณะเตรียมการทดสอบ และแนวทางแก้ไข 40
4.4.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า 40
4.4.2 ค่าอุณหภูมิ 42
5. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 43
5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม 43
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

6. สรุปและข้อเสนอแนะ 75
6.1 สรุปผลการวิจัย 75
6.2 ข้อเสนอแนะ 76
รายการอ้างอิง 77
ภาคผนวก 81
ภาคผนวก ก 82
ภาคผนวก ข 87
ภาคผนวก ค 88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 การวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาปรากฏการณ์ และกลไกการเสื่อมสภาพของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 3

1.2 การวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนาวิธีการทดสอบคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 6

1.3 การวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนาคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น 7

2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าของโลหะชนิดต่าง ๆ 15

3.1 ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ 21

3.2 ความยาวของตัวนำ สำหรับทดสอบวัฏจักรกระแส 22

3.3 ช่วงเวลา ON-OFF ในแต่ละวัฏจักร 24

3.4 ช่วงเวลาวัดค่าความต้านทาน และอุณหภูมิ 24

4.1 วัตถุประสงค์ของคำถามแต่ละข้อของแบบสอบถาม 28

4.2 ค่าแรงขันสลักเกลียวที่แนะนำตามมาตรฐาน ANSI C119.4-2003 36

4.3 สรุปพารามิเตอร์ที่จะทำการทดสอบ 39

4.4 ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.19 40

5.1 จำนวนแบบสอบถามที่ได้รับกลับมาในแต่ละเขต (50 ชุด/เขต) 44

5.2 ประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม 44

5.3 ค่าความต้านทานก่อน-หลังการทดสอบของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ทำการทดสอบ 74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ภาพขยายที่รอยต่อระหว่างผิวหน้าสัมผัสระหว่างคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายกับตัวนำสายไฟ 13
2.2 ตัวอย่างการคืบ 17
2.3 ตัวอย่างการคลายตัวความเค้น 18
2.4 ความสัมพันธ์ของกลไกการเสื่อมสภาพ 19
4.1 เขตพื้นที่แจกแบบสอบถาม 29
4.2 ด้ามขันแรงชนิดเข็ม ยี่ห้อ STURTEVANT RICHMONT รุ่น MD 600I 30
4.3 ประแจบ๊อค เบอร์ M13 M17 และ M24 30
4.4 การวัดแรงขันสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ PG 30
4.5 การวัดแรงขันสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ Bail stirrup –Hot line clamp 31
4.6 แผนผังวงจรทดสอบ 32
4.7 แบบอิควอไลเซอร์สำหรับเชื่อมสายตัวนำอะลูมิเนียม 32
4.8 อิควอไลเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบ 33
4.9 หม้อแปลงแบบ short-circuit 33
4.10 หม้อแปลงกระแสขนาดอัตราส่วนกระแส 2000/5 34
4.11 ตู้ควบคุมเวลา ON-OFF 34
4.12 เทอร์มอคัปเปิล ชนิด K 35
4.13 เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น HR 1300 35
4.14 บริดจ์แบบเคลวิน ยี่ห้อ H.W.Sullivan Limited รุ่น T2222 36
4.15 แรงขันสลักเกลียวที่วัด ณ จุดต่าง ๆ ของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ Bail stirrup – Hot line clamp . 37
4.16 แหวนรองสลักเกลียวเดิมที่ติดมากับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 38
4.17 แหวนรองสลักเกลียวสปริงแบบกงจักร 38
4.18 แหวนรองสลักเกลียวแบบ ดิสก์สปริง 38
4.19 บริเวณที่วัดตัวอย่างค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ห่างจากวงทดสอบเป็นระยะต่าง ๆ 41
5.1 ผลการสำรวจข้อมูลคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ใช้บ่อย 45
5.2 ผลการสำรวจข้อมูลคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่เกิดปัญหาบ่อย 48
5.3 ผลการสำรวจข้อมูลผู้ดำเนินการติดตั้งคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.4 ผลการสำรวจข้อมูลความถี่ในการติดตั้งคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายตามวิธีที่ผู้ผลิตกำหนด 51
5.5 ผลการสำรวจข้อมูลความถี่ในการบำรุงรักษาคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 52
5.6 ผลการสำรวจข้อมูลวิธีบำรุงรักษาคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย..... 54
5.7 ผลการสำรวจข้อมูลลักษณะความเสียหายของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย..... 57
5.8 ผลการสำรวจข้อมูลความถี่ของการเกิดปัญหาเกี่ยวกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 60
5.9 ตัวอย่างผลการทดสอบทางไฟฟ้า ของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย 63
5.10 ผลการทดสอบค่าแรงขันสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ PG 3 สลัก 65
5.11 ผลการทดสอบค่าแรงขันสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ PG 2 สลัก 66
5.12 ผลการทดสอบค่าแรงขันสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ Hotline..... 67
5.13 ผลการทดสอบชนิดของแหวนรองสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ PG 3 สลัก ... 70
5.14 ผลการทดสอบชนิดของแหวนรองสลักเกลียวของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายแบบ PG 2 สลัก ... 71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย