รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

Construction of 115 kV Underground Power System

โดย

นายชาญวิทย์ ศรีนาท 6523220004

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 152-497 สหกิจศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า 1

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567

หัวข้อโครงงาน การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

รายชื่อผู้จัดทำ นายชาญวิทย์ ศรีนาท รหัสนักศึกษา 6523220004

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสาตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์

อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....อาจารย์นิเทศ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์)

.....ผู้นิเทศ

(นายศิวกร เกตุสมพงษ์)

.....กรรมการกลาง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นาราษฎร์)

.....ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มารุจ ลิมปะวัฒนะ)

จดหมายนำส่งรายงาน

วันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2568

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภาวัลย์ นาคทรัพย์

ตามที่ผู้จัดทำ นายชาญวิทย์ ศรีนาท นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยามได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน ระหว่างวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2567 ถึงวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2567 ในตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกร กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ และได้รับมอบหมายจากพนักงานที่ปรึกษา ให้ศึกษาและทำรายงานเรื่อง "การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดินระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์"

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงานได้สิ้นสุดลงแล้ว นายชาญวิทย์ ศรีนาท จึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

ลงชื่อ

(นายชาญวิทย์ ศรีนาท)

ผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติสหกิจศึกษา ณ กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ ตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2567 ถึงวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2567 ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้ประสบการณ์ทำงานต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนและสามารถนำความรู้ประสบการณ์ที่ได้ไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต ด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ ที่ให้โอกาสผู้จัดทำเข้ามาปฏิบัติสหกิจศึกษา กรุณาเสียสละเวลาอบรม สอนงานและช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการปฏิบัติสหกิจศึกษา จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ จากการสนับสนุนหลายฝ่าย ดังนี้

1) นายศิวกร เกตุสมพงษ์ (พนักงานที่ปรึกษา)

2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

และบุคคลที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำในการจัดทำสหกิจศึกษาฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ และผู้สนใจปฏิบัติสหกิจศึกษาในงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโครงงานต่อไป รวมทั้งในการค้นคว้าของกลุ่มที่สนใจ หากโครงงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้

ชาญวิทย์ ศรีนาท

ผู้จัดทำ

หัวข้อโครงงาน :	การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน 115 กิโลโวลต์
หน่วยกิต :	5 หน่วยกิต
ผู้จัดทำ :	นายชาญวิทย์ ศรีนาท 6523220004
อาจารย์ที่ปรึกษา :	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
ระดับการศึกษา :	ปริญญาตรี (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต)
หลักสูตร :	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะ :	วิศวกรรมศาสตร์
ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา	1/2567

บทคัดย่อ

โครงงานสหกิจศึกษาเล่มนี้นำเสนอประสบการณ์การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน 115 กิโลโวลต์ ตามมาตรฐานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยเข้าไปปฏิบัติงาน ณ กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ ตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม 2567 ถึงวันที่ 6 ธันวาคม 2567 ในการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ครั้งนี้ประกอบไปด้วยการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และการทดสอบหลังจากการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดินด้วยแรงดันที่สร้างขึ้นจากวงจรเรโซแนนซ์แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Resonance Test) ซึ่งการปฏิบัติงานครั้งนี้ได้รับการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับงานที่ได้รับมอบหมายเป็นอย่างดีจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน หัวหน้าแผนกก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน (วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 8) และทีมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน โครงงานนี้ทำให้มีความรู้ความสามารถในการควบคุมงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ได้เป็นอย่างดี และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบจึงทำให้สามารถปฏิบัติงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดินได้อย่างราบรื่นตลอดจนนำประสบการณ์ที่ได้รับไปปฏิบัติงานควบคุมการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดินได้

คำสำคัญ : ระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน/การทดสอบด้วยวงจรเรโซแนนซ์แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

Project Title	Construction of a 115 kV Underground Power Cable System
Credits	5 Units
By	Mr. Chanwit Srinat 6523220004
Advisor	Asst. Prof. Wipavan Narksarp
Degree	Bachelor of Engineering
Major	Electrical Engineering
Faculty	Engineering
Semester/Academic year	1/2024

Abstract

This cooperative education project presents the work experience in the construction of a 115 kV underground cable electrical system according to the Provincial Electricity Authority standards for underground cable electrical system construction. The internship was conducted at the Electrical System Construction Division 2, Provincial Electricity Authority Headquarters, from August 19, 2024, to December 6, 2024. This underground cable electrical system construction project involved building a 115 kV underground cable electrical system and conducting post-construction testing using AC resonance test. During this work experience, knowledge about assigned tasks was effectively transferred by experts in underground cable electrical system construction, including the head of the underground electrical system construction department (electrical engineer, level 8) and the underground electrical system construction team. This project significantly improved knowledge and skills in effectively supervising underground cable electrical system construction, as well as developing systematic approaches to solving problems that occurred during operations. This project greatly enhanced knowledge and skills in supervising underground cable electrical system construction work. It also developed systematic problem-solving abilities during operations. As a result, underground cable electrical system construction work could be performed smoothly. The experience gained can be applied to future supervision of underground electrical system construction projects.

Keywords : underground power cable system, AC resonance test

(Co-op Advisor)

Approved by

สารบัญ

หน้า

จดหมายนำส่งรายงาน ..... **ก**

กิตติกรรมประกาศ ..... **ข**

บทคัดย่อ ..... **ค**

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) ..... **ง**

สารบัญ ..... **จ**

สารบัญตาราง ..... **ซ**

สารบัญภาพ ..... **ฌ**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง **3**

2.1 ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3

2.2 ระบบส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line System) ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 4

2.3 ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 16

2.4 องค์ประกอบพื้นฐานระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 17

2.5 การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน 45

2.6 เครื่องเจาะ Horizontal Directional Drilling (HDD) 51

2.7 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน ส่วนงานโยธา 54
ด้วยวิธีการ Horizontal Directional Drilling (HDD)

2.8 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน ส่วนงานไฟฟ้า 60

2.9 การทดสอบระบบเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน **102**

3.1 ชื่อและที่ตั้งสถานประกอบการ 102

3.2 ลักษณะการประกอบการ 102

3.3 ลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย 102

3.4 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา 102

3.5 ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน 102

3.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 102

3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน 103

บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงาน **104**

4.1 การปฏิบัติงาน 104

4.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน 104

4.3 สรุปผลการดำเนินงาน 157

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ **176**

5.1 สรุปผลโครงงาน 176

5.2 ประโยชน์ด้านสังคม 176

5.3 ประโยชน์ด้านการปฏิบัติงาน 176

5.4 ข้อดีของการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา 176

5.5 การแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงาน 177

5.6 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน 177

บรรณานุกรม **178**

ภาคผนวก **179**

ภาคผนวก ก หนังสือยินยอมให้เผยแพร่รายงานการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา 180

ภาคผนวก ข ภาพการนิเทศงานของอาจารย์ 182

ภาคผนวก ค การสอบโครงงานสหกิจศึกษา 184
ภาคผนวก ง การตรวจสอบการลอกเลียนวรรณกรรมทางวิชาการ 187
โดยใช้โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์

ประวัติผู้จัดทำ 189

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดและความต้านทานโมเมนต์ของเสาคอนกรีตขนาดความยาว 22 เมตร 11
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของตัวนำชนิดทองแดง (Cu) 18
ตารางที่ 2.3 ขนาดของอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel) 67
ตารางที่ 2.4 พิกัดแรงดันที่ใช้ทดสอบสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC 60840 79
ตารางที่ 2.5 จำนวนการสุ่มเลือกตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินเพื่อทำการทดสอบ 92
ตารางที่ 2.6 ค่าแรงดันที่ใช้วัดสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 96
ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนและระยะเวลาการดำเนินงาน 103

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 4
รูปที่ 2.2 รูปด้านข้างและรูปหน้าตัดของสายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย 5
รูปที่ 2.3 สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยแกนเหล็ก 6
รูปที่ 2.4 ลูกถ้วยแขวนปอร์ซเลน หรือลูกถ้วยฉนวนกระเบื้องเคลือบ 8
รูปที่ 2.5 ลูกถ้วยแขวนแก้วเหนียว 8
รูปที่ 2.6 ลูกถ้วยแขวนคอมโพสิต 8
รูปที่ 2.7 ลูกถ้วยฉนวนแบบโพสท์ติดตั้งในแนวนอน 9
รูปที่ 2.8 คอนเหล็ก หรือ เหล็กรูปรางน้ำ มอก. 1227 9
รูปที่ 2.9 เสาคอนดรีตอัดแรง ขนาด 22 เมตร 10
รูปที่ 2.10 ฐานรากเสา คอร. ขนาด 22 เมตร แบบไม่มีเสาเข็มรองรับ 13
รูปที่ 2.11 ฐานรากเสา คอร. ขนาด 22 เมตร แบบมีเสาเข็มรองรับ 13
รูปที่ 2.12 ชนิดเสาเข็มตามการใช้งาน 14
รูปที่ 2.13 ขนาดความยาวเสาเข็มตามสภาพดิน 14
รูปที่ 2.14 ลวดโยง (Guy Wire) 15
รูปที่ 2.15 สมอบกคอนกรีต สำหรับฐานรากแบบไม่มีเสาเข็มรองรับ 15
รูปที่ 2.16 สมอบกคอนกรีต สำหรับฐานรากแบบมีเสาเข็มรองรับ 15
รูปที่ 2.17 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 17
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบของสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ชนิด CE 18
รูปที่ 2.19 กระบวนการรีดขึ้นรูปตัวนำชนิดทองแดง 19
รูปที่ 2.20 รูปตัวนำที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม
และแบบไม่เป็นทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม 21
รูปที่ 2.21 การทดสอบมิติความหนาของสกรีนตัวนำ 22
รูปที่ 2.22 โครงสร้างทางเคมีของ PE และ XLPE 23
รูปที่ 2.23 การคลายประจุบางส่วน (Internal - Partial Discharge) เมื่อมีช่องว่างในฉนวน 23

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.24 ลักษณะการเกิด Water Tree และ Electrical Tree ในสายเคเบิล 25
รูปที่ 2.25 องค์ประกอบของชุดต่อปลายสาย แบบ Oil Type Termination 115 kV 28
รูปที่ 2.26 ลักษณะรูปร่างของ Stress Cone 30
รูปที่ 2.27 ลักษณะของเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า (Equipotential Line) โดยไม่ติดตั้ง Stress Cone 30
รูปที่ 2.28 ลักษณะของเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า (Equipotential Line) โดยติดตั้ง Stress Cone 31
รูปที่ 2.29 Cable Splicing 33
รูปที่ 2.30 Manhole ทางตรง 34
รูปที่ 2.31 Manhole ทางโค้ง 34
รูปที่ 2.32 กับดักเสิร์จพักขนาด 96 กิโลโวลต์ (Surge Arrester 96 kV) 35
รูปที่ 2.33 ท่อม้วน HDPE สำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน 36
รูปที่ 2.34 ท่อตรง HDPE 37
รูปที่ 2.35 ท่อ Elbow 90° HDPE 37
รูปที่ 2.36 ข้อต่อท่อ (Coupling) 38
รูปที่ 2.37 End Cap 38
รูปที่ 2.38 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-2 39
รูปที่ 2.39 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-3 39
รูปที่ 2.40 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-5 40
รูปที่ 2.41 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบเสาเดี่ยวใต้ไลน์ระบบสายส่ง
ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 40
รูปที่ 2.42 Cable Riser Pole ระบบส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 41
รูปที่ 2.43 โครงเหล็กรองรับการติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 41
รูปที่ 2.44 แคล้มป์ประกับสายเคเบิลใต้ดิน 42
รูปที่ 2.45 โครงเหล็กกันท่อร้อยสาย ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ 42

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.46 แบบประกอบชุดป้องกันการโจรกรรมสายต่อลงดิน
สำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ 43
รูปที่ 2.47 ตัวอย่างการติดตั้งชุดป้องกันการโจรกรรมสายต่อลงดิน
สำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ 44
รูปที่ 2.48 เป็นการเทคอนกรีตรอบโคนเสาสำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน
ระบบ 115 กิโลโวลต 44
รูปที่ 2.49 ลักษณะการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดินแบบท่อหุ้มคอนกรีต
(Concrete Encased Duct Bank) 46
รูปที่ 2.50 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial) 47
รูปที่ 2.51 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial) 49
รูปที่ 2.52 Horizontal Directional Drilling (HDD) 50
รูปที่ 2.53 Pipe Jacking 51
รูปที่ 2.54 Drill Track 51
รูปที่ 2.55 หัวเจาะ 52
รูปที่ 2.56 อุปกรณ์รับสัญญาณ (Receiver) 52
รูปที่ 2.57 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Transmitter) 52
รูปที่ 2.58 Bits Reamer 53
รูปที่ 2.59 Packer Reamer 53
รูปที่ 2.60 ท่อเจาะ (Rod) 53
รูปที่ 2.61 Pulling Head 54
รูปที่ 2.62 เครื่องผสมสารหล่อลื่น (Mixing Unit) 54
รูปที่ 2.63 ตัวอย่างแบบ Plan Boring (Section Drawing) 55
รูปที่ 2.64 สารหล่อลื่น Bentonite 55
รูปที่ 2.65 การทำปฏิกิริยาของสารผสม Bentonite 56
รูปที่ 2.66 ขั้นตอน Guide Drills หรือ Pilot Bore 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.67 ขั้นตอน Back Reamer 57
รูปที่ 2.68 ขั้นตอน Pulling Pipe 58
รูปที่ 2.69 ตัวอย่างการประกอบชุด Cable Riser Pole 59
รูปที่ 2.70 การเทคอนกรีตเพื่อจับยึดท่อร้อยสายเคเบิลเข้ากับ Cable Riser Pole 59
รูปที่ 2.71 เครื่องป้อนสายเคเบิล 61
รูปที่ 2.72 เครื่องดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Winch) 62
รูปที่ 2.73 ขารีลใส่รีลสายเคเบิลใต้ดิน หรือ Drum Jack (ตั้งรีลสาย) 62
รูปที่ 2.74 Pulling Eye 63
รูปที่ 2.75 มิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo Meter) 63
รูปที่ 2.76 น้ำยาหล่อลื่นสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน 63
รูปที่ 2.77 เครื่องปอกชั้นฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน 64
รูปที่ 2.78 รอกรองสายเคเบิลใต้ดิน (Roller) 64
รูปที่ 2.79 สวีเวล (Swivel) 64
รูปที่ 2.80 Rod Duct (PVC) 65
รูปที่ 2.81 Flexible Cleaner 65
รูปที่ 2.82 แบบมาตรฐานอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel) 66
รูปที่ 2.83 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel) 66
รูปที่ 2.84 การทำความสะอาด และทดสอบท่อร้อยสาย 67
รูปที่ 2.85 ตัวอย่างการทำความสะอาด และทดสอบท่อร้อยสาย 68
รูปที่ 2.86 รีลสายเคเบิลใต้ดินในสภาพสมบูรณ์ 68
รูปที่ 2.87 การดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน 69
รูปที่ 2.88 รูปแสดงการปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน โดยวิธีการพันเทป 71
รูปที่ 2.89 การติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ในส่วนที่ต้องฝังใต้พื้นดิน 73
รูปที่ 2.90 ตัวอย่างการต่อลงดินข้างเดียว (Single-Point Bonding) 74

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.91 การติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ในส่วนที่ติดตั้งอยู่ที่บนโครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย 75
รูปที่ 2.92 SVL (Sheath Voltage Limiter) 76
รูปที่ 2.93 ตัวอย่างการติดตั้ง SVL และ PGCC สำหรับการต่อลงดินข้างเดียว (Single-Point Bonding) 76
รูปที่ 2.94 การติดตั้งเชื่อมต่อสาย PGCC และ SVL ที่โครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย 77
รูปที่ 2.95 แสดงการตรวจสอบความหนาของฉนวน 6 ตำแหน่ง 78
รูปที่ 2.96 รูปแบบเฉพาะของ PD เมื่อแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป 80
รูปที่ 2.97 ลักษณะการเกิด Discharge ระหว่างการทดสอบ Partial Discharge จากสาเหตุต่างๆ 81
รูปที่ 2.98 เมื่อป้อนแรงดันทดสอบจนถึงค่าแรงดันเริ่มเกิด PD 82
รูปที่ 2.99 เมื่อป้อนแรงดันทดสอบจนถึงค่าแรงดันเริ่มเกิด PD 82
รูปที่ 2.100 การแสดงขนาด PD ในลักษณะของ PRPD ในช่วงเวลาหนึ่ง 83
รูปที่ 2.101 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ฉนวนเสียหายกับขนาดของ PD ในสายเคเบิล PVC 84
รูปที่ 2.102 ตัวอย่างวงจรการวัดค่าวามต้านทานดิน 94
รูปที่ 2.103 ตำแหน่งของการตอกหลักเพิ่มเพื่อวัดความต้านทานดิน 95
รูปที่ 2.104 การวัดความต้านทานของแท่งกราวด์ด้วยวิธี 62 % 95
รูปที่ 2.105 แสดงการวัดความต้านทานฉนวนโดยใช้เมกกะโอม์หมิเตอร์(MEGGER) 96
รูปที่ 2.106 องค์ประกอบดังนี้ของระบบทดสอบแบบเรโซแนนซ์ 98
รูปที่ 2.107 ตัวอย่างระบบทดสอบแบบแบบเรโซแนนซ 98
รูปที่ 2.108 ตัวอย่างหม้อแปลง Exciter ของระบบทดสอบแบบเรโซแนนซ์ 99
รูปที่ 2.109 ตัวอย่างแผงควบคุม (Operator Panel) ที่ติดตั้งอยู่ในหน่วยควบคุม 100
รูปที่ 2.110 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ระดับแรงดัน 115กิโลโวลต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด 101

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 แบบงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 105
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม ณ สถานที่ปฏิบัติงาน ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 105
รูปที่ 4.3 การดำเนินการเจาะตามแผน 107
รูปที่ 4.4 ตัวส่งสัญญาณที่ถูกติดตั้งที่หัวนำเจาะ 107
รูปที่ 4.5 การนำเจาะ 107
รูปที่ 4.6 การตรวจสอบตำแหน่งของหัวนำเจาะ 108
รูปที่ 4.7 การใส่ Reamer เข้าไปแทนที่หัวเจาะ และให้เครื่องเจาะหมุนดึงกลับเพื่อคว้านขยายแนว 108
รูปที่ 4.8 การคว้านขยายแนวให้ใหญ่กว่าแนวกลุ่มของท่อ 109
รูปที่ 4.9 การติดตั้งท่อ Elbow 90° เข้ากับเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ 109
รูปที่ 4.10 การติดตั้งท่อ HDPE และคอนกรีตเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของกลุ่มท่อ 110
รูปที่ 4.11 โครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เสาคู่ต้นในไลน์ แบบ SD-UG-5 110
รูปที่ 4.12 การติดตั้งท่อ HDPE และคอนกรีตเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของกลุ่มท่อ 111
รูปที่ 4.13 การจัดเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสม สำกรับการวางขาตั้งล้อสายเคเบิล 111
รูปที่ 4.14 การติดตั้งล้อสายเคเบิล 112
รูปที่ 4.15 การทำความสะอาดท่อร้อยสายด้วยผ้ากระสอบหรือ Flexible Cleaner 112
รูปที่ 4.16 การทดสอบสภาพของผนังท่อร้อยสายด้านใน โดยการใช้ลูก Dummy 112
รูปที่ 4.17 การทำสัญลักษณ์ลำดับเฟส สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน (1) 113
รูปที่ 4.18 การทำสัญลักษณ์ลำดับเฟส สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน (2) 113
รูปที่ 4.19 การเบิกอุปกรณ์การติดตั้งชุดต่อปลายสาย 114
รูปที่ 4.20 การเปิดล้อสายเคเบิล 114
รูปที่ 4.21 การเตรียมหัวสายเคเบิล เพื่อประกอบเข้ากับ Pulling Head 115

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.22 การประกอบหัวสายเคเบิลเข้ากับ Pulling Head 115
รูปที่ 4.23 การติดตั้งเชือกเข้ากับเครื่องช่วยดึงสายเคเบิลและปลายสายเคเบิล
ที่ประกอบไว้กับ Pulling Head และประกอบด้วย สวีเวล (Swivel) 116
รูปที่ 4.24 การป้อนสายเคเบิลเข้าสู่ท่อ 116
รูปที่ 4.25 การวัดแรงดึงสายเคเบิลระหว่างการดึงสายเคเบิล
ด้วยมิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo meter) 117
รูปที่ 4.26 ลักษณะการดึงสายเคเบิล (1) 117
รูปที่ 4.27 ลักษณะการดึงสายเคเบิล (2) 118
รูปที่ 4.28 ลักษณะเครื่องดึงสายเคเบิล 118
รูปที่ 4.29 การปลดเชือกรับแรงดึงสูงออกจาก Swivel ที่ปลายสาย 119
รูปที่ 4.30 การตัดสายเคเบิลที่ได้ตามระยะที่กำหนด 119
รูปที่ 4.31 การพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable) (1) 120
รูปที่ 4.32 การพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable) (2) 120
รูปที่ 4.33 การจับยึดสายเคเบิลเข้ากับโครงสร้างของเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน (1) 121
รูปที่ 4.34 การจับยึดสายเคเบิลเข้ากับโครงสร้างของเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน (2) 121
รูปที่ 4.35 โครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เสาคู่ต้นในไลน์ แบบ SD-UG-5 122
รูปที่ 4.36 ดำเนินการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบ (1) 122
รูปที่ 4.37 ดำเนินการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบ (2) 123
รูปที่ 4.38 รายละเอียดการประกอบแคล้มป์ประกับสายเคเบิล เพื่อป้องกันกระแสเหนี่ยวนำ 123
รูปที่ 4.39 ดำเนินการเตรียมการอบสายเคเบิล (1) 124
รูปที่ 4.40 ดำเนินการเตรียมการอบสายเคเบิล (2) 124
รูปที่ 4.41 การเตรียมเครื่องอบสายเคเบิล 125
รูปที่ 4.42 การดัดสายเคเบิลให้อยู่ในแนวดิ่งก่อนการอบสายเคเบิล 125
รูปที่ 4.43 การพันด้วยลวดทองแดงสำหรับนำความร้อนสู่สายเคเบิล (1) 126
รูปที่ 4.44 การพันด้วยลวดทองแดงสำหรับนำความร้อนสู่สายเคเบิล (2) 126

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.45 การดามสายเคเบิลหลังจากการอบสายเคเบิลด้วยเหล็ก (1) 127
รูปที่ 4.46 การดามสายเคเบิลหลังจากการอบสายเคเบิลด้วยเหล็ก (2) 127
รูปที่ 4.47 การติดตั้งแผ่นเพลตรองรับชุดต่อปลายสายเคเบิล 128
รูปที่ 4.48 การติดตั้ง Support Insulator 128
รูปที่ 4.49 การขูดเอาผิวเปลือกของสายเคเบิลออก 129
รูปที่ 4.50 การพันด้วยเทปสปริง 129
รูปที่ 4.51 การให้ความร้อนที่เปลือกสายและใช้เชือกตัดเอาเปลือกสายออก 130
รูปที่ 4.52 ทำความสะอาดชั้นอะลูมิเนียมเคลือบโคโพลีเมอร์ 130
รูปที่ 4.53 การปอกเปลือกสายเคเบิล (1) 130
รูปที่ 4.54 การปอกเปลือกสายเคเบิล (2) 131
รูปที่ 4.55 นำเอาเทปกันน้ำออกและเทปสปริงออก จากการพันไว้ใน รูปที่ 4.50 131
รูปที่ 4.56 พันด้วย Copper Mesh และ Sealing Tap ใต้ Mark A ตามลำดับ 131
รูปที่ 4.57 พับสายทองแดง (Copper Wire Shield) ลง 180 องศา
และใช้ค้อนเคาะให้เรียบไปตามผิวของ Copper Mesh
และ Sealing Tap ใต้ Mark A 132
รูปที่ 4.58 พันด้วย Copper Mesh ทับ Copper Wire Shield ใต้ Mark A 132
รูปที่ 4.59 พันด้วย Sealing Tap ทับ Copper Mesh ใต้ Mark A 132
รูปที่ 4.60 พันทำการปลอกลบคมฉนวนและสกรีนฉนวน ก่อนการติดตั้ง Cable Gland 133
รูปที่ 4.61 สวมชุดปิดท้าย Cable Gland 133
รูปที่ 4.62 สวม Silicone Cable Sheath ให้ตรงตามระยะที่ผู้ผลิตกำหนด 133
รูปที่ 4.63 ติดตั้ง Support Insulation เข้ากับ Baseplate
และใช้จารบี (ABF-Grease) ทาลงในช่องสกรูที่ Baseplate 134
รูปที่ 4.64 ติดตั้ง Baseplate 134
รูปที่ 4.65 พันด้วย SB Tape insulation ระหว่างระยะ Copper Mesh
ใต้ Mark A จนถึงระยะทรงกรวย 50% ของ Silicone Cable Sheath 134

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.66 ประกอบชุดปิดท้าย Cable Gland เข้ากับ Baseplate
และใช้จารบี (ABF-Grease) ทาลงในช่องสกรูที่ Baseplate 135
รูปที่ 4.67 แสดง Baseplate ที่ติดตั้งชุดปิดท้าย Cable Gland เสร็จเรียบร้อย 135
รูปที่ 4.68 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (1) 135
รูปที่ 4.69 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (2) 136
รูปที่ 4.70 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (3) 136
รูปที่ 4.71 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (4) 136
รูปที่ 4.72 ปอกเนื้อฉนวนให้ได้ขนาดตามคู่มือฯ 137
รูปที่ 4.73 ปอกเนื้อฉนวนส่วนบนให้เหลือเพียงตัวนำให้ได้ระยะตามคู่มือฯ
และขัดเนื้อฉนวนส่วนที่เหลือด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย 137
รูปที่ 4.74 ขัดช่วงรอยต่อระหว่างฉนวนและสกรีนฉนวนให้ได้ความชัน (1) 137
รูปที่ 4.75 ขัดช่วงรอยต่อระหว่างฉนวนและสกรีนฉนวนให้ได้ความชัน (2) 138
รูปที่ 4.76 วัดขนาดความยาวของตัวนำและระยะความยาวการติดตั้งชุดต่อปลายสาย 138
รูปที่ 4.77 ทำเครื่องหมายระยะการติดตั้ง Stress Cone 139
รูปที่ 4.78 ทำความสะอาดเนื้อฉนวนและสกรีนฉนวน 139
รูปที่ 4.79 ชโลมสารหล่อลื่นที่เนื้อฉนวนและสกรีนฉนวน 139
รูปที่ 4.80 ติดตั้ง Stress Cone ลงบนสายเคเบิล โดยสวมกรวยซิลิโคนที่ปลายสายเคเบิล
เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ Stress Cone 140
รูปที่ 4.81 ติดตั้ง Stress Cone ลงบนสายเคเบิล ตามตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ 140
รูปที่ 4.82 พันด้วย SB Tape SD รอบผิวสกรีนฉนวนจนถึงส่วนล่างของ Stress Cone 140
รูปที่ 4.83 พันด้วย Copper Mesh ทับ SB Tape SD 141
รูปที่ 4.84 พันด้วย SB Tape insulating ทับ Copper Mesh 141
รูปที่ 4.85 รัดด้วย Cable Tie เพื่อลดช่องระหว่างในการพันเทป ลดการเกิด Partial Discharge 141
รูปที่ 4.86 ทำความสะอาดตัวนำที่ตำแหน่งปลายสาย 142
รูปที่ 4.87 ติดตั้ง Connection Bolt 142

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.88 ทำการขัน Bolt จนขาดออกจากกัน ด้วยประแจทอร์คที่แรง 80 N-m เพื่อจับยึดกับตัวนำ 142
รูปที่ 4.89 ปิดช่องว่างระหว่าง Connection Bolt กับ เนื้อฉนวน และพันด้วย Insulation Tape 143
รูปที่ 4.90 ปิดซีลด้วย Head Shrink 143
รูปที่ 4.91 ติดตั้ง O-Sealing Ring ที่ตำแหน่งบน Baseplate 143
รูปที่ 4.92 ติดตั้งฉนวนภายนอกของชุดต่อปลายสาย Termination (1) 144
รูปที่ 4.93 ติดตั้งฉนวนภายนอกของชุดต่อปลายสาย Termination (2) 144
รูปที่ 4.94 เติมฉนวนน้ำมันลงในชุดต่อปลายสาย Termination (1) 145
รูปที่ 4.95 เติมฉนวนน้ำมันลงในชุดต่อปลายสาย Termination (2) 145
รูปที่ 4.96 เติมฉนวนน้ำมันลงในชุดต่อปลายสาย Termination (3) 145
รูปที่ 4.97 ติดตั้งซีลส่วนบนของฉนวนชุดต่อปลายสาย Termination (1) 146
รูปที่ 4.98 ติดตั้งซีลส่วนบนของฉนวนชุดต่อปลายสาย Termination (2) 146
รูปที่ 4.99 ติดตั้งซีลส่วนบนที่ Connection Bolt ของชุดต่อปลายสาย Termination (1) 146
รูปที่ 4.100 ติดตั้งซีลส่วนบนที่ Connection Bolt ของชุดต่อปลายสาย Termination (2) 147
รูปที่ 4.101 ติดตั้งซีลส่วนบนที่ Connection Bolt ของชุดต่อปลายสาย Termination (3) 147
รูปที่ 4.102 ชุดต่อปลายสาย Termination เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ 148
รูปที่ 4.103 การเจาะรูเพื่อยึด Baseplate 149
รูปที่ 4.104 จับยึด Baseplate เข้ากับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน 149
รูปที่ 4.105 ติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง (1) 149
รูปที่ 4.106 ติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง (2) 150
รูปที่ 4.107 ติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง (3) 150
รูปที่ 4.108 ชุดกับดักเสิร์จแรงสูง เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ 150
รูปที่ 4.109 การติดตั้งชุดต่อสายลงดิน 151
รูปที่ 4.110 เสาต้น Riser เมื่อทำการติดตั้ง ชุดต่อปลายสาย Termination แล้วเสร็จ 151
รูปที่ 4.111 การทดสอบการต่อลงดิน 152

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.112 การทดสอบความต้านทานฉนวน ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 152
รูปที่ 4.113 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) (1) 153
รูปที่ 4.114 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) (2) 153
รูปที่ 4.115 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) (3) 153
รูปที่ 4.116 หน้าจอแสดงค่าการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) 154
รูปที่ 4.117 การทดสอบความต้านทานฉนวน หลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 154
รูปที่ 4.118 หน้าจอแสดงค่าการทดสอบความต้านทานฉนวน
หลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 154
รูปที่ 4.119 ทำการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบก่อนปฏิบัติงานเชื่อมต่อ
สายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ 155
รูปที่ 4.120 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (1) 155
รูปที่ 4.121 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (2) 156
รูปที่ 4.122 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (3) 156
รูปที่ 4.123 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (4) 156
รูปที่ 4.124 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด
(AC Withstand 115kV, 24 h. and No-Load Test) 157

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้ามีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวัน เป็นสิ่งสำคัญพื้นฐานในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม การส่งกระแสไฟฟ้าในระบบส่งเหนือศีรษะ มีปัญหาอุปสรรคมากขึ้นตามความเจริญของพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่หรือแหล่งท่องเที่ยว ได้แก่ ความเชื่อถือได้ของระบบส่งเหนือศีรษะ ลดลง เนื่องจากในบริเวณเมืองขนาดใหญ่ หรือบริเวณชุมชนที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก แต่มีพื้นที่จำกัด จึงจำเป็นต้องออกระบบส่งเหนือศีรษะ จำนวนหลายวงจรอยู่บนเสาไฟฟ้าต้นเดียวกัน ทำให้มีผลกระทบเป็นบริเวณกว้าง เมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้น สภาพพื้นที่ที่ไม่สามารถก่อสร้างระบบส่งเหนือศีรษะได้ กรณีที่มีระยะความปลอดภัยไม่เพียงพอ เช่น ต้องหลบสิ่งกีดขวางต่างๆ หรือมีเขตทางแคบเกินไป และในสภาพของพื้นที่ในบางแห่งที่ต้องการความปลอดภัย อันเนื่องมาจาก อันตรายที่เกิดจากระบบส่งเหนือศีรษะ ส่งผลกระทบต่อ คน สัตว์ หรือ ทรัพย์สิน

ปัจจุบันเริ่มมีการใช้รูปแบบการส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ในระบบไฟฟ้ามากขึ้น ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน มีความปลอดภัย ความมั่นคง และความเชื่อถือได้ ของระบบสูง แต่หากการก่อสร้างหรือการติดตั้งระบบเคเบิลใต้ดินไม่ถูกต้อง ไม่ได้มาตรฐาน ความมั่นคง และความเชื่อถือได้ของระบบก็อาจเสียไป บางครั้งอาจมีความเชื่อถือได้น้อยกว่าระบบส่งเหนือศีรษะ เนื่องจากระบบสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดปัญหาขึ้นในระบบต้องใช้เวลามากในการหาจุดบกพร่อง และต้องใช้เวลาในการซ่อมแซมมาก ดังนั้นในการก่อสร้างหรือการติดตั้งระบบส่งไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน จึงต้องได้มาตรฐาน

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้จัดทำจึงได้จัดทำโครงงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 เควี ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยมีเนื้อหาการศึกษาดังนี้

1.1.1 ความรู้เบื้องต้นในงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเหนือศีรษะ

1.1.2 การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

1.1.3 การทดสอบระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนแรงดันของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC60840 (2004)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

1.2.2 เพื่อศึกษาการทดสอบระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนแรงดันของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC60840 (2004)

1.2.3 เพื่อฝึกทักษะการวางแผน การปฏิบัติงาน และสามารถแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน

1.2.4 เพื่อฝึกความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ดำเนินการควบคุมงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.3.2 ศึกษาการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และการทดสอบระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนแรงดันของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC60840 (2004)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทดสอบระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนแรงดันของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC60840

1.4.3 สามารถวางแผน ปฏิบัติงาน และแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน ตามหลักการวิศวกรรม ตลอดจนนำประสบการณ์ที่ได้รับไปปฏิบัติงานควบคุมการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดินได้

บทที่ 2
การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบส่งไฟฟ้า (Transmission System) ในประเทศไทย มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อน โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ไปยังสถานีไฟฟ้าแรงสูงในแต่ละพื้นที่ทั่วประเทศ เพื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมก่อนจะส่งต่อไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้า การส่งไฟฟ้าในระบบส่งจะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงมากเพื่อให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานในระหว่างการเดินทางไกล ให้สามารถกระจายไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึง เชื่อมต่อระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้าในภูมิภาคต่าง ๆ เพื่อสร้างความมั่นคงในระบบส่งไฟฟ้าในประเทศไทยใช้แรงดันไฟฟ้าหลายระดับ ได้แก่ 500 กิโลโวลต์ 230 กิโลโวลต์ และ 115 กิโลโวลต์

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) เป็นการกระจายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่อยู่ใกล้เคียงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ครัวเรือน อาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม หรือสถานที่ราชการ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะใช้แรงดันไฟฟ้าระดับกลาง คือ 22 กิโลโวลต์ หรือ 33 กิโลโวลต์ สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และ 12 กิโลโวลต์ หรือ 24 กิโลโวลต์ สำหรับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ คือ 230/400 โวลต์ (กฟภ.) หรือ 240/416 โวลต์ (กฟน.) เนื่องจากต้องปรับให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้งาน แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายมีแรงดันไฟฟ้าระดับกลาง ในสายไฟฟ้าแรงสูงที่เข้าไปยังพื้นที่การจำหน่าย จากนั้นจะถูกแปลงแรงดันลงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านทั่วไป

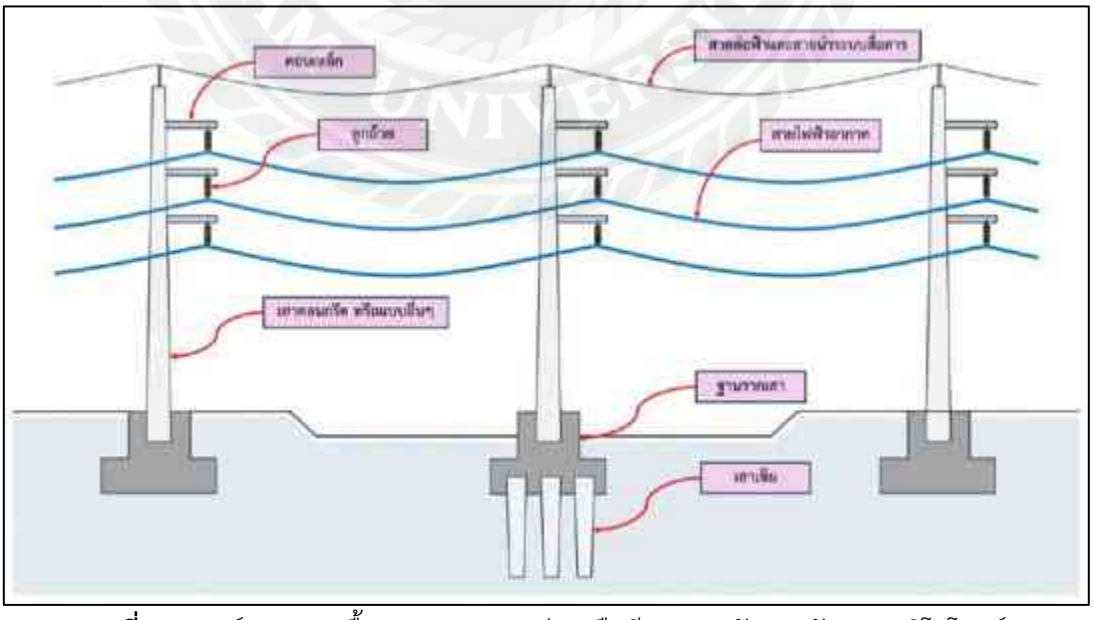
การดำเนินการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศ ส่งและจำหน่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแหล่งประเทศไทย (กฟผ.) แปลงแรงดันไฟฟ้าจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากระดับแรงดัน 13.8 กิโลโวลต์ เป็นระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์ หรือ 230 กิโลโวลต์ ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบส่ง (Transmission System) ไปยังสถานีไฟฟ้าปลายทางของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) แปลงระดับแรงดันลงเป็น 115 กิโลโวลต์ ส่งกำลังไฟฟ้าให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ กฟน. และแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นระดับไฟฟ้าแรงดันกลางและแรงดันต่ำ ให้ตรงตามความต้องการใช้งานของผู้ใช้ไฟฟ้า หรือเรียกว่า ระบบจำหน่าย (Distribution System) โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) รับผิดชอบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ 33 กิโลโวลต์ และ 230/400 โวลต์ ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วทั้งประเทศยกเว้น กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) รับผิดชอบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 12 กิโลโวลต์ และ 24 กิโลโวลต์ ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ ระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และฉนวนออกได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line System) และระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System)

2.2 ระบบส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line System) ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

ระบบส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line System) คือสายส่งติดตั้งสายแบบขึงในอากาศอยู่เหนือศีรษะ ใช้อากาศเป็นฉนวนหลัก มีการจัดเรียงสายตัวนำที่ออกแบบ เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าหรือเพื่อให้พลังงานไฟฟ้าแก่ยานพาหนะผ่านสายตัวนำเหนือศีรษะ มีจุดประสงค์หลักในการส่งพลังงานไฟฟ้าในระยะไกลอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการสูญเสียน้อยที่สุดและให้การทำงานที่ปลอดภัยภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน มีข้อดีที่อากาศเป็นฉนวนที่กลับคืนสภาพความเป็นฉนวนได้ หลังจากการเกิดดีสชาร์จหรือเบรกดาวน์ผ่านไป การใช้ระบบส่งเหนือศีรษะจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม มลภาวะ (Pollution) การเกิดโคโรนา (Corona Discharge) ที่รบกวนระบบสื่อสาร ความปลอดภัยจากสนามไฟฟ้า ระยะห่างที่ปลอดภัยทางไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

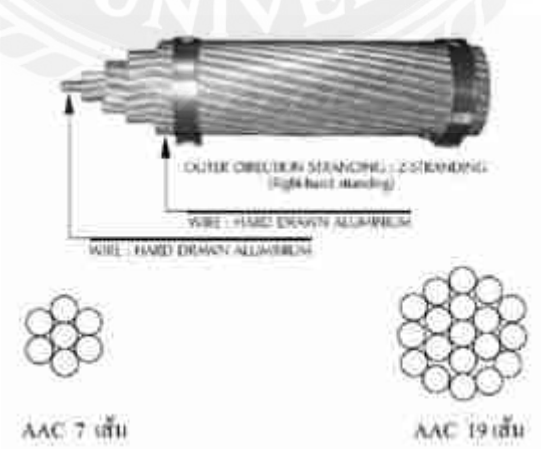
ระบบส่งเหนือศีรษะเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการส่งพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการไฟฟ้าทางรถไฟ โดยประกอบด้วยสายตัวนำ (สายไฟ) ที่แขวนอยู่เหนือพื้นดินบนโครงสร้างต่างๆ เช่น เสาและหอคอย เพื่อใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าปลายทาง ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

2.2.1 สายไฟฟ้าแบบเหนือศีรษะ มีหน้าที่เชื่อมต่อเพื่อนำกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังจุดรับไฟ การพิจารณาเลือกชนิดของวัสดุที่จะใช้ทำสายไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity) ความสามารถในการรับแรงดึง (Mechanical Strength) น้ำหนักสายและราคา เช่น เงิน เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดแต่มีราคาสูง จึงไม่นิยมนำมาทำเป็นสายไฟฟ้าส่วนทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมีความสามารถในการรับแรงดึงไฟฟ้าได้พอควร มีราคาสูง และอะลูมิเนียมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีพอสมควรมีน้ำหนักเบามีความสามารถในการรับแรงดึงได้จำกัด แต่เนื่องจากมีราคาถูกกว่าทองแดงจึงนิยมนำมาใช้เป็นสายไฟฟ้าโดยหากพาดสายที่มีช่วงระยะห่างเสามากๆ จะใส่แกนเหล็กเสริมเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้ดีขึ้นสายไฟฟ้าขนาดต่างกันคุณลักษณะก็จะแตกต่างกัน เช่น แรงดึงสูงสุดที่ทนได้ (กิโลกรัม) เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร) พื้นที่หน้าตัดรวม (ตารางมิลลิเมตร) น้ำหนักโดยประมาณ (กิโลกรัม-เมตร) และชนิดของสายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบสายส่งของ กฟภ. สายไฟฟ้าอาจเป็นแบบต้นเป็นแท่ง (Solid) หรือตีเกลียว (Stranded) สายไฟฟ้าขนาดใหญ่ จะเป็นแบบตีเกลียวเพราะถ้าเป็นสายต้นจะมีน้ำหนักมากและหักได้ง่าย โดยสายไฟฟ้าที่ กฟภ. ใช้ได้แก่

1) สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (All Aluminium Conductor : AAC) ตาม มอก. 85 สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย เป็นการนำเส้นลวดอะลูมิเนียมเจ็ดเส้นหรือมากกว่ามาตีเกลียวรวมจุดศูนย์กลางตามแนวแกนเดียวกัน โดยชั้นที่อยู่ติดกันต้องมีทิศทางสวนกัน และชั้นนอกสุดต้องมีทิศทางการตีเกลียวทางขวา โดยอัตราส่วนการตีเกลียว (Lay Ratio) ของชั้นนอกต้องไม่มากกว่าของชั้นในที่อยู่ถัดเข้าไป สายชนิดนี้รับแรงดึงได้ต่ำ ปกติจะขึงพาดสายที่ระยะห่างเสาสั้นๆ (Short Span) การใช้งานทั่วไป ประมาณไม่เกิน 50 เมตร ยกเว้นสายขนาด 95 ตารางมิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าให้พาดได้ไม่เกิน 100 เมตร หรือการใช้งานที่ได้กำหนดไว้เป็นการเฉพาะในแบบโครงสร้างนั้นๆ

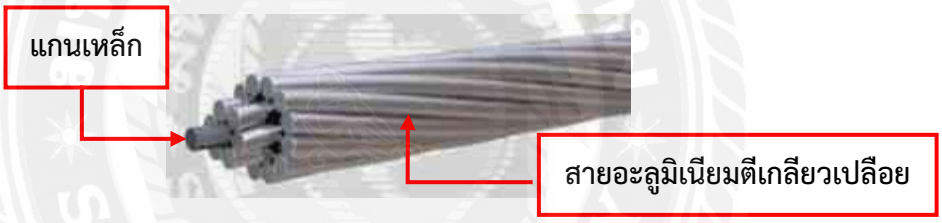


รูปที่ 2.2 รูปด้านข้างและรูปหน้าตัดของสายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2550)

2) สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยแกนเหล็ก (Aluminium Conductor, Steel Reinforced : ACSR) ตาม มอก. 86 สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยแกนเหล็กชนิดนี้ มีโครงสร้างคล้ายกับสายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย แต่เส้นลวดที่เป็นแกนกลางจะใช้ลวดเหล็กเคลือบสังกะสีแทน เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น และเช่นเดียวกับสายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยในการตีเกลียวทุกครั้ง ชั้นที่อยู่ติดกันต้องมีทิศทางสวนกัน และชั้นนอกสุดต้องมีทิศทางการตีเกลียวทางขวา รายละเอียดทางเทคนิคบางประการตาม มอก. 86 สรุปได้ดังนี้

(1) เส้นลวดต้องเรียบและปราศจากข้อบกพร่อง

(2) ตัวนำตีเกลียวยอมให้มีรอยต่อในลวดแต่ละเส้นได้ นอกเหนือจากรอยต่อที่ทำไว้ในอะลูมิเนียมเส้นหรือเส้นลวดก่อนรีดครั้งสุดท้าย รอยต่อแต่ละแห่งในตัวนำตีเกลียวต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 15 เมตร ในการต่อต้องทำโดยวิธีเชื่อมต่อด้วยไฟฟ้า (Resistance Butt-Welding) หรือเชื่อมต่อด้วยการอัดเย็น (Cold Pressure Butt-Welding) รอยต่อที่ใช้วิธีเชื่อมต่อด้วยไฟฟ้าต้องนำมาอบเหนียว (Anneal) โดยระยะอบเหนียวห่างจากรอยต่อข้างละไม่น้อยกว่า 200 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3 สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยแกนเหล็ก
ที่มา : https://www.houwire.com

2.2.2 สายล่อฟ้า หรือ สายดินเหนือศีรษะ (Overhead Ground Wire) ทำหน้าที่เป็นสายล่อฟ้า ป้องกันมิให้เกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่งโดยตรงถ้าเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่งโดยตรง ย่อมทำให้เกิดแรงดันเกินเกิดขึ้นบนสายส่ง คือ ลำฟ้าผ่าเปรียบเสมือนเป็นต้นกำเนิดของตัวจ่ายกระแส เมื่อมีกระแสฟ้าผ่า วิ่งบนสายส่งซึ่งมีค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ จะเกิดแรงดันสูงเป็นคลื่นจร (Travelling Wave) วิ่งไปบนสายส่งทั้งสองทางของจุดที่ผ่าลง แรงดันสูงคลื่นจรนี้ เมื่อวิ่งไปถึงจุดที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่ออยู่ อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์เหล่านั้นได้ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีการใช้งานลวดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีตีเกลียว (Galvanize Steel Wire Strand: St.) มอก. 404 ทั้งชนิด 7 เส้นและ 19 เส้น โดยเป็นชั้นคุณภาพ ทำจากลวดเหล็กคาร์บอนต่ำ หรือเหล็กลวดคาร์บอนสูงเคลือบสังกะสีโดยวิธีจุ่มร้อนหรือเคลือบสังกะสีโดยวิธีไฟฟ้ามีการใช้งาน 2 ลักษณะ ได้แก่

1) ใช้ทำหน้าที่เป็นสายล่อฟ้า (OHGW) โดยพาดเหนือเสาไฟฟ้ามีเหล็กฉากรับสายล่อฟ้าเป็นตัวค้ำยันรองรับลวดเหล็กกลาเคลือบสังกะสีตีเกลียวขนาด 35 ตารางมิลลิเมตร สำหรับระยะห่างเสาปกติ 80 เมตร และขนาด 50 ตารางมิลลิเมตร สำหรับระยะห่างเสายาวๆ เช่น ช่วงข้ามแม่น้ำ

2) ใช้ทำหน้าที่เป็นสายต่อลงดิน (Ground Lead) โดยต่อจากแผ่นเพลทที่โคนเสาไปเชื่อมต่อกับแท่งหลักดินที่ฝังใต้ดินข้างๆ ฐานรากเสา ลวดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีตีเกลียวที่ใช้ขนาดเดียว คือ 50 ตารางมิลลิเมตร การป้องกันฟ้าผ่าระบบสายส่งไฟฟ้าของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคออกแบบไว้ที่ระดับการป้องกันระดับ 2 มุมป้องกันที่ 30 องศา สายดินขึงอากาศจะขึงอยู่เหนือสายไฟฟ้าบนยอดเสา และมีสายต่อลงดินตามลักษณะการออกแบบทุกช่วงเสา การติดตั้งสายดินขึงอากาศจะต้องมีมุมครอบคลุมสายไฟฟ้าทุกเส้นบนเสา เนื่องจากสายดินขึงอากาศเป็นเหล็กจึงมีปัญหาเรื่องการเกิดสนิมทำให้สายดินขึงอากาศเกิดความเสียหายเป็นอันตรายต่อระบบไฟฟ้าได้ จึงต้องป้องกันด้วยการใช้สายลวดเหล็กอาบสังกะสีหรือหุ้มอะลูมิเนียม เพื่อป้องกันการเกิดสนิมดังกล่าว ขนาดของสายดินเหนือศีรษะ ที่ใช้งานในระบบสายส่งคือขนาด 35 ตารางมิลลิเมตร สำหรับโครงสร้างเสา คอร. 22 เมตร และ ขนาด 50 ตารางมิลลิเมตร สำหรับโครงสร้างเสาเหล็ก

2.2.3 ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า การส่งพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบสายส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line System) และระบบสายส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System) ซึ่งไม่ว่าระบบไฟฟ้าจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าเท่าใดก็ตามการส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟหรือโหลดปลายทางก็จะต้องเลือกระบบการส่งพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมหนึ่งระบบซึ่งหากระบบส่งพลังงานไฟฟ้าเลือกเป็นระบบสายเคเบิลใต้ดินก็ไม่จำเป็นต้องใช้ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้ารองรับสายไฟฟ้าก่อนที่จะยึดติดตั้งบนเสาไฟฟ้า แต่หากเป็นระบบสายไฟฟ้าเหนือศีรษะก็จำเป็นต้องใช้ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้ารองรับและยึดสายไฟฟ้าก่อนที่จะยึดติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ทั้งนี้ลูกถ้วยฉนวนต้องมีความเป็นฉนวนที่ดีพอสมควร อาจจะต้องดีกว่าฉนวนอากาศรอบๆ เพื่อที่เวลาเกิดแรงดันเกินในสายจะได้เกิดการดิสชาร์จที่ฉนวนอากาศแทนการวาบไฟที่ผิวลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าลูกถ้วยฉนวนสามารถใช้งานได้ตลอดไป ลูกถ้วยที่ใช้ในระบบสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ แบ่งประเภทการติดตั้งใช้งานได้เป็น 2 รูปแบบ คือ ติดตั้งใช้งานแบบแขวน และติดตั้งใช้งานแบบยึดอยู่กับที่ลักษณะแนวนอน

1) ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าติดตั้งใช้งานแบบแขวน ประกอบด้วย

(1) ลูกถ้วยแขวนชนิดปอร์ซเลน (Suspension Type Porcelain Insulator) หรือลูกถ้วยฉนวนกระเบื้องเคลือบ ตาม มอก. 354 ใช้สำหรับติดตั้งแบบห้อยแขวนในแนวดิ่ง หรือแบบเข้าปลายสายในแนวนอน มีลักษณะเด่น คือ สามารถนำมาห้อยแขวนต่อเป็นพวงได้ ติดตั้งได้ทั้งในแนวดิ่ง

และแนวระนาบ เพิ่มหรือลดจำนวนให้เหมาะสมกับแรงดันได้ สามารถถอดเปลี่ยนลูกถ้วยลูกที่ชำรุดได้ และผิวจะเคลือบเป็นมัน เพื่อให้น้ำฝนชำระสิ่งสกปรกออกได้ง่าย

รูปที่ 2.4 ลูกถ้วยแขวนปอร์ซเลน หรือลูกถ้วยฉนวนกระเบื้องเคลือบ
ที่มา : https://www.tetaintergroup.com

(2) ลูกถ้วยแขวนชนิดแก้วเหนียว (Suspension Type Toughened Glass Insulator) ตาม มอก.563 ใช้สำหรับติดตั้งแบบห้อยแขวนในแนวดิ่ง หรือแบบเข้าปลายสายในแนวนอนมีลักษณะเด่นเพิ่มเติมจากลูกถ้วยแขวนปอร์ซเลน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่อความร้อนต่ำ และไม่แตกร้าวหรือหดตัวในบริเวณที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก

รูปที่ 2.5 ลูกถ้วยแขวนแก้วเหนียว
ที่มา : https://www.johnsoninsulator.com

(3) ลูกถ้วยแขวนชนิดคอมโพสิต (115 kV Composite Suspension Insulators) มีลักษณะเด่น คือ เป็นลูกถ้วยแรงสูง ปีกทำด้วยยางโพลิเมอร์ มีน้ำหนักเบากว่าเนื้อปอร์ซเลน ระยะรั่ว (Leakage Distance) สูงกว่าลูกถ้วยแขวนปอร์ซเลน ทำให้พวงลูกถ้วยสั้นกว่า และใช้ในบริเวณที่มีมลภาวะสูง เช่น ชายทะเล หรือโรงงานอุตสาหกรรม

รูปที่ 2.6 ลูกถ้วยแขวนคอมโพสิต
ที่มา : https://powerinsulator.com

2) ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าติดตั้งใช้งานแบบยึดอยู่กับที่ลักษณะแนวนอน ชนิดปอร์ซเลน เป็นลูกถ้วยฉนวนแบบโพสท์ติดตั้งในแนวนอน (115 kV Post Type Insulator, Horizontal Mounting) มีลักษณะเด่น คือ เหมาะสำหรับการเดินสายผ่านช่องทางที่แคบ โดยด้านข้างเป็นอาคาร หรือต้นไม้ เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างจุดยึดสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้างด้านข้างให้มากขึ้น เนื่องจากลูกถ้วยมีความยาวรวมน้อย และไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องลมในการพิจารณาฉนวนอากาศที่โครงสร้างเสา

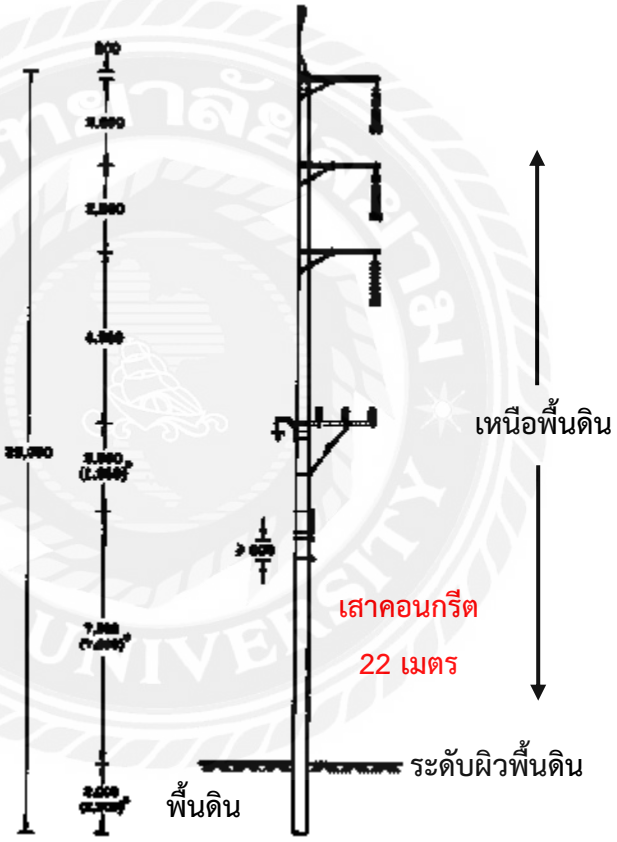
รูปที่ 2.7 ลูกถ้วยฉนวนแบบโพสท์ติดตั้งในแนวนอน

2.2.4 คอนเหล็กรับน้ำหนักสายไฟฟ้า หรือ เหล็กรูปรางน้ำ มอก. 1227 ในระบบสายส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีขนาด 100x50x5 มิลลิเมตร ยาว 2.250 เมตร มีหน้าที่รับน้ำหนักของชุดพวงลูกถ้วยและสายไฟฟ้า โครงเหล็กช่วยรับน้ำหนักสายไฟที่แขวนอยู่ระหว่างเสาส่งผลให้สายไฟอยู่ในระดับที่เหมาะสมและปลอดภัยไม่เกิดการหย่อนหรือดึงรั้งเกินกว่าที่โครงสร้างรองรับได้ ช่วยรักษาระยะและตำแหน่งของสายไฟให้สายแต่ละเส้นมีระยะห่างที่เหมาะสมและมั่นคง ป้องกันการเสียดสีหรือสัมผัสกันระหว่างสายต่างๆ

รูปที่ 2.8 คอนเหล็ก หรือ เหล็กรูปรางน้ำ มอก. 1227
ที่มา : https://thaismegp.sme.go.th

2.2.5 เสาคอนกรีตอัดแรง เสาที่ใช้ในระบบสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นเสาคอนกรีตอัดแรงขนาดความสูง 22 เมตร มีค่าโมเมนต์ใช้งาน 18,000 กิโลกรัม-เมตร ขนาดหน้าตัดหัวเสา 250x250 มิลลิเมตร ขนาดหน้าตัดโคนเสา 440x440 มิลลิเมตรเสาคอนกรีต

อัดแรง 22 เมตร (เสา คอร. 22 เมตร) รุ่นเก่า ที่หัวและปลายโคนเสาจะมีลวดเหล็กตีเกลียวขนาด 35 ตารางมิลลิเมตร โผล่ยื่นออกมาเพื่อต่อกับสายล่อฟ้า (OHGW) บนหัวเสา และเชื่อมต่อกับระบบต่อลงดินบริเวณฐานรากเสา ต่อมาภายหลังการก่อสร้างติดตั้งใช้งานไปแล้วหลายปี หากต้องการตรวจวัดค่าความต้านทานดินของเสาแต่ละต้นในภายหลังจะมีปัญหายุ่งยากมากโดยต้องไปปลดลวดเหล็กตีเกลียวที่หัวเสาที่ต่อเชื่อมกับสายล่อฟ้า (OHGW) ออกจึงจะสามารถตรวจวัดค่าความต้านทานดินได้ และในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าความต้านทานดินที่เสาต้นนั้นก็ต้องใช้วิธีการต่อลงดินนอกเสา จากปัญหาดังกล่าวประมาณปี 2545 จึงได้มีการปรับปรุงเสา คอร. 22 เมตร ให้สามารถตรวจวัดค่าความต้านทานดินได้



รูปที่ 2.9 เสาคอนดรีตอัดแรง ขนาด 22 เมตร

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2548)

รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิตเสาคอนกรีตมีดังนี้

1) เหล็กเสริม ประกอบด้วย เหล็กอัดแรงกำลังสูง (Prestressing Bar) ใช้ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง (Steel Wires for Prestressed Concrete) ชนิดคลายความเค้นแบบมีรอยย้ำ ความทนแรงดึงระบุ 1,770 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ประเภทความผ่อนคลายต่ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง มอก. 95 หรือใช้ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง (Steel Stranded Wires for Prestressed Concrete) ชนิด 7 เส้น แบบธรรมดา ความทนแรงดึงระบุ 1,720 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ประเภทความผ่อนคลายต่ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็กตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง มอก. 420 และเหล็กปลอก (Stirrup) ใช้ลวดเหล็กกลมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.80 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็ก มอก. 194 การจัดวางเหล็กเสริม (Main Bar) เหล็กเสริมจะต้องจัดวางอยู่ใต้ผิวของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร เหล็กเสริมจะต้องจัดวางห่างจากบริเวณที่เจาะรู ตามข้อที่ 4) ไม่น้อยกว่า 1.50 เซนติเมตร เหล็กเสริมต้องใช้เหล็กชนิดเดียวและมีขนาดเดียวกันหากใช้เหล็กเสริมไม่เป็นไปตามรายการคำนวณประกอบแบบหรือสัญญา ให้แจ้งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทราบเพื่อให้ความเห็นชอบก่อนทุกครั้ง และเหล็กเสริมจะต้องจัดวางระยะให้ห่างกัน (ศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง) ไม่น้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่ใช้

2) คอนกรีต มีส่วนผสมของคอนกรีตเมื่อทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Cylinder) ที่มีอายุครบ 28 วัน แรงอัดประลัย (Ultimate Compressive Strength) ต้องไม่น้อยกว่ากำหนดในการออกแบบ (Design Assumption) ของผู้ผลิต โดยกำหนดให้ค่าแรงอัดประลัยของคอนกรีตในการออกแบบต้องไม่มากกว่า 500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

3) ขนาดของเสา ความต้านทานโมเมนต์ และความแข็งแรงของเสา จะต้องมีความต้านทานโมเมนต์ใช้งาน (Working Moment) ในแนวแกน x - x ไม่น้อยกว่า 18,000 กิโลกรัม-เมตร (ที่ระดับ 2.00 เมตร ห่างจากโคนเสา) และจะต้องสามารถรับโมเมนต์สูงสุด (Ultimate Breaking Moment) ได้เป็น 2 เท่า ของความต้านทานโมเมนต์ใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ขนาดและความต้านทานโมเมนต์ ของเสาคอนกรีตขนาดความยาว 22.00 เมตร

ความยาวของเสา (เมตร)	หน้าตัดที่ยอด (เซนติเมตร^2)	หน้าตัดที่โคน (เซนติเมตร^2)	ระดับปักดิน (เมตร)	ต้านทานโมเมนต์ ที่ระดับดินไม่น้อยกว่า
22	25x25	44x44	2	18,000 กิโลกรัม-เมตร

4) การเจาะรู รูที่อยู่ใต้ระดับผิวดินเป็นรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร จำนวน 6 รู และรูที่อยู่เหนือระดับผิวดินเป็นรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร จำนวน 52 รู และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร จำนวน 44 รู รูที่เจาะจะต้องได้ฉากและตัดกับแนวศูนย์กลางของเสา และภายในรูจะต้องเรียบตลอด เพื่อความสะดวกในการร้อยสลักเกลียว

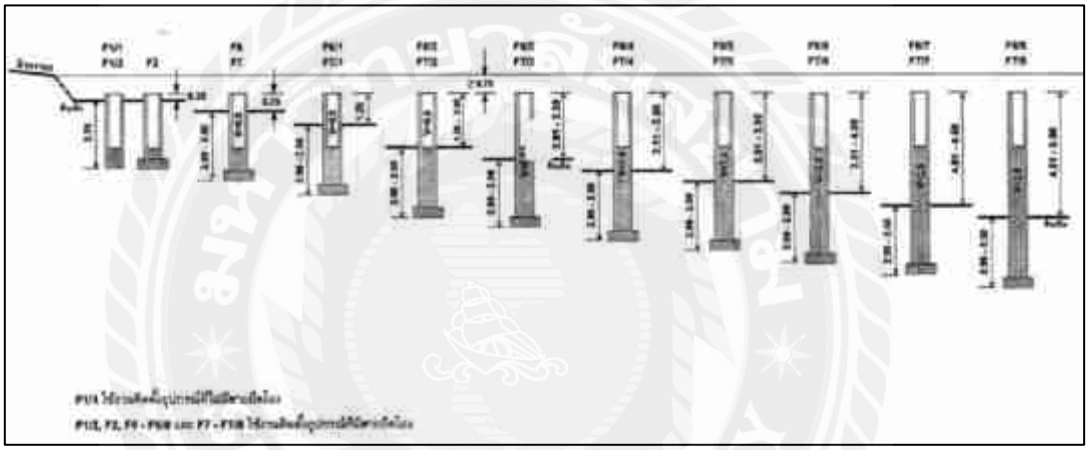
5) สายดิน เสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรงจะต้องมีสายดินด้วย คุณสมบัติของสายดิน และการจัดวางเป็นลักษณะดังนี้ เป็นเหล็กเส้นกลมขนาด 12 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต มอก.20 สายดินที่วางฝังในเสาคอนกรีตจะต้องจัดวางให้ห่างจากผิวของรูที่เจาะ และลวดเหล็กที่ใช้เป็นส่วนโครงสร้างของเสาไม่ต่ำกว่า 2.50 เซนติเมตร โดยรอบสายดินจะต้องดึงให้ตึง ไม่คดงอและต้องวางอยู่ในเนื้อคอนกรีตโดยตลอด ความยาวของสายดินเริ่มจาก กราวด์เพลทจุดที่ 1 ถึง กราวด์เพลทจุดที่ 7

6) กราวด์เพลท (Ground Plate) เป็นเหล็กแผ่นมีขนาด 45x45 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร พร้อมเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร จำนวน 1 รู และขนาด 60x60 ตารางมิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร พร้อมเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร จำนวน 1 รู กราวด์เพลท สลักเกลียวแป้นเกลียว ยูแคล้มป์สลักเดี่ยว และแหวนรองให้ชุบสังกะสีหนาไม่น้อยกว่า 50 ไมโครเมตร ให้ติดตั้งกราวด์เพลทขนาด 45x45 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร จำนวนทั้งหมด 7 จุด ดังนี้ จุดที่ 1 สำหรับต่อเชื่อมกับสายล่อฟ้า ที่ระดับความสูง 21.90 เมตร จากโคนเสา จุดที่ 2-4 สำหรับต่อเชื่อมคอนเหล็กของระบบส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ที่ระดับความสูง 21.80 เมตร 19.30 เมตร และ 16.80 เมตร จากโคนเสา จุดที่ 5 สำหรับต่อเชื่อมกับก้านลูกถ้วยของระบบ 22 กิโลโวลต์ และ 33 กิโลโวลต์ ที่ระดับความสูง 12.15 เมตร จากโคนเสา จุดที่ 6-7 สำหรับต่อเชื่อมกับระบบต่อลงดินที่ฐานรากเสาต้นนั้นๆ ที่ระดับความสูง 4.45 เมตร และ 5.45 เมตร จากโคนเสาแผ่นกราวด์เพลททั้ง 7 จุด จะเชื่อมกับเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ภายในเสา คอร. ที่ระดับความสูง 4.45 เมตร จากโคนเสา เป็นจุดสำหรับตรวจวัดค่าความต้านทานดิน โดยหากต้องการตรวจวัดค่าความต้านทานดินให้ปลดแผ่นเหล็กประกอบโคนเสาที่ต่อเชื่อมกับแผ่นกราวด์เพลทออก (แผ่นเหล็กประกอบโคนเสานี้ เป็นจุดต่อเชื่อมระหว่างสายดินภายในเสากับแท่งหลักดินที่ฐานรากเสา) และทำการวัดค่าความต้านทานดิน

2.2.6 ฐานรากเสาของระบบสายส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นระบบส่งที่มีแรงดันสูงที่สุดที่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้อยู่ในปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องมีระยะห่างที่ปลอดภัยในการก่อสร้างทางไฟฟ้ามากกว่าระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ และ 33 กิโลโวลต์ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งก็จะมีขนาดและน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น เสา คอร. จึงต้อง มีขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ส่วนสำคัญ

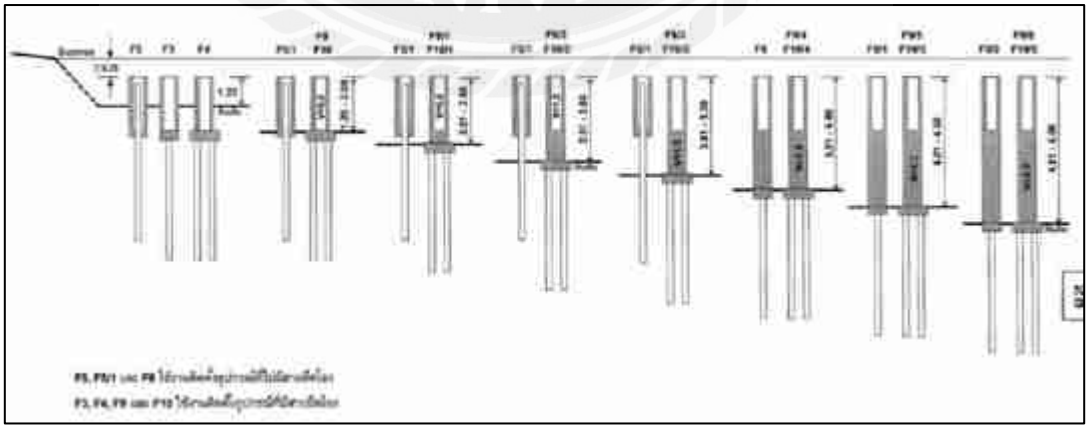
ที่รองรับน้ำหนักรวมทั้งหมดจากเสา คือ ฐานรากของเสา และสามารถรับน้ำหนักที่เกิดจาก แรงดึงของสายไฟฟ้าสายยึดโยงต่างๆที่กระทำต่อเสา และอุปกรณ์ประกอบสายทั้งหมดได้

การเลือกใช้ฐานรากของระบบสายส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ ฐานรากเสา คอร. ขนาด 22 เมตร แบบไม่มีเสาเข็มรองรับ ใช้ในกรณีที่สภาพดินเดิม ระดับต่างๆ และในกรณีพื้นที่เป็นดินแข็ง มีค่าความต้านทานแรงกดไม่น้อยกว่า 12 ตันต่อตารางเมตร และ ฐานรากเสา คอร. ขนาด 22 เมตร แบบมีเสาเข็มรองรับแบบร่าง ในกรณีที่สภาพดินเดิม ระดับต่างๆ กรณีพื้นที่เป็นดินอ่อน มีค่าความต้านทานแรงกดน้อยกว่า 12 ตันต่อตารางเมตร



รูปที่ 2.10 ฐานรากเสา คอร. ขนาด 22 เมตร แบบไม่มีเสาเข็มรองรับ

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

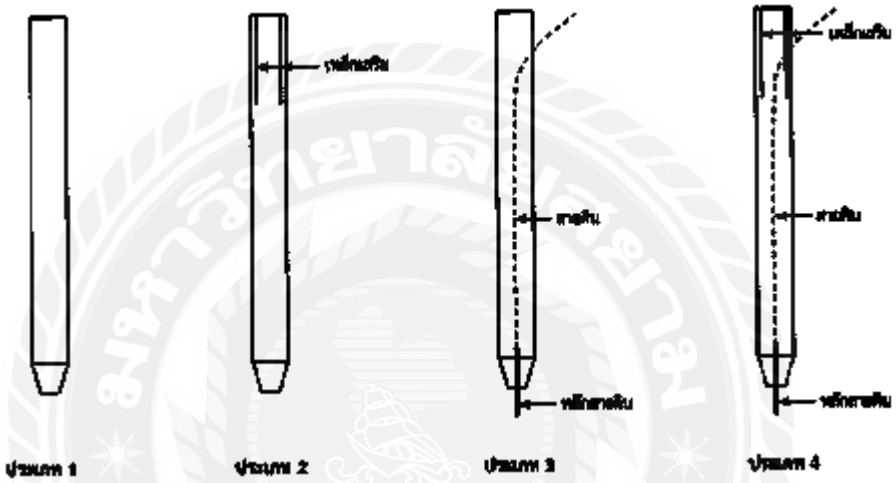


รูปที่ 2.11 ฐานรากเสา คอร. ขนาด 22 เมตร แบบมีเสาเข็มรองรับ

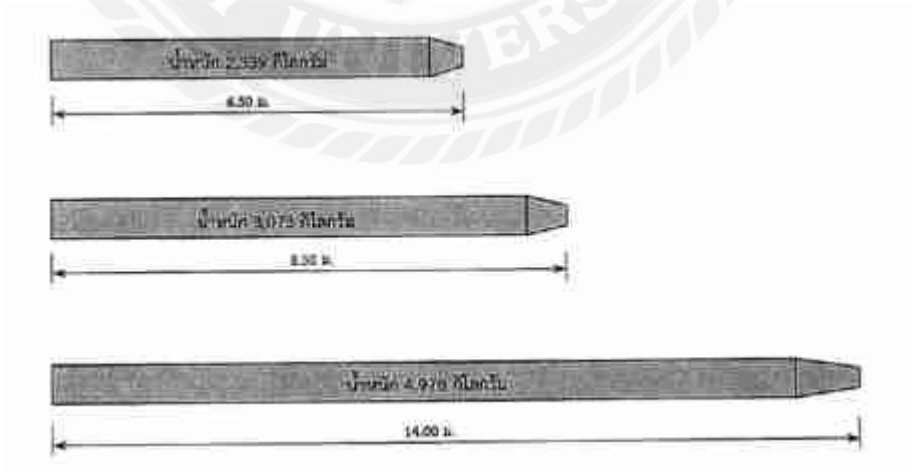
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

ฐานรากของระบบสายส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประกอบด้วย

1) เสาเข็มคอนกรีต มีหน้าที่การรองรับและถ่ายโอนน้ำหนักจากโครงสร้างของเสาส่งลงสู่ชั้นดินที่มีความแข็งแรงเพียงพอ ช่วยกระจายแรงจากโครงสร้างเสาส่ง รวมถึงน้ำหนักของสายไฟ อุปกรณ์ติดตั้งและแรงลม ลงไปสู่ชั้นดินล่างที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่า ลดการทรุดตัวของฐานรากในพื้นที่ที่มีดินอ่อนตัว เสาเข็มช่วยลดการทรุดตัวของฐานราก และรักษาความมั่นคงของโครงสร้างเสาส่งในระยะยาว



รูปที่ 2.12 ชนิดเสาเข็มตามการใช้งาน
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)



รูปที่ 2.13 ขนาดความยาวเสาเข็มตามสภาพดิน
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

2) ลวดโยง (Guy Wire) ทำจากลวดเหล็กชุบสังกะสีเพื่อป้องกันสนิม มีหน้าที่รับแรงดึงตามแนวระนาบที่เกิดจากน้ำหนักสายไฟฟ้าแรงสูงและแรงลมจากพายุฝนฟ้าคะนอง ถ่ายแรงดึงไปยังสมอบก (Anchor) ที่ฝังอยู่ในดิน ช่วยให้เสาไม่เอนหรือหักงอ หรือตำแหน่งที่แรงดึงไม่สมดุล เช่น ในตำแหน่งเสาเข้ามุมหรือเสาปลายแถว เพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบส่งเหนือศีรษะ หากเสาล้มอาจทำให้เกิดไฟฟ้าดับในวงกว้าง และอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ลวดโยงจึงเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ช่วยป้องกันความเสียหายดังกล่าวได้

รูปที่ 2.14 ลวดโยง (Guy Wire)

3) สมอบก (Anchor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับ ลวดโยง (Guy Wire) เพื่อเสริมความมั่นคงของเสาไฟฟ้า โดยเฉพาะเสาที่มีความสูงหรือรับแรงดึงในแนวระนาบมาก ทำหน้าที่เป็นจุดยึดปลายทางของลวดโยง โดยรับแรงดึงที่ลวดโยงจะถูกถ่ายเข้าสู่ดินผ่านสมอบก จึงต้องติดตั้งให้แน่นและลึกพอ เพื่อให้สามารถรับแรงได้อย่างมั่นคง

ก) A3 สมอบกคอนกรีต รับแรงดึงสูง ข) A4 สมอบกคอนกรีต รับแรงดึงสูง

รูปที่ 2.15 สมอบกคอนกรีต สำหรับฐานรากแบบไม่มีเสาเข็มรองรับ

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

ก) A1 สมอบกคอนกรีต รับแรงดึงสูง ข) A2 สมอบกคอนกรีต รับแรงดึงสูง

รูปที่ 2.16 สมอบกคอนกรีต สำหรับฐานรากแบบมีเสาเข็มรองรับ

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

2.3 ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน คือ ระบบส่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สายตัวนำหุ้มด้วยฉนวนแข็ง หรือฉนวนเหลว หรือฉนวนก๊าซอัดความดัน เพื่อให้ทนต่อแรงดันสูงได้ ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดินถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความสวยงาม และความน่าเชื่อถือในการไฟฟ้า โดยมักใช้ในเขตเมืองและพื้นที่ที่ต้องการรักษาสภาพแวดล้อม รวมถึงในบริเวณที่มีสภาพอากาศรุนแรงที่อาจกระทบต่อสายไฟฟ้าเหนือศีรษะได้ เนื่องด้วยเคเบิลมีขนาดเล็ก ทนแรงดันได้สูง สามารถติดตั้งใต้พื้นดินได้การวางสายเคเบิลอาจติดตั้งในอากาศได้ เช่น ในอุโมงค์ โดยมีชั้นรองรับอย่างมั่นคง หรือวางในราง หรือร่องที่ทำไว้เพื่อวางสายเคเบิลโดยเฉพาะ หรือฝังในดินโดยตรง หรือ วางใต้ท้องทะเล

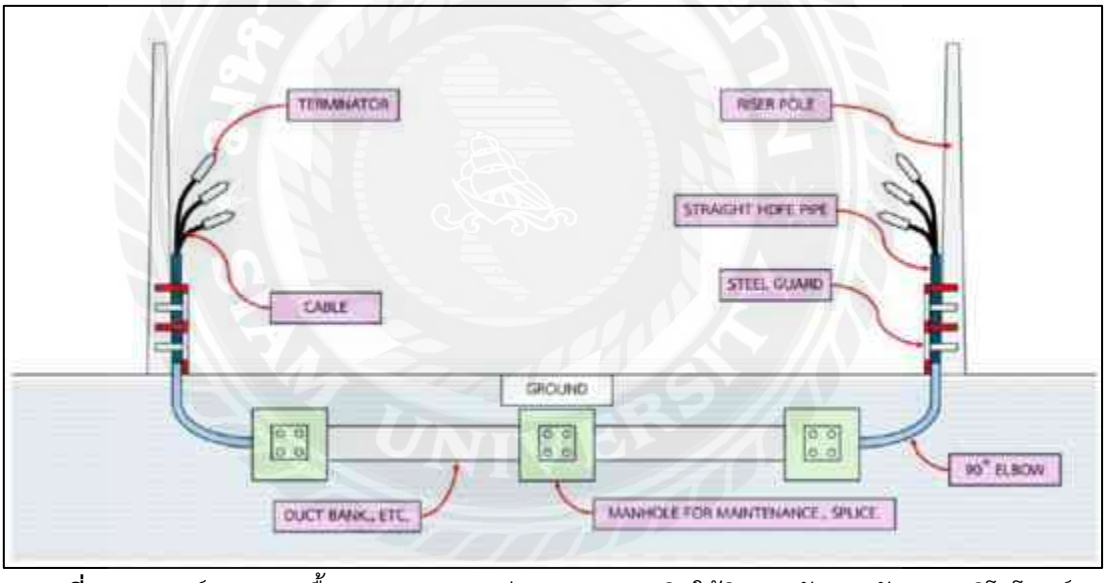
2.3.1 ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน เป็นระบบส่งพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้สายตัวนำหุ้มด้วยฉนวนแข็ง หรือฉนวนเหลว หรือฉนวนก๊าซ อัดความดัน เพื่อให้ทนต่อแรงดันได้สูงโดยความหนาของฉนวนไม่ต้องมากนัก เนื่องจากในบางกรณีมีที่ว่างไม่มากพอที่จะเดินสายส่งแบบขึงในอากาศ เช่นบริเวณในเมืองใหญ่ๆ ย่านชุมชน หรือในกรณีที่ที่ต้องการรักษาสภาพแวดล้อม ความสวยงามของภูมิทัศน์ ปัญหานี้ อาจแก้ได้โดยการใช้ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน เพราะเคเบิลมีขนาดเล็ก ทนแรงดันได้สูง สามารถติดตั้งใต้พื้นดินได้ การวางสายเคเบิลอาจติดตั้งในอากาศได้ เช่น ในอุโมงค์ โดยมีขั้นรองรับอย่างมั่นคง หรือวางในราง หรือร่องที่ทำไว้เพื่อวางสายเคเบิลโดยเฉพาะ หรือฝั่งในดินโดยตรง หรือวางใต้ท้องทะเล การต่อสายส่งแบบสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับสายส่งแบบขึงในอากาศจะต้องต่อผ่านหัวเคเบิล (Cable Termination) ข้อดีของการใช้สายเบิลใต้ดิน คือ เรียบร้อย ปลอดภัยจากฟ้าผ่าโดยตรง ให้ความ ปลอดภัยสูงแก่คน และสิ่งแวดล้อม ลักษณะโครงสร้างของสายเคเบิลใต้ดินอาจแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็น ฉนวนหลัก และสิ่งห่อหุ้มภายนอก ขึ้นอยู่กับชนิดของสายเคเบิลใต้ดิน พิกัดแรงดัน การจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบส่งเหนือศีรษะ มีอุปสรรคมากขึ้นตามความเจริญของพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่หรือแหล่งท่องเที่ยว

2.3.2 ความสำคัญและประโยชน์ของระบบเคเบิลใต้ดิน ระบบเคเบิลใต้ดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในด้านความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เช่น สถานีไฟฟ้าสั่งจ่ายไฟฟ้า โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม และสถานที่ราชการที่มีความสำคัญ ระบบเคเบิลใต้ดินมีการก่อสร้างโดยนำสายไฟฟ้าไว้ใต้ดิน ซึ่งมีผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าได้น้อยลง เช่น การเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนทำให้เสาไฟฟ้าเหนือศีรษะเสียหาย เกิดการขัดข้องของระบบไฟฟ้า มีผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบ เช่น ไฟดับ ไฟฟ้าแรงดันตก ไฟฟ้าติดและดับอยู่บ่อยครั้ง จนทำให้เกิดผลกระทบในวงกว้างและอาจจะเกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินตามมาได้ การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินจึงมีความสำคัญเพื่อลดและแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียร ภาพที่ดีและความมั่นคงมากยิ่งขึ้น รวมทั้งช่วยให้ทัศนียภาพของบริเวณที่นั้นมีทัศนียภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น

ระบบส่งแบบเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ดำเนินการเพื่อเพิ่มความมั่นคงให้ระบบไฟฟ้า เช่น การก่อสร้างระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน หน้าสถานีไฟฟ้า ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เชื่อมต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้า กับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การปรับปรุงระบบสายส่งในอากาศ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อไม่ให้ขัดขวางการก่อสร้างทางหลวงหรือระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญ การก่อสร้างระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อขยายเขตให้ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นผู้ลงทุนทั้งงานโยธาและงานไฟฟ้า และดำเนินการตามโครงการเพื่อปรับปรุงภูมิทัศน์ ตามโครงการของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.4 องค์ประกอบพื้นฐานระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

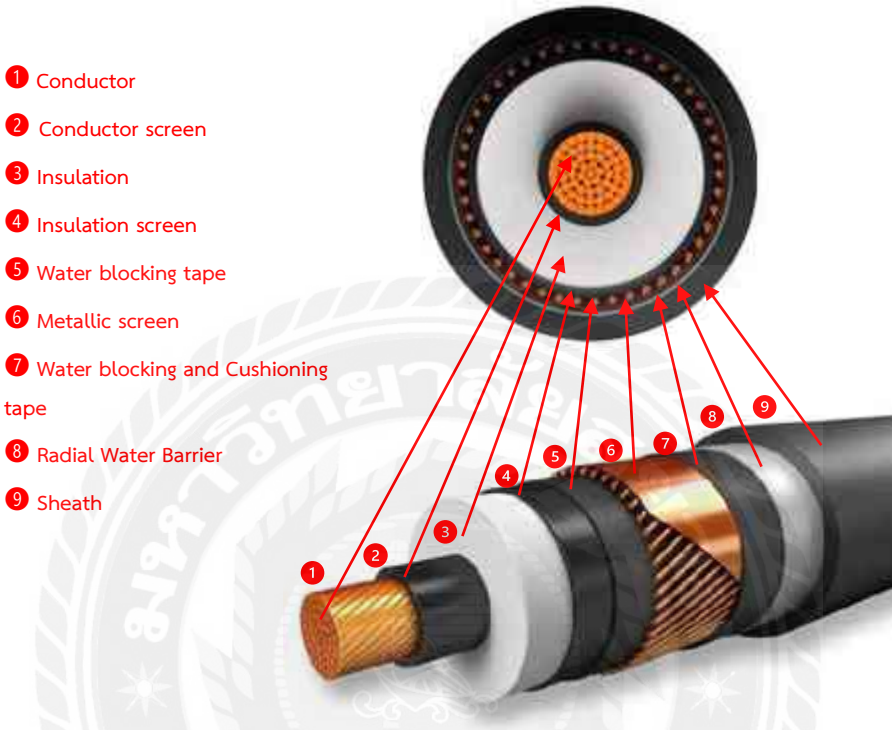
ระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มีองค์ประกอบดังนี้



รูปที่ 2.17 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

2.4.1 สายเคเบิลใต้ดิน ที่ใช้งานในการไฟฟ้าต่างๆ มีหลายชนิด ในช่วงเวลา 10 ปี ก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่ ใช้ชนิด ฉนวนกระดาษ น้ำมัน ฉนวนกระดาษและก๊าซ ฉนวน XLPE , PE หรือ EPR แต่ในช่วงหลังนี้ส่วนใหญ่นิยมใช้สายเคเบิลชนิดฉนวน XLPE มากขึ้น เดิมสายเคเบิลใต้ดินชนิดฉนวน Low pressure oil fill ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีความเชื่อถือได้สูง อย่างไรก็ตามในช่วงการติดตั้งและใช้งานจำเป็นต้องใช้พนักงานที่มีประสบการณ์สูงและมีระบบการควบคุมที่ยุ่งยากและเมื่อน้ำมันเกิดรั่ว อาจทำให้เกิดการลัดวงจรและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ฉนวน XLPE จึงถูกนำมาใช้งาน

มากขึ้นเนื่องจากการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก ปัจจุบันสายเคเบิลใต้ดินที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้งานเป็นชนิดฉนวน XLPE แรงดันสูง (High Voltage Cables) ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้



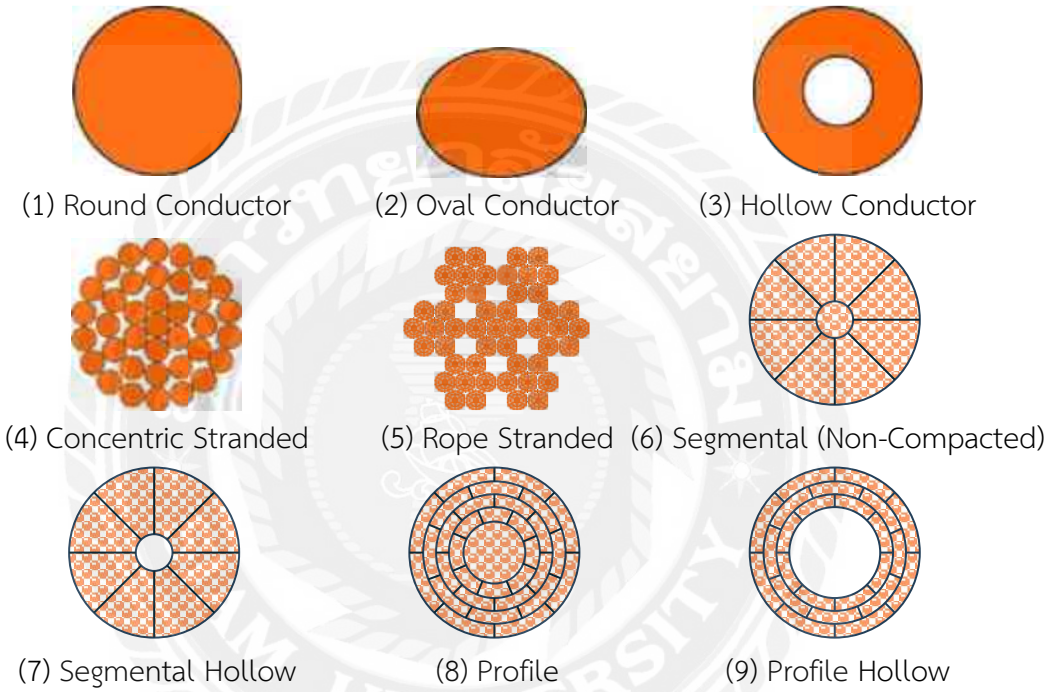
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบของสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ชนิด CE (1 Core – Crosslinked Polyethylene Power Cable)

1) ตัวนำ (Conductor) คือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำพาประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ผ่านได้อย่างอิสระ ทำหน้าที่เป็นเส้นทางในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในงานก่อสร้างระบบสายเคเบิลใต้ดิน ตัวนำไฟฟ้าทำจากทองแดง (Cu) มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของตัวนำชนิดทองแดง (Cu)

คุณสมบัติ	Cu
ความนำไฟฟ้า (%IACS)	100
ความต้านทางไฟฟ้าที่ 20 °C [Ωm]	1.724E-08
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน [1/°C]	1.70E-05
จุดหลอมเหลว [°C]	1083
ความนำความร้อน [W/cm°C]	3.8
ความหนาแน่นที่ 20°C [g/cm^3]	8.89

กระบวนการผลิตตัวนำชนิดทองแดง โดยการนำแผ่นทองแดงบริสุทธิ 99.99% ไปหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส แล้วขึ้นรูปเป็นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปรีดเป็นขั้นๆ ให้ลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง จนได้ขนาดตามที่ต้องการ แล้วนำลวดที่ผ่านขึ้นตอนการรีดเป็นเส้นดไปตีเกลียวเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่หน้าตัดให้เป็นตัวนำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง การตีเกลียวอาจออกแบบและสร้างให้มีหลายชั้นตามลักษณะการใช้งานและความสามารถในการนำกระแส ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.19 กระบวนการรีดขึ้นรูปตัวนำชนิดทองแดง

(1) Round Conductor เป็นลักษณะตัวนำไฟฟ้าที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมสมบูรณ์ ทำให้กระแสไฟฟ้ากระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัดมีประสิทธิภาพในการนำกระแสไฟฟ้าได้ดี

(2) Oval Conductor เป็นลักษณะตัวนำไฟฟ้าที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงรี ซึ่งแตกต่างจากตัวนำกลมทั่วไปที่มีหน้าตัดเป็นวงกลม รูปทรงที่ไม่สมมาตรนี้ส่งผลให้ตัวนำวงรีมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกายภาพที่แตกต่างออกไปจากตัวนำกลม

(3) Hollow Conductor เป็นลักษณะตัวนำไฟฟ้าที่มีช่องว่างภายใน ทำให้มีน้ำหนักเบากว่าตัวนำตันที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยทั่วไปจะผลิตจากวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เช่น ทองแดง หรืออลูมิเนียม รูปทรงกลวงนี้ทำให้ตัวนำมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างจากตัวนำตันเต็มหน้าตัด

(4) Concentric Stranded เป็นลักษณะตัวนำแบบเส้นลวดบิดเกลียว ประกอบขึ้นจากเส้นลวดเส้นเล็กๆ หลายเส้นบิดเกลียวเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มๆ และนำกลุ่มเส้นลวดเหล่านั้นมาบิดเกลียวซ้อนกันอีกชั้นหนึ่งหรือมากกว่า ทำให้ได้ตัวนำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น และมีความยืดหยุ่นสูง ในการนำมันบิดเกลียวนั้น จะบิดในลักษณะบิดด้วยทิศทางตรงข้ามกัน เพื่อลดการเกิดสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำในตัวนำ ทำให้ลดการสูญเสียพลังงาน และลดปรากฏการณ์ที่ผิว (Skin Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่กระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มไหลกระจุกตัวอยู่ที่ผิวของตัวนำ ทำให้ประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

(5) Rope Stranded เป็นลักษณะตัวนำแบบเส้นลวดบิดเกลียว ประกอบขึ้นจากเส้นลวดเส้นเล็กๆ หลายเส้นบิดเกลียวซ้อนกันเป็นชั้นๆ ทำให้ได้รูปร่างคล้ายเชือก มีความยืดหยุ่นสูง การบิดเกลียวช่วยกระจายแรงดึงและแรงอัด ทำให้ลดโอกาสที่เส้นลวดจะขาดเมื่อถูกดัดงอ ในการนำมันบิดเกลียวนั้น จะบิดในลักษณะบิดด้วยทิศทางตรงข้ามกัน เพื่อลดการเกิดสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำในตัวนำ ทำให้ลดการสูญเสียพลังงาน และลดปรากฏการณ์ที่ผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่กระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มไหลกระจุกตัวอยู่ที่ผิวของตัวนำ ทำให้ประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

(6) Segmental (Non-Compacted) เป็นลักษณะตัวนำแบบที่แบ่งออกเป็นเซ็กเมนต์ย่อยหลายส่วน โดยมีฉนวนกั้นระหว่างเซ็กเมนต์เพื่อช่วยควบคุมสนามไฟฟ้าและกระแสที่ไหลผ่าน ลักษณะตัวนำนี้มีช่องว่างระหว่างเซ็กเมนต์ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานปรากฏการณ์ที่ผิว (Skin Effect) และปรากฏการณ์ที่กระแสไฟฟ้าในตัวนำถูกกระทบจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำใกล้ (Proximity Effect) เคียงซึ่งช่วยให้กระแสไฟฟ้ากระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ลดการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน ส่งผลให้ตัวนำแบบ Segmental มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบสายไฟฟ้าแรงดันสูงที่ต้องการความเสถียรและประสิทธิภาพ

(7) Segmental Hollow เป็นลักษณะตัวนำแบบที่แบ่งออกเป็นเซ็กเมนต์ย่อยหลายส่วนเช่นเดียวกันกับตัวนำแบบ Segmental (Non-Compacted) โดยตัวนำแบบ Segmental Hollow ออกแบบให้มีช่องว่างภายในเพื่อลดน้ำหนักของตัวนำ

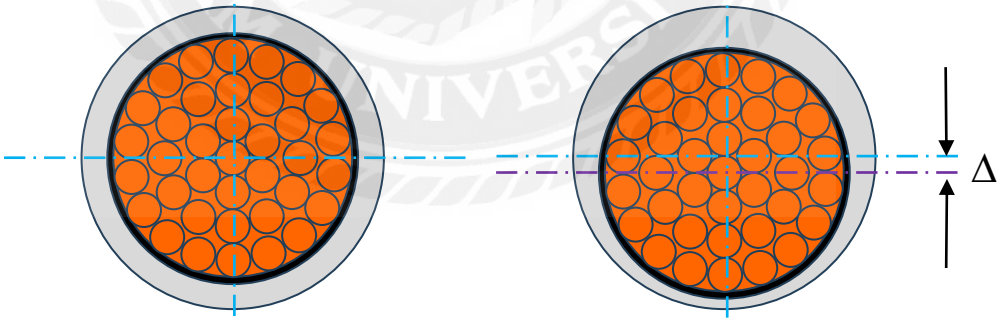
(8) Profile เป็นลักษณะตัวนำแบบรูปทรงหน้าตัดเฉพาะ เช่น รูปวงรีหรือรูปทรงอื่น เพื่อเพิ่มพื้นที่หน้าตัดและลดความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับโดยเน้นการกระจายกระแสไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานปรากฏการณ์ที่ผิว (Skin Effect) และปรากฏการณ์ที่กระแสไฟฟ้าในตัวนำถูกกระทบจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำใกล้ (Proximity Effect) ตัวนำชนิดนี้เหมาะสำหรับงานระบบไฟฟ้าแรงดันสูง หม้อแปลงไฟฟ้า และสายส่งไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ต้องการความเสถียรและลดการสูญเสียพลังงานในระยะยาว

(9) Profile Hollow เป็นลักษณะตัวนำแบบรูปทรงหน้าตัดเฉพาะ เช่นเดียวกันกับตัวนำแบบ Profile โดยตัวนำแบบ Profile Hollow ออกแบบให้มีช่องว่างภายในเพื่อลดน้ำหนักของตัวนำ

2) สกรีนตัวนำ (Conductor Screen) มักทำจากวัสดุกึ่งตัวนำ (Semi-Conductive Material) เช่น สารประกอบพอลิเมอร์ผสมคาร์บอนแบล็ค ซึ่งช่วยในการควบคุมสนามไฟฟ้าและลดการสะสมของแรงดันไฟฟ้าในจุดที่ไม่สม่ำเสมอ วัสดุนี้ถูกอัดแน่นรอบตัวนำแบบ Extruded Semi-Conductive Compound เพื่อให้ยึดติดแน่นกับตัวนำอย่างสมบูรณ์มีหน้าที่ทำให้ผิวสัมผัสของตัวนำกับฉนวนให้เรียบไม่ให้มีช่องว่างระหว่างตัวนำกับฉนวน และทำให้ผิวนอกของทรงกระบอกในของทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม (Coaxial Cylinder) ร่วมกันทั้งตลอดความยาวของสาย

เมื่อมีช่องว่างระหว่างตัวนำและฉนวนทำให้ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงตกคร่อมซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเฉพาะจุด (Partial Discharge) ทำให้สายเคเบิลนี้มีอายุการใช้งานน้อยลง และอาจการความบกพร่อง (Failure) ของระบบไฟฟ้า ไปสู่การเกิดความเสียหาย (Breakdown) ต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

สกรีนตัวนำ (Conductor Screen) ทำหน้าที่กระจายสนามไฟฟ้า (Electric Field) ให้สม่ำเสมอรอบตัวนำ ลดการสะสมของแรงดันในจุดที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอากาศหรือก๊าซที่ล้อมรอบตัวนำไฟฟ้า (Corona Discharge) และเกิดการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเฉพาะจุด (Partial Discharge) ลดแรงเค้นไฟฟ้าระหว่างตัวนำและฉนวน โดยทำให้สนามไฟฟ้าไหลผ่านชั้นฉนวนอย่างราบรื่นและสม่ำเสมอ

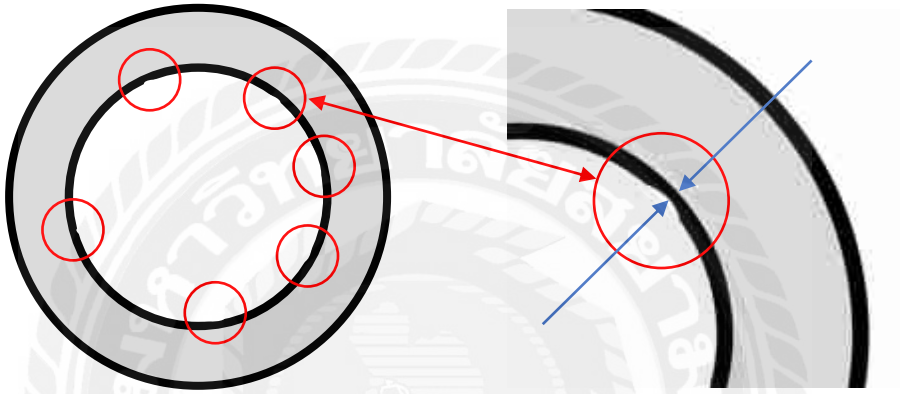


ก) Coaxial Cylinder ข) Non-Coaxial Cylinder

รูปที่ 2.20 รูปตัวนำที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม และแบบไม่เป็นทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม

สำหรับสายเคเบิลขนาด 800 ตารางมิลลิเมตร ชนิด 115 kV CE มีความหนาของสกรีนตัวนำ (Conductor Screen) อยู่ที่ 1.5 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน IEC 60840 หรือ TIS 2202-2547

การทดสอบความหนาของสกรีนตัวนำจำถูกทดสอบด้วยการตัดชิ้นส่วนของสายในลักษณะตัดตามหน้าตัดมีความหนากันตลอดชิ้นส่วนที่ถูกตัด และวัดความหน้าด้วยกล้องฉายภาพขยาย (Profile Projector หรือ Optical Comparator) ตรวจวัดขนาดส่วนที่บางที่สุดระหว่างขอบด้านฝั่งติดกับตัวนำและขอบนอกฝั่งติดกับฉนวน และนำค่าที่วัดได้มากกว่า 1 จุด มาหาค่าเฉลี่ยของความหนาของสกรีนตัวนำ

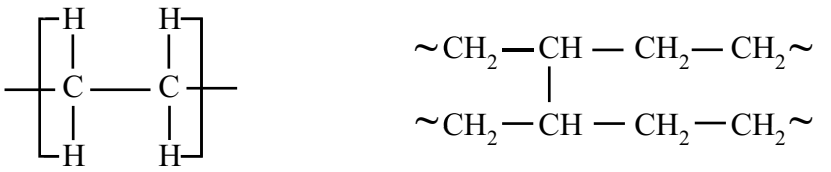


ก) ชิ้นส่วนของสายที่ถูกตัดตามหน้าตัด ข) ตรวจวัดขนาดส่วนที่บางที่สุด

รูปที่ 2.21 การทดสอบมิติความหนาของสกรีนตัวนำ

3) ฉนวน (Insulation) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของสายเคเบิลใต้ดินมีหน้าที่กันไม่ให้กระแสไฟฟ้าเกิดการรั่วไหลหรือลัดวงจรจนเกิดการสูญเสียต่อระบบไฟฟ้า และอาจเกิดอันตรายต่อบุคคลที่ไปสัมผัสได้ คุณภาพของสายเคเบิลจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำฉนวนซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น Polyvinyl Chloride (PVC) หรือ Polyethylene (PE) ซึ่งนิยมใช้ในระบบแรงต่ำ Oil Impregnated Paper, Crosslinked Polyethylene (XLPE) และ Ethylene Propylene Rubber (EPR) ซึ่งนิยมใช้ในระบบแรงสูง

PE (Polyethylene) ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน C และไฮโดรเจน H เรียงต่อกัน เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก โดยถ้าเรานำ PE ไปผ่านกระบวนการก็จะได้โครงสร้าง PE ที่เป็นร่างแห (Cross-Linking) ที่เรียกว่า XLPE ดังรูปที่ 2.19

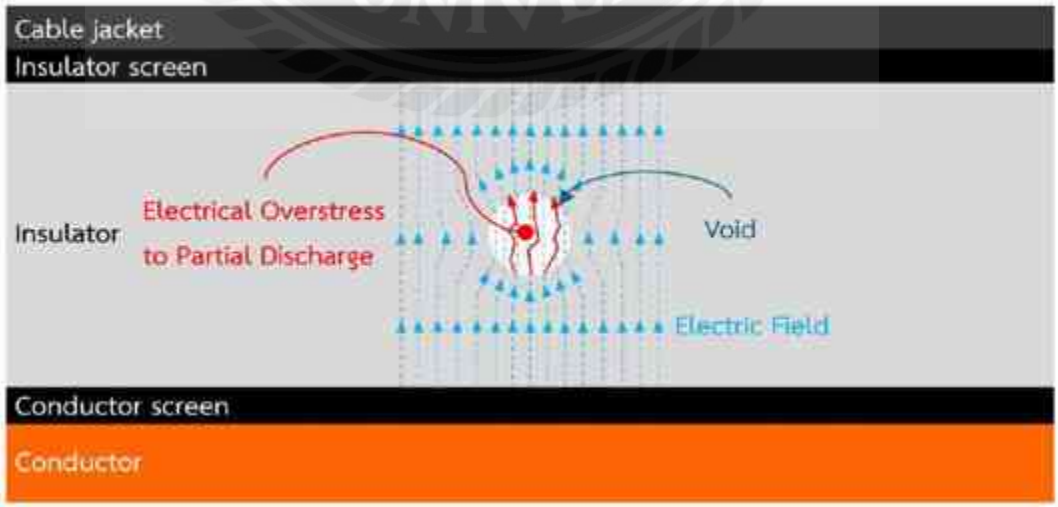


ก) PE (Polyethylene) ข) XLPE (Crosslinked Polyethylene)

รูปที่ 2.22 โครงสร้างทางเคมีของ PE และ XLPE

กระบวนการผลิตฉนวนชนิด XLPE โดยการฉีดเม็ดพลาสติก PE ผสมสาร Peroxide (Dicumyl Peroxide) ที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส คืออุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เปอร์ออกไซด์แตกตัว จากนั้นอัดไปตามท่อที่ยาวประมาณ 125 เมตร โดยท่อดังกล่าวอาจวางในแนวเอียงซึ่งเป็น การบ่มความร้อนแบบคาเทอนารี (Continuous Catenary Vulcanization, CCV) หรือการบ่มความร้อนแนวตั้ง (Vertical Catenary Vulcanization, VCV) จากการผลิตฉนวนชนิด XLPE ด้วยกระบวนการบ่มความร้อน ทำให้ฉนวนชนิด XLPE มีคุณสมบัติเป็นพลาสติกแบบเทอร์โมเซ็ตที่แข็งแรง ยืดหยุ่น (Elastic) ไม่เหนียวหนืด (Non-Tacky) และ ไม่ละลาย (Insoluble)

กระบวนการหุ้มตัวนำด้วยฉนวน XLPE หุ้มสกรีนตัวนำและสกรีนฉนวนไปพร้อมกันด้วยหัวฉีดพิเศษ (Extruder) เพื่อให้สกรีนและฉนวนแนบกันสนิทโดยไม่มีช่องว่างขณะทำการหุ้มฉนวนช่วยลดการเกิดการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเฉพาะจุด (Partial Discharge) ขณะเดียวกันการหุ้มฉนวนด้วยวิธีนี้ต้องจะต้องควบคุมปริมาณของสิ่งแปลกปลอมอื่นๆหรือฝุ่นผงจากเสื้อผ้าหรือจากเศษวัสดุอื่นๆ เข้าสู่กระบวกการหุ้มฉนวนหากมีช่องว่างระหว่างตัวนำ สกรีนตัวนำ ฉนวนและสกรีนฉนวน



รูปที่ 2.23 การคลายประจุบางส่วน (Internal - Partial Discharge) เมื่อมีช่องว่างในฉนวน

กระบวนการทำให้เย็น (Cooling Zone) หลังการอบใน CV Tube สายเคเบิลจะถูกทำให้เย็นลงในส่วน Cooling Zone ด้วยการใช้อากาศหรือน้ำ เพื่อรักษาคุณภาพของฉนวนความเย็นต้องควบคุมให้สม่ำเสมอเพื่อลดการบิดเบี้ยวของสายเคเบิล

สำหรับสายเคเบิลขนาด 800 ตารางมิลลิเมตร ชนิด 115 kV CE หุ้มด้วยฉนวน XLPE (Crosslinked Polyethylene) มีความหนาของฉนวนอยู่ที่ 16.0 มม. ถูกกำหนดตามมาตรฐาน TIS 2202 และ IEC 60840 เพื่อรองรับแรงดันไฟฟ้าและลดความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนในระยะยาว ความหนานี้ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในระบบไฟฟ้าแรงดันสูงและมั่นใจได้ว่าฉนวนสามารถใช้งานได้ภายใต้สภาวะการทำงานปกติและฉุกเฉิน

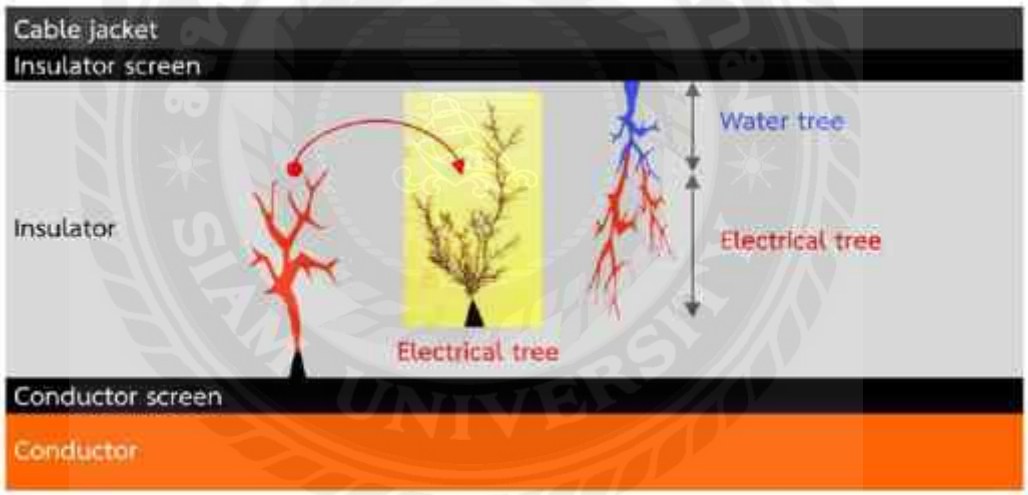
4) สกรีนฉนวน (Insulation Screen) ผลิตจากวัสดุกึ่งตัวนำ (Semi-Conductive Material) เช่น Polyethylene (PE) ผสมสารเติมแต่งกึ่งตัวนำ (Conductive Fillers) ถูกผลิตในกระบวนการ Triple Extrusion พร้อมกับชั้น สกรีนตัวนำ (Conductor Screen) และฉนวน XLPE เพื่อให้ชั้นต่าง ๆ เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์แบบ ลดโอกาสการเกิดช่องว่าง (Void) หรือฟองอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของฉนวน เพื่อให้มีความนำไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม วัสดุนี้ถูกออกแบบมาให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างตัวนำ (Conductor) และฉนวน (Insulation) โดยไม่ทำให้เกิดการรั่วไหลของไฟฟ้าหรือเกิด Partial Discharge

สกรีนฉนวนจะถูกหุ้มรอบชั้นฉนวน XLPE (Cross-Linked Polyethylene) และอยู่ระหว่างชั้นฉนวนกับ Metallic Screen (Grounding Screen) ความหนาของชั้นนี้ถูกกำหนดตามมาตรฐาน เช่น TIS 2202 และ IEC 60840 โดยสายเคเบิลขนาด 800 ตารางมิลลิเมตร ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มักมีความหนาเฉลี่ยของ สกรีนฉนวน (Insulation Screen) มีความหนาเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ สกรีนตัวนำ (Conductor Screen) คือลดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณผิวสัมผัสของ ฉนวน (Insulation) และ สกรีนโลหะ (Metallic Screen) วัสดุที่ใช้ทำ สกรีนฉนวน (Insulation Screen) จะเหมือนกับ สกรีนตัวนำ (Conductor Screen) หรือเรียกว่า ชีลด์ฉนวน (Insulation Shield)

สกรีนฉนวน (Insulation Screen) ช่วยให้สนามไฟฟ้าภายในสายเคเบิลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ลดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าที่ขอบเขตระหว่างชั้นฉนวนและ Metallic Screen ป้องกันการสะสมประจุไฟฟ้า (Charge Accumulation) ระหว่างชั้นฉนวนกับ Metallic Screen ป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันเกินหรือการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเฉพาะจุด และช่วยให้การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านชั้น Metallic Screen มีความเสถียร ลดความเสี่ยงที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าสูงในระบบลดความเสี่ยงจาก Partial Discharge ที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ในฉนวน เช่น ช่องว่างหรือ

ฟองอากาศ ที่ชั้นสกรีนฉนวน (Insulation Screen) ที่ถูกผลิตในกระบวนการ Triple Extrusion จะช่วยลดปัญหานี้ได้ เนื่องจากชั้นฉนวนและชั้นกึ่งตัวนำสามารถยึดติดกันได้แน่นหนา ทำให้สายเคเบิลสามารถทำงานในระบบแรงดันสูงได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ชั้นสกรีนฉนวนที่ผลิตด้วยเทคโนโลยี Triple Extrusion ยังช่วยเพิ่มความเสถียรของชั้นฉนวนและเพิ่มอายุการใช้งานของสายเคเบิลในระยะยาว

5) เทปกันน้ำ (Water Blocking Tape) ทำจากวัสดุโพลีเมอร์หรือเส้นใยสังเคราะห์ที่สามารถดูดซับน้ำ (Super Absorbent Polymer - SAP) จะขยายตัวเมื่อสัมผัสน้ำ เช่น เส้นใยโพลีเอสเตอร์ (Polyester fibers) ใช้เคลือบหรือผสมในเทปกันน้ำเพื่อให้สามารถดูดซับน้ำได้รวดเร็ว และป้องกันการแพร่กระจายของน้ำภายในสายเคเบิล มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำไม่ทำหน้าที่ให้น้ำซึมผ่าน (Non-Woven material) หากเกิดความเสียหายที่เปลือกหุ้มด้านนอก (Sheath) ลดความเสี่ยงการเกิดรอยต้นไม้จากน้ำ (Water Tree) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในสายเคเบิลแรงดันสูงที่ใช้ฉนวน XLPE



รูปที่ 2.24 ลักษณะการเกิด Water Tree และ Electrical Tree ในสายเคเบิล

เทปกันน้ำ (Water Blocking Tape) คุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถปรับตัวเข้ากับรูปทรงของสายเคเบิลและช่วยป้องกันน้ำในพื้นที่แคบได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ หรือชั้นเทปที่พันรอบสายตัวนำ (Conductor) หรืออยู่ระหว่างชั้นฉนวนและชั้นสกรีนโลหะ (Metallic Screen) มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำหรือความชื้นซึมผ่านเข้าสู่ชั้นในของสายเคเบิล และชั้นสกรีนโลหะ (Metallic Screen) ที่ทำจากทองแดงหรืออะลูมิเนียมอาจถูกกัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับน้ำ

6) สกรีนโลหะ (Metallic Screen) หรือ ชีลด์โหละ (Metallic Shield) ผลิตจากทองแดงขึ้นรูปโดยการนำมารีดเป็นเส้น จากนั้นนำลวดทองแดงมาตีเกลียวพันรอบชั้นฉนวนและชั้นสกรีนฉนวน และพันด้วยเทปทองแดง (Copper Contact tape) แบบห่างๆ เพื่อรัดเส้นลวดทองแดง ให้แนบกับสกรีนฉนวน จำนวนสายทองแดงและพื้นที่หน้าตัดของ (Metallic Screen) ถูกกำหนดให้เหมาะสมกับกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่อาจไหลผ่าน เช่น ในกรณีของกระแสลัดวงจรการควบคุมสนามไฟฟ้าให้กระจายอย่างสม่ำเสมอ

สกรีนโลหะ (Metallic Screen) ทำหน้าที่เป็นระบบกราวด์ สำหรับสายไฟฟ้าแรงสูงและเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับในกรณีที่เกิดการลัดวงจร ผลิตโดยใช้ทองแดงเป็นวัสดุ เนื่องจากมีความนำไฟฟ้าสูงและทนทานต่อการกัดกร่อน ป้องกันความเครียดทางไฟฟ้า (Electric Stress) ในฉนวน นำกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ผ่านฉนวน ทำให้ระบบไฟฟ้าทำงานได้อย่างปลอดภัย ลดความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าดูด และให้กระแสไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กกลับไปยังระบบกราวด์ (Ground System) ช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของฉนวน หรือความร้อนที่สะสมในสายเคเบิล โดยช่วยถ่ายเทความร้อนไปยังดิน

7) เทปกันน้ำและเทปกันกระแทก (Water Blocking and Cushioning Tape) เป็นวัสดุที่ถูกออกแบบมาให้ตอบสนองความต้องการด้านการป้องกันน้ำและความชื้น ผลิตจากเส้นใยโพลีเมอร์ที่มีความแข็งแรงและทนทาน เช่น เส้นใยโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ผสมกับ Super Absorbent Polymer (SAP) ซึ่งสามารถดูดซับน้ำและขยายตัวได้เมื่อสัมผัสน้ำ

เทปกันน้ำ ทำหน้าที่ป้องกันการแพร่กระจายของน้ำและความชื้น เมื่อมีน้ำซึมเข้าสู่ภายในสายเคเบิล จะดูดซับน้ำที่ซึมเข้ามาผ่านส่วนต่าง ๆ ของสายเคเบิล เช่น บริเวณรอยต่อหรือรอยรั่ว และขยายตัวเพื่ออุดช่องว่างเหล่านั้น ป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าสู่ชั้นภายใน เช่น ฉนวน (Insulation) และตัวนำไฟฟ้า (Conductor) และ เทปกันกระแทก (Cushioning Tape) ลดความเสียหายจากแรงกระแทกและแรงดัน ทำหน้าที่เป็นชั้นรองรับแรงกระแทกหรือแรงดันจากภายนอกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง การติดตั้ง หรือการใช้งาน ลดความเสี่ยงของการเกิดความเสียหายต่อชั้นสกรีนโลหะ (Metallic Screen) และส่วนอื่นๆ ของสายเคเบิล

8) ชั้นป้องกันน้ำแบบแนวรัศมี (Radial Water Barrier) ผลิตจากอะลูมิเนียมนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นอะลูมิเนียมที่ขนาดบาง แต่มีความทนทานสูง สามารถ เคลือบด้วยโคโพลิเมอร์ (Copolymer Coating) ทั้งสองด้าน เพิ่มคุณสมบัติการยึดติดระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมกับวัสดุที่อยู่รอบข้าง เช่น ฉนวนหรือชั้นหุ้มด้านนอกพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม และป้องกันการซึมผ่านของน้ำและความชื้นได้ดี

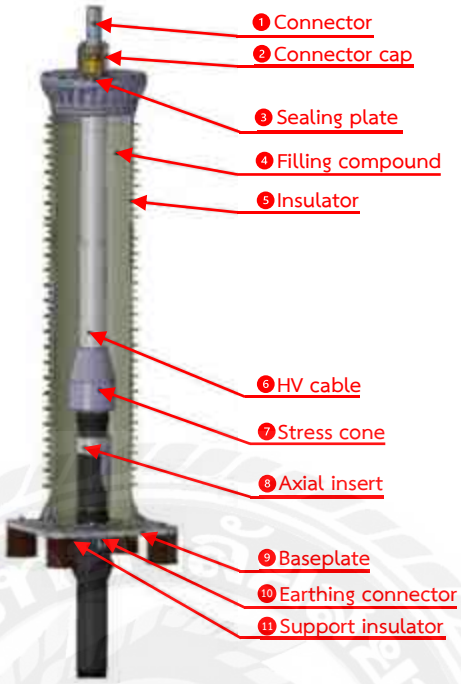
ชั้นป้องกันน้ำแบบแนวรัศมี ถูกออกแบบให้เป็นชั้นบาง ๆ ซึ่งพันรอบชั้นสกรีนโลหะ หรือชั้นฉนวน เพื่อให้ครอบคลุมและป้องกันน้ำได้อย่างทั่วถึง มีความหนาอยู่ในช่วง 0.1 มิลลิเมตร ถึง 0.2 มิลลิเมตร และถูกพันแบบซ้อนทับกันเพื่อเพิ่มความแน่นหนาในการป้องกันน้ำ อีกทั้งแผ่นอะลูมิเนียมในชั้นป้องกันน้ำแบบแนวรัศมีนี้ยังช่วยทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference)

9) ชั้นเปลือก (Sheath) หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า Jacket ผลิตจากการนำเอาสารโพลิเอทิลีน (PE) เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตชั้นเปลือก สำหรับสายเคเบิลแรงดันสูง โดยเฉพาะสายเคเบิลที่ติดตั้งใต้ดิน มีคุณสมบัติเด่นในด้านความทนทานต่อความชื้น การกัดกร่อน และรังสี UV หรือบางกรณีผลิตจากพีวีซี (PVC) โดยเฉพาะสายเคเบิลที่ต้องการความยืดหยุ่นสูงและทนต่อไฟ

ชั้นเปลือกมีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ ที่แนบสนิทกับ ชั้นป้องกันน้ำแบบแนวรัศมี (Radial Water Barrier) หรือสกรีนโลหะ (Metallic Screen) มีความหนาที่กำหนดตามมาตรฐาน เช่น IEC 60840 และ TIS 2202 เพื่อรองรับการใช้งานในระบบแรงดันสูง

ชั้นเปลือก ทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันน้ำและความชื้นที่อาจซึมเข้าสู่ชั้นในของสายเคเบิล เช่น ชั้นฉนวนและชั้นสกรีนโลหะ (Metallic Screen) ป้องกันสายเคเบิลจากสารเคมีหรือการกัดกร่อนที่อาจเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ดินเค็ม หรือพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีในอุตสาหกรรมและดูดซับแรงกระแทกหรือแรงกดที่เกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งหรือการใช้งาน เช่น แรงที่เกิดจากการฝังสายเคเบิลในดินหรือแรงกดจากวัสดุทับถม ทนต่อรังสี UV และอุณหภูมิสูงในกรณีที่สายเคเบิลถูกติดตั้งกลางแจ้ง

2.4.2 Termination Kit (Outdoor) ณ จุดที่สายเคเบิลไปสิ้นสุดลง ต้องมีการทำหัวสายเคเบิลเพราะการที่สาย Shield สิ้นสุดลงจะทำให้สนามไฟฟ้าหนาแน่นบริเวณนั้น ซึ่งหากไม่ทำให้สนามไฟฟ้ากระจายสม่ำเสมอ ฉนวนบริเวณนั้นจะเสียหายได้ หัวต่อสายเคเบิลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเข้ากับสายเคเบิลที่มี Shield เพื่อให้สามารถนำไปใช้ ในการเชื่อมต่อกับสายอากาศหรืออุปกรณ์แรงสูงอื่นๆ เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าในสายเคเบิล ดังกล่าวผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย Termination Kit (Outdoor) แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ Oil-Type Termination และ Dry-Type Termination การเชื่อมจุดสิ้นสุดของสายเคเบิลใต้ดิน ในการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ชุดต่อปลายสาย แบบ Oil-Type Termination และองค์ประกอบดังนี้



รูปที่ 2.25 องค์ประกอบของชุดต่อปลายสาย แบบ Oil Type Termination 115 kV

1) Connector ในชุดต่อปลายสาย Termination เป็นชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างตัวนำ (Conductor) ของสายเคเบิลไฟฟ้าแรงดันสูงและจุดเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้า ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าสูง เช่น ทองแดง (Copper) หรืออะลูมิเนียม (Aluminium) เพื่อให้สามารถรองรับกระแสไฟฟ้าปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทนทานต่อความร้อนและแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งและการทำงาน

2) Connector Cap เป็นฝาครอบหรืออุปกรณ์เสริมเพื่อปกป้องจุดเชื่อมต่อระหว่างสายตัวนำ (Conductor) กับ Connecting Rod หรือส่วนประกอบอื่นในระบบ Connector Cap มีการออกแบบที่คำนึงถึงความปลอดภัยและความทนทานในสภาพการใช้งานที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง

3) Sealing Plate เป็นชิ้นส่วนที่ปิดผนึกบริเวณจุดเชื่อมต่อสายไฟฟ้าแรงดันสูงโดยป้องกันไม่ให้สิ่งแปลกปลอม เช่น ความชื้น ฝุ่นละออง หรืออากาศ แทรกซึมเข้าสู่ภายในระบบสายเคเบิล ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบ ผลิตจากวัสดุที่มีความแข็งแรงและทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น สแตนเลส (Stainless Steel) หรืออะลูมิเนียม (Aluminium) มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้า และมีคุณสมบัตินำความร้อนต่ำช่วยควบคุมอุณหภูมิในระบบสายเคเบิล ป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมความร้อนในบริเวณจุดเชื่อมต่อ

4) Filling Compound ผลิตจากวัสดุพิเศษ เช่น ซิลิโคนเจล (Silicone Gel) เรซิน (Epoxy Resin) หรือวัสดุโพลิเมอร์ชนิดพิเศษ ที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถปรับตัวให้เข้ากับรูปร่างของส่วนประกอบภายในชุดต่อสายได้อย่างแนบสนิท มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ติดตั้งโดยการเติมเข้าไปในช่องว่างระหว่างส่วนประกอบของชุดต่อสาย เช่น ตัวนำไฟฟ้า (Conductor) ฉนวน (Insulation) และส่วนของ Stress Cone ช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดันไฟฟ้าสูงในบริเวณจุดต่อสาย โดยเติมเต็มช่องว่างและปรับโครงสร้างสนามไฟฟ้าให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้นป้องกัน ความชื้น และปัจจัยแวดล้อมช่วยในการกระจายความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในบริเวณจุดต่อปลายสาย

5) Insulator ผลิตจากโพลิเมอร์ชนิดพิเศษ (Polymer) เช่น ซิลิโคน (Silicone Rubber) หรือ EPDM ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง ยืดหยุ่นได้ดี และมีความทนทานต่อรังสี UV และสภาพแวดล้อม หรือ พอร์ซเลน (Porcelain) เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ดี มีความสามารถในการป้องกันการเกิดคราบสกปรก และคอมโพสิต (Composite) ผสมผสานระหว่างวัสดุพอลิเมอร์และไฟเบอร์กลาส เพื่อให้ได้ความแข็งแรงและน้ำหนักเบา

Insulator ชุดต่อปลายสาย Termination 115 kV มีหน้าที่ในการแยกตัวนำไฟฟ้าออกจากโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน และป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศหรือพื้นผิวของสายเคเบิล ออกแบบมาให้สามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงและปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ความชื้น ฝุ่นละออง หรือสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ป้องกันการเกิด Partial Discharge หรือ Flashover ที่อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อม มักมีรูปทรงเป็นทรงกระบอกหรือทรงเรียว เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและลดการสะสมของประจุไฟฟ้า บริเวณพื้นผิวภายนอกจะออกแบบให้มี "ร่อง" หรือ "ฟิน (Fin)" เพื่อป้องกันการสะสมของน้ำและฝุ่นละออง รวมถึงเพิ่มระยะการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า (Creepage Distance) และทำหน้าที่กระจายแรงดันไฟฟ้าให้มีความสม่ำเสมอตลอดบริเวณที่มีการต่อสายไฟฟ้า เพื่อป้องกันการเกิดจุดที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินไป (Stress Concentration) ตำแหน่งและการติดตั้ง Insulator จะติดตั้งอยู่บริเวณรอบตัวนำไฟฟ้า (Conductor) โดยทำหน้าที่ปิดล้อมและสร้างชั้นป้องกันไฟฟ้าระหว่างตัวนำและโครงสร้างของชุดต่อปลายสาย

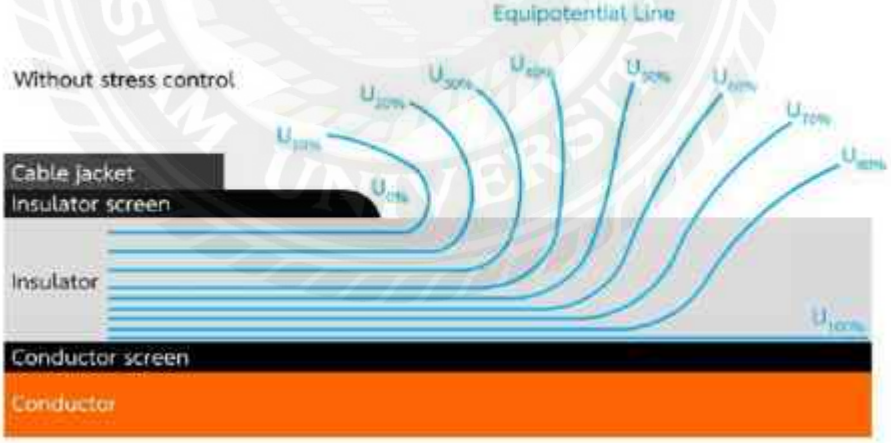
6) HV Cable สายเคเบิลแรงดันสูง ในงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้สายเคเบิลใต้ดิน ชนิดหุ้มฉนวนด้วย XLPE หรือสาย 115kV CE (Cross-Linked Polyethylene Power Cable) อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60840 และ TIS 2202

7) Stress cone ผลิตจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าชั้นเยี่ยม เช่น ซิลิโคน หรือยาง EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) ซึ่งมีความยืดหยุ่น ทนทาน และทนต่อ

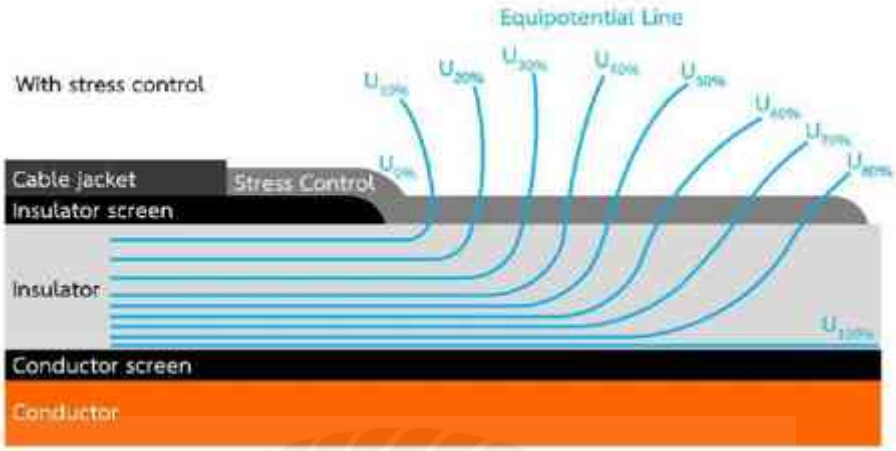
แรงดันไฟฟ้าสูงมีลักษณะเป็นกรวย ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้สามารถกระจายแรงดันไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าในบริเวณปลายสายเคเบิล

รูปที่ 2.26 ลักษณะรูปร่างของ Stress Cone
ที่มา : ศุภกร มงคลลักษณ์ (2556)

Stress Cone ได้รับการติดตั้งให้แนบสนิทกับสายเคเบิลและฉนวน เพื่อให้การกระจายสนามไฟฟ้ามีความราบรื่นและไม่มีช่องว่าง ควบคุมและลดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าที่บริเวณจุดต่อระหว่างสายเคเบิลและอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่นำไปสู่ปัญหาการปล่อยประจุไฟฟ้า (Partial Discharge)



รูปที่ 2.27 ลักษณะของเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า (Equipotential Line) โดยไม่ติดตั้ง Stress Cone



รูปที่ 2.28 ลักษณะของเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่า (Equipotential Line) โดยติดตั้ง Stress Cone

8) Axial Insert ผลิตจากโลหะที่มีความแข็งแรงและทนทาน เช่น สแตนเลสหรืออะลูมิเนียมอัลลอย Axial Insert ออกแบบมาให้มีรูปร่างและโครงสร้างที่รองรับแรงกดดันและแรงทางกลที่เกิดขึ้นจากสายเคเบิลและชุดต่อปลายสาย ช่วยลดผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่อาจส่งผลต่อความสมบูรณ์ของระบบ มีหน้าที่กระจายแรงที่เกิดจากสายเคเบิลไปยังฐานของชุดต่อปลายสาย เพื่อลดการกดทับและแรงเค้นที่อาจทำให้สายเคเบิลเสียหายช่วยให้สายเคเบิลยังคงอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและไม่เกิดการเลื่อนหลุด แม้ในสภาวะที่เกิดแรงดันสูงหรือการสั่นสะเทือน และช่วยป้องกันไม่ให้ Stress Cone และส่วนประกอบอื่น ๆ เสียรูปหรือได้รับความเสียหายจากแรงกระทำทางกลที่เกิดขึ้นแม้ว่า Axial Insert จะไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตรง แต่การเชื่อมต่อระหว่างสายเคเบิลกับ Axial Insert ช่วยให้สนามไฟฟ้าในชุดต่อปลายสายมีความสมดุลและลดความเสี่ยงของ Partial Discharge หรือ Corona Discharge

9) Baseplate เป็นแผ่นฐานรองรับชุดต่อปลายสาย Termination ทั้งหมด ผลิตจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง เช่น โลหะสแตนเลสหรือเหล็กชุบกัลวาไนซ์ เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักและแรงกดดันได้อย่างมั่นคง มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง เนื่องจากต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่อาจมีความชื้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง Baseplate มีหน้าที่รองรับน้ำหนักและโครงสร้างทั้งหมดของชุดต่อปลายสาย Termination ซึ่งรวมถึงส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น Axial Insert, Stress Cone, HV Cable และ Insulator การกระจายน้ำหนัก และการเชื่อมต่อสายดินผ่าน Baseplate ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าช็อตหรือความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

10) Earthing connector ทำหน้าที่สำคัญในระบบไฟฟ้าแรงดันสูง โดยมีหน้าที่ในการควบคุมสนามไฟฟ้าและป้องกันการ Breakdown Earthing Connector ช่วยควบคุมและกระจายสนามไฟฟ้ารอบๆ จุดเชื่อมต่อของสายเคเบิล เพื่อลดความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Intensity) ที่อาจทำให้เกิดการ Breakdown ของฉนวน ทำให้ระบบ Termination สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าได้ตามมาตรฐาน และลดโอกาสเกิด Partial Discharge ที่อาจเป็นสาเหตุให้ฉนวนเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรจากแรงดันไฟฟ้าสูง ป้องกันอันตรายต่อบุคลากรและอุปกรณ์ เนื่องจากชุดต่อปลายสายมีระดับแรงดันสูงมาก การมี Earthing Connector ที่เชื่อมต่อกับระบบสายดินช่วยให้แน่ใจว่า ไม่มีไฟฟ้ารั่วไหล ที่อาจทำให้บุคลากรที่ปฏิบัติงานบริเวณใกล้เคียงได้รับอันตราย

การลดกระแสไหลวน (Circulating Current) ในระบบสายเคเบิลแรงดันสูง กระแสไฟฟ้าสามารถเหนี่ยวนำเข้าสู่ Metallic Screen ของสายเคเบิลได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดกระแสไหลวนที่ไม่พึงประสงค์ Earthing Connector ช่วยลดกระแสไหลวนโดยการเชื่อมต่อ Metallic Screen ของสายเคเบิลเข้ากับระบบสายดินอย่างเหมาะสม

ในกรณีที่เกิด แรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage) หรือฟ้าผ่า (Lightning Surge) Earthing Connector จะทำหน้าที่นำแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินไปสู่ระบบสายดิน เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

11) Support Insulator ทำหน้าที่สำคัญหลายประการในระบบไฟฟ้าแรงดันสูง โดยเฉพาะในชุดต่อปลายสาย (Termination Kit) ได้แก่ รองรับน้ำหนักและแรงดันของชุดต่อปลายสาย ช่วยรองรับน้ำหนักของ ตัว Termination และสายเคเบิลแรงดันสูง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากทำให้ชุดต่อปลายสายมั่นคง ไม่เกิดการเคลื่อนที่ อันเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าหรือสภาวะการใช้งานต่างๆ ป้องกันการ Breakdown ของฉนวน การแยกศักย์ไฟฟ้าระหว่างสายเคเบิลและโครงสร้างที่เป็นโลหะ เช่น Baseplate และ Earthing Connector และป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit) หรือ Flashover ที่อาจเกิดขึ้นจากไฟฟ้ารั่วไหลไปยังโครงสร้างที่อยู่รอบๆ ป้องกันการเกิด Tracking และ Flashover Support Insulator มักถูกออกแบบให้มี Creepage Distance ที่ยาวขึ้น เพื่อลดโอกาสที่กระแสไฟฟ้าจะรั่วไหลไปตามพื้นผิวของฉนวน

2.4.3 Splice หรือ Cable Splicing การต่อสายเคเบิลฯนอกจากจะต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าแล้วยังต้องคำนึง ถึงความต่อเนื่องของส่วนประกอบต่างๆ ของสายไฟฟ้า คืออาศัยหลักที่ว่าทำทุกส่วนของชุดต่อสาย เหตุผลที่ต้องมีการต่อสายเคเบิลใต้ดินต้องการสายเคเบิลใต้ดิน

ที่มีความยาวมาก สายเคเบิลใต้ดินเกิดความบกพร่องหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน หรือสายเคเบิลใต้ดินได้รับความเสียหายจากอุบัติเหตุ

รูปที่ 2.29 Cable Splicing
ที่มา : https://www.tyco.com

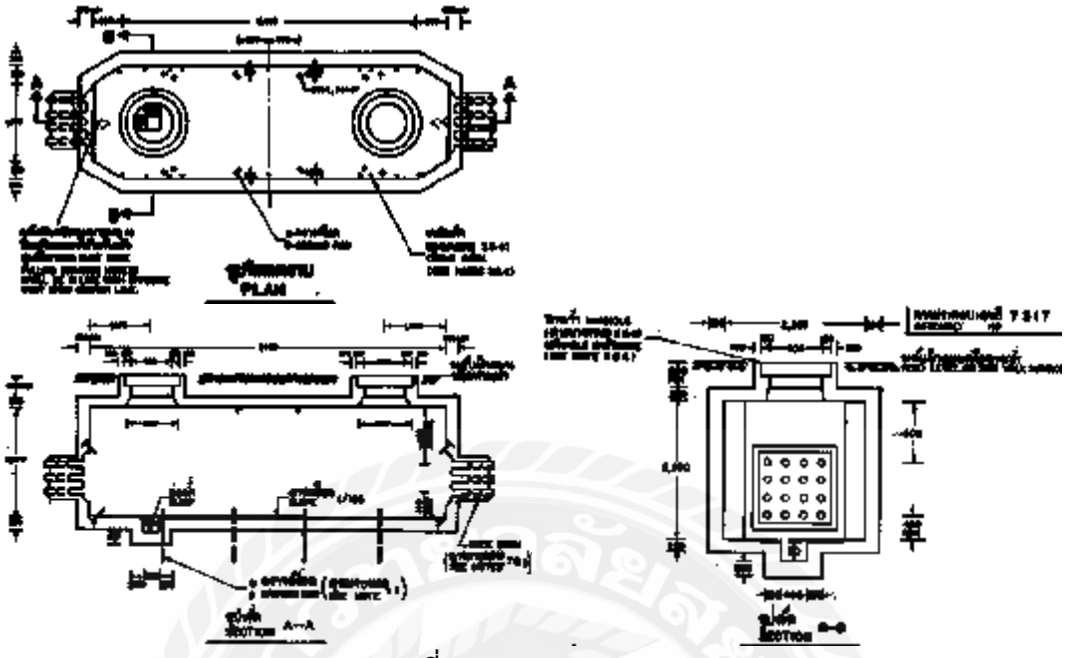
การต่อสายเคเบิลฯแบบแยกสามทาง (T-Tap) ให้เหมือนกับสายเคเบิลสามารถแบ่งการต่อสายเคเบิลได้ 3 วิธีดังนี้

1) Slip On Type เป็นชุดต่อสายสำเร็จรูปมาจากโรงงานผลิตมีการทดสอบก่อนนำมาจำหน่าย การต่อสายต้องเตรียมปอกสายเคเบิลฯยาวกว่าอีกข้างหนึ่งเพื่อให้ชุดต่อสายเคลื่อนตัวไปพักไว้

2) Cold Shrink Type เป็นชุดต่อสายสำเร็จรูปมาจากโรงงานผลิตมีการทดสอบก่อนนำมาจำหน่ายงานการต่อสายจะมีระยะเตรียมสาย 2 ข้างเท่ากัน ในหนึ่งรุ่นใช้กับสายเคเบิลฯได้หลายขนาดสามารถป้องกันความชื้น น้ำ ทางกล และ สารเคมี ขั้นตอนการติดตั้งน้อยไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เครื่องเป่าความร้อน ปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติ ทำให้สามารถติดตั้งในบริเวณที่แคบได้

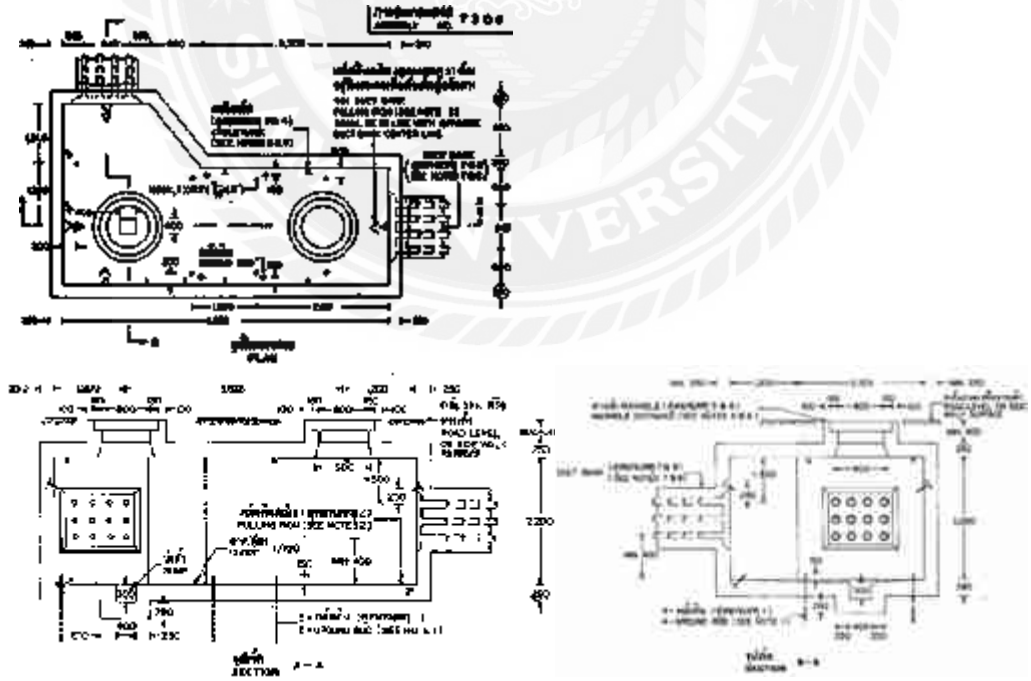
3) Heat Shrink Type เป็นชุดต่อสายที่เป็นชิ้นส่วนมาจากโรงงานผู้ผลิตในหนึ่งรุ่นใช้กับสายเคเบิลฯได้หลายขนาดมีข้อเสียคือต้องใช้เครื่องมือเป่าไฟและความร้อนซึ่งอาจเป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้ ต้องใช้ความเชี่ยวชาญมากในการเป่าไฟเพื่อให้การหดสม่ำเสมออีกทั้งมีชิ้นส่วนที่ต้องประกอบกันหลายชิ้นส่วน หลายขั้นตอน

2.4.4 Manhole บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน นี้หล่อขึ้นด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ใต้ผิวถนนที่มีการจราจรของยานพาหนะต่างๆ และจะต้องรับน้ำหนักสูงสุดได้ 18 ตัน (Ton) ผนังด้านนอกของบ่อพักส่วนบนจะต้องอยู่ใต้ระดับผิวถนนไม่น้อยกว่า 40 เซนติเมตร บ่อพักจะมีฝาปิด (Manhole Frame and Cover) ทำด้วยเหล็กที่ก้นของบ่อพักจะต้องทำเป็นอ่างน้ำ (Sump) ไว้สำหรับสูบน้ำ ออกเมื่อเวลาจะทำงานในบ่อพัก ลักษณะของการจัดหน้าต่างของบ่อพักขึ้นอยู่กับการวางท่อที่จะออกจากบ่อพักนั้นๆ บ่อพักที่มีขนาดเล็ก สามารถหล่อสำเร็จรูป และยกลงมาวางในที่ที่จะติดตั้ง แต่ถ้าเป็นบ่อพักขนาดใหญ่จำเป็นต้องก่อสร้างในที่ที่จะใช้งานเพราะน้ำหนักมาก



รูปที่ 2.30 Manhole ทางตรง

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2537)



รูปที่ 2.31 Manhole ทางโค้ง

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2537)

2.4.5 กับดักเสิร์จ (Surge Arrester) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันแรงดันเกินฟ้าผ่า และแรงดันเกินสวิตชิ่งใช้ป้องกันอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและมีราคาแพง ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องจักรกลไฟฟ้า รีแอกเตอร์ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้า กับดักเสิร์จจะต่อคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการป้องกัน คือต่ออยู่ระหว่างเฟสกับดิน กับดักเสิร์จจะประกอบไปด้วยความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear resistors) มีลักษณะเป็นแผ่นกลมทรงกระบอก คุณสมบัติของกับดักเสิร์จกับดักเสิร์จประกอบด้วยความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อมีกระแสเสิร์จไหลผ่านมากขึ้นความต้านทานกลับลดลง ดังนั้นแรงดันตกคร่อมกับดักเสิร์จจะไม่เป็นเชิงเส้นกับกระแสประกอบอยู่ในกระบอกฉนวน เช่น พอร์ซเลน หรือยางซิลิโคน กับดักเสิร์จ มี 2 ชนิด คือ ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

1) กับดักเสิร์จชนิด ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) จะมีสปาร์กแกนต่ออนุกรมกับความต้านทาน สปาร์กแกปเป็นตัวกำหนดขนาดพิกัดแรงดันของกับดักเสิร์จ ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นไม่ให้กระแสไหลผ่านลงดินในขณะใช้งานที่แรงดันปกติซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ต้องการของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเสิร์จ เมื่อกับดักเสิร์จได้รับแรงดันเกินสปาร์แกปจะเกิดเบรกดาวน์โดยเร็วที่สุด แรงดันที่ตกคร่อมกับดักเสิร์จจะลดลง จะเป็นแรงดันที่เหลือคร่อมความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นของกับดักเสิร์จ เรียกว่า แรงดันคงเหลือ (Residual Voltage) ซึ่งค่านี้จะมีค่าต่ำกว่าค่าความคงทนของการฉนวนของอุปกรณ์หรือระบบ

2) กับดักเสิร์จชนิด ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) หรือ กับดักเสิร์จชนิดออกไซด์โลหะ (Metal Oxide : MO) จะใช้ความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น ทำด้วยซิงค์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นแท่งกลมทรงกระบอกวางซ้อนกัน บรรจุในกระบอกฉนวน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่ง ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวกำหนดขนาดกระแสหรือพลังงานเสิร์จที่ยอมให้ผ่านส่วนความสูง เป็นตัวกำหนดขนาดแรงดัน

รูปที่ 2.32 กับดักเสิร์จพักขนาด 96 กิโลโวลต์ (Surge Arrester 96 kV)

ที่มา : https://www.siemens-energy.com

2.4.6 ท่อม้วน HDPE สำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ผลิตจากโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงและทนทาน มีสีดำพร้อมแถบคาดสีส้มเพื่อระบุว่าเป็นท่อสำหรับร้อยสายไฟฟ้า ภายในและภายนอกของท่อมีความเรียบลื่น ช่วยลดแรงเสียดทานในการร้อยสายเคเบิล มีทำหน้าที่ป้องกันสายเคเบิลไฟฟ้าจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากแรงกดดันภายนอก การกระแทก หรือการเคลื่อนไหวของดิน เป็นฉนวนไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ท่อ HDPE ช่วยป้องกันการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล เพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน ป้องกันการกัดกร่อน ท่อ HDPE ทนทานต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ไม่เกิดสนิมหรือผุกร่อน ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนาน มีความยืดหยุ่นสูง ท่อ HDPE มีความยืดหยุ่น สามารถโค้งงอได้โดยไม่แตกหัก เหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ที่มีความซับซ้อน และมีความทนทานต่อสภาพอากาศ

รูปที่ 2.33 ท่อม้วน HDPE สำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน
ที่มา : https://www.bawornpat.com

ท่อ HDPE เหมาะสำหรับการติดตั้งในระบบไฟฟ้าใต้ดิน การวางสายเคเบิลใต้ดินระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ การติดตั้งสามารถทำได้ทั้งในรูปแบบการฝังดินโดยตรง หรือการวางในท่อร้อยสาย (Duct Bank) ขึ้นอยู่กับความต้องการและสภาพพื้นที่

2.4.7 อุปกรณ์ประกอบชุด Cable Riser Pole

1) ท่อตรง HDPE เป็นชนิดเดียวกันกับท่อม้วน ท่อตรง HDPE ใช้สำหรับป้องกันสายเคเบิลใต้ดิน ทางด้านแรงกล สัตว์ หรือน้ำเข้าสายเคเบิลใต้ดินโดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เป็นท่อ HDPE PN 6.3 หรือ มอก.982 สำหรับเหตุผลที่ไม่นำโลหะ (Metallic Conduit) มาใช้งาน เนื่องจากในสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ จะร้อยสายเคเบิล จำนวน 1 เส้นต่อท่อ ดังนั้นถ้าร้อยในท่อโลหะก็จะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กมีผลทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ที่สายเคเบิลได้ และค่าความนำกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิล ก็จะลดลงตามมาจนถึงไม่สามารถจ่ายได้ในที่สุด ยกไปไว้ที่อุปกรณ์ประกอบ riser pole

รูปที่ 3.34 ท่อตรง HDPE
ที่มา : https://www.bawornpat.com

2) ท่อโค้ง (Elbow 90°) ในระบบไฟฟ้าใต้ดินระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ การติดตั้งสายเคเบิลมักต้องการการเปลี่ยนทิศทางหรือการโค้งงอของท่อร้อยสายเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และการวางแผนโครงข่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ในการนี้คือ ท่อโค้ง 90 องศา (Elbow 90°) ผลิตจากวัสดุที่มีความทนทานและเหมาะสมกับการใช้งานใต้ดิน เช่น เหล็กกล้า สแตนเลส หรือโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีขนาดและเส้นผ่านศูนย์กลางหลากหลาย เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของสายเคเบิลและท่อร้อยสายที่ใช้ในระบบ ออกแบบให้มีมุมโค้ง 90 องศา เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเดินสายเคเบิลอย่างราบรื่น ลดความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อสายเคเบิล มีหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเดินสายเคเบิล และช่วยให้การเปลี่ยนทิศทางของสายเคเบิลเป็นไปอย่างราบรื่นและปลอดภัย โดยไม่ทำให้สายเคเบิลเกิดการโค้งงอที่เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลได้

รูปที่ 2.35 ท่อ Elbow 90° HDPE
ที่มา : https://www.royaltec.com

3) ข้อต่อท่อ (Coupling) เป็นข้อต่อท่อ HDPE ระหว่าง ท่อโค้ง (Elbow 90°) และ ท่อตรง HDPE ที่ Cable Riser Pole

รูปที่ 2.36 ข้อต่อท่อ (Coupling)

4) ฝาปิดท่อ (End Cap) มีไว้เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่นลงสู่ท่อ HDPE อันก่อให้เกิดการอุดอัดภายในท่อก่อนการลากสายเคเบิล และเป็นอุปสรรคในการลากสายร้อยท่อ

รูปที่ 2.37 End Cap

2.4.8 Cable Riser Pole หรือ เสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน และอุปกรณ์ประกอบ Cable Riser Pole เป็นจุดที่สิ้นสุดของการก่อสร้างแบบระบบเคเบิลใต้ดิน เพื่อที่จะต่อเชื่อมเข้ากับสายไฟฟ้าระบบเหนือศีรษะ (Overhead Line System) เป็นสายเปลือยหรือสายหุ้มฉนวน โดยการติดตั้ง Cable Riser Pole จะใช้จำนวน 1 ชุด หรือ 2 ชุด และสายส่งระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ กล่าวคือ หากก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินเพื่อรับไฟจากสถานีไฟฟ้า และไปเชื่อมต่อกับระบบเหนือดินนิยมใช้ Cable Riser Pole จำนวน 1 ชุด แต่ถ้าเป็นการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินเพื่อหลบสาธารณูปโภคอื่น เช่น สายส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต หรือต้องลอดใต้ถนนทางหลวงยกระดับ เนื่องจากระยะห่างทางไฟฟ้าระหว่างสายไฟฟ้ากับผิวจราจรมีค่าไม่เพียงพอ ก็จะใช้ Cable Riser Pole จำนวน 2 ชุด โดยในแต่ละชุดเป็นตำแหน่งการเปลี่ยนจากสายไฟฟ้าระบบเหนือดิน เป็นระบบเคเบิลใต้ดิน

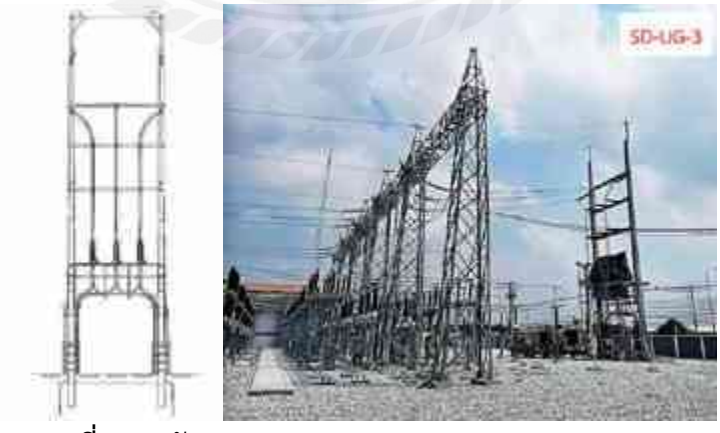
โดยมากการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน มักจะก่อสร้างภายในเขตตัวเมือง เพื่อต้องการความสวยงาม ความมั่นคงและปลอดภัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นที่ตำแหน่งจุดที่สิ้นสุดของการก่อสร้างแบบระบบเคเบิลใต้ดิน หากทำเป็นลักษณะก่อสร้างแบบวางพื้น (On Ground) โดยไม่ใช้เสา

จะต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งเป็นอย่างมาก และไม่เหมาะสม แต่ถ้าทำเป็นลักษณะเสารับหรือที่เรียกว่า Cable Riser Pole จะใช้พื้นที่น้อยกว่า ไม่กีดขวางและกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมมากกว่า ดังนั้นปัจจุบันจุดขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน จะใช้เป็นเสา คอร. โดยสำหรับการติดตั้งตามแนวสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ จะใช้เป็นเสา คอร. คู่ สำหรับการรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ที่มากกว่า Cable Riser Pole ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ตามแบบมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีการติดตั้งให้เหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่

Cable Riser Pole แบบ SD-UG-2 จะติดตั้งเป็นต้นสุดท้ายของแนวสายส่งแบบเหนือศีรษะ ก่อนทำการก่อสร้างและติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินลอดถนนหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นที่เป็นอุปสรรคต่อการก่อสร้างสายส่งแบบเหนือศีรษะ

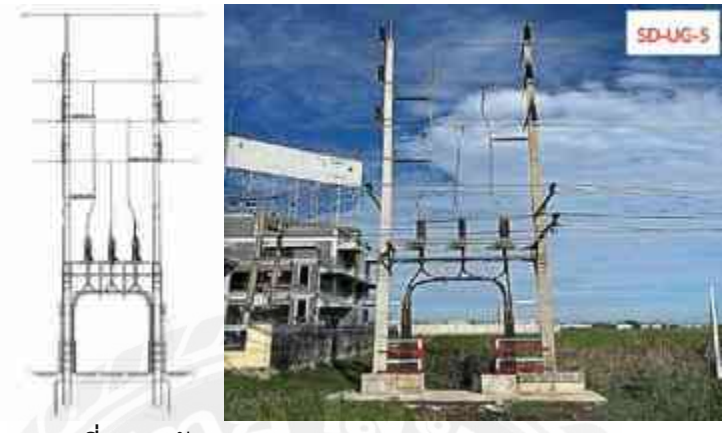
รูปที่ 2.38 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-2

Cable Riser Pole แบบ SD-UG-3 จะติดตั้งอยู่ภายในสถานีไฟฟ้า เป็นส่วนที่นำสายเคเบิลใต้ดินขึ้นมาเชื่อมต่อกับสายไฟฟ้าเหนือศีรษะก่อนเข้าส่วนลานไกของสถานีไฟฟ้า



รูปที่ 2.39 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-3

แบบ SD-UG-5 จะติดตั้งเป็น Cable Riser Pole อยู่ใต้ระบบสายส่งเหนือศีรษะ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อเชื่อมต่อระหว่างระบบสายส่งเหนือศีรษะกับอีกระบบสายส่งเหนือศีรษะหนึ่ง

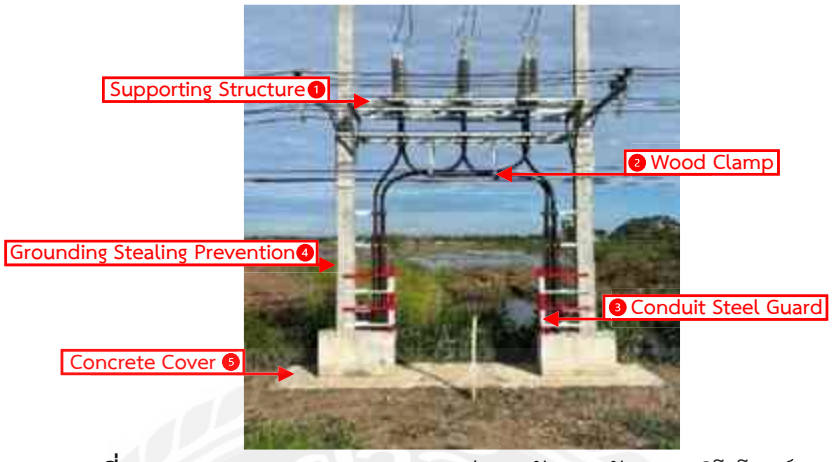


รูปที่ 2.40 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-5

แบบเสาเดี่ยวใต้ไลน์ระบบสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ Cable Riser Pole มีลักษณะและการติดตั้งเพื่อจุดประสงค์เดียวกันกับ Cable Riser Pole แบบ SD-UG-5 แต่เป็นการติดตั้งชุดต่อปลายสายเป็นตัวนำเดี่ยว จะก่อสร้างในพื้นที่ที่จำกัด บดบังทัศนียภาพ บดบังทางเข้าออกสาธารณะ หรือ ทางเข้าออกของเอกชน ที่ไม่สามารถก่อสร้าง Cable Riser Pole แบบอื่นๆ ได้

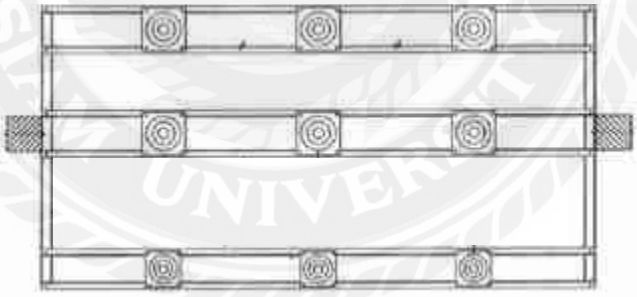
รูปที่ 2.41 ลักษณะของ Cable Riser Pole แบบเสาเดี่ยวใต้ไลน์ระบบสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บน Cable Riser Pole ระบบส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มีดังนี้



รูปที่ 2.42 Cable Riser Pole ระบบส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

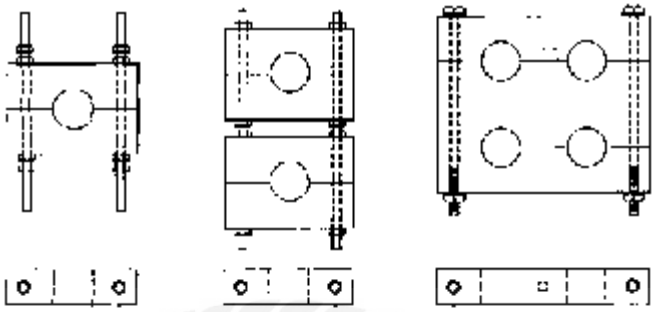
1) โครงเหล็กรองรับการติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Supporting Structure) ทำหน้าที่รองรับติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดินและล่อฟ้าแรงสูง เนื่องจากในระบบส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ทั้งหัวเคเบิลฯและกับดักเสิร์จ จะมีน้ำหนักมากกว่าระบบจำหน่าย จึงต้องออกแบบให้มีโครงเหล็กรองรับ ซึ่งปัจจุบันได้กำหนดเป็นชุดรองรับซึ่งประกอบด้วยวัสดุเหล็กทุกชิ้นที่ใช้งาน



รูปที่ 2.43 โครงเหล็กรองรับการติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

2) แคล้มป์ประกับสายเคเบิลใต้ดิน เป็นวัสดุที่ทำมาจากไม้ มีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ยึดประกับสายเคเบิลฯ เข้ากับเสา คอร. ทำหน้าที่คล้ายห่วงรัดสาย (Cable Grip) และส่วนที่ยึดประกับสายเคเบิลฯบริเวณใต้หัวเคเบิล ทำหน้าที่คล้ายห่วงรัดสายและบังคับให้สายเคเบิล มีแนวตรงก่อนเชื่อมเข้ากับหัวเคเบิล โดยที่แคล้มป์ทั้ง 2 ส่วนดังกล่าว จะต้องทำด้วยไม้เท่านั้น เพื่อป้องกัน

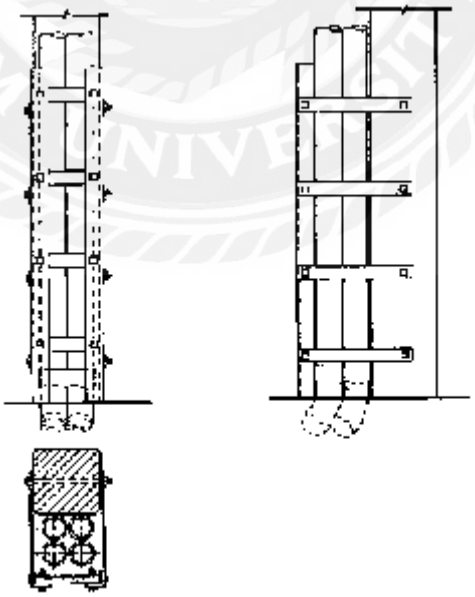
ฟลักซ์แม่เหล็กที่ไม่สมดุลจากการหักล้างกันไม่หมด เนื่องจากการติดตั้งแคล้มป์ประกับสายเคเบิลจะประกับเพียง 1 เฟส หรือ 2 เฟส ซึ่งไม่ครบทั้ง 3 เฟส



รูปที่ 2.44 แคล้มป์ประกับสายเคเบิลใต้ดิน

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

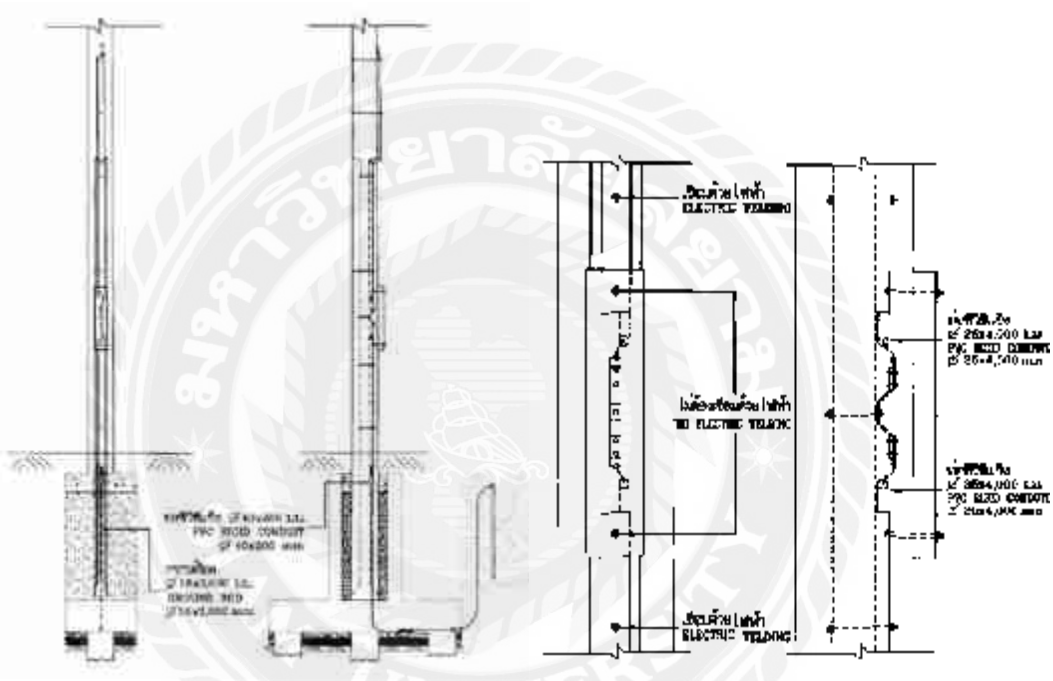
3) โครงเหล็กกันท่อร้อยสาย (Conduit Steel Guard) มีหน้าที่ป้องกันท่อร้อยสาย ซึ่งจะเป็นการป้องกันสายเคเบิลฯ ไปในตัว ซึ่งจะบอกให้บุคคลหรือรถ ที่สัญจรผ่านไปมา ได้ทราบว่า ณ จุดนี้ได้มีการติดตั้งท่อร้อยสายขึ้น ซึ่งจะได้เพิ่มความระมัดระวังขึ้น ขณะที่กำลังจะสัญจรผ่านจุดดังกล่าวนี้ โดยโครงกั้นสามารถติดตั้งได้ทั้งทิศทางเดียวกัน และทิศตรงข้ามกับการจราจร แต่ทั่วไปนิยมติดตั้งในทิศตรงข้ามกับการจราจร



รูปที่ 2.45 โครงเหล็กกันท่อร้อยสาย ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

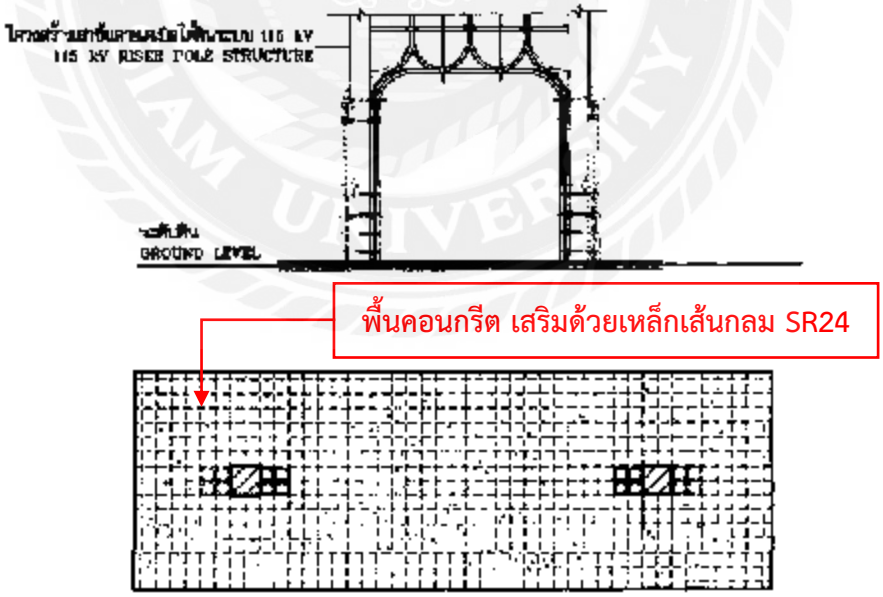
4) ชุดป้องกันการโจรกรรมการต่อลงดิน (Grounding Stealing Prevention) มีหน้าที่การป้องกันการลักขโมยสายดินทองแดงหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการต่อลงดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า โดยระบบกราวด์ทำหน้าที่ระบายกระแสไฟฟ้ารั่วหรือลัดวงจรลงสู่ดินเพื่อลดความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน หากมีการลักขโมยสายดิน อาจส่งผลให้ระบบป้องกันไฟฟ้า เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์หรืออุปกรณ์กันไฟกระชาก ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชุดป้องกันการโจรกรรมนี้จึงมักประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ติดตั้งถาวร



รูปที่ 2.46 แบบประกอบชุดป้องกันการโจรกรรมสายต่อลงดิน
สำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

รูปที่ 2.47 ตัวอย่างการติดตั้งชุดป้องกันการโจรกรรมสายต่อลงดิน
สำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์

5) ชุดป้องกันไฟฟ้า เป็นการเทคอนกรีตรอบบริเวณพื้นที่ของ Cable Riser Pole เพื่อป้องกันการได้รับผลกระทบกับระบบการต่อลงดินจากภายนอก และเพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่



รูปที่ 2.48 เป็นการเทคอนกรีตรอบโคนเสา สำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

2.5 การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน

การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน มีการพิจารณาออกแบบที่ใช้ในการก่อสร้าง ให้เหมาะสมและคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่ได้ลงทุนไป แบ่งแบบการก่อสร้างออกได้ 2 แบบ ดังนี้

2.5.1 การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบเปิดหนาดิน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1) กลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank) การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างในระบบจำหน่ายและระบบส่ง ลักษณะการก่อสร้างเป็นแบบใช้ท่อ HDPE (High Density Polyethylene) หรือท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) แล้วหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการป้องกันจากผลกระทบทางกล (Mechanical Protection) ใช้กับสายเคเบิลใต้ดินได้อย่างดี การก่อสร้าง Duct Bank ไม่นิยมใช้ท่อลูกฟูก (Corrugated) เนื่องจากท่อชนิดนี้ดัดงอง่ายเมื่อเทคอนกรีตท่อจะลอยตัวในน้ำคอนกรีตทำให้ท่อไม่เป็นแนวตรงจะเกิดปัญหาในการร้อยสายเคเบิลใต้ดิน การก่อสร้าง Duct Bank นี้จะต้องมีบ่อพักสาย (Manhole หรือ Handhole) เป็นระยะๆ สำหรับใช้ในการลากสาย ต่อสาย ต่อแยกสาย หรือในกรณีที่แนวสายเคเบิลใต้ดินหักมุม ซึ่งควรมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงตามแนว Duct Bank ด้วย การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี คือ มีความปลอดภัยของสายเคเบิลใต้ดินสูงมาก เนื่องจาก Duct Bank อาจได้รับความเสียหายจากการขุดเจาะ แต่คอนกรีตเสริมเหล็กที่หุ้มท่ออยู่จะช่วยป้องกันท่อร้อยสายรวมทั้งสายเคเบิลใต้ดินได้ ทำให้ระบบมีความมั่นคง (Reliability) สูง มีจัดวางสายเคเบิลใต้ดินเป็นจำนวนมาก ได้ง่ายกว่า และเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดินชำรุดหรือมีการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้ และเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น เนื่องจากท่อถูกหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน ทำให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่สายเคเบิลใต้ดินได้ ไม่ทำให้สายเคเบิลใต้ดินอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหาย

ข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินทั้งหมดหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กและจำเป็นต้องมีบ่อพักสายเพื่อให้ลากสายเคเบิลใต้ดินได้ นอกจากนี้ยังต้องขุดร่องขนาดกว้างเพราะโครงสร้างของท่อร้อยสายมีขนาดใหญ่ มีความสามารถในการระบายความร้อนต่ำ จึงมีผลทำให้สายเคเบิลใต้ดินนำกระแสได้ต่ำใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างนาน มีการดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรค ทำได้ลำบาก (ต้องใช้ระยะทางยาว) และในกรณีที่ใช้ท่อ HDPE เป็นท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง ทำให้ท่อหลอมละลายรวมกับสายเคเบิลใต้ดิน เกิดความเสียหายได้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

รูปที่ 2.49 ลักษณะการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน แบบท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank)
ที่มา : https://udevices.com

2) ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial) การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่ายและระบบส่ง โดยนำท่อที่สามารถดัดงอได้ง่าย (Flexible) มาใช้คือ ท่อ Corrugated หรือท่อ HDPE หรือท่อ RTRC ซึ่งการก่อสร้างตามวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ Concrete Spacer Block บังคับท่อดังกล่าวเป็นระยะ ๆ เพื่อช่วยรักษาระยะห่างระหว่างท่อให้มีระยะสม่ำเสมอกันเว้นการก่อสร้างวิธีนี้จะไม่มีการหุ้มท่อร้อยสายด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) ปิดด้านบน และเทปเตือนอันตราย (Warning Sign Strip) การก่อสร้างวิธีนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภท Duct Bank และต้องมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงตามแนวท่อด้วย การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี คือ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างสูงเนื่องจากท่อ High Density Polyethylene (HDPE) และอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างมีราคาแพง แต่ถูกกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank มีระยะเวลาในการก่อสร้าง น้อยกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank มีความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank ในกรณีที่ใช้ท่อ Corrugated การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรคจะทำได้ง่ายกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank และเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดินจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุดและการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้

ข้อเสีย คือมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินทั้งหมดหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กและจำเป็นต้องมีบ่อพักสายเพื่อให้ลากสายเคเบิลใต้ดินได้ นอกจากนี้ยัง

ต้องขุดร่องขนาดกว้างเพราะโครงสร้างของท่อร้อยสายมีขนาดใหญ่ มีความสามารถในการระบายความร้อนต่ำ จึงมีผลทำให้สายเคเบิลใต้ดินนำกระแสได้ต่ำ ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างนาน การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรค ทำได้ลำบากมาก (ต้องใช้ระยะทางยาว) ในกรณีที่ใช้ท่อ HDPE เป็นท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง ทำให้ท่อหลอมละลายรวมกับสายเคเบิลใต้ดิน เกิดความเสียหายได้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

รูปที่ 2.50 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial)
ที่มา : https://www.wangwatsadu.com

3) ฝังดินโดยตรง (Direct Burial) การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่ายโดยไม่ใช้ท่อร้อยสายและไม่มีการหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ใช้วิธีฝังสายเคเบิลใต้ดิน ให้ได้ความลึกตามมาตรฐาน ซึ่งมีการวางแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) และเทปเตือนอันตราย (Warning Sign Strip) เหนือแนวสายเคเบิลใต้ดิน และบนพื้นดินจะมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงให้ทราบแนวสายเคเบิลใต้ดินเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาภายหลัง นอกจากนี้ยังเป็นจุดสังเกตเพื่อไม่ให้หน่วยงานอื่นมาขุดเจาะบริเวณแนวสายเคเบิลใต้ดินได้ การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี คือ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าท่อร้อยสายและจำนวนบ่อพักและอุปกรณ์ต่อสายก็มีน้อยด้วย มีระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการฝังดินโดยตรงและวิธีการร้อยท่อฝังดิน สามารถดำเนินการก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับการจราจรได้ เนื่องจากใช้เวลาในการขุดถนนไม่นานนัก แต่ต้องขุดยาวเป็นช่วงๆ มี ความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุด ดังนั้นจึงนำกระแสได้ดีที่สุด และการดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรคทำได้ง่าย

ข้อเสีย คือ มีความปลอดภัยของสายเคเบิลใต้ดินต่ำที่สุด เนื่องจากมีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) เท่านั้นที่ป้องกันสายเคเบิลใต้ดิน นอกจากนี้แนวสายเคเบิลใต้ดินอาจเบี่ยงเบนได้โดยอิสระ เพราะไม่มีอุปกรณ์จับยึดสายเคเบิลใต้ดินไว้ ทำให้มีความมั่นคง (Reliability) ของระบบต่ำ เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดของสายเคเบิลใต้ดิน หรือการเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุด หรือมีการเพิ่มจำนวนวงจร ต้องดำเนินการขุดวางสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงจะต้องดำเนินการวางสายเคเบิลใต้ดินให้เสร็จในคราวเดียว หากเกิดปัญหาในบริเวณที่ไม่สามารถวางสายเคเบิลใต้ดินในระยะทางยาวได้ อาจเนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์ เช่น บนทางเท้าซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติงานเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นได้ และเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น อาจจะทำให้เกิดสายเคเบิลใต้ดินที่อยู่ข้างเคียงเสียหายได้ เหมาะกับการก่อสร้างที่มีจำนวนวงจรน้อย เช่น 1 หรือ 2 วงจร เนื่องจากถ้ามีจำนวนวงจรมาก ร่องที่ขุดต้องมีความกว้างมาก และการบำรุงรักษายาก

<u>ข้อพิจารณา</u> ในการเลือกใช้แบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) ประกอบไปด้วย

(1) สภาพภูมิศาสตร์ในสถานที่ที่ก่อสร้างเนื่องจากการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) นั้นจำเป็นต้องฝังสายเคเบิลใต้ดินเป็นแนวยาวตลอดจึงจำเป็นต้องดำเนินการให้เสร็จอย่างรวดเร็ว โดยเลือกสถานที่ที่มีสภาพเนื้อดินแข็งพอควร เพื่อให้สามารถขุดร่องเป็นแนวยาวได้โดยไม่ต้องปัก Sheet Pile

(2) จำนวนวงจรวิธีนี้เหมาะกับการก่อสร้างที่มีจำนวนวงจรน้อย เช่น 1 หรือ 2 วงจร ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) ไม่มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดเลย และนอกจากนี้ส่วนใหญ่ Right of Way ของการฝังสายเคเบิลใต้ดินจะแคบ หากมีการก่อสร้างหลายวงจรแล้ว เมื่อสายเคเบิลใต้ดินเกิดลัดวงจรขึ้นทำให้สายเคเบิลใต้ดินใกล้เคียงเสียหายได้

(3) สถานที่ในการก่อสร้างเนื่องจากข้อเสียของการฝังสายเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) คือ ไม่มีการป้องกันอันตรายต่อสายเคเบิลใต้ดินอย่างเพียงพอ จึงควรเลือกใช้การก่อสร้างแบบนี้ในบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งสามารถลดอันตรายที่อาจถูกขุดเจาะโดยสายเคเบิลใต้ดิน นอกจากนี้ควรมี Cable Route Marker เพื่อให้สามารถทราบแนวของการฝังสายเคเบิลใต้ดินอีกด้วย

(4) ระยะทางในการฝังสายเคเบิลใต้ดินเนื่องจากการฝังสายเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) จำเป็นต้องมีจุดต่อแยกสายให้น้อยที่สุด เพื่อให้สามารถดำเนินการให้เสร็จอย่างรวดเร็ว จึงต้องฝังสายเคเบิลใต้ดินให้เป็นแนวยาวต่อเนื่องกันโดยตลอด

รูปที่ 2.51 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial)
ที่มา : https://www.constructionworld.in

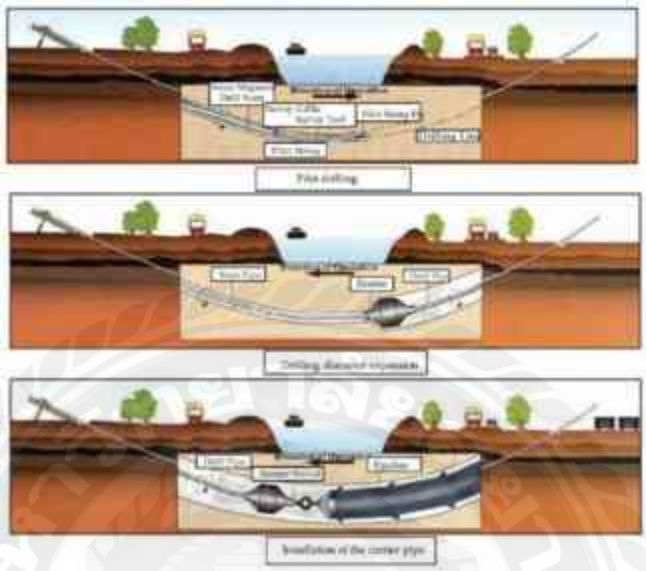
2.5.2 การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบไม่เปิดหน้าดิน แบ่งการก่อสร้างได้ 2 วิธีดังนี้

1) Horizontal Directional Drilling (HDD) การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่ายโดยใช้ท่อ High Density Polyethylene (HDPE) ลักษณะการก่อสร้างจะเป็นแบบไม่ต้องเปิดหน้าดิน การก่อสร้างวิธีนี้ จะไม่มีการหุ้มท่อร้อยสายด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก และไม่มีแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) ไว้ป้องกันสายเคเบิลใต้ดินการก่อสร้างแบบนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภท Duct Bank และต้องมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) การก่อสร้างวิธีนี้มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี คือ มีเนื่องจากสามารถดำเนินการก่อสร้างเป็นช่วงๆได้ และไม่ต้องขุดร่องจึงทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับการจราจรได้ มีระยะเวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank มีความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดิน การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุด และการเพิ่มจำนวนวงจรสามารถทำได้สะดวกกว่าการก่อสร้างด้วยวิธีฝังดินโดยตรง โดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ในท่อ Spare ที่เตรียมไว้ และเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น ไม่ทำให้เคเบิลอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหายสูง

ข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรเฉพาะและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคา เหมาะกับการก่อสร้างที่มีจำนวนวงจรน้อย ทั้งนี้จำนวนวงจรขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรในการลากท่อ ท่อร้อยสายอาจได้รับความเสียหายจากการถูกขุดเจาะรวมทั้งการเกิดการทลาย (Slide) ของดิน ทำให้ท่อร้อยสายเสียหายได้ แต่ก็ยังสามารถช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับสายเคเบิลใต้ดินได้พอสมควร เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิด

ความร้อนสูง สามารถทำให้ท่อหลอมละลาย เกิดความเสียหายและยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้



รูปที่ 2.52 Horizontal Directional Drilling (HDD)
ที่มา : https://www.hddrilling.co.za

2) Pipe Jacking การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่าย และสายส่ง ลักษณะการก่อสร้างจะเป็นแบบไม่เปิดหน้าดิน การก่อสร้างแบบนี้ใช้ท่อร้อยสาย High Density Polyethylene (HDPE) หรือท่อ Reinforced Thermosetting Resin Conduit (RTRC) ร้อยอยู่ภายในท่อเหล็กขนาดใหญ่และฉีดซีเมนต์หยาบภายในท่อเหล็กหุ้มท่อร้อยสาย การก่อสร้างด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภท Duct Bank และต้องมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงตามแนวท่อด้วย การก่อสร้างวิธีนี้มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี คือ สามารถดำเนินการก่อสร้างเป็นช่วงๆ ได้ และไม่ต้องขุดร่อง จึงทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับการจราจรได้ มีความปลอดภัยของสายเคเบิลใต้ดินสูงมาก เนื่องจากมีท่อเหล็กและซีเมนต์หยาบหุ้มท่ออยู่จะช่วยป้องกันท่อร้อยสายรวมทั้งสายเคเบิลใต้ดินได้ ทำให้ระบบมี Reliability ดี ร้อยสายเคเบิลใต้ดินเป็นจำนวนมาก ได้ง่ายกว่า เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดิน การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุดและการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ร้อยในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้ และเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น เนื่องจากท่อถูกหุ้มทับด้วย

คอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน ทำให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่สายเคเบิลใต้ดินได้ ไม่ทำให้เคเบิลอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหาย

ข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรเฉพาะ และอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาสูง มีความสามารถในการระบายความร้อนต่ำ จึงมีผลทำให้สายเคเบิลใต้ดินนำกระแสได้ต่ำ การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรค ทำได้ลำบากมาก (ต้องใช้ระยะทางยาว) ในกรณีที่ใช้ท่อ HDPE เป็นท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง สามารถทำให้ท่อหลอมละลาย เกิดความเสียหายและยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

รูปที่ 2.53 Pipe Jacking

ที่มา : https://www.researchgate.net

2.6 เครื่องเจาะ Horizontal Directional Drilling (HDD)

2.6.1 Drill Track เป็นชุดเครื่องเจาะและลากท่อ จะได้รับสารละลายเบนโทไนท์จาก Mixing Unit เพื่อจ่ายไปยังหัวคว้านขยายแนว

รูปที่ 2.54 Drill Track

ที่มา : https://www.vermeer.com

2.6.2 ชุดหัวเจาะและลากท่อ มีส่วนประกอบดังนี้

1) หัวเจาะ

รูปที่ 2.55 หัวเจาะ

ที่มา : https://sourcehdd.com

2) อุปกรณ์รับสัญญาณ (Receiver) เพื่อแสดงตำแหน่งของหัวนำเจาะ

รูปที่ 2.56 อุปกรณ์รับสัญญาณ (Receiver)

ที่มา : https://www.digital-control.com

3) อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Transmitter) ติดตั้งอยู่ภายในหัวเจาะเพื่อแสดงตำแหน่งของหัวเจาะ

รูปที่ 2.57 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Transmitter)

ที่มา : https://www.digital-control.com

4) Reamer แบบตามลักษณะการใช้งาน 2 แบบ คือ

(1) Bits Reamer เป็นหัวคว้านแบบโปร่งติดเขี้ยวคาร์ไบท์เพื่อคว้านขยายแนวและฉีดสารละลายเบนโทไนท์

รูปที่ 2.58 Bits Reamer

ที่มา : https://www.vermeer.com

(2) Packer Reamer เป็นหัวคว้านแบบทึบทำหน้าที่ขยายแนวเจาะและอัดดิน โดยรอบให้แน่นตัว และมีหัวฉีดเบนโทไนท์

รูปที่ 2.59 Packer Reamer

ที่มา : https://www.vermeer.com

5) ท่อเจาะ (Rod) เป็นท่อที่จะเพิ่มระยะทางการเจาะโดย Rod หนึ่งเท่าจะยาว ประมาณ 3 เมตร ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่จะส่งสารละลายเบนโทไนท์ไปยังหัว Reamer

รูปที่ 2.60 ท่อเจาะ (Rod)

ที่มา : https://www.vermeer.com

6) Pulling Head เป็นตัวจับยึดท่อขณะทำการลากท่อ

รูปที่ 2.61 Pulling Head
https://www.trenchlesssales.co.uk

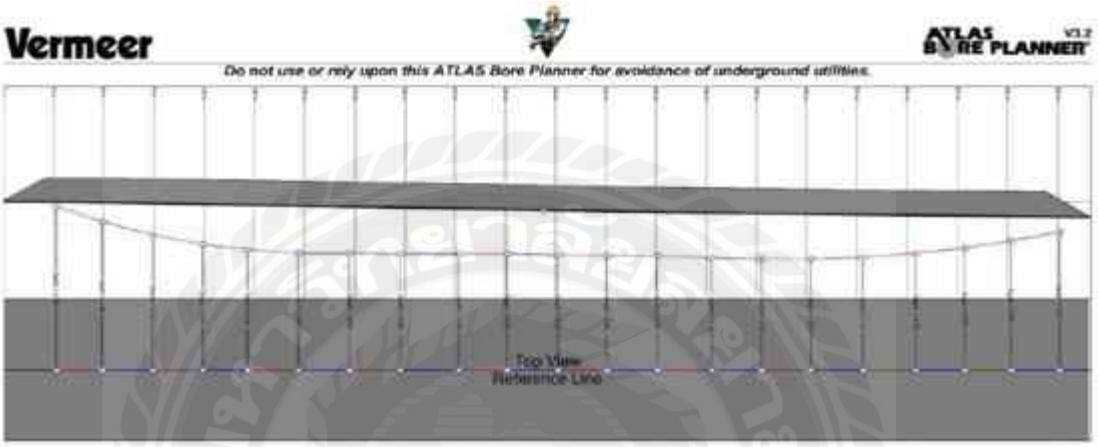
7) เครื่องผสมสารหล่อลื่น (Mixing Unit) ใช้มอเตอร์ที่ได้รับกำลังหมุนจากชุดมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่กับชุดผสมสานหล่อลื่นซึ่ง ทำหน้าที่เป็นตัวปั่นน้ำกับเบนโทไนท์ให้ผสมกัน และอัดฉีดออกไปยัง Drill Track

รูปที่ 2.62 เครื่องผสมสารหล่อลื่น (Mixing Unit)

2.7 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน ส่วนงานโยธา ด้วยวิธีการ Horizontal Directional Drilling (HDD)

เป็นวิธีการวางท่อใต้ดินโดยที่ไม่ต้องขุดเปิดผิวดินตลอดความยาวของการวางท่อ เมื่อพิจารณาถึงเรื่องของความสะดวกคล่องตัวในการทำงานแล้ว ระบบ Directional Drills จะมีขีดความสามารถที่กว้างขวางกว่าวิธีการอื่นๆ มาก ในขนาดของกลุ่มท่อที่ไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งความสามารถในการควบคุมความลึกและทิศทาง รวมถึงความสามารถเจาะลากท่อในแนวโค้งหลบหลีกอุปสรรคสิ่งกีดขวางได้ Directional Drills มีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

2.7.1 การสำรวจพื้นที่ (Site Survey) การสำรวจตรวจสอบแนวสาธารณูปโภคใต้ดิน เช่นท่อประปา ท่อก๊าซ ท่อระบายน้ำ และสายสื่อสาร โดยอาศัยป้ายแสดงตำแหน่งต่างๆ และการประสานข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องขุดเปิดหน้าดินหรือใช้วิธี Water Jet เพื่อตรวจหาระดับของท่อใต้ดิน จัดทำแบบ Plan Boring (Section Drawing) แสดงระดับความลึกแนวเจาะเพื่อป้องกันการชนกับสาธารณูปโภคที่มีอยู่ประชุมชี้แจงหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อรับทราบแนวทางการดำเนินงานก่อนเริ่มงานเจาะ

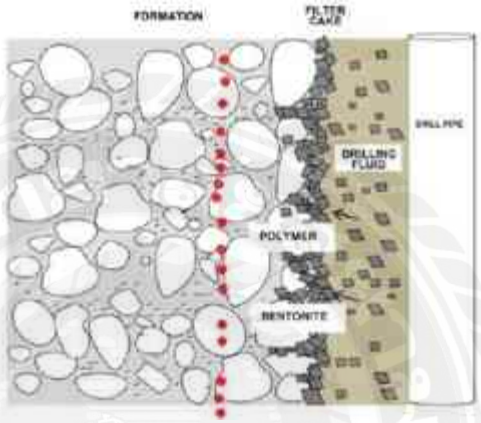


รูปที่ 2.63 ตัวอย่างแบบ Plan Boring (Section Drawing)

2.7.2 การเตรียมเครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์ ทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องเจาะและอุปกรณ์ประกอบ ให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยเตรียมแหล่งน้ำ สำหรับผสมสารหล่อลื่น Bentonite ที่ช่วยในการเจาะดินและลดแรงเสียดทานเตรียมพื้นที่ทิ้งโคลนและเลน ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะปรับระดับพื้นที่ติดตั้งเครื่องเจาะ ให้มีความมั่นคงตรงกับแนวเจาะ

รูปที่ 2.64 สารหล่อลื่น Bentonite

สารหล่อลื่น Bentonite ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและควบคุมคุณภาพของโพรงเจาะ มีคุณสมบัติมีความสามารถในการพองตัวสูง ความหนืดเหมาะสม และอัตราการสูญเสียของเหลวต่ำ เพื่อให้การเจาะใต้ดินเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาผสมกันน้ำลงในเครื่องผสมสารหล่อลื่น (Mixing Unit) ในสัดส่วนที่เหมาะสม จะกลายเป็นโคลนเจาะที่มีความหนืด ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างหัวเจาะกับดิน พยุงผนังโพรงไม่ให้พังทลาย พาเศษดินออกจากรูเจาะ และควบคุมแรงดันภายในโพรงให้สมดุลกับสภาพใต้ดิน ทั้งยังช่วยป้องกันปัญหาโพรงถล่มหรือการอุดตันระหว่างการดึงท่อ



รูปที่ 2.65 การทำปฏิกิริยาของสารผสม Bentonite

2.7.3 การวางเครื่องเจาะ ตรวจเช็คความพร้อมของชุดเครื่องเจาะให้เรียบร้อยโดยตรวจสอบสภาพการทำงานทุกส่วนให้พร้อมสำหรับการปฏิบัติงาน สตาร์ทเครื่อง ระดับน้ำมันไฮดรอลิคว่าเครื่องอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ เช่น เครื่องผสมสารหล่อลื่น (Mixing Unit) ว่าน้ำในถังผสมมอเตอร์ทำงานดีหรือไม่ หรือ Drills Track ตรวจสอบภาพของหัวเจาะ หัว Reamer Rod อุปกรณ์ส่งสัญญาณ

2.7.4 การเจาะนำ Guide Drill ในขณะทำการเจาะ ต้องมีการตรวจจับตำแหน่งของหัวเจาะว่าอยู่ในตำแหน่งใดระดับความลึกและทิศทางโดยอุปกรณ์รับสัญญาญ (Receiver) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากสัญญาณความถี่ที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Transmitter) ที่ติดตั้งอยู่ภายในหัวเจาะ เมื่อเจาะถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ ก็จะทำการเปลี่ยนหัวเจาะเป็น Reamer เพื่อคว้านขยายแนวต่อไป

รูปที่ 2.66 ขั้นตอน Guide Drills หรือ Pilot Bore

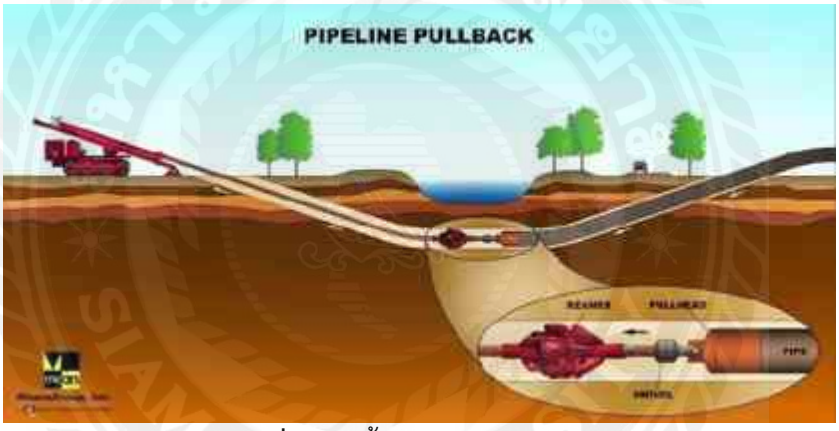
2.7.5 Back Reamer เป็นการคว้านขยายแนว เมื่อทำการเจาะนำเสร็จแล้ว ขั้นตอนในการ Reamer จะทำการ Ream ขยายแนวเจาะให้กว้างขึ้น โดยจะทำการคว้านขยายแนวให้ใหญ่กว่ากลุ่มท่อที่จะทำการลากในขั้นตอนนี้จะใช้ Reamer หลายขนาด โดยจะใช้ขนาดเล็กก่อน มาสวมเข้ากับหัวลาก แล้วนำมาต่อกับ Rod โดยการลากท่อนี้จะทำการคล้ายกับทำการคว้านขยายแนว แต่จะมีตัวต่อตัดการหมุน (Swivel) มาต่อเข้ากับ Rod แล้วต่อเข้ากับหัวลาก เพื่อป้องกันไม่ให้กลุ่มท่อหมุนตามขณะทำการลากท่อ แล้วค่อยไล่มาจนถึงขนาดที่จะทำการลากท่อได้โดยขณะที่ทำการ Reamer จะอัดฉีดสารละลายเบนโทไนท์ เพื่อช่วยในการหล่อลื่นและสร้างผนังป้องกันดินพัง ภายในโพรงที่เจาะไว้ ในกรณีที่ทำการคว้านขยายแนวจะทำการใส่ Reamer เข้าไปแทนที่หัวเจาะ แล้วจึงให้เครื่องเจาะหมุนดึงตัว Reamer กลับมาที่เครื่องเจาะ

รูปที่ 2.67 ขั้นตอน Back Reamer

ที่มา : https://www.mearsgroup.co.uk

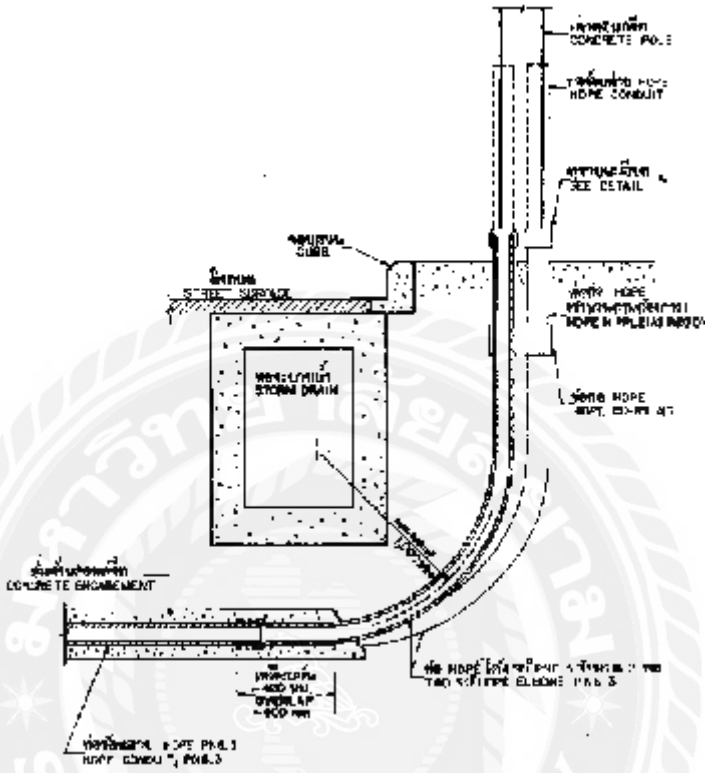
2.7.6 การคว้านขยายแนว Back Reamer เมื่อทำการเจาะนำเสร็จแล้ว ขั้นตอนในการ Reamer จะทำการ Ream ขยายแนวเจาะให้กว้างขึ้น โดยจะทำการคว้านขยายแนวให้ใหญ่กว่า กลุ่มท่อที่จะทำการลากในขั้นตอนนี้จะใช้ Reamer หลายขนาด โดยจะใช้ขนาดเล็กก่อน แล้วค่อยไล่มาจนถึงขนาดที่จะทำการลากท่อได้โดยขณะที่ทำการ Reamer นี้ จะอัดฉีดสารละลายเบนโทไนท์ เพื่อช่วยในการหล่อลื่นและสร้างผนังป้องกันดินพัง ภายในโพรงที่เจาะไว้ ในกรณีที่ทำการคว้านขยายแนวจะทำการใส่ Reamer เข้าไปแทนที่หัวเจาะ แล้วจึงให้เครื่องเจาะหมุนดึงตัว Reamer กลับมาที่เครื่องเจาะ

2.7.7 Pulling Pipes การลากท่อ เมื่อทำการคว้านขยายแนวเจาะ จนได้ขนาดที่จะทำการลากท่อได้แล้ว ก็จะทำการลากท่อโดยเอากลุ่มท่อที่จะลากมาสวมเข้ากับหัวลาก แล้วนำมาต่อกับ Rod โดยการลากท่อนี้จะทำการคล้ายกับทำการคว้านขยายแนว แต่จะมีตัวต่อตัดการหมุน (Swivel) มาต่อเข้ากับ Rod แล้วต่อเข้ากับหัวลาก เพื่อป้องกันไม่ให้กลุ่มท่อหมุนตามขณะทำการลากท่อ



รูปที่ 2.68 ขั้นตอน Pulling Pipe
ที่มา : https://www.mearsgroup.co.uk

2.7.8 การประกอบชุด Cable Riser Pole ตามแบบมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประกอบด้วย ท่อโค้ง ข้อต่อ ท่อตรง พร้อมเทคอนกรีตจับยึดแนวท่อ และร้อยเชือกไกด์ในท่อ



รูปที่ 2.69 ตัวอย่างการประกอบชุด Cable Riser Pole
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2547)

รูปที่ 2.70 การเทคอนกรีตเพื่อจับยึดท่อร้อยสายเคเบิลเข้ากับ Cable Riser Pole

2.8 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน ส่วนงานไฟฟ้า

เมื่อทำการก่อสร้างส่วนงานโยธาเสร็จเรียบร้อย ในส่วนงานไฟฟ้า จะดำเนินการดังต่อไปนี้

2.8.1 เอกสารสำหรับสำหรับผู้ควบคุมงานและผู้ปฏิบัติงาน ขั้นตอนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน ก่อนปฏิบัติงานดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน ต้องดำเนินการจัดส่งรายละเอียดดังต่อไปนี้ให้ กฟภ.ตรวจสอบให้ความเห็นชอบก่อนดังนี้

1) แผนการดำเนินงานแสดงขั้นตอนการปฏิบัติในการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

2) รายการเครื่องมือ - อุปกรณ์ ที่ใช้ในการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

3) บุคลากรที่ควบคุมงาน-ประสบการณ์ในการทำงานดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

4) เอกสารการคำนวณแรงดึงของสายเคเบิลใต้ดิน, ค่าแรงกดที่ผนังท่อ (Side Wall Pressure) ตามมาตรฐาน IEEE 525-1992 " Guide for The Design and Installation of Cable System in Substation "

2.8.2 การติดตั้งโครงเหล็กรองรับชุดต่อปลายสายที่ Cable Riser Pole

2.8.3 การเตรียมงานก่อนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Pulling Preparation) ถึงแม้ว่าในการปฏิบัติงานจะมีเครื่องมือและเทคนิคมากมายหลายอย่าง ซึ่งช่วยในการวางสายเคเบิลใต้ดินได้มาก แต่ถ้าหากปราศจากการเตรียมการที่ดีพอ การปฏิบัติงานก็อาจจะไม่สามารถดำเนินงานได้สะดวกและมีอุปสรรค ปัญหามากมายย่อมมีโอกาสเกิดขึ้นไม่ว่าจะเกิดขึ้นกับสายเคเบิลใต้ดิน ผู้ปฏิบัติงานและผู้สัญจรผ่านไปมา การเตรียมการที่ดีย่อมหมายถึงการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ลดการใช้เครื่องมือที่เกินความจำเป็น และสามารถนำเครื่องมือไปใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงลดอันตรายที่อาจจะเกิดได้อีกด้วย นอกจากนี้แล้วลักษณะของงานติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินที่อยู่ในตัวเมือง ซึ่งมีปัญหาการจราจรติดขัด จะต้องมีการเตรียมการ วางแผน และประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งหมดที่กล่าวนี้ในการเตรียมการจึงควรที่จะไปสำรวจตำแหน่งสถานที่จะปฏิบัติงานก่อนทุกครั้งที่จะปฏิบัติงานการวางสายเคเบิลใต้ดินการพิจารณานำระบบเคเบิลใต้ดินมาใช้แทนระบบสายอากาศนั้น จุดประสงค์หลักอันหนึ่งคือเพิ่มความเชื่อถือได้ให้แก่ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าโอกาสที่ไฟฟ้าดับมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สายอากาศ แต่หากสายเคเบิลใต้ดินเกิดชำรุดก่อนกำหนดอายุการใช้งานจริงเช่นใช้งานไปได้ 1-2 ปี สายเคเบิลใต้ดินเกิดระเบิดขึ้นมานั้นแสดงว่าไม่ประสบผลในการนำสายเคเบิลใต้ดินมาใช้งาน เนื่องจากสายเคเบิลใต้ดิน ชุดต่อสาย (Splicing) หรือหัวเคเบิล (Terminator) ต่างได้รับการออกแบบและทดสอบมาจากโรงงานผู้ผลิตแล้วเป็นอย่างดี ทำให้มีความเชื่อมั่นได้ระดับหนึ่งว่ามีคุณภาพที่ดีมีอายุการใช้งานยาวนาน แต่หากสายเคเบิลใต้ดินชุดต่อสาย หรือหัวเคเบิล เกิดระเบิดชำรุดเสียหายขึ้นมาสันนิษฐานได้ว่าสาเหตุน่าจะมาจากการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินไม่ถูกวิธีดังนั้นระบบเคเบิลใต้ดินจะมีความมั่นคงสูงจะต้องมีการ

ติดตั้งที่ถูกต้องถูกวิธีด้วยหรืออาจกล่าวได้ว่าการติดตั้งเป็นหัวใจหลักของระบบเคเบิลใต้ดินก็ว่าได้สาเหตุที่ทำให้สายเคเบิลใต้ดิน ชำรุดอาจแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

1) ชำรุดก่อนการติดตั้ง การชำรุดในกรณีนี้ส่วนใหญ่จะมาจากการขนส่งสายเคเบิลใต้ดิน จากโรงงานหรือคลังเก็บสายไปยังสถานที่ติดตั้ง ดังนั้นก่อนดึงลากสายเคเบิลใต้ดินทุกครั้งจะต้องตรวจสภาพภายนอกของรีลสายเคเบิลฯ (ล้อไม้) เสียก่อนว่ามีสภาพเรียบร้อยหรือไม่ ปลายสายเคเบิลใต้ดิน มีการซีล (Seal) ปิดป้องกันความชื้นหรือไม่

2) ชำรุดเนื่องจากการติดตั้ง กรณีนี้มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด สาเหตุมาจากผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสายเคเบิลใต้ดิน ไม่ดีพอ ไม่เข้าใจว่าทิศทางดึงลากสายเคเบิลใต้ดินสำคัญอย่างไรทำไมต้องให้สายเคเบิลใต้ดิน มีรัศมีการโค้งงอมาก บางครั้งละเลยในการล้างทำความสะอาดท่อก่อนร้อยสายเคเบิลใต้ดินเข้าไป สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่ทำให้สายเคเบิลฯ มีโอกาสชำรุดก่อนเวลาอันควรทั้งสิ้น

การเตรียมงานดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในภาพที่พร้อมใช้งาน ได้แก่

(1) แบบ As-Built Drawing ส่วนงานด้านไฟฟ้าที่ผ่านการอนุมัติ

(2) Check List และ Test Form ส่วนของงานติดตั้งระบบไฟฟ้า

(3) Material List พร้อมผลการทดสอบ

- การทดสอบที่โรงงาน (Factory Test)
- การทดสอบประจำ (Routine Test) - Partial discharge, voltage test
- การทดสอบเพิ่มเติม (Special Test) - Dimension, electric resistance

(4) เครื่องป้อนสายเคเบิล

รูปที่ 2.71 เครื่องป้อนสายเคเบิล

(5) เครื่องดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Winch)

รูปที่ 2.72 เครื่องดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Winch)

(6) ลวดสลิง (Wire Rope) ขนาด Ø 1/2 นิ้ว สามารถรับแรงดึงได้ 5,000 ปอนด์ และขนาด Ø 3/4 นิ้ว สามารถรับแรงดึงได้ 10,000 ปอนด์

(7) เชือกมนิลา มีขนาดต่างๆ เช่น 1/8 นิ้ว และ 1/2 นิ้ว ซึ่งเป็นเชือกสำหรับร้อยตามลูก Dummy เผื่อว่าจะยังไม่เรียบร้อยต้องตรวจสอบอีกครั้งก่อนทำงาน

(8) ขารีลใส่รีลสายเคเบิลใต้ดิน หรือ Drum Jack (ตั้งรีลสาย)

รูปที่ 2.73 ขารีลใส่รีลสายเคเบิลใต้ดิน หรือ Drum Jack (ตั้งรีลสาย)

(9) อุปกรณ์จับสายเคเบิลใต้ดินในงานก่อสร้างระบบสายส่งแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ จะใช้ Pulling Eye เป็นอุปกรณ์จับสายเคเบิลใต้ดิน มีรูปร่างคล้าย Terminal Lug ใช้จับที่ตัวนำ (Conductor) ของสาย ใช้เชื่อมกับสายโดยการหยอดตะกั่วและบัดกรีถอดออกมาและนำไปใช้ได้ ใช้พันเทปป้องกันน้ำเข้า ส่วนมากจะใช้กับสายเคเบิลใต้ดินขนาดใหญ่ตั้งแต่ 400 ถึง 800 ตารางมิลลิเมตร

รูปที่ 2.74 Pulling Eye

ที่มา : https://www.phonetx.com

(10) มิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo Meter)

รูปที่ 2.75 มิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo Meter)

ที่มา : https://www.indiamart.com

(11) น้ำยาหล่อลื่นสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 2.76 น้ำยาหล่อลื่นสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

ที่มา : https://somboonkl.co.th

(12) รอกสำหรับติดตั้งร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

(13) เครื่องมือทำ Mark สายเคเบิลใต้ดิน

(14) เครื่องมือตัดสายเคเบิลใต้ดิน

(15) เครื่องปอกชั้นฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 2.77 เครื่องปอกชั้นฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน

ที่มา : https://hivotec.com

(16) รอกรองสายเคเบิลใต้ดิน (Roller)

รูปที่ 2.78 รอกรองสายเคเบิลใต้ดิน (Roller)

ที่มา : https://thai.cablepulling-tools.com

(17) รอก Stringing Box

(18) สวีเวล (Swivel)

รูปที่ 2.79 สวีเวล (Swivel)

ที่มา : https://thai.cablepulling-tools.com

(19) สลิงห่วงถักหลายๆ ชุดสำหรับเกี่ยวรอก

(20) บันไดไม้ (วางพาดบ่อ Manhole) สำหรับความสะดวกในการทำงาน

(21) D – Shackle

(22) ปั๊มน้ำ (Water Pump)

(23) Rod Duct (PVC) ปกติใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

รูปที่ 2.80 Rod Duct (PVC)

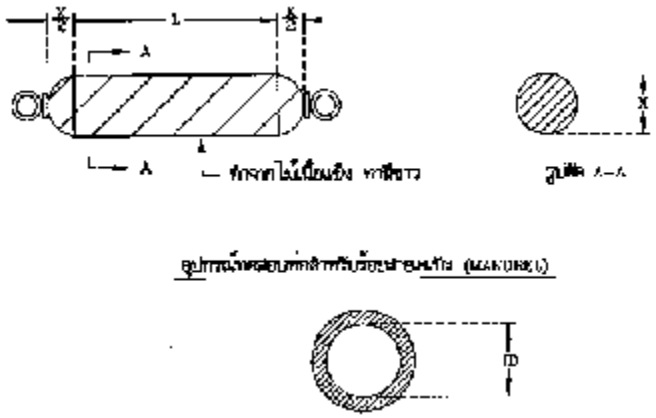
ที่มา : https://www.indiamart.com

(24) อุปกรณ์ทำความสะอาดท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 2.81 Flexible Cleaner

2.8.4 การทำความสะอาดท่อร้อยสายด้วยผ้ากระสอบหรือ Flexible Cleaner โดยผูกเข้ากับเชือกไนล่อนขนาด 1/2 นิ้ว ลากผ่านตลอดแนวท่อร้อยสาย พร้อมทั้งฉีดน้ำล้างทำความสะอาดตามไปด้วยกระสอบสามารถลากผ่านได้

2.8.5 การทดสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินก่อนทำการร้อยสายเคเบิลใต้ดิน โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel)



รูปที่ 2.82 แบบมาตรฐานอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel)
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2559)

รูปที่ 2.83 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel)
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร

การใช้ปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel) เพื่อทดสอบให้แน่ใจว่าท่อไม่ตันและไม่มีสิ่งกีดขวางซึ่งอาจจะทำให้สายเคเบิลใต้ดิน ชำรุดเสียหายเป็นอุปสรรคในการร้อยสาย โดยปกติท่อสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ที่เป็นท่อ โพลีเอทธีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ตรงช่วงรอยต่อระหว่างท่อร้อยสายที่นำมาต่อกันเพื่อให้ได้ความยาวตามที่ต้องการนั้น หากต่อกันไม่สนิทหรือเหลื่อมล้ำกันอยู่จะทำให้น้ำปูน หรือเศษทรายและดิน เข้าไปในท่อได้ ซึ่งทำให้เกิดการติดขัดหรือชำรุดเสียหายต่อสายเคเบิลใต้ดิน และการฝังท่อที่มีระยะทางยาวมากนั้นอาจทำให้ท่อคดเคี้ยวไปมา ไม่ได้แนวตรงจะเป็นอุปสรรคอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือและวิธีการสำหรับตรวจสอบเพื่อที่จะได้ทราบว่าท่อไหนใช้งานได้หรือไม่ได้ เพื่อที่จะได้ทำการวางสายเคเบิลใต้ดินต่อไป การใช้ Mandrel ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 12 มิลลิเมตร ลากผ่านท่อร้อยสาย โดยผูกเข้ากับเชือกไนล่อนขนาด 1/2 นิ้ว และให้ใช้แรงงานคนหรือแรงดึงไม่เกิน 50 กิโลกรัม ถ้าไม่สามารถลาก Mandrel ผ่านได้ตลอดหรือใช้แรงดึงสูงเกิน 50 กิโลกรัม จะต้องตรวจสอบและแก้ไขจนสามารถลาก Mandrel ผ่านไปได้

หมายเหตุ

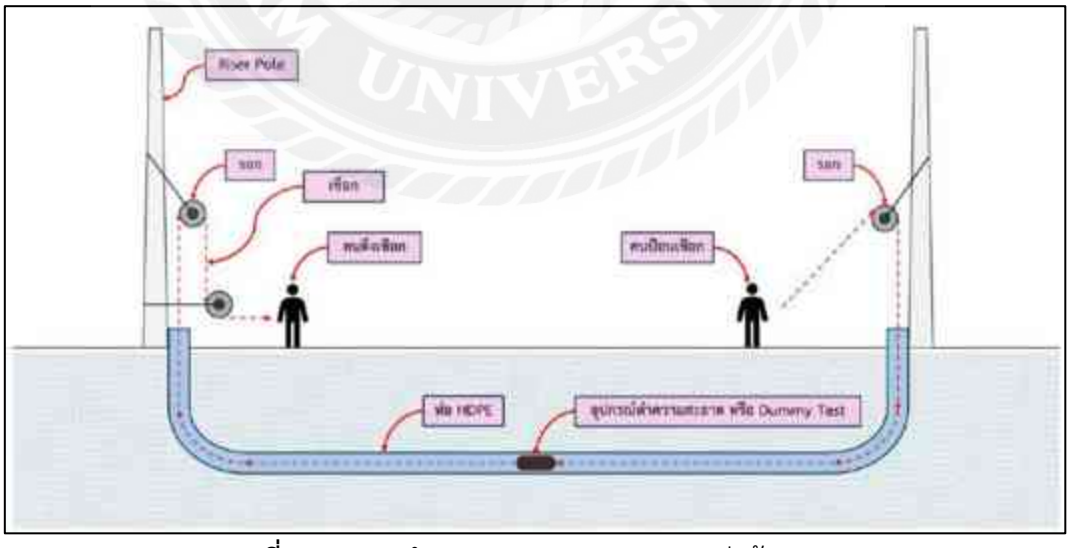
(1) Mandrel ทำจากไม้เนื้อแข็งทาสีขาว

(2) เส้นผ่านศูนย์กลางของลูก Mandrel หาจากนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อร้อยสายที่จะทดสอบลบด้วย 12 มิลลิเมตร

(3) ขนาดของอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel) ที่แนะนำเป็นไปตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดของอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel)

ขนาดท่อ (มิลลิเมตร)	ความของอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (Mandrel)		เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอุปกรณ์ทดสอบท่อสำหรับร้อยสายเคเบิล (X) (มิลลิเมตร)
	ช่วงก่อสร้างตลอดความยาว (At Length)	ช่วงก่อสร้างขั้น Riser Pole (At Riser Pole)	
110	L = 300	L = 200	X = ID – 12
125			
140	L = 400		
160			
180			
200			



รูปที่ 2.84 การทำความสะอาด และทดสอบท่อร้อยสาย

รูปที่ 2.85 ตัวอย่างการทำความสะอาด และทดสอบท่อร้อยสาย

4) เมื่อดำเนินการเสร็จและผ่านการทดสอบแล้ว จะต้องทำการอุดท่อร้อยสายทุกท่อทันที โดยใช้ฝาปิดท่อ (End Cap) ตามแบบมาตรฐาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และขนาดต้องให้เหมาะสมกับท่อร้อยสายชนิดนั้นๆ พร้อมทั้งร้อยเชือกไนล่อนขนาด 1/8 นิ้ว ไว้ด้วยทุกท่อร้อยสาย

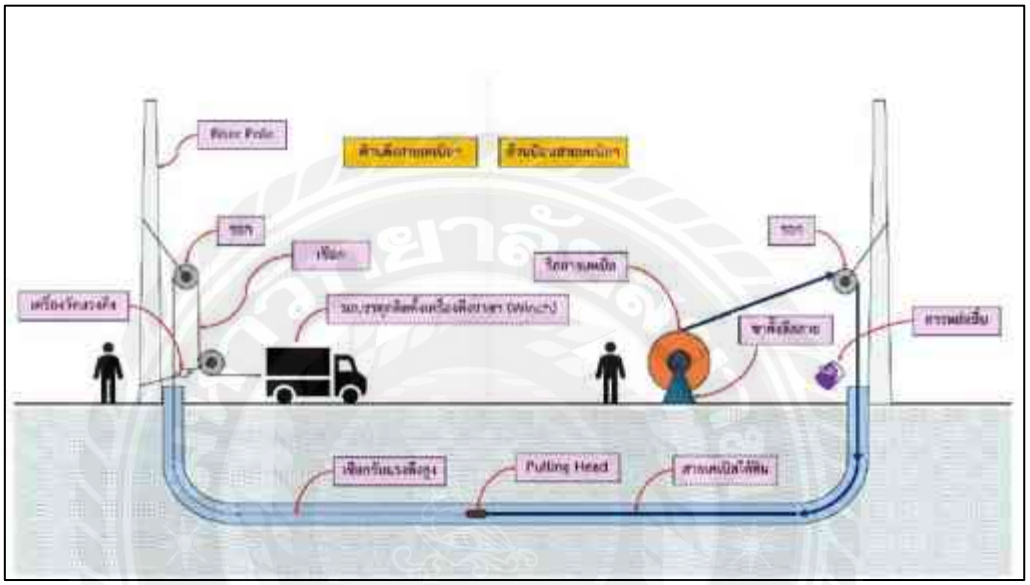
2.8.6 ขั้นตอนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

1) ตรวจดูสภาพของรีลสายเคเบิลใต้ดิน ว่ามีสภาพเรียบร้อยหรือไม่ มีการแตกหักของไม้ที่ปิดหรือไม่

รูปที่ 2.86 รีลสายเคเบิลใต้ดินในสภาพสมบูรณ์

2) ทำการเปลี่ยนเชือกร้อยสาย จากเชือกไกด์เป็นเชือกรับแรงดึงสูง เช่น โพลีโพรไพลีน หรือเชือกใยยักษ์ หลังจากนั้นร้อยลวดสลิงเข้าไว้ในท่อร้อยสาย แทนทีเชือกรักแรงดึงสูง เตรียมพร้อมทำการลากสายเคเบิลใต้ดิน

3) ด้านดึงสายเคเบิลใต้ดิน ด้วยใช้เครื่องดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Winch) ที่ติดตั้งอยู่บนรถบรรทุก จะติดตั้งรอกเหล็กและเครื่องวัดแรงดึง (Dynamo Meter) ที่เสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Riser Pole) เพื่อให้ผู้ควบคุมงานตรวจสอบแรงดึงขณะดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน โดยให้ปรับระดับรอกและสลิงให้อยู่ในแนวขนานกับท่อที่จะลาก และรถบรรทุกที่ติดตั้งเครื่องดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Winch) ต้องจอดในลักษณะที่มั่นคง



รูปที่ 2.87 การดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

4) ด้านป้อนสายเคเบิลฯ ต้องทำการตั้งรีลสายเคเบิลฯ บนขาตั้งรีลสายให้อยู่ในระนาบกับพื้นดินอย่างมั่นคง เพื่อป้องกันไม่ให้รีลสายเคเบิลใต้ดิน เอียงไปทางใดทางหนึ่งเพราะอาจจะล้มได้

5) ทำการดึงสายเคเบิลฯ โดยให้สัญญาณกับเจ้าหน้าควบคุมเครื่องดึงสายเคเบิลฯ ซึ่งก่อนลากขณะลากสายเคเบิลใต้ดินให้มีเจ้าหน้าควบคุมอยู่ที่ด้านดึงสายเคเบิลฯ และด้านป้อนสายเคเบิลฯ เพื่อทาสารหล่อลื่นที่สายเคเบิลฯ ตลอดเวลา เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับท่อร้อยสาย ซึ่งสารหล่อลื่นจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อสายเคเบิลใต้ดิน ต้องไม่เป็นสาร Petroleum Product เพราะจะทำให้เปลือกสายเคเบิลบวม และจะต้องไม่ยึดเกาะกับสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน ทำให้ยากต่อการลากสายเคเบิลใต้ดินออกจากท่อ

6) ขณะดึงสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องมีรอกเหล็กคอยรองรับสายเคเบิลใต้ดิน ไม่ให้ครูดไปกับพื้นดินหรือถนน และต้องคอยทำความสะอาดเปลือกสายเคเบิลใต้ดินตลอดเวลาที่ดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน อย่าให้มีเศษหิน กรวด ติดที่เปลือกสายเคเบิลใต้ดิน การดึงสายเคเบิลใต้ดินควรจะเป็นไปแบบช้าๆ

และความเร็วขณะดึงควรจะคงที่ ซึ่งความเร็วที่พอเหมาะจะอยู่ในช่วงประมาณ 5 เมตรต่อนาที ถึง 15 เมตรต่อนาที ห้ามลากและหยุดกระทันหัน ซึ่งจะมีผลให้เกิดการยืดตัว (Expansion) และต้องใช้แรงเบื้องต้นสูงในการเริ่มต้นลากแต่ละครั้ง และในขณะที่ดึงสายเคเบิลใต้ดิน ควรจะมีการติดต่อสื่อสารถึงกันเพื่อตรวจสอบแรงดึงกันเป็นระยะ และมีเจ้าหน้าที่เพียงพอ ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินตามการคำนวณที่จุดต่างๆ จะเป็นตัวบอกอยู่แล้วว่าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินขณะนั้นเป็นเท่าใด ถ้าสามารถตรวจเช็คได้ว่าปลายสายเคเบิลใต้ดินขณะนี้อยู่ที่ตำแหน่งไหน เทียบกับแรงดึงที่คำนวณได้ ถ้าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินมากเกินไปก็ลดความเร็วลงและใส่วัสดุหล่อลื่นให้มากขึ้น และถ้าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินน้อยเกินไปก็เพิ่มความเร็วมากขึ้นให้สัมพันธ์กัน โดยที่สารหล่อลื่นให้ใส่ตลอดเวลา

7) เมื่อลากสายเคเบิลใต้ดินถึงยังเสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Riser Pole) เพื่อให้ทำการตัดสายเคเบิลใต้ดินโดยควรจะเผื่อความยาวสายไว้ 1.50 เมตร ถึง 2.50 เมตร ไว้สำหรับการต่อสาย แล้วทำการวัดความต้านทานของสายเคเบิลใต้ดินที่ลากแล้วนั้น โดยให้ใช้เครื่องวัดค่าความเป็นฉนวน ตรวจสอบความต้านทานของสายก่อนพันเทปปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน โดยก่อนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องทำการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินก่อนทุกครั้งว่าชำรุดหรือไม่ โดยทำการวัดค่า 3 ค่าดังนี้

(1) สายตัวนำกับสายต่อลงดิน (Conductor - Shield)

(2) สายต่อลงดินกับกราวด์ (Shield - Ground)

(3) สายตัวนำกับกราวด์ (Conductor - Ground)

8) ขั้นตอนการพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable)

(1) จากปลายสายเคเบิลใต้ดินระยะ 180 มิลลิเมตร ทำการขูดครีบออกจนหมดแล้วขัดด้วยกระดาษทรายจนเรียบ

(2) จากปลายสายเคเบิลใต้ดินระยะ 76 มิลลิเมตร ให้ตัดเปลือกสายเคเบิลใต้ดินและซีลเทปออก

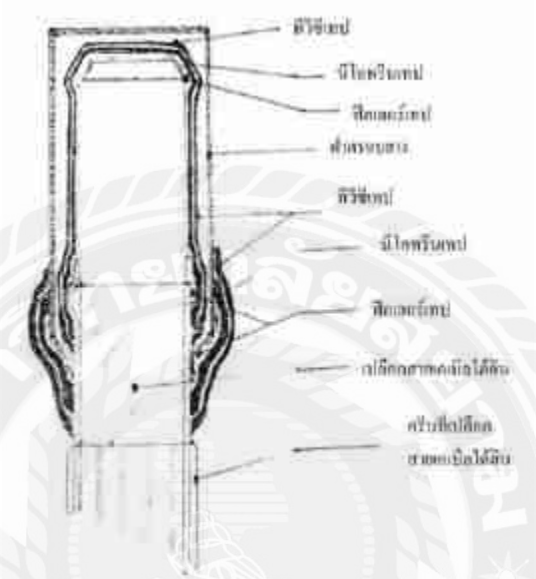
(3) จากปลายสายเคเบิลใต้ดินระยะ 13 มิลลิเมตร ให้เหลาปลายโดยรอบเพื่อเอาเซมิคอนดัคเตอร์ออก แล้วทำความสะอาดปลายสายเคเบิลใต้ดินอย่าให้มีเศษทองแดง หรือขี้เลื่อยติดอยู่

(4) ที่ขอบเปลือกสายเคเบิลใต้ดินตรงซีลเทปและปลายสายเคเบิลใต้ดิน ให้อุดด้วยฟิลเลอร์เทป จนทั่ว

(5) จากขอบเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน ระยะ 25 มิลลิเมตร พันด้วย นีโอพรีนเทปพันบน ฟิลเลอร์เทป ไปจนถึงปลายสายเคเบิลใต้ดิน ขณะพันต้องดึงให้แน่น และต้องพันจำนวน 2 ชั้น แลวพันทับด้วย พีวีซีเทปอีก 2 ชั้น

(9) สวมฝาครอบสายให้ลึกที่สุดเท่าที่จะลึกได้ จนขอบฝาครอบเสมอกับเทปที่พันไว้แล้ว

(10) ระหว่างฝาครอบและเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน ให้พันด้วย ฟิลเลอร์เทป โดยรอบอีก 1 ชั้นแล้วพันทับด้วย นีโอพรีนเทป กว้างประมาณ 130 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชั้น และดึงให้แน่น แล้วพันทับด้วย พีวีซีเทป อีก 2 ชั้น เป็นอันเสร็จสิ้นการพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน และเมื่อดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน เสร็จเรียบร้อยให้อุดปิดปากท่อให้เรียบร้อย



รูปที่ 2.88 รูปแสดงการปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน โดยวิธีการพันเทป
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2550)

2.8.7 การติดตั้งชุดต่อปลายสาย Termination มีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

1) การเตรียมพื้นที่และอุปกรณ์ตรวจสอบความเรียบร้อยของบริเวณทำงานให้สะอาด แห้ง และปลอดภัยตรวจสอบเครื่องมือให้พร้อมใช้งาน เช่น มีดปอกฉนวน เครื่องอบสายเคเบิล Torque wrench สารทำความสะอาด (cleaning solvent) ถุงมือกันไฟฟ้า ฯลฯ และยืนยันสายเคเบิลใต้ดินถูกต้องตามแบบ

2) การอบสายเคเบิล เป็นขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ก่อนติดตั้งชุดต่อปลายสายแบบ Dry Type Outdoor Termination สำหรับสายเคเบิล ชนิด XLPE ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เนื่องจากสายเคเบิล XLPE ที่ผ่านการขนส่งหรือตัดปลายสาย อาจมีความชื้นสะสมในชั้นฉนวน หากไม่อบก่อนติดตั้งจะส่งผลต่อคุณภาพของฉนวนและอาจเกิด Partial Discharge (PD) หรือ Tracking ได้ในระยะยาว โดยการให้ความร้อนแก่สายเคเบิลอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องอบสายเคเบิล (Heater) ที่สามาร

ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 4 ถึง 8 ชั่วโมง หรือมากกว่าขึ้นกับสภาพแวดล้อม

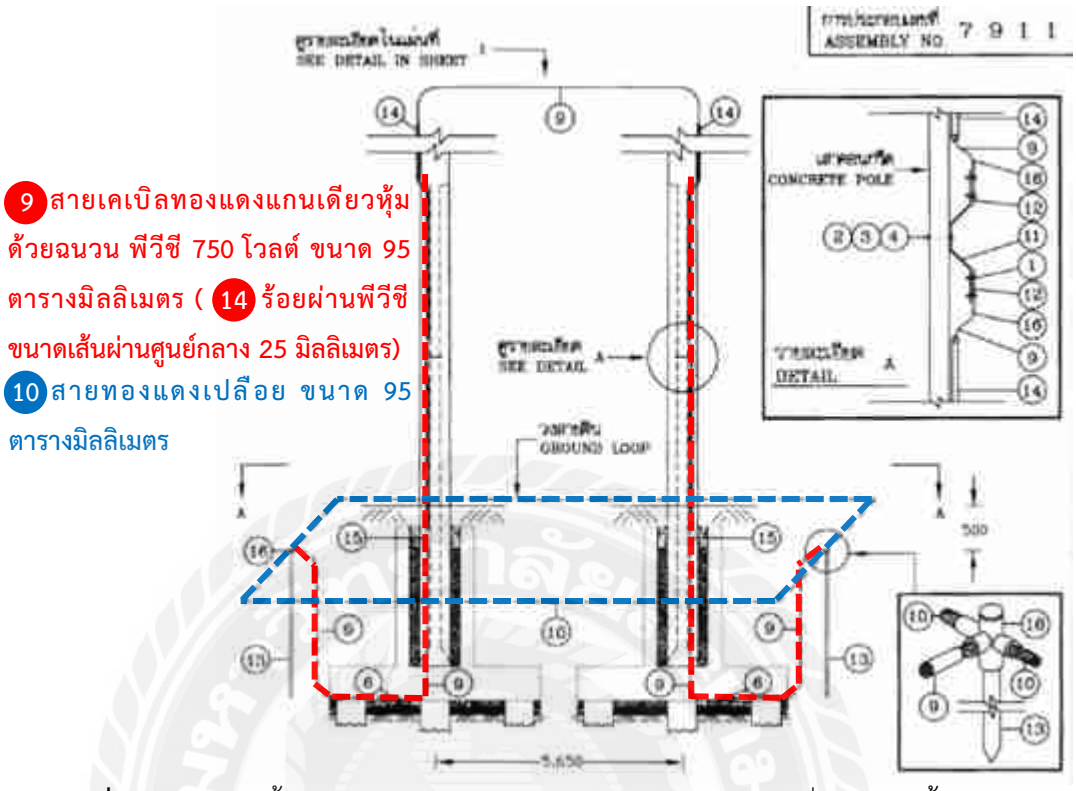
3) การปอกสายเคเบิล และการตัดสายเคเบิ้ลให้ได้ระยะตามคู่มือการติดตั้งชุดต่อปลายสาย Termination ตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด การปอกชั้น Outer Sheath (PVC หรือ PE) ตามตำแหน่งที่กำหนดปอกชั้น Semi-Conductive Layer ด้วยมีดหรือเครื่องมือเฉพาะ มีความยาวตามที่กำหนด และระมัดระวังไม่ให้การปอกชั้น Semi-Conductive Layer บาดเข้าเนื้อฉนวน

4) ทำการขัดผิว XLPE และชั้น Semi-conductive ด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดสูงตามแนวรัศมี และการทำความสะอาดและเตรียมพื้นผิวใช้สารละลายทำความสะอาด (Solvent Cleaner) ทุกชั้นฉนวนเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน ก่อนการประกอบชุดต่อปลายสาย Termination

5) การติดตั้งอุปกรณ์ประกอบชุดต่อปลายสาย Termination ได้แก่การติดตั้ง Stress Cone (ชนิด Heat-Shrink หรือ Cold-Shrink) เพื่อควบคุมสนามไฟฟ้าติดตั้งฉนวนหุ้มด้านในและด้านนอก (Insulating Tube) การติดตั้งชั้นกึ่งตัวนำภายนอก เพื่อเชื่อมต่อสายตัวนำเข้ากับอุปกรณ์ปลายทาง (Lug/Palm) และขันด้วยประแจทอร์คตามค่าที่กำหนด

2.8.8 การต่อลงดิน (Grounding) เป็นการฝังแท่งสายดินไว้ใต้ดินที่ตำแหน่งต่างๆ และต่อเชื่อมเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยสายตัวนำที่เรียกว่า สายดิน หรือสายป้องกัน ในตำแหน่งที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ซึ่งการต่อลงดินของระบบที่ Cable Riser Pole ในระบบเคเบิลใต้ดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สามารถแบ่งลักษณะของการต่อลงดินได้เป็น 3 ส่วนได้แก่

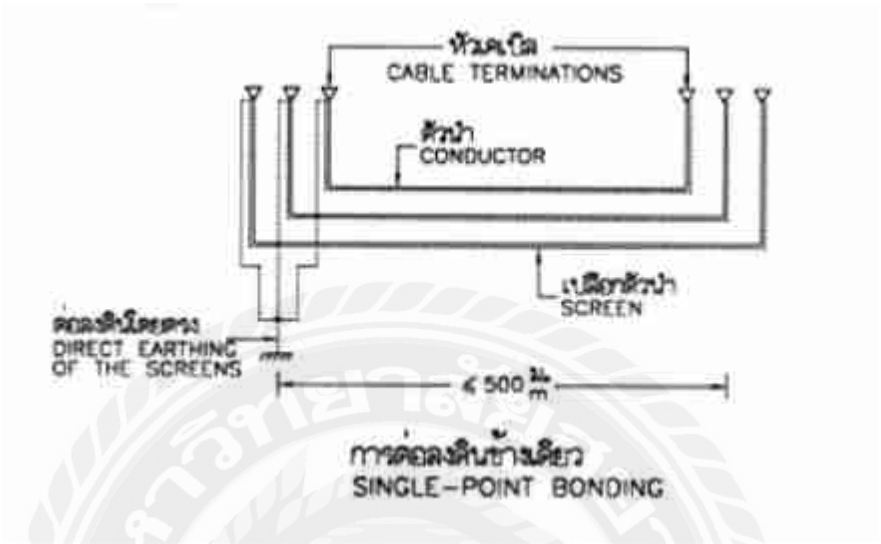
1) การติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ในส่วนที่ต้องฝังใต้พื้นดินรอบบริเวณ Cable Riser Pole มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ หมายเลข 9 สายเคเบิลทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน พีวีซี 750 โวลต์ ขนาด 95 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 10 สายทองแดงเปลือย ขนาด 95 มิลลิเมตร หมายเลข 13 กราวด์ร็อดทำด้วยเหล็กเคลือบทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 3,000 มิลลิเมตร หมายเลข 14 ท่อพีวีซีแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 4,000 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.89 การติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ในส่วนที่ต้องฝังใต้พื้นดิน
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

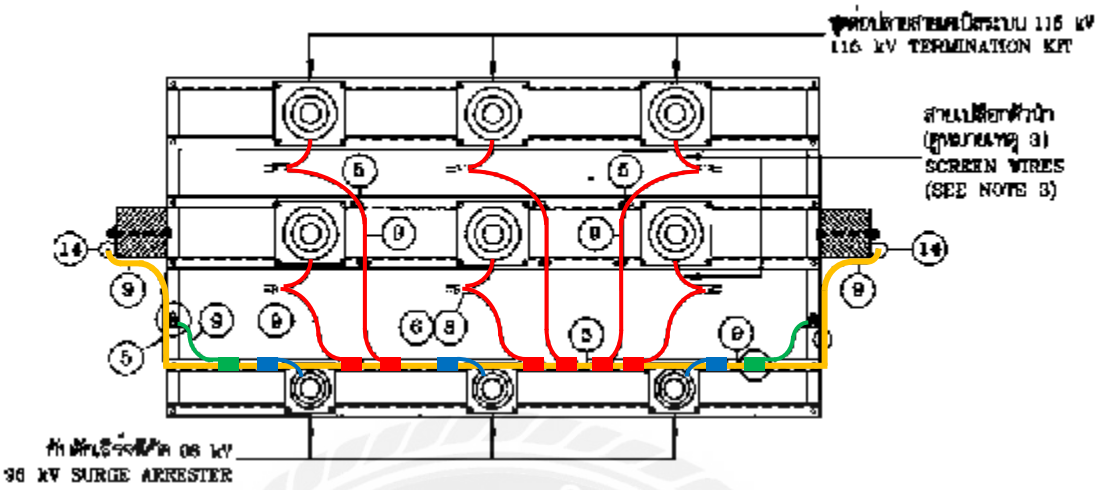
2) การติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิล การต่อลงดินเพื่อการทำงานของระบบเป็นการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ เพื่อวัตถุประสงค์ให้ระบบมีเสถียรภาพในการทำงานยิ่งขึ้น เช่น การต่อลงดินของหม้อแปลงไฟฟ้าและการต่อลงดินของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า การต่อลงดินของสายกลางในระบบไฟฟ้า และการต่อลงดินของข่ายงานไฟฟ้าผ่านตัวความต้านทานไฟฟ้าเป็นต้น สำหรับระบบเคเบิลใต้ดิน จะเป็นการต่อลงดินของสายต่อลงดิน (Shield Wire) ของสายเคเบิลใต้ดิน เช่นเดียวกับการต่อลงดินเพื่อป้องกัน เนื่องจากว่าสายเคเบิลใต้ดินจำเป็นต้องมีการต่อลงดินด้านใดด้านหนึ่งของสายเคเบิลใต้ดินเสมอ(สายต่อลงดิน (Shield Wire) ห้ามปล่อยลอยทั้งสองด้าน เพื่อให้สนามไฟฟ้าจากสายตัวนำกระจายไปยังสายต่อลงดิน (Shield Wire) อย่างสม่ำเสมอ ป้องกันการเกิดเบรคดาวน์ที่ฉนวน XLPE ของสายเคเบิลใต้ดิน และกรณีการต่อลงดินที่เสาต้น Cable Riser Pole (มีการต่อลงดินของกับดักเสิร์จและปลายสายเคเบิลใต้ดิน) ซึ่งกำหนดให้ความต้านทานดินรวมมีค่าไม่เกิน 2 โอห์มสำหรับระบบส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าต่อดิน (U_E) มีค่าไม่เกินกว่าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าบนเสาต้น Riser Pole จะทนได้ โดยเรียกการต่อลงดินนี้ว่า การต่อลงดินเพื่อการทำงาน

ของระบบ ในการก่อสร้างระบบส่งแบบเสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เช่น ระยะทางไม่เกิน 500 เมตร เป็นการต่อลงดินข้างเดียว (Single-Point Bonding)



รูปที่ 2.90 ตัวอย่างการต่อลงดินข้างเดียว (Single-Point Bonding)
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2546)

รูปที่ 2.71 แสดงการติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ในส่วนที่ติดตั้งอยู่ที่บนโครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย การติดตั้งระบบต่อลงดินมีการเชื่อมต่อกับชุดต่อปลายสาย (Termination Kit) และชุดกับดักล่อฟ้าแรงสูง (Surge Arrester) มีส่วนประกอบหลักได้แก่สายต่อลงดินของระบบ สายต่อลงดินของชุดต่อปลายสาย (Termination Kit) สายต่อลงดินของกับดักล้อฟ้าแรงสูง (Surge Arrester) และสายต่อลงดินของโครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย (Support Structure)



1) สายข่อลงดินของระบบ 2) สายต่อลงดินของชุดต่อปลายสาย

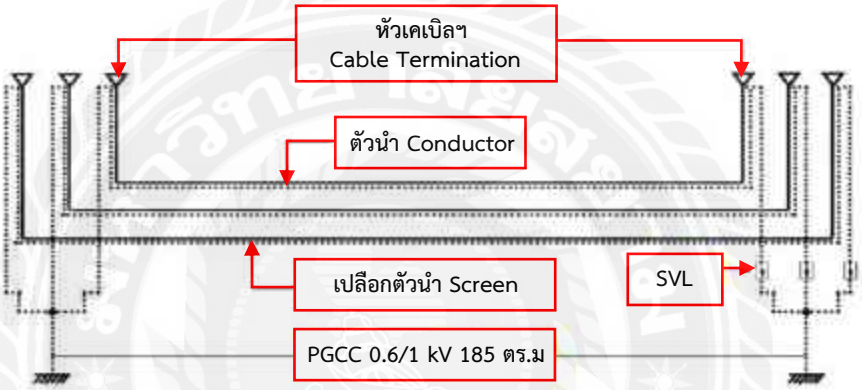
3) สายต่อลงดินของกับดักล้อฟ้าแรงสูง 4) สายต่อลงดินของโครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย

รูปที่ 2.91 การติดตั้งระบบต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ในส่วนที่ติดตั้งอยู่ที่บนโครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

3) การต่อลงดินด้วยระบบกราวด์ขนาน PGCC (Protective Grounding and Cross Bonding Cabinet) พร้อมติดตั้ง SVL (Sheath Voltage Limiter) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากแรงดันเกินในปลอกสายเคเบิล (Cable Sheath) ซึ่งโดยปกติในระบบสายเคเบิลแรงสูงแบบมีชั้นโล่ (Shielded Cable) จะมีการต่อลงดินของชั้นโล่เพื่อควบคุมศักย์ไฟฟ้า แต่ในบางกรณี โดยเฉพาะในสายยาวหรือมีการต่อลงดินปลายเดียว อาจเกิดแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage) หรือแรงดันกระชากจากฟ้าผ่าและ Switching Surge ขึ้นในปลอกสายได้ อุปกรณ์ SVL จึงมีหน้าที่สำคัญในการ จำกัดแรงดัน (Limit Voltage) ที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อฉนวนหรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับสายเคเบิล SVL มีลักษณะการทำงานของ คือ จะทำงานเฉพาะเมื่อเกิดแรงดันเกินค่ากำหนด โดยจะนำกระแสไฟฟ้าส่วนเกินระบายลงดินอย่างรวดเร็ว เพื่อรักษาระดับศักย์ไฟฟ้าให้ปลอดภัย และป้องกันไม่ให้ฉนวนของปลอกสายถูกทะลุหรือเสื่อมสภาพ SVL จะติดตั้งร่วมกับระบบการต่อลงดิน (Grounding) และ ในจุดที่ออกแบบให้ต่อกราวด์เป็นช่วง ๆ เช่น ทุกระยะ 500 เมตร ตามแนวสายเคเบิลแรงสูงใต้ดิน

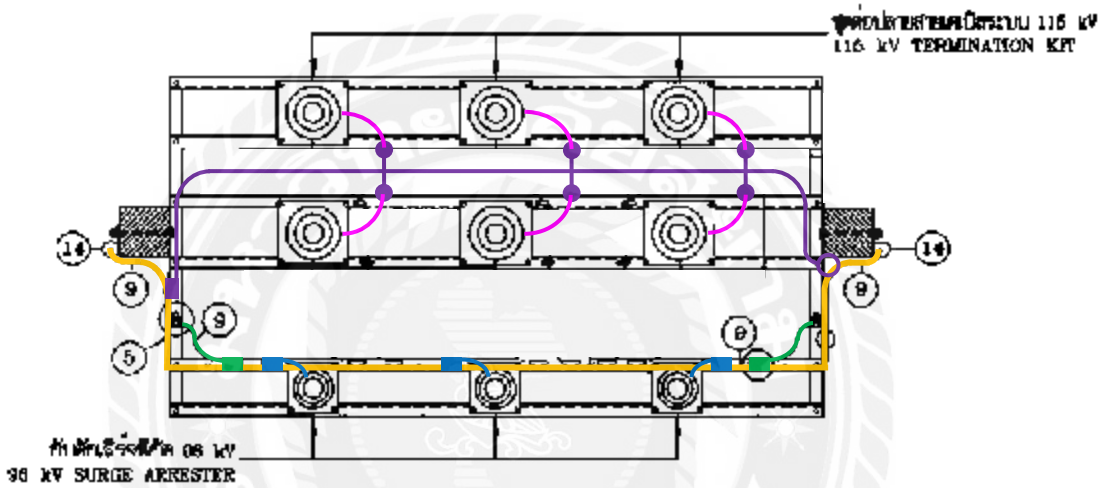
รูปที่ 2.92 SVL (Sheath Voltage Limiter)
ที่มา : https://www.powerandcables.com



รูปที่ 2.93 ตัวอย่างการติดตั้ง SVL และ PGCC สำหรับการต่อลงดินข้างเดียว (Single-Point Bonding)
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2546)

การติดตั้งสาย PGCC (ย่อมาจาก Protective Grounding and Cross Bonding Conductor) คือสายตัวนำทองแดงที่ใช้ในระบบสายเคเบิลแรงสูงใต้ดิน มีหน้าที่เชื่อมต่อและนำกระแสไฟฟ้าในชั้นปลอกโล่ของสายเคเบิล (Cable Sheath) ลงสู่ดินผ่านระบบกราวด์ รวมถึงการเชื่อมต่อในระบบ Cross Bonding เพื่อควบคุมแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นระหว่างการเดินสายไฟฟ้าในระยะไกล โดยสายเคเบิลแรงสูงแบบ Single Core ที่ใช้ในระบบไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ มีชั้นโล่ทองแดง (Copper Tape หรือ Wire Shield) อยู่รอบฉนวนหลักเพื่อควบคุมสนามไฟฟ้าและป้องกันการรั่วไหลของประจุไฟฟ้า ในขณะที่กระแสไฟฟ้าเดินทางผ่านตัวนำหลัก จะเกิด แรงดันเหนี่ยวนำและกระแสรั่วในชั้นโล่ ซึ่งต้องได้รับการระบายผ่านสายกราวด์ หากไม่มีการควบคุมแรงดันเหล่านี้ จะเสี่ยงต่อการเกิดความร้อนสะสมในชั้นเปลือก ชั้นฉนวนเสื่อมสภาพ หรือเกิดการลัดวงจร

สาย PGCC จึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่เชื่อมต่อปลอกสายจากแต่ละเฟสเข้าสู่ระบบกราวด์ โดยมักเดินสายผ่านตู้ PGCC (Protective Grounding and Cross Bonding Cabinet) ซึ่งภายในจะมีทั้งอุปกรณ์จำกัดแรงดัน (SVL) และจุดเชื่อมโยงกับระบบกราวด์หลักของสถานีหรือเสาเหล็ก สาย PGCC มีลักษณะเป็นสายทองแดงเปลือย (Bare Copper) หรือสายหุ้มฉนวนที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ เช่น 185 ตารางมิลลิเมตร หรือ 240 ตารางมิลลิเมตร เพื่อรองรับกระแสลัดวงจร (Surge Current) ที่อาจเกิดจากฟ้าผ่า หรือกระแสลัดวงจรในระบบปลอกสาย และติดตั้งอย่างมิดชิดภายในท่อ HDPE หรือท่อเหล็กที่มีระบบป้องกันการโจรกรรม



1) สายข่อลงดินของระบบ 2) สาย PGCC และ SVL

รูปที่ 2.94 การติดตั้งเชื่อมต่อสาย PGCC และ SVL ที่โครงสร้างรองรับชุดต่อปลายสาย
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

2.9 การทดสอบระบบเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

การทดสอบระบบเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มีมาตรฐานระดับชาติมากมายที่ใช้กับสายเคเบิล สำหรับมาตรฐานที่ กฟภ. ใช้อ้างอิงในการกำหนดคุณลักษณะ คือ มาตรฐาน IEC โดยสายเคเบิลแรงดันแรงสูง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ใช้มาตรฐาน IEC 60840 ทั้งนี้ในส่วนของตัวนำเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60228

หนึ่งในข้อกำหนดที่ไม่มีระบุในมาตรฐาน IBC สำหรับสายเคเบิลแรงดันปานกลาง คือปรากฏการณ์ Water Treeing ซึ่งหมายถึงว่าการใช้มาตรฐาน IEC ในการอ้างอิงจะไม่เพียงพอสำหรับการใช้งานในสภาพการติดตั้งในที่เปียกชื้น โดยเฉพาะการไม่มีชั้นกันน้ำในแนวรัศมี (Radial Watertight) ในโครงสร้างของเคเบิล ในเรื่อง Water Treeing มีความสำคัญมาก สาเหตุเพราะการเกิด Breakdown

ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ดังนั้น จึงควรจะมีการทดสอบ Water treeing อยู่ในการทดสอบ Type Test และการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบด้วย ดังเช่นในมาตรฐาน NEN 3620 (มาตรฐานการทดสอบสายของประเทศเนเธอร์แลนด์)

ในหลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะในยุโรปและอเมริกา การทดสอบ Water Treeing ในสายเคเบิลทุกๆขนาดที่ใช้ในระดับแรงดันปานกลางจะถูกกำหนดไว้ในการทดสอบ Type Test เหตุผลหนึ่งก็คือประเทศเหล่านี้ประสบปัญหาหลายประการเกี่ยวกับ Water Treeing และเคเบิลที่ใช้โครงสร้างที่มีชั้นกั้นน้ำก็จะมีราคาแพงมาก ในการพัฒนาการทดสอบการเร่งอายุการใช้งานของเคเบิลเป็นเรื่องค่อนข้างยากเพราะมันเกี่ยวพันกับเรื่องของวัสดุที่ใช้มีความแตกต่างหลากหลาย ขบวนการผลิตและสภาพแวดล้อมในการติดตั้งใช้งาน ผลที่ตามมาทำให้มีความแตกต่างของ Water Treeing มาก

การทดสอบ Water Treeing ที่สำคัญๆ ที่ใช้กันคือ

1. Europe, Unipede	$2.5U_0$,	50 Hz, 30 ℃,	24 Months
2. Germany, VDE draft	$4U_0$,	50 Hz, 50 ℃,	24 Months
3. Harmonised Europe	$3U_0$,	50 Hz, 40 ℃,	24 Months
4. Italy, ENEL/Pirelli	$2.5U_0$,	50 Hz, 90-70 ℃,	6 Months
5. USA, AEIC	$3U_0$,	60 Hz, 90-45 ℃,	cycling, 4 months
6. The Netherlands	$2.5U_0$,	500 Hz, 30 ℃,	4 months

การทดสอบเคเบิลแรงสูง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ (IEC 60840) ก่อนที่จะทำการทดสอบ Electrical Type Test ต้องมีการตรวจสอบความหนาของฉนวนของตัวอย่าง โดยทั่วไปจะทำการวัด 6 จุด นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะต้องไม่แตกต่างจากค่าที่ระบุไว้เกินร้อยละ 5 ถ้าความหนาเฉลี่ยเกินกว่าร้อยละ 5 ของค่าที่ระบุ ในการทดสอบความทนแรงดันไฟฟ้าจะต้องปรับค่าแรงดันทดสอบเพื่อให้ค่า Electrical Stress ที่ Conductor Screen เท่ากับค่า Stress ขณะที่ได้รับเมื่อความหนาเท่ากับค่าที่ระบุ แต่หากค่าความหนาเฉลี่ยของฉนวนมากกว่าร้อยละ 15 ของค่าที่ระบุไว้ จะไม่สามารถใช้ตัวอย่างนั้นทำการทดสอบ Type Test

รูปที่ 2.95 แสดงการตรวจสอบความหนาของฉนวน 6 ตำแหน่ง

พิกัดแรงดันที่ใช้ทดสอบสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC 60840 มีดังนี้

ตารางที่ 2.4 พิกัดแรงดันที่ใช้ทดสอบสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC 60840

U_0 (kV)	26	36	64	76	87
U (kV)	45 to 47	60 to 69	110 to 115	132 to 138	150 to 161
U_m (kV)	52	72.5	123	145	170

เมื่อ U_0 คือ แรงดันเฟสเทียบกับกราวด์ (กิโลโวลต์)

U คือ แรงดันเฟส-เฟส (กิโลโวลต์)

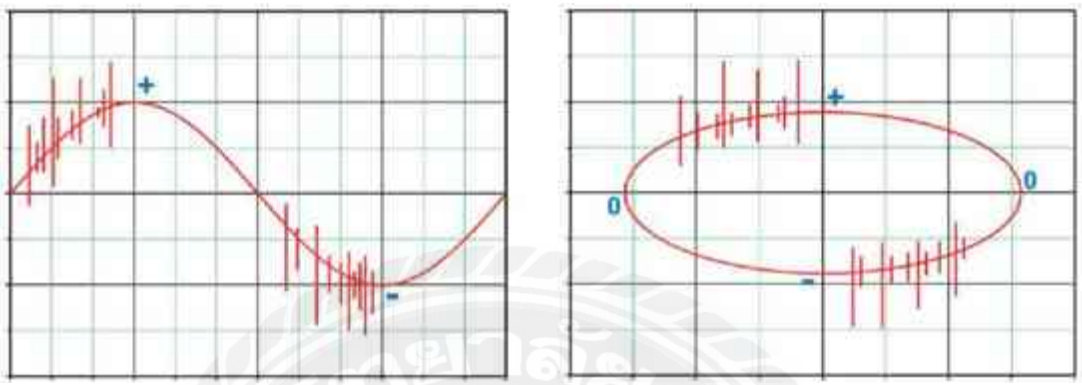
U_m คือ แรงดันสูงสุดของระบบ (กิโลโวลต์)

2.9.1 การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Tests) เป็นการทดสอบที่ทำก่อนนำผลิตภัณฑ์สู่ท้องตลาด เพื่อแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเป็นที่พอใจ ซึ่งต้องการการทดสอบที่สมบูรณ์เป็นหลักฐานเพียงครั้งเดียว โดยไม่ต้องทดสอบซ้ำ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในวัสดุประกอบของสายเคเบิลใต้ดินหรือการออกแบบหรือกระบวนการผลิต ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

1) Partial Discharge Test (PD Test) การทดสอบปฏิบัติตาม IEC 60885-2 ก่อนทำการทดสอบให้ทำการ Calibrate เครื่องมือวัด PD ด้วย PD Calibrator 5 พิโคคูลอมป์ ให้เรียบร้อยก่อนป้อนแรงดันทดสอบเพิ่มถึง $2U_0$ แล้วลดลงมาอยู่ที่ $1.73U_0$ จึงวัดค่า PD ในการทดสอบต้องให้แน่ใจว่าไม่ทำการทดสอบในขณะที่มี PD Background (Harmonic หรือ Noise ในระบบ) ในระดับสูงโดยปกติจะทำในระหว่างการทำ Routine Test เมื่อผลิตเสร็จ เกณฑ์ตัดสินต้องมีค่า PD ไม่เกิน 5 พิโคคูลอมป์

รูปแบบเฉพาะของดีสชาร์จบางส่วนการหารูปแบบเฉพาะของดีสชาร์จบางส่วน (PD Pattern) หรือ ลายนิ้วมือ (finger print) ของ PD ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หม้อแปลง สายเคเบิล หม้อแปลงวัด ปลอกฉนวนนำสายไฟ ฯลฯ ได้ศึกษามานานกว่าครึ่งศตวรรษจนถึงปัจจุบัน [ELT011, 1969a] [ELT011, 1969b] [TB676, 2017] [TB728,2018] วัตถุประสงค์ก็เพื่อประเมินสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าว่าพร้อมที่จะทำงานหรือต้องทำการบำรุงรักษา โดยมีเป้าหมายสูงสุดคือทำนายอายุการใช้งานที่เหลือของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น

ในอดีต การแสดงรูปแบบเฉพาะของ PD ทำโดยการนำสัญญาณของ PD มาขยายและซ้อนบนรูปคลื่นแรงดันทดสอบแล้วแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป ดังแสดงในรูปที่ 2.96 [ELT011, 1969a]

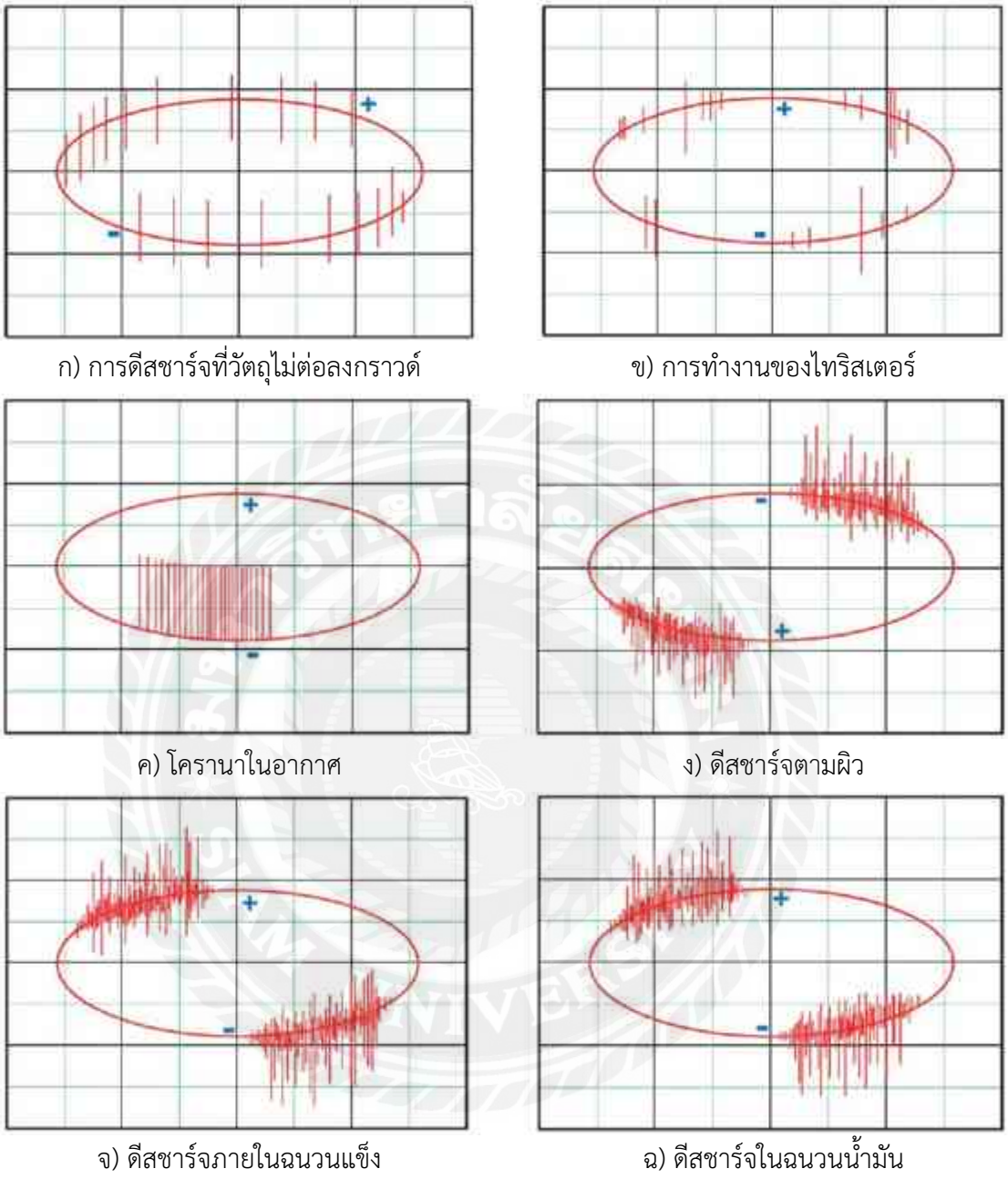


ก) แสดง PD บนรูปไซน์ (Sinewave Time-Base) ข) แสดง PD บนรูปวงรีไซน์ (Elliptical Time-Base)

รูปที่ 2.96 รูปแบบเฉพาะของ PD เมื่อแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

ที่มา : ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ (2565)

จากนั้นก็ศึกษารูปแบบเฉพาะของ PD เช่นที่แสดงรูปที่ 2.97 แล้วบันทึกไว้เป็นฐานข้อมูล หากในการทดสอบครั้งใดมี PD ขึ้นก็นำรูปแบบ PD ที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับรูปแบบเฉพาะที่เก็บไว้ เพื่อพยายามที่จะระบุว่า PD นั้นเกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน เช่น โคโรนา จุดต่อไม่แน่นฯลฯ หรือเกิดจากอุปกรณ์ทดสอบเอง ถ้าเกิดจากอุปกรณ์ทดสอบเกิดเพราะอะไรและเกิดที่ตำแหน่งไหน



ก) การดีสชาร์จที่วัตถุไม่ต่อลงกราวด์ ข) การทำงานของไทริสเตอร์

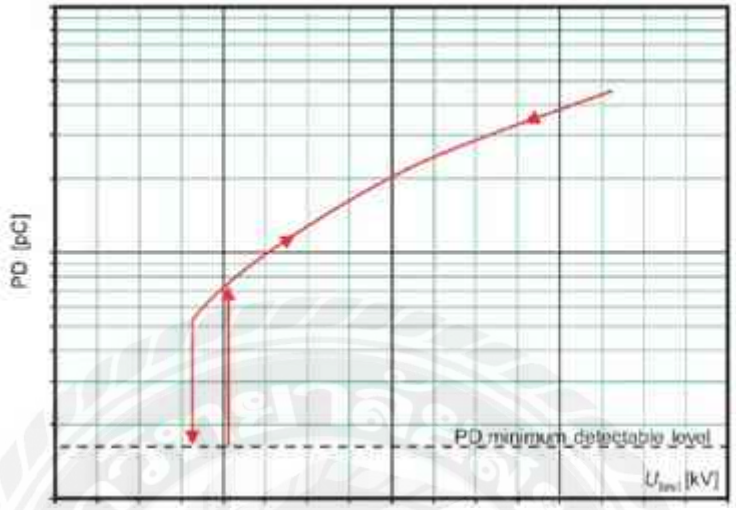
ค) โคราน่าในอากาศ ง) ดีสชาร์จตามผิว

จ) ดีสชาร์จภายในฉนวนแข็ง ฉ) ดีสชาร์จในฉนวนน้ำมัน

รูปที่ 2.97 ลักษณะการเกิด Discharge ระหว่างการทดสอบ Partial Discharge จากสาเหตุต่างๆ

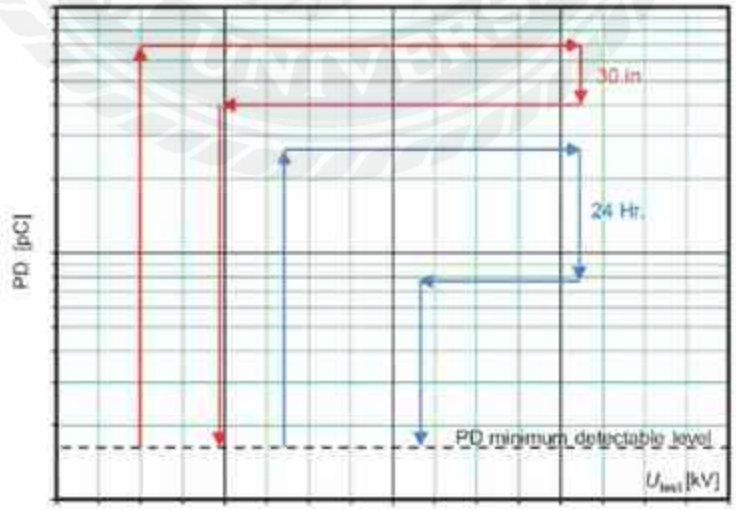
ที่มา : ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ (2565)

นอกจาก PD จะมีรูปแบบเฉพาะต่างกันแล้ว การศึกษายังพบว่าขนาดของ PD ขึ้นกับขนาดและเวลาที่ป้อนแรงดันอีกด้วย ดังตัวอย่างที่แสดงรูปที่ 2.98และรูปที่ 2.99



รูปที่ 2.98 เมื่อป้อนแรงดันทดสอบจนถึงค่าแรงดันเริ่มเกิด PD
ที่มา : ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ (2565)

เมื่อป้อนแรงดันทดสอบจนถึงค่าแรงดันเริ่มเกิด PD ขนาดของ PD จะเพิ่มขึ้นทีทันใด และเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นขนาดของ PD ก็เพิ่มขึ้นตาม แต่เมื่อลดแรงดันลงจะพบว่าแรงดันที่ PD หยุดเกิดจะต่ำกว่าแรงดันเริ่มเกิด PD

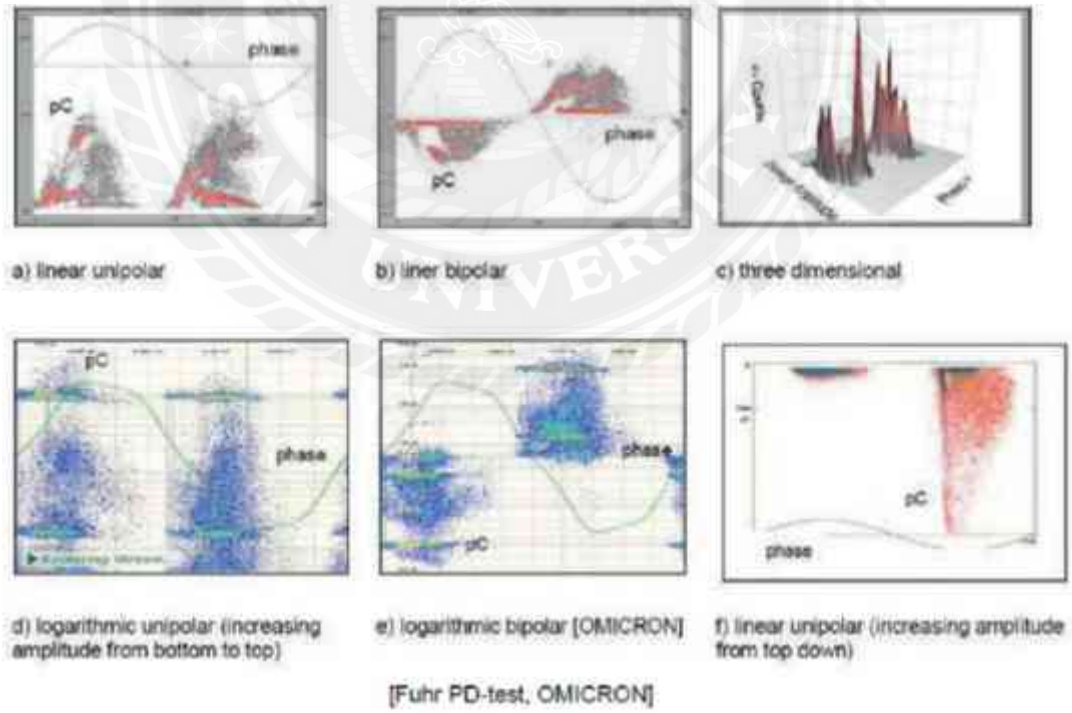


รูปที่ 2.99 เมื่อป้อนแรงดันทดสอบจนถึงค่าแรงดันเริ่มเกิด PD
ที่มา : ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ (2565)

เมื่อป้อนแรงดันทดสอบจนถึงค่าแรงดันเริ่มเกิด PD ขนาดของ PD จะเพิ่มขึ้นทันทีทันใดและเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นขนาดของ PD จะคงที่ แต่เมื่อคงแรงดันไว้ 30 นาที แล้วลดแรงดันลงจะพบว่าแรงดันที่ PD หยุดเกิดจะสูงกว่าแรงดันเริ่มเกิด PD เมื่อป้อนแรงดันทดสอบซ้ำอีกครั้งก็พบว่าแรงดันเริ่มเกิด PD มีค่าสูงกว่าครั้งแรกและเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นขนาดของ PD จะคงที่คล้ายกับครั้งแรกที่ป้อนแรงดัน และเมื่อคงแรงดันไว้ 24 ชั่วโมง แล้วลดแรงดันลงจะพบว่าแรงดันที่ PD หยุดจะสูงกว่าครั้งแรกขึ้นไปอีก

โปรดสังเกตว่าการแสดงผล PD บนคลื่นรูปวงรีหรือรูปไซน์ในสมัยก่อนบนจอออสซิลโลสโคป สัญญาณ PD จะขยับไปขยับมาตลอดเวลาไม่เกิดซ้ำที่ตำแหน่งเดิม การบันทึกรูปคลื่นที่แสดงในรูปที่ 2.98 และรูปที่ 2.99 จึงต้องใช้กล้องถ่ายรูป แล้วนำมาสแก็ตอีกครั้งในภายหลัง

เมื่อเทคโนโลยีทางด้านสารกึ่งตัวนำก้าวหน้าขึ้นจนสามารถสร้าง DSO หรือตัวแปลงเป็นดิจิทัลได้ เราจึงบันทึกข้อมูลของ PD ได้ถูกต้องขึ้นและที่สำคัญคือเราสามารถบันทึกขนาดของ PD ที่เกิดขึ้นโดยทราบว่าเกิดขึ้นที่เวลาใดของรูปแรงดันทดสอบ (เกิดที่มุมกี่องศาของรูปคลื่นไซน์) จากนั้นนำข้อมูลการเกิด PD ในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 วินาที มาแสดงผลในลักษณะที่เรียกว่า ดีสชาร์จบางส่วนตามเฟส (Phase Resolve Partial Discharge, PRPD) ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.100



รูปที่ 2.100 การแสดงขนาด PD ในลักษณะของ PRPD ในช่วงเวลาหนึ่ง

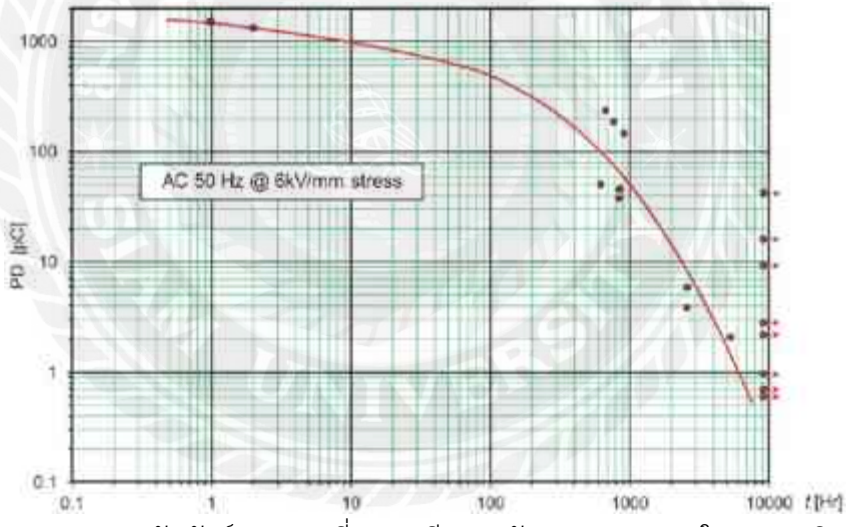
ที่มา : ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ (2565)

จากนั้นจึงใช้ซอฟต์แวร์คำนวณค่าต่างๆ เช่น จำนวน PD ที่เกิดที่มุมต่างๆ ขนาดประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่มุมนั้น ขนาดประจุสูงสุดที่เกิดขึ้น พลังงานของประจุแต่ละครั้ง $(\frac{1}{2}q_i{U_i}^2)$ พลังงานของประจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 วินาที ฯลฯ แล้วนำผลการคำนวณทั้งหมดมาใช้ในการหาตำแหน่งที่เกิด PD วิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิด PD และพยายามที่จะทำนายอายุการใช้งานที่เหลือของฉนวน ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังทำไม่ได้

การวิเคราะห์ PD ที่เกิดในสายเคเบิลเมื่อ 50 ปีก่อน [ELT011, 1969b] ได้ตั้งคำถามสำคัญในการทำนายอายุการใช้งานที่เหลือของฉนวนไว้ 5 ข้อ คือ

1) <u>ขนาดของ PD มีความสัมพันธ์กับอายุของฉนวนหรือไม่</u> คำตอบคืออาจใช่หรือไม่ใช่ แน่นอนว่าเวลาที่ฉนวนทนแรงดันได้จากผลการทดลองขึ้นกับขนาดของ PD ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.101 แต่ในทางปฏิบัติเราไม่ทราบว่าสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิด PD ที่สิ่งแปลงปลอมในฉนวนมีค่าเท่าใด

2) <u>ขนาดของ PD มีความสัมพันธ์กับขนาดของสิ่งแปลกปลอมหรือไม่</u> จากผลการทดลอง คำตอบคืออาจใช่ แต่ในทางปฏิบัติเราไม่ทราบสิ่งแปลกปลอมมีขนาดเท่าไร



รูปที่ 2.101 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ฉนวนเสียหายกับขนาดของ PD ในสายเคเบิล PVC

ที่มา : ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ (2565)

(3) อายุของฉนวนขึ้นอยู่กับประเภทของสิ่งแปลกปลอมหรือไม่ คำตอบคือใช่ แต่ในทางปฏิบัติเราไม่ทราบว่าสิ่งแปลกปลอมคืออะไร

(4) PD แสดงถึงการเสื่อมสภาพของฉนวนหรือไม่ คำตอบคือใช่ แต่เราไม่ทราบว่าอัตราการเสื่อมสภาพเป็นอย่างไร เราอาจใช้ฉนวนเป็นเวลานานก่อนที่จะเกิด PD จากนั้น PD อาจมี

ค่าคงที่เป็นเวลานาน แต่อยู่ๆ ฉนวนก็เบรกดาวน์ หรือ PD มีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาซึ่งไม่ทราบว่าจะเบรกดาวน์เมื่อใด ดังนั้นการที่เราทราบขนาดของ PD จึงไม่มีความหมายในการหาอัตราการเสื่อมสภาพของฉนวนและทำนายว่าจะเกิดเบรกดาวน์เมื่อใด

(5) ขนาดของ PD สามารถใช้ในการพิจารณาคุณภาพของฉนวนหรือไม่ คำตอบคือใช่แน่นอนเพราะเป็นการตรวจสอบคุณภาพในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นการวัด PD จึงเป็นการทดสอบประจำของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงแทบทุกประเภทที่ใช้ฉนวนที่ไม่สามารถคืนสภาพการเป็นฉนวนได้เอง

2) Bending Test เป็นการทดสอบจำลองสภาพการติดตั้งใช้งาน โดยใช้ตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินยาวอย่างน้อย 10 เมตรมาดัดโค้งงอรอบทรงกระบอก ที่อุณหภูมิห้องทดสอบอย่างน้อย 1 รอบทรงกระบอก หลังจากนั้นคลายออกแล้วดัดโค้งงอรอบทรงกระบอก ในทิศทางตรงกันข้ามนับเป็น 1 ครั้ง จะต้องดัดโค้งงอทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำตัวอย่างที่ทดสอบความโค้งงอแล้ว มาวัดการปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharge) เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอกที่ใช้ทดสอบ ต้องไม่น้อยกว่า

(1) 25(d+D) + 5 % สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่มีตัวป้องกันน้ำโดยรอบเป็นตะกั่ว ตะกั่วเจือโลหะลูกฟูก หรือห่อด้วยเทปโลหะบางตลอดความยาว

(2) 20(d+D) + 5% สำหรับสายเคเบิลใต้ดินประเภทอื่นๆ

เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่วัดได้ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดินที่วัดได้ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

3) Tan δ Measurement การวัดค่า ทำที่อุณหภูมิระหว่าง 95-100 องศาเซลเซียส โดยป้อนแรงดันอย่างต่ำ 2 กิโลโวลต์ (แนะนำให้ใช้แรงดันเท่ากับ U_0) ค่าที่ได้ต้องไม่มากกว่า $1x10^{-4}$ ที่ค่า $80x10^{-4}$ เป็นค่าที่สูงเกินไป

4) Heating Cycle Test ใช้ Current Transformer ป้อนกระแสเข้าตัวนำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของตัวนำอยู่ระหว่าง 95-100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงสุดท้าย (ชั่วโมงที่ 7 ถึง 8) อุณหภูมิต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยหลังจากป้อนกระแสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วตัดกระแสออก ปล่อยให้ตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินเย็นลงอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ทำอย่างนี้ 20 รอบ (ไม่มีการป้อนแรงดันในขณะที่ป้อนกระแส และไม่มีการกำหนดช่วงเวลาและอุณหภูมิการปล่อยให้เย็นตัวของสายเคเบิลใต้ดินหลังจากทำครบ 20 รอบ ซึ่งต่างจากใน IEC 60840 หรือ มาตรฐานอื่นๆ ที่มีการกำหนด) หลังจากนั้นให้ทำการทดสอบ Partial Discharge Test อีกครั้ง (การทดสอบ Heating Cycle Test 1000 hours ด้วยแรงดัน $2.5U_0$ 12 h on/12 h off จำนวน 30 รอบ จะให้ผลที่ดีกว่าจะสามารถขจัดสายเคเบิลใต้ดินที่มีคุณภาพต่ำได้ : คำแนะนำจาก KEMA)

5) Impulse Voltage Test followed by Power Frequency Voltage Test เป็นการทดสอบแรงดัน Impulse ที่กำหนด ทางบวกและทางลบอย่างละ 10 ครั้ง (125 กิโลโวลต์ และ 170 กิโลโวลต์ สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 22 กิโลโวลต์ และ 33 กิโลโวลต์ ตามลำดับ) ในขณะที่สายเคเบิลใต้ดินมีอุณหภูมิ 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส สายเคเบิลใต้ดินต้องไม่มีการ Breakdown ระหว่างการทดสอบ แล้วทำการทดสอบ Voltage Test ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะต้องปล่อยสายเคเบิลใต้ดินเย็นลงโดยทิ้งไว้อย่างน้อย 3 ชั่วโมงหลัง จากทดสอบ Impulse แล้วป้อน A.C. Voltage ที่ $3.5U_0$ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อตรวจสอบการ Breakdown ภายหลังจากทดสอบ Impulse Voltage Test

6) Voltage Test for 4 hours เป็นการป้อนแรงดันทดสอบในเวลานานๆ จะต้องกระทำในทุกงวดการผลิตโดยตัวอย่างที่ทดสอบต้องมีความยาวอย่างต่ำ 5 เมตร ค่อยๆ เพิ่มแรงดันทดสอบจนถึงค่า $4U_0$ คงแรงดันไว้ 4 ชั่วโมง ต้องไม่เกิดการ Breakdown การทดสอบนี้จะทำให้อายุของสายเคเบิลใต้ดินสั้นลงกว่าที่คาดการณ์ไว้ ถ้าทำกับสายเคเบิลใต้ดินทั้งเส้น

7) Resistivity of Semi-Conducting Screens ทำการวัดค่าความต้านทานของ Conductor Screen และ Insulation Screen ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ทั้งก่อนและหลังเร่งอายุโดยการนำตัวอย่างใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 + 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที แล้วจึงวัดขนาดของชิ้นตัวอย่างและคำนวณตามวิธีที่มาตรฐานกำหนด เพื่อหาค่าสภาพต้านทาน ได้แก่ ค่า Resistivity ของ Conductor Screen ต้องมีค่าน้อยกว่า 1000 โอมห์-เมตร และค่า Resistivity ของ Insulation Screen ต้องมีค่าน้อยกว่า 500 โอมห์-เมตร (ค่า โอมห์-เมตร มาจาก โอมห์เมตร^2/เมตร)

8) Measurement of Dimensions ทำการวัดค่าความหนาของชั้นฉนวนและส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างที่ทดสอบเป็นสายเคเบิลใต้ดินปกติที่ไม่ได้มีการปรับเพิ่มเพื่อให้ผ่านการทดสอบ และในระหว่างการตรวจวัดมิติ ขนาดต่างๆ จะต้องตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำด้วย (Raw Material)

9) Test for determining the mechanical properties of insulation before เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฉนวน (Tensile Strength & Elongation, at break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

10) Test for determining the mechanical properties of Non–Metallic Sheath before and after ageing. เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของ Non–Metallic Sheath (Tensile Strength & Elongation ,At break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

11) Water absorption test on insulation การทดสอบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจะดูว่าฉนวนจะมีการดูดซึมน้ำหรือไม่ โดยนำตัวอย่างฉนวนมาชั่งหาน้ำหนักอย่างละเอียดก่อน แล้วจุ่มลง

ในน้ำร้อนในระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นนำมาวัดน้ำหนักของฉนวนอีกครั้ง ซึ่งจะรวมการดูดซึมของน้ำไว้แล้ว โดยปกติผลการทดสอบจะได้ค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้มาก

2.9.2 การทดสอบทางไฟฟ้ากับสายเคเบิลใต้ดิน (Electrical on Completed Cable)

1) Bending Test followed by Partial Discharge Test ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง ยกเว้นการวัดค่า Partial Discharge ให้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าทดสอบจนกระทั่งเท่ากับ 1.75 U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เท่ากับ 112 กิโลโวลต์) คงแรงดันไว้เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นค่อยๆ ลดแรงดันไฟฟ้าทดสอบจนเหลือ 1.5 U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เท่ากับ 96 กิโลโวลต์) จึงวัดค่า Partial Discharge ต้องไม่เกิน 5 พิโคคูลอมบ์

2) Tan δ Measurement เป็นการวัดค่า Dielectric Losses ของสายเคเบิลใต้ดิน โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิของตัวนำสูงกว่าพิกัดอุณหภูมิสูงสุด 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่ฉนวนเป็น XLPE ทำการทดสอบที่อุณหภูมิที่ตัวนำระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เท่ากับ 64 กิโลโวลต์) แล้ววัดค่าตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า ถ้าในการทดสอบมีการประกอบส่วนประกอบเช่น หัวเคเบิล จะต้องแยกส่วนของส่วนประกอบออกโดยการทำ Soft Interruption โดยการแยก Metallic Screen ที่ระยะประมาณ 30 เซนติเมตร จากส่วนประกอบ ส่วนของ Semi-Conductive Layer ซึ่งมีค่าความต้านทานสูงจะทำให้เกิดการแยกส่วนของสายเคเบิลใต้ดินออกจากส่วนประกอบ

3) Heating Cycle Voltage Test followed by Partial Discharge Test เป็นการทดสอบจำลองสภาพสภาวะใช้งาน โดยดัดตัวอย่างให้เป็นรูปตัวยู มีเส้นผ่านศูนย์กลางเช่นเดียวกับการทดสอบความดัดโค้ง และทำให้ร้อนด้วยวิธีการที่เหมาะสมให้อุณหภูมิตัวนำระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนกับตัวอย่างอย่างน้อย 8 ชั่วโมง โดยให้อุณหภูมิตัวนำระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 ชั่งโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงตามธรรมชาติอย่างน้อย 16 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบต้องทำจำนวน 20 รอบ ระหว่างทดสอบจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ $2U_0$ (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เท่ากับ 128 กิโลโวลต์) หลังจากครบรอบสุดท้ายนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าการปล่อยประจุบางส่วนที่อุณหภูมิห้องทดสอบ หรือหากยังไม่ทดสอบในขั้นตอนนี้ให้ทดสอบภายหลังจากทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์

4) Impulse voltage test followed by a power frequency voltage test ใช้ตัวอย่างเดียวกับการทดสอบความทนทานไฟฟ้าขณะเกิดวัฏจักรการให้ความร้อน ทำให้อุณหภูมิตัวนำอยู่ระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส ทดสอบแรงดันอิมพัลส์ 550 กิโลโวลต์ รูปคลื่นบวก

10 ครั้ง และรูปคลื่นครั้ง หลังจากนั้นนำไปทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 2.5 $2U_0$ (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เท่ากับ 160 กิโลโวลต์) เป็นเวลา 15 นาที การทดสอบสามารถดำเนินการได้ขณะปล่อยให้สายเคเบิลใต้ดินเย็นลงโดยธรรมชาติหรือที่อุณหภูมิห้องทดสอบ

2.9.3 การทดสอบกับส่วนต่างๆ ของสายเคเบิลใต้ดิน (Non-Electrical Type Tests on Cable Components)

1) Conductor examination and check of dimensions ตรวจสอบตัวนำ มิติขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของสายเคเบิลใต้ดิน

2) Resistivity of Semi-Conductive Layers ทำการวัดค่าความต้านทานของ Conductor Screen และ Insulation Screen ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ทั้งก่อนและหลังเร่งอายุโดยการนำตัวอย่างใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 + 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที แล้วจึงวัดขนาดของชิ้นตัวอย่างและคำนวณตามวิธีที่มาตรฐานกำหนด เพื่อหาค่าสภาพต้านทาน ได้แก่ ค่า Resistivity ของ Conductor Screen ต้องมีค่าน้อยกว่า 1000 โอมห์-เมตร และค่า Resistivity ของ Insulation Screen ต้องมีค่าน้อยกว่า 500 โอมห์-เมตร (ค่า โอมห์-เมตร มาจาก โอมห์เมตร2/เมตร)

3) Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฉนวน (Tensile Strength & Elongation, at break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

4) Tests for determining the mechanical properties of Non–Metallic Sheath before and after ageing เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของ Non–Metallic Sheath (Tensile Strength & Elongation ,at break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

5) Ageing Tests on pieces of completed cable to check compatibility of materials เป็นการทดสอบความเข้ากันได้ของวัสดุประกอบของสายเคเบิลใต้ดิน โดยตัดตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 + 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จึงแยกฉนวนและเปลือกมาเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบ Tensile strength & Elongation

6) Pressure Test at high temperature on sheath ทดสอบการเปลี่ยนรูปขณะมีแรงกดที่อุณหภูมิสูงของเปลือก

7) Hot-Set test การทดสอบนี้เพื่อตรวจสอบการทำ Cross-Linking ว่าดีพอหรือไม่ หากวัสดุมีการ Cross-Linking ที่ดีก็จะมีคุณสมบัติทนอุณหภูมิใช้งานที่สูง โดยการนำตัวอย่างจากบริเวณชั้นใน กลาง และ นอก ของฉนวน นำมาถ่วงน้ำหนัก 20 N/cm2 และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ

200 + 3 องศาเซลเซียส ถ้าวัสดุมีการ Cross-Linking ไม่ดีจะมีค่า Elongation เกินกว่าที่กำหนด (เช่น ตัวอย่างอาจขาด) โดยปกติส่วนของฉนวนที่มี Cross-Linking ต่ำจะเป็นส่วนชั้นในที่ใกล้ตัวนำที่สุด อย่างไรก็ตามหากในระหว่างการผลิตมีการให้ความร้อนกับตัวนำ ฉนวนส่วนกลางจะมี Cross-Linking ต่ำ

8) Carbon Black Content of PE sheath นำชิ้นส่วนของเปลือกมาเผาอย่างสมบูรณ์ จนเหลือแต่ Carbon Black นำไปชั่งน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วนก่อนเผา การทดสอบนี้เพื่อตรวจสอบว่ามี Carbon Black ผสมอยู่เพียงพอหรือไม่ซึ่งจะเป็นการแสดงความทนต่อ UV Radiation เมื่อมีส่วนผสมของ Carbon Black มากขึ้นวัสดุจะมีความเป็น Semi-Conductive ห้องปฏิบัติการสมัยใหม่ทั่วไปจะมีเครื่องมืออัตโนมัติที่สามารถหาค่าได้

9) Shrinkage Test for XLPE Insulations ทดสอบการหดตัวของฉนวน โดยเตรียมตัวอย่างฉนวนจากสายเคเบิลใต้ดิน มาทำเครื่องหมายและวัดระยะ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 + 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง วัดระยะเปรียบเทียบระหว่างก่อนและการทดสอบนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากหากสายเคเบิลใต้ดินมีการหดตัวในอุปกรณ์ประกอบ เช่น หลังจากเกิดการลัดวงจรผ่านสายเคเบิลใต้ดิน หากการหดตัวมีค่าสูงจะทำให้เกิดโพรงอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดการ Breakdown ได้ ผู้ผลิตอุปกรณ์ประกอบบางรายไม่ได้มีวิธีเผื่อเหตุการณ์ดังกล่าวไว้

10) Water Penetration Test ทดสอบการซึมของน้ำ โดยปอกตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งยาว 3 เมตรที่ตำแหน่งกึ่งกลางโดยรอบกว้างประมาณ 50 มิลลิเมตรจนถึงชั้น Insulation Screen นำไปติดตั้งกับเครื่องมือเพื่อให้น้ำเข้าตรงรอยที่ปอก ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วทำให้ตัวนำร้อนและปล่อยให้เย็นตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดเป็นวัฏจักร รวม 10 รอบ แล้วตรวจว่ามีน้ำซึมออกที่ปล่อยทั้งสองด้านของตัวอย่างหรือไม่หลังอบที่ปล่อยให้เย็น

11) การทดสอบประจำ (Routine Tests) เป็นการทดสอบที่ทำโดยผู้ผลิตบนความยาวแต่ละความยาวของสายเคเบิลใต้ดินที่ผลิตแต่ละเส้น เพื่อตรวจสอบว่าตลอดความยาวของสายเคเบิลใต้ดินทั้งหมดที่ผลิตแต่ละเส้นเป็นไปตามข้อกำหนด Routine tests

(1) Measurement of The Conductor Resistance การทดสอบนี้กระทำทุกๆ ความยาวที่ผลิต ทำการวัดเมื่อสายเคเบิลใต้ดินมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม โดยจะต้องนำสายเคเบิลใต้ดินที่จะวัดไปวางในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ค่าความต้านทานตัวนำที่วัดได้ต้องทำการแปรผันไปที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความยาว 1 กิโลเมตร การแปรค่าความต้านทานเป็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำได้จากสูตร

$R_{20} = R_t \times 254.5/(234.5+t) \times 1000/L$ หน่วย Ω/km for Cu

$R_{t0} = R_t \times 248/(228+t) \times 1000/L$ หน่วย Ω/km for Al

โดยที่ R = ความต้านทานของสายเคเบิลใต้ดินยาว L เมตรที่อุณหภูมิ t หน่วย Ω/km

t = อุณหภูมิของสายเคเบิลใต้ดินขณะที่วัด หน่วย เซลเซียส

L = ความยาวสายเคเบิลใต้ดินที่ทำการวัด หน่วย เมตร

ค่า Correction Factor สำหรับปรับอุณหภูมิ ดูเพิ่มเติมใน IEC 60228

(2) Partial Discharge Test ทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบ Type Test

(3) Voltage Test ป้อน A.C. Voltage ระหว่างตัวนำกับสาย Shield โดยค่อยๆ เพิ่มแรงดันจนถึงค่า 2 U_0 คงค่าไว้นาน 30 นาที ต้องไม่เกิดการ Breakdown

(4) Electrical Test on Non-Metallic Sheath ตามมาตรฐานเป็นข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและลูกค้า

12) การทดสอบตัวอย่าง (Sample Tests) เป็นการทดสอบที่ทำกับตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินในแต่ละแบบและงวดการผลิต

(1) Check of construction and dimensions ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างและขนาดมิติของตัวอย่างเทียบกับค่าที่กำหนดอย่างน้อยหนึ่งตัวอย่างต่อการผลิตแต่ละงวด จำนวนที่ตรวจสอบไม่เกิน 10% ของความยาว

(2) Voltage Test for 4 hours เป็นการป้อนแรงดันทดสอบในเวลานานๆ จะต้องกระทำในทุกงวดการผลิตโดยตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวอย่างต่ำ 5 เมตร ค่อยๆ เพิ่มแรงดันทดสอบจนถึงค่า 4 U_0 คงแรงดันไว้ 4 ชั่วโมง ต้องไม่เกิดการ Breakdown การทดสอบนี้จะทำให้อายุของสายเคเบิลใต้ดินสั้นลงกว่าที่คาดการณ์ไว้ ถ้าทำกับสายเคเบิลใต้ดินทั้งเส้น

(3) Hot-Set Test การทดสอบนี้เพื่อตรวจสอบการทำ Cross-Linking ว่าดีพอหรือไม่ หากวัสดุมีการ Cross-Linking ที่ดีก็จะมีคุณสมบัติทนอุณหภูมิใช้งานที่สูง โดยการนำตัวอย่างจากบริเวณชั้นใน กลาง และ นอก ของฉนวน นำมาถ่วงน้ำหนัก 20 นิวตัน/ตารางเซนติเมตร และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 200±3 องศาเซลเซียส ถ้าวัสดุมีการ Cross-Linking ไม่ดีจะมีค่า Elongation เกินกว่าที่กำหนด (เช่น ตัวอย่างอาจขาด) โดยปกติส่วนของฉนวนที่มี Cross-Linking ต่ำจะเป็นส่วนชั้นในที่ใกล้ตัวนำที่สุด อย่างไรก็ตามหากในระหว่างการผลิตมีการให้ความร้อนกับตัวนำ ฉนวนส่วนกลางจะมี Cross-Linking ต่ำ

ในกรณี Repetition of Tests ในกรณีที่ตัวอย่างที่ทดสอบแล้วไม่ผ่านจะต้องสุ่มเพิ่มเป็น 2 เท่า จากตัวอย่างที่ผลิตในงวดเดียวกัน และจะต้องส่งผลการทดสอบเช่นเดียวกับในรายการที่ทดสอบไม่ผ่าน ถ้าตัวอย่างที่สุ่มเพิ่มเติมผ่านการทดสอบ จึงจะยอมรับ แต่ถ้า 1 หรือ 2 ตัวอย่างในจำนวนที่สุ่มเพิ่มเติมนี้ไม่ผ่านการทดสอบถือว่าไม่ผ่านการทดสอบอย่างไรก็ตามการยอมรับหรือไม่ขึ้นอยู่

กับการเจรจากันระหว่างผู้ผลิตและลูกค้า โดยปกติเพื่อให้การทดสอบยอมรับกันทั้งสองฝ่ายจะมีการสุ่มตัวอย่างเพิ่มมากกว่า 2 ตัวอย่าง

13) Measurement of Capacitance วัดค่า Capacitance ระหว่างตัวนำและสาย Shield

2.9.4 การตรวจสอบสายเคเบิลใต้ดินก่อนการขนส่ง โดยปกติหลังจากที่ทดสอบประจำแล้วก่อนการขนส่งสายเคเบิลใต้ดินไปส่งมอบจะมีการตรวจประเมินคุณภาพของสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งจะมีการตรวจสอบดังนี้

1) Visual inspection of the cable on the drum

2) Check of cable marking

3) Check of drum number

4) Check of the end caps

5) Review of test records

สำหรับจำนวนการสุ่มเลือกตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินเพื่อทำการทดสอบ ทาง KEMA ไดจัดทำตาราง ไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 จำนวนการสุ่มเลือกตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินเพื่อทำการทดสอบ

Inspection Program Factory Acceptance Test XLPE insulated High Voltage Power Cables in accordance with IEC 60840		
Electrical tests	**Clause**	**Method of control**
Voltage test for 30 minutes	9.3	W 100%
Partial Discharge Test	9.2	W 100%
DC Test of outer sheath in water	IEC 60229 / 3.1	W 100%
As an alternative Spark test	IEC 60229 / 3.1	R 100%
Measurement of resistance of conductor	10.5	V 10%
Measurement of resistance of copper screen	-	V 10%
Measurement of the capacitance	10.10	V 10%
Non electrical tests		
Check of construction and dimensions	5.5	V 10%
Hot-set test	10.9	V 10%
Other tests / checks		
Visual inspection of all drums		W 100%
Review of type test report		R
Remark: Depending on the number of drums to be inspected the programme shall be adapted to be able to complete the inspection in three days on site.		

Explanation of abbreviations
Wx% = Test will be witnessed on x% of the items. Wy = Test will be witnessed on y items. Vx% = Verification of test records by repetition of test on x% of the items, The completed test records need to be submitted to the inspector. Vy = Verification of test records by repetition of test on y items, The completed test records need to be submitted to the inspector. R = Review of (all) test records. Remark: If test results can not be verified or if test records can not be reviewed the test will be witnessed.

2.9.5 การทดสอบระบบเคเบิลใต้ดินที่สถานที่ติดตั้ง (Field Test) หลังจากการติดตั้งการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินและอุปกรณ์ประกอบนั้นโดยจุดประสงค์คือการตรวจสายเคเบิลใต้ดินมีการเสื่อมสภาพลงหรือไม่หลังจากติดตั้งใช้งานมาหลายปี และเป็นการทดสอบเพื่อความมั่นใจหลังการติดตั้งระบบเคเบิลใต้ดินตาม แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำระดับแรงดัน115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1) การพิจารณาด้วยสายตา (Visual Inspection) ได้แก่

(1) ตรวจความเสียหายและความสะอาดของสายเคเบิล

(2) ตรวจสอบหมายเลขวงจรและเฟสของสายเคเบิล

(3) ตรวจสอบความโค้งของสายเคเบิล (รัศมีความโค้งต้องมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิล)

(4) ความเหมาะสมในการเชื่อมต่อสายเคเบิล

(5) ตรวจสอบการทำความสะอาด การทาสารหล่อลื่น และการจับยึดที่มั่นคงของหัวสายเคเบิล

(6) ความเหมาะสมในการต่อลงดินของสายเปลือกตัวนำ

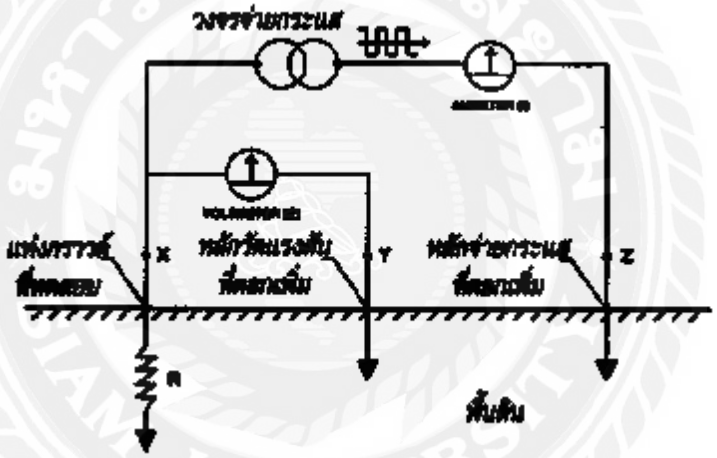
(7) ตรวจสอบเครื่องหมายและฉลากบนสายเคเบิล

(8) ตรวจสอบสายเคเบิลหลังจากการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

2) การทดสอบความต่อเนื่องของการชีลด์ (Shield-Continuity) การทดสอบนี้จะอ้างอิงค่า ตามการทดสอบประจำของบริษัทผู้ผลิต

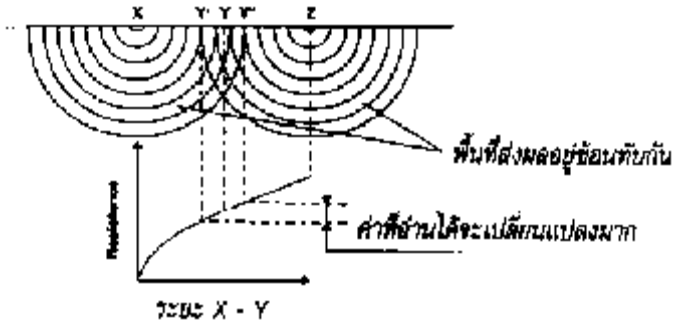
3) การทดสอบการต่อลงดิน (Earthing Test) การวัดความต้านทานดินมีหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีความถูกต้องแตกต่างกันไป ความถูกต้องของการวัดขึ้นกับขนาดกระแส ถ้าต้องการวัดความต้านทานดินสูงมากกว่า 1,000 โอห์ม-เมตร ก็ต้องเพิ่มวิธีการเพื่อเพิ่มขนาดกระแสให้สูงขึ้น ตามาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ค่าความต้านทานดินในวงสายดินต้องไม่เกิน 2 โอห์ม ในกรณีเกิน 2 โอห์ม ให้ปรับปรุงค่าความต้านทานดินโดยการบักการ์ดร็อด เพิ่มครั้งล่ะแท่งพร้อมเชื่อมด้วยสายทองแดงเปลือย และวัดค่าความต้านทานดิน ตามลำดับหมายเลขที่กำหนดไว้

การวัดความต้านทานดิน (วัดแบบ 3 จุด) ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง แท่ง X และ Y เราใช้โวลต์มิเตอร์วัด จากนั้นวัดกระแสที่ไหลระหว่างแท่ง X และ Z ด้วยแอมมิเตอร์ (หมายเหตุ : X,Y และ Z ในที่นี้ ตรงกับ X,P และ C ในเครื่องวัดแบบ 3 จุดยี่ห้ออื่นและตรงกับ C1,P2 และ C2 ในเครื่องวัดแบบ 4 จุด) ดังรูปที่ 2.102



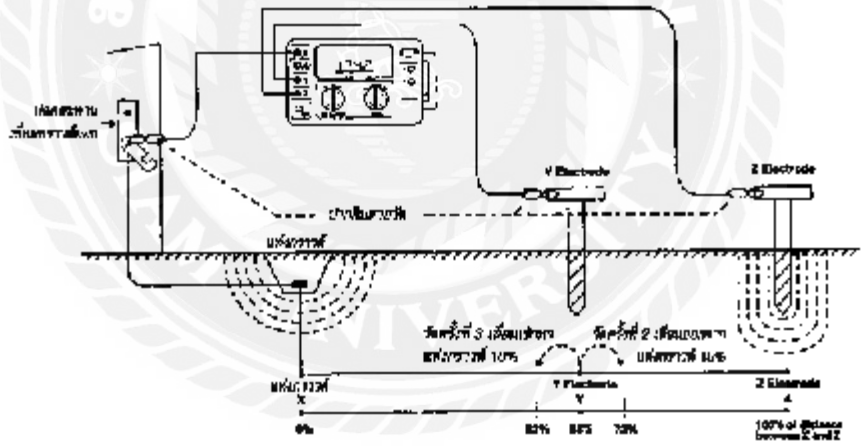
รูปที่ 2.102 ตัวอย่างวงจรการวัดค่าวามต้านทานดิน
ที่มา : www.asras.co.th

ตำแหน่งของการตอกหลักเพิ่มเพื่อวัดความต้านทานดิน การวัดความต้านทานดินให้แม่นยำ ต้องตอกหลักกระแส Z ให้ไกลพอสมควรจากแท่งกราวด์ที่ต้องการทราบค่า เพื่อให้แท่ง Y อยู่นอกพื้นที่ที่ส่งผลต่อความต้านทานไฟฟ้าของแท่ง X และ Z วิธีที่ดีที่สุดที่จะพิสูจน์ว่าแท่ง Y อยู่นอกพื้นที่ดังกล่าว ก็คือลองขยับแท่ง Y ย้ายตำแหน่งไปมาในแนว X-Z ดูหากแท่ง Y อยู่ในพื้นที่ดังกล่าว (ของ X หรือ Z หรือทั้ง X และ Z ในกรณี ที่พื้นที่ส่งผลฯ อยู่ทับกัน ดังรูปที่ 2.103 ค่าของความต้านทานที่อ่านได้เมื่อย้ายแท่ง Y ไป Y' และ Y" จะแตกต่างกันมากและไม่มีค่าใดเลยที่เป็นจริง



รูปที่ 2.103 ตำแหน่งของการตอกหลักเพิ่มเพื่อวัดความต้านทานดิน
ที่มา : www.asras.co.th

การวัดความต้านทานของแท่งกราวด์ด้วยวิธี 62 % เป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปว่าแม่นยำที่สุดจากการทดลองกันหลายต่อหลายครั้งกับพื้นที่สารพัดแบบ แต่เป็นวิธีที่ได้ผลเฉพาะกับระบบกราวด์ที่มีแท่งกราวด์เดี่ยวเท่านั้นเราใช้วิธีนี้ได้เฉพาะกับระบบแท่งกราวด์เดี่ยว (กราวด์แท่ง, ท่อน้ำ, กราวด์แผ่น) และทุกแท่งทดสอบเรียงตัวกันในแนวเส้นตรงเท่านั้น ดังรูปที่ 2.104



รูปที่ 2.104 การวัดความต้านทานของแท่งกราวด์ด้วยวิธี 62 %
ที่มา : www.asras.co.th

4) การทดสอบความต้านทานฉนวน (ก่อนทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสสลับ) เป็นการวัดความต้านทานของฉนวนจะวัดโดยเครื่องมือวัด คือ เมกกะโอห์มมิเตอร์ (MEGGER) ค่าที่วัดได้จะอยู่ในหน่วย เมกกะโอห์ม (MΩ) นี่เป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ทำลายเพื่อที่จะหาสภาพความเป็นฉนวนของ

สายเคเบิลใต้ดิน เพื่อตรวจสอบดูว่ามีสิ่งปนเปื้อนที่มาจากความชื้น ฝุ่นหรือคาร์บอนหรือไม่ ค่าแรงดันที่ใช้วัดสำหรับสายเคเบิลใต้ดินระดับแรงดันต่างๆ มีดังต่อไปนี้

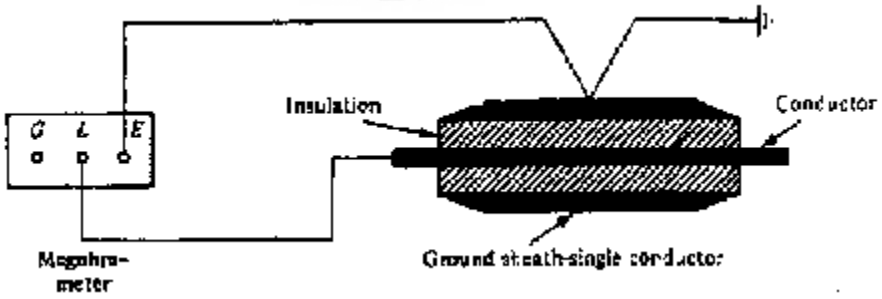
ตารางที่ 2.6 ค่าแรงดันที่ใช้วัดสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน

ที่มา : Electrical Power Equipment Maintenance and Testing

Voltage Rating of Cables (V)	Megohmmeter Voltage (V)
<300	500
300-600	500-1,000
2,400-5,000	2,500-5,000
5,000-15,000	5,000-15,000
>15,000	10,000-15,000

ขั้นตอนในการวัดความต้านทานฉนวนโดยใช้เมกกะโอห์มมิเตอร์ (MEGGER) มีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 การปลดสายเคเบิลใต้ดินจากอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีการจ่ายไฟอยู่ (Energize) ขั้นตอนที่ 2 ทำการดีสชาร์จสายเคเบิลใต้ดินโดยการต่อลงดิน ทั้งก่อนทดสอบและหลังทดสอบ ขั้นตอนที่ 3 การต่อสายตัวนำที่จะทดสอบเข้ากับขั้ว L ของเครื่องวัดและขั้นตอนที่ 4 การต่อสายชีลด์เข้ากับขั้ว E และต่อลงดิน

สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ค่าความต้านทานฉนวนที่วัดได้จาดการทดสอบความต้านทานฉนวน โดยการทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 10 กิโลโวลต์ เป็นเวลา 5 นาที (ก่อนทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสสลับ) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม



รูปที่ 2.105 แสดงการวัดความต้านทานฉนวนโดยใช้เมกกะโอห์มมิเตอร์ (MEGGER)

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2548)

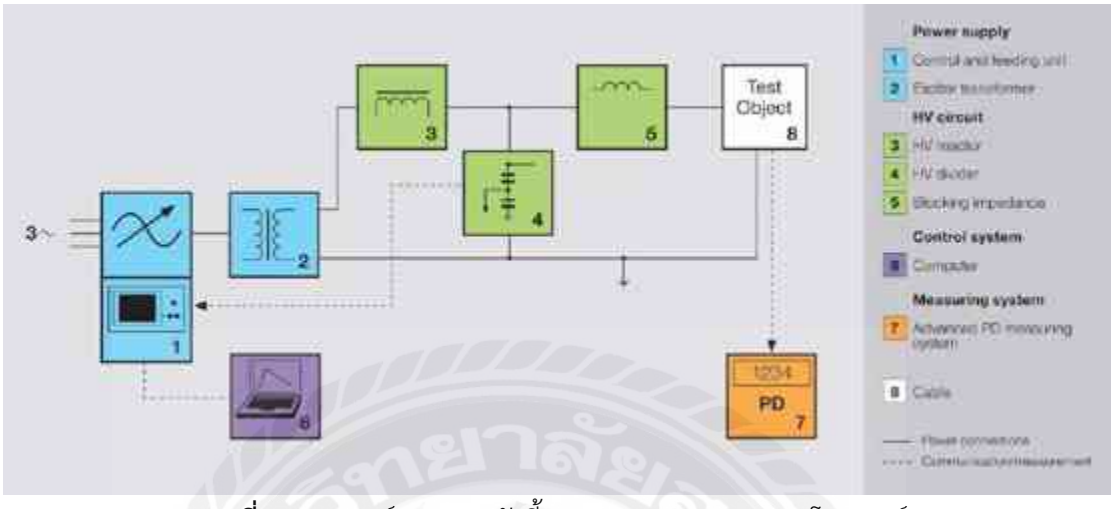
5) การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นการทดสอบโดยการใช้เครื่องทดสอบสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบ่งได้ 2 ระดับแรงดัน ได้แก่ ระดับแรงดัน 128 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 20 ถึง 300 เฮิร์ทซ เวลา 1 ชั่วโมง และ ระดับแรงดัน 64 กิโลโวลต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่เกิดการเบรกดาวน์

การทดสอบระบบเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ด้วยวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือการทดสอบแบบเรโซแนนซ์ เป็นการทดสอบความทนแรงดันกระแสสลับที่หน้างานตามมาตรฐาน IEC 60840 หลังจากที่ติดตั้งแล้ว โดยมาตรฐานดังกล่าวกำหนดให้ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 ถึง 300 เฮิร์ทซ เท่านั้น และไม่อนุญาตให้ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แรงดันแบบ Damped AC (DAC) หรือแรงดันความถี่ต่ำมาก (Very Low Frequency : VLF) ในการทดสอบ

ระบบทดสอบและวัตถุที่ทำการทดสอบจะรวมกันเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ซึ่งจากหลักการทางฟิสิกส์แล้ว จะสามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันทดสอบที่เป็นไซน์บริสุทธิ์ได้ หากเกิดความเสียหายกับสายเคเบิล ความเสียหายจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจรทดสอบมีปริมาณจำกัด ช่วงความถี่ในการทำงานของระบบทดสอบจะเป็นตัวกำหนดช่วงโหลดที่สามารถรองรับได้อย่างกว้าง ตั้งแต่การทดสอบสายเคเบิลที่สั้นมาก ไปจนถึงสายเคเบิลที่มีความยาวหลายกิโลเมตร โดยทั่วไประบบทดสอบสามารถติดตั้งในหน้างานได้ภายในเวลาไม่เกินหนึ่งชั่วโมง โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือยกหรือการประกอบเพิ่มเติมใดๆ ทั้งสิ้น ระบบสามารถใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสามเฟสมาตรฐาน ในการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ทดสอบได้

ประโยชน์ของระบบการทดสอบแบบเรโซแนนซ์ สามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันไซน์บริสุทธิ์ (Pure Sinusoidal Waveform) ช่วงความถี่ในการทดสอบกว้าง 20 ถึง 300 เฮิร์ทซ ระดับสัญญาณรบกวนจาก Partial Discharge (PD) ต่ำมาก มีค่าน้อยกว่า 10 พิโคคูลอมบ์ ระบบมีการสูญเสียพลังงานต่ำ (Low Losses) สามารถเชื่อมต่อระบบทดสอบหลายชุดได้ ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน ติดตั้งระบบทดสอบได้ง่ายและรวดเร็วในหน้างาน และยังสามารถใช้ทดสอบภาคสนาม (On-Site Tests) การใช้งานหลักของระบบทดสอบแบบเรโซแนนซ์ไฟฟ้ากระแสสลับ คือการทดสอบความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Withstand Test) หลังจากที่มีการติดตั้งระบบสายเคเบิลเรียบร้อยแล้ว โดยการทดสอบนี้มักจะดำเนินการควบคู่กับการตรวจวินิจฉัย Partial Discharge (PD) บริเวณจุดต่อสาย (Cable Joints) และชุดหัวต่อปลายสาย (Terminations) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับ เพิ่มเติมระหว่างอายุการใช้งานของสายเคเบิลเพื่อวัตถุประสงค์เชิงวินิจฉัย หรือหลังการซ่อมแซม

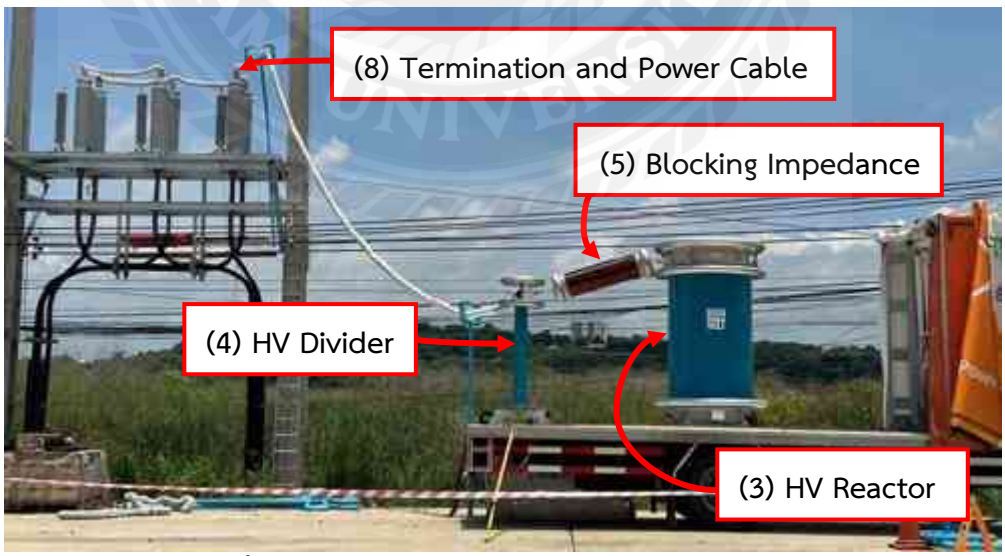
องค์ประกอบของระบบทดสอบแบบเรโซแนนซ์ มีดังนี้



รูปที่ 2.106 องค์ประกอบดังนี้ของระบบทดสอบแบบเรโซแนนซ์

ที่มา : https://www.highvolt.com

หน่วยควบคุมและจ่ายไฟ (Control and Feeding Unit) (หมายเลข 1) ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์แบบ Static และระบบควบคุม โดยอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตแบบสามเฟสให้เป็นแรงดันเอาต์พุตแบบเฟสเดียวที่มีรูปคลื่นเป็นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.107 ตัวอย่างระบบทดสอบแบบแบบเรโซแนนซ์

ที่มา : https://www.u-electricsystem.co.th

การปรับความถี่ระบบจะปรับความถี่โดยอัตโนมัติให้ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ ของวงจรเรโซแนนซ์แรงสูงแบบอนุกรม ซึ่งประกอบด้วยรีแอคเตอร์เรโซแนนซ์ (หมายเลข 3) และสายเคเบิลที่ทำการทดสอบ แรงดันทดสอบจะถูกควบคุมผ่านความกว้างช่วงการทำงาน (Duty Cycle) ของแรงดันเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ และจะถูกวัดโดยระบบวัดที่มีการสอบเทียบ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดแรงดันพีค (Volt Peak) และ ตัวหารแรงดัน (Voltage Divider) (หมายเลข 4)

ความต้านทานป้องกัน (Blocking Impedance) (หมายเลข 5) ทำหน้าที่ป้องกันรีแอคเตอร์จากแรงดันเกินชั่วขณะ (Transient Over-Voltages) ที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่สายเคเบิลเกิดความเสียหาย

หม้อแปลง Exciter (หมายเลข 2) ทำหน้าที่แยกอินเวอร์เตอร์ออกจากวงจรทดสอบ และเพิ่มแรงดันจากอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับแรงดันทดสอบที่ต้องการ รวมถึงรองรับการสูญเสียในวงจรเรโซแนนซ์แรงสูง

รูปที่ 2.108 ตัวอย่างหม้อแปลง Exciter ของระบบทดสอบแบบเรโซแนนซ์

การควบคุมระบบสามารถควบคุมได้ง่ายผ่าน PLC และแผงควบคุม (Operator Panel) ที่ติดตั้งอยู่ในหน่วยควบคุมและจ่ายไฟ โดยสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (หมายเลข 6) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดำเนินการทดสอบที่ซับซ้อน และบันทึกข้อมูลได้อย่างสะดวก

รูปที่ 2.109 ตัวอย่างแผงควบคุม (Operator Panel) ที่ติดตั้งอยู่ในหน่วยควบคุม

การวัด Partial Discharge อย่างละเอียด สามารถดำเนินการได้โดยใช้ระบบวัด PD ขั้นสูง (Advanced PD Measuring System) (หมายเลข 7) ซึ่งเหมาะสำหรับตรวจสอบที่จุดต่อสาย (Joint) และชุดต่อปลายสาย (Termination) อย่างแม่นยำ

6) การทดสอบความต้านทานฉนวน (หลังทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสสลับ) เป็นการเปรียบเทียบค่าความต้านทานของฉนวนที่วัดได้จาก ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสสลับ และหลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสสลับ ว่าค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้มีความผิดปกติหรือไม่ หากค่าที่ได้การจากเปรียบเทียบมีความผิดปกติ จะต้องทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดจากการติดตั้งเคเบิลใต้ดิน และทำการแก้ไขก่อนจะทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง

7) การทดสอบเปลือกหุ้มสายเคเบิล (Over Sheath) การทดสอบเปลือกหุ้มสายเคเบิล (Over Sheath Test) เป็นการทดสอบสายเคเบิลชนิด CE (Copper Wire Screen – Earth Return) ซึ่งมีชั้นเปลือกหุ้มภายนอก (Outer Sheath) เป็นการทดสอบคุณภาพของชั้นหุ้มภายนอกของสายเคเบิล (เช่น PE หรือ PVC Jacket) เพื่อ ตรวจหาความเสียหายที่อาจเกิดจากกระบวนการติดตั้ง เช่น การลากสาย การกระแทก หรือการถูกของมีคมเฉือนจนทำให้เกิดรอยรั่วรอยร้าว หรือทะลุ ซึ่งอาจส่งผลให้ความชื้นซึมเข้าสู่ฉนวนภายใน และเกิด Partial Discharge หรือการเสื่อมสภาพในระยะยาว มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ขั้นตอนที่ 1) เชื่อมสายทดสอบระหว่าง Outer Sheath กับกราวด์ ขั้นตอนที่ 2 ป้อนแรงดันกระแสตรง ตามมาตรฐาน ระดับแรงดัน 10 กิโลโวลต์ เป็นเวลา

1 นาที ขั้นตอนที่ 3 สังเกตค่ากระแสรั่ว (Leakage Current) หรือจุดที่มีการ Breakdown หากพบค่ารั่วสูงกว่ามาตรฐาน หรือมีจุด Breakdown แสดงว่าชั้นเปลือกหุ้มมีตำหนิ ผลการทดสอบควรเป็นค่ากระแสรั่วที่ต่ำมาก หากมีค่ากระแสรั่วสูงผิดปกติ หรืออุปกรณ์ตัดการทำงานแสดงว่าอาจมีจุดรั่ว (Hole or Cut) ในเปลือกหุ้ม

8) การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด (AC Withstand 115kV, 24 h. and No-Load Test) ในการติดตั้งระบบสายเคเบิลแรงสูงใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ การตรวจสอบคุณภาพของสายเคเบิลและอุปกรณ์ประกอบหลังการติดตั้งถือเป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อยืนยันว่า ระบบสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีความมั่นคงทางไฟฟ้า โดยเฉพาะในโครงการใหม่หรือสายที่มีการเชื่อมต่อ (Splicing) และชุดต่อปลายสาย (Termination) ใหม่ การทดสอบที่สำคัญ 2 ประเภทได้แก่ AC Withstand Test และ No-Load Test ซึ่งมักดำเนินการในช่วงเดียวกันก่อนการ Energization หรือจ่ายโหลดจริง

รูปที่ 2.110 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด

บทที่ 3
รายละเอียดการปฏิบัติงาน

3.1 ชื่อและที่ตั้งสถานประกอบการ

กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 ฝ่ายก่อสร้างระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ เลขที่ 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

3.2 ลักษณะการประกอบการ

กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 มีพื้นที่ปฏิบัติงานในเขตพื้นที่ภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทย ยกเว้น พื้นที่รับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง (จังหวัดกรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ) กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 ได้รับหน้าที่ในการปฏิบัติงานก่อสร้างระบบไฟฟ้า (สายส่ง) ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้แก่ พื้นที่ภาคกลาง และพื้นที่ภาคใต้

3.3 ลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

นายชาญวิทย์ ศรีนาท ได้รับมอบหมายให้ควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

3.4 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

นายศิวกร เกตุสมพงษ์ ตำแหน่งหัวหน้าแผนกก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน (วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 8)

3.5 ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน

ระยะเวลาในการปฏิบัติงานทั้งสิ้น 4 เดือน ตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม 2567 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2567

3.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.6.1 กำหนดหัวข้อการทำโครงงาน ขออนุมัติโครงงานและวางแผนการดำเนินงาน

3.6.2 ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.6.3 ดำเนินการปฏิบัติงานการควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยทีมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้า ของกองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 ปฏิบัติงานก่อสร้างระบบไฟฟ้า งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

3.6.4 อภิปรายและสรุปผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนและระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ส.ค. 2567	ก.ย. 2567	ต.ค. 2567	พ.ย. 2567	ธ.ค. 2567
กำหนดหัวข้อการทำโครงงาน ขออนุมัติโครงงาน และวางแผนการดำเนินงาน					
ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง					
ดำเนินการปฏิบัติงานการควบคุมงานก่อสร้าง ระบบไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ แบบสายเคเบิลใต้ดิน					
สรุปผลการดำเนินงาน					

3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

3.7.1 หนังสือระบบเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System) กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3.7.2 หนังสือเทคนิคการก่อสร้าง สายส่งระบบ 115 เควี

3.7.3 คู่มือคำแนะนำการจัดเตรียมอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3.7.4 คู่มือการออกแบบเคเบิลใต้ดิน ฝ่ายก่อสร้างระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3.7.5 คู่มือความปลอดภัยในการปฏิบัติงานก่อสร้าง

บทที่ 4
ผลการปฏิบัติงาน

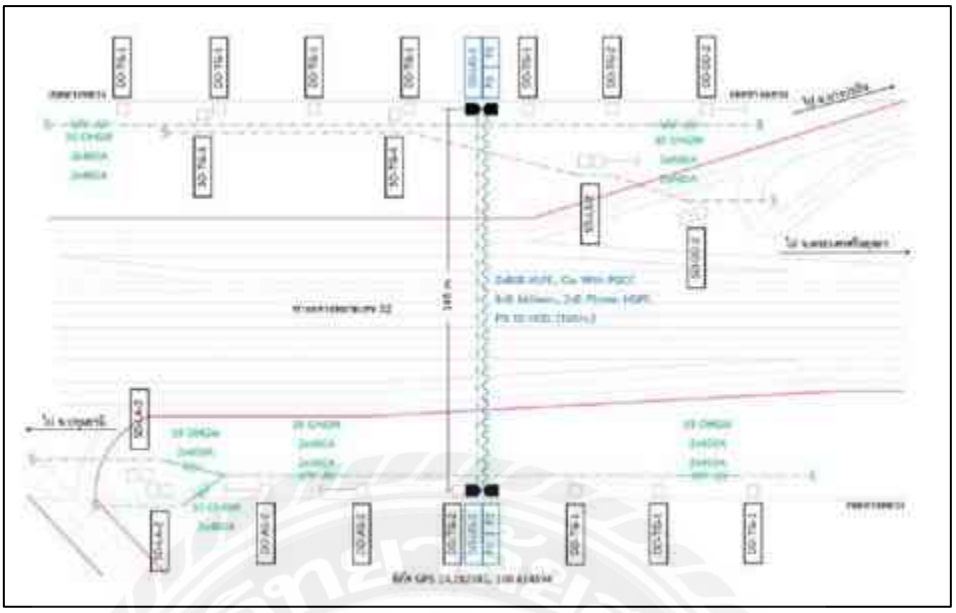
การปฏิบัติงานการควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ศึกษาการทดสอบระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ศึกษาและตรวจสอบความสามารถในการทนแรงดันของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC60840 (2004) ฝึกทักษะการวางแผน การปฏิบัติงาน และสามารถแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน ฝึกความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

4.1 การปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงานการควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

4.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

4.2.1 รับอนุมัติและแผนผัง งานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ส่วนงานไฟฟ้า มีระยะเวลาดำเนินการ 60 วัน (ไม่รวมงานด้านธุรการ)



รูปที่ 4.1 แบบงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม ณ สถานที่ปฏิบัติงาน ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ที่มา : https://www.google.com/maps

4.2.2 ดำเนินการวางแผนการปฏิบัติงาน วันเข้าปฏิบัติงานและเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน การขออนุญาตและการประชาสัมพันธ์การงดจ่ายไฟฟ้าแก่ประชาชนและผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ที่ได้รับผลกระทบ และกำหนดวันงดจ่ายไฟฟ้า ในวันที่ผู้ปฏิบัติงานปรับปรุงระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ใต้ไลน์ระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่เสาต้น Riser Pole วันที่ผู้ปฏิบัติงานทำการลากสายเคเบิลใต้ดิน และวันทำการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Withstand 24 hr.)

4.2.3 เมื่อวางแผนการดำเนินการแล้วเสร็จ ดำเนินการปฏิบัติงานตามแผนที่วางไว้ และรายงานความก้าวหน้าและปัญหาอุปสรรคที่พบขณะปฏิบัติงาน ให้ผู้บังคับบัญชารับทราบ

4.2.4 ดำเนินการก่อสร้างระบบไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ แบบสายเคเบิลใต้ดิน ส่วนงานโยธา

1) การปักเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ ตามแบบมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบเลขที่ SA1-015/57011 โครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เสาคู่ต้นในไลน์ แบบ SD-UG-5

2) การเทคอนกรีตรอบโคนเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ (Riser Pole) ตามแบบมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบเลขที่ SA1-015/57016 การเทคอนกรีตรอบโคนเสาสำหรับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์

3) การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน โดยวิธีการ Horizontal Directional Drilling (HDD)

(1) ดำเนินการสำรวจจัดเตรียมพื้นที่ในการปฏิบัติงานและวางแผนการเจาะ การระบุความลึกในแต่ละช่วงของการเจาะและแนวเจาะที่เหมาะสม ในกรณีต้องทำการลากสายเคเบิลร้อยท่อ HDPE ต้องมีรัศมีความโค้งของท่อไม่น้อยกว่า 15 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิลใต้ดิน (สำหรับสายเคเบิลใต้ดินแรงสูง)

(2) ดำเนินการตรวจเช็คความพร้อมของชุดเครื่องเจาะให้เรียบร้อยโดยเช็คทุกส่วนให้พร้อมสำหรับการปฏิบัติงาน ไม่ว่าจะเป็นชุด Power Unit สตาร์ทเครื่อง เช็คระดับน้ำมันไฮดรอลิค ว่าเครื่องอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่

(3) ดำเนินการทำการปรับแก้ไขความถูกต้องของระหว่างหัวนำเจาะและเครื่องตรวจจับหัวนำเจาะ ให้มีความถูกต้องและแม่นยำตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

(4) ดำเนินการเจาะนำ (Guide Drill) ตามแผนที่วางไว้ ในขณะดำเนินการเจาะต้องมีการตรวจสอบตำแหน่งของหัวเจาะว่าอยู่ในตำแหน่งใดระดับความลึกและทิศทางเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถเช็คได้จากสัญญาณความถี่ที่ส่งออกมาจากตัวส่งสัญญาณที่อยู่ภายในหัวเจาะโดย เครื่องตรวจจับหัวนำเจาะ เมื่อเจาะถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ ก็จะทำการเปลี่ยนหัวเจาะเป็น Reamer เพื่อคว้านขยายแนวต่อไป

รูปที่ 4.3 การดำเนินการเจาะตามแผน

รูปที่ 4.4 ตัวส่งสัญญาณที่ถูกติดตั้งที่หัวนำเจาะ

รูปที่ 4.5 การนำเจาะ

รูปที่ 4.6 การตรวจสอบตำแหน่งของหัวนำเจาะ

4) การคว้านขยายแนว Back Reamer เมื่อทำการเจาะนำเสร็จแล้ว ขั้นตอนในการ Reamer จะทำการ Ream ขยายแนวเจาะให้กว้างขึ้น

รูปที่ 4.7 การใส่ Reamer เข้าไปแทนที่หัวเจาะ และให้เครื่องเจาะหมุนดึงกลับ เพื่อคว้านขยายแนว

โดยจะทำการคว้านขยายแนวให้ใหญ่กว่า กลุ่มท่อที่จะทำการลากในขั้นตอนนี้จะใช้ Reamer หลายขนาด ในระหว่างลากหัว Reamer กลับมา มีการต่อท่อเจาะ (Rod) และเมื่อหัว Reamer กลับมาถึงยังตัวเครื่องเจาะ จึงทำการเปลี่ยนขนาดหัว Reamer โดยจะใช้ขนาดเล็กก่อนแล้วค่อยไล่มาจนถึงขนาดที่จะทำการลากท่อได้โดยขณะที่ทำการ Reamer นี้ จะอัดฉีดสารละลายเบนโทไนท์ เพื่อช่วยในการหล่อลื่นและสร้างผนังป้องกันดินพัง ภายในโพรงที่เจาะไว้ ในการคว้านขยายแนวจะทำการใส่ Reamer เข้าไปแทนที่หัวเจาะ แล้วจึงให้เครื่องเจาะหมุนดึง

รูปที่ 4.8 การคว้านขยายแนวให้ใหญ่กว่าแนวกลุ่มของท่อ

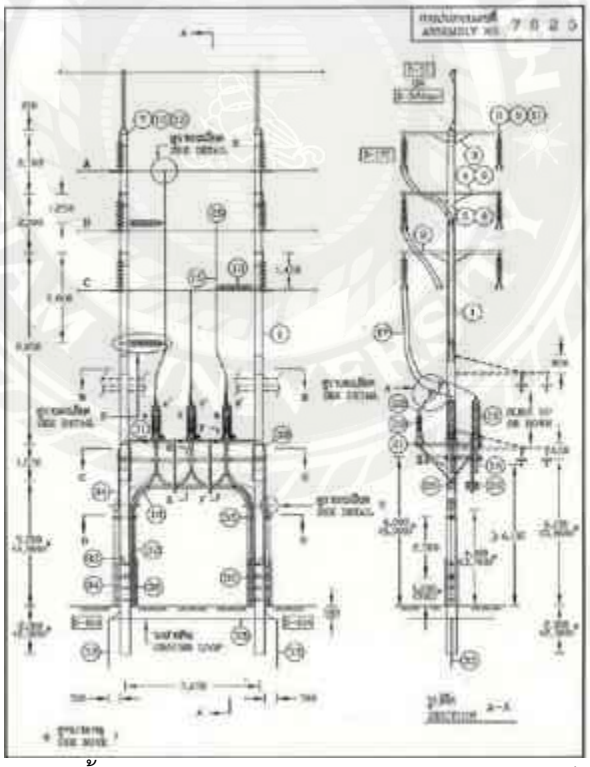
5) Pulling Pipes การลากท่อ เมื่อทำการคว้านขยายแนวเจาะแล้ว ดำเนินการลากท่อโดยเอากลุ่มท่อที่จะลากมาสวมเข้ากับหัวลาก แล้วนำมาต่อกับท่อเจาะ (Rod) โดยการลากท่อนี้ดำเนินการคล้ายกับทำการคว้านขยายแนว แต่จะมีตัวต่อตัดการหมุน (Swivel) มาต่อเข้ากับท่อเจาะ (Rod) แล้วต่อเข้ากับหัวลาก เพื่อป้องกันไม่ให้กลุ่มท่อหมุนตามขณะทำการลากท่อ

6) การติดตั้งท่อ HDPE เข้ากับเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ (Cable Riser Pole)

รูปที่ 4.9 การติดตั้งท่อ Elbow 90 ° เข้ากับเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 กิโลโวลต์ (Riser Pole)

รูปที่ 4.10 การติดตั้งท่อ HDPE และคอนกรีตเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของกลุ่มท่อ

7) การติดตั้งโครงเหล็กรองรับการติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Supporting Structure) ตามแบบมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบเลขที่ SA1-015/57011 โครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เสาคู่ต้นในไลน์ แบบ SD-UG-5



รูปที่ 4.11 โครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เสาคู่ต้นในไลน์ แบบ SD-UG-5

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

4.2.5 ดำเนินการก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ส่วนไฟฟ้า หลังจากการดำเนินการก่อสร้าง ส่วนโยธา เสร็จเรียบร้อย ท่อที่ติดตั้งที่เสาขึ้นสายเคเบิล จะถูกป้อนเชือกรับแรงดึงสูงผูกติดไว้กับท่อ มีไว้สำหรับการทำความสะอาดท่อร้อยสายด้วยผ้ากระสอบ หรือ Flexible Cleaner และการทดสอบสภาพของผนังท่อร้อยสายด้านใน ดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.12 การติดตั้งท่อ HDPE และคอนกรีตเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของกลุ่มท่อ

1) จัดเตรียมพื้นที่ในการปฏิบัติงานและวางแผนการดำเนินงาน ได้แก่ การจัดเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสม สำกรับการวางขาตั้งล้อสายเคเบิล การติดตั้งล้อสายเคเบิล การทำความสะอาดท่อร้อยสายด้วยผ้ากระสอบหรือ Flexible Cleaner การทดสอบสภาพของผนังท่อร้อยสายด้านใน โดยการใช้ลูก Dummy และการทำสัญลักษณ์ สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 4.13 การจัดเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสม สำกรับการวางขาตั้งล้อสายเคเบิล

รูปที่ 4.14 การติดตั้งล้อสายเคเบิล

รูปที่ 4.15 การทำความสะอาดท่อร้อยสายด้วยผ้ากระสอบหรือ Flexible Cleaner

รูปที่ 4.16 การทดสอบสภาพของผนังท่อร้อยสายด้านใน โดยการใช้ลูก Dummy

รูปที่ 4.17 การทำสัญลักษณ์ลำดับเฟส สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน (1)

รูปที่ 4.18 การทำสัญลักษณ์ลำดับเฟส สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน (2)

2) การเบิกอุปกรณ์การติดตั้งชุดต่อปลายสายกอบไปด้วย (Termination Kit 115 kV) และการติดตั้งกับดับเสิร์จแรงสูง (Surge Arrester 96 kV) ลูกถ้วย และอุปกรณ์เชื่อมต่อสายอากาศ ที่คลังพัสดุ ของ กฟภ.

รูปที่ 4.19 การเบิกอุปกรณ์การติดตั้งชุดต่อปลายสาย

3) ขั้นตอนการลากสายร้อยท่อ

(1) การเปิดล้อสายเคเบิลและการหัวสายเคเบิลเพื่อประกอบเข้ากับ Pulling Head

รูปที่ 4.20 การเปิดล้อสายเคเบิล

รูปที่ 4.21 การเตรียมหัวสายเคเบิล เพื่อประกอบเข้ากับ Pulling Head

รูปที่ 4.22 การประกอบหัวสายเคเบิลเข้ากับ Pulling Head

(2) การติดตั้งเชือกเข้ากับเครื่องช่วยดึงสายและปลายสายเคเบิลที่ประกอบไว้กับ Pulling Head และประกอบด้วย สวีเวล (Swivel)

รูปที่ 4.23 การติดตั้งเชือกเข้ากับเครื่องช่วยดึงสายเคเบิลและปลายสายเคเบิล ที่ประกอบไว้กับ Pulling Head และประกอบด้วย สวีเวล (Swivel)

(3) การป้อนสายเคเบิลเข้าสู่ท่อ เพื่อทำการดึงสายเคเบิล และชโลมสายเคเบิลด้วยน้ำยาหล่อลื่นสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 4.24 การป้อนสายเคเบิลเข้าสู่ท่อ

(4) การวัดแรงดึงสายเคเบิลระหว่างการดึงสายเคเบิล ด้วยมิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo meter)

รูปที่ 4.25 การวัดแรงดึงสายเคเบิลระหว่างการดึงสายเคเบิล ด้วยมิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo meter)

รูปที่ 4.26 ลักษณะการดึงสายเคเบิล (1)

รูปที่ 4.27 ลักษณะการดึงสายเคเบิล (2)

รูปที่ 4.28 ลักษณะเครื่องดึงสายเคเบิล

(5) การตัดและประกอบสายเคเบิลเมื่อได้ตามระยะที่กำหนด สำหรับการเข้าหัวสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 4.29 การปลดเชือกรับแรงดึงสูงออกจาก Swivel ที่ปลายสาย

รูปที่ 4.30 การตัดสายเคเบิลที่ได้ตามระยะที่กำหนด

(6) การพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable) หลังจากการตัดสายเคเบิล ป้องกันน้ำและสิ่งสกปรกเข้าสู่ภายในสาย

รูปที่ 4.31 การพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable) (1)

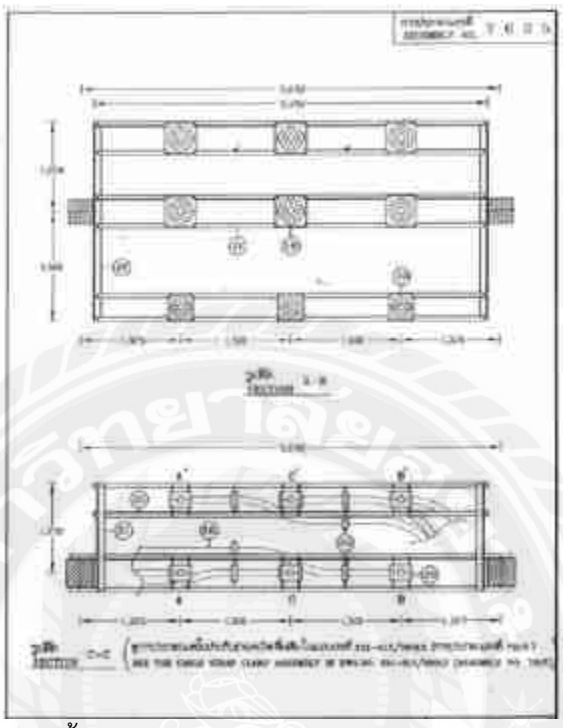
รูปที่ 4.32 การพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable) (2)

4) ขั้นตอนจับยึดท่อกับโครงสร้างของเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 4.33 การจับยึดสายเคเบิลเข้ากับโครงสร้างของเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน (1)

รูปที่ 4.34 การจับยึดสายเคเบิลเข้ากับโครงสร้างของเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน (2)

5) ขั้นตอนการจัดลักษณะลำดับตำแหน่งของสายเคเบิลแต่ละเฟส ตามแบบมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบเลขที่ SA1-015/57011



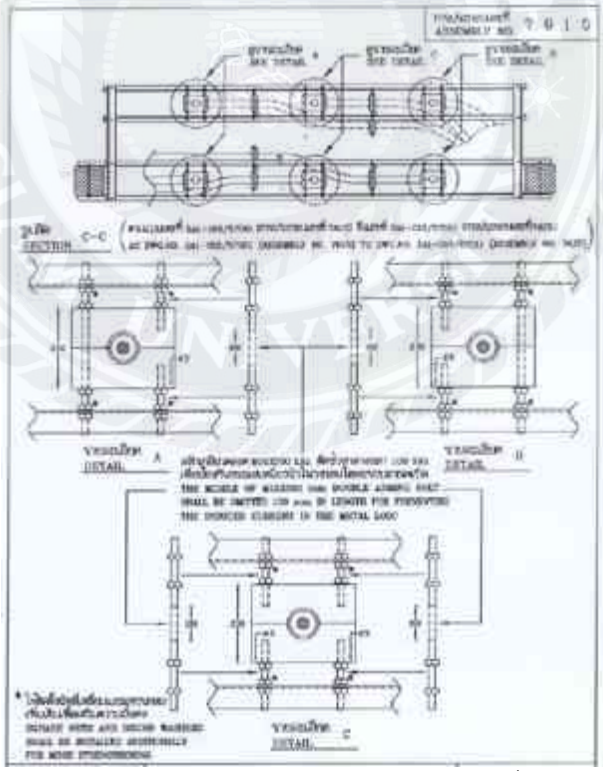
รูปที่ 4.35 โครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เสาคู่ต้นในไลน์ แบบ SD-UG-5
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2557)

(1) ดำเนินการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบ ก่อนดำเนินการปฏิบัติงานใกล้สายไฟฟ้าแรงดันสูง

รูปที่ 4.36 ดำเนินการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบ (1)

(2) ดำเนินประกอบแคล้มประกับสายเคเบิล เพื่อป้องกันกระแสเหนี่ยวนำ ตามแบบมาตรฐาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบเลขที่ SA1-015/57011

รูปที่ 4.37 ดำเนินการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบ (2)



รูปที่ 4.38 รายละเอียดการประกอบแคล้มป์ประกับสายเคเบิล เพื่อป้องกันกระแสเหนี่ยวนำ

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

6) ขั้นตอนการอบสายเคเบิลใต้ดิน

(1) การเตรียมพื้นที่สำหรับการอบสายเคเบิล

รูปที่ 4.39 ดำเนินการเตรียมการอบสายเคเบิล (1)

รูปที่ 4.40 ดำเนินการเตรียมการอบสายเคเบิล (2)

รูปที่ 4.41 การเตรียมเครื่องอบสายเคเบิล

(2) การดัดสายเคเบิลให้อยู่ในแนวดิ่งก่อนการอบสายเคเบิล

รูปที่ 4.42 การดัดสายเคเบิลให้อยู่ในแนวดิ่งก่อนการอบสายเคเบิล

(3) การอบสายเคเบิล เป็นการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง (Continuous Heating) เพื่อไล่ความชื้นออกจากฉนวนและชั้นตัวนำของสายเคเบิล

รูปที่ 4.43 การพันด้วยลวดทองแดงสำหรับนำความร้อนสู่สายเคเบิล (1)

รูปที่ 4.44 การพันด้วยลวดทองแดงสำหรับนำความร้อนสู่สายเคเบิล (2)

(4) การจัดลักษณะของสายเคเบิลให้อยู่ในแนวดิ่งมากที่สุด โดยการดามสายเคเบิลหลังจากการอบสายเคเบิลด้วยเหล็ก เพื่อให้สะดวกต่อการติดตั้งชุดต่อปลายสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 4.45 การดามสายเคเบิลหลังจากการอบสายเคเบิลด้วยเหล็ก (1)

รูปที่ 4.46 การดามสายเคเบิลหลังจากการอบสายเคเบิลด้วยเหล็ก (2)

7) ขั้นตอนการติดตั้งชุดต่อปลายสายเคเบิล (Termination Kit) ตามคู่มือการติดตั้งที่ผู้ผลิตกำหนด

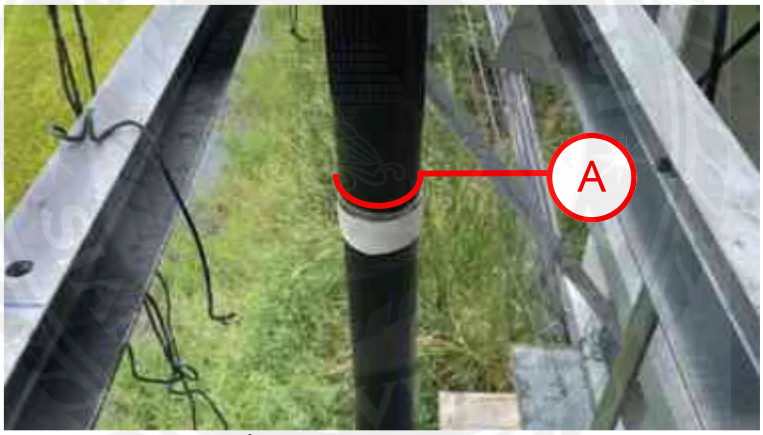
(1) การติดตั้งแผ่นเพลตรองรับชุดต่อปลายสายเคเบิล และ Support Insulator

รูปที่ 4.47 การติดตั้งแผ่นเพลตรองรับชุดต่อปลายสายเคเบิล

รูปที่ 4.48 การติดตั้ง Support Insulator

(2) การปอกเปลือกสายเคเบิล ดำเนินการวัดขนาดความสายของสายเคเบิลและทำเครื่องหมายบอกระยะ (Mark : A) ตามคู่มือการติดตั้งที่ผู้ผลิตกำหนด

รูปที่ 4.49 การขูดเอาผิวเปลือกของสายเคเบิลออก



รูปที่ 4.50 การพันด้วยเทปสปริง

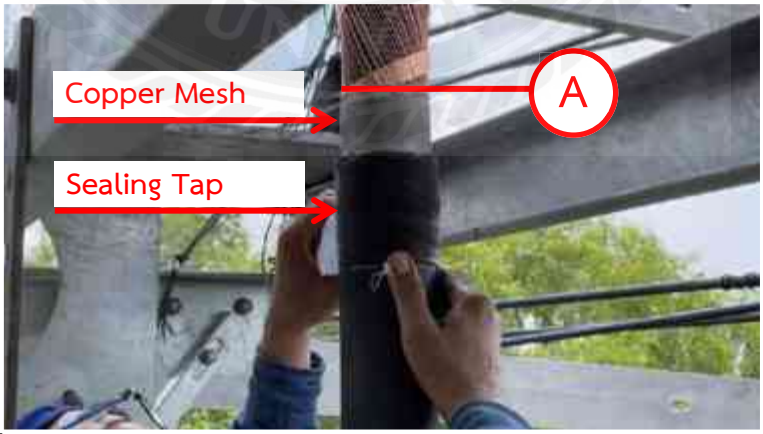
รูปที่ 4.51 การให้ความร้อนที่เปลือกสายและใช้เชือกตัดเอาเปลือกสายออก

รูปที่ 4.52 ทำความสะอาดชั้นอะลูมิเนียมเคลือบโคโพลีเมอร์

รูปที่ 4.53 การปอกเปลือกสายเคเบิล (1)

รูปที่ 4.54 การปอกเปลือกสายเคเบิล (2)

รูปที่ 4.55 นำเอาเทปกันน้ำออกและเทปสปริงออก จากการพันไว้ใน รูปที่ 4.50



รูปที่ 4.56 พันด้วย Copper Mesh และ Sealing Tap ใต้ Mark A ตามลำดับ

รูปที่ 4.57 พับสายทองแดง (Copper Wire Shield) ลง 180 องศา และใช้ค้อนเคาะให้เรียบไปตามผิวของ Copper Mesh และ Sealing Tap ใต้ Mark A

รูปที่ 4.58 พันด้วย Copper Mesh ทับ Copper Wire Shield ใต้ Mark A

รูปที่ 4.59 พันด้วย Sealing Tap ทับ Copper Mesh ใต้ Mark A

รูปที่ 4.60 พันทำการปลอกลบคมฉนวนและสกรีนฉนวน ก่อนการติดตั้ง Cable Gland

รูปที่ 4.61 สวมชุดปิดท้าย Cable Gland

รูปที่ 4.62 สวม Silicone Cable Sheath ให้ตรงตามระยะที่ผู้ผลิตกำหนด

รูปที่ 4.63 ติดตั้ง Support Insulation เข้ากับ Baseplate และใช้จารบี (ABF-Grease) ทาลงในช่องสกรูที่ Baseplate

รูปที่ 4.64 ติดตั้ง Baseplate

รูปที่ 4.65 พันด้วย SB Tape insulation ระหว่างระยะ Copper Mesh ใต้ Mark A จนถึงระยะทรงกรวย 50% ของ Silicone Cable Sheath

รูปที่ 4.66 ประกอบชุดปิดท้าย Cable Gland เข้ากับ Baseplate และใช้จารบี (ABF-Grease) ทาลงในช่องสกรูที่ Baseplate

รูปที่ 4.67 แสดง Baseplate ที่ติดตั้งชุดปิดท้าย Cable Gland เสร็จเรียบร้อย

รูปที่ 4.68 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (1)

รูปที่ 4.69 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (2)

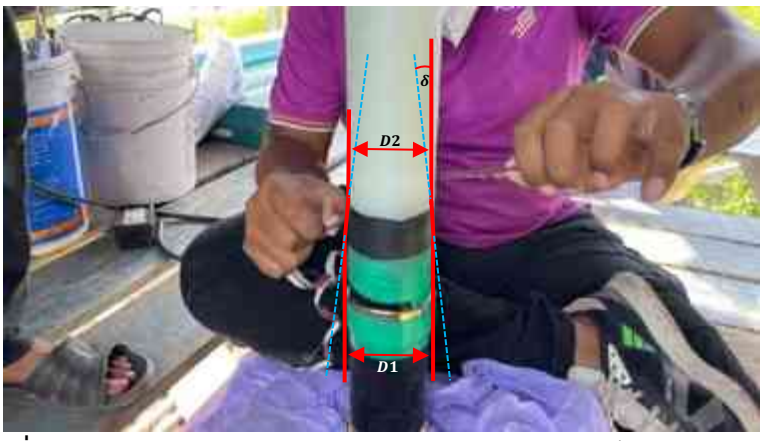
รูปที่ 4.70 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (3)

รูปที่ 4.71 ทำการวัดและตัดสายเคเบิลให้ได้ตามขนาด เพื่อเตรียมการขัดผิวฉนวน (4)

รูปที่ 4.72 ปอกเนื้อฉนวนให้ได้ขนาดตามคู่มือฯ

รูปที่ 4.73 ปอกเนื้อฉนวนส่วนบนให้เหลือเพียงตัวนำให้ได้ระยะตามคู่มือฯ และขัดเนื้อฉนวนส่วนที่เหลือด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย

รูปที่ 4.74 ขัดช่วงรอยต่อระหว่างฉนวนและสกรีนฉนวนให้ได้ความชัน (1)



รูปที่ 4.75 ขัดช่วงรอยต่อระหว่างฉนวนและสกรีนฉนวนให้ได้ความชัน (2)

รูปที่ 4.76 วัดขนาดความยาวของตัวนำและระยะความยาวการติดตั้งชุดต่อปลายสาย

รูปที่ 4.77 ทำเครื่องหมายระยะการติดตั้ง Stress Cone

รูปที่ 4.78 ทำความสะอาดเนื้อฉนวนและสกรีนฉนวน

รูปที่ 4.79 ชโลมสารหล่อลื่นที่เนื้อฉนวนและสกรีนฉนวน

รูปที่ 4.80 ติดตั้ง Stress Cone ลงบนสายเคเบิล โดยสวมกรวยซิลิโคนที่ปลายสายเคเบิล เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ Stress Cone

รูปที่ 4.81 ติดตั้ง Stress Cone ลงบนสายเคเบิล ตามตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้

รูปที่ 4.82 พันด้วย SB Tape SD รอบผิวสกรีนฉนวนจนถึงส่วนล่างของ Stress Cone

รูปที่ 4.83 พันด้วย Copper Mesh ทับ SB Tape SD

รูปที่ 4.84 พันด้วย SB Tape insulating ทับ Copper Mesh

รูปที่ 4.85 รัดด้วย Cable Tie เพื่อลดช่องระหว่างในการพันเทป ลดการเกิด Partial Discharge

รูปที่ 4.86 ทำความสะอาดตัวนำที่ตำแหน่งปลายสาย

รูปที่ 4.87 ติดตั้ง Connection Bolt

รูปที่ 4.88 ทำการขัน Bolt จนขาดออกจากกัน ด้วยประแจทอร์คที่แรง 80 N-m เพื่อจับยึดกับตัวนำ

รูปที่ 4.89 ปิดช่องว่างระหว่าง Connection Bolt กับ เนื้อฉนวน และพันด้วย Insulation Tape

รูปที่ 4.90 ปิดซีลด้วย Head Shrink

รูปที่ 4.91 ติดตั้ง O-Sealing Ring ที่ตำแหน่งบน Baseplate

รูปที่ 4.92 ติดตั้งฉนวนภายนอกของชุดต่อปลายสาย Termination (1)

รูปที่ 4.93 ติดตั้งฉนวนภายนอกของชุดต่อปลายสาย Termination (2)

รูปที่ 4.94 เติมฉนวนน้ำมันลงในชุดต่อปลายสาย Termination (1)

รูปที่ 4.95 เติมฉนวนน้ำมันลงในชุดต่อปลายสาย Termination (2)

รูปที่ 4.96 เติมฉนวนน้ำมันลงในชุดต่อปลายสาย Termination (3)

รูปที่ 4.97 ติดตั้งซีลส่วนบนของฉนวนชุดต่อปลายสาย Termination (1)

รูปที่ 4.98 ติดตั้งซีลส่วนบนของฉนวนชุดต่อปลายสาย Termination (2)

รูปที่ 4.99 ติดตั้งซีลส่วนบนที่ Connection Bolt ของชุดต่อปลายสาย Termination (1)

ปที่ 4.100 ติดตั้งซีลส่วนบนที่ Connection Bolt ของชุดต่อปลายสาย Termination (2)

ปที่ 4.101 ติดตั้งซีลส่วนบนที่ Connection Bolt ของชุดต่อปลายสาย Termination (3)

รูปที่ 4.102 ชุดต่อปลายสาย Termination เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ

7) ขั้นตอนการติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง ขนาดแรงดันและกระแสสูงสุดที่ 96 กิโลโวลต์

รูปที่ 4.103 การเจาะรูเพื่อยึด Baseplate

รูปที่ 4.104 จับยึด Baseplate เข้ากับโครงสร้างเสาขึ้นสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 4.105 ติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง (1)

รูปที่ 4.106 ติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง (2)

รูปที่ 4.107 ติดตั้งชุดกับดักเสิร์จแรงสูง (3)

รูปที่ 4.108 ชุดกับดักเสิร์จแรงสูง เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ

8) ขั้นตอนการติดตั้งชุดต่อสายลงดิน

รูปที่ 4.109 การติดตั้งชุดต่อสายลงดิน

รูปที่ 4.110 เสาต้น Riser เมื่อทำการติดตั้ง ชุดต่อปลายสาย Termination แล้วเสร็จ

4.2.6 ขั้นตอนการทดสอบสายเคเบิลใต้ดิน ระบบ 115 กิโลโวลต์

1) การพิจารณาด้วยสายตา (Visual Inspection) ได้แก่

(1) ตรวจความเสียหายและความสะอาดของสายเคเบิล

(2) ตรวจสอบหมายเลขวงจรและเฟสของสายเคเบิล

(3) ตรวจสอบความโค้งของสายเคเบิล (รัศมีความโค้งต้องมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิล)

(4) ความเหมาะสมในการเชื่อมต่อสายเคเบิล

(5) ตรวจสอบการทำความสะอาด การทาสารหล่อลื่น และการจับยึดที่มั่นคงของหัวสายเคเบิล

(6) ความเหมาะสมในการต่อลงดินของสายเปลือกตัวนำ

(7) ตรวจสอบเครื่องหมายและฉลากบนสายเคเบิล

(8) ตรวจสอบสายเคเบิลหลังจากการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

2) การทดสอบความต่อเนื่องของการซีลด์ (Shield-Continuity) การทดสอบนี้จะอ้างอิงค่า ตามการทดสอบประจำของบริษัทผู้ผลิต

3) การทดสอบการต่อลงดิน (Earthing Test)

รูปที่ 4.111 การทดสอบการต่อลงดิน

4) การทดสอบความต้านทานฉนวน (ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ)

รูปที่ 4.112 การทดสอบความต้านทานฉนวน ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

5) การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test)

รูปที่ 4.113 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) (1)

รูปที่ 4.114 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) (2)

รูปที่ 4.115 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test) (3)

รูปที่ 4.116 หน้าจอแสดงค่าการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Test)

6) การทดสอบความต้านทานฉนวน (หลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ)

รูปที่ 4.117 การทดสอบความต้านทานฉนวน หลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปที่ 4.118 หน้าจอแสดงค่าการทดสอบความต้านทานฉนวน
หลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

7) การทดสอบเปลือกหุ้มสายเคเบิล (Over sheath)

8) การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ระดับแรงดัน 115kV เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด (AC Withstand 115kV, 24 h. and No-Load Test)

รูปที่ 4.119 ทำการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าในระบบก่อนปฏิบัติงานเชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์

รูปที่ 4.120 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (1)

รูปที่ 4.121 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (2)

รูปที่ 4.122 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (3)

รูปที่ 4.123 เชื่อมต่อสายเคเบิลใต้ดินเข้ากับระบบสายส่งเหนือพื้น 115 กิโลโวลต์ (4)

รูปที่ 4.124 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด (AC Withstand 115kV, 24 h. and No-Load Test)

4.3 สรุปผลการดำเนินงาน

4.3.1 ผลการดำเนินงาน

ลำดับ	งานที่ปฏิบัติ	ปริมาณงานที่ทำ (ร้อยละ)	ผลการดำเนินการ
1	การลากสายร้อยท่อ	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 27 กันยายน 2568
2	การติดตั้งชุดต่อปลายสาย และ การติดตั้งกับดักล่อฟ้า	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2568
3	การติดตั้งชุดต่อสายลงดิน	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2568
4	การติดตั้งชุดป้องกันการโจรกรรม	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 24 ตุลาคม 2568
5	การติดตั้งโครงเหล็กป้องกันท่อ	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2568
6	การทดสอบสายเคเบิลใต้ดิน (AC High Voltage)	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2568
7	การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC withstand)	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2568

4.3.2 ผลการทดสอบหลังจากการติดตั้งระบบไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ แบบสายเคเบิลใต้ดิน งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีรายละเอียดดังนี้

1) เอกสารรายงานผลการทดสอบ AC High Voltage

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

จาก ผกส. ถึง กทย.

อกท. กทย.(พล.) [redacted] วันที่ 4 พ.ย. 2567

เรื่อง รายงานผลการทดสอบ AC High Voltage งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางประอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 จ.พระนครศรีอยุธยา เขต กฟก.1

เรียน ลก.กทย. (ผ่าน ลก.พลง.(2)) [redacted]

4 พ.ย. 2567

1. เรื่องเดิม

1.1 กฟก.2 แจ้งความพร้อมแผนงานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางประอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 หรือหลังการทดสอบตั้งแต่ วันที่ 21 ตุลาคม 2567 ตามหนังสือ,ลงที่ กฟก.2(สพ.[redacted] ลงวันที่ 18 ตุลาคม 2567 (เอกสารแนบ 1)

1.2 กทย. แจ้งแผนงานทดสอบสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางประอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 ระหว่างวันที่ 24-28 ตุลาคม 2567 (เอกสารแนบ 2)

2. ข้อเท็จจริง

งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางประอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 มีรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ดังที่

ลำดับ	เฟส	อุปกรณ์	ระยะทาง (เมตร)	115 kV Cable Termination Kit				115 kV Underground Cable
				ต้นทาง		ปลายทาง		
				หลักกิโลที่	วัน	หลักกิโลที่	วัน	
1	เฟส บางประอิน	ทางหลวงหมายเลข 32	200	[redacted]	115 kV	[redacted]	115 kV	[redacted]

3. ข้อพิจารณา

ผกส.กทย. ได้ดำเนินการทดสอบ AC High voltage สายเคเบิลใต้ดิน งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางประอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 แล้วเสร็จ มีผล... ปฏิบัติการและรายละเอียดการทดสอบ (เอกสารแนบ 3)

/4 ข้าพเจ้า...

(2)

4. ข้อเสนอ

การทดสอบ AC High Voltage สายเคเบิลใต้ดิน งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางปะอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 มีผลการทดสอบผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและพิจารณาดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องต่อไป

[redacted]

ชย.ทส. กทย.

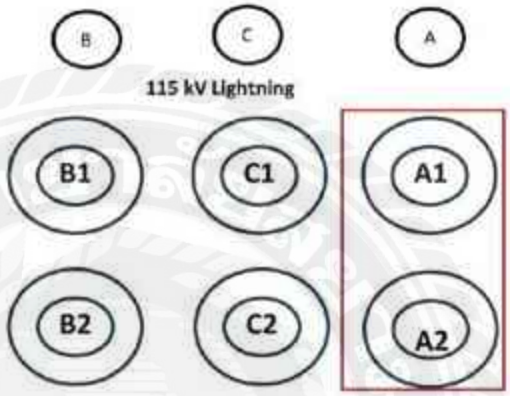
ผทส. กทย./[redacted]

โทร.6274

[redacted]

2) รายละเอียดผลการทดสอบ AC High Voltage

เอกสารแนบ 3

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		Testing and Commissioning Substation Division บริเวณ : ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 บริเวณ กม1.+ 200 สัญญาเลขที่ : -	
Round	Equipment	Description	Remark
1st	115 kV Cable Termination Kit Underground Cable	 Energize : A1 and A2	

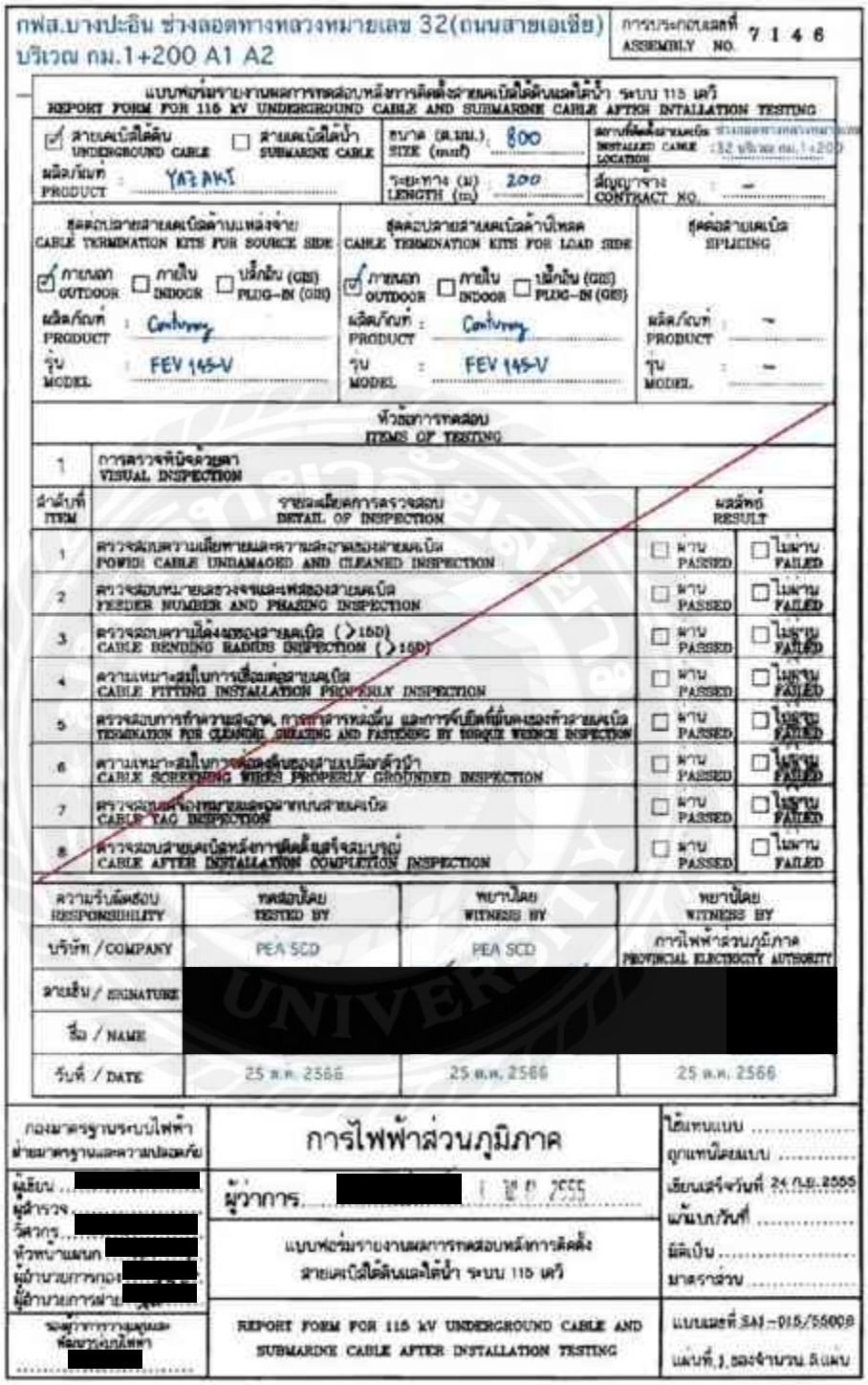
Reporter : [redacted]

กกส. กกอ.

Date :

28 / 10 /2567

Page 1



กฟส.บางปะอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32(ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 A1 A2

การประกอบลำดับที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 800
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 บริเวณ กม.1+200
ผลิต/ประเทศ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม) LENGTH (m): 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

ชุดต่อปลายสายเคเบิลด้านแหล่งจ่าย CABLE TERMINATION KITS FOR SOURCE SIDE
☑ ภายนอก OUTDOOR ☐ ภายใน INDOOR ☐ ปลั๊กอิน (GIS) PLUG-IN (GIS)
ผลิต/ประเทศ PRODUCT: Comtrony
รุ่น MODEL: FEV 145-V

ชุดต่อปลายสายเคเบิลด้านโหลด CABLE TERMINATION KITS FOR LOAD SIDE
☑ ภายนอก OUTDOOR ☐ ภายใน INDOOR ☐ ปลั๊กอิน (GIS) PLUG-IN (GIS)
ผลิต/ประเทศ PRODUCT: Comtrony
รุ่น MODEL: FEV 145-V

ชุดต่อสายเคเบิล SPLICING
ผลิต/ประเทศ PRODUCT: -
รุ่น MODEL: -

หัวข้อการทดสอบ ITEMS OF TESTING

1 การตรวจพินิจด้วยตา VISUAL INSPECTION

ลำดับที่ ITEM	รายละเอียดการตรวจสอบ DETAIL OF INSPECTION	ผลลัพธ์ RESULT	
1	ตรวจสภาพความเสียหายและความสะอาดของสายเคเบิล POWER CABLE UNDAMAGED AND CLEANED INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
2	ตรวจสอบหมายเลขวงจรและเฟสของสายเคเบิล FEEDER NUMBER AND PHASING INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
3	ตรวจสอบความโค้งงอของสายเคเบิล (>15D) CABLE BENDING RADIUS INSPECTION (>15D)	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
4	ความเหมาะสมในการเชื่อมต่อสายเคเบิล CABLE FITTING INSTALLATION PROPERLY INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
5	ตรวจสอบการทำความสะอาด การยึดตรึงหลังขั้น และการขันน็อตที่ยึดแผงกั้นสายเคเบิล TERMINATION FOR CLEANING, SHEATH AND FASTENING BY TORQUE WRENCH INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
6	ความเหมาะสมในการต่อลงดินของสายเคเบิลตัวนำ CABLE SCREENING WIRES PROPERLY GROUNDED INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
7	ตรวจสอบป้ายหมายเลขสายเคเบิล CABLE TAG INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
8	ตรวจสอบสายเคเบิลหลังการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ CABLE AFTER INSTALLATION COMPLETION INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	25 ส.ค. 2566	25 ส.ค. 2566	25 ส.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย
ผู้อำนวย [redacted]
ผู้สำรวจ
วิศวกร [redacted]
หัวหน้าแผนก [redacted]
ผู้อำนวยการกอง [redacted]
ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]

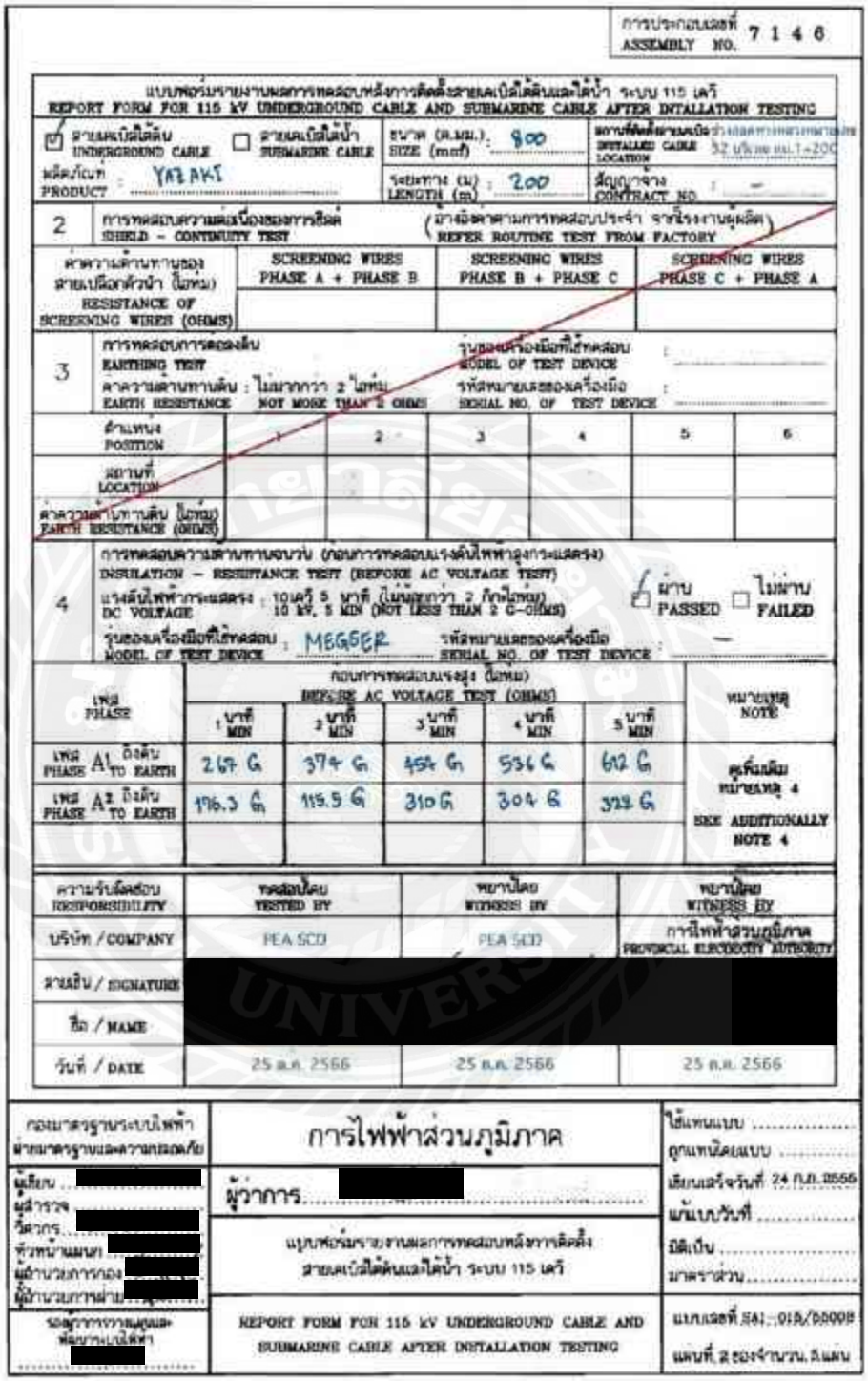
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ผู้ว่าการ [redacted] [illegible] 2555

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้ง สายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี

REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

ใช้แทนแบบ .....
ถูกแทนโดยแบบ .....
เขียนเสร็จวันที่ 24 ก.ย. 2555
แก้ไข/วันที่ .....
มิติเป็น .....
มาตราส่วน .....

แบบเลขที่ SAI-015/55009
แผ่นที่ 1 รวมจำนวน 5 แผ่น



การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE

ขนาด (ม.ม.) SIZE (mm): 800 — ตำแหน่งที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: 52 บริเวณ กม.1+200

ผลิตภัณฑ์ PRODUCT: YAZAKI — ระยะทาง (ม) LENGTH (m): 200 — สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

2 การทดสอบความต่อเนื่องของการชิลด์ SHIELD – CONTINUITY TEST (อ้างอิงตามการทดสอบประจำ จากโรงงานผู้ผลิต REFER ROUTINE TEST FROM FACTORY)

ค่าความต้านทานของสายเปลือยตัวนำ (โอห์ม) RESISTANCE OF SCREENING WIRES (OHMS)	SCREENING WIRES PHASE A + PHASE B	SCREENING WIRES PHASE B + PHASE C	SCREENING WIRES PHASE C + PHASE A

3 การทดสอบการต่อลงดิน EARTHING TEST
ค่าความต้านทานดิน : ไม่มากกว่า 2 โอห์ม EARTH RESISTANCE : NOT MORE THAN 2 OHMS
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE :
รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE :

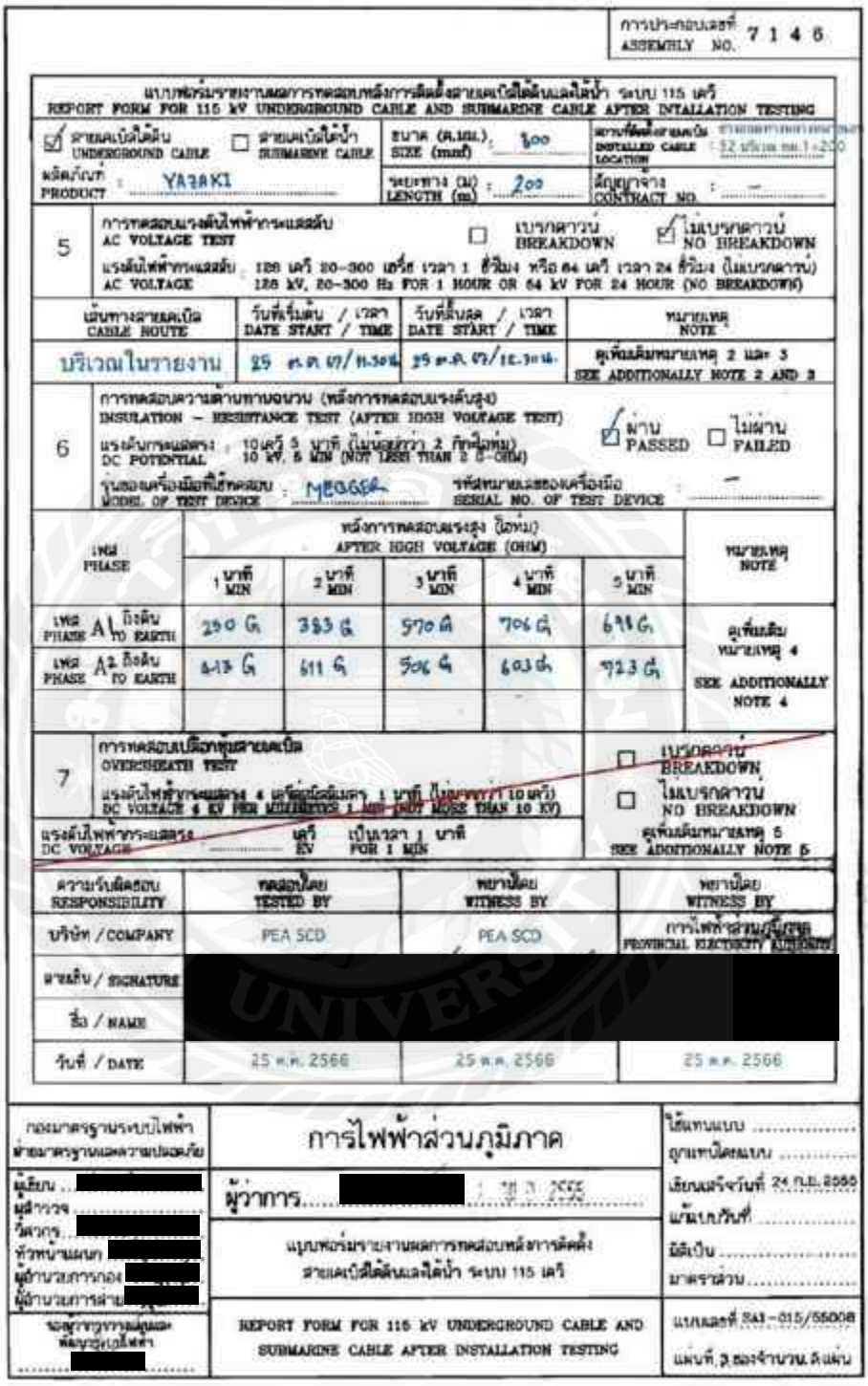
ตำแหน่ง POSITION	1	2	3	4	5	6
สถานที่ LOCATION						
ค่าความต้านทานดิน (โอห์ม) EARTH RESISTANCE (OHMS)						

4 การทดสอบความต้านทานฉนวน (ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง)
INSULATION – RESISTANCE TEST (BEFORE AC VOLTAGE TEST)
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง : 10 เควี 5 นาที (ไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม) DC VOLTAGE : 10 kV, 5 MIN (NOT LESS THAN 2 G-OHMS)
☑ ผ่าน PASSED ☐ ไม่ผ่าน FAILED
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE : MEGGER — รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE : -

เฟส PHASE	ก่อนการทดสอบแรงสูง (โอห์ม) BEFORE AC VOLTAGE TEST (OHMS) 1 นาที MIN	2 นาที MIN	3 นาที MIN	4 นาที MIN	5 นาที MIN	หมายเหตุ NOTE
เฟส A1 ถึงดิน PHASE A1 TO EARTH	267 G	374 G	454 G	536 G	612 G	ดูเพิ่มเติม หมายเหตุ 4 SEE ADDITIONALLY NOTE 4
เฟส A2 ถึงดิน PHASE A2 TO EARTH	196.3 G	115.5 G	310 G	304 G	322 G	

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	25 ต.ค. 2566	25 ต.ค. 2566	25 ต.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ ..... ถูกแทนโดยแบบ .....
ผู้เรียบ [redacted] ผู้สำรวจ [redacted] วิศวกร [redacted] หัวหน้าแผนก [redacted] ผู้อำนวยการกอง [redacted] ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]	ผู้ว่าการ [redacted]	เรียบเสร็จวันที่ 24 ก.ย. 2556 แก้แบบวันที่ ..... มิติเป็น ..... มาตราส่วน .....
รองผู้ว่าการวางแผนและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้ง สายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี	
	REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบเลขที่ SAI-:-013/00008 แผ่นที่ 2 ของจำนวน 3 แผ่น



การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 800
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: 32 บริเวณ กม.1+200
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม.) LENGTH (m): 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

5 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC VOLTAGE TEST
☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☑ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN
แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC VOLTAGE: 128 เควี 20-300 เฮิร์ซ เวลา 1 ชั่วโมง หรือ 64 เควี เวลา 24 ชั่วโมง (ไม่เบรกดาวน์)
128 kV, 20-300 Hz FOR 1 HOUR OR 64 kV FOR 24 HOUR (NO BREAKDOWN)

เส้นทางสายเคเบิล CABLE ROUTE	วันที่เริ่มต้น / เวลา DATE START / TIME	วันที่สิ้นสุด / เวลา DATE START / TIME	หมายเหตุ NOTE
บริเวณในรายงาน	25 พ.ค. 67/ 11.30 น.	25 พ.ค. 67/ 12.30 น.	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 2 และ 3 SEE ADDITIONALLY NOTE 2 AND 3

6 การทดสอบความต้านทานฉนวน (หลังการทดสอบแรงดันสูง)
INSULATION – RESISTANCE TEST (AFTER HIGH VOLTAGE TEST)
แรงดันกระแสตรง DC POTENTIAL: 10 เควี 5 นาที (ไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม) 10 kV, 5 MIN (NOT LESS THAN 2 G-OHM)
☑ ผ่าน PASSED ☐ ไม่ผ่าน FAILED
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE: MEGGER
รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE: -

เฟส PHASE	หลังการทดสอบแรงสูง (โอห์ม) AFTER HIGH VOLTAGE (OHM) 1 นาที MIN	2 นาที MIN	3 นาที MIN	4 นาที MIN	5 นาที MIN	หมายเหตุ NOTE
เฟส PHASE A1 ถึงดิน TO EARTH	290 G	383 G	570 G	706 G	698 G	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 4 SEE ADDITIONALLY NOTE 4
เฟส PHASE A2 ถึงดิน TO EARTH	613 G	611 G	506 G	603 G	723 G	

7 การทดสอบเปลือกหุ้มสายเคเบิล OVERSHEATH TEST
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 4 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร 1 นาที (ไม่เกินกว่า 10 เควี)
DC VOLTAGE 4 kV PER MILLIMETER 1 MIN (NOT MORE THAN 10 kV)
☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☐ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC VOLTAGE: ..... เควี kV เป็นเวลา 1 นาที FOR 1 MIN
ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 5 SEE ADDITIONALLY NOTE 5

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	25 พ.ค. 2566	25 พ.ค. 2566	25 พ.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย
[redacted]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

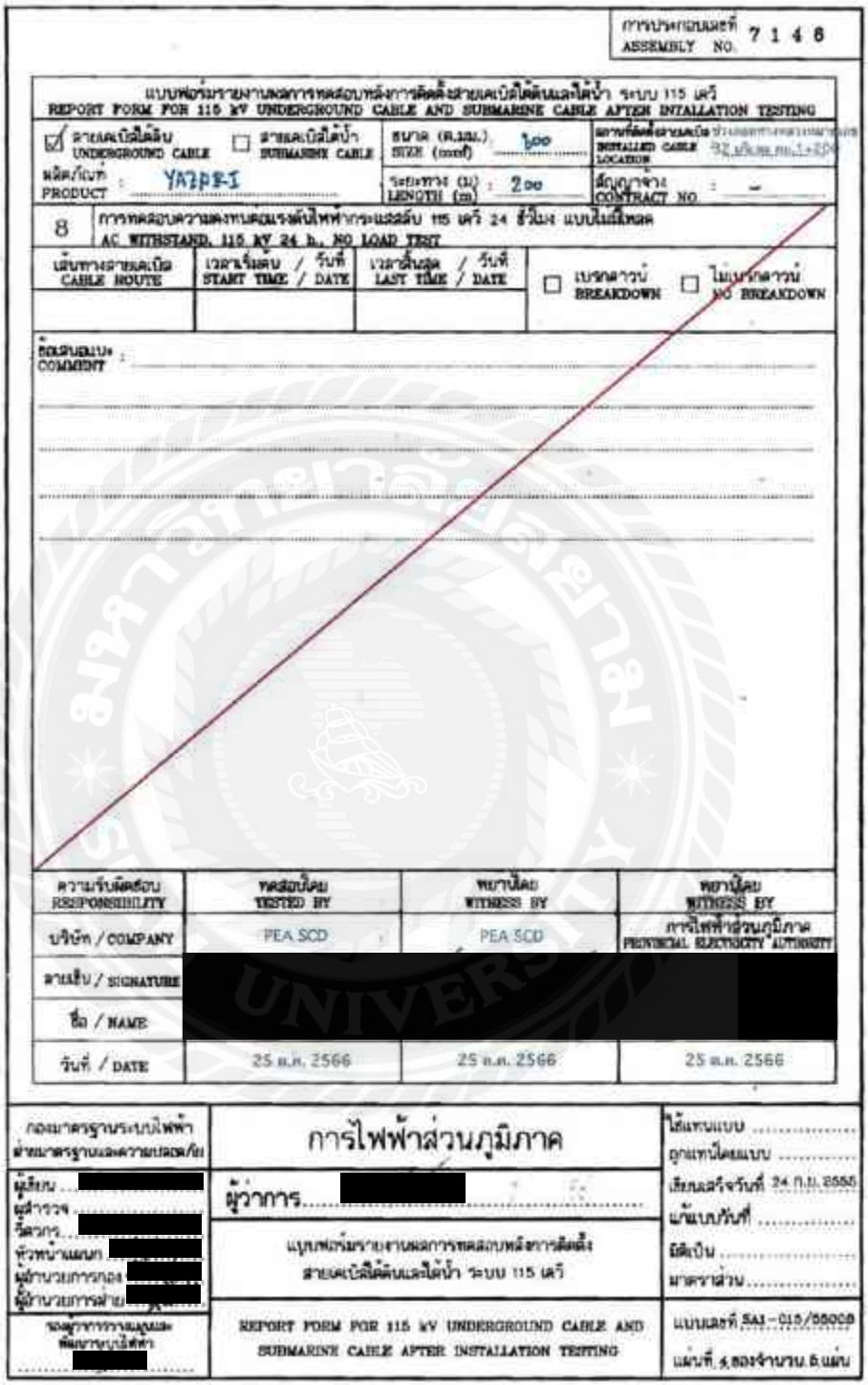
ผู้ว่าการ [redacted] : 31 ก.ค. 2566

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้ง สายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี

REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

ใช้แทนแบบ .....
ถูกแทนโดยแบบ .....
เลิกแล้วตั้งแต่วันที่ 24 ก.ย. 2565
แก้ไขครั้งที่ .....
มีผลใช้ .....
มาตราส่วน .....

แบบเลขที่ SA1-015/55008
แผ่นที่ 3 ของจำนวน 5 แผ่น



การประกอบหมายที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE

ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²) 500

สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION

ผลิตภัณฑ์ PRODUCT : YAZPE-I

ระยะทาง (ม.) LENGTH (m) : 200

สัญญาจ้าง CONTRACT NO : -

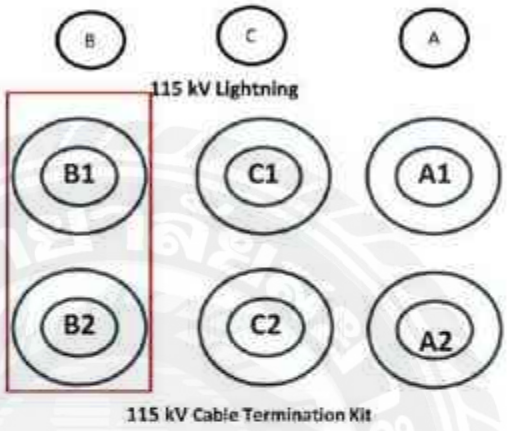
8 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 115 เควี 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด
AC WITHSTAND 115 kV 24 h. NO LOAD TEST

เส้นทางสายเคเบิล CABLE ROUTE	เวลาเริ่มต้น / วันที่ START TIME / DATE	เวลาสิ้นสุด / วันที่ LAST TIME / DATE	☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☐ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN

ข้อเสนอแนะ COMMENT :

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	25 ธ.ค. 2566	25 ธ.ค. 2566	25 ธ.ค. 2566

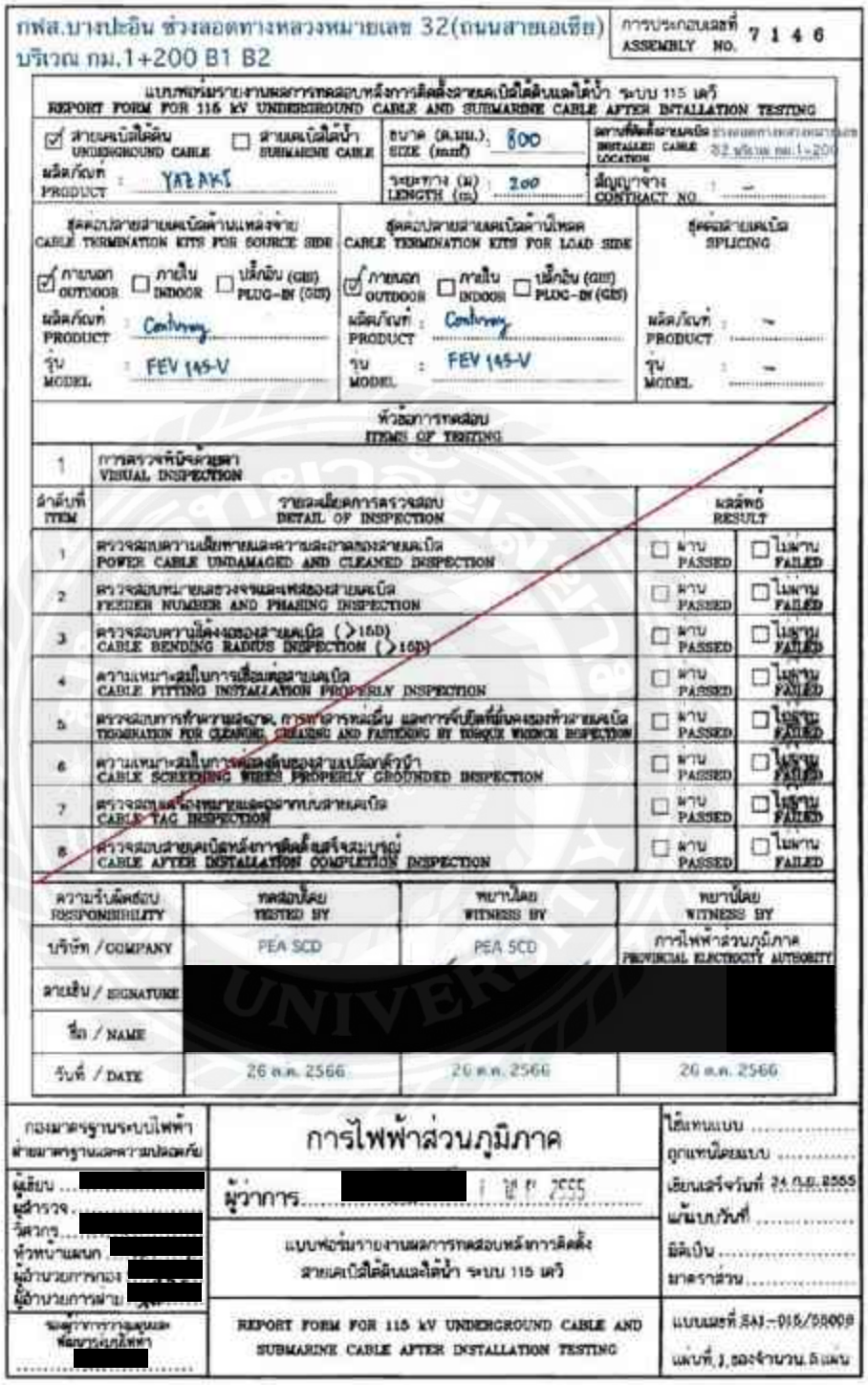
กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ ..... ถูกแทนโดยแบบ ..... เสียบเสร็จรับที่ 24 ก.ย. 2556 แก้แบบรับที่ ..... ยิดเป็น ..... มาตราส่วน .....
ผู้เขียน [redacted] ผู้สำรวจ [redacted] วิศวกร [redacted] หัวหน้าแผนก [redacted] ผู้อำนวยการกอง [redacted] ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]	ผู้ว่าการ [redacted]	
รองผู้ว่าการวางแผนและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบเลขที่ SAI-015/55009 แผ่นที่ 5 ของจำนวน 6 แผ่น

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		Testing and Commissioning Substation Division บริเวณ : ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 บริเวณ กม1.+ 200 สัญญาเลขที่ : -	
Round	Equipment	Description	Remark
2nd	115 kV Cable Termination Kit Underground Cable		
		Energize : B1 and B2	

Reporter : [redacted]

Date :

28 / 10 /2567



กฟส.บางปะอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32(ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 B1 B2

การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ต.ร.มม.) SIZE (mm²): 800
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 บริเวณ กม.1+200
ผลิต/โดยท์ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม) LENGTH (m): 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

สุดคอปลายสายเคเบิลด้านแหล่งจ่าย CABLE TERMINATION KITS FOR SOURCE SIDE
☑ ภายนอก OUTDOOR ☐ ภายใน INDOOR ☐ ปลั๊กอิน (GIS) PLUG-IN (GIS)
ผลิต/โดยท์ PRODUCT: Centriway
รุ่น MODEL: FEV 145-V

สุดคอปลายสายเคเบิลด้านโหลด CABLE TERMINATION KITS FOR LOAD SIDE
☑ ภายนอก OUTDOOR ☐ ภายใน INDOOR ☐ ปลั๊กอิน (GIS) PLUG-IN (GIS)
ผลิต/โดยท์ PRODUCT: Centriway
รุ่น MODEL: FEV 145-V

สุดคอสายเคเบิล SPLICING
ผลิต/โดยท์ PRODUCT: -
รุ่น MODEL: -

หัวข้อการทดสอบ ITEMS OF TESTING

1	การตรวจพินิจด้วยตา VISUAL INSPECTION		
ลำดับที่ ITEM	รายละเอียดการตรวจสอบ DETAIL OF INSPECTION	ผลที่ได้ RESULT	
1	ตรวจสอบความเสียหายและความสะอาดของสายเคเบิล POWER CABLE UNDAMAGED AND CLEANED INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
2	ตรวจสอบหมายเลขวงจรและเฟสของสายเคเบิล FEEDER NUMBER AND PHASING INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
3	ตรวจสอบความโค้งงอของสายเคเบิล (>15D) CABLE BENDING RADIUS INSPECTION (>15D)	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
4	ความเหมาะสมในการเชื่อมต่อสายเคเบิล CABLE FITTING INSTALLATION PROPERLY INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
5	ตรวจสอบการทำความสะอาด การขันสายหล็ดเส้น และการจับยึดที่ยึดของท้ายสายเคเบิล TERMINATION FOR CLEANING, CLEANING AND FASTENING BY TORQUE WRENCH INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
6	ความเหมาะสมในการต่อลงดินของสายป้องกันน้ำ CABLE SCREENING WIRES PROPERLY GROUNDED INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
7	ตรวจสอบป้ายสัญลักษณ์สายเคเบิล CABLE TAG INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
8	ตรวจสอบสายเคเบิลหลังการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ CABLE AFTER INSTALLATION COMPLETION INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	26 ต.ค. 2566	26 ต.ค. 2566	26 ต.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย

ผู้เขียน ...[redacted]
ผู้สำรวจ ...
วิศวกร ...[redacted]
หัวหน้าแผนก ...[redacted]
ผู้อำนวยการฝ่าย ...[redacted]
ผู้อำนวยการกอง ...[redacted]

ขอสงวนการรวบรวมและพิมพ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ...[redacted]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

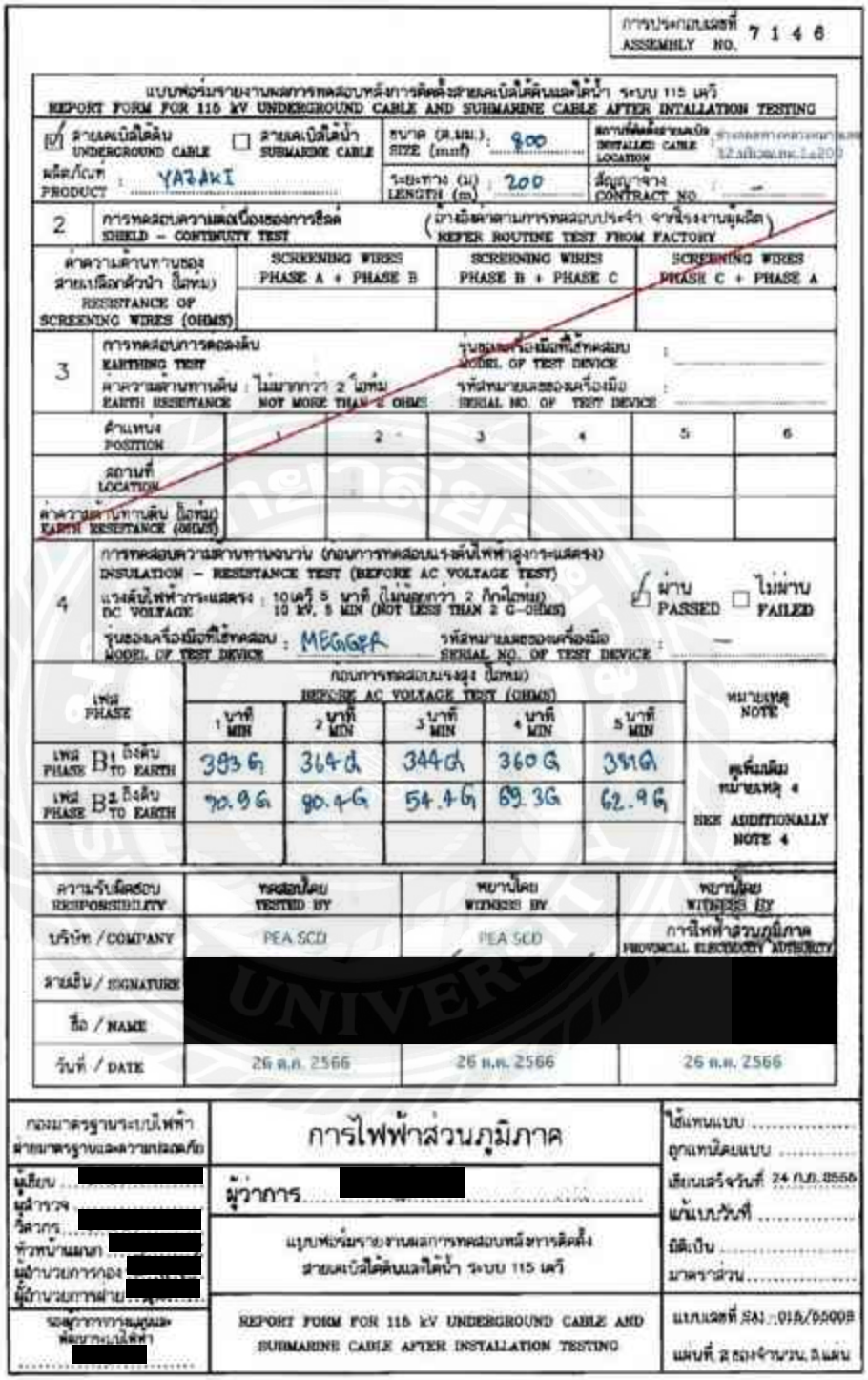
ผู้ว่าการ ...[redacted] ปี พ.ศ. 2555

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี

REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

ใช้แทนแบบ ...
ถูกแทนโดยแบบ ...
เขียนเสร็จวันที่ 24 ก.ย. 2555
แก้ไขวันที่ ...
มิติเป็น ...
มาตราส่วน ...

แบบเลขที่ SAI-015/55009
แผ่นที่ 1 ของจำนวน 5 แผ่น



การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE	ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²) : 800	สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION : [redacted]	
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT : YAZAKI	ระยะทาง (ม.) LENGTH (m) : 200	สัญญาจ้าง CONTRACT NO. : -	

2 การทดสอบความต่อเนื่องของการชีลด์ SHIELD – CONTINUITY TEST (อ้างอิงตามการทดสอบประจำ จากโรงงานผู้ผลิต / REFER ROUTINE TEST FROM FACTORY)

ค่าความต้านทานของสายเฉือกตัวนำ (โอห์ม) RESISTANCE OF SCREENING WIRES (OHMS)	SCREENING WIRES PHASE A + PHASE B	SCREENING WIRES PHASE B + PHASE C	SCREENING WIRES PHASE C + PHASE A

3 การทดสอบการต่อลงดิน EARTHING TEST
ค่าความต้านทานดิน : ไม่มากกว่า 2 โอห์ม EARTH RESISTANCE : NOT MORE THAN 2 OHMS
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE :
รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE :

ตำแหน่ง POSITION	1	2	3	4	5	6
สถานที่ LOCATION						
ค่าความต้านทานดิน (โอห์ม) EARTH RESISTANCE (OHMS)						

4 การทดสอบความสามารถทางฉนวน (ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง)
INSULATION – RESISTANCE TEST (BEFORE AC VOLTAGE TEST)
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง : 10 เควี 5 นาที (ไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม) DC VOLTAGE : 10 kV, 5 MIN (NOT LESS THAN 2 G-OHMS)
☑ ผ่าน PASSED ☐ ไม่ผ่าน FAILED
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE : MEGGER
รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE : -

เฟส PHASE	ก่อนการทดสอบแรงสูง (โอห์ม) BEFORE AC VOLTAGE TEST (OHMS) 1 นาที MIN	2 นาที MIN	3 นาที MIN	4 นาที MIN	5 นาที MIN	หมายเหตุ NOTE
เฟส PHASE B1 ถึงดิน TO EARTH	393 G	364 G	344 G	360 G	381 G	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 4 SEE ADDITIONALLY NOTE 4
เฟส PHASE B2 ถึงดิน TO EARTH	90.9 G	90.4 G	54.4 G	89.3 G	62.9 G	

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	26 ก.ค. 2566	26 ก.ค. 2566	26 ก.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ ..... ถูกแทนที่ด้วยแบบ .....
ผู้เขียบ [redacted] ผู้ตรวจ [redacted] วิศวกร [redacted] หัวหน้าแผนก [redacted] ผู้อำนวยการกอง [redacted] ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]	ผู้ว่าการ [redacted]	เขียนเสร็จวันที่ 24 ก.ย. 2556 แก้แบบวันที่ ..... มีผลใช้ ..... มาตราส่วน .....
ระดับการการแสดงและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้ง สายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบแผนที่ SAI : 018/59009 แผ่นที่ 2 ของจำนวน 3 แผ่น

การปักหมายเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²) 500
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION 132 บริเวณ กม.1+200
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT : YAZAKI
ระยะทาง (ม) LENGTH (m) : 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO. : -

5 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC VOLTAGE TEST ☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☑ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN
แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC VOLTAGE 128 เควี 20-300 เฮิร์ซ เวลา 1 ชั่วโมง หรือ 64 เควี เวลา 24 ชั่วโมง (ไม่เบรกดาวน์)
128 kV, 20-300 Hz FOR 1 HOUR OR 64 kV FOR 24 HOUR (NO BREAKDOWN)

เส้นทางสายเคเบิล CABLE ROUTE	วันที่เริ่มต้น / เวลา DATE START / TIME	วันที่สิ้นสุด / เวลา DATE START / TIME	หมายเหตุ NOTE
บริเวณในรายงาน	26 ต.ค. 67 / 10.45 น.	26 ต.ค. 67 / 11.49 น.	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 2 และ 3 SEE ADDITIONALLY NOTE 2 AND 3

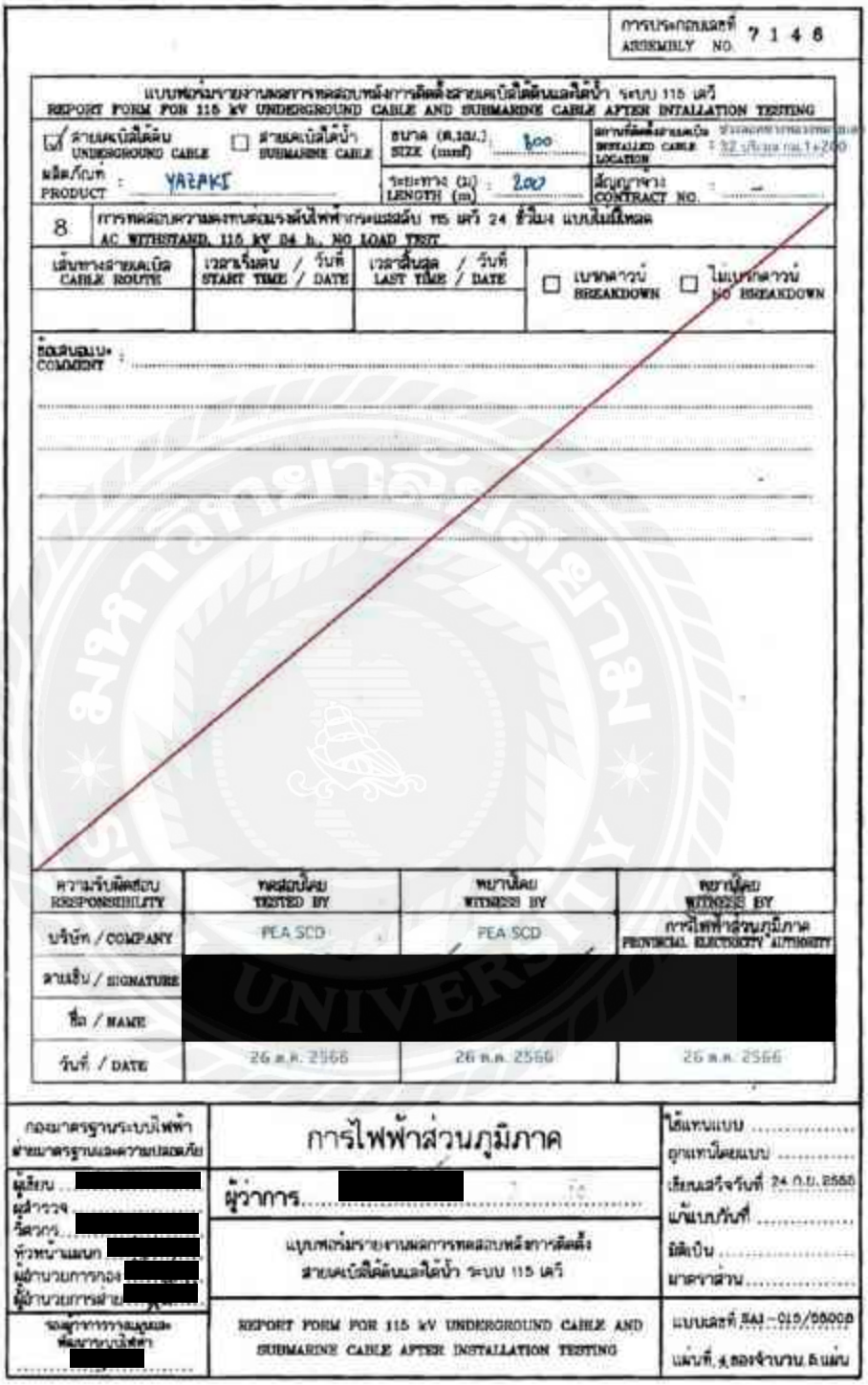
6 การทดสอบความต้านทานฉนวน (หลังการทดสอบแรงดันสูง) INSULATION – RESISTANCE TEST (AFTER HIGH VOLTAGE TEST)
แรงดันกระแสตรง DC POTENTIAL : 10 เควี 5 นาที (ไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม) 10 kV, 5 MIN (NOT LESS THAN 2 G-OHM)
☑ ผ่าน PASSED ☐ ไม่ผ่าน FAILED
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE : MEGGER
หมายเลขเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE : -

เฟส PHASE	หลังการทดสอบแรงสูง (โอห์ม) AFTER HIGH VOLTAGE (OHM) 1 นาที MIN	2 นาที MIN	3 นาที MIN	4 นาที MIN	5 นาที MIN	หมายเหตุ NOTE
เฟส PHASE B1 ถึงดิน TO EARTH	256 G	321 G	288 G	298 G	331 G	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 4 SEE ADDITIONALLY NOTE 4
เฟส PHASE B2 ถึงดิน TO EARTH	229 G	246 G	237 G	896 G	857 G	

7 การทดสอบเปลือกหุ้มสายเคเบิล OVERSHEATH TEST ☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☐ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 4 เควีต่อหนึ่งมิลลิเมตร 1 นาที (ไม่น้อยกว่า 10 เควี) DC VOLTAGE 4 kV PER MILLIMETRE 1 MIN (NOT LESS THAN 10 kV)
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC VOLTAGE ..... เควี kV เป็นเวลา 1 นาที FOR 1 MIN
ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 5 SEE ADDITIONALLY NOTE 5

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	26 ต.ค. 2566	26 ต.ค. 2566	26 ต.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ ..... อ้างแทนใบสเปค .....
ผู้เขียน [redacted] ผู้ตรวจ วิศวกร [redacted] หัวหน้าแผนก [redacted] ผู้อำนวยการกอง [redacted] ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]	ผู้ว่าการ [redacted] : 30 ก.ย. 2565	เสียนแล้วเมื่อวันที่ 24 ก.ย. 2555 แก้แบบวันที่ ..... มิติเป็น ..... มาตราส่วน .....
ขอสงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบเลขที่ 3A1-015/55008 แผ่นที่ 3 จากจำนวน 5 แผ่น



การประกอบลำดับที่ ASSEMBLY NO. 7148

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 800
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: [redacted]
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม.) LENGTH (m): 207
สัญญาเลขที่ CONTRACT NO.: -

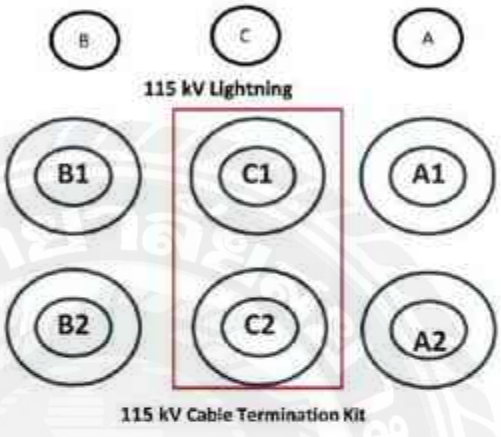
8 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 115 เควี 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด
AC WITHSTAND, 115 kV 24 h, NO LOAD TEST

เส้นทางสายเคเบิล CABLE ROUTE	เวลาเริ่มต้น / วันที่ START TIME / DATE	เวลาสิ้นสุด / วันที่ LAST TIME / DATE	☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☐ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN

ข้อเสนอแนะ COMMENT:

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	26 ส.ค. 2566	26 ส.ค. 2566	26 ส.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ ..... ถูกแทนโดยแบบ ..... เสียบเลขที่จดรับที่ 24 ก.ย. 2566 แก้แบบครั้งที่ ..... มิติเป็น ..... มาตราส่วน .....
ผู้เสียบ [redacted] ผู้สำรวจ ..... ที่ตรวจ [redacted] หัวหน้าแผนก ..... ผู้ช่วยวิศวกรกอง ..... ผู้ช่วยวิศวกรฝ่าย	ผู้ว่าการ [redacted]	
รองผู้ว่าการวางแผนและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบเลขที่ SAI-015/0500B แผ่นที่ 4 ของจำนวน 6 แผ่น

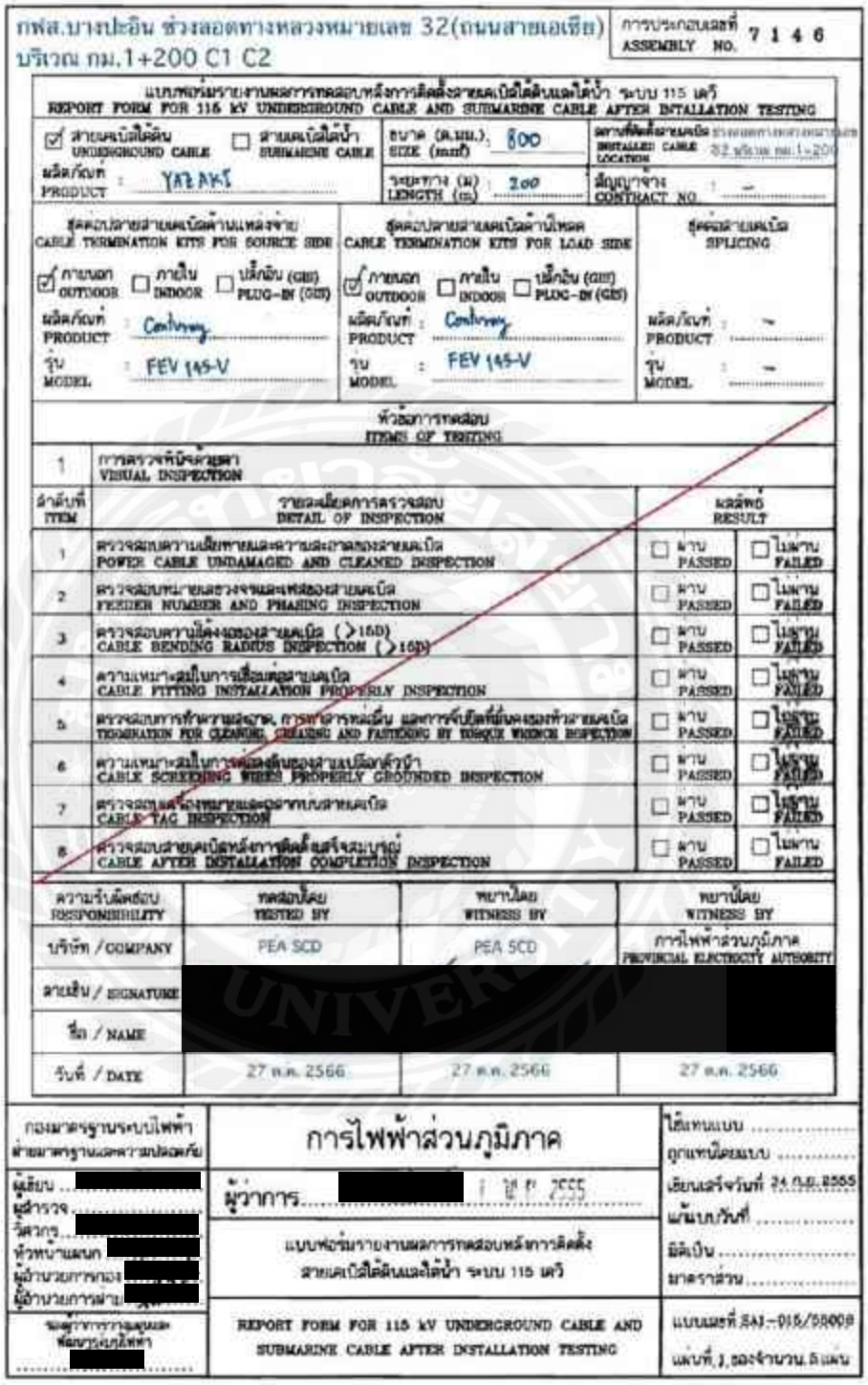
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		Testing and Commissioning Substation Division บริเวณ : ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 บริเวณ กม1.+ 200 สัญญาเลขที่ : -	
Round	Equipment	Description	Remark
3rd	115 kV Cable Termination Kit Underground Cable		
		Energize : C1 and C2	

Reporter : [redacted]

กกส. กกธ.

Date :

28 / 10 /2567



กฟส.บางปะอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32(ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 C1 C2

การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 800
ตำแหน่งที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 บริเวณ กม.1+200
ผลิต/โดยที่ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม) LENGTH (m): 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

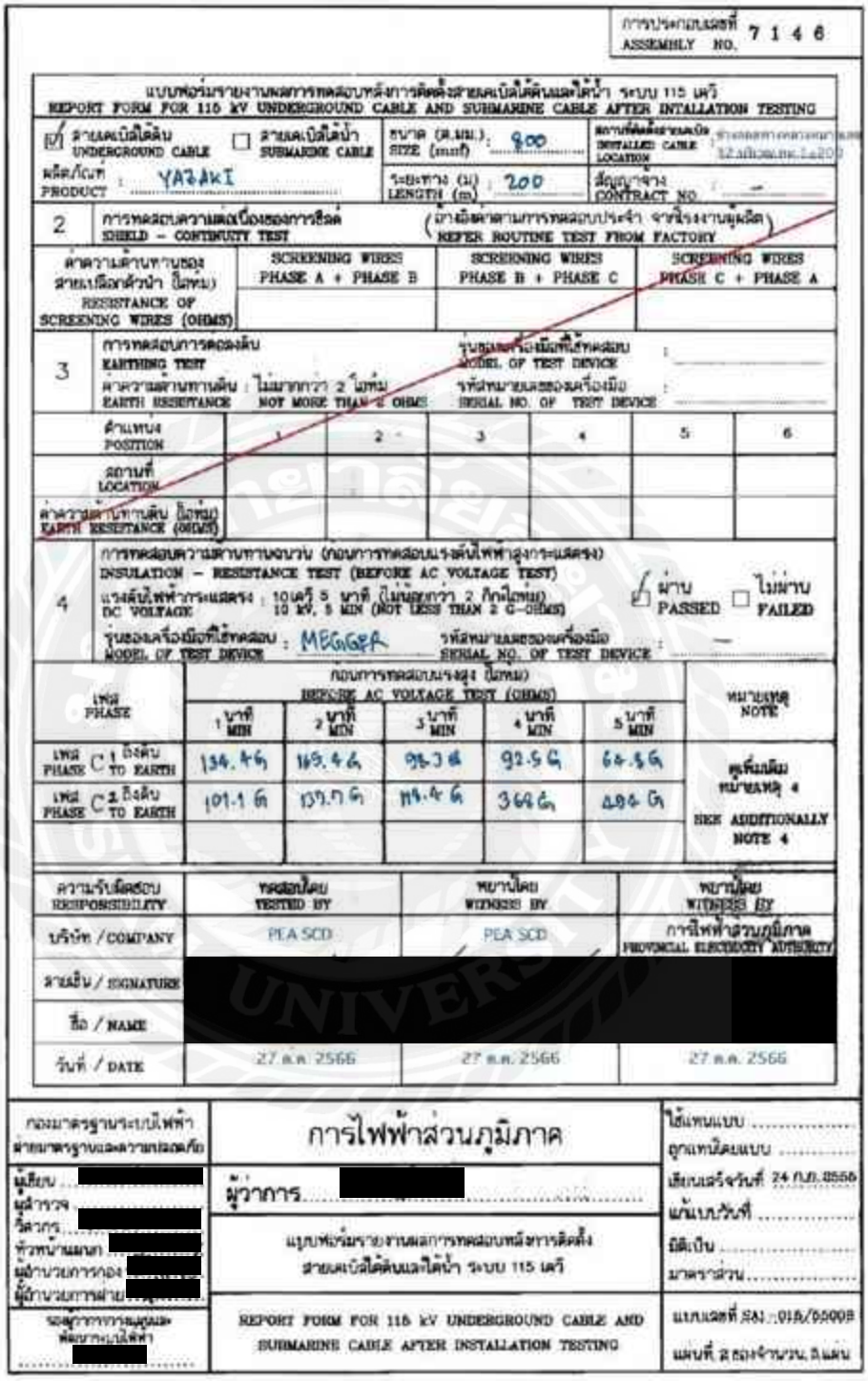
สุดคอปลายสายเคเบิลด้านแหล่งจ่าย CABLE TERMINATION KITS FOR SOURCE SIDE	สุดคอปลายสายเคเบิลด้านโหลด CABLE TERMINATION KITS FOR LOAD SIDE	สุดคอสายเคเบิล SPLICING
☑ ภายนอก OUTDOOR ☐ ภายใน INDOOR ☐ ปลั๊กอิน (GIS) PLUG-IN (GIS)	☑ ภายนอก OUTDOOR ☐ ภายใน INDOOR ☐ ปลั๊กอิน (GIS) PLUG-IN (GIS)	
ผลิต/โดยที่ PRODUCT: Cantwell	ผลิต/โดยที่ PRODUCT: Cantwell	ผลิต/โดยที่ PRODUCT: -
รุ่น MODEL: FEV 145-V	รุ่น MODEL: FEV 145-V	รุ่น MODEL: -

หัวข้อการทดสอบ ITEMS OF TESTING

1	การตรวจพินิจด้วยสายตา VISUAL INSPECTION		
ลำดับที่ ITEM	รายละเอียดการตรวจสอบ DETAIL OF INSPECTION	ผลลัพธ์ RESULT	
1	ตรวจสอบความเสียหายและความสะอาดของสายเคเบิล POWER CABLE UNDAMAGED AND CLEANED INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
2	ตรวจสอบหมายเลขวงจรและเฟสของสายเคเบิล FEEDER NUMBER AND PHASING INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
3	ตรวจสอบความโค้งงอของสายเคเบิล (>15D) CABLE BENDING RADIUS INSPECTION (>15D)	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
4	ความเหมาะสมในการเชื่อมต่อสายเคเบิล CABLE FITTING INSTALLATION PROPERLY INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
5	ตรวจสอบการทำความสะอาด การขันสายหล่อลื่น และการขันยึดที่ยึดของท้ายสายเคเบิล TERMINATION FOR CLEANING, GREASING AND FASTENING BY TORQUE WRENCH INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
6	ความเหมาะสมในการต่อลงดินของสายป้องกันน้ำ CABLE SCREENING WIRES PROPERLY GROUNDED INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
7	ตรวจสอบป้ายสัญลักษณ์ของระบบสายเคเบิล CABLE TAG INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED
8	ตรวจสอบสายเคเบิลหลังการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ CABLE AFTER INSTALLATION COMPLETION INSPECTION	☐ ผ่าน PASSED	☐ ไม่ผ่าน FAILED

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	27 ต.ค. 2566	27 ต.ค. 2566	27 ต.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ได้เห็นแบบ .....
ผู้เสนอ [redacted]	ผู้ว่าการ [redacted] ๑ มี.ค. 2565	ถูกแทนโดยแบบ .....
ผู้สำรวจ		เสนอเมื่อวันที่ 24 ก.ย. 2565
วิศวกร [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้ง สายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี	แก้แบบวันที่ .....
หัวหน้าแผนก [redacted]		มีผลใช้ .....
ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]		ยกเลิกส่วน .....
ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]		
ผู้อำนวยการกองมาตรฐานและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]	REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบเลขที่ SAI-016/58008 แผ่นที่ 1 จำนวน 5 แผ่น



การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 800
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: [redacted]
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม.) LENGTH (m): 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

2 การทดสอบความต่อเนื่องของการชีลด์ SHIELD – CONTINUITY TEST (อ้างอิงตามการทดสอบประจำ จากโรงงานผู้ผลิต / REFER ROUTINE TEST FROM FACTORY)

ค่าความต้านทานของสายเคเบิลตัวนำ (โอห์ม) RESISTANCE OF SCREENING WIRES (OHMS)	SCREENING WIRES PHASE A + PHASE B	SCREENING WIRES PHASE B + PHASE C	SCREENING WIRES PHASE C + PHASE A

3 การทดสอบการต่อลงดิน EARTHING TEST
ค่าความต้านทานดิน EARTH RESISTANCE: ไม่มากกว่า 2 โอห์ม NOT MORE THAN 2 OHMS
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE:
รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE:

ตำแหน่ง POSITION	1	2	3	4	5	6
สถานที่ LOCATION						
ค่าความต้านทานดิน (โอห์ม) EARTH RESISTANCE (OHMS)						

4 การทดสอบความต้านทานฉนวน (ก่อนการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง)
INSULATION – RESISTANCE TEST (BEFORE AC VOLTAGE TEST)
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC VOLTAGE: 10 เควี 5 นาที (ไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม) 10 kV, 5 MIN (NOT LESS THAN 2 G-OHMS)
☑ ผ่าน PASSED ☐ ไม่ผ่าน FAILED
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE: MEGGER
รหัสหมายเลขของเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE: -

เฟส PHASE	ก่อนการทดสอบแรงสูง (โอห์ม) BEFORE AC VOLTAGE TEST (OHMS) 1 นาที MIN	2 นาที MIN	3 นาที MIN	4 นาที MIN	5 นาที MIN	หมายเหตุ NOTE
เฟส C1 ถึงดิน PHASE C1 TO EARTH	134.4 G	103.4 G	93.3 G	92.5 G	64.8 G	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 4 SEE ADDITIONALLY NOTE 4
เฟส C2 ถึงดิน PHASE C2 TO EARTH	101.1 G	137.7 G	119.4 G	366 G	494 G	

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	27 ส.ค. 2566	27 ส.ค. 2566	27 ส.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย
ผู้เขียน [redacted]
ผู้ตรวจ
วิศวกร [redacted]
หัวหน้าแผนก [redacted]
ผู้อำนวยการกอง [redacted]
ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]
รองผู้ว่าการการสนับสนุนและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ผู้ว่าการ [redacted]
แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

ใช้แทนแบบ .....
ถูกแทนที่โดยแบบ .....
เขียนเสร็จวันที่ 24 ก.ย. 2556
แก้ไขวันที่ .....
มิติเป็น .....
มาตราส่วน .....
แบบเลขที่ SAI-018/00008
แผ่นที่ 2 ของจำนวน 3 แผ่น

การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 7146

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 500
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: 132 บริเวณ กม.1+200
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม.) LENGTH (m): 200
สัญญาจ้าง CONTRACT NO.: -

5 การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC VOLTAGE TEST
☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☑ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN
แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC VOLTAGE: 128 เควี 20-300 เฮิร์ซ เวลา 1 ชั่วโมง หรือ 64 เควี เวลา 24 ชั่วโมง (ไม่เบรกดาวน์)
128 kV, 20-300 Hz FOR 1 HOUR OR 64 kV FOR 24 HOUR (NO BREAKDOWN)

เส้นทางสายเคเบิล CABLE ROUTE	วันที่เริ่มต้น / เวลา DATE START / TIME	วันที่สิ้นสุด / เวลา DATE START / TIME	หมายเหตุ NOTE
บริเวณในรายงาน	29 ก.ค. 67 / 10.40 น.	29 ก.ค. 67 / 11.40 น.	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 2 และ 3 SEE ADDITIONALLY NOTE 2 AND 3

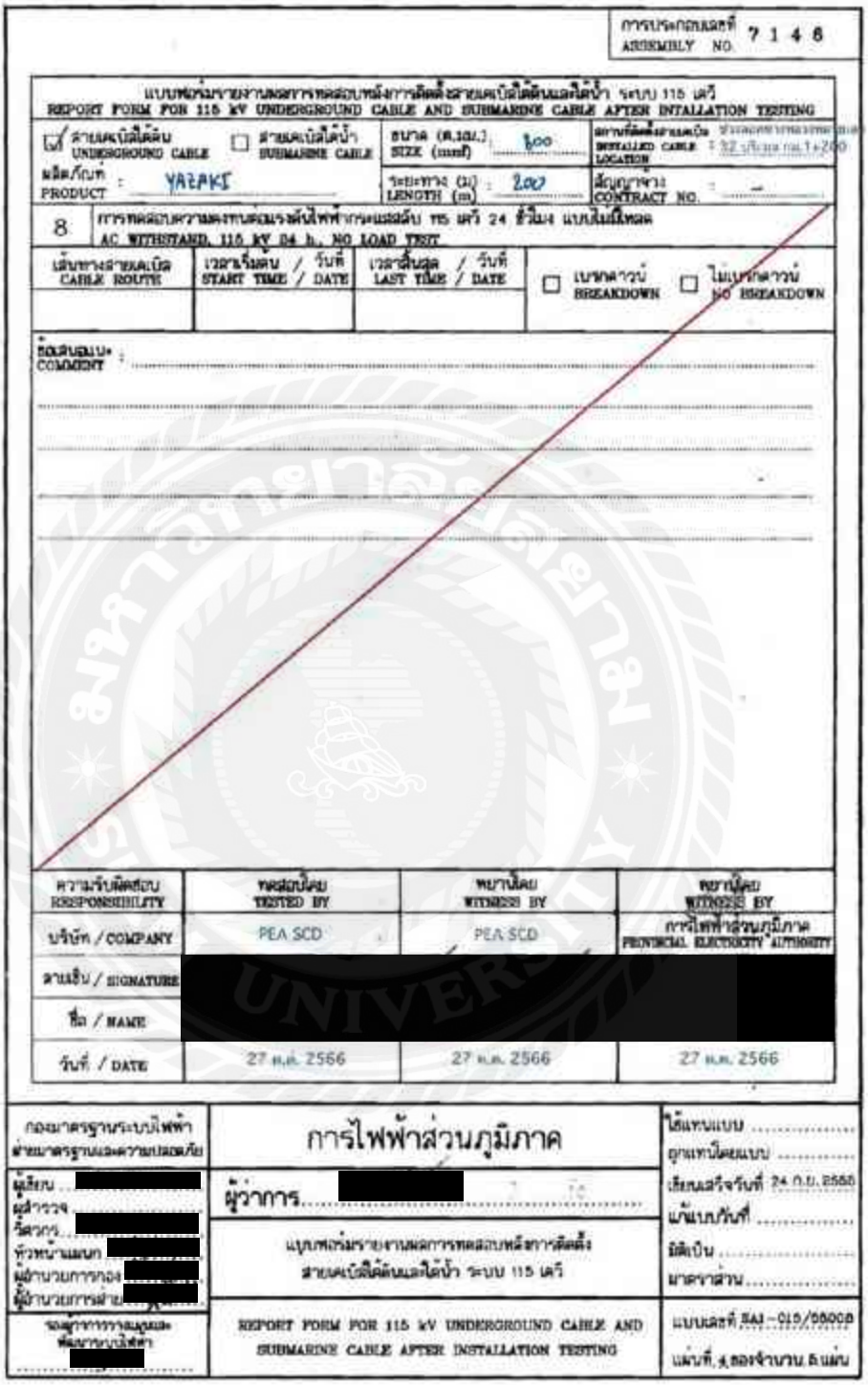
6 การทดสอบความต้านทานฉนวน (หลังการทดสอบแรงดันสูง)
INSULATION – RESISTANCE TEST (AFTER HIGH VOLTAGE TEST)
แรงดันกระแสตรง DC POTENTIAL: 10 เควี 5 นาที (ไม่น้อยกว่า 2 กิกะโอห์ม) 10 kV, 5 MIN (NOT LESS THAN 2 G-OHM)
☑ ผ่าน PASSED ☐ ไม่ผ่าน FAILED
รุ่นของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ MODEL OF TEST DEVICE: MEGGER
หมายเลขเครื่องมือ SERIAL NO. OF TEST DEVICE: -

เฟส PHASE	หลังการทดสอบแรงสูง (โอห์ม) AFTER HIGH VOLTAGE (OHM) 1 นาที MIN	2 นาที MIN	3 นาที MIN	4 นาที MIN	5 นาที MIN	หมายเหตุ NOTE
เฟส C1 ถึงดิน TO EARTH	244 G	352 G	324 G	393 G	451 G	ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 4 SEE ADDITIONALLY NOTE 4
เฟส C2 ถึงดิน TO EARTH	253 G	312 G	432 G	500 G	535 G	

7 การทดสอบเปลือกหุ้มสายเคเบิล OVERSHEATH TEST
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 4 เควีต่อมิลลิเมตร 1 นาที (ไม่น้อยกว่า 10 เควี) DC VOLTAGE 4 KV PER MILLIMETRE 1 MIN (NOT LESS THAN 10 KV)
☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☐ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC VOLTAGE: ..... เควี KV เป็นเวลา 1 นาที FOR 1 MIN
ดูเพิ่มเติมหมายเหตุ 5 SEE ADDITIONALLY NOTE 5

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	27 ส.ค. 2566	27 ส.ค. 2566	27 ส.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ ..... อ้างแทนโดยแบบ .....
ผู้เขียน [redacted] ผู้ตรวจ [redacted] วิศวกร [redacted] หัวหน้าแผนก [redacted] ผู้อำนวยการกอง [redacted] ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]	ผู้ว่าการ [redacted] : 18 ก.ย. 2555	เลิกแสดงวันที่ 24 ก.ย. 2565 แก้แบบวันที่ ..... มิติเป็น ..... มาตราส่วน .....
ขอสงวนลิขสิทธิ์ตามพ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ [redacted]	แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้ง สายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING	แบบเลขที่ 3A1-015/55008 แผ่นที่ 3 ของจำนวน 5 แผ่น



การประกอบลำดับที่ ASSEMBLY NO. 7148

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี
REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INTALLATION TESTING

☑ สายเคเบิลใต้ดิน UNDERGROUND CABLE ☐ สายเคเบิลใต้น้ำ SUBMARINE CABLE
ขนาด (ตร.มม.) SIZE (mm²): 800
สถานที่ติดตั้งสายเคเบิล INSTALLED CABLE LOCATION: [redacted]
ผลิตภัณฑ์ PRODUCT: YAZAKI
ระยะทาง (ม.) LENGTH (m): 207
สัญญาเลขที่ CONTRACT NO.: -

8 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 115 เควี 24 ชั่วโมง แบบไม่มีโหลด
AC WITHSTAND 115 kV 24 h. NO LOAD TEST

เส้นทางสายเคเบิล CABLE ROUTE	เวลาเริ่มต้น / วันที่ START TIME / DATE	เวลาสิ้นสุด / วันที่ LAST TIME / DATE	☐ เบรกดาวน์ BREAKDOWN ☐ ไม่เบรกดาวน์ NO BREAKDOWN

ข้อเสนอแนะ COMMENT:

ความรับผิดชอบ RESPONSIBILITY	ทดสอบโดย TESTED BY	พยานโดย WITNESS BY	พยานโดย WITNESS BY
บริษัท / COMPANY	PEA SCD	PEA SCD	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY
ลายเซ็น / SIGNATURE	[redacted]		
ชื่อ / NAME			
วันที่ / DATE	27 ก.ค. 2566	27 ก.ค. 2566	27 ก.ค. 2566

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ใช้แทนแบบ .....
ถูกแทนโดยแบบ .....
เสียบเลขที่จดรับที่ 24 ก.ย. 2568
แก้แบบครั้งที่ .....
มิติเป็น .....
มาตราส่วน .....

ผู้เสนอ [redacted]
ผู้สำรวจ
ที่ตรวจ [redacted]
หัวหน้าแผนก [redacted]
ผู้อำนวยการกอง [redacted]
ผู้อำนวยการฝ่าย [redacted]

ผู้ว่าการ [redacted]

แบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบหลังการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินและใต้น้ำ ระบบ 115 เควี

รองผู้ว่าการวางแผนและพัฒนาระบบไฟฟ้า [redacted]

REPORT FORM FOR 115 kV UNDERGROUND CABLE AND SUBMARINE CABLE AFTER INSTALLATION TESTING

แบบเลขที่ SAI-015/5500B
แผ่นที่ 4 ของจำนวน 6 แผ่น

3) เอกสารรายงานผลการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC withstand)

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

จาก กปบ.ก.1 ถึง ฝปบ.ก.1

เลขที่ ก.1กปบ.(ศฟ.) [redacted] วันที่ 15 พฤศจิกายน 2567

เรื่อง รายงานผลการ AC Withstand เคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางปะอิน ช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เรียน อฝ.ปบ.ก.1, อก.ศฟ., อก.ภฟ.2, อก.วย.ก.1, อก.บษ.ก.1, ผจก.กฟส.วังสิต, ผจก.กฟส.บางปะอิน, ผจก.กฟส.ประตูน้ำพระอินทร์

ตามหนังสือเลขที่ ก.1กรย.(กร.) [redacted] ลงวันที่ 1 พฤศจิกายน 2567 เรื่อง "ขอจ่ายไฟ AC Withstand Voltage Test เคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี งานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี กฟส.บางปะอิน ช่วงลอดทางหลวง หมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 จังหวัดพระนครศรี อยุธยา" ได้กำหนดแผนงาน AC Withstand เคเบิลใต้ดิน ในวันที่ 7 พฤศจิกายน 2567 นั้น กปบ.ก.1 ขอรายงานผลการ AC Withstand ช่วงลอดทางหลวง หมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และกำหนด แผนงานนำเข้าใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. จุดช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.1 วันที่ 7 พฤษจิกายน 2567 เวลา 10.34 น. เริ่มจ่ายไฟ AC Withstand เคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี

1.2 วันที่ 8 พฤษจิกายน 2567 เวลา 11.29 น. สิ้นสุดการ AC Withstand เคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี ผลการทดสอบอุปกรณ์ปกติ

2. กปบ.ก.1 มีแผนงานงานนำเคเบิลใต้ดินระบบ 115 เควี บริเวณช่วงลอดทางหลวงหมายเลข 32 (ถนนสายเอเชีย) บริเวณ กม.1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เข้าใช้งานในวันที่ 18 พฤศจิกายน 2567

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องต่อไป

☑ ก. [redacted]
☐ ว.
☐ ผจ.๑
☐ ผบก.๑
☐ วศก.๑
☐ ผศก.
☑ ผกฟ. [redacted]
☐ ผกฟ.๑ ☐ ผกฟ.
☐ ผกฟ.๒ ☐ ผอค.
☐ ผกฟ.๓ ☐ อื่นๆ

[redacted]
ผู้อำนวยการกองก่อสร้างระบบไฟฟ้า ๖
18 พ.ย. 2567

[redacted]
รก.ปบ. ปฏิบัติงานแทน อก.ปบ.ก.1

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

การปฏิบัติงานการควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ งานย้ายแนวสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข 32 กิโลเมตรที่ 1+200 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ทำให้สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติงานจริงและได้เผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ปฏิบัติงานระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งการดำเนินโครงการสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากการให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำจากพนักงานพี่เลี้ยง รวมถึงความอนุเคราะห์จากหน่วยงานที่เอื้อเฟื้อในการฝึกงานครั้งนี้

5.2 ประโยชน์ด้านสังคม

5.2.1 เรียนรู้ชีวิตการทำงาน การวางตัวในสังคม

5.2.2 เรียนรู้การวิเคราะห์ปัญหาและแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ

5.2.3 เรียนรู้การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นต่อผู้อื่นภายในหน่วยงาน

5.3 ประโยชน์ด้านการปฏิบัติงาน

5.3.1 ได้รับประสบการณ์ใหม่ ที่ไม่พบในชั้นเรียน

5.3.2 เรียนรู้การปฏิบัติงานจริง

5.3.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ภาคทฤษฎีไปปรับใช้จริง

5.4 ข้อดีของการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา

5.4.1 ได้นำความรู้ทางภาคทฤษฎีไปเผยแพร่ให้กับผู้ปฏิบัติงานระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อนำไปใช้งานให้เกิดความปลอดภัยและถูกต้องตามมาตรฐาน

5.4.2 ได้ฝึกปฏิบัติในสถานการณ์จริง ทำให้ได้เรียนรู้ถึงการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า

5.4.3 ได้ประสบการณ์ในส่วนของการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลในองค์กร

5.5 การแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงาน

5.5.1 เนื่องด้วยสถานที่ปฏิบัติงานจริงมีความยากลำบากในการปฏิบัติงาน ด้วยสภาพอากาศช่วงหน้าฝน และความเข้าใจแบบงานที่ผิดพลาดจึงต้องแก้ไขงานให้ตรงตามแบบมาตรฐาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5.5.2 ขาดประสบการณ์ในการทำงานทำให้การตัดสินใจแก้ไขงานเฉพาะหน้า กระทบถึงความต่อเนื่องของงานที่ปฏิบัติ

5.6 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน

5.6.1 เรียนรู้ สอบถาม และขอคำแนะนำจากผู้มีประสบการณ์ตรง

5.6.2 ศึกษาหาความรู้ในทางทฤษฎีเพิ่มเติม

5.6.3 มีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้มากขึ้น เพื่อที่จะปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์มากที่สุด และดำเนินการทันตามระยะเวลาที่กำหนด

บรรณานุกรม

กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า (ภาคเหนือ,ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ฝ่ายก่อสร้างระบบไฟฟ้า. ***เทคนิคการก่อสร้างสายส่งระบบ 115 เควี.*** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กรุงเทพฯ.

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า กองบริหารและจัดการคลังพัสดุ 4. (2562). ***คู่มืออุปกรณ์ไฟฟ้า สำหรับการก่อสร้างสายส่งแรงสูง 115 kV (ฉบับปรับปรุง 2562).*** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กรุงเทพฯ.

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย. (2548). ***ระบบเคเบิลใต้ดิน.*** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กรุงเทพฯ.

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย. (2550). ***คำแนะนำแบบมาตรฐานการก่อสร้างสายส่ง 115 kV ของ กฟภ.*** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กรุงเทพฯ.

คณะทำงานคู่มือการออกแบบเคเบิลใต้ดิน สายงานวิศวกรรม. (2560). ***คู่มือการออกแบบเคเบิลใต้ดิน.*** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กรุงเทพฯ.

คณะทำงานจัดทำคู่มือการจัดเตรียมอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน. (2563). ***คู่มือคำแนะนำการจัดเตรียมอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน.*** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กรุงเทพฯ.

ผศ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์. (2565). ***High Voltage Cable การออกแบบและติดตั้งระบบสายไฟฟ้าแรงดันสูง.*** พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท เซจ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด : กรุงเทพฯ.

ศุภกร มงคลลักษณ์. (2556). ***การป้องกันการระเบิดของขั้วต่อสายเคเบิลใต้ดินขนาด 115 kV โดยการลดความเครียดสนามไฟฟ้าภายในขั้วต่อสายเคเบิลใต้ดิน.*** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือยินยอมให้เผยแพร่โครงงานสหกิจศึกษา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

ที่ มท ๕๓๐๕.๓๓/[redacted]

กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า ๒
ที่ ๒๐๐ ถนนงามวงศ์วาน
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
กรุงเทพมหานคร ๑๐๙๐๐

๑๑ มกราคม ๒๕๖๘

เรื่อง หนังสือยินยอมให้เผยแพร่รายงานปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา

เรียน อธิการบดี มหาวิทยาลัยสยาม

เนื่องด้วย นายชาญวิทย์ ศรีนาท รหัสนักศึกษา ๖๕๒๑๒๒๐๐๐๔ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม เข้าร่วมปฏิบัติงานตามโครงการสหกิจศึกษา ณ กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า ๒ เมื่อ วันที่ ๑๙ สิงหาคม ๒๕๖๗ ถึง ๖ ธันวาคม ๒๕๖๗

กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า ๒ ได้ตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดในรายงานปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการในการปฏิบัติงาน เรื่องการก่อสร้างระบบไฟฟ้า แบบสายเคเบิลใต้ดิน ๑๑๕ กิโลโวลต์ (ส่วนงานไฟฟ้า) งานย้ายแนวสายส่ง ๑๑๕ กิโลโวลต์ ทางหลวงหมายเลข ๓๒ กิโลเมตรที่ ๑๑+๒๐๐ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ของนายชาญวิทย์ ศรีนาท รหัสนักศึกษา ๖๕๒๑๒๒๐๐๐๔ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า ๒ ยินยอมให้นักศึกษาและมหาวิทยาลัยสยาม เผยแพร่รายงานปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษาดังกล่าวต่อสาธารณะ เพื่อประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

โทร. ๐ ๒๕๗๐ ๕๕๐๘

ภาคผนวก ข

ภาพการนิเทศงานของอาจารย์นิเทศก์สหกิจศึกษา

ชื่ออาจารย์นิเทศก์สหกิจศึกษา

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นาราช
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
3. อาจารย์จักรกฤษณ์ จันทร์เขียว

นักศึกษาสหกิจศึกษา

ชื่อ-นามสกุล ชาญวิทย์ ศรีนาท รหัสนักศึกษา 6523220004

นิเทศงานสหกิจศึกษา เข้ามานิเทศสหกิจ

รูปที่ ข 1 ภาพการนิเทศของอาจารย์นิเทศก์สหกิจศึกษา

รูปที่ ข 2 ภาพการนิเทศของอาจารย์นิเทศก์สหกิจศึกษา

ภาคผนวก ค

การสอบโครงงานสหกิจศึกษา

การสอบโครงงานสหกิจศึกษา

รูปที่ ค 1 ภาพการสอบโครงงานสหกิจศึกษา

รูปที่ ค 2 ภาพการสอบโครงงานสหกิจศึกษา

รูปที่ ค 3 ภาพการสอบโครงงานสหกิจศึกษา

รูปที่ ค 4 ภาพการสอบโครงงานสหกิจศึกษา

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบการลอกเลียนวรรณกรรมทางวิชาการโดยใช้โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์

Plagiarism Checking Report

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
4323059	Jun 7, 2025 at 22:55 PM	chanwit.sri@siam.edu	มหาวิทยาลัยสยาม	Final.pdf	[redacted]	[redacted]

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
1	การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมโดยพิจารณาในด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม กรณีศึกษา : โครงการระบบไฟฟ้าใต้ดินเมืองใหญ่ บริเวณสนามราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช	ราเชนทร์ ตามเพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	0.74 %
2	DEVELOPMENT ON THE NON-DESTRUCTIVE INVESTIGATION SYSTEM FOR HIGH VOLTAGEUNDERGROUND CABLES USING TRAVELLING WAVE METHOD\การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณลักษณะการฉนวนแบบไม่ทำลายของสายเคเบิลแรงสูงใต้ดินด้วยวิธีการคลื่นจร\,DEVELOPMENT ON THE NON DESTRUCTIVE INVESTIGATION	นายกุลเดช[redacted]ง จันทน \,Mr.Kuladet Rittiroongrud\,นายกุลเดช[redacted]ง จันทน \,Mr.Kuladet Rittiroongrud	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0.33 %
3	การป้องการการระเบิดของหัวต่อสายเคเบิลใต้ดินขนาด 115 kV โดยการลดความเครียดสนามไฟฟ้าภายในหัวต่อสายเคเบิลใต้ดินPrevention of the explosion of a 115 kV cable terminator by reducing the stress field within the cable terminator	ศุภกร มงคลลักษณ์,ใจ้ย พยกฆะวิน,ชูเกียรติ คารมเกตุ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	0.31 %
4	การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เพื่อช่วยในการออกแบบและพัฒนา หลักต่อขั้ว TERMINAL CONNECTOR STUD	Rachatkunum Janinoo	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	0.17 %
5	การออกแบบและพัฒนาเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ช่วงยาว,Design and development of a long duration impulse current generator.	ชาติเจียะ ประเสริฐสังข์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	0.15 %
6	การเสื่อมอายุของฉนวนโครงหุ้มสายซิลิโคนสำหรับกับศักเสิร์จที่ ใช้ว. ภายใต้การทดสอบแรงการเสื่อมอายุ,Ageing deterioration of silicone rubber housing material for lighting surge arrester under artificial accelerated ageing test	วรวิทย์ หนิวไข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	0.14 %
7	การศึกษาคุณลักษณะการเกิดอิเล็กทริคลงทรีในวัสดุเอ็กซ์แอลพีอีที่ใช้เป็น แยกของสายเคเบิล,Studies on electrical treeing characteristics in XLPE cable insulation.	กฤษณะ พรังสมาส	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	0.13 %
8	การพัฒนาเครื่องวัดกระแสรั่วเพื่อประเมินการเสื่อมสภาพของกับศักเสิร์จในระบบไฟฟ้าแรงสูง\,DEVELOPMENT OF LEAKAGE CURRENT METER FOR EVALUATING DEGRADATION OF SURGE ARRESTERS INSTALLED IN HIGH VOLTAGE SYSTEMS	ธีติพันธ์ ศิริประภาไพฑ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0.12 %

แบบสรุปโครงงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน (CWIE)

มหาวิทยาลัยสยาม

ข้อมูลของนักศึกษา

1. ชื่อ – สกุล : นายชาญวิทย์ ศรีนาท

2. สาขาวิชา/คณะ : สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

3. E-mail นักศึกษา : chanwit.sri@siam.edu

4. ชื่อโครงการ/ผลงาน : การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

5. ชื่อสถานประกอบการ : กองก่อสร้างระบบไฟฟ้า 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่

6. ที่อยู่สถานประกอบการ : เลขที่ 200 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

7. ระยะเวลาปฏิบัติงาน : ตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม 2567 ถึงวันที่ 6 ธันวาคม 2567

8. ผู้นิเทศงานในสถานประกอบการ

ชื่อ - สกุล : นายศิวกร เกตุสมพงษ์

ตำแหน่ง : หัวหน้าแผนกก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน (วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 8)

แผนก : แผนกก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน

ข้อมูลโครงงาน/ผลงาน

1. **โครงงาน/ผลงาน/งานประจำ ได้รับการจัดระบบการทำงานที่เหมาะสมจากสถานประกอบการ ทั้งลักษณะงาน และระยะเวลา มีการจัดระบบพี่เลี้ยงสอนงาน**

ศึกษาเรียนรู้การควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ด้วยการศึกษาจากพนักงานพี่เลี้ยง ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อย่างเหมาะสมตามระยะเวลาการปฏิบัติงาน ได้เป็นอย่างดี ตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม 2567 ถึงวันที่ 6 ธันวาคม 2567

2. **การดำเนินงานมีความถูกต้อง มีระเบียบแบบแผนและทำให้นักศึกษามีโอกาสประยุกต์ใช้วิชาความรู้/ทักษะ ตามที่ได้เรียนมา โดยใช้ความรู้ทักษะในการศึกษากระบวนการ การวิเคราะห์และการแก้ปัญหาหรือสร้างแนวทางใหม่**

การดำเนินงานมีความถูกต้อง ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีระเบียบแบบแผนและทำให้นักศึกษามีโอกาสประยุกต์ใช้วิชาความรู้และทักษะที่ได้จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำมาใช้ทำงานตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าได้ในอนาคต และสามารถนำประสบการณ์ที่ได้มาประยุกต์ปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติงานได้ เช่น การแก้ไขปัญหาเรื่องการเตรียมพื้นที่ปฏิบัติงานเนื่องจากสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานจนการก่อให้อันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ การแก้ไขปัญหาเรื่องที่ไม่สามารถดำเนินงานต่อได้เนื่องจากสภาพของเครื่องมือและเครื่องจักรกล รวมทั้งการแก้ไขปัญหาร่วมกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียกับงานที่ปฏิบัติให้เสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

3. เป็นโครงงาน/ผลงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรมในสถานประกอบการ

หมายเหตุ : -หากเป็นงานประจำต้องสามารถนำไปพัฒนาองค์กร/หน่วยงานได้อย่างชัดเจน อาทิ ลดเวลาในการทำงานประจำ/ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย

- โครงงานมีการสร้างความคิดสร้างสรรค์ให้กับสถานประกอบการในระหว่างปฏิบัติสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน หรือมีการยื่นจดคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาหรือไม่ ถ้ามีโปรดอธิบาย

การปฏิบัติงานสหกิจศึกษา เรื่อง การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นการศึกษาเรียนรู้การควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ที่ถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าจากพนักงานพี่เลี้ยงมีความรู้และประสบการณ์ ในงานการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน เป็นการเสริมสร้างองค์ความรู้และประสบการณ์ให้แก่บุคลากร สามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้ไปใช้ในการควบคุมงานก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ได้ถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและรักษาผลประโยชน์ขององค์กรเป็นที่สูงสุด.

SIAM UNIVERSITY

หมายเหตุ: แบบฟอร์มฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายงานสหกิจศึกษา โปรดนำเข้าในเล่มรายงานต่อจากหน้าประวัติผู้เขียนด้วย

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล นาย ชาญวิทย์ ศรีนาท

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ที่อยู่ : เลขที่ 114 หมู่ 2 ตำบลถืมตอง อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน

ประวัติการศึกษา : พ.ศ.2555 สำเร็จการศึกษา ระดับ มัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน
พ.ศ.2560 สำเร็จการศึกษา ระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขา ช่างเครื่องมือกล
โรงเรียนช่างฝีมือทหาร
พ.ศ.2563 สำเร็จการศึกษา ระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
สาขาเทคนิคเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีพาณิชญการลพบุรี
พ.ศ.2565 สำเร็จการศึกษา ระดับ ปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมศาสตร์
สาขา เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ประวัติการทำงาน : พ.ศ.2560 บรรจุเป็นข้าราชทหาร โรงงานสร้างปืนใหญ่และเครื่องยิงลูกระเบิด
พ.ศ.2566 บรรจุเป็นพนักงานรัฐวิสหกิจ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เบอร์โทรศัพท์ : 080-047-0771

E-mail : chanwit.srinat@gmail.com

https://drive.google.com/drive/folders/1zoW6mSB42Kkrbx0zNFJkCLUobSXpXA3d?usp=sharing

รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การก่อสร้างระบบไฟฟ้าแบบสายเคเบิลใต้ดิน 115 กิโลโวลต์

Construction of 115 kV Underground Power System

โดย

นายชาญวิทย์ ศรีนาท 6523220004

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 152-497 สหกิจศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า 1

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567