ระบบเคเบิลใต้ดิน

Underground Cable System

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า

ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย

คำนำ

หนังสือระบบเคเบิลใต้ดินเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเผยแพร่ให้ความรู้ในเรื่องของระบบเคเบิลใต้ดินแก่พนักงานของ กฟภ. ที่ต้องปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับการออกแบบ ก่อสร้าง และควบคุมงาน สามารถนำความรู้ไปใช้ประกอบการปฏิบัติงานทำให้มีความสะดวก คล่องตัวและถูกต้องตามหลักวิชาการซึ่งจะทำให้ระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีความมั่นคงยิ่งขึ้น

เนื้อหาในหนังสือระบบเคเบิลใต้ดินเล่มนี้ ได้เรียบเรียงจากเอกสาร หนังสือคู่มือทั้งในและต่างประเทศ ที่ได้จากการอบรมสัมมนาฯรวมทั้งจากบริษัทผู้ผลิตสายเคเบิลใต้ดินและอุปกรณ์ประกอบที่ได้เอื้อเฟื้อให้ข้อมูลประกอบการจัดทำ โดยในส่วนของเนื้อหาการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน การก่อสร้างบ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน และข้อแนะนำในการควบคุมงานนั้น ได้ผ่านการตรวจสอบในเนื้อหาจากกองวิศวกรรมโยธา และกองก่อสร้างระบบไฟฟ้า(ภาคเหนือ,ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) กองมาตรฐานระบบไฟฟ้าขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ แบบต่างๆที่อ้างอิงในหนังสือระบบเคเบิลใต้ดินเล่มนี้ สามารถค้นหาได้จาก http://intra.pea.co.th

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้าหวังว่าเนื้อหาในหนังสือระบบเคเบิลใต้ดินเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อพนักงานผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง หากมีข้อเสนอแนะประการใดโปรดแจ้งให้กองมาตรฐานระบบไฟฟ้าทราบ (โทร.0-2590- 5584) เพื่อแก้ไขปรับปรุงในโอกาสต่อไป

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า

ธันวาคม พ.ศ. 2548

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ส่วนประกอบของระบบเคเบิลใต้ดิน

1. รูปแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน 3
2. บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole) 6
3. เสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Riser Pole) 12
4. ท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน (Conduit) 19
5. สายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable) 22
6. การต่อสายและการทำหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Splice and Terminator) 29
7. Compact Unit Substation 37

บทที่ 3 การออกแบบระบบเคเบิลใต้ดิน

1. การออกแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน 48
2. การออกแบบบ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole) 56
3. การเลือกขนาดท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน 63
4. ท่อสำรอง (Spare Duct) 67
5. การต่อลงดิน (Grounding) 68
6. การเลือกขนาดสายเคเบิลใต้ดิน 76
7. แรงดึงในสายเคเบิลใต้ดิน (Pulling Tensions) 77
8. ระยะห่างทางไฟฟ้าระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับสาธารณูปโภคอื่นๆ 92
9. การจัดวางสายเคเบิลใต้ดิน 92

บทที่ 4 การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน

1. คอนกรีต แบบหล่อ และเหล็กเสริม 96
2. การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบเปิดหน้าดิน 102
3. การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบไม่เปิดหน้าดิน 111
4. การก่อสร้างบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยวิธีการจมบ่อ 117

หน้า

บทที่ 5 การทดสอบ

1. การทดสอบสายเคเบิลใต้ดิน 122
2. การทดสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน 139

บทที่ 6 ข้อแนะนำในการควบคุมงานก่อสร้าง

1. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน งานคอนกรีต และเหล็กเสริม 144
2. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน การก่อสร้างบ่อพัก (Manhole) 144
3. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน การก่อสร้าง Duct Bank 145
4. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน การก่อสร้างแบบร้อยท่อฝังดิน (Semi-Direct Burial) 145
5. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน การก่อสร้างแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) .145
6. การเตรียมงานสำหรับการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Pulling Preparation) .146
7. ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานระบบเคเบิลใต้ดิน 157
8. การปฏิบัติขนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดิน 161

บทที่ 1
บทนำ

สายส่งจ่ายหรือระบบจำหน่ายที่ใช้ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า อาจแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และฉนวนออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบขึงในอากาศ (Overhead Line System) และแบบเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System)

1. สายส่งจ่ายแบบขึงในอากาศ (Overhead Line System)

สายส่งจ่ายแบบขึงในอากาศใช้อากาศเป็นฉนวนหลัก มีข้อดีที่อากาศเป็นฉนวนที่กลับคืนสภาพความเป็นฉนวนได้เอง หลังจากการเกิดดีสชาร์จหรือเบรกดาวน์ผ่านไป การใช้ระบบสายไฟฟ้าแบบขึงอากาศจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม มลภาวะ(Pollution) การเกิดโคโรนารบกวนระบบสื่อสาร ความปลอดภัยจากสนามไฟฟ้า และระยะห่างที่ปลอดภัยทางไฟฟ้า ที่สำคัญก็คือมีผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

2. สายส่งจ่ายแบบเคเบิลใต้ดิน(Underground Cable System)

สายส่งจ่ายแบบเคเบิลใต้ดินจะเป็นระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้สายตัวนำหุ้มด้วยฉนวนแข็ง หรือฉนวนเหลว หรือฉนวนก๊าซอัดความดัน เพื่อให้ทนต่อแรงดันได้สูงโดยความหนาของฉนวนไม่ต้องมากนัก เนื่องจากในบางกรณีมีที่ว่างไม่มากพอที่จะเดินสายส่งจ่ายแบบขึงในอากาศ เช่นบริเวณในเมืองใหญ่ๆ ย่านชุมชน หรือในกรณีที่ต้องการรักษาสภาพแวดล้อม ความสวยงามของภูมิทัศน์ ปัญหานี้อาจแก้ได้โดยการใช้สายส่งจ่ายแบบเคเบิลใต้ดิน เพราะเคเบิลมีขนาดเล็ก ทนแรงดันได้สูง สามารถติดตั้งใต้พื้นดินได้ การวางสายเคเบิลอาจติดตั้งในอากาศได้ เช่น ในอุโมงค์ โดยมีชั้นรองรับอย่างมั่นคง หรือวางในราง หรือร่องที่ทำไว้เพื่อวางสายเคเบิลโดยเฉพาะ หรือฝังในดินโดยตรง หรือวางใต้ท้องทะเล การต่อสายส่งจ่ายแบบเคเบิลใต้ดินเข้ากับสายส่งจ่ายแบบขึงในอากาศจะต้องต่อผ่านหัวเคเบิล(Cable Termination) ข้อดีของการใช้สายเคเบิลใต้ดิน ทำให้ดูเรียบร้อย ปลอดภัยจากฟ้าผ่าโดยตรง ให้ความปลอดภัยสูงแก่คนและสิ่งแวดล้อม

ลักษณะโครงสร้างของสายเคเบิลใต้ดินอาจแบ่งเป็นส่วนใหญ่ๆได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฉนวนหลัก และสิ่งห่อหุ้มภายนอก ขึ้นอยู่กับชนิดของสายเคเบิลใต้ดิน พิกัดแรงดัน ลักษณะการติดตั้ง โดยจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

ปัจจุบันการจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบสายไฟฟ้าขึงอากาศ (Overhead Line System) มีปัญหาอุปสรรคมากขึ้นตามความเจริญของพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่หรือแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งพอสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

1. ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบสายไฟฟ้าขึงอากาศลดน้อยลง เนื่องจากในบริเวณเมืองใหญ่ๆ หรือบริเวณชุมชนที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากๆแต่มีพื้นที่จำกัด จำเป็นต้องออกแบบระบบสายไฟฟ้าขึงอากาศจำนวนหลายๆวงจรอยู่บนเสาไฟฟ้าต้นเดียวกัน ทำให้มีผลกระทบมากเป็นบริเวณกว้างเมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้น

2. สภาพของพื้นที่

2.1 สภาพพื้นที่ในบางแห่งที่ต้องการความปลอดภัยอันเนื่องมาจาก อันตรายที่เกิดจากระบบสายไฟฟ้าขึงอากาศ (Overhead Line System) อันจะเกิดกับ คน สัตว์ หรือ ทรัพย์สิน

2.2 สภาพพื้นที่ที่ไม่สามารถสร้างระบบสายไฟฟ้าขึงอากาศ (Overhead Line System) ได้ กรณีที่มีระยะความปลอดภัย(Clearance) ไม่เพียงพอ เช่นต้องหลบสิ่งกีดขวางต่างๆหรือมีเขตทาง (ROW (Right Of Way)) แคบเกินไป

2.3 สภาพพื้นที่ที่ต้องการคงความสวยงามไว้ เช่นแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ระบบสายไฟฟ้าขึงอากาศ (Overhead Line System) ที่มีจำนวนมากๆ จะทำให้ความสวยงามของสภาพพื้นที่นั้นๆดูไม่สวยงาม

ด้วยเหตุผลต่างๆดังกล่าวทำให้เริ่มมีการใช้รูปแบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System) ในระบบไฟฟ้ามากขึ้น ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน มีความปลอดภัย ความมั่นคง และความเชื่อถือได้ของระบบสูง แต่ถ้าหากการก่อสร้างหรือการติดตั้งระบบเคเบิลใต้ดินไม่ถูกต้อง ไม่ได้มาตรฐานแล้ว ความมั่นคง และความเชื่อถือได้ของระบบก็จะเสียไป บางครั้งอาจแย่กว่าระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบขึงในอากาศเสียอีก เนื่องจากระบบเคเบิลใต้ดินเมื่อเกิดปัญหาขึ้นในระบบต้องใช้เวลามากในการหาจุดบกพร่อง และต้องใช้เวลาในการซ่อมแซมมาก ดังนั้นในการก่อสร้างหรือการติดตั้งระบบเคเบิลใต้ดิน ต้องได้มาตรฐาน

บทที่ 2
ส่วนประกอบของระบบเคเบิลใต้ดิน

1. รูปแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน

ปัจจุบันการก่อสร้างระบบสายไฟฟ้าใต้ดินมีวิธีการก่อสร้างได้หลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆในการพิจารณา โดยแบ่งรูปแบบการก่อสร้างออกเป็น 2 รูปแบบ 5 วิธีดังนี้

1.1 แบบเปิดหน้าดิน

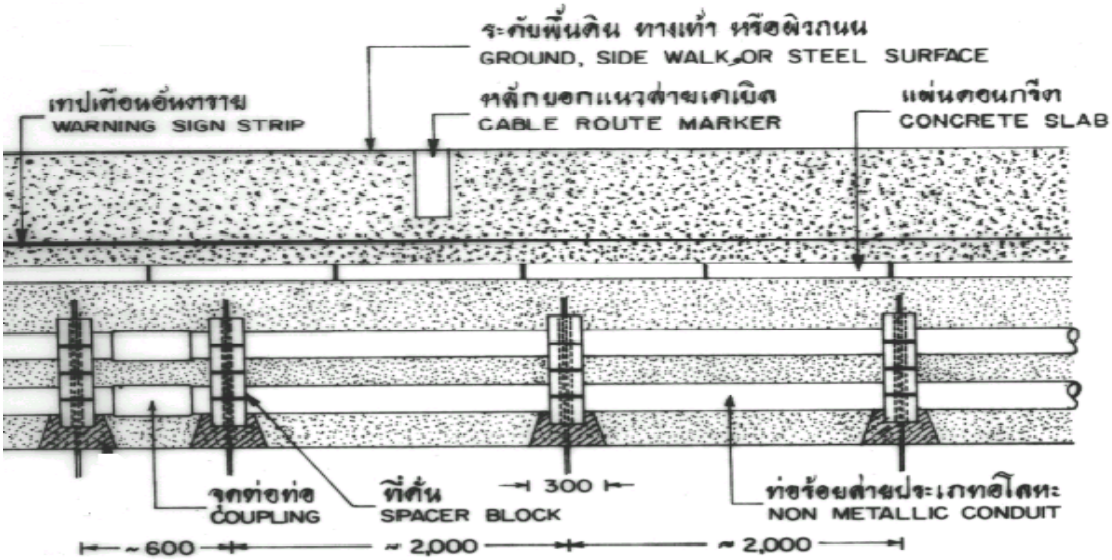
1.1.1 กลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank)

รูปที่ 2.1 กลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank)

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างในระบบจำหน่ายและระบบส่ง ลักษณะการก่อสร้างเป็นแบบใช้ท่อ HDPE (High Density Polyethylene) หรือท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) แล้วหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นการป้องกันจากผลกระทบทางกล (Mechanical Protection) ให้กับสายเคเบิลได้อย่างดี การก่อสร้างกลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Duct Bank) นี้จะต้องมีบ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole หรือ Handhole) เป็นระยะๆ สำหรับใช้ในการชักลากสาย ต่อสาย ต่อแยกสาย หรือใช้ในกรณีที่แนวเคเบิลหักมุม

1.1.2 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial)

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่ายและระบบส่งโดยนำท่อที่สามารถดัดงอได้ (Flexible) มาใช้คือ ท่อ Corrugated หรือใช้ท่อ HDPE หรือท่อ RTRC ดังรูปที่ 2.2



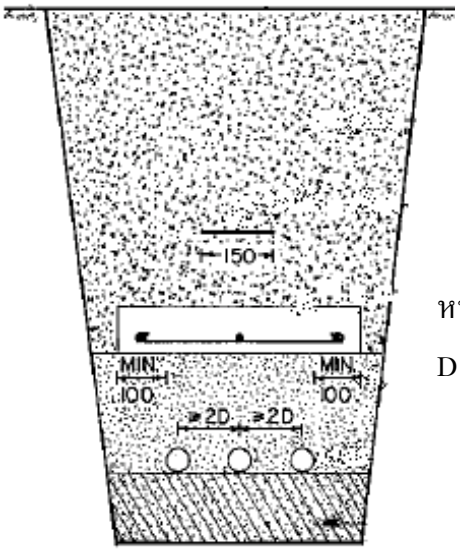
หน่วยเป็น มิลลิเมตร

รูปที่ 2.2 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial)

ลักษณะการก่อสร้างจะใช้ Concrete Spacer Block บังคับท่อดังกล่าวเป็นระยะ ๆ เพื่อช่วยรักษาระยะห่างระหว่างท่อให้สม่ำเสมอกัน การก่อสร้างวิธีนี้จะไม่มีการหุ้มท่อร้อยสายด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) ปิดป้องกันอยู่ด้านบน และจำเป็นต้องมีบ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกันกับกลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank) สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/36017 การประกอบเลขที่ 7502

1.1.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial)

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่าย โดยไม่ใช้ท่อร้อยสายและไม่มีการหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ใช้วิธีฝังสายเคเบิลใต้ดินให้ได้ความลึกตามมาตรฐาน ซึ่งมีการวางแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) และเทปเตือนอันตราย (Warning Sign Strip) ดังรูปที่ 2.3 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/36018 การประกอบเลขที่ 7503



หน่วยเป็น มิลลิเมตร
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ของเคเบิล

รูปที่ 2.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial)

1.2 แบบไม่เปิดหน้าดิน

1.2.1 Pipe Jacking

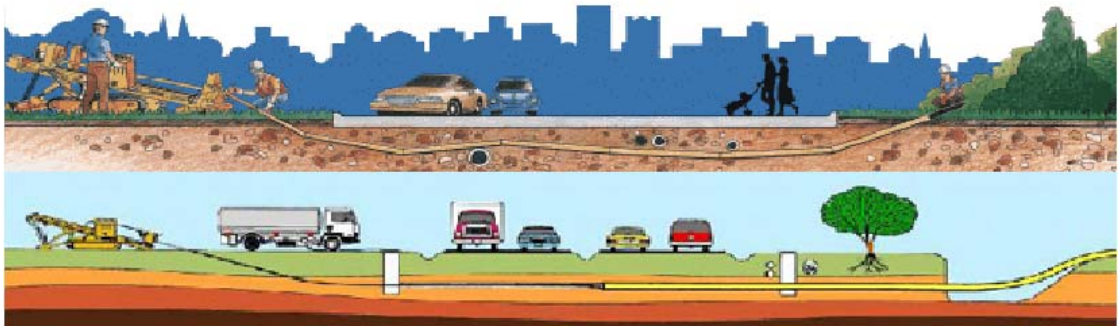
เป็นวิธีก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินโดยที่ไม่ต้องขุดเปิดผิวดินตลอดความยาวของท่ออีกวิธีหนึ่งหรือเรียกว่าวิธีการดันท่อ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ดันท่อที่เรียกว่า Jacking Frame และจำเป็นต้องมีพื้นที่สำหรับติดตั้ง Jacking Frame นี้ด้วย ดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 Pipe Jacking

วิธีนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole or Handhole) บนพื้นดินจะต้องมีหลักบอกแนวท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงไว้ตามแนวท่อด้วย สำหรับวิธีนี้ตลอดความยาวของแนวท่อจะเป็นแนวตรงตลอดแต่อาจจะเป็นแนวโค้งได้เพียงเล็กน้อย

1.2.2 Horizontal Directional Drilling (HDD)

เป็นวิธีการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินโดยที่ไม่ต้องขุดเปิดผิวดินตลอดความยาวของท่อซึ่งเมื่อพิจารณาถึงเรื่องของความสะดวกคล่องตัวในการทำงานแล้ว ระบบ Directional Drills นี้จะมีขีดความสามารถที่กว้างขวางกว่าวิธีการอื่นๆมาก กลุ่มท่อที่ก่อสร้างมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งความสามารถในการควบคุมความลึกและทิศทาง รวมถึงความสามารถเจาะลากท่อในแนวโค้งหลบหลีกอุปสรรคสิ่งกีดขวางได้ จึงเป็นวิธีการวางท่อใต้ดินที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่ง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Horizontal Directional Drilling (HDD)

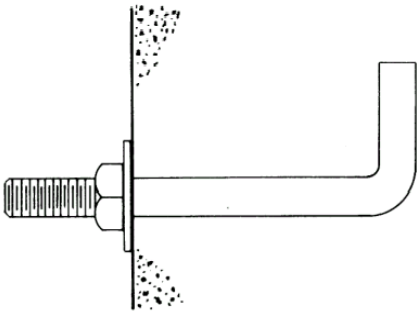
2. บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole)

บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole) นี้หล่อขึ้นด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ใต้ผิวถนนที่มีการจราจรของยานพาหนะต่างๆ และจะต้องรับน้ำหนักสูงสุดได้ 18 ตัน (Ton) ผนังด้านนอกของบ่อพักส่วนบนจะต้องอยู่ใต้ระดับผิวถนนไม่น้อยกว่า 40 ซม. บ่อพักจะมีฝาปิด (Manhole Frame and Cover) ทำด้วยเหล็ก ที่ก้นของบ่อพักจะต้องทำเป็นอ่างน้ำ (Sump) ไว้สำหรับสูบน้ำออกเมื่อเวลาจะทำงานในบ่อพัก ลักษณะของการจัดหน้าต่างของบ่อพักขึ้นอยู่กับการวางท่อที่จะออกจากบ่อพักนั้น ๆ บ่อพักที่มีขนาดเล็ก ๆ เราสามารถจะหล่อสำเร็จรูป และยกลงมาวางในที่ที่จะติดตั้ง แต่ถ้าเป็นบ่อพักขนาดใหญ่จำเป็นต้องก่อสร้างในที่ที่จะใช้งานเพราะน้ำหนักมาก สำหรับอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องติดตั้งพร้อมกับตัวบ่อพัก มีดังนี้

1) Pulling Iron เป็นตัวช่วยในการลากสายเคเบิล มีลักษณะและการติดตั้ง ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 Pulling Iron และการติดตั้ง Pulling Iron

2) Anchor Bolt เป็นตัวยึด Cable Rack มีลักษณะและการติดตั้งดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Anchor Bolt

3) Manhole Entrance Step เป็นตัวช่วยอำนวยความสะดวกในการลงไปปฏิบัติงานในบ่อพัก มีลักษณะและการติดตั้ง ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 Manhole Entrance Step

4) Drive Hook มีลักษณะเป็นตะขอติดอยู่บนเพดานบ่อ มีไว้อำนวยความสะดวกในขณะทำงาน

5) Ground Rod เป็นตัวที่ใช้สำหรับต่อ Shield ของสายเคเบิลลงดินเพื่อลดอันตรายเนื่องจากสนามไฟฟ้า

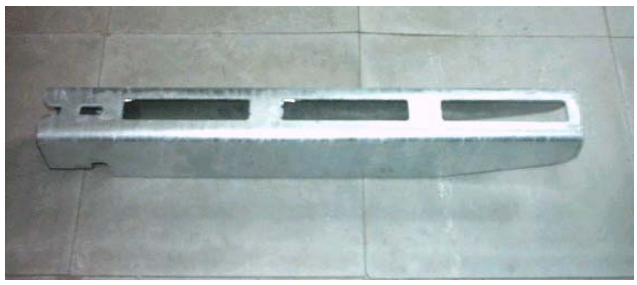
6) อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน

6.1) สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน 22-33 kV ประกอบด้วย

6.1.1) Cable Rack เป็นตัวที่ยึดติดกับผนังบ่อ เพื่อจะนำเอาอุปกรณ์ตัวอื่นมาประกอบรูปร่างและลักษณะของ Cable Rack แสดงได้ดังรูปที่ 2.9

6.1.2) Cable Support ทำมาจากเหล็กชุบด้วยสังกะสีแบบชุบร้อน ใช้เกี่ยวเข้ากับ Cable Rack ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ Pillow Insulator ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.9 Cable Rack และการติดตั้ง Cable Rack ในบ่อ



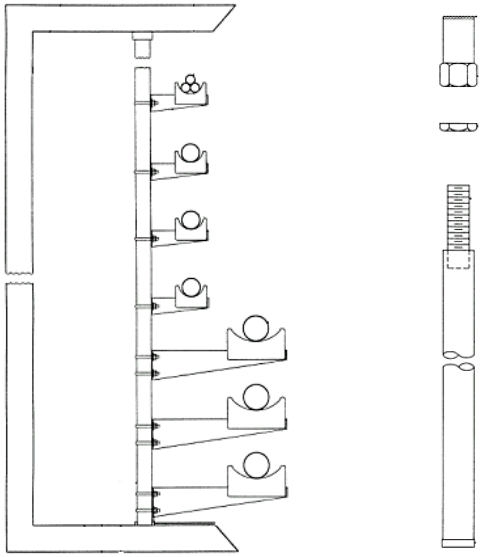
รูปที่ 2.10 Cable Support

6.1.3) Pillow Insulator มีลักษณะเป็นฉนวนทำมาจาก Porcelain ซึ่งจะถูกวางอยู่บน Cable Support ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับสายเคเบิล 22 kV ดังแสดงในรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 Pillow Insulator และลักษณะการติดตั้ง Pillow Insulator

6.2) สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV ซึ่งประกอบด้วย

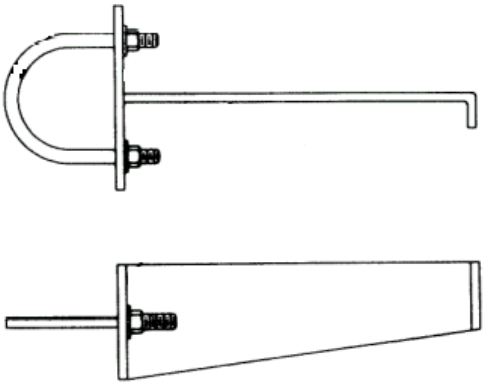
6.2.1) Racking Pole มีลักษณะคล้ายเสาคอนกรีตอยู่ระหว่างเพดานและก้นบ่อพัก เพื่อที่จะใช้เป็นตัวยึดของ Hanger ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Racking Pole

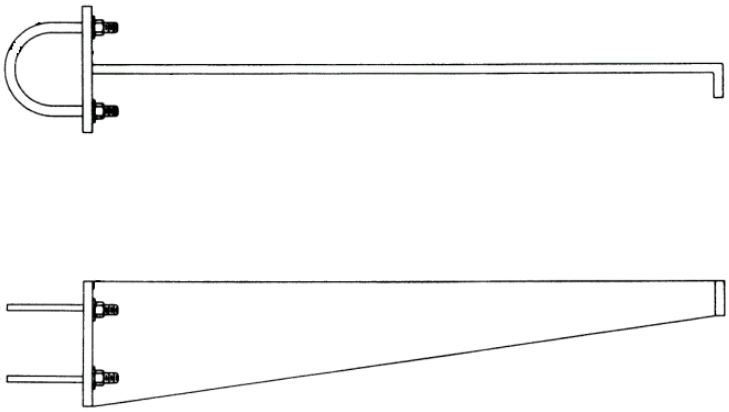
6.2.2) Cable Hanger Steel จะถูกยึดติดอยู่กับ Racking Pole มีลักษณะเป็นแขนยื่นออกมา เพื่อรองรับ Pillow Insulator ซึ่งวัสดุที่ใช้นำมาจาก เหล็กเคลือบด้วยสังกะสี (Zinc – Coating) Cable Hanger Steel สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- Hanger สำหรับวางสายเคเบิลใต้ดิน ขนาด 500 ต.มม. และ 800 ต.มม. ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Cable Hanger Steel

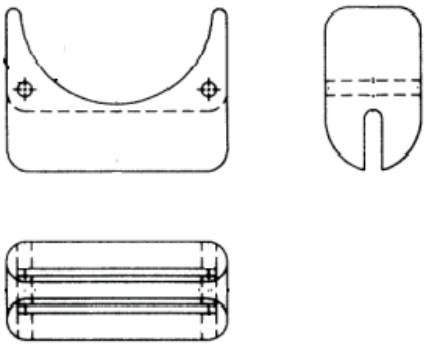
- Hanger สำหรับวางสายเคเบิลใต้ดินขนาด 500 ต.มม. และ 800 ต.มม. กรณีที่มีการต่อสาย ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 Cable Hanger Steel

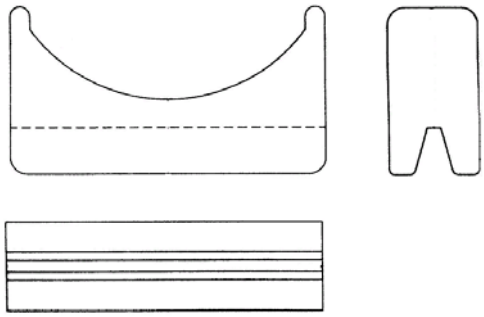
6.2.3) Pillow Insulator วัสดุที่ใช้นำมาจาก Porcelain ซึ่งจะถูกวางอยู่บน Hanger ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับสายเคเบิล 115 kV Pillow Insulator สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- ใช้สำหรับวางสายเคเบิลใต้ดิน ขนาด 500 ต.มม. และ 800 ต.มม. ดังแสดงในรูปที่ 2.15



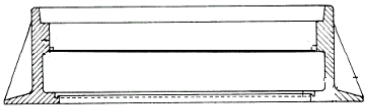
รูปที่ 2.15 Pillow Insulator

- ใช้สำหรับวางสายเคเบิลใต้ดินขนาด 500 ต.มม. และ 800 ต.มม. กรณีที่มีการต่อสาย ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Pillow Insulator

7) Manhole Frame เป็นวัสดุที่ทำมาจาก Semi - Steel หรือ เหล็กหล่อ ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ Manhole Cover ซึ่ง Manhole Frame นี้จะติดตั้งอยู่บริเวณช่องทางเข้า-ออกของบ่อพัก (Manhole Entrance) ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 Manhole Frame

8) Manhole Cover เป็นฝาปิดช่องทางเข้า-ออก ของบ่อพัก ทำมาจาก Cast Iron ดังแสดงในรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 Manhole Cover

2.1 หน้าที่ของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

1) ใช้วางและจัดทำหัวต่อสาย (Cable Splice) เนื่องจากไม่สามารถลากสายที่มีระยะทางยาวๆได้

2) ใช้ในการทำระบบ Grounding สำหรับระบบจำหน่าย 22 & 33 kV และทำ Cross – Bonding สำหรับระบบสายส่ง 115 kV

3) ใช้ในการเปลี่ยนหรือแยกทิศทางของ Duct Bank (เช่น กรณีแยกขึ้น Riser หรือแยกเข้าซอยหรือถนนสายอื่น)

4) เพื่อช่วยในการลากสายเคเบิลให้สะดวกมากยิ่งขึ้น

3. เสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Riser Pole)

เสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Riser Pole) จะเป็นจุดที่สิ้นสุดของการก่อสร้างแบบระบบเคเบิลใต้ดิน เพื่อที่จะต่อเชื่อมเข้ากับสายไฟฟ้าระบบเหนือดิน (Overhead system) ที่เป็นสายเปลือย หรือสายหุ้มฉนวน โดยการติดตั้ง Cable Riser Pole จะใช้จำนวน 1 ชุด หรือ 2 ชุด ก็แล้วแต่กรณีเช่นเดียวกันทั้งระบบจำหน่าย 22 และ 33 kV และสายส่งระบบ 115 kV กล่าวคือ หากก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินเพื่อรับไฟจากสถานีไฟฟ้า และไปเชื่อมต่อกับระบบเหนือดิน ก็จะใช้ Cable Riser Pole จำนวน 1 ชุด แต่ถ้าเป็นการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินเพื่อหลบสาธารณูปโภคอื่น เช่น สายส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต หรือต้องลอดใต้ถนนทางหลวงยกระดับ เนื่องจากระยะห่างทางไฟฟ้าระหว่างสายไฟฟ้ากับผิวจราจรมีค่าไม่เพียงพอ ก็จะใช้ Cable Riser Pole จำนวน 2 ชุด โดยในแต่ละชุดเป็นตำแหน่งการเปลี่ยนจากสายไฟฟ้าระบบเหนือดิน เป็นระบบเคเบิลใต้ดิน

ส่วนมากการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน มักจะก่อสร้างภายในเขตตัวเมือง เพื่อต้องการความสวยงาม ความมั่นคงและปลอดภัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นที่ตำแหน่งจุดที่สิ้นสุดของการก่อสร้างแบบระบบเคเบิลใต้ดิน หากทำเป็นลักษณะก่อสร้างแบบวางพื้น (On Ground) โดยไม่ใช้เสา จะต้องกินพื้นที่มาก และไม่เหมาะสม แต่ถ้าทำเป็นลักษณะเสารับหรือที่เรียกว่า Cable Riser Pole จะใช้พื้นที่น้อยกว่า ทั้งไม่กีดขวางและกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมมากกว่า ดังนั้นปัจจุบันจุดขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน กฟภ. จะใช้เป็นเสา คอร. โดยสำหรับการติดตั้งตามแนวสาย ถ้าเป็นระบบจำหน่าย 22 และ 33 kV จะใช้เป็นเสา คอร. เดี่ยว และถ้าเป็นสายส่งระบบ 115 kV จะใช้เป็นเสา คอร. คู่ สำหรับการรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ที่มากกว่า

3.1 หน้าที่และอุปกรณ์ที่สำคัญ ที่ติดตั้งบน Cable Riser Pole

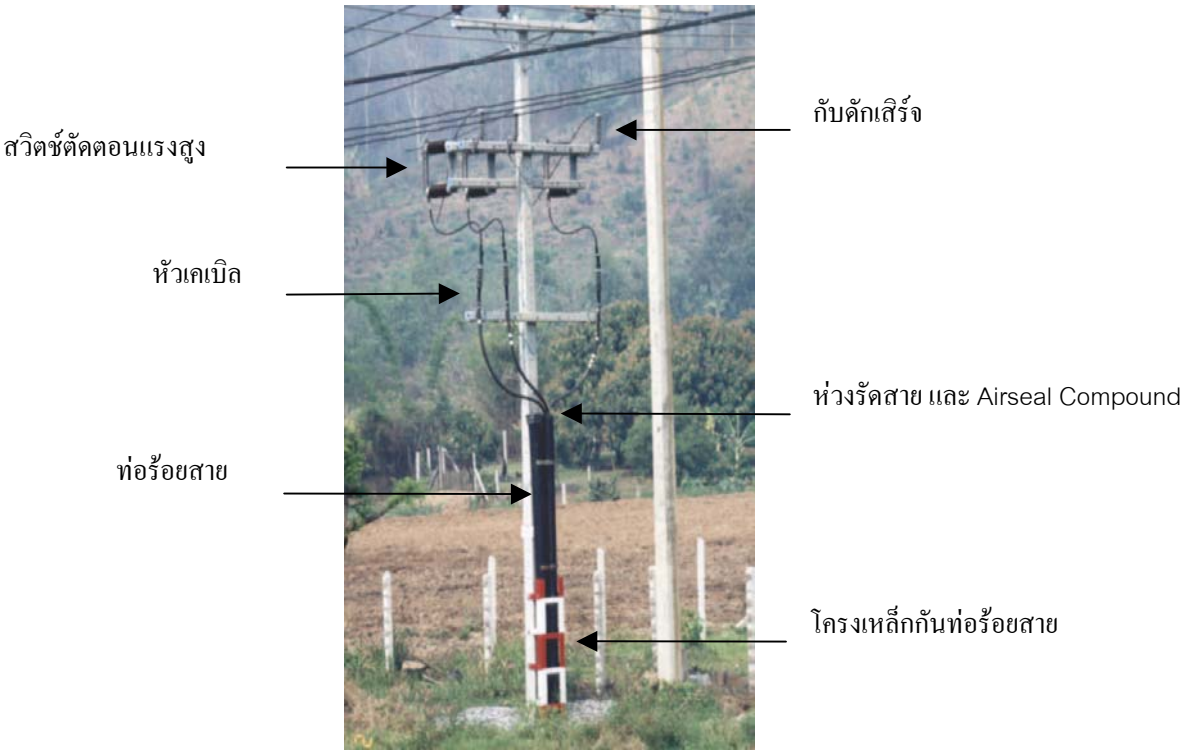
1) Cable Riser Pole ระบบ 22 และ 33 kV

1.1) สวิตช์ตัดตอนแรงสูงหนึ่งขา 22 kV หรือ 33 kV ขนาด 600 A ชนิดติดตั้งในสถานีเปลี่ยนแรงดัน พร้อมอุปกรณ์ติดตั้งสวิตช์ตัดตอนแรงสูง (Disconnecting Switch, Station class and Mounting Accessories) เป็นอุปกรณ์ใช้ตัดตอนวงจร ไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า (โหลด) โดยวิธีใช้ไม้ชักฟิวส์ ซึ่งมีระดับ BIL เช่นเดียวกับที่อยู่ในสถานีไฟฟ้า โดยยึดให้มั่นคงเข้ากับอุปกรณ์ติดตั้งสวิตช์

1.2) กับดักเสิร์จ (Lightning Arrester) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน เสียหายเนื่องจากแรงดันเสิร์จ (แรงดันสูงจากฟ้าผ่า จากการสับสวิตช์หรืออื่นๆ) โดยจะรักษาระดับแรงดันไว้ไม่ให้มีค่าเกินกว่าที่ฉนวนของสายเคเบิลใต้ดินหรืออุปกรณ์ทนได้ ปัจจุบันกับดักเสิร์จที่ กฟภ. ใช้งานอยู่ในระบบจำหน่าย 22 kV จะมีค่าพิกัดแรงดัน(Ur) 20 - 21 kV สำหรับระบบจำหน่าย 22 kV ที่ไม่มีการต่อลงดินผ่านความต้านทานที่สถานีไฟฟ้า และพิกัดแรงดัน(Ur) 24 kV สำหรับระบบจำหน่าย 22 kV ที่มีการต่อลงดินผ่านความต้านทานที่สถานีไฟฟ้า (NGR) และ ค่าพิกัดแรงดัน(Ur) 30 kV สำหรับระบบจำหน่าย 33 kV ส่วนค่าความทนได้กระแสฟ้าผ่าแบ่งการใช้งานได้ดังนี้

- กรณีติดตั้ง Cable Riser Pole หน้าสถานีไฟฟ้า ใช้ขนาด 10 kA
- กรณีติดตั้ง Cable Riser Pole ในไลน์ระบบจำหน่าย ใช้ขนาด 5 kA

1.3) หัวเคเบิล (Terminator or Cable Riser) สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 22 kV หรือ 33 kV ทำหน้าที่กระจายสนามไฟฟ้าเนื่องจากผลของสนามไฟฟ้าเบี่ยงเบน ไม่ให้มีสนามไฟฟ้าหนาแน่นที่ปลายสายตัวนำต่อลงดิน (Shield) ลด Stress ที่เกิดที่ปลายสาย Shield ซึ่งจะทำเป็น Stress Relief Cone หรือใช้ High Permittivity Material ก็ได้ ณ ตำแหน่งปลายสาย Shield



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างรูปแบบเสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน ระบบ 22 kV และ 33 kV

1.4) ห่วงรัดสาย (Cable Grip) สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 22 kV หรือ 33 kV ทำหน้าที่รัดสายเคเบิลฯ จำนวน 3 เส้นเข้าด้วยกัน (เพื่อที่จะได้ไม่มีผลจากฟลักซ์แม่เหล็ก ทำให้ไม่เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นที่สายเคเบิลฯ) แล้วแขวนยึดด้วยสลักเกลียวเข้ากับเสา คอร. เหตุผลเพื่อเป็นตัวช่วยรับน้ำหนักในแนวดิ่งของสายเคเบิลฯ ทั้ง 3 เส้น ทำให้ไม่มีแรงดึงไปกระทำกับส่วนที่ต่ออยู่กับหัวเคเบิล (termination) ได้

1.5) Airseal Compound ใช้สำหรับอุดช่องว่างบริเวณที่สายเคเบิลฯ โผล่ออกจากปลายท่อร้อยสาย เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อร้อยสาย

1.6) ท่อเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีหรือท่อ HDPE PN 6.3 มอก.982 ใช้สำหรับป้องกันสายเคเบิลฯ ทางด้านแรงกล สัตว์ หรือน้ำเข้าสายเคเบิลฯ โดยตรง ซึ่งท่อเหล็กกล้า สามารถใช้ร้อยสายเคเบิลฯ จำนวน 3 เส้นต่อท่อได้ เนื่องจากไม่มีผลจาก ฟลักซ์แม่เหล็ก ทำให้ไม่เกิดความร้อนขึ้นที่สายเคเบิลฯ

1.7) โครงเหล็กกันท่อร้อยสาย (Conduit Steel Guard) ใช้สำหรับป้องกันท่อร้อยสายซึ่งจะเป็นการป้องกันสายเคเบิลฯ ไปในตัว ซึ่งจะบอกให้บุคคลหรือรถ ที่สัญจรผ่านไปมา ได้ทราบว่า ณ จุดนี้ ได้มีการติดตั้งท่อร้อยสายขึ้น ซึ่งจะได้เพิ่มความระมัดระวังขึ้น ขณะที่กำลังจะสัญจรผ่านจุดดังกล่าว

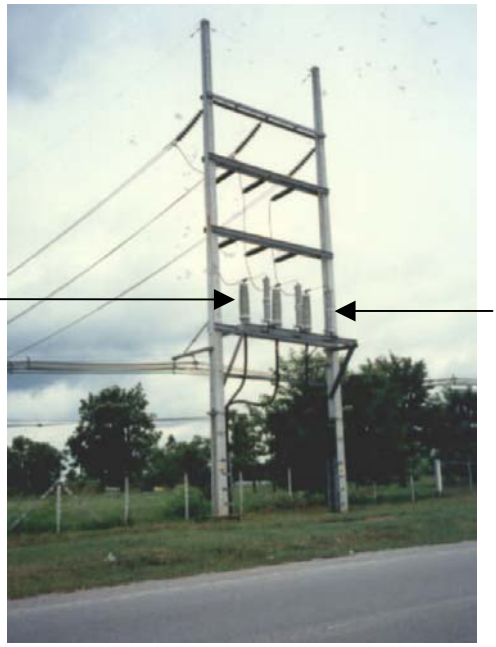
นี้ โดยโครงกั้นสามารถติดตั้งได้ทั้งทิศทางเดียวกัน และทิศตรงข้ามกับการจราจร แต่ทั่วไปนิยมติดตั้งในทิศตรงข้ามกับการจราจร

1.8) สายต่อลงดินและแท่งหลักดิน (Ground Wire and Ground rod) จะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากสายต่อลงดินจะเป็นตัวนำกระแสฟ้าผ่าหรือกระแสลัดวงจรลงดิน และแท่งหลักดินจะช่วยกระจายประจุฟ้าผ่าหรือนำกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ผลที่ตามมาคือ จะทำให้เกิดแรงดันมีค่าระดับต่างกันในแต่ละจุดภายในสายต่อลงดินบน Cable Riser Pole ดังนั้นถ้าสายต่อลงดินขาดหรือหลุด จะทำให้ไม่มีจุดกราวด์อ้างอิง ทำให้เกิดแรงดันสูงคร่อมอุปกรณ์บน Cable Riser Pole เกินกว่าที่อุปกรณ์ทนได้ เกิดการ Breakdown ตามมาในที่สุด

1.9) ท่อ PVC แข็ง พร้อมอุปกรณ์ยึด ใช้สำหรับสวมสายต่อลงดิน เพื่อปกปิดไม่ให้บุคคลสัมผัสสายโดยตรง ซึ่งเมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือลัดวงจรขึ้น เมื่อบุคคลไปสัมผัสโดยตรงในเวลานั้น จะทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากแรงดันสัมผัสขึ้นได้

โดยรายละเอียดของอุปกรณ์อื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ให้ดูตามที่ระบุไว้ในแบบมาตรฐาน กฟภ.

2) Cable Riser Pole ระบบ 115 kV



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างรูปแบบเสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน ระบบ 115 kV (แบบ SD-UG-3)

2.1) กับดักเสิร์จ (Lightning Arrester) สำหรับระบบแรงดัน 115 kV มีหลักการเช่นเดียวกับระบบจำหน่าย 22 kV และ 33 kV โดยตัวโครงสร้างจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่า จะติดตั้งจำนวน 1 ชุดต่อเฟสไม่ว่าสายไฟจะเป็นเส้นเดี่ยวหรือคู่ก็ตาม และไม่ว่าจะติดตั้ง Cable Riser Pole ที่หน้าสถานีไฟฟ้าหรือในไลน์ระบบสายส่ง จะใช้ขนาดเดียวคือ 10 kA

2.2) หัวเคเบิล (Terminator or Cable Riser) สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV หลักการเช่นเดียวกับระบบจำหน่าย 22 kV และ 33 kV แต่ตัวโครงสร้างจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่า

2.3) โครงเหล็กรองรับติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดิน ล่อฟ้าแรงสูง (Supporting Structure) ทำหน้าที่รองรับติดตั้งหัวสายเคเบิลใต้ดินและล่อฟ้าแรงสูง เนื่องจากในระบบ 115 kV ทั้งหัวเคเบิลฯ และกับดักเสิร์จ จะมีน้ำหนักมากกว่าระบบจำหน่าย จึงต้องออกแบบให้มีโครงเหล็กรองรับ ซึ่งปัจจุบันได้กำหนดเป็นชุดรองรับซึ่งประกอบด้วยวัสดุเหล็กทุกชิ้นที่ใช้งานไว้แล้ว (ระบุเป็นวัสดุเลขที่ 01060021)

2.4) แคล้มป์ประกับสายเคเบิลใต้ดิน (ทำด้วยไม้) มีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ยึดประกับสายเคเบิลฯ เข้ากับเสา คอร. ทำหน้าที่คล้ายห่วงรัดสาย (Cable Grip) และส่วนที่ยึดประกับสายเคเบิลฯ บริเวณใต้หัวเคเบิลฯ ทำหน้าที่คล้ายห่วงรัดสายและบังคับให้สายเคเบิลฯ มีแนวตรงก่อนเชื่อมเข้ากับหัวเคเบิลฯ โดยที่แคล้มป์ทั้ง 2 ส่วนดังกล่าว จะต้องทำด้วยไม้เท่านั้น เพื่อป้องกันฟลักซ์แม่เหล็กที่ไม่สมดุลจากการหักล้างกันไม่หมด เนื่องจากการติดตั้งแคล้มป์ประกับสายเคเบิลฯ จะประกับเพียง 1 เฟส หรือ 2 เฟส ซึ่งไม่ครบทั้ง 3 เฟส

2.5) ท่อร้อยสายที่ไม่ใช่โลหะ (Non - Metallic Conduit) ใช้สำหรับป้องกันสายเคเบิลฯ ทางด้านแรงกล สัตว์ หรือน้ำเข้าสายเคเบิลฯ โดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เป็นท่อ HDPE PN 6.3 มอก.982 สำหรับเหตุผลที่ไม่นำโลหะ (Metallic Conduit) มาใช้งาน เนื่องจากในสายส่งระบบ 115 kV จะร้อยสายเคเบิลฯ จำนวน 1 เส้นต่อท่อ ดังนั้นถ้าร้อยในท่อโลหะก็จะเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก มีผลทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นที่สายเคเบิลฯ ได้ และค่าความนำกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลฯ ก็จะลดลงตามมาจนถึงไม่สามารถจ่ายได้ในที่สุด

สำหรับ Airseal Compound โครงเหล็กกันท่อร้อยสาย (Conduit Steel Guard) สายต่อลงดินและแท่งหลักดิน (ground Wire and Ground rod) รวมทั้งท่อ PVC แข็ง พร้อมอุปกรณ์ยึดใช้สำหรับสวมสายต่อลงดิน เพื่อปกปิดไม่ให้บุคคลสัมผัสสายโดยตรง ก็มีหลักการเช่นเดียวกับระบบจำหน่าย 22 kV และ 33 kV

3.2 ข้อคำนึงถึงในการติดตั้งเสาต้นขึ้นหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Riser Pole)

1) ตำแหน่งที่ติดตั้งต้องบำรุงรักษาได้ง่าย ซึ่งหากจำเป็นต้องติดตั้งในที่ลุ่มที่มีน้ำขังตลอดหรือมีโอกาสน้ำท่วมถึง จะต้องเทคอนกรีตหุ้มโคนเสาเพื่อทำเป็นฐานรองโครงเหล็กกั้นและเลื่อนตำแหน่งข้อต่อท่อร้อยสายขึ้น

2) ตำแหน่งติดตั้งหากไม่ใช่บนพื้นทางเท้าหรือพื้นคอนกรีต แต่เป็นพื้นดินที่มีหญ้าขึ้นปกคลุมหนาแน่น ในกรณีระบบจำหน่าย 22-33 kV ให้ใช้ท่อร้อยสายขึ้นเป็นท่อเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี (RSC) และใช้หินเบอร์ 2 เทบริเวณรอบโคนเสารัศมีประมาณ 3 เมตร เพื่อป้องกันไฟไหม้และหนูหรือสัตว์อื่นๆ กัดท่อร้อยสายและอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่เหนือขึ้นไปได้

รูปที่ 2.21 กรณีไม่มีหญ้าขึ้นปกคลุมหนาแน่น และบริเวณรอบๆ เป็นพื้นที่โล่งว่าง ไม่จำเป็น ต้องใช้ท่อ RSC ก็ได้

3) การติดตั้งที่มีระบบจำหน่ายหลายวงจร ให้ติดตั้งแยกเป็นวงจรละต้นเสาไม่ให้รวมสองวงจรบนเสาต้นเดียวกัน เพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ยกเว้นเสาต้นนั้นมี Incoming หนึ่งวงจร แต่มี Outgoing สองวงจร ให้ติดตั้งบนเสาต้นเดียวกันได้ (ติดตั้งกับดักเสิร์จ 1 ชุด และหัวเคเบิลฯ 2 ชุด)

รูปที่ 2.22 รูปแสดงการติดตั้งที่มีระบบจำหน่ายหลายวงจร และมี Outgoing สองวงจร

4) การต่อเชื่อมกับระบบสายอากาศ ต้องได้ตามข้อกำหนดไม่ผิดมาตรฐาน กฟภ.

5) แคล้มป์ประกับสายเคเบิลฯ ห่วงรัดสาย (Cable Grip) ที่รัดสายเคเบิลฯ บริเวณปลายท่อร้อยสายขึ้น ต้องสามารถยึดจับได้อย่างมั่นคง รวมถึงการจัดเรียงท่อขึ้นเสาควรมีการทำ Mark ท่อร้อยสายรวมถึงภายในบ่อพักสายด้วย

6) Airseal Compound ต้องอุดไม่ให้มีช่องว่างเกิดขึ้น และท่อร้อยสายที่ไม่ได้ใช้งานให้ปิดด้วยฝาปิด (End Cap)

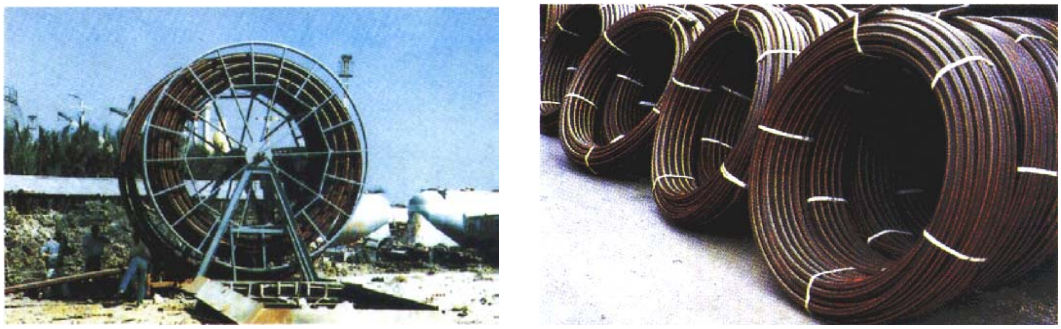
รูปที่ 2.23 Airseal Compound ต้องอุดไม่ให้มีช่องว่างเกิดขึ้น และท่อร้อยสายที่ไม่ได้ใช้งานให้ปิดด้วยฝาปิด (End Cap)

4. ท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน (Conduit)

ท่อร้อยสายเคเบิลที่ใช้ในงานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินมีด้วยกันหลายชนิดเช่น ท่อ HDPE ,ท่อ Corrugate และ ท่อ Fiberglass หรือท่อ RTRC ท่อแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่ดีแตกต่างกันไปดังนี้

4.1 ท่อ HDPE (High-Density Polyethylene)

ท่อชนิดนี้ใช้ในงานร้อยสายเคเบิลใต้ดินกันมากที่สุดใน กฟภ. เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างเช่น ความสามารถรับแรงกดได้ดีมีผู้ผลิตหลายราย และราคาถูกกว่าท่อชนิดอื่นๆ ท่อชนิดนี้ผลิตขึ้นตาม มอก. 982 ซึ่งใช้เป็นท่อน้ำดื่ม แต่นำมาประยุกต์ใช้ในงานร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ขนาดของท่อกำหนดตามขนาดของ Outside Diameter แบ่งออกได้หลายชั้นคุณภาพ แต่ที่ กฟภ.ใช้อยู่คือชั้นคุณภาพ PN 6.3 ขนาด 160 มม. ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ท่อ HDPE (High-Density Polyethylene)

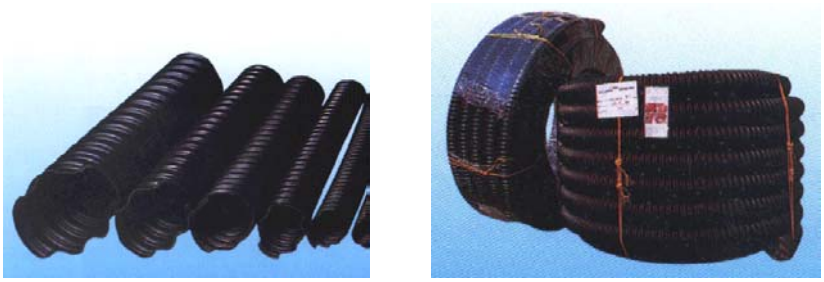
การต่อท่อ HDPE มีทั้งแบบใช้ข้อต่อสวม(Coupling) และแบบเชื่อมด้วยความร้อน (Welding) ดังรูปที่ 2.25

รูปที่ 2.25 ข้อต่อแบบสวม(Coupling) และการต่อแบบเชื่อมด้วยความร้อน (Welding)

4.2 ท่อ Corrugate หรือเรียกว่าท่อลูกฟูก

ท่อชนิดนี้เป็นท่อที่ทำมาจาก High-Density Polyethylene มีลักษณะเป็นลูกฟูก โค้งงอได้ง่าย ในการขนส่งจะม้วนมาเป็นขดยาวประมาณ 50 –100 เมตร ดังรูปที่ 2.26

ข้อดีของท่อชนิดนี้ก็คือ น้ำหนักเบา สามารถวางท่อได้ยาวมากกว่าท่อชนิดอื่นโดยไม่ต้องมีข้อต่อ แรงเสียดทานน้อย หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ง่าย แต่ข้อเสียก็คือทำความสะอาดภายในท่อได้ยาก การต่อท่อจะใช้แบบ Screwing



รูปที่ 2.26 ท่อ Corrugate

4.3 ท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit)

ท่อชนิดนี้ทำจาก Fiberglass ที่ผ่านการอาบส่วนผสมแล้ว (Resin, Epoxy) พันทับแกนเหล็กร้อนถักพันเป็นชั้นๆ (winding) บางบริษัทจะผลิตท่อเป็นสองประเภทคือ ท่อสีแดง และท่อสีดำ ถ้าเป็นท่อสีแดงจะพัน Fiberglass ทั้งหมด 4 ชั้น ใช้ในงานฝังดินโดยตรง ถ้าเป็นท่อสีดำจะพัน Fiberglass ทั้งหมด 6 ชั้น และใส่สาร Carbon Black เพื่อป้องกันรังสี UV ใช้ในการวางท่อบนพื้นดิน ขนาดของท่อกำหนดตามขนาดของ Inside Diameter การต่อท่อชนิดนี้จะมีอยู่ 2 วิธี คือวิธีสวมอัด(Gasket-type joint) และแบบเกลียว (Screw) โดยวิธีสวมอัด ท่อด้านหนึ่งจะเป็นท่อบานใส่ซีลยางไว้สองชั้นเมื่อต่อท่อตรงเข้าไปจนสุดจะติดแน่นมาก และซีลยางจะป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดี ส่วนวิธีแบบเกลียวจะเหมือนกับการต่อท่อทั่วๆไป ดังรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 ท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) และการต่อท่อ

ตามมาตรฐาน National Electric Code Handbook 1999 (NEC) ในหัวข้อ Article 347-Nonmetallic Conduit ได้เรียกชื่อท่อ Reinforced Thermosetting Resin Conduit ไว้หลายชื่อคือ Rigid Nonmetallic Fiberglass Conduit หรือ Fiberglass Reinforced Epoxy Conduit โดยได้แบ่งประเภทของท่อ RTRC ไว้ 2 ชนิดคือ

- RTRC Type BG ใช้สำหรับงานฝังดินโดยตรงจะมีคอนกรีตห่อหุ้มตัวท่อหรือไม่มีก็ได้ (BG = Below Ground)

- RTRC Type AG ใช้สำหรับงานวางเหนือดินหรือฝังดิน ถ้าฝังดินจะมีคอนกรีตห่อหุ้มตัวท่อหรือไม่มีก็ได้ ใช้ในสถานที่ที่มิดชิดหรือเปิดโล่งก็ได้ (แต่ต้องไม่มีแรงใดมากระทำให้ท่อเสียหาย) (AG = Above Ground)

<u>คุณสมบัติของท่อทั้ง 3 ชนิดแสดงดังตารางข้างล่าง</u>

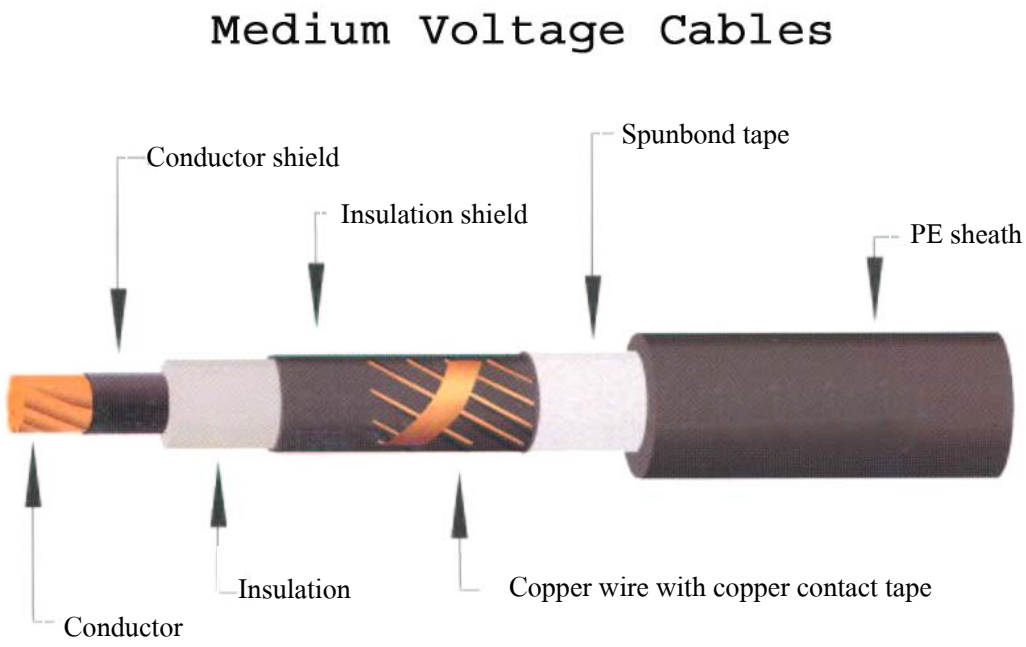
Property	**HDPE**	**CORRUGATE**	**RTRC**
Material	High Density Polyethylene	High Density Polyethylene	Fiberglass
Weight (ท่อ 6 นิ้ว)	~3.77 kg/m	~2.0 kg/m	~1.52 kg/m
Coefficient of Friction	~0.5 **	~0.3	~0.385
Inner Surface of Pipe	Smooth	Corrugate	Smooth
Corrosion Resistance	Good	Good	Good
Flame Resistance	No	No	Yes
Cable Fusion	Yes	Yes	No
Maximum Working Temp.	~80 ^{0}C	~80 ^{0}C	110 ^{0}C
Connecting Method	Welding , Coupling	Screwing	Gasket and Screwing
การรับแรงกด	-	-	~ 1900 lbs/ft * (ท่อ 5 นิ้ว)

* ข้อมูลผลการทดสอบจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Reference No. SPT-005/40 วันที่ 10 มีนาคม 2540

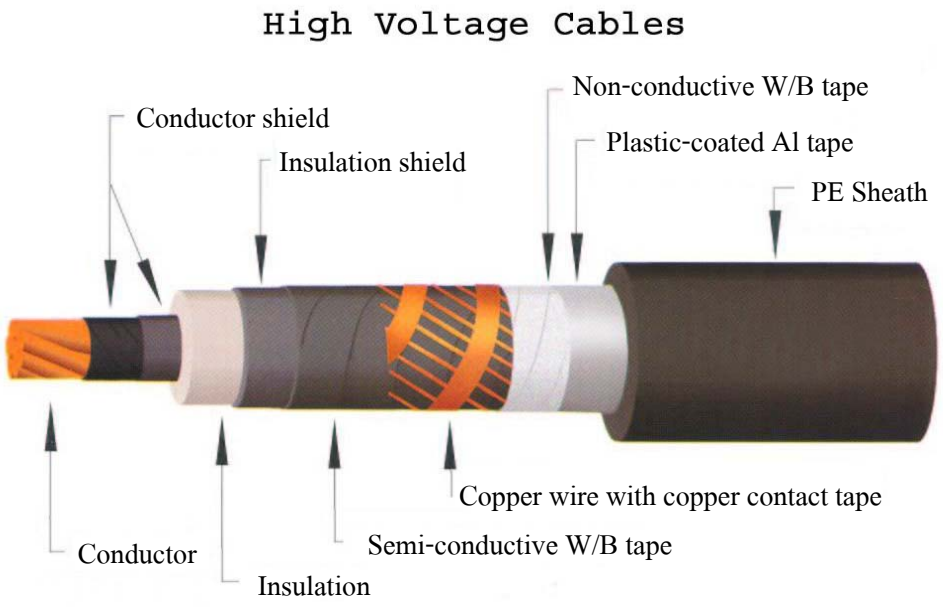
** ใช้ค่าตาม IEEE 525-1992 หน้า 36

5. สายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable)

สายเคเบิลใต้ดินที่ใช้งานในการไฟฟ้าต่างๆ มีหลายชนิด ในช่วงเวลา 10 ปี ก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่ใช้ชนิด ฉนวนกระดาษ-น้ำมัน ฉนวนกระดาษและก๊าซ ฉนวน XLPE , PE หรือ EPR แต่ในช่วงหลังนี้ส่วนใหญ่นิยมใช้สายเคเบิลชนิดฉนวน XLPE มากขึ้น เดิมสายเคเบิลใต้ดินชนิดฉนวน Low pressure oil fill ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีความเชื่อถือได้สูงตลอด 40 กว่าปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ดีในช่วงการติดตั้งและใช้งานจำเป็นต้องใช้พนักงานที่มีประสบการณ์สูงและมีระบบการควบคุมที่ยุ่งยาก และเมื่อน้ำมันเกิดรั่ว อาจทำให้เกิดการลัดวงจรและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ฉนวน XLPE จึงถูกนำมาใช้งานมากขึ้นเนื่องจากการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก ปัจจุบันสายเคเบิลใต้ดินที่ กฟภ. ใช้งานเป็นชนิดฉนวน XLPE ทั้งระดับแรงดันปานกลาง (Medium voltage cables) 22 – 33 kV และแรงดันสูง (High voltage cables) 115 kV (กฟภ.จัดหาสายเคเบิลตามสเปคเลขที่ R-777/2539 สำหรับสาย 22-33 kV และสเปคเลขที่ R-500/2544 สำหรับสาย 115 kV)



รูปที่ 2.28 สายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง 22-33 kV



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างสายเคเบิลใต้ดินแรงสูง 115 kV

5.1 โครงสร้างของสายไฟฟ้าใต้ดิน

1) Conductor (ตัวนำ) ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้า ทำจากอะลูมิเนียมหรือทองแดง มีหลายลักษณะดังนี้

1.1) Solid Conductor ใช้เป็นตัวนำของสายไฟฟ้าขนาดเล็ก ไม่นิยมใช้ในสายขนาดใหญ่ เนื่องจากดัดงอได้ยาก

1.2) Round Strand Conductor (ตัวนำตีเกลียว) ใช้เป็นตัวนำของสายไฟฟ้าทั่วๆไปและสายเปลือย

1.3) Compact Strand Conductor (ตัวนำอัดแน่น) ใช้เป็นตัวนำของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทั่วๆไปโดยการนำตัวนำตีเกลียวมาบีบอัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง เมื่อนำไปใช้ในสายหุ้มจะช่วยลดวัสดุที่นำมาหุ้มได้

1.4) Segmental Conductor ใช้ในสายเคเบิลใต้ดินขนาดใหญ่ที่ต้องการให้มี Current Carrying Capacity สูง แต่ละ Segment จะประกอบด้วยตัวนำตีเกลียวแล้วอัดให้เป็นรูป Segment โดยแต่ละ Segment จะหุ้มด้วยฉนวน ข้อดีของตัวนำชนิดนี้ก็คือมี AC Resistance ต่ำ เนื่องจาก Wire ในแต่ละ Segment มีการ Transpose เข้าออกระหว่างส่วนนอกและส่วนในของตัวนำ ทำให้ Skin Effect Factor ต่ำ

1.5) Hollow Core Conductor ใช้เป็นตัวนำของ Oil Fill Cable โดยใช้ท่อกลางตัวนำในการส่งน้ำมัน ปัจจุบันมีการนำมาใช้กับสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้ Solid Dielectric ที่ต้องการนำกระแสสูงๆ โดยใช้น้ำหรืออากาศผ่านเข้าไปในท่อกลางตัวนำเพื่อระบายความร้อน

2) Conductor Screen ทำจากวัสดุกึ่งตัวนำซึ่งอาจเป็นผ้าอาบ Carbon หรือเป็น Extrude Layer ของสารสังเคราะห์พวกพลาสติกผสมตัวนำ มีหน้าที่ทำให้ผิวสัมผัสของตัวนำกับฉนวนเรียบไม่มีช่องว่างที่มีศักดาไฟฟ้าสูงตกคร่อมซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด Partial Discharge

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

4) Insulation Screen ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Conductor Screen คือลดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณผิวสัมผัสของ Insulation และ Metallic Screen วัสดุที่ใช้ทำ Insulation Screen จะเหมือนกับ Conductor Screen

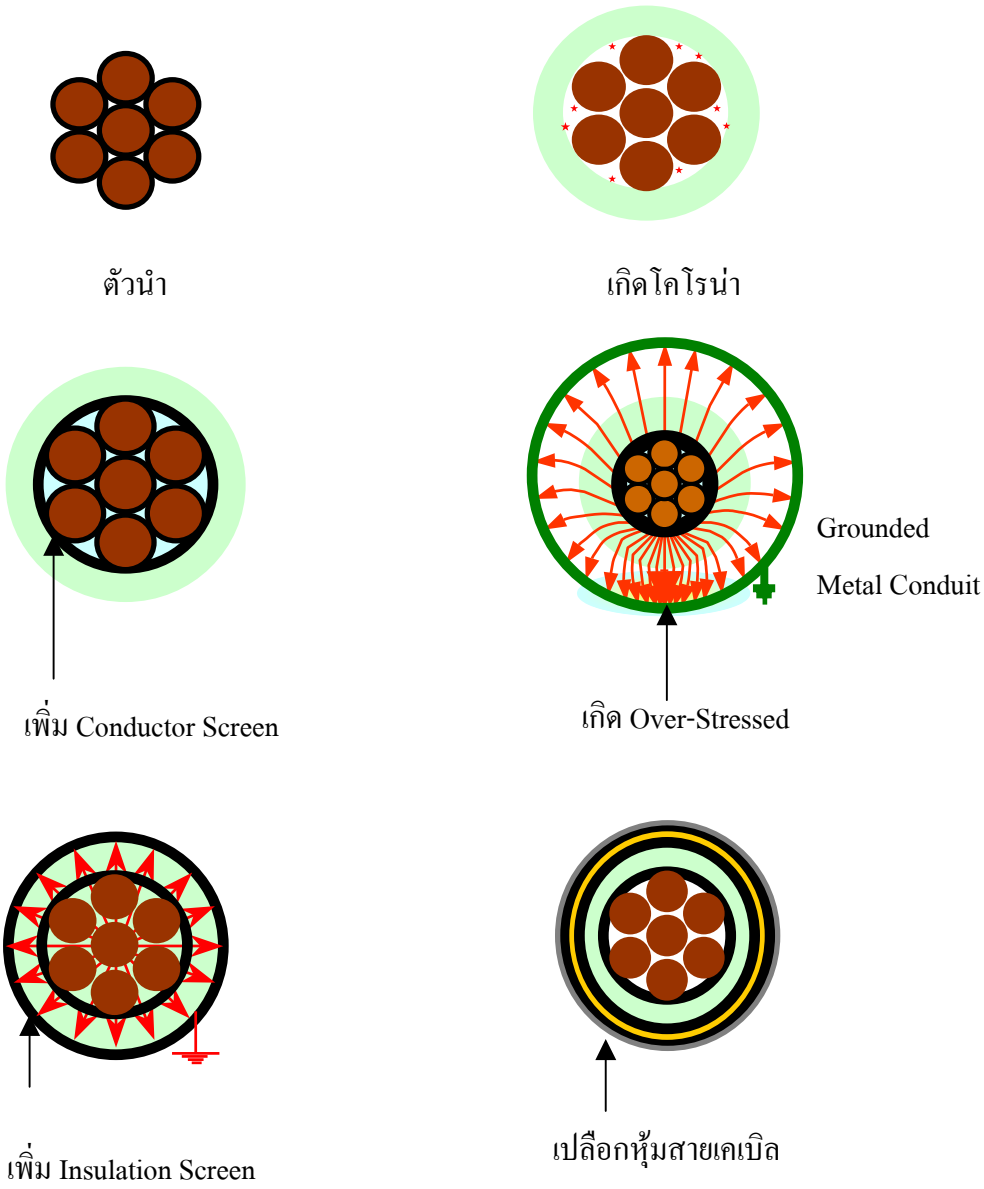
5) Metallic Screen ทำหน้าที่เป็น Ground สำหรับสายไฟฟ้าแรงสูงและเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับในกรณีที่เกิดการลัดวงจร บางครั้ง Metallic ยังทำหน้าที่เป็น Mechanical Protection หรือทำหน้าที่เป็นชั้นกันน้ำในกรณีของสายเคเบิลใต้น้ำ (Submarine Cable) หรือทำหน้าที่รักษาความดันภายในสำหรับ Oil Fill Cable Metallic Screen อาจเป็น Tape หรือ Wire ทำด้วยทองแดงหรืออะลูมิเนียมหรืออาจจะเป็น Lead Sheath (ปลอกตะกั่ว) หรือ Corrugate Aluminium Sheath (ปลอกอะลูมิเนียมลูกฟูก)

6) Reinforcement หรือ Armour เป็นชั้นที่เสริมเพื่อให้สายเคเบิลมีความทนทานต่อ Mechanical Force จากภายนอกที่อาจจะทำให้สายเคเบิลชำรุดเสียหาย โดยเฉพาะสายเคเบิลใต้น้ำหรือสายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง บางครั้งยังใช้เป็นตัวรับแรงดึงในการลากสายด้วย วัสดุที่ใช้ทำได้แก่ Steel Tape, Steel Wire หรือ Aluminium Wire

7) Water Blocking Tape เป็นชั้นที่เสริมขึ้นมาในกรณีของสายเคเบิลใต้ดินแรงสูงที่ใช้ในบริเวณที่ชื้นแฉะเพื่อป้องกันน้ำไหลเข้าไปตามแนวสายเคเบิลในกรณีที่ Jacket ของสายเคเบิลฯมีการชำรุดจากการลากสายทำให้ส่วนที่เป็นฉนวนสัมผัสกับน้ำเป็นระยะทางยาว สายเคเบิลจึงมีโอกาสชำรุดสูง Water Blocking Tape นี้ทำจากสารสังเคราะห์และมี Swellable Powder (สารที่ดูดซึมน้ำเข้าไปแล้วขยายตัว มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง) โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างชั้น Insulation Screen กับ Jacket

8) Laminated Sheath เป็นชั้นกันน้ำตามแนวขวางในสายเคเบิลแรงสูงมีลักษณะเป็นเทปโลหะหุ้มด้วย Plastic ทั้งสองหน้าจากนั้นนำมาห่อรอบ Ground Screen โดย Plastic ที่ผิวนอกและผิวในของเทปจะถูกละลายให้ติดกันเป็นเนื้อเดียวทำให้สามารถป้องกันไม่ให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านเข้าไปยังฉนวนได้

9) Non Metallic Sheath หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า Jacket ทำหน้าที่ป้องกันแรงกระแทกเสียดสีต่างๆขณะติดตั้งสายเคเบิล วัสดุที่ใช้ทำมี PVC, PE



รูปที่ 2.30 แสดงการกระจายสนามไฟฟ้าของสายเคเบิลใต้ดิน

5.2 ฉนวน XLPE

เนื่องจากสายเคเบิลใต้ดินที่ กฟภ. จัดหามาใช้งานเป็นแบบฉนวน XLPE ทั้งหมด(ไม่นับรวมสาย Submarine Cable) ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงในเรื่องของฉนวน XLPE เท่านั้น ฉนวน XLPE ได้จากการนำ Polyethylene (PE) ซึ่งเป็น Thermoplastic มาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลภายในทำให้เกิดการเกาะตัวกันระหว่างสายของโมเลกุลของ Polyethylene เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนสภาพจาก Thermoplastic ไปเป็น Thermosetting ซึ่งเป็นผลให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นหลายอย่าง (วิธีการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า Crosslinking)

ปกติโมเลกุลของ PE จะประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ยึดเกาะกันเป็นสายยาว โดยไม่มีการยึดเกาะกันระหว่างสาย ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนสายโมเลกุลของ C-H นี้จะเคลื่อนที่ไปมาได้(เพราะไม่มีแรงยึดเกาะระหว่างสายโมเลกุล)เป็นผลให้เกิดละลายขึ้นนั่นเอง เมื่อทำให้เกิด Crosslink (ทำได้หลายวิธีเช่น การใช้สารเคมีเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาหรือใช้ Radiation เป็นต้น) คือทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างสายของโมเลกุลของ Polyethylene แรงยึดเกาะระหว่างสายโมเลกุลนี้เองที่เป็นตัวทำให้ XLPE ไม่ละลายเมื่อได้รับความร้อน

1) ข้อดีของฉนวน XLPE

1.1) ทนอุณหภูมิได้สูงคือ 90^0 C

1.2) มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีคือ มี Dielectric Loss ต่ำ และมี Dielectric Strength สูง

1.3) มีคุณสมบัติทางกลที่ดีทนต่อแรงกระทำภายนอก

1.4) ทนต่อสารเคมีดีกว่า PE/PVC

1.5) ไม่เป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม

2) การเปลี่ยนฉนวน PE เป็น XLPE

ในการเปลี่ยนฉนวน PE เป็น XLPE นั้นใช้วิธีการที่ใช้กันมากเรียกว่า Peroxide Crosslinking โดยความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ Peroxide Crosslinking นี้มี 2 วิธี

2.1) วิธี Steam Cure

สิ่งสำคัญในการผลิตสายไฟฟ้าคือ ฉนวนของสายไฟฟ้าจะต้องเป็น Thermoplastic เพราะจะต้อง Extrude (หลอมละลายและฉีดออกมา) เพื่อหุ้มสายไฟฟ้า ดังนั้นในกระบวนการผลิตสาย XLPE จึงต้องแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือ

ขั้นตอนแรกของการ Extrude โดยวัตถุดิบสำหรับการผลิตฉนวน XLPE จะมีลักษณะเป็นเม็ดพลาสติกที่หลอมละลายได้ (PE + สารพวก Peroxide ซึ่งเป็นตัวทำปฏิกิริยา) โดยเม็ดพลาสติกนี้จะถูกหลอมละลายและฉีดออกมาหุ้มสายไฟฟ้าเช่นเดียวกับการผลิตสายไฟฟ้าฉนวน PE หรือ PVC โดยทั่วไป จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนฉนวนให้เป็น Thermosetting

ขั้นตอนที่สอง จะนำสายไฟฟ้าที่ได้ไปผ่านในท่อที่มีไอน้ำอุณหภูมิสูง (200^0 C)และความดันสูง (20 Bar) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนโมเลกุลของ PE ให้เป็น XLPE (ส่วนนี้จะเรียกว่า Curing Zone หรือ Valcanizing Zone) จากนั้นสายไฟฟ้าจะถูกลดอุณหภูมิให้ต่ำลงโดยการหล่อน้ำในท่ออีกส่วนหนึ่งซึ่งเรียกว่า Cooling Zone

สาเหตุที่ใช้ไอน้ำ/น้ำเป็นตัวกลางถ่ายเทอุณหภูมิก็เพราะว่าน้ำและไอน้ำมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้การถ่ายเทและระบายความร้อนได้รวดเร็วนั่นเอง

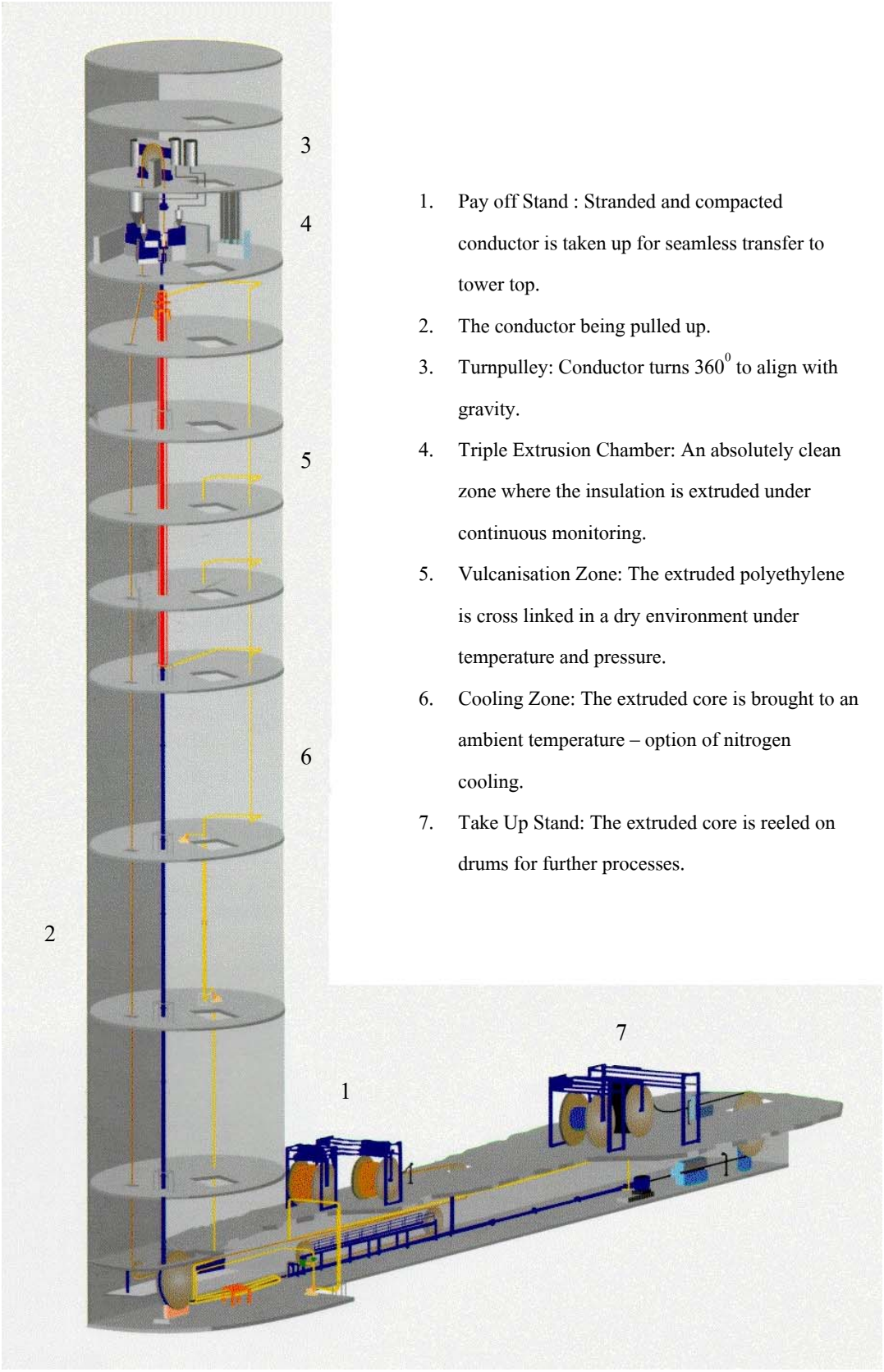
ในกรณีใช้ท่อ Curing ในแนวตั้งกระบวนการผลิตนี้เรียกว่าวิธี Vertical Continuous Valcanization (VCV) ซึ่งส่วนมากจะใช้ในการผลิตสายเคเบิลใต้ดิน แต่ถ้าใช้ท่อเอียงลาดจะเรียกกันว่า

Catenary Continuous Valcanization (CCV) ข้อดีของการผลิตแบบ VCV คือสายไฟฟ้าที่ได้จะมีตัวนำอยู่ตรงกลางไม่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง (Excentric) ความหนาของฉนวนเท่ากันตลอดความยาวสาย แต่ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูงเพราะจะต้องทำเป็นหอสูง (Tower) ถ้าใช้วิธี CCV ค่าก่อสร้างจะต่ำกว่าแต่ก็มีข้อจำกัดไม่สามารถผลิตสายไฟฟ้าแรงสูงที่มีความหนาของฉนวนมากๆได้เพราะจะเกิดการ Excentric ได้ง่าย

2.2) วิธี Dry Cure

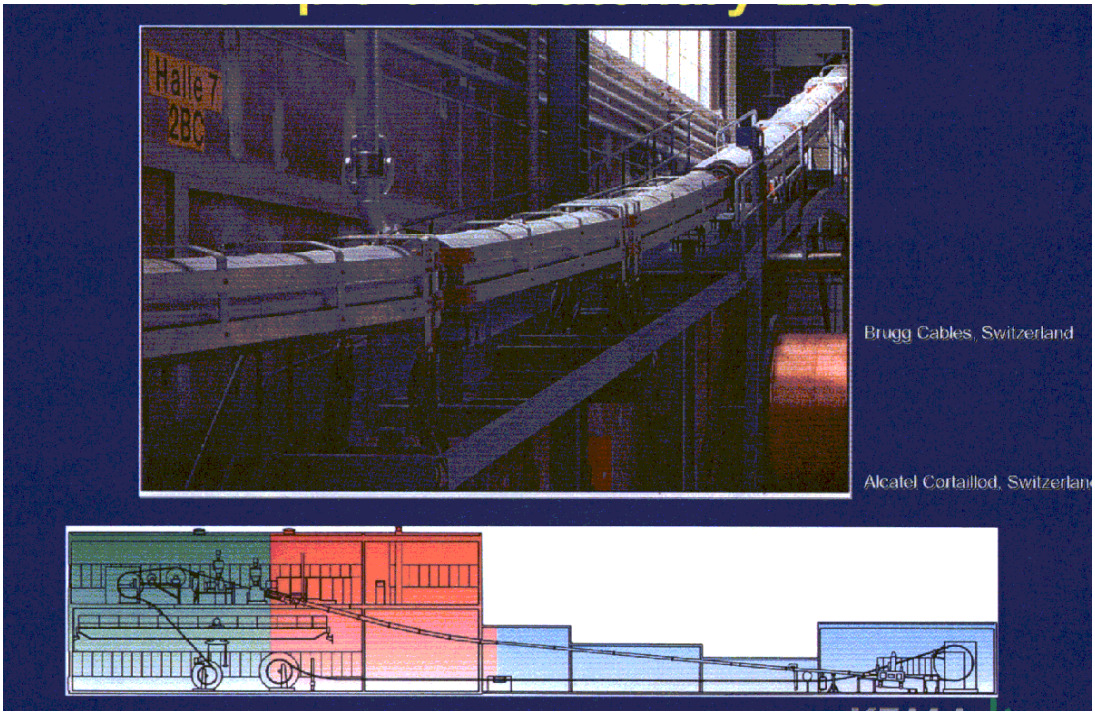
หลังจาก XLPE CABLE ชนิด Steam Cure ใช้งานไประยะหนึ่งพบว่ามีการชำรุดของเคเบิลเร็วกว่าเวลาที่คาดหมายไว้คือชำรุดในเวลาเพียง 10 ปี แทนที่จะใช้งานได้ไม่ต่ำกว่า 20 ปี ประมาณปี ค.ศ. 1969 ก็พบว่าสาเหตุของการชำรุดเกิดมาจาก Water Tree โดยมีน้ำ สนามไฟฟ้าและช่องว่างหรือสิ่งแปลกปลอมในฉนวนเป็นสาเหตุ กล่าวคือขณะที่ Curing โดยใช้ไอน้ำนั้นอุณหภูมิของฉนวนจะสูง โมเลกุลของน้ำส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าไปในฉนวนด้วยวิธีการแพร่กระจาย(จากที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลของน้ำมากไปสู่ที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลของน้ำน้อย) เกิดเป็นช่องว่างขึ้นภายในฉนวน เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกค้างอยู่ภายในช่องว่างในฉนวนนั้นภายหลังกระบวนการผลิต เมื่อปล่อยสายเคเบิลทิ้งไว้น้ำจะระเหยผ่านฉนวนออกมาทำให้เกิดเป็นช่องว่าง(Void) อยู่ในฉนวนจำนวนหนึ่งเมื่อมีการนำเคเบิลไปใช้งานในที่ที่มีความชื้นสูงไอน้ำจากภายนอกจะแพร่กลับไปในฉนวนเหล่านั้น เนื่องจากมีช่องว่างอยู่มากปริมาณไอน้ำในฉนวนก็จะมากตามไปด้วยและเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นทำให้เกิด Water Tree ขึ้นได้ ซึ่งสาเหตุของการเกิด Water Tree นั้นเชื่อว่ามีสาเหตุมาจากปัจจัย 3 ประการคือ 1) ความชื้น 2) ช่องว่างหรือสิ่งแปลกปลอมในฉนวน 3) สนามไฟฟ้าความเข้มสูง จึงได้มีความพยายามที่จะผลิตสายเคเบิลฉนวน XLPE โดยหลีกเลี่ยงการใช้ไอน้ำทำให้เกิดกระบวนการผลิตแบบใหม่ขึ้นมาโดยไม่ใช้ไอน้ำในการ Cure เรียกว่า Dry Cure โดยผู้ผลิตสายเคเบิลบางรายจะใช้ ก๊าซไนโตรเจนแทน แต่เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเท่าไอน้ำจึงต้องมี Pump เพื่อเพิ่มความเร็วในการสัมผัสระหว่างก๊าซไนโตรเจนกับ XLPE

ฉนวนที่ได้จากวิธีการ Dry Cure นี้จะมีช่องว่างอยู่น้อยกว่าและมีขนาดเล็กกว่าวิธีการ Steam Cure มาก จึงเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน



1. Pay off Stand : Stranded and compacted conductor is taken up for seamless transfer to tower top.
2. The conductor being pulled up.
3. Turnpulley: Conductor turns 360^0 to align with gravity.
4. Triple Extrusion Chamber: An absolutely clean zone where the insulation is extruded under continuous monitoring.
5. Vulcanisation Zone: The extruded polyethylene is cross linked in a dry environment under temperature and pressure.
6. Cooling Zone: The extruded core is brought to an ambient temperature – option of nitrogen cooling.
7. Take Up Stand: The extruded core is reeled on drums for further processes.

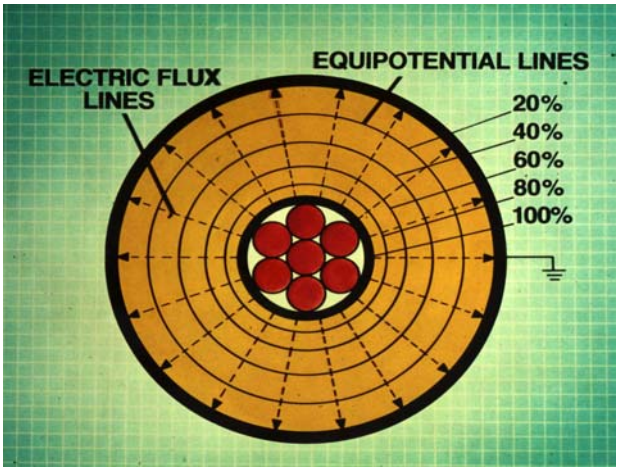
รูปที่ 2.31 แสดงการผลิตสายเคเบิลโดยวิธี Vertical Continuous Valcanization (VCV)



รูปที่ 2.32 แสดงการผลิตสายเคเบิลใต้ดินโดยวิธี Catenary Continuous Valcanization (CCV)

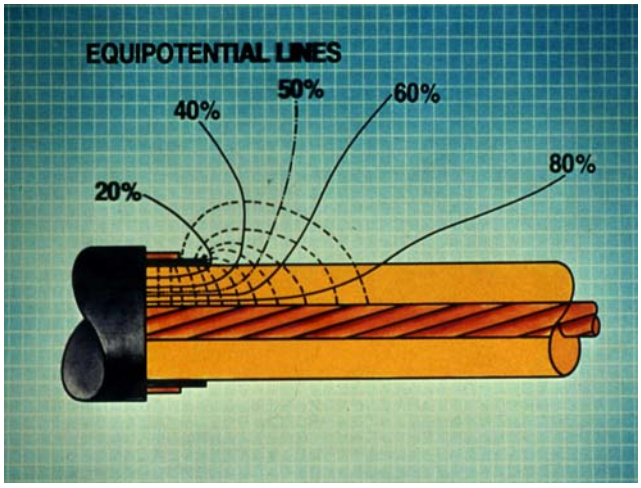
6. การต่อสายและการทำหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Splice and Terminator)

สายเคเบิลใต้ดินที่ยังไม่มีการตัดต่อสาย เมื่อป้อนแรงดันให้สายไฟฟ้า จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างสายตัวนำกับ Shield ทำให้มีเส้นแรงไฟฟ้ากระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวของสายจากตัวนำไปยังสาย Shield (ถูกต่อลงดิน) และเกิดเส้นสมศักย์ (เส้นแสดงระดับแรงดันที่มีค่าเท่ากัน) คงที่ไปตลอดความยาวสายเช่นเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้สนามไฟฟ้ากระจายสม่ำเสมอซึ่งมีค่าไม่เท่ากันจากตัวนำไปยังสาย Shield ดังแสดงตามรูปที่ 2.33



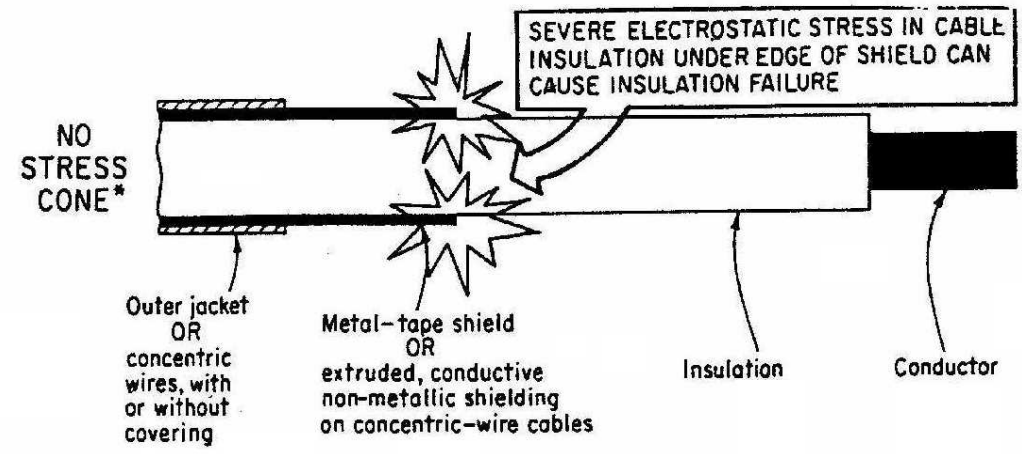
รูปที่ 2.33 แสดง Potential Field และ Electric Flux Lines

เมื่อสายเคเบิลใต้ดินมีการตัดต่อสาย สายตัวนำที่ถูกปอกฉนวนออกจำเป็นต้องรักษาระยะระหว่างสายตัวนำไฟฟ้ากับ Shield (ถูกต่อลงดิน) ให้มีค่ามากพอ เพื่อไม่ให้เกิดกระแสไหลข้าม (Flashover) จากสายตัวนำไปยัง Shield กรณีนี้สายตัวนำจะถูกคั่นด้วยฉนวนซึ่งมีความหนาแน่นไม่มากเท่านั้นซึ่งในกรณีนี้สนามไฟฟ้าจะไม่ถูกควบคุมด้วย Shield อีกต่อไป (เฉพาะช่วงที่ปอก Shield ออก) สนามไฟฟ้าจะเกิดการเบี่ยงเบนอย่างกระทันหันตามที่แสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงผลของสนามไฟฟ้าเบี่ยงเบนกระทันหัน

ผลของสนามไฟฟ้าเบี่ยงเบนจะมีจุดซึ่งมีสนามไฟฟ้าหนาแน่น และตรงจุดนี้เองจะทำให้ค่าของ Dielectric Strength ลดลง จะเป็นผลให้ฉนวนไฟฟ้าตรงจุดนั้นชำรุดได้ง่ายดังรูปที่ 2.35



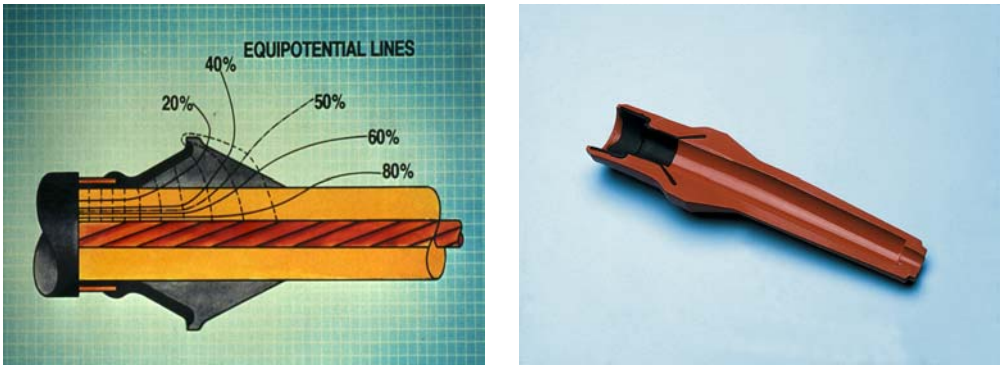
รูปที่ 2.35 แสดงผลของสนามไฟฟ้าเบี่ยงเบน จะมีจุดซึ่งมีสนามไฟฟ้าหนาแน่นที่ปลายสาย Shield

ผลของการที่สนามไฟฟ้าเบี่ยงเบนนี้ จึงต้องทำการลด Stress ที่เกิดที่ปลายสาย Shield ก่อนการนำสายเคเบิลที่มี Shield ดังกล่าวไปใช้งาน โดยการทำ Stress Relief Cone ตามรูปที่ 2.36 หรือใช้ High Permitivity Material ตามรูปที่ 2.37 ที่ปลายสาย Shield ซึ่งนำไปสู่การทำ Termitor และSplice

1) อุปกรณ์ควบคุมความเครียดสนามไฟฟ้า (Stress Relief Control)

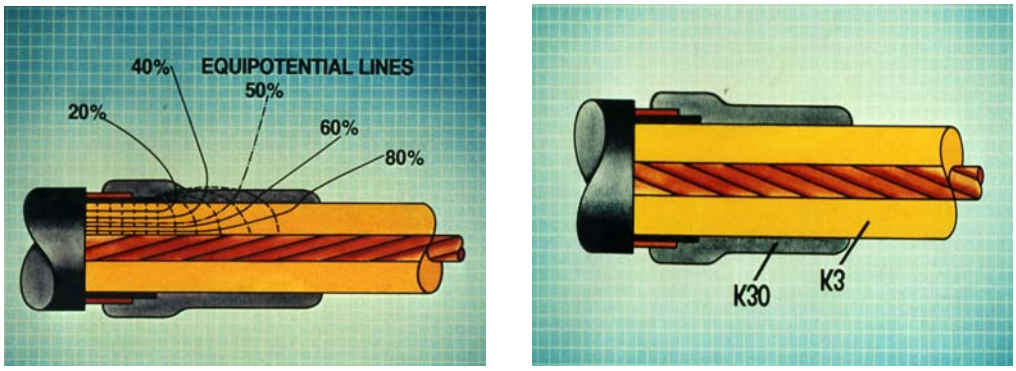
ตามมาตรฐาน IEEE 48-1990 ได้แบ่งอุปกรณ์ควบคุมความเครียดเนื่องจากความเข้มสนามไฟฟ้ามี 2 หลักการคือ

1.1) การเพิ่มฉนวนด้วยทรงเรขาคณิต (Geometric Cone or Stress Cone) อุปกรณ์ควบคุมความเครียดโดยการเพิ่มความหนาของฉนวนในรูปทรงกรวยและมีผิวนอกเป็นสารกึ่งตัวนำแล้วนำมาควบคุมบริเวณปลายสาย Shield ของเคเบิล ทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าเกิดการกระจายลงบนสารกึ่งตัวนำของอุปกรณ์มากกว่าที่ปลายสาย Shield ของเคเบิล



รูปที่ 2.36 แสดงหัว Terminator ที่มีการกระจายสนามไฟฟ้าโดยวิธีใช้ Stress Cone

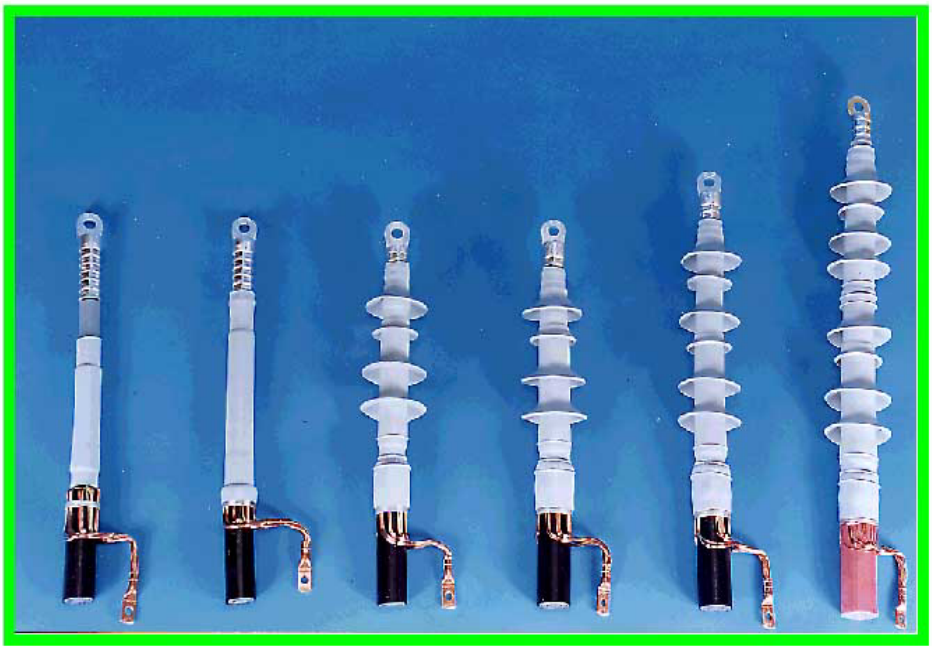
1.2) การหักเหด้วยวัสดุที่มีค่าคงที่ K สูง (High Permitivity Material) อุปกรณ์ควบคุมความเครียดที่ทำจากวัสดุที่มีค่า K สูง (Dielectric Constant) โดยอาศัยหลักการหักเหของคลื่นสนามไฟฟ้าที่วัสดุ 2 ชนิดมีค่าดัชนี ที่แตกต่างกัน (Dielectric Constant K ของสายเคเบิล และ วัสดุ High K) ทำให้สนามไฟฟ้าเกิดการหักเห และเกิดการกระจาย และ ไม่ให้เกิดความเครียดที่จุดใดจุดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถลดความเครียดของสนามไฟฟ้าที่ปลายสาย Shield ลงได้



รูปที่ 2.37 แสดงหัว Terminator ที่มีการกระจายสนามไฟฟ้าโดย HI-K Material

2) Cable Terminator

ณ จุดที่สายเคเบิลไปสิ้นสุดลง ต้องมีการทำหัวสายเคเบิลเพราะการที่สาย Shieldสิ้นสุดลงจะทำให้สนามไฟฟ้าหนาแน่นบริเวณนั้น ซึ่งหากไม่ทำให้สนามไฟฟ้ากระจายสม่ำเสมอ ฉนวนบริเวณนั้นจะเสียหายได้



รูปที่ 2.38 แสดงตัวอย่างหัวสายเคเบิลใต้ดิน

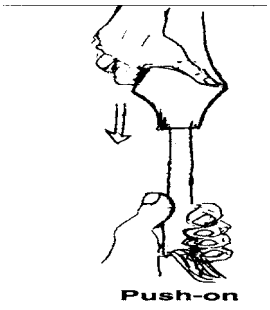
หัวต่อสายเคเบิลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเข้ากับสายเคเบิลที่มี Shield เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเชื่อมต่อกับสายอากาศหรืออุปกรณ์แรงสูงอื่นๆ เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าในสายเคเบิ้ล ดังกล่าวผ่านอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

2.1) ชนิดของ Terminator

2.1.1) Porcelain Type เป็นหัวต่อสายเคเบิลสำเร็จรูปมาจากโรงงานในหนึ่งรุ่นใช้ได้กับสายหลายขนาดมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นและน้ำด้วยคุณสมบัติของน้ำยาหล่อ (Compound)ที่บรรจุอยู่ภายในและทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้ดีแต่มีข้อเสียก็คือมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากการติดตั้งหัวต่อสายเคเบิลต้องใช้ความระมัดระวังเพราะอาจตกแตกได้

รูปที่ 2.39 แสดงตัวอย่างหัวสายเคเบิลใต้ดินแบบ Porcelain Type

2.1.2) Slip On Type เป็นหัวต่อสำเร็จรูปมาจากโรงงานหรือเป็นชิ้นส่วนมาจากโรงงานผลิตติดตั้งได้เร็วแต่มีข้อเสียคือใช้แรงในการดันหัวต่อสายเคเบิลใต้ดิน แต่ละรุ่นจะใช้ได้เฉพาะของขนาดสายเคเบิลนั้น ซึ่งต้องมีขนาดฉนวนเหมาะกันพอดี มิฉะนั้นจะเกิดช่องอากาศภายใน ทำให้เกิดความเสียหายและมีชิ้นส่วนประกอบกันหลายชิ้นส่วน คือ อุปกรณ์ควบคุมความเครียด ผิวฉนวน ปีกฉนวน



รูปที่ 2.40 แสดงตัวอย่างหัวสายเคเบิลใต้ดินแบบ Slip On Type

2.1.3) Cold Shrink Type เป็นหัวต่อสำเร็จรูปมาจากโรงงานผลิต (อุปกรณ์ควบคุมความเครียด ผิวฉนวน และปีกฉนวน)ในหนึ่งรุ่นใช้กับสายเคเบิลฯได้หลายขนาด สามารถป้องกันความชื้น น้ำ ทางกล และ สารเคมี ด้วยแรงหดรัดและคุณสมบัติซิลิโคนโพลิเมอร์ ขั้นตอนการติดตั้งน้อย ไม่ซับซ้อน ด้วยการหดรัดอัตโนมัติและหัวต่อสำเร็จรูป ไม่ต้องใช้เครื่องเป่าไฟ ทำให้ปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานและใช้เวลาน้อยในการปฏิบัติงาน

รูปที่ 2.41 แสดงตัวอย่างหัวสายเคเบิลใต้ดินแบบ Cold Shrink Type

2.1.4) Heat Shrink Type เป็นหัวต่อสายที่เป็นชิ้นส่วนมาจากโรงงานผู้ผลิตในหนึ่งรุ่นใช้กับสายเคเบิลฯได้หลายขนาดมีข้อเสียคือต้องใช้เครื่องมือเป่าไฟและความร้อนซึ่งอาจเป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้ ต้องใช้ความเชี่ยวชาญมากในการเป่าไฟเพื่อให้การหดสม่ำเสมออีกทั้งมีชิ้นส่วนที่ต้องประกอบกันหลายชิ้นส่วน หลายขั้นตอน (อุปกรณ์ควบคุมความเครียด ผิวฉนวน ปีกฉนวน) เพื่อติดตั้งหัวต่อสายเคเบิลฯ

รูปที่ 2.42 แสดงตัวอย่างหัวสายเคเบิลใต้ดินแบบ Heat Shrink Type

ปัจจุบันการติดตั้ง Terminator ไม่ยุ่งยาก เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตได้จัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆให้พร้อม ปัญหาหลักของการติดตั้ง Terminator คือขั้นตอนการเตรียมสายเคเบิลฯ (Cable preparation) ซึ่งการปอก Jacket , Semi Conducting Layer และ Wire Screen ต้องอาศัยความละเอียด ประณีต ต้องไม่ทำให้ Insulation เกิดบาดแผลจากการปอกสายเพราะจะนำไปสู่การเกิด Partial Discharge ที่บริเวณบาดแผลนั้นจนลามไปถึงการเกิด Insulation Breakdown ได้รวมถึงขณะทำการทำความสะอาดผิว Insulation ก็จะต้องระมัดระวังไม่ให้มีเศษของ Semi Conducting และเศษผงอื่นๆติดอยู่เด็ดขาดเพราะจะทำให้เกิด Partial Discharge เช่นกัน

ส่วนสายดินที่จะต่อลงดินให้ยึดตามขนาดของสาย Wire Screen เช่น สาย 240 และ 400 ต.มม. ใช้สายดินขนาด 25 ต.มม.

มาตรฐานหัวสายเคเบิลใต้ดิน (Terminator)

IEEE 48 – 1990	สหรัฐอเมริกา
CENELEC HD 629.1 S1	ยุโรป
VDE 0287 Part 629-1	เยอรมัน
EDF HN26-E-20, 33-E-01, 41-E-01	ฝรั่งเศส
BS C-89	อังกฤษ
UNE 21-115-75	สเปน
A.B.N.T. 934	บราซิล

3) Cable Splicing

เหตุผลที่ต้องมีการต่อสายเคเบิลใต้ดิน

1. ต้องการสายเคเบิลฯที่มีความยาวมาก
2. สายเคเบิลฯเกิดความบกพร่องหลังการติดตั้งสายเคเบิลฯ
3. เคเบิลได้รับความเสียหายจากอุบัติเหตุ
4. การต่อสายเคเบิลฯแบบแยกสามทาง (T- Tap)

การต่อสายเคเบิลฯนอกจากจะต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าแล้วยังต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของส่วนประกอบต่างๆของสายไฟฟ้าอีกด้วยคืออาศัยหลักที่ว่าทำทุกส่วนของชุดต่อสายให้เหมือนกับสายเคเบิลฯนั่นเอง

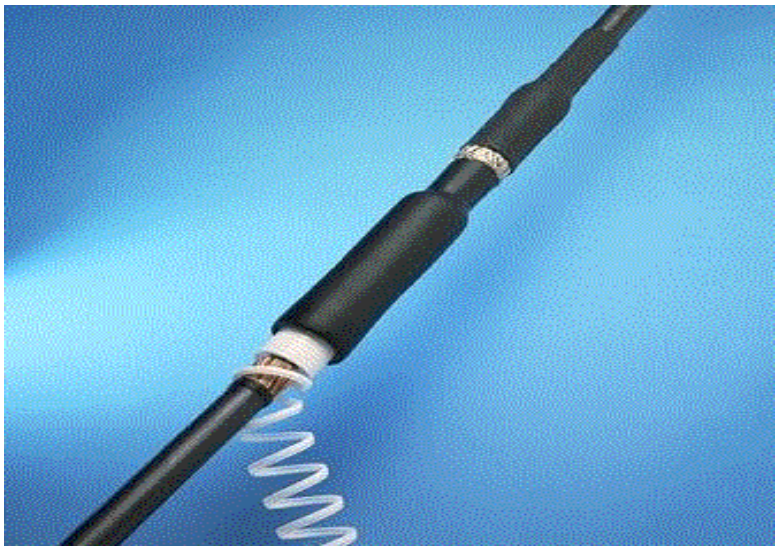
3.1) ชนิดของ Splicing

3.1.1) Slip On Type เป็นชุดต่อสายสำเร็จรูปมาจากโรงงานผลิตมีการทดสอบก่อนนำมาจำหน่าย การต่อสายต้องเตรียมปอกสายเคเบิลฯยาวกว่าอีกข้างหนึ่งเพื่อให้ชุดต่อสายเคลื่อนตัวไปพักไว้

ก่อนการเชื่อมหลอดต่อสายไฟ แต่ละรุ่นจะใช้ได้เฉพาะของขนาดสายเคเบิลฯนั้น ซึ่งต้องมีขนาดฉนวนเหมาะกันพอดี

รูปที่ 2.43 แสดงตัวอย่างการต่อสายเคเบิลใต้ดินแบบ Slip On Type

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



รูปที่ 2.44 แสดงตัวอย่างการต่อสายเคเบิลใต้ดินแบบ Cold Shrink Type

3.1.3) Heat Shrink Type เป็นชุดต่อสายที่เป็นชิ้นส่วนมาจากโรงงานผู้ผลิตในหนึ่งรุ่น ใช้กับสายเคเบิลฯได้หลายขนาดมีข้อเสียคือต้องใช้เครื่องมือเป่าไฟและความร้อนซึ่งอาจเป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้ ต้องใช้ความเชี่ยวชาญมากในการเป่าไฟเพื่อให้การหดสม่ำเสมออีกทั้งมีชิ้นส่วนที่ต้องประกอบกันหลายชิ้นส่วน หลายขั้นตอน

รูปที่ 2.45 แสดงตัวอย่างการต่อสายเคเบิลใต้ดินแบบ Heat Shrink Type

การทำ Terminator และ Splice ในปัจจุบันทันสมัยขึ้น ซึ่งการประกอบง่ายพอจะศึกษาจากคู่มือบริษัทผู้ผลิตได้ แต่ที่ยากคือ ขั้นตอนการเตรียมสายเคเบิลฯดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์และความชำนาญเป็นอย่างมาก

7. Compact Unit Substation

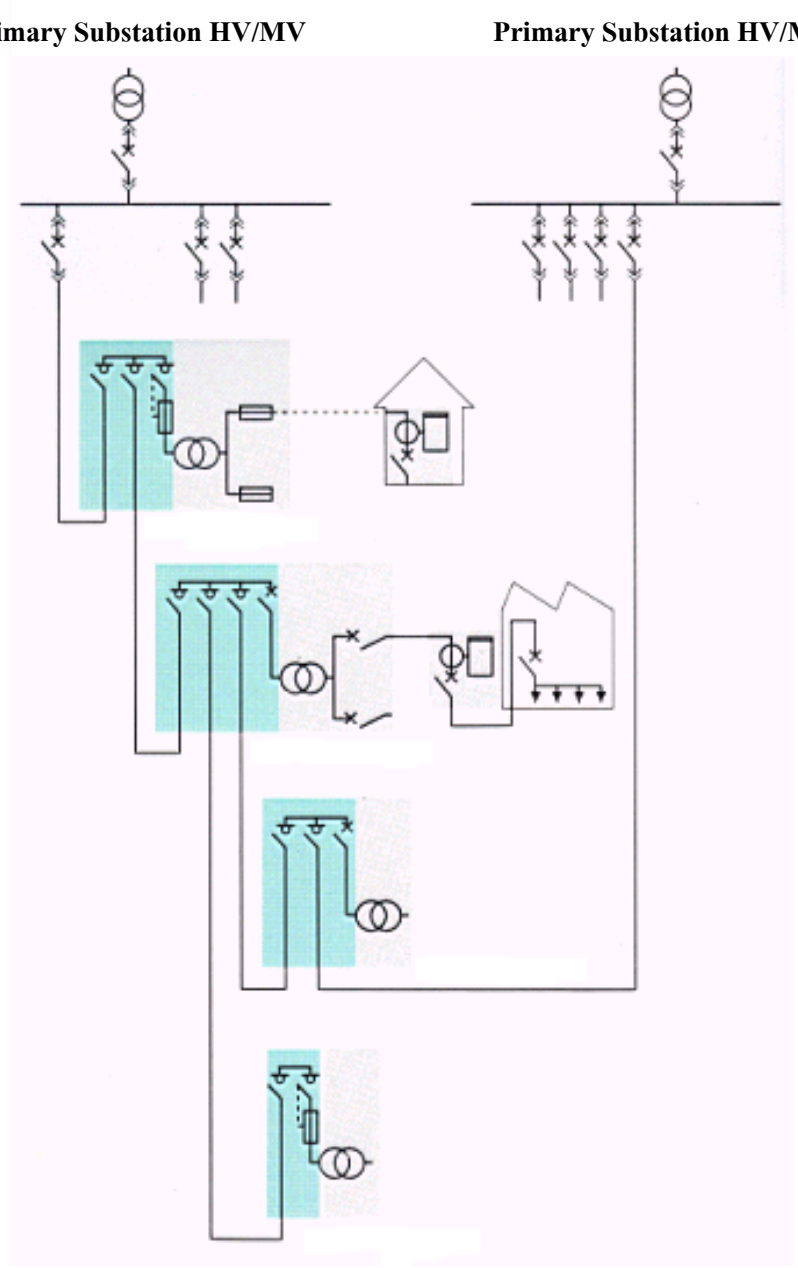
ในระบบการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การจ่ายไฟแบบระบบเหนือดิน (Overhead Line System) และ การจ่ายไฟแบบระบบเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System) ซึ่งในกรณีการจ่ายไฟแรงสูงแบบระบบเหนือดินให้กับผู้ใช้ไฟในไลน์ทั่วไปหรือเฉพาะผู้ใช้ไฟ และผู้ใช้ไฟรับไฟฟ้าแรงต่ำเป็นแบบเหนือดิน จะเป็นรูปแบบปกติที่ใช้กันอยู่ทั่วๆ ไป โดยทางด้านแรงสูงมีเพียง 1 สายป้อน มีหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าลง (Step down) จากแรงดันระบบจำหน่าย 22 kV หรือ 33 kV เป็นระบบจำหน่ายแรงต่ำ 400/230 V และมีอุปกรณ์ป้องกันทางด้านแรงสูงเป็นดรอพเอาท์ ฟิวส์คัทเอาท์ (Fuse Cut-out Open Type) ส่วนทางด้านแรงต่ำจะเป็นฟิวส์สวิตช์แรงต่ำ โดยอุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวมาจะติดตั้งอยู่บนเสา คอร. ซึ่งจะเป็นเสา คอร. เดี่ยว หรือเสา คอร. คู่ ก็ขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง ดังนั้นรูปแบบการจ่ายไฟแบบนี้ จึงไม่ค่อยยุ่งยาก ซับซ้อน เนื่องจากทางด้านแรงสูงมีเพียง 1 สายป้อน ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงการเลือกจ่ายได้ของวงจรสายป้อน ยิ่งถ้าหากเป็นระบบการจ่ายไฟใหญ่ๆ แล้ว เช่น แบบตาข่าย (Network System) แบบลูป (Loop System) จำเป็นต้องมีการพิจารณา

ถึงการถ่ายเทโหลด การเลือกวงจรสายป้อนได้ การสับจ่ายกลับคืนหรือตัดส่วนที่ฟอลต์ออกไปจากระบบได้รวดเร็ว เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้ามากขึ้น

อีกหนึ่งเหตุผล หากจะดัดแปลงรูปแบบการติดตั้งบนเสา คอร. ให้สามารถเลือกจ่ายได้ของวงจรสายป้อน ที่มีจำนวน 2 – 3 วงจร จะไม่สามารถกระทำได้ ไม่มีความสวยงาม การจ่ายไฟและการบำรุงรักษาลำบาก รวมถึงด้านความมั่นคงระบบไฟฟ้าก็ต่ำ สิ่งเหล่านี้จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับการเลือกจ่ายได้ของวงจรสายป้อน บนเสา คอร.

จากที่กล่าวมา อุปกรณ์ตัวหนึ่งที่จะนำมาใช้ในระบบไฟฟ้า ที่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟได้หลายทิศทาง (เลือกจ่ายได้ของวงจรสายป้อน) มีความสวยงามกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม การจ่ายและดับไฟเพื่อบำรุงรักษาง่าย รวมถึงมีความมั่นคงระบบไฟฟ้าสูง แทนการจ่ายไฟระบบ 1 สายป้อน ก็คือ “ Compact Unit Substation ”

รูปที่ 2.46 แสดง Compact Unit Substation

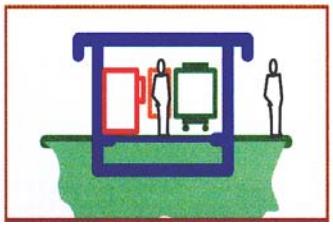


รูปที่ 2.47 แสดงระบบการจ่ายไฟ โดยใช้ Compact Unit Substation

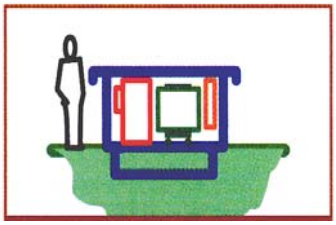
7.1 ข้อพิจารณาบางประการสำหรับการตัดสินใจเลือก Compact Unit Substation ที่ดีที่สุด

1) รูปแบบของการทำงาน (Type of Operation)

- แบบทำงานภายใน (Walk-in Type) มีพื้นที่ทางเดินภายใน ทำให้ปฏิบัติงานได้สะดวกและง่าย รวมไปถึงจะป้องกันอันตรายจากสภาพอากาศที่ไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อผู้ปฏิบัติงานได้
- แบบทำงานภายนอก (Outdoor Type) การปฏิบัติงานจะมีต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมภายนอก

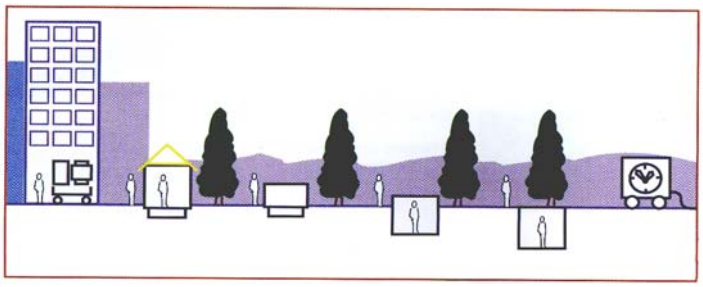


แบบทำงานภายใน



แบบทำงานภายนอก

2) ชนิดของ Compact Unit Substation (Type of Compact Unit Substation)



ก. ข. ค. ง. จ. ฉ.

ก. แบบรวมอุปกรณ์ติดตั้งไว้ในอาคาร (Integrated in Buildings)

ข. แบบมีพื้นที่ทำงานภายใน (With corridor)

ค. แบบขนาดเล็ก กะทัดรัด ไม่มีพื้นที่ทำงานภายใน (Compact without corridor)

ง. แบบกึ่งฝังดิน (Semi – Underground)

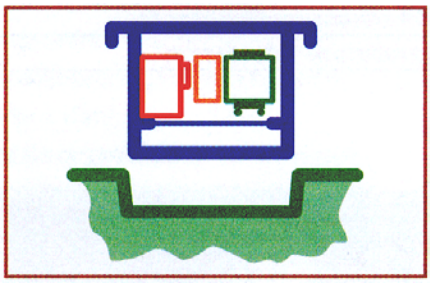
จ. แบบฝังในดิน (Fully Underground)

ฉ. แบบแหล่งจ่ายเคลื่อนที่และชั่วคราว (Mobile and temporary power supply)

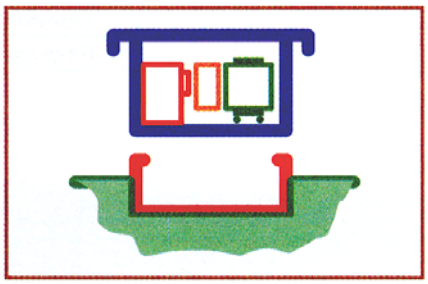
3) การออกแบบเครื่องห่อหุ้ม (Enclosure)

- แบบรวมฐานหรือแท่นสี่เหลี่ยม (Plinth) พร้อมเครื่องห่อหุ้ม สามารถทำสำเร็จที่โรงงานผู้ผลิตได้ ทำให้คุ้มค่า ลงทุนต่ำและประหยัดเวลา

- แบบแยกฐานหรือแท่นสี่เหลี่ยม (Without Plinth) ออกจากเครื่องห่อหุ้ม จะต้องมีการวางแผนจัดการ และพิจารณางานก่อสร้าง ที่หน้างาน



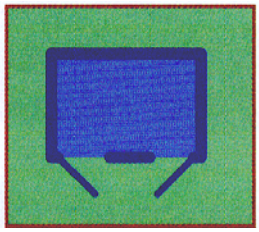
แบบมี Plinth



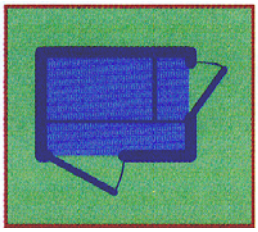
แบบไม่มี Plinth

4) การจัดเรียงอุปกรณ์ภายใน (Internal Arrangement)

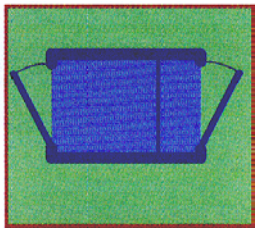
- เพื่อปฏิบัติงานด้านหน้า(Frontal) จะมีเพียงประตูด้านหน้าเท่านั้น ซึ่งจะง่ายในการเข้าถึง
- เพื่อปฏิบัติงานในแนวเฉียง (Diagonal) ง่ายต่อการจัดวางอุปกรณ์รวมกัน เหมาะสำหรับอุปกรณ์ขนาดใหญ่
- เพื่อปฏิบัติงานด้านแนวยาว (Longitudinal) ตัวเครื่องห่อหุ้มมีขนาดแคบ ไม่กีดขวางเมื่อวางบนทางเท้า



Frontal



Diagonal



Longitudinal

5) รูปแบบของการตกแต่ง (Type of Decoration)

- ผนังตู้ตกแต่งเป็นหิน (Stone) ไม้ (Wood) ฯลฯ
- มีหลังคา (Roof) ปกคลุม ซึ่งจะทำพร้อมจากโรงงานหรือเพิ่มที่หน้างาน

ตกแต่งด้วยไม้

ตกแต่งด้วยหิน

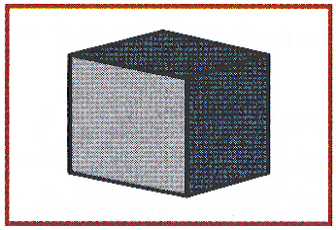
ตกแต่งผนังและหลังคา

6) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องห่อหุ้ม (Type of Material for the Enclosure)

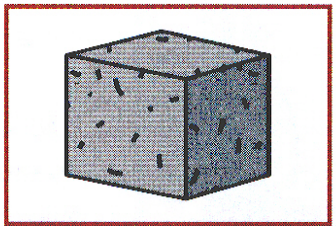
- คอนกรีต (Concrete) สำหรับ Compact Unit Substation ที่มีขนาดใหญ่ เสริมความแข็งแรงได้มาก สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Thermal Shocks) ทนทานสนิมได้ดี และตกแต่งตู้เพื่อความสวยงามได้

- คอนกรีตมวลเบา (Light Concrete)) สำหรับ Compact Unit Substation ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Thermal Shocks) ทนทานสนิมได้ดี ตกแต่งตู้เพื่อความสวยงามได้ และสุดท้ายมีน้ำหนักเบา

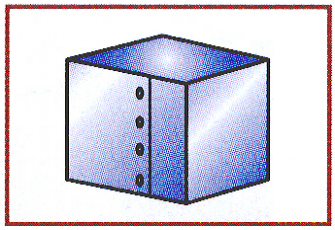
- โลหะ (Metal) สำหรับใช้งานในระยะเวลาหนึ่ง มีน้ำหนักเบา อุปกรณ์จะเสื่อมคุณภาพหลังจากใช้งานไปแล้วหลายๆ ปี เสี่ยงต่อการเกิดสนิมและมีหยดน้ำเกาะ (Condensation)



คอนกรีต

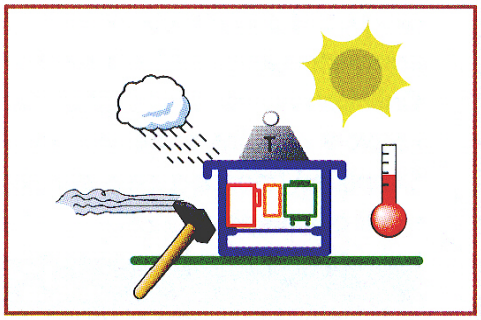


คอนกรีตมวลเบา

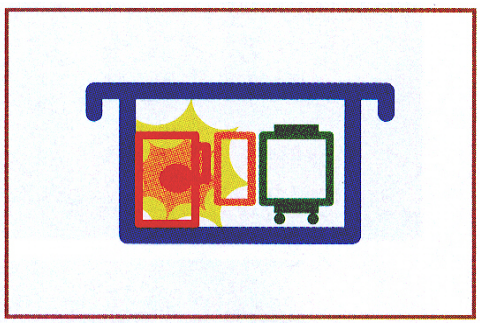


โลหะ

7) กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง



(ก)



(ข)

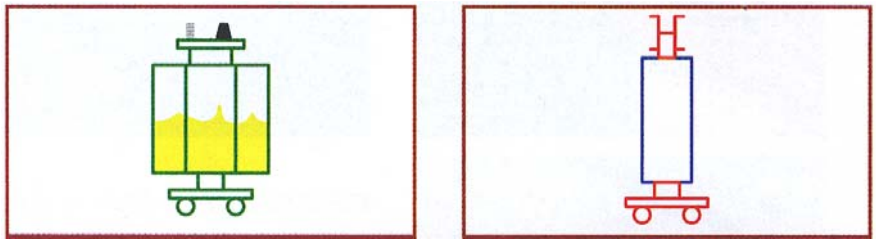
(ก) บุคคลและอุปกรณ์ภายในมีความปลอดภัย มีการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Temperature Rise) ค่าการป้องกัน IP รวมถึงความทนทานทางกล (Mechanical Withstand) เป็นต้น

(ข) ความสามารถทนทานต่อการเกิดอาร์คภายใน (Internal Arc Capability) เพื่อความปลอดภัยต่อสาธารณชน

8) ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Type of Transformer)

- Oil Immersed type เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ปิดมิดชิด (Hermetically sealed transformer) สำหรับความต้องการ Compact Unit Substation ขนาดที่เล็ก มีความกะทัดรัด และมีถังเก็บน้ำมัน (Oil Retention Tank) ประกอบด้วย

- Dry type เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบคาสเรซิน (Cast resin transformer) เพื่อลดความเสี่ยงต่อไฟไหม้ การระเบิด กรณีติดตั้งในพื้นที่เสี่ยงภัย

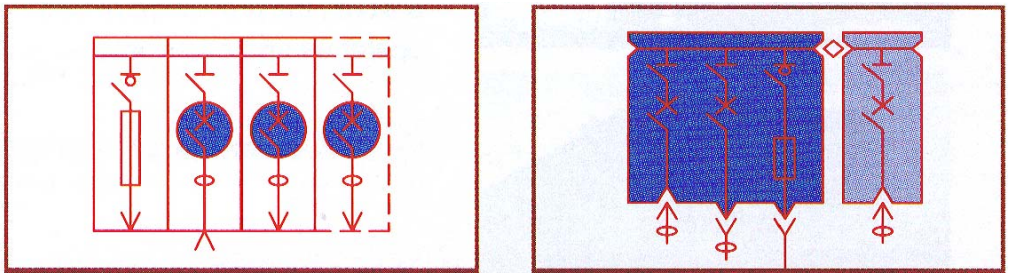


Oil immersed type Dry type

9) ชนิดของห้องแรงสูง (Type of MV Cubicle)

- Air Insulated Switchgear (AIS) การออกแบบเพิ่ม Modular จะต้องพิจารณาถึงสวิตช์ชนิด SF6 ในส่วนห้องแรงสูง AIS ด้วย

- Gas-Insulated Switchgear (GIS) การออกแบบเพิ่ม GIS กระทำได้โดยง่าย



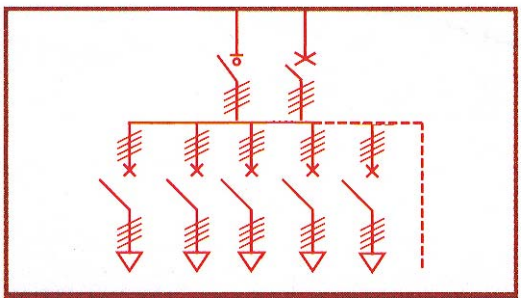
Air Insulated Switchgear (AIS) Gas-Insulated Switchgear (GIS)

10) ชนิดส่วนด้านแรงต่ำ (Type of Low Voltage)

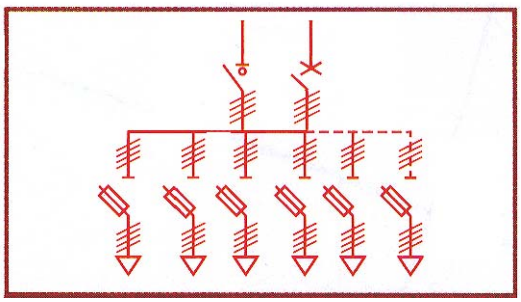
- Circuit Breaker จะใช้สำหรับแก้ปัญหาให้มีความง่ายในการทำงาน และบำรุงรักษา แต่จะมีราคาแพง

- Fuses ในด้านการติดตั้งเพื่อทำงานด้านการป้องกัน (protection of the Installation) จะดีกว่า และคุ้มค่า ประหยัดกว่า

- Disconnector เป็นอุปกรณ์ปลดวงจร ไม่มีส่วนของการป้องกัน



Circuit Breaker



Fuses

7.2 Compact Unit Substation ที่ใช้ภายใน กฟภ.

เมื่อทราบลักษณะโดยทั่วไปของ Compact Unit Substation แล้ว ต่อไปจะกล่าวถึงการกำหนดเป็นข้อกำหนด (Specification) สำหรับใช้ภายใน กฟภ. ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้.-

1) ขอบเขต (Scope) ใช้สำหรับการติดตั้งในระบบเคเบิลใต้ดิน ระบบจำหน่าย 22 kV และ 33 kV ความถี่ 50 Hz

2) มาตรฐานที่ใช้ (Standard) การผลิตและทดสอบ สอดคล้องตามมาตรฐาน IEC, VDE, DIN, TISI หรือ เทียบเท่า ที่เป็นฉบับล่าสุด

3) ข้อกำหนดที่สำคัญ (Principal Requirement)

3.1) เงื่อนไขการบริการและการติดตั้ง (Service condition and Installation) จะต้องถูกออกแบบและก่อสร้าง สำหรับติดตั้งภายนอก และการทำงานให้เป็นไปตามเงื่อนไข ดังนี้

ความสูง ณ จุดติดตั้ง (Altitude) : up to 1,000 m above sea level

อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด (Max.ambient air temperature) : 40^{O}C

อุณหภูมิตลอดปีเฉลี่ย (Mean annual ambient temperature) : 30^{O}C

ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปีเฉลี่ย (Mean annual relative humidity) : 79%

ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปีเฉลี่ยสูงสุด (Mean max.annual relative humidity) : 94%

สภาวะอากาศ (Climatic condition) : เขตร้อน (Tropical climate)

แฟคเตอร์การสั่นสะเทือนสูงสุด (Max. seismic factor) : 0.1 g

ความคาดหวังฟ้าผ่าโดยตรง (Lightning stroke expectancy) : 100 thunder storm/d/y

สารที่เป็นตัวก่อให้เกิดการกัดกร่อน ณ จุดที่ติดตั้ง : เกลือ (salt) , ขี้เขม่า (soot)

(Specific corrosive elements at site)

ทั้งนี้ Compact Unit Substation จะต้องมีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งในพื้นที่สาธารณะ (Public area) เช่น บริเวณทางเท้าที่มีคนหนาแน่น ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการพิจารณาออกแบบ

รวมทั้งมีความปลอดภัยต่อประชาชนและมีความสวยงามด้วย ซึ่งอย่างน้อยที่สุดการออกแบบ การก่อสร้าง รวมทั้งการทดสอบ ตัวเครื่องห่อหุ้ม (Enclosure) จะต้องมีสิ่งเหล่านี้ คือ

3.1.1) จะต้องผ่านการทดสอบความทนทานต่อการเกิดอาร์คภายใน (Internal Arc Test) สอดคล้องตาม PHELA No.4 , IEC 60298 ฉบับล่าสุด หรือ IEC 61330 ฉบับล่าสุด

3.1.2) มีความแข็งแรงเพียงพอ ในการป้องกันการกระทบกระเทือนจากภายนอก (External Impact) ที่จะมีผลต่อส่วนนำไฟฟ้า (Live-parts)ของหม้อแปลงไฟฟ้าและสวิตช์เกียร์

3.2) ส่วนประกอบของ Compact Unit Substation

Compact Unit Substation จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

3.2.1) ห้องด้านแรงสูง (High-voltage room) ถูกบรรจุด้วย Ring Main Unit (RMU) โดย Ring Main Unit เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง (22-33 kV) สำหรับใช้จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ Open Loop แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยมีใช้มากในระบบเคเบิลใต้ดิน เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปิดปิดวงจรขณะมีโหลดได้ และสามารถติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันทางด้านโหลดได้แล้วแต่ความต้องการ โดยทั่วไป RMU สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

- Air Insulated and Air Interrupter Ring Main Unit

Ring Main Unit ชนิดนี้ใช้อากาศเป็นฉนวนทางไฟฟ้าระหว่างบัสบาร์ และใช้เป็นตัวดับอาร์กที่เกิดจากการตัดวงจรขณะมีโหลด จึงทำให้ Ring Main Unit มีขนาดใหญ่มาก ต้องการการบำรุงรักษาสูง อายุการใช้งานต่ำ แต่มีราคาถูก และซ่อมบำรุงรักษาง่ายไม่ซับซ้อน

- Air Insulated and Oil ,Vacuum , SF6 Interrupter Ring Main Unit

Ring Main Unit ชนิดนี้ใช้อากาศเป็นฉนวนทางไฟฟ้าระหว่างบัสบาร์ ใช้น้ำมัน หรือ สุญญากาศ หรือ SF6 เป็นตัวดับอาร์กที่เกิดจากการตัดวงจรขณะมีโหลด จึงทำให้ Ring Main Unit มีขนาดเล็กลงกว่าแบบที่ 1 ประมาณ 2 เท่า ต้องการการบำรุงรักษาสูง อายุการใช้งานสูงขึ้น

- SF6 Insulated and Vacuum , SF6 Interrupter Ring Main Unit

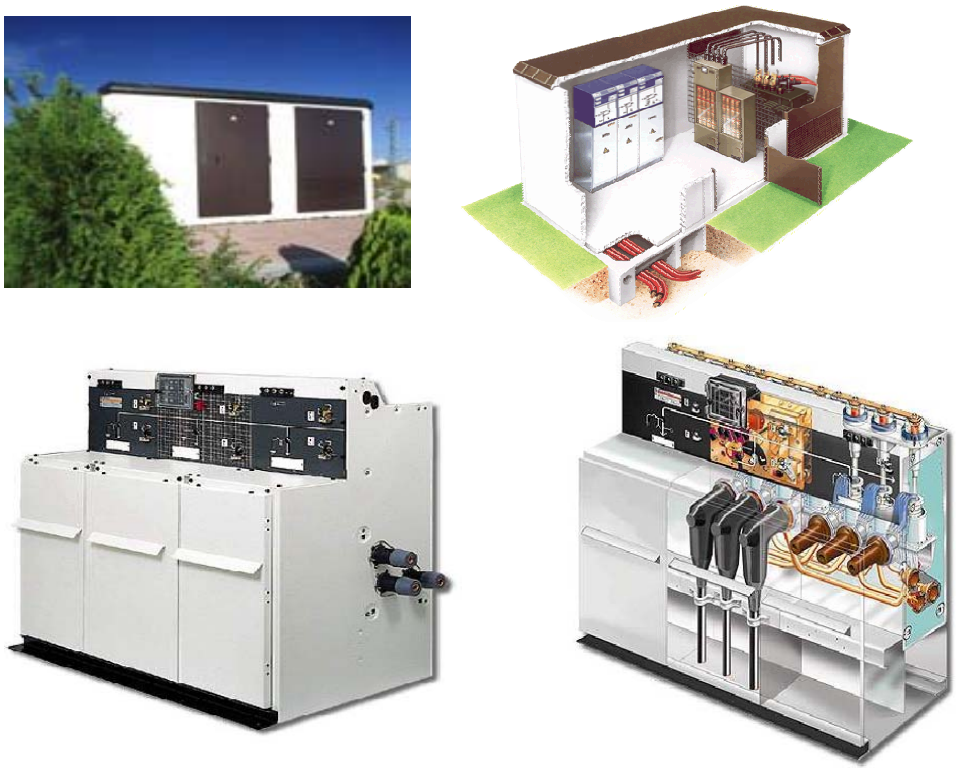
Ring Main Unit ชนิดนี้ใช้ SF6 เป็นฉนวนทางไฟฟ้าระหว่างบัสบาร์ ใช้สุญญากาศ หรือ SF6 เป็นตัวดับอาร์กที่เกิดจากการตัดวงจรขณะมีโหลด จึงทำให้ Ring Main Unit มีขนาดเล็กลงกว่าแบบที่ 1 ประมาณ 4 เท่า อายุการใช้งานสูงประมาณ 30 ปี ไม่ต้องการการบำรุงรักษา

สำหรับ Ring Main Unit ที่ใช้ SF6 เป็นฉนวน และบรรจุบริภัณฑ์ด้านแรงสูง (Medium Voltage) ไว้ในตู้โลหะเพียงตู้เดียว โดยทั่วไปประกอบด้วย

- Switch Disconnector
- Fuse หรือ Circuit Breaker สำหรับป้องกันหม้อแปลง
- Earthing Switch

ซึ่งตามข้อกำหนดของ กฟภ. ห้องด้านแรงสูง (High-voltage room) จะถูกบรรจุด้วย Ring Main Unit ที่ใช้ SF6 เป็นฉนวน (SF6-insulated Ring Main Unit (RMU)) มีดัชนีการป้องกันระดับ IP 34

โดยด้านแรงสูง (Medium Voltage) จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ด้านสวิตช์สายป้อน (Cable feeder switch) ส่วนใหญ่จะมี 2-3 ชุด ใช้สายเคเบิลใต้ดิน ชนิด XLPE ขนาด 240 ต.มม. เป็นสายป้อน และด้านสวิตช์หม้อแปลง (Transformer feeder switch) จะมีไม่เกิน 2 ชุด ใช้สายเคเบิลใต้ดิน ชนิด XLPE ขนาด 50 ต.มม. เป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนแรงสูงกับส่วนหม้อแปลง



รูปที่ 2.48 รูปแสดง Ring Main Unit ที่ใช้ SF6 เป็นฉนวน

3.2.2) ห้องหม้อแปลง (Transformer room) มีดัชนีการป้องกันระดับ IP34 ที่ห้องควรจะมีการระบายอากาศแบบ ONAN และมีซีลปิดป้องกันสัตว์อื่นๆ โดยหม้อแปลงที่ใช้จะเป็นชนิดแบบ “Three-phase, oil-immersed, permanently sealed and completely oil filled system (without gas cushion), natural self-cooled type, up to 1,000 kVA” แต่ปกติจะใช้ขนาด 630 kVA และ 1,000 kVA มีอัตราส่วนแรงดันเป็น 22 kV-400/230V และ 33 kV-400/230V 50 Hz

3.2.3) ห้องด้านแรงต่ำ (Low-voltage room) มีดัชนีป้องกันระดับ IP34 บรรจุด้วยสวิตช์เกียร์แรงต่ำ (Low-voltage switching), local control panel, distribution management system (DMS)

interfacing equipment (ถ้ามี) และส่วนประกอบอื่นๆ และเพื่อป้องกันการควบแน่นของน้ำ (Water Condensation) ให้ติดตั้งเครื่องทำความร้อน (Heaters) ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนด (Thermostat) ไว้ในห้องรวมหรือจะแยกส่วนในแต่ละอุปกรณ์ก็ได้ สำหรับสายป้อน Incoming และ Outgoing จะต้องติดตั้งด้วยเซอร์กิตเบรคเกอร์ 3 เฟส (Three-pole molded case circuit-breaker ; MCCB) ที่ประกอบด้วยการเปิดวงจรอัตโนมัติเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกำหนด ทั้งจากสภาพกระแสโหลดเกิน (Overload) และจากสภาพการลัดวงจร (Short-circuit) โดยที่ MCCB จะต้องผลิตและทดสอบตาม IEC 60947-2 ฉบับล่าสุด และควรจะมีหน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary contacts) สำหรับ Remote status monitoring ด้วย

3.3) วัสดุที่ใช้ทำเครื่องห่อหุ้ม (Enclosure)

สำหรับวัสดุที่ใช้ทำเครื่องห่อหุ้ม จะแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

- ทำด้วยเหล็กแผ่นชุบสังกะสีความหนาไม่น้อยกว่า 2.0 มม. เคลือบด้วย plastic powder coated ความหนาไม่น้อยกว่า 75 μm และผนังภายในจะเป็นเหล็กแผ่นชุบสังกะสี หรือ Stainless steel ก็ได้
- ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete)
- ทำด้วย Stainless steel ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม.

ในส่วนการบำรุงรักษา Compact Unit Substation แทบจะไม่มีหรือไม่ก็ต่ำมาก และในส่วนที่มีไฟด้านแรงสูง (High-voltage live-parts) ก็ไม่สามารถเข้าถึงได้

3.4) รายละเอียดอื่นๆ

- กระบวนการตกแต่งเพื่อความสวยงาม (Painting process) โดยบริษัทฯ ผู้ผลิตจะเป็นผู้พิจารณาเลือกกระบวนการที่เหมาะสมที่สามารถป้องกันผิวของเครื่องห่อหุ้มจากการกัดกร่อนได้ กรณีที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณที่มีความชื้น (humid) และอากาศมีมลภาวะ (Polluted atmosphere) กระบวนการตกแต่งเพื่อความสวยงามจะต้องมีคุณสมบัติยึดเกาะผิวที่ดี ทนต่อรอยขีดข่วนและการกระทบกระเทือนจากภายนอกได้
- การต่อลงดินจะต้องมีอย่างน้อย 3 จุดในแต่ละ Compact Unit Substation โดยแยกเป็นส่วนด้านแรงสูง ส่วนหม้อแปลง และส่วนด้านแรงต่ำ อย่างละ 1 จุด สำหรับจุดต่อลงดิน (Earthing points) ควรจะทำจากวัสดุที่ไม่เกิดการกัดกร่อน เช่น stainless steel และการต่อเชื่อมของส่วนที่เป็นโลหะทั้งหมดจะเป็นแบบกัลวานิกส์ (galvanic)

บทที่ 3
การออกแบบระบบเคเบิลใต้ดิน

1. การออกแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน

การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินในปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีค่าใช้จ่ายมากน้อยแตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องพิจารณาออกแบบที่ใช้ในการก่อสร้างให้เหมาะสมและคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่ได้ลงทุนไป ในปัจจุบันเราแบ่งแบบการก่อสร้างออกได้เป็น 2 รูปแบบ 5 วิธี คือ

1.1 แบบเปิดหน้าดิน

1.1.1 กลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank)

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างในระบบจำหน่ายและระบบส่ง ลักษณะการก่อสร้างเป็นแบบใช้ท่อ HDPE (High Density Polyethylene) หรือท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) แล้วหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการป้องกันจากผลกระทบทางกล (Mechanical Protection) ใช้กับสายเคเบิลใต้ดินได้อย่างดี ดังรูปที่ 3.1 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31016 การประกอบเลขที่ 7201

รูปที่ 3.1 กลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank)

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 การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1) ความปลอดภัยของสายเคเบิลใต้ดินสูงมาก เนื่องจาก Duct Bank อาจได้รับความเสียหายจากการขุดเจาะ แต่คอนกรีตเสริมเหล็กที่หุ้มท่ออยู่จะช่วยป้องกันท่อร้อยสายรวมทั้งสายเคเบิลใต้ดินได้ ทำให้ระบบมีความมั่นคง (Reliability) สูง

2) จัดวางสายเคเบิลใต้ดินเป็นจำนวนมากๆ ได้ง่ายกว่า

3) การเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดิน การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุดและการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้

4) เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น เนื่องจากท่อถูกหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน ทำให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่สายเคเบิลใต้ดินได้ ไม่ทำให้สายเคเบิลใต้ดินอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหาย

ข้อเสีย

1) มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินทั้งหมดหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กและจำเป็นต้องมีบ่อพักสายเพื่อให้ลากสายเคเบิลใต้ดินได้ นอกจากนี้ยังต้องขุดร่องขนาดกว้างเพราะโครงสร้างของท่อร้อยสายมีขนาดใหญ่

2) ความสามารถในการระบายความร้อนต่ำ จึงมีผลทำให้สายเคเบิลใต้ดินนำกระแสได้ต่ำ

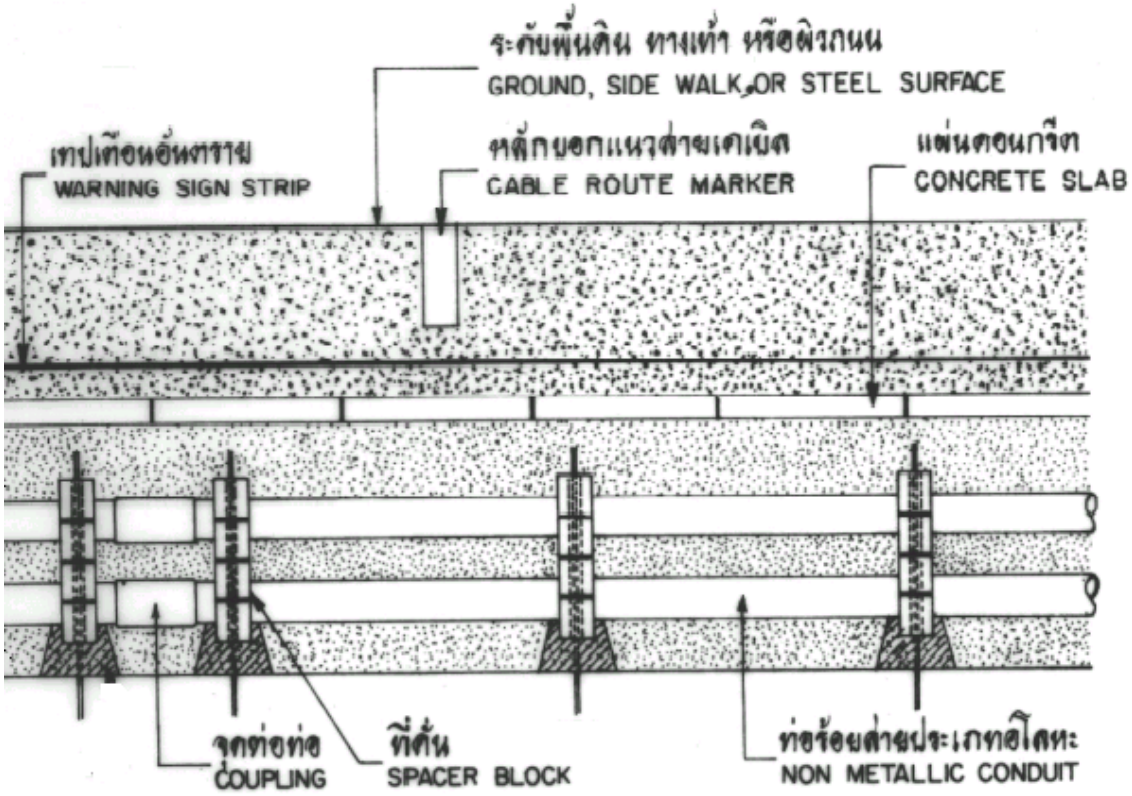
3) ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างนานมาก

4) การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรค ทำได้ลำบากมาก (ต้องใช้ระยะทางยาว)

5) ในกรณีที่ใช้ท่อ HDPE เป็นท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง ทำให้ท่อหลอมละลายรวมกับสายเคเบิลใต้ดิน เกิดความเสียหายได้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

1.1.2 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) ดังรูปที่ 3.2 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/36017 การประกอบเลขที่ 7502



รูปที่ 3.2 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial)

การก่อสร้างวิธีนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภท Duct Bank และต้องมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงตามแนวท่อด้วย การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1) มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างสูงเนื่องจากท่อ High Density Polyethylene (HDPE) และอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างมีราคาแพง แต่ถูกกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank

2) ระยะเวลาในการก่อสร้าง น้อยกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank

3) ความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank

4) ในกรณีที่ใช้ท่อ Corrugated การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรคจะทำได้ง่ายกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank

5) การเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดิน การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุดและการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้

6) เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น ไม่ทำให้สายเคเบิลใต้ดินอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหาย

ข้อเสีย

1) ท่อร้อยสายอาจได้รับความเสียหายจากการถูกขุดเจาะ รวมทั้งการเกิดการ Slide ของดิน ทำให้ท่อร้อยสายเสียหายได้ แต่ก็ยังสามารถช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับสายเคเบิลใต้ดินได้พอควร

2) ในกรณีที่ใช้ท่อ High Density Polyethylene (HDPE) เป็นท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง สามารถทำให้ท่อหลอมละลาย เกิดความเสียหายและยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

1.1.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial)

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่าย โดยไม่ใช้ท่อร้อยสายและไม่มีการหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ใช้วิธีฝังสายเคเบิลใต้ดิน ให้ได้ความลึกตามมาตรฐาน ซึ่งมีการวางแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) และเทปเตือนอันตราย (Warning Sign Strip) เหนือแนวสายเคเบิลใต้ดิน และบนพื้นดินจะมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงให้ทราบแนวสายเคเบิลใต้ดินเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาภายหลัง นอกจากนี้ยังเป็นจุดสังเกตเพื่อไม่ให้หน่วยงานอื่นมาขุดเจาะบริเวณแนวสายเคเบิลใต้ดินอีกด้วย ดังรูปที่ 3.3 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/36018 การประกอบเลขที่ 7503 การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

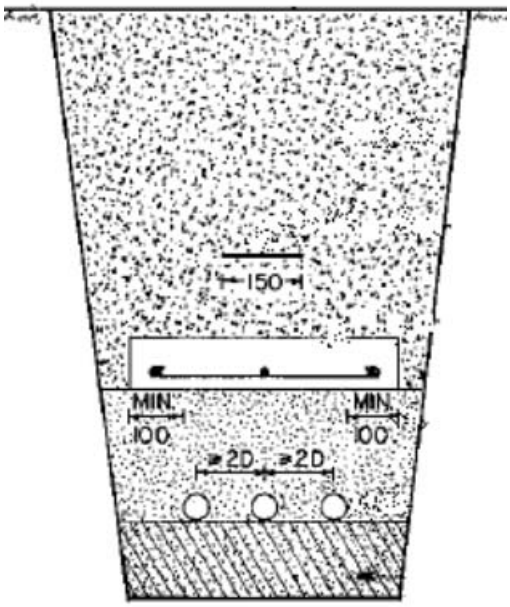
ข้อดี

1) มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าท่อร้อยสายและจำนวนบ่อพักและอุปกรณ์ต่อสายก็มีน้อยด้วย

2) ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างน้อยที่สุด สามารถดำเนินการก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับการจราจรได้ เนื่องจากใช้เวลาในการขุดถนนไม่นานนัก แต่ต้องขุดยาวเป็นช่วง ๆ

3) ความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุด ดังนั้นจึงนำกระแสได้ดีที่สุด

4) การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรคทำได้ง่ายที่สุด



หน่วยเป็น มิลลิเมตร
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ของเคเบิล

รูปที่ 3.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial)

ข้อเสีย

1) ความปลอดภัยของสายเคเบิลใต้ดินต่ำที่สุด เนื่องจากมีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) เท่านั้นที่ป้องกันสายเคเบิลใต้ดิน นอกจากนี้แนวสายเคเบิลใต้ดินอาจเบี่ยงเบนได้โดยอิสระ เพราะไม่มีอุปกรณ์จับยึดสายเคเบิลใต้ดินไว้ ทำให้มีความมั่นคง (Reliability) ของระบบต่ำ

2) การเปลี่ยนขนาดของสายเคเบิลใต้ดิน หรือการเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุด และการเพิ่มจำนวนวงจร ต้องดำเนินการขุดวางสายเคเบิลใต้ดินใหม่ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

3) จะต้องดำเนินการวางสายเคเบิลใต้ดินให้เสร็จในคราวเดียว หากเกิดปัญหาในบริเวณที่ไม่สามารถวางสายเคเบิลใต้ดินในระยะทางยาวๆ ได้ อาจเนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์ เช่นบนทางเท้าซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติงานเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นได้

4) เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น อาจจะทำให้เกิดสายเคเบิลใต้ดินที่อยู่ข้างเคียงเสียหายได้

5) เหมาะกับการก่อสร้างที่มีจำนวนวงจรน้อย เช่น 1 หรือ 2 วงจร เนื่องจากถ้ามีจำนวนวงจรมากๆ ร่องที่ขุดต้องมีความกว้างมาก และการบำรุงรักษายาก

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้แบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial)

1) สภาพภูมิศาสตร์ในสถานที่ที่ก่อสร้าง

เนื่องจากการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) นั้นจำเป็นต้องฝังสายเคเบิลใต้ดินเป็นแนวยาวตลอด จึงจำเป็นต้องดำเนินการให้เสร็จอย่างรวดเร็ว โดยเลือกสถานที่ที่มีสภาพเนื้อดินแข็งพอควร เพื่อให้สามารถขุดร่องเป็นแนวยาวได้โดยไม่ต้องปัก Sheet Pile

2) จำนวนวงจร

วิธีนี้เหมาะกับการก่อสร้างที่มีจำนวนวงจรน้อย เช่น 1 หรือ 2 วงจร ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง(**D**irect Burial) ไม่มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดเลย และนอกจากนี้ส่วนใหญ่ Right of Way ของการฝังสายเคเบิลใต้ดินจะแคบ หากมีการก่อสร้างหลายวงจรแล้ว เมื่อสายเคเบิลใต้ดินเกิดลัดวงจรขึ้นทำให้สายเคเบิลใต้ดินใกล้เคียงเสียหายได้

3) สถานที่ในการก่อสร้าง

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

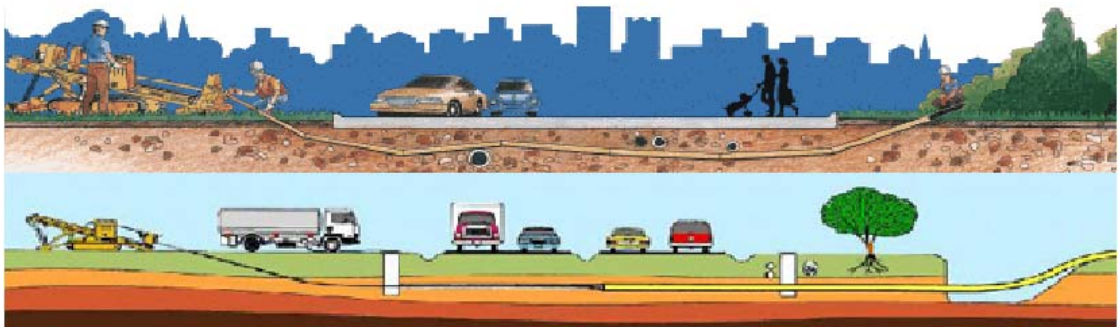
4) ระยะทางในการฝังสายเคเบิลใต้ดิน

เนื่องจากการฝังสายเคเบิลใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial) จำเป็นต้องมีจุดต่อแยกสายให้น้อยที่สุด เพื่อให้สามารถดำเนินการให้เสร็จอย่างรวดเร็ว จึงต้องฝังสายเคเบิลใต้ดินให้เป็นแนวยาวต่อเนื่องกันโดยตลอด

1.2 แบบไม่เปิดหน้าดิน

1.2.1 Horizontal Directional Drilling (HDD)

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่ายโดยใช้ท่อ High Density Polyethylene (HDPE) ลักษณะการก่อสร้างจะเป็นแบบไม่ต้องเปิดหน้าดิน การก่อสร้างวิธีนี้ จะไม่มีการหุ้มท่อร้อยสายด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก และไม่มีแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete Slab) ไว้ป้องกันสายเคเบิลใต้ดิน การก่อสร้างแบบนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภท Duct Bank และต้องมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงตามแนวท่อด้วยดังรูปที่ 3.4 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/37022 การประกอบเลขที่ 7504 การก่อสร้างวิธีนี้มี ข้อดี-ข้อเสียดังนี้



รูปที่ 3.4 Horizontal Directional Drilling (HDD)

ข้อดี

1) เนื่องจากสามารถดำเนินการก่อสร้างเป็นช่วงๆได้ และไม่ต้องขุดร่อง จึงทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับการจราจรได้

2) ระยะเวลาในการก่อสร้าง น้อยกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank

3) ความสามารถในการระบายความร้อนดีกว่าการก่อสร้างประเภท Duct Bank

4) การเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดิน การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุด และการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกกว่าการก่อสร้างด้วยวิธีฝังดินโดยตรง โดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ในท่อ Spare ที่เตรียมไว้

5) เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น ไม่ทำให้เคเบิลอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหาย

ข้อเสีย

1) มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรเฉพาะ และอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างแพง

2) เหมาะกับการก่อสร้างที่มีจำนวนวงจรน้อยๆทั้งนี้จำนวนวงจรขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรในการลากท่อ

3) ท่อร้อยสายอาจได้รับความเสียหายจากการถูกขุดเจาะ รวมทั้งการเกิดการทลาย (Slide) ของดิน ทำให้ท่อร้อยสายเสียหายได้ แต่ก็ยังสามารถช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับสายเคเบิลใต้ดินได้พอสมควร

4) เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง สามารถทำให้ท่อหลอมละลาย เกิดความเสียหายและยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

1.2.2 Pipe Jacking

การก่อสร้างวิธีนี้ใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่าย และสายส่ง ลักษณะการก่อสร้างจะเป็นแบบไม่เปิดหน้าดิน การก่อสร้างแบบนี้ใช้ท่อร้อยสาย High Density Polyethylene (HDPE) หรือท่อ Reinforced Thermosetting Resin Conduit (RTRC) ร้อยอยู่ภายในท่อเหล็กขนาดใหญ่และฉีดซีเมนต์หยาบภายในท่อเหล็กหุ้มท่อร้อยสาย ดังรูปที่ 3.5 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/44018 การประกอบเลขที่ 7506

รูปที่ 3.5 Pipe Jacking

การก่อสร้างด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย (Manhole and Handhole) เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภท Duct Bank และต้องมีหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) แสดงตามแนวท่อด้วย การก่อสร้างวิธีนี้มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1) เนื่องจากสามารถดำเนินการก่อสร้างเป็นช่วงๆได้ และไม่ต้องขุดร่อง จึงทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับการจราจรได้

2) ความปลอดภัยของสายเคเบิลใต้ดินสูงมาก เนื่องจากมีท่อเหล็กและซีเมนต์หยาบหุ้มท่ออยู่จะช่วยป้องกันท่อร้อยสายรวมทั้งสายเคเบิลใต้ดินได้ ทำให้ระบบมี Reliability ดี

3) ร้อยสายเคเบิลใต้ดินเป็นจำนวนมากๆ ได้ง่ายกว่า

4) การเปลี่ยนขนาดสายเคเบิลใต้ดิน การเปลี่ยนสายเคเบิลใต้ดินที่ชำรุดและการเพิ่มจำนวนวงจร สามารถทำได้สะดวกโดยการลากสายเคเบิลใต้ดินใหม่ร้อยในท่อ Spare ที่ออกแบบเตรียมไว้

5) เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้น เนื่องจากท่อถูกหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน ทำให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่สายเคเบิลใต้ดินได้ ไม่ทำให้เคเบิลอื่นๆ ที่วางใกล้กันเสียหาย

ข้อเสีย

1) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรเฉพาะ และอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างมีราคาแพง

2) ความสามารถในการระบายความร้อนต่ำ จึงมีผลทำให้สายเคเบิลใต้ดินนำกระแสได้ต่ำ

3) การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรค ทำได้ลำบากมาก (ต้องใช้ระยะทางยาว)

4) ในกรณีที่ใช้ท่อ HDPE เป็นท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรในสายเคเบิลใต้ดินจะเกิดความร้อนสูง สามารถทำให้ท่อหลอมละลาย เกิดความเสียหายและยากต่อการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่สามารถลากสายเคเบิลใต้ดินออกมาได้

2. การออกแบบบ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole)

บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole) นี้หล่อขึ้นด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนใหญ่จะอยู่ใต้ผิวถนนสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 18 ตัน บ่อพักจะมีฝาปิด (Manhole Frame & Cover) ทำด้วยเหล็ก ส่วนการเลือกแบบ (Type) ของบ่อพักที่ใช้ในระบบใด ๆ นั้นจะขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1) ทิศทางของแนวท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ว่าจะเป็นแนวตรง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หรือแยกออกเป็น 2 ทาง เป็นต้น

2) จำนวนท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน หากมีจำนวนมากๆ ขนาดของบ่อพักก็จำเป็นต้องใหญ่ตามไปด้วย เพราะจะมีสายเคเบิลใต้ดินร้อยผ่าน หรือมีการต่อสายเคเบิลใต้ดิน ภายในบ่อพักสายเป็นจำนวนมาก ในลักษณะนี้จึงควรใช้แบบที่มีฝาบ่อ 2 ฝา เพื่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี เมื่อผู้ปฏิบัติงานลงไปติดตั้งหรือซ่อมแซม และยังมีที่ว่างพอจะทำงานได้ด้วยความสะดวก

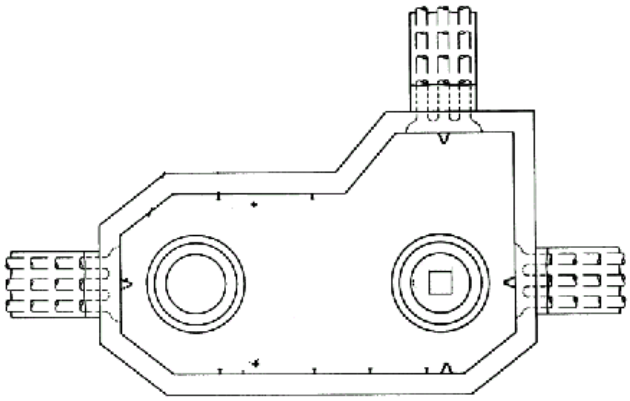
3) โอกาสของโครงการที่จะดำเนินการต่อไปในอนาคตว่าจะต่อไปในทิศทางใด

บ่อพัก (Manhole) แต่ละแบบ (Type) ถูกออกแบบมาเพื่อประโยชน์ใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกแบบ (Type) ให้เหมาะสมกับการใช้งานเราสามารถแบ่งประเภทของบ่อพักตามการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

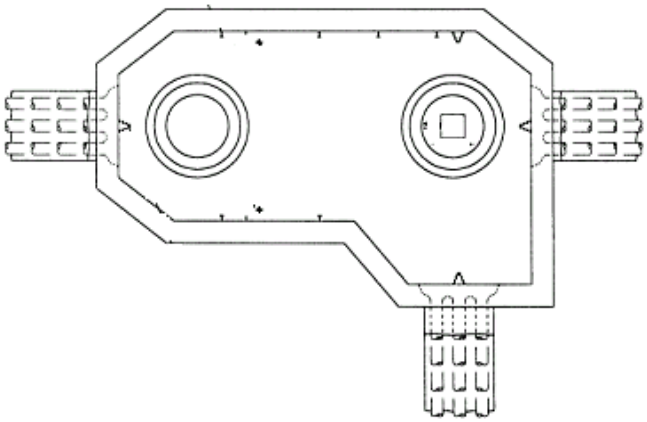
1) บ่อพัก (Manhole) ประเภทที่ใช้กับระบบจำหน่าย 22&33 kV ได้แก่

1.1) Type 2T - 1 และ 2T - 2 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อแยกสายเคเบิลใต้ดิน และการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน บริเวณปากทาง หรือทางแยก โดยสามารถรับสายเคเบิลใต้ดินได้สูงสุด 12 วงจร ดัง

รูปที่ 3.6 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31030 การประกอบเลขที่ 7301 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45038 การประกอบเลขที่ 7301A และแบบเลขที่ SA1-015/31032 การประกอบเลขที่ 7302 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45039 การประกอบเลขที่ 7302A



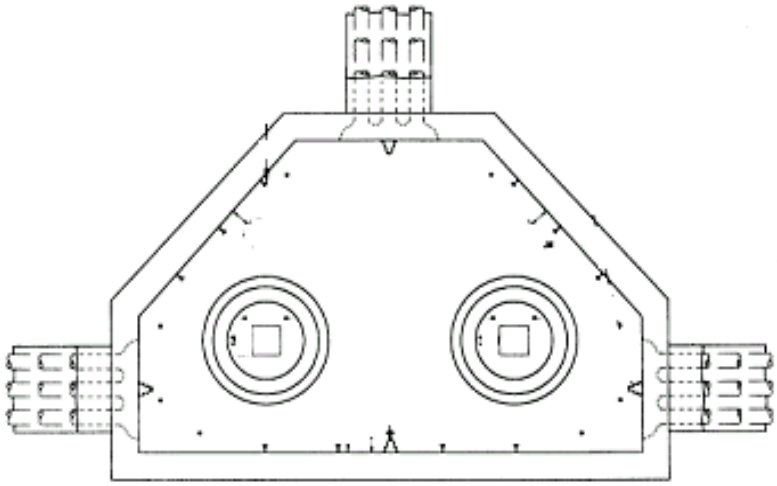
2T – 1



2T – 2

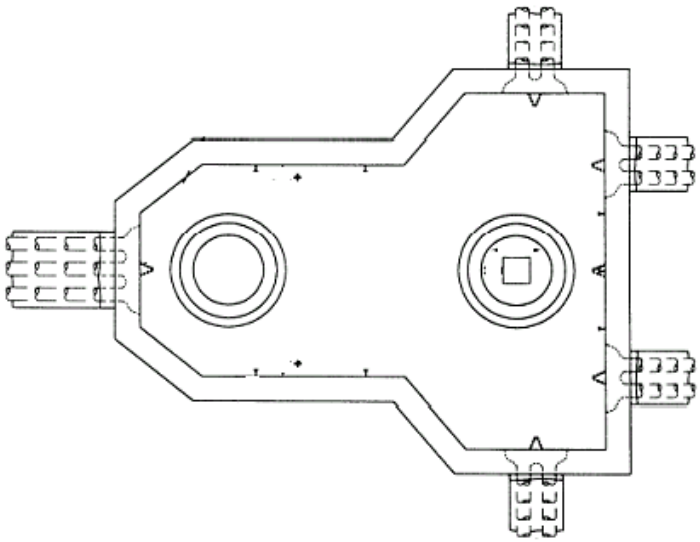
รูปที่ 3.6 บ่อพัก (Manhole) Type 2T - 1 และ 2T – 2

1.2) Type 2T - 3 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อสายเคเบิลใต้ดินทางตรง และการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน บริเวณหน้าสถานีไฟฟ้า หรือแยกถนน สามารถรับสายเคเบิลใต้ดินได้สูงสุด 12 วงจร ดังรูปที่ 3.7 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31034 การประกอบเลขที่ 7303 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45040 การประกอบเลขที่ 7303A



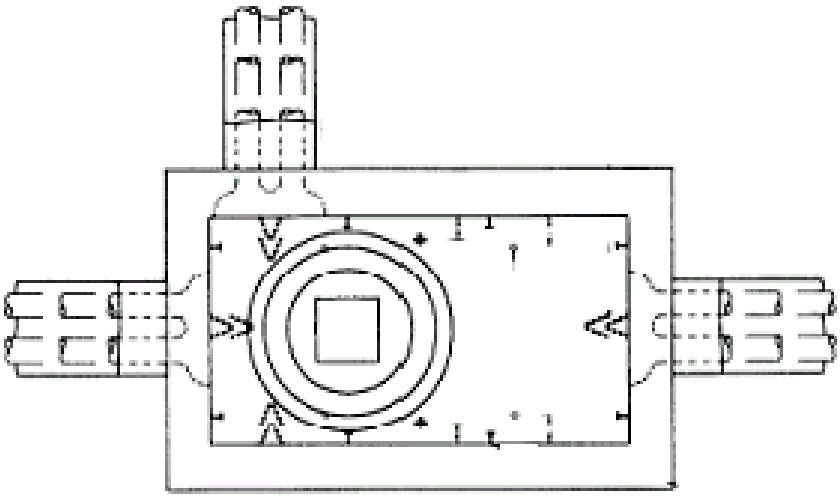
รูปที่ 3.7 บ่อพัก (Manhole) Type 2T – 3

1.3) Type 2T – 4 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อแยกสายเคเบิลใต้ดิน และการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน บริเวณปากทาง หรือทางแยก สามารถรับสายเคเบิลใต้ดินได้สูงสุด 12 วงจร ดังรูปที่ 3.8 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31035 การประกอบเลขที่ 7304 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45041 การประกอบเลขที่ 7304A



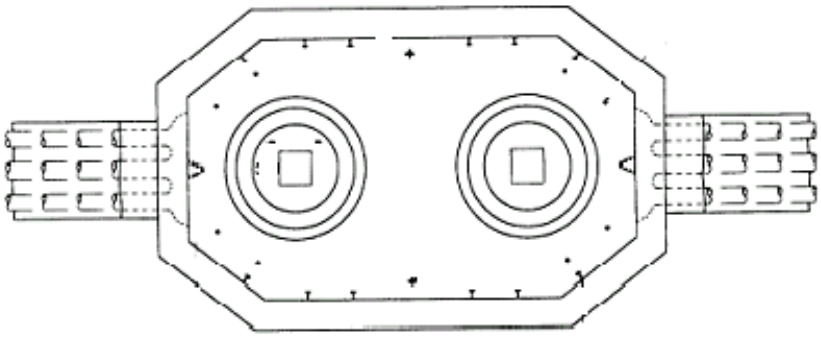
รูปที่ 3.8 บ่อพัก (Manhole) Type 2T – 4

1.4) Type 2T – 8 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อแยกสาย และการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน บริเวณปากทาง หรือทางแยก สามารถรับสายเคเบิลใต้ดินได้สูงสุด 8 วงจร ดังรูปที่ 3.9 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/38011 การประกอบเลขที่ 7309 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45045 การประกอบเลขที่ 7309A



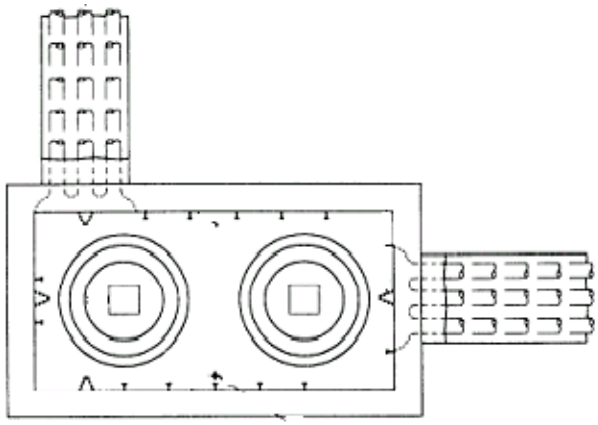
รูปที่ 3.9 บ่อพัก (Manhole) Type 2T – 8

1.5) Type 2S-1 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อสายเคเบิลใต้ดินช่วงทางตรง สามารถรับสายเคเบิลใต้ดินได้สูงสุด 12 วงจร ดังรูปที่ 3.10 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31037 การประกอบเลขที่ 7316 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45047 การประกอบเลขที่ 7316A



รูปที่ 3.10 บ่อพัก (Manhole) Type 2S – 1

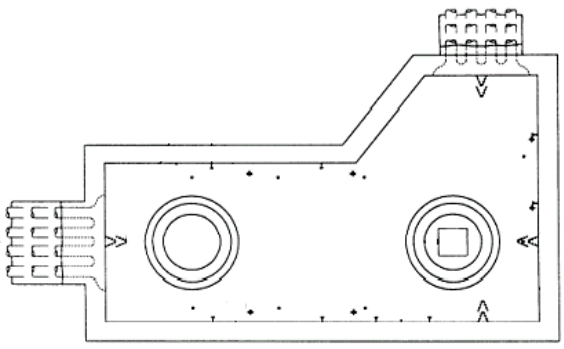
1.6) Type 2C-1 ใช้สำหรับจุดเป็นต่อแยกสายเคเบิลใต้ดิน และการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน สามารถรับสายเคเบิลใต้ดินได้สูงสุด 12 วงจร ดังรูปที่ 3.11 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31036 การประกอบเลขที่ 7311 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45046 การประกอบเลขที่ 7311A



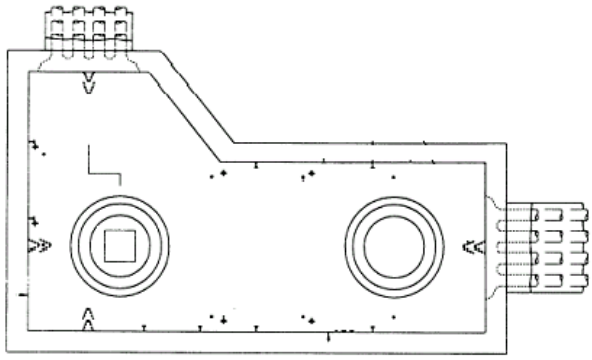
รูปที่ 3.11 บ่อพัก (Manhole) Type 2C – 1

2) บ่อพัก (Manhole) ประเภทที่ใช้กับระบบสายส่ง 115 kV ได้แก่

2.1) Type 2T - 5 และ 2T – 6 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อแยกสายเคเบิลใต้ดิน และการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน บริเวณปากทาง หรือทางแยก ดังรูปที่ 3.12 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/37005 การประกอบเลขที่ 7305 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45042 การประกอบเลขที่ 7305A และแบบเลขที่ SA1-015/37012 การประกอบเลขที่ 7306 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45043 การประกอบเลขที่ 7306A



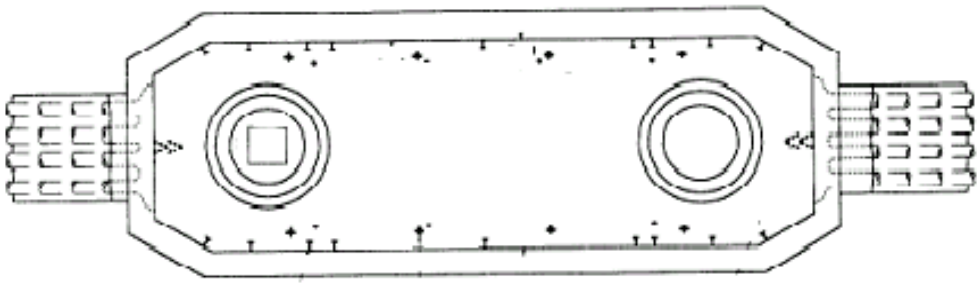
2T – 5



2T – 6

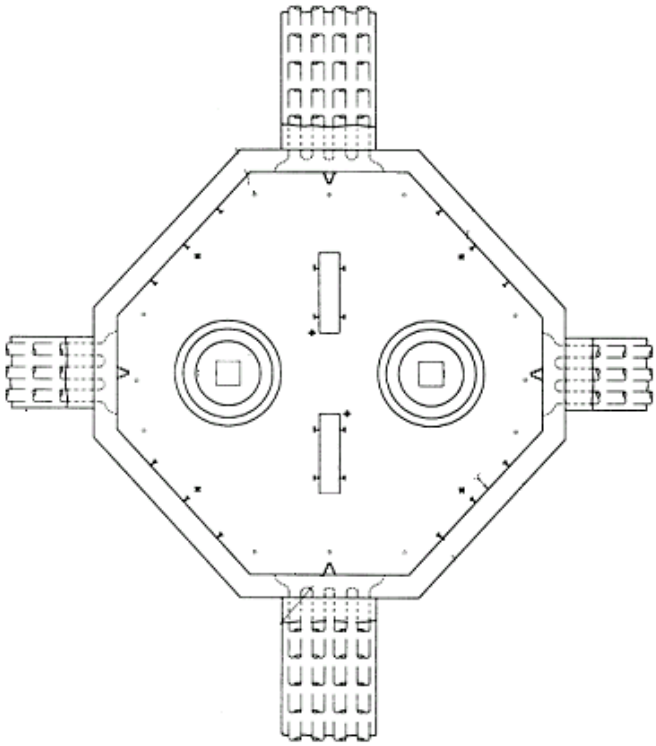
รูปที่ 3.12 บ่อพัก (Manhole) Type 2T – 5 และ 2T-6

2.2) Type 2S-2 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อสายเคเบิลใต้ดิน ช่วงทางตรง ดังรูปที่ 3.13 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/37015 การประกอบเลขที่ 7317 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45048 การประกอบเลขที่ 7317A



รูปที่ 3.13 บ่อพัก (Manhole) Type 2S – 2

2.3) Type 2T – 7 ใช้สำหรับเป็นจุดต่อสายเคเบิลใต้ดิน การเลี้ยวโค้งและแยกสายเคเบิลใต้ดิน ใช้ช่วงทางแยกที่มีการแยกสายหลายทิศทาง ดังรูปที่ 3.14 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/38010 การประกอบเลขที่ 7307 หรือแบบเลขที่ SA1-015/45044 การประกอบเลขที่ 7307A



รูปที่ 3.14 บ่อพัก (Manhole) Type 2T – 7

ในการออกแบบผู้ออกแบบต้องพิจารณาถึงตำแหน่งของบ่อพักที่เหมาะสม โดยพิจารณาดังนี้

1) ไม่กีดขวางการจราจร ในขณะก่อสร้างและทำการลากสายเคเบิลใต้ดินหรือในการซ่อมบำรุงในบริเวณที่เป็นเขตที่มีการจราจรหรือประชากรหนาแน่น

2) อยู่ใกล้ตำแหน่ง RISER POLE ให้มากที่สุด

3) ไม่อยู่ใกล้กันมาก เพราะจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากบ่อพักลูกหนึ่งจะมีราคาแพง

4) มีระยะห่างระหว่างบ่อพักไม่เกิน 250.00 เมตร ถ้ามากกว่านี้จะลากสายเคเบิลใต้ดินลำบากและเปลือกสายเคเบิลใต้ดินหรือตัวนำอาจยืดตัว เนื่องจากแรงดึงที่ใช้ในการลากสายเคเบิลใต้ดินมากเกินไปจนทำให้เสียคุณสมบัติทางด้านกายภาพหรือทางด้านไฟฟ้า (กรณีลากสายด้วย Pulling Grip)

5) ไม่เปลี่ยนระดับหรือคดเคี้ยวมากเกินไป เพราะจะทำให้ลากสายเคเบิลใต้ดินลำบาก

6) ต้องกระทบกระเทือนต่อสิ่งปลูกสร้าง หรือสภาวะแวดล้อมเดิมให้น้อยที่สุด ที่พบบ่อยคือแผ่นคอนกรีตพื้นถนน คันหินของทางเท้า (Curb) และต้นไม้ เวลาที่ก่อสร้างจำเป็นต้องปัก Sheet Pile กันดินพังซึ่งจะมีความหนาประมาณ 20 ซม. เมื่อทำการตัด Section และกำหนดระยะห่างระหว่างผนังบ่อกับขอบถนนก็ต้องเผื่อระยะไว้ด้วย และต้องไม่อยู่ใกล้รอยต่อของแผ่นคอนกรีตพื้นถนน เพื่อจะได้ไม่ต้องเสียเงินค่าซ่อมถนนเพิ่มขึ้น เพราะเวลาซ่อมต้องซ่อมหมดทั้งแผ่นที่มีการชำรุด

7) เลือกชนิดและรูปร่างของบ่อพักให้เหมาะสมกับการใช้งาน

8) ควรจัดระยะห่างระหว่างบ่อพักให้มีขนาดใกล้เคียงกัน ตลอดแนวเพื่อประโยชน์ในการออกแบบ Cross – Bonding สำหรับระบบสายส่ง

แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถที่จะออกแบบให้ครอบคลุมหัวข้อเหล่านี้ได้ทั้งหมด ผู้ออกแบบจึงต้องใช้วิจารณญาณของตัวเองที่จะประนีประนอม (Compromise) องค์ประกอบเหล่านี้เข้าด้วยกัน เพื่อที่จะสามารถออกแบบได้ดีที่สุด

3. การเลือกขนาดท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

ในการเลือกขนาดของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินนั้น ต้องให้มีความสัมพันธ์กันกับจำนวนสายเคเบิลใต้ดินที่จะร้อยในท่อร้อยสาย โดยคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งฉนวนและเปลือกของสายเคเบิลใต้ดินทุกเส้นในท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน รวมกันคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินต้องไม่เกินตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 3.1 โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิลใต้ดิน (Outside Diameter Of Cables) ตามสเปค กฟภ. ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดรวมสูงสุดของสายเคเบิลใต้ดินคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

ชนิดของสายไฟฟ้า	**เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าเทียบกับพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสายเมื่อมีสายไฟฟ้าในท่อจำนวน**				
	1 เส้น	2 เส้น	3 เส้น	4 เส้น	มากกว่า 4 เส้น
สายไฟฟ้าทุกชนิด	53	31	40	40	40
สายไฟฟ้าชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35

ตารางที่ 3.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิลใต้ดิน Outside Diameter Of Cables ตามสเปค กฟภ.

	Outside Diameter Of Cables (mm.)							
System / Size (mm^2)	35	50	120	185	240	400	500	800
22 kV	28	30	34	38	42	48	52	-
33 kV	-	35	40	44	47	55	58	-
115 kV	-	-	-	-	-	-	-	98

3.1 รายละเอียดการพิจารณาเลือกขนาดท่อให้เหมาะสมกับสายเคเบิลใต้ดิน

1) พิจารณาจาก Percent Area Fill

สูตร $PAF = n \times \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times 100$

PAF ต้องไม่เกิน 40 % สำหรับสาย 3 เส้น/ท่อ และไม่เกิน 53 % สำหรับสาย 1 เส้น/ท่อ

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางสายเคเบิลใต้ดิน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อร้อยสายไฟฟ้า

n = จำนวนสายไฟฟ้า

2) พิจารณาจาก Jam Ratio

สูตร Jam Ratio = $1.05 \times \frac{D}{d}$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางสายเคเบิลใต้ดิน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อร้อยสายไฟฟ้า

ค่า Jam Ratio หมายถึงเมื่อร้อยสาย 3 เส้นในท่อ ในขณะดึงลากสายช่วงทางโค้งสายมีโอกาสไขว้ขัดตัวกันได้ (ตัวเลขอยู่ระหว่าง 2.8 - 3.0)

3) พิจารณาจาก Clearance

สูตร Clearance $= \frac{D}{2} - 1.366d + \frac{1}{2} \times (D - d) \times \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางสายเคเบิลใต้ดิน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อร้อยสายไฟฟ้า

ค่า Clearance หมายถึงระยะห่างระหว่างผิวบนสุดของเคเบิลกับท่อ ปกติจะกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 0.5 นิ้ว

ตัวอย่างการพิจารณา

พิจารณาท่อขนาด ID = 97.4 mm

คำนวณหาค่า Percent Area Fill **(PAF)**

กรณีร้อยสาย 1 เส้น / ท่อ (PAF ไม่เกิน 53 %)

$d = \sqrt{\frac{PAF}{100} \times \left(D^2 / n\right)}$

$= \sqrt{\frac{53}{100} \times \left(97.4^2 / 1\right)}$

= 70.9 Say 70 mm

กรณีร้อยสาย 3 เส้น / ท่อ (PAF ไม่เกิน 40 %)

$$d = \sqrt{\frac{PAF}{100} \times \left(D^2 / n\right)}$$

$$= \sqrt{\frac{40}{100} \times \left(97.4^2 / 3\right)}$$

$$= 35.56 \text{ Say } 35 \text{ mm}$$

คำนวณหาค่า Clearance

$$CL = \left(\frac{D}{2}\right) - \left(1.366 \times d\right) + \frac{1}{2}(D-d)\sqrt{1-\left(\frac{d}{D-d}\right)^2}$$

$$= \left(\frac{97.4}{2}\right) - \left(1.366 \times 35\right) + \frac{1}{2}(97.4-35)\sqrt{1-\left(\frac{35}{97.4-35}\right)^2}$$

$$= 26.72 \text{ mm}$$

คำนวณหาค่า Jam Ratio

$$JR = 1.05 \times \left(\frac{D}{d}\right)$$

$$= 1.05 \times \left(\frac{97.4}{35}\right)$$

$$= 2.922$$

จะเห็นว่าค่า Jam Ratio อยู่ในช่วง 2.8 - 3.0 ซึ่งค่านี้มีโอกาสที่สายจะไขว้ขัดตัวกันได้ ดังนั้นต้องเปลี่ยนค่า d ให้เล็กลงโดยที่สมมติว่าค่า Jam Ratio อยู่ที่ 3.2 ลักษณะการวางตัวของสายเคเบิลใต้ดินจะเป็นกระทะ (Cradled)

$$d = \frac{1.05}{3.2} \times 97.4$$

$$= 31.9 \text{ Say } 32 \text{ mm}$$

ย้อนกลับไปตรวจสอบค่า Clearance และ PAF อีกครั้ง

$$CL = \left(\frac{D}{2}\right) - \left(1.366d\right) + \frac{1}{2}(D-d)\sqrt{1-\left(\frac{d}{D-d}\right)^2}$$

$$= \left(\frac{97.4}{2}\right) - \left(1.366 \times 32\right) + \frac{1}{2}(97.4-32)\sqrt{1-\left(\frac{32}{97.4-32}\right)^2}$$

$$= 33.5 \quad \text{mm} \quad \text{OK}$$

$$PAF = n \times \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times 100$$

$$= 3 \times \left(\frac{32}{97.4} \right)^2 \times 100$$

$$= 32.38 \quad < 40\ \% \quad \text{OK}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าหากหาค่า d จาก PAF ก่อนโดยตั้งค่า PAF ที่ 40 % ค่า d ที่ได้บางค่าเมื่อแทนค่าในสูตร Jam Ratio จะไม่ผ่าน จึงควรหาค่า d จาก Jam Ratio ก่อน จากนั้นเมื่อย้อนไปตรวจสอบค่า PAF และ Clearance อีกครั้งจะเห็นว่าผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จากวิธีการคำนวนดังกล่าวข้างต้นสามารถหาขนาดท่อที่เหมาะสมกับสายเคเบิลใต้ดินได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินที่เหมาะสมกับสายเคเบิลใต้ดิน

ขนาดท่อ	Outside Diameter Of Cables					
ID. (mm)	1 Cable		3 Cables			
	OD (mm)	PAF (%)	OD (mm)	PAF (%)	Clearance	Jam Ratio
96.8 – 102.0	Up To 70	52.29	Up To 32	32.78	32.86	3.17
110.0 – 114.0	Up To 80	52.89	Up To 37	33.94	35.92	3.12
123.4 – 127.0	Up To 90	53.19	Up To 42	34.75	39.19	3.1
140.0 - 144.6	Up To 100	51.02	Up To 48	35.26	43.67	3.1
150.0 – 152.0	Up To 109	52.8	Up To 50	33.33	50	3.15
177.2 – 180.8	Up To 129	50.9	Up To 60	33.04	60.86	3.16

หมายเหตุ

1. ค่า PAF อ้างอิงตาม

- 2002 National Electric Code Handbook
- Australian Standard AS 3000-1991

2. ค่า Clearance And Jam Ratio อ้างอิงตาม

- Underground Transmission System Reference Book 1992 Edition
- SIEMENS Manual

ตารางที่ 3.4 ขนาดของท่อร้อยสายไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ID. (mm)	ประเภทท่อ		
	HDPE PN6.3 ขนาด (mm)	RTRC ขนาด (Inch)	Corrugate ขนาด (mm)
96.8 - 102.0	110	4	100
110.0 – 114.0	125	-	-
123.4 – 127.0	140	5	125
140.0 – 144.6	160	-	-
150.0 – 152.0	-	6	150
177.2 – 180.8	200	-	-

หมายเหตุ

ID. (mm) = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ กฟภ. กำหนด หน่วยเป็น มิลลิเมตร

HDPE ขนาด (mm) = ขนาดท่อ High Density Polyethylene Pipe หน่วยเป็น มิลลิเมตร

RTRC ขนาด (Inch) = ขนาดท่อ Reinforced Thermosetting Resin Conduit หน่วยเป็น นิ้ว

Corrugate ขนาด (mm) = ขนาดท่อ Corrugate (ท่อลูกฟูก) หน่วยเป็น มิลลิเมตร

4. ท่อสำรอง (Spare Duct)

ในการออกแบบระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบใต้ดินนั้น ผู้ออกแบบควรที่จะออกแบบเผื่อในอนาคตกรณีที่ความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือ เพื่อการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงควรที่จะมีท่อสำรองไว้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตารางแนะนำจำนวนท่อสำรอง

จำนวนท่อที่ใช้งาน	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
จำนวนท่อที่สำรอง	1	1	2	1	2	2	2	3	2	4	3	2	4	3
จำนวนท่อที่ก่อสร้าง	3	4	6	6	8	9	10	12	12	15	15	15	18	18

5. การต่อลงดิน (Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากำลัง หมายถึง การฝังแท่งสายดินไว้ใต้ดินที่ตำแหน่งต่างๆ และต่อเชื่อมเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยสายตัวนำที่เรียกว่า สายดิน หรือสายป้องกัน ในตำแหน่งที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ซึ่งการต่อลงดินในระบบเคเบิลใต้ดินของ กฟภ. สามารถแบ่งลักษณะของการต่อลงดินได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1) การต่อลงดินเพื่อป้องกัน

ส่วนต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเคเบิลใต้ดิน โดยปกติจะไม่ใช่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรกระแสไฟฟ้าแต่เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าเนื่องจากเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน(Surge Voltage) และเกิดการเบรคดาวน์ผ่านหรือฉนวนไฟฟ้าทะลุ ทำให้ส่วนที่เป็นโลหะของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นอยู่ภายใต้แรงดันไฟฟ้า ที่มีขนาดพอที่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ เช่น เคเบิลแร็ค (Cable Rack) เสารับเคเบิลแรงสูง (H.T. Cable Racking pole) ที่อยู่ภายในบ่อพักสาย Manhole หรือ Handhole หรือ ที่สายต่อลงดิน (Shield Wire) ของสายเคเบิลใต้ดิน เนื่องจากสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อมีกระแสไหลผ่าน จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่สายต่อลงดิน (Shield Wire) ซึ่งในหลักการจะออกแบบกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าสัมผัสเกิดที่สายต่อลงดิน มีค่าไม่เกิน 65 V ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี การป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับผู้ปฏิบัติงานจากแรงดันไฟฟ้าสัมผัสสูงเกินไป ด้วยการต่อสายดินให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยเรียกการต่อลงดินนี้ว่า “ การต่อลงดินเพื่อป้องกัน ”

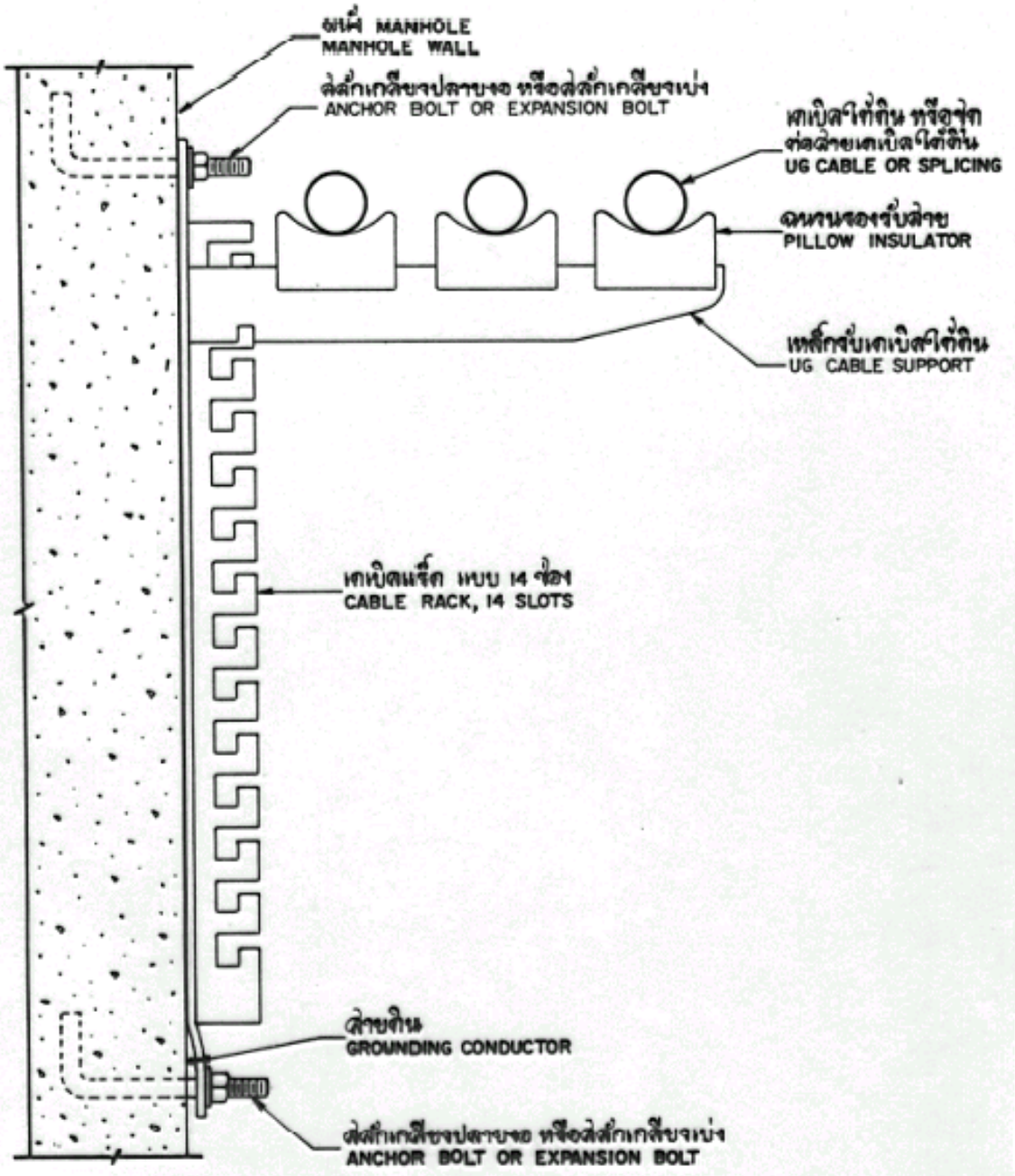
2) การต่อลงดินเพื่อการทำงานของระบบ

เป็นการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ เพื่อวัตถุประสงค์ให้ระบบมีเสถียรภาพในการทำงานยิ่งขึ้น เช่น การต่อลงดินของหม้อแปลงไฟฟ้า และการต่อลงดินของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า การต่อลงดินของสายกลางในระบบไฟฟ้า และการต่อลงดินของข่ายงานไฟฟ้าผ่านตัวความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับระบบเคเบิลใต้ดิน จะเป็นการต่อลงดินของสายต่อลงดิน (Shield Wire) ของสายเคเบิลใต้ดิน เช่นเดียวกับการต่อลงดินเพื่อป้องกัน เนื่องจากว่าสายเคเบิลใต้ดินจำเป็นต้องมีการต่อลงดินด้านใดด้านหนึ่งของสายเคเบิลใต้ดินเสมอ (สายต่อลงดิน (Shield Wire) ห้ามปล่อยลอยทั้งสองด้าน เพื่อให้สนามไฟฟ้าจากสายตัวนำกระจายไปยังสายต่อลงดิน (Shield Wire) อย่างสม่ำเสมอ ป้องกันการเกิดเบรคดาวน์ที่ฉนวน XLPE ของสายเคเบิลใต้ดิน และกรณีการต่อลงดินที่เสาต้น Riser Pole (มีการต่อลงดินของกับดักเสิร์จและปลายสายเคเบิลใต้ดิน) ซึ่งกำหนดให้ความต้านทานดินรวมมีค่าไม่เกิน 2 โอห์มสำหรับระบบ 115 kV และไม่เกิน 5 โอห์มสำหรับระบบจำหน่าย 22 & 33 kV (ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม สำหรับในพื้นที่ยากแก่การทำค่าความต้านทานดิน) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าต่อดิน (U_E) มีค่าไม่เกินกว่าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าบนเสาต้น Riser Pole จะทนได้ โดยเรียกการต่อลงดินนี้ว่า “ การต่อลงดินเพื่อการทำงานของระบบ ”

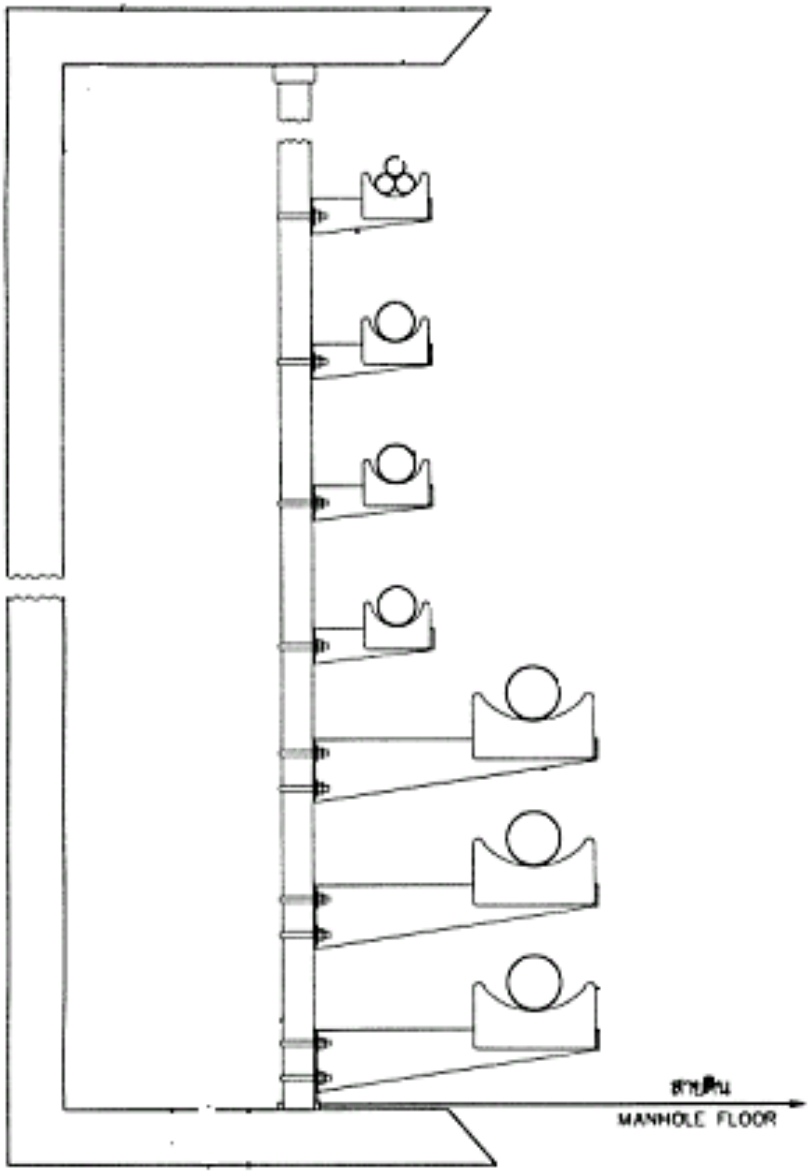
5.1 การต่อลงดิน (Grounding) ของระบบเคเบิลใต้ดินของ กฟภ.

1) การต่อลงดินเพื่อป้องกัน

ตามรูปที่ 3.15 จะแสดงรูปแบบการต่อลงดินที่เคเบิลแร็ค (Cable Rack) และเสารับเคเบิลแรงสูง (H.T. Cable Racking pole) ที่อยู่ภายในบ่อพักสาย Manhole หรือ Handhole



การต่อลงดินเพื่อป้องกันสำหรับเคเบิลแร็ค สำหรับระบบ 22 และ 33 kV



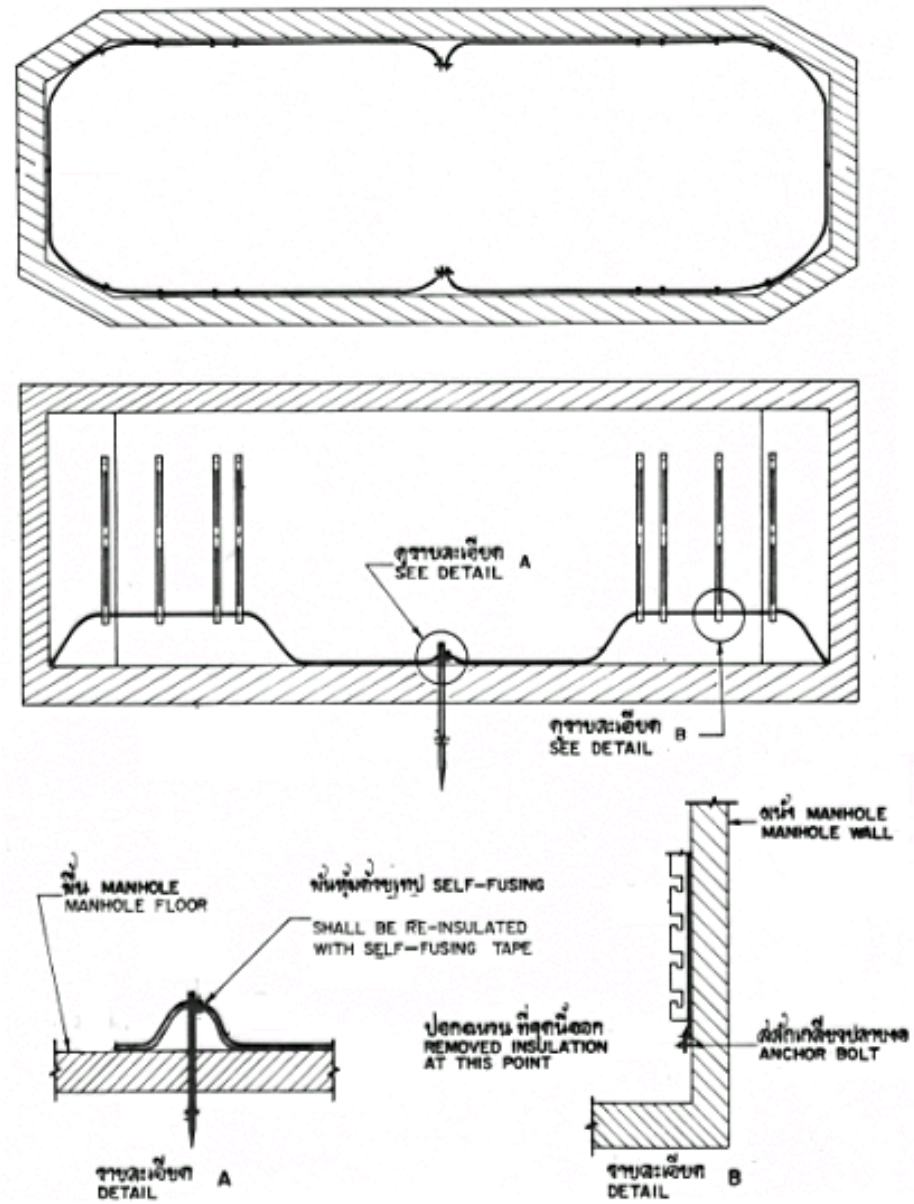
การต่อลงดินเพื่อป้องกันสำหรับเสารับเคเบิลแรงสูงสำหรับระบบ 22,33 และ 115 kV

รูปที่ 3.15

โดยค่าความต้านทานดินที่ต่ออยู่ในบ่อพัก Manhole ควรมีค่าไม่เกิน 5 โอห์ม และยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม สำหรับในพื้นที่ยากแก่การทำค่าความต้านทานดิน

สำหรับรูปแบบการต่อลงดิน ภายในบ่อพัก Manhole จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/31023 การประกอบเลข

ที่ 7341 ทั้งนี้ตำแหน่งในการติดตั้งเคเบิลแร็ค และเสารับเคเบิลแรงสูง จะระบุไว้ในแบบ Manhole แต่ละชนิดนั้นๆ



รูปที่ 3.16 การต่อลงดินในบ่อพัก Manhole สำหรับเคเบิลแร็ค สำหรับระบบ 22 และ 33 kV (กรณีมี Splice สำหรับต่อสายเคเบิลใต้ดิน ก็ให้ต่อลงดิน ณ จุดนี้)

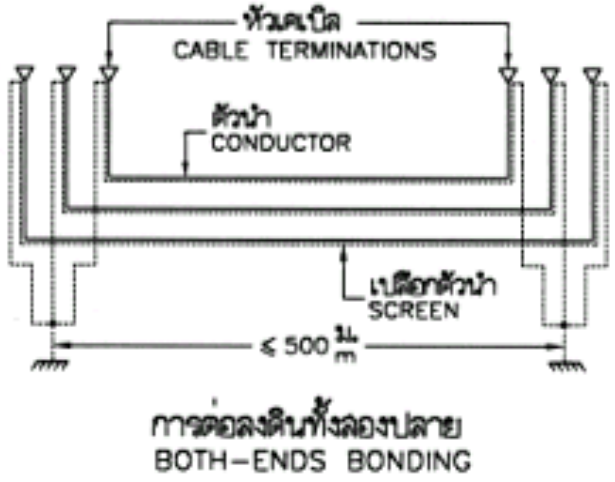
2) การต่อลงดินเพื่อการทำงานของระบบ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในระบบเคเบิลใต้ดิน สายต่อลงดิน (Shield Wire) ของสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องมีการต่อลงดินด้านใดด้านหนึ่งเสมอ เพื่อป้องกันการเกิดเบรคดาวน์ที่ฉนวน XLPE

ทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพในการทำงานยิ่งขึ้น และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. แบบเลขที่ SA1-015/46005 การประกอบเลขที่ 7131 ซึ่งสามารถแยกรูปแบบการต่อลงดินในระบบ กฟภ. ตามระดับแรงดัน ได้ดังนี้

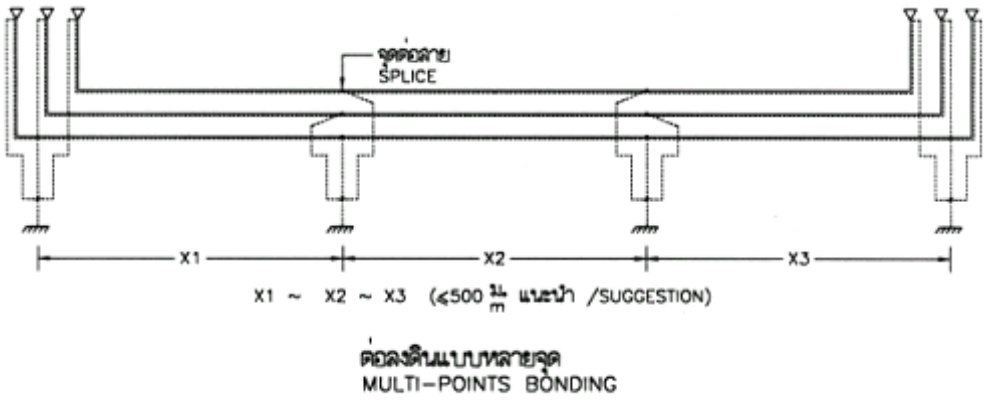
2.1) ข้อกำหนดการต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ระบบ 22 -33 kV

1) การต่อลงดินทั้งสองปลาย (Both-Ends Bonding) สำหรับระยะทางไม่เกิน 500 ม.



รูปที่ 3.17 การต่อลงดินทั้งสองปลาย (Both-Ends Bonding)

2) การต่อลงดินแบบหลายจุด(Multi-points Bonding) สำหรับระยะทางมากกว่า 500 ม.



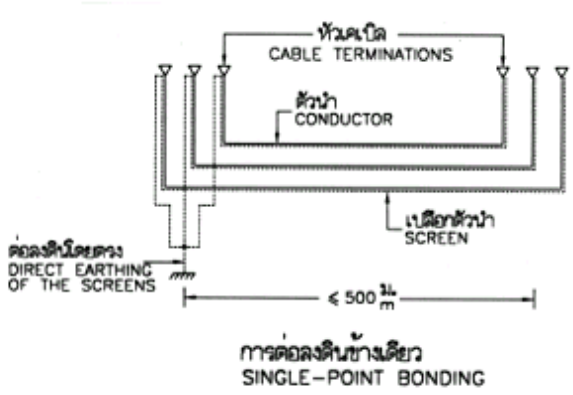
รูปที่ 3.18 การต่อลงดินแบบหลายจุด (Multi-points Bonding)

โดยหลักการแล้ว การต่อลงดินของระบบ 22 – 33 kV กรณีระยะทางไม่เกิน 500 ม. จะสามารถต่อลงดินเป็นแบบข้างเดียว (Single-point Bonding) ได้ด้วย แต่เนื่องจากเมื่อต่อลงดินแบบข้างเดียวแล้ว

ค่าความสามารถในการนำกระแสของสายเคเบิลใต้ดิน (Ampare) จะมีค่าสูงกว่าการต่อลงดินแบบทั้งสองปลาย (Both-Ends Bonding) เพียงเล็กน้อย แต่เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานที่จะต้องทำการบำรุงรักษาไม่ว่าจะเป็นที่ตู้สวิตช์ภายในสถานีฯ หรือที่เสาต้น Riser Pole การต่อลงดินของสายเคเบิลใต้ดินของ กฟภ. ระบบแรงดัน 22 – 33 kV จึงกำหนดให้ต่อลงดินเป็นแบบทั้งสองปลาย (Both-Ends Bonding) แทน (ยอมให้สายเคเบิลใต้ดินจ่ายกระแสได้น้อยกว่า) ซึ่งก็จะไปสอดคล้องกับการต่อลงดินเพื่อป้องกัน (บุคคล) ด้วย

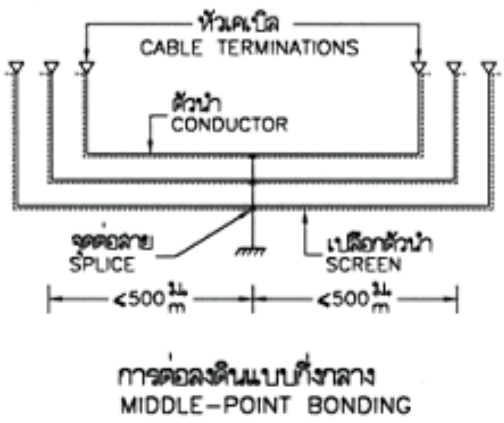
2.2) ข้อกำหนดการต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV

1) การต่อลงดินข้างเดียว (Single-point Bonding) สำหรับระยะทางไม่เกิน 500 ม.



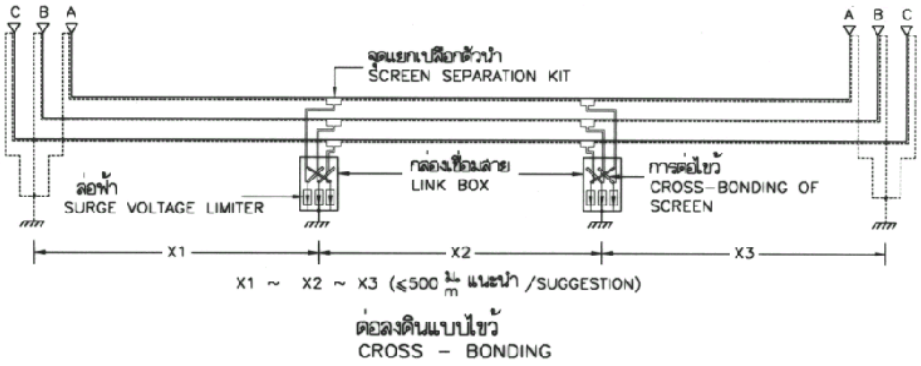
รูปที่ 3.19 การต่อลงดินข้างเดียว (Single-point Bonding)

2) การต่อลงดินแบบกึ่งกลาง(Middle-point Bonding) สำหรับระยะทาง 500 –1,000 ม.



รูปที่ 3.20 การต่อลงดินแบบกึ่งกลาง (Middle-point Bonding)

3) การต่อลงดินแบบไขว้ (Cross-Bonding) สำหรับระยะทางมากกว่า 1,000 ม.

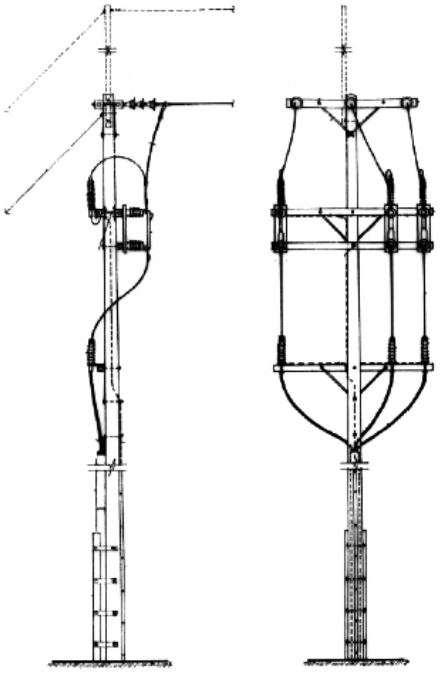


รูปที่ 3.21 การต่อลงดินแบบไขว้ (Cross-Bonding)

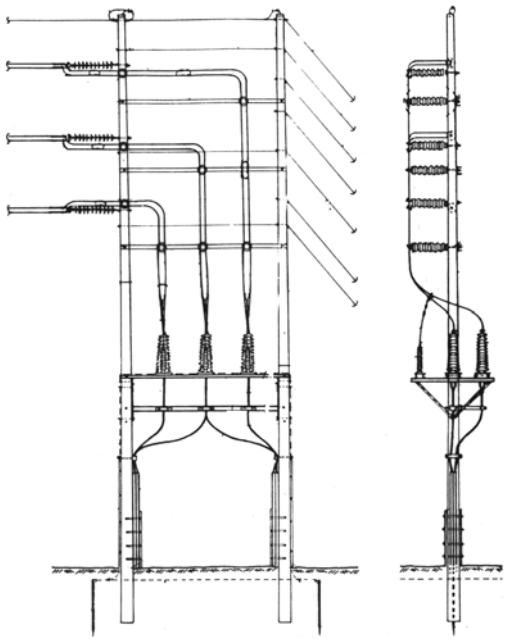
ซึ่งตามทฤษฎี สายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV ในทุกกรณีไม่ว่าระยะทางจะเป็นเท่าใดก็ตาม ให้ต่อลงดินเป็นลักษณะโผล่ปลายข้างหนึ่งไว้เสมอ ห้ามต่อทั้งสองปลายสายเคเบิลใต้ดินลงดินอย่างเด็ดขาด เนื่องจากจะมีกระแสไหลวนภายในสายต่อลงดิน (Shield Wire) ได้ เมื่อมีกระแสไหลวน ก็จะเกิดความร้อนขึ้นภายในสายเคเบิลใต้ดิน และสะสมมากจนสายเคเบิลใต้ดิน ระเบิดหรือชำรุดได้ ดังนั้นเมื่อจำเป็นต้องต่อสายต่อลงดิน (Shield Wire) เป็นลักษณะโผล่ปลายข้างหนึ่งไว้ สายเคเบิลใต้ดิน เมื่อนำกระแส จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ปลายสายต่อลงดิน แต่ก็ถูกจำกัดให้มีค่าไม่เกิน 65 V (U_B : แรงดันสัมผัส) เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานที่จะต้องทำการบำรุงรักษา ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

2.3) ข้อกำหนดการต่อลงดิน ที่เสาต้น Riser Pole

ก.



ข.



ค.

รูปที่ 3.22 ก. และ ข. การต่อลงดินที่เสาต้น Riser Pole สำหรับระบบ 22 - 33 kV
ค. การต่อลงดินที่เสาต้น Riser Pole สำหรับระบบ 115 kV

อุปกรณ์ที่ใช้ต่อสายระหว่างสายเปลือยกับสายเคเบิลใต้ดินที่โผล่พ้นขึ้นมาเหนือดิน จะเรียกว่าหัวเคเบิล (Termination) และเมื่อนำอุปกรณ์ไปติดตั้งอยู่บนเสาที่มีสายเคเบิลใต้ดินที่โผล่พ้นขึ้นมาเหนือดินก็จะเรียกว่า เสาต้น Riser Pole ตามทฤษฎีที่จุดต่อสายระหว่างสายเปลือยกับสายเคเบิลใต้ดิน หรือระหว่างสายที่มีฉนวนมีค่าไม่เท่ากัน จำเป็นจะต้องติดตั้งกับดักเสิร์จเพื่อป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายเสียหายเนื่องจากแรงดันเสิร์จ (แรงดันสูงจากฟ้าผ่า จากการสับสวิตช์ หรืออื่นๆ) โดยจะรักษาระดับแรงดันไว้ไม่ให้มีค่าเกินกว่าที่อุปกรณ์ทนได้ ดังนั้นที่เสาต้น Riser Pole จะมีการติดตั้งกับดักเสิร์จอยู่ด้วย โดยด้านบนกับดักเสิร์จจะต่อเข้ากับสายตัวนำ และด้านล่างจะต่อเข้ากับสายต่อลงดินของสายเคเบิลใต้ดิน และทั้งคู่จะต่อเข้ากับสายต่อลงดินของระบบ เพื่อต่อเข้ากับหลักดินต่อไป

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า ที่เสาต้น Riser Pole จะต้องมีค่าความต้านทานที่ต่ำ ซึ่งตามมาตรฐาน กฟภ. จะกำหนดไว้ไม่เกิน 2 โอห์มสำหรับระบบ 115 kV และไม่เกิน 5 โอห์มสำหรับระบบจำหน่าย 22 & 33 kV (ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม สำหรับในพื้นที่ยากแก่การทำค่าความต้านทานดิน) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าต่อดินมีค่าไม่เกินกว่าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าบนเสาต้น Riser Pole จะทนได้

ข้อสำคัญสำหรับกรณีการต่อลงดินของสายเคเบิลใต้ดินฯ ระบบ 115 kV ที่ให้ต่อลงดินข้างเดียว (Single-point Bonding) ให้ต่อลงดินที่เสาต้น Riser Pole และปลายสายต่อลงดิน (Shield Wire) อีกข้างหนึ่ง ให้ปล่อยลอยไว้ที่อีกหัวเคเบิล ภายในสถานีไฟฟ้า

6. การเลือกขนาดสายเคเบิลใต้ดิน

การเลือกขนาดสายเคเบิลใต้ดินจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับกระแสไหลผ่านตัวมันว่าเคเบิลนั้นสามารถรับกระแสได้เท่าไร สายเคเบิลใต้ดินแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งการเลือกใช้สายเคเบิลใต้ดินแต่ละชนิดจะต้องหาค่าพิกัดกระแสที่เหมาะสมเพื่อการใช้งานที่ถูกต้องเหมาะสมกับโหลด ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพิกัดกระแสของสายเคเบิลใต้ดิน มีอยู่ 3 อย่างคือ

1) อุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยที่ฉนวนของสายเคเบิลใต้ดินสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยไม่เสียหาย สำหรับสายเคเบิลใต้ดินฉนวน XLPE ในสภาวะจ่ายกระแสต่อเนื่องปกติสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 90 ^{0}C และในสภาวะฉุกเฉินสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 130 ^{0}C

2) ความสามารถในการแพร่กระจายความร้อนของสายเคเบิลใต้ดิน ถ้าสายเคเบิลใต้ดินยิ่งมีองค์ประกอบมากชั้นยิ่งทำให้การแพร่กระจายความร้อนไม่ดี

3) การติดตั้งและเงื่อนไขภายนอกอื่นๆเช่น

3.1) ความลึกในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน

3.2) จำนวนวงจรที่อยู่ใกล้เคียง

3.3) อุณหภูมิแวดล้อม

3.4) ค่าความต้านทานความร้อนของดิน(Soil Thermal Resistivity)

3.5) รูปแบบของการต่อลงดินของสายเคเบิลใต้ดิน

จากตัวแปรต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สายเคเบิลใต้ดินขนาดเดียวกันแต่ถ้าการติดตั้งและเงื่อนไขภายนอกอื่นๆต่างกัน ก็มีพิกัดกระแสไม่เท่ากันดังตารางที่ 3.6 โดยการคำนวณหาค่ากระแสใช้งานในตารางที่ 3.6 เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 287 โดยมีเงื่อนไขที่กำหนดดังนี้

1) ค่าโหลดแฟคเตอร์ 100%
2) อุณหภูมิตัวนำสูงสุด 90 ^{0}C
3) อุณหภูมิโดยรอบ 30 ^{0}C
4) ค่าความต้านทานความร้อนของดิน 1.2 K.m/W
5) การต่อลงดินเป็นแบบต่อลงดินทั้งสองปลาย

ตารางที่ 3.6 พิกัดกระแสใช้งานของสายเคเบิลใต้ดินระบบจำหน่าย 22 & 33 kV (ฉนวน XLPE)

กระแสที่กำหนดต่อวงจร(แอมป์)										
จำนวนวงจรทั้งหมด	ความลึกจากระดับดินถึงเคเบิล (เมตร)									
	ขนาดสาย 240 ต.มม.					ขนาดสาย 400 ต.มม.				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	402	384	374	367	362	510	485	470	462	456
2	342	320	310	302	296	430	402	387	378	370
3	302	280	270	262	257	378	350	336	327	320
4	281	258	246	240	234	350	320	307	297	290
5	260	237	226	220	214	323	295	280	272	265
6	245	223	212	205	200	305	277	263	254	248
7	233	210	200	193	188	290	262	248	240	233
8	221	200	190	183	178	275	248	235	227	220
9	212	190	180	175	170	263	237	224	216	210
10	204	184	174	168	163	253	228	215	207	201

7. แรงดึงในสายเคเบิลใต้ดิน (Pulling Tensions)

การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินในช่องเดินสายไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นท่อและเคเบิลเทรย์ จำเป็นจะต้องคำนึงถึงแรงดึง (Pulling Tensions) และแรงกดด้านข้าง (Sidewall Pressure) ทั้งนี้เพราะในการดึงสายเคเบิลใต้ดินไม่ว่าจะเป็นในแนวตรงหรือทางโค้ง อาจจะมีผลต่อสายเคเบิลใต้ดินจนทำให้เคเบิลเสียหาย

ซึ่งอาจจะส่งผลอันตรายตามมาภายหลัง จึงนับได้ว่าการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน จำเป็นที่จะต้องรู้เทคนิคและวิธีการเป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าผู้ผลิตสายตัวนำที่มีฉนวนหุ้มจะได้ทำการผลิตสายตัวนำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ใช้งานแล้ว ยังมีความต้องการที่จะให้อายุการใช้งานของสายมีอายุที่ยาวนาน และยังต้องการให้การทำงานในการนำไฟฟ้าเป็นไปอย่างสมบูรณ์แต่ในบางครั้งด้วยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของผู้ใช้บางรายอาจทำให้การติดตั้งสายตัวนำดังกล่าวเกิดความเสียหายขึ้นดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินอย่างถูกต้อง

ข้อจำกัดของการออกแบบในการติดตั้ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) แรงดึงในสายเคเบิลใต้ดิน (Pulling Tension)

เมื่อท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินได้ผ่านการตรวจสอบว่าใช้งานได้แล้ว ขั้นต่อไปก็คือ การลากสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งแรงดึงในการลากสายเคเบิลใต้ดินขึ้นอยู่กับ

- ขนาดของสายเคเบิลใต้ดิน สายขนาดใหญ่หรือสายที่มีน้ำหนักมากย่อมต้องใช้แรงดึงมากกว่าสายขนาดเล็ก

- ขนาดของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ท่อขนาดใหญ่ย่อมลากสายได้ง่าย และใช้แรงดึงน้อยกว่าท่อขนาดเล็ก

- ความยาวของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ความยาวมากย่อมใช้แรงดึงมากตามไปด้วย

- แนวของท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ท่อร้อยสายที่คดเคี้ยว จะต้องใช้แรงดึงมากกว่าท่อตรง

2) การลากสายเคเบิลใต้ดิน ทำได้ 2 วิธี คือ

2.1) ใช้พูลลิ่งอาย (Pulling Eye)

เหมาะสำหรับลากสายขนาดใหญ่ที่ต้องใช้แรงดึงมากๆ โดยจะบัดกรีพูลลิ่งอายติดกับสายตัวนำของสายเคเบิลใต้ดินหรือเป็นแบบอื่นๆก็ตาม แรงดึงที่มากที่สุดเมื่อลากโดยใช้พูลลิ่งอาย จะมุ่งประเด็นไปที่ต้องการให้สายตัวนำมีความปลอดภัยมากที่สุดเมื่อเกิดมีการดึงขึ้นโดยปกติแล้วค่าแรงดึงจะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของตัวนำ ฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน และวิธีในการดึงสายเคเบิลใต้ดิน

ในกรณีที่ตัวนำเป็นทองแดง จะมีค่าดังนี้

$$T_m = 0.008\ NA_{CM} \quad \text{(ปอนด์ : lb)}$$

$$= 7.162\ NA_{mm^2} \quad \text{(กิโลกรัม : kg)}$$

ในกรณีที่ตัวนำเป็นอะลูมิเนียม จะมีค่าดังนี้

$$T_m = 0.004\ NA_{CM} \quad \text{(ปอนด์ : lb)}$$
$$= 3.581\ NA_{mm^2} \quad \text{(กิโลกรัม : kg)}$$

โดยที่ T_m หมายถึง แรงดึงสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ (ปอนด์หรือกิโลกรัม)

A_{CM} หมายถึง พื้นที่หน้าตัด (circular mils)

A_{mm^2} หมายถึง พื้นที่หน้าตัด (mm^2)

N หมายถึง จำนวนตัวนำ

ในกรณีที่ดึงสายตัวนำเดี่ยวจำนวน 3 เส้น ค่า N จะมีค่าเท่ากับ 2 และในกรณีที่ดึงสายตัวนำเดี่ยวมากกว่า 3 เส้นขึ้นไป ที่มีขนาดเดียวกัน แรงดึงในสายไม่ควรเกิน 60% ของแรงดึงสูงสุดในแต่ละตัวนำ ดังนั้นจะได้ว่า

ในกรณีที่ตัวนำเป็นทองแดง จะมีค่าดังนี้

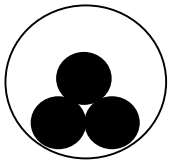
$$T_m = 0.0048\ NA_{CM} \quad \text{(ปอนด์ : lb)}$$
$$= 4.297\ NA_{mm^2} \quad \text{(กิโลกรัม : kg)}$$

ในกรณีที่ตัวนำเป็นอะลูมิเนียม จะมีค่าดังนี้

$$T_m = 0.0024\ NA_{CM} \quad \text{(ปอนด์ : lb)}$$
$$= 2.148\ NA_{mm^2} \quad \text{(กิโลกรัม : kg)}$$

ทั้งนี้ค่าแรงดึงสูงสุดสำหรับสายตัวนำแกนเดียวจำนวน 1 เส้นทุกกรณีดังกล่าวข้างต้น ไม่ควรมีค่าเกินกว่า 5,000 ปอนด์ (2,268 กิโลกรัม) และในกรณีที่มีสายตัวนำมากกว่าสองเส้นขึ้นไป ค่าแรงดึงสูงสุดไม่ควรมีค่าเกิน 6,000 ปอนด์ (2,722 กิโลกรัม) แต่ถ้าจะใช้ค่าแรงดึงในสายที่มากกว่าค่าลิมิตที่กำหนดไว้นี้ จะต้องได้รับการรับรองและยืนยันจากบริษัทผู้ผลิตก่อน

การจัดวางแบบกระทะหงาย



การจัดวางแบบรูปสามเหลี่ยม

รูปที่ 3.23 การจัดวางสายเคเบิลใต้ดิน ภายในท่อร้อยสาย

2.2) ใช้พูลลิ่งกริป (Pulling Grip or Basket Grip) แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

2.2.1) สายเคเบิลใต้ดิน ชนิดที่มีปลอกตะกั่วหุ้ม (Lead – sheathed cable) โดยใช้ชนิด basket-weave เป็นตัวจับ แรงดึงไม่ควรเกิน 1,500 ปอนด์ (680 กิโลกรัม) ต่อเส้น โดยที่ความหนาของเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน จะหาได้จากสูตร

$$T_m = K_m \Pi t (D - t) \quad \text{(ปอนด์)}$$

โดยที่ T_m หมายถึง แรงดึงสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ (ปอนด์หรือกิโลกรัม)

t หมายถึง ความหนาของปลอกตะกั่ว (นิ้ว)

D หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิลใต้ดินฯ (นิ้ว)

Π มีค่าคงที่เท่ากับ 3.14

K_m มีค่า 200 – 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ขึ้นอยู่กับ Lead alloy)

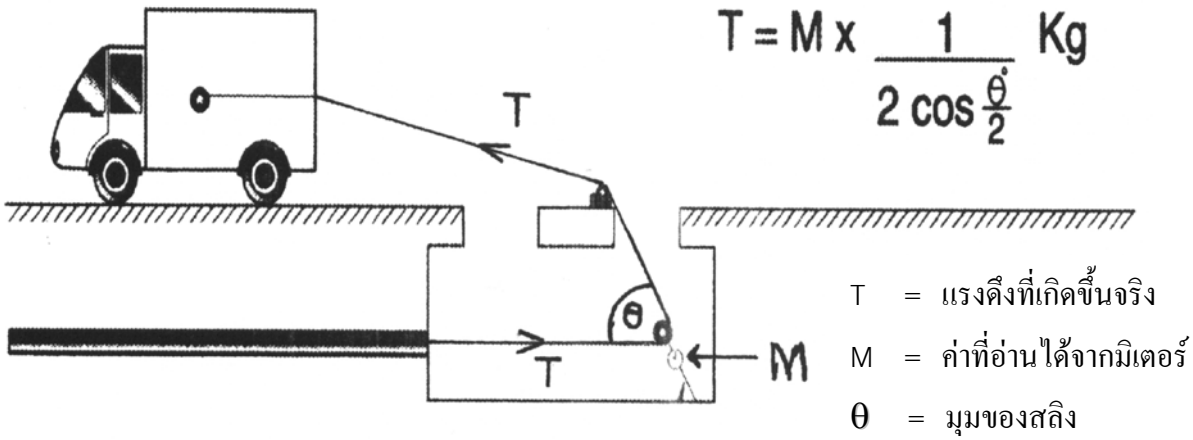
* สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน มีเปลือกสายเป็น นีโอพรีน (Neoprene jackets) ค่าแรงดึงสูงสุด จะ มีค่าไม่เกิน 1,000 ปอนด์ (453 กิโลกรัม)

2.2.2) สายเคเบิลใต้ดิน ชนิดที่เปลือกสายไม่ใช่ตะกั่ว (Nonleaded jacketed cable) เช่น PVC และ PE เป็นต้น มีค่าแรงดึงสูงสุดเป็น

T_m = 1,000 ปอนด์ (453 กิโลกรัม) / เส้น

ตามข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 เป็นแรงดึงสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ ถือว่าเป็นค่าที่ปลอดภัยในการลากสายเคเบิลใต้ดิน โดยที่สายเคเบิลใต้ดินไม่เป็นอันตรายเนื่องจากการยืดตัวของสายตัวนำหรือเปลือกสาย ซึ่งจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของสายเคเบิลใต้ดิน สั้นลง

2.3) สำหรับสายเคเบิลใต้ดินชนิด โคแอ๊คเชียล (Coaxial) ไทรแอ๊คเชียล (Triaxial) และชนิดพิเศษอื่นๆ (Special cable) แรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน ควรจะเป็นไปตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

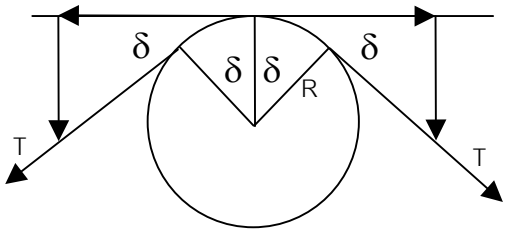


รูปที่ 3.24

3) แรงกดด้านข้าง (Side Wall Pressure)

เมื่อทำการดึงสายเคเบิลใต้ดิน ผ่านส่วนที่เป็นโค้งของช่องเดินสายไฟฟ้า เช่น ท่อร้อยสาย หรือกรณีที่ต้องการม้วนสายในล้อ ในกรณีดังกล่าวจะทำให้เกิดความดันขึ้นระหว่างสายเคเบิลใต้ดินฯ และท่อร้อยสายหรือล้อ ซึ่งแรงดันดังกล่าวจะอธิบายในเทอมของแรงดึงหารด้วยรัศมีความโค้ง หรือ T/R ถ้ามีแรงกดมากๆ จะทำให้ดึงลากเคเบิลลำบากหรือถ้าฝืนลากเคเบิลโดยใช้แรงดึงที่มากเกินค่าที่กำหนดไว้ จะทำให้เปลือกนอกของเคเบิลชำรุดได้

สำหรับตัวนำเดี่ยวแรงกดด้านข้างสูงสุดที่ยอมรับได้ จะมีค่า 300 ปอนด์/ฟุต(446.48 กิโลกรัม/เมตร กฟภ. จะใช้ค่าเป็น 450 กิโลกรัม/เมตร) นอกจากนี้ค่า T/R จะไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนมุมของทิศทาง เช่น การโค้งของตัวท่อร้อยสาย แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดึงออกจากข้องอและรัศมีของการโค้งงอ ซึ่งรัศมีดังกล่าวก็คือ รัศมีด้านในของท่อนั่นเองโดยจะพิจารณาได้จากรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แรงกดด้านข้าง

แรงกดด้านข้าง (T/R) : แรงต่อหนึ่งหน่วยความยาว = $2T \sin \delta / 2R\delta$

ในกรณีที่ δ มีค่าน้อย ทำให้ค่า $\sin \delta$ มีค่าเท่ากับ δ ดังนั้น $2T \sin \delta / 2R\delta = T / R$

และสามารถสรุปค่าแรงกดด้านข้างของสายเคเบิลใต้ดิน ที่ใช้ภายใน กฟภ. ได้ดังนี้

- ดึงเคเบิล 1 เส้น/ท่อ

$$SWP = T_{out} / R$$

- ดึงเคเบิล 3 เส้น/ท่อ (กรณีสายเคเบิลใต้ดิน วางแบบ Cradled)

$$SWP = (3C-2)T_{out} / (3R)$$

- ดึงเคเบิล 3 เส้น/ท่อ (กรณีสายเคเบิลใต้ดิน วางแบบ Triangular)

$$SWP = CT_{out} / (2R)$$

โดยที่ T_{out} หมายถึง แรงดึงที่ออกจากท่อโค้ง (ปอนด์หรือกิโลกรัม)

R หมายถึง รัศมีด้านในของท่อ (ฟุตหรือเมตร)

C หมายถึง Weight-correction factor

4) Jam ratio หรือเรียกว่า Jamming

เป็นค่าที่จะประเมินได้ว่าสายเคเบิลใต้ดิน ที่ร้อยอยู่ในท่อร้อยสาย เมื่อดึงลากสายแล้ว มีโอกาสที่จะเกิดการไขว้ตัวหรือพันกันจนไม่สามารถดึงสายต่อไปได้หรือไม่ และยังใช้เป็นค่าสำหรับพิจารณาความประหยัดและความสะดวกในการดึงสาย ซึ่งสามารถสรุปเป็นสูตรได้ดังนี้

- สายเคเบิลใต้ดิน จำนวนไม่เกิน 3 เส้น ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน ร้อยอยู่ภายในท่อเดียวกัน

$$\text{Jam ratio} = 1.05\ D/d$$

โดยที่ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดิน (มม.)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อร้อยสายไฟฟ้า (มม.)

- สายเคเบิลใต้ดิน จำนวนมากกว่า 3 เส้น ร้อยอยู่ภายในท่อเดียวกัน

$$\text{Jam ratio} = 3D / (n_1d_1 + n_2d_2 + n_3d_3 + \ldots + \ldots)$$

โดยที่ D หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อร้อยสายไฟฟ้า (มม.)

$n_1, n_2, n_3, \ldots$ หมายถึง จำนวนสายเคเบิลใต้ดิน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1, 2, 3, ...

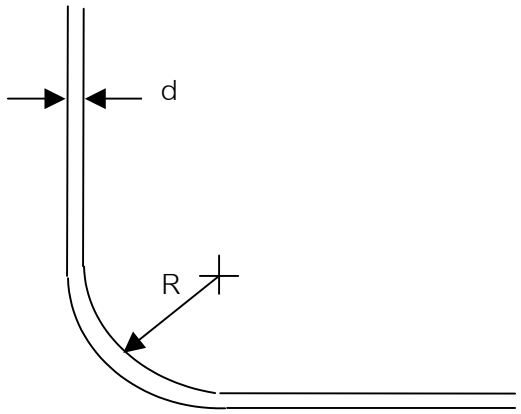
$d_1, d_2, d_3, \ldots$ หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดิน กลุ่มที่ 1, 2, 3, ..

ซึ่งค่า Jamming ratio จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนสายเคเบิลใต้ดิน

โดยปกติแล้ว Jam ratio ที่มีค่าอยู่ในช่วง 2.8 – 3.0 เป็นช่วงค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับการดึงลากสาย และถ้า Jam ratio มีค่าต่ำกว่านี้แล้ว เมื่อมีการดึงสายเคเบิลใต้ดิน ย่อมจะเกิดอันตรายต่อสายเคเบิลใต้ดิน ค่าที่ต่ำกว่า 2.8 จึงยิ่งไม่สมควรให้ใช้งาน แต่จะมีความเหมาะสมใช้งานได้ที่ค่า jamming ratio มีค่ามากกว่า 3.0 เท่านั้น (ร้อยสายได้ง่าย) ซึ่งปัจจุบัน กฟภ. ได้กำหนดเป็นตารางการใช้งานท่อร้อยสายกับสายเคเบิลใต้ดิน ที่เหมาะสมไว้แล้ว ซึ่งจะมีค่า Jam ratio มากกว่า 3.0

5) การโค้งงอของสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Bending)

การดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน ภายในท่อช่วงทางโค้ง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสายเคเบิลใต้ดิน และยิ่งติดตั้งในเคเบิลเทรย์หรือแร็ค การดึงลากสายย่อมจะก่อให้เกิดความเสียหายมากขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นแผ่นโลหะ (Sheet metal) และมีสกรูหรือโบลต์ที่เป็นตัวทำให้ฉนวนเสียหายได้ เป็นผลให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสายเคเบิลใต้ดิน เสื่อมสภาพอันเกิดจากแรงดึงหรือแรงกดที่กระทำต่อด้านข้าง (Side Wall Pressure) ดังนั้นสิ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คือ รัศมีส่วนโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน โดยยิ่งมีค่ามาก ค่าแรงกดที่กระทำต่อด้านข้างยิ่งลดลง ซึ่งจะเพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสายเคเบิลใต้ดิน ให้ดียิ่งขึ้น ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว รัศมีส่วนโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่ง กฟภ. ได้กำหนดเป็นค่ามาตรฐานใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.26 การโค้งงอของสายเคเบิลใต้ดิน

1) สำหรับสายเคเบิลใต้ดินแรงต่ำและคอนโทรลเคเบิล

R (รัศมีส่วนโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน) อย่างน้อยเท่ากับ 12 d

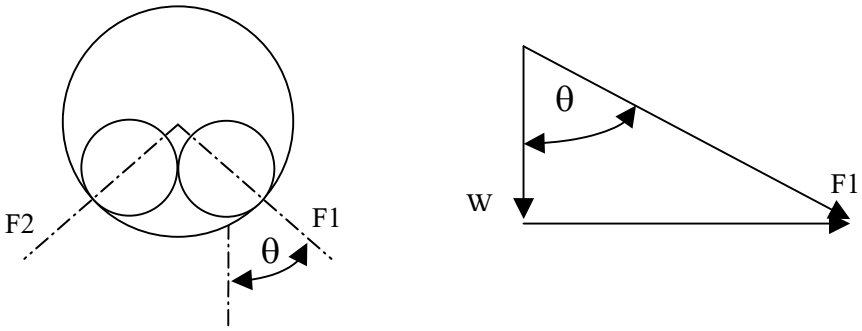
2) สำหรับสายเคเบิลใต้ดินแรงสูง

R (รัศมีส่วนโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน) อย่างน้อยเท่ากับ 15 d

โดยที่ d หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสายเคเบิลใต้ดิน (OD) (มม.)

6) Weight - Correction Factor (C)

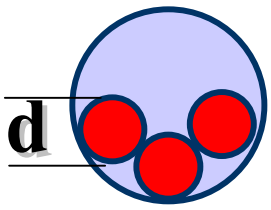
เมื่อมีการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินในช่องเดินสายไฟฟ้า และมีจำนวนของสายเคเบิลใต้ดินมากกว่าหนึ่งเส้น ในกรณีเช่นนี้จะมีแรงลัพธ์เกิดขึ้น โดยแรงลัพธ์ทั้งหมดจะเกิดขึ้นที่ระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับท่อร้อยสาย ซึ่งจะมีค่ามากกว่าน้ำหนักรวมทั้งหมดของสายเคเบิลใต้ดิน ดังนั้น Weight - Correction Factor จะกำหนดได้จาก Sum(F) / Sum(w) โดยที่ W จะหมายถึงน้ำหนักของสายเคเบิลใต้ดิน ในรูปที่ 3.27 เป็นการแสดงถึงการคำนวณ Weight - Correction Factor ของสายเคเบิลใต้ดิน สองเส้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน



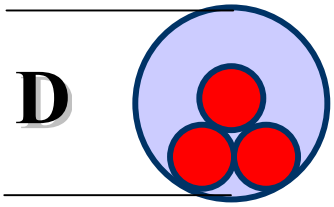
โดยที่ $F1 = W/\cos\theta = F2$ ดังนั้น $(F1 + F2) / 2W = C$

รูปที่ 3.27 แสดงการหาค่า Weight - Correction Factor (C) ของสายเคเบิลใต้ดินฯ 2 เส้น

สำหรับการคำนวณค่า Weight - Correction Factor ภายใน กฟภ. จะสรุปค่าที่นำไปใช้งาน โดยจำนวนสายเคเบิลใต้ดินฯ ภายในท่อไม่เกิน 3 เส้นเท่านั้น ซึ่งสรุปได้ดังนี้



แบบ Cradled : $C = 1+(4/3)[d/(D-d)]^2$



แบบ Triangular : $C = 1/ [1-(d/(D-d))^2]^{1/2}$

โดยที่ d หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสายเคเบิลใต้ดิน (OD) (มม.)

D หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อร้อยสาย (ID) (มม.)

การจะเลือกใช้ค่า C แบบใดนั้นจะต้องหาอัตราส่วนระหว่าง D/d ก่อน นั่นคือ

หาก $D/d > 3.0$ ค่า C จะใช้เป็นกรณีแบบ Cradled

และ $D/d < 2.5$ ค่า C จะใช้เป็นกรณีแบบ Triangular

ค่าอัตราส่วนระหว่าง D/d ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 - 3.0 จะทำให้เกิด Jamming ในการออกแบบควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ค่าอัตราส่วนระหว่าง D/d อยู่ในช่วงค่าดังกล่าว

7) การคำนวณในเรื่องของสายเคเบิลใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้า

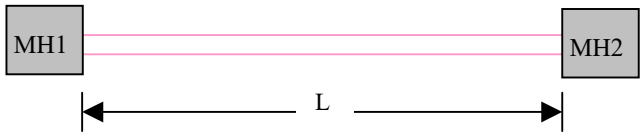
บทความนี้จะกล่าวถึงหัวข้อที่ควรระมัดระวังในการดึงลากสายเคเบิลใต้ดินและวิธีการคำนวณแรงดึงที่จำเป็นต้องทราบเพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมตรวจสอบ

รูปที่ 3.28 แสดงการตั้ง REEL สายเคเบิลใต้ดินที่ปากบ่อ MANHOLE เพื่อดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

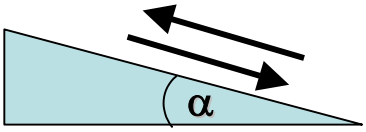
7.1) แรงดึงที่เกิดกับสายเคเบิลใต้ดินที่พบเสมอๆมี 3 ลักษณะคือ

1) แรงดึงสายทางตรง

สูตร $T = WLCF$



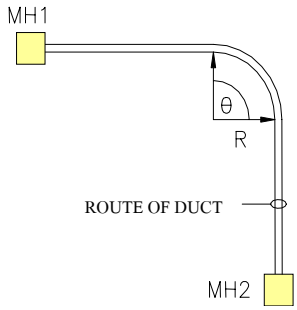
2) แรงดึงสายช่วงลาดเอียง



กรณีดึงขึ้น : $T_{up} = WL(CF\ COS\ \alpha + SIN\ \alpha)$

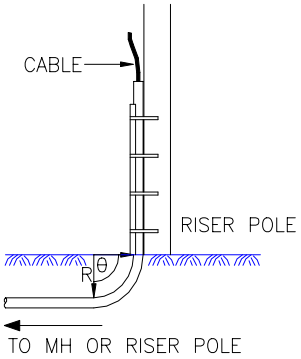
กรณีดึงลง : $T_{down} = WL(CF\ COS\ \alpha - SIN\ \alpha)$

3) แรงดึงสายช่วงทางโค้งแนวราบ



สูตร $T_{OUT} = T_{IN} Cosh\ (CF\theta) + Sinh\ (CF\theta) \sqrt{T_{IN}^2 + (WR)^2}$

4) แรงดึงสายช่วงโค้งขึ้น-ลง



สูตร $T_{OUT} = T_{IN} e^{CF\theta}$

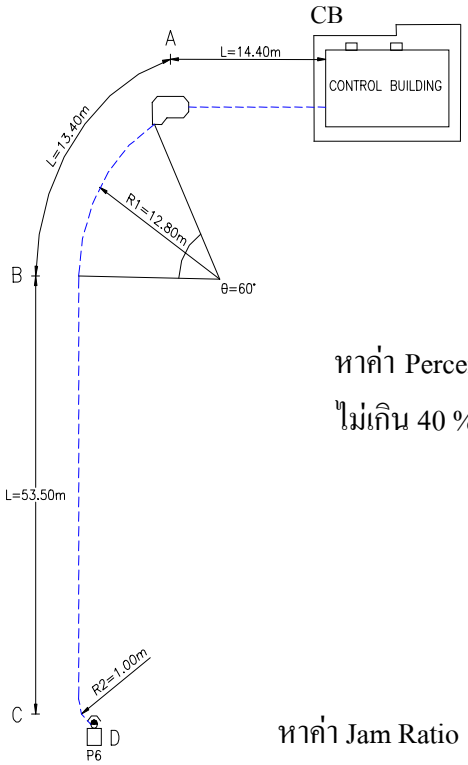
โดยจะแสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณแรงดึงสายทั้งหมด ตามตารางที่ 3.7 ซึ่งโดยปกติแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน ที่คำนวณได้จากสมการช่วงทางโค้งแนวราบ (ข้อ 3) และช่วงโค้งขึ้น-ลง (ข้อ 4) จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อให้จดจำสูตรได้ง่ายและสะดวกต่อการคำนวณ ในทางปฏิบัติการคำนวณเรื่องแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน ส่วนมากจะใช้เพียง 3 สูตร คือสูตรในข้อ 1 , 2 และ 4 เท่านั้น

ตารางที่ 3.7 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณแรงดึงสายทั้งหมด

Symbol	Unit	Drscription
$T, T_{in}, T_{out}, T_{max}$	กก.	แรงดึงเคเบิลในลักษณะต่างๆ
W	กก./ม.	น้ำหนักสายเคเบิลใต้ดิน
L	ม.	ความยาวสายเคเบิลใต้ดินช่วงที่พิจารณา
F	-	ความเสียดทานของท่อ
C	-	Weight – correction factor
E	-	Exponential
θ	Radian	มุมที่สายเคเบิลใต้ดินเลี้ยวโค้ง
D	มม.	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อร้อยสาย
D	มม.	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิลใต้ดิน
R	ม.	รัศมีการเลี้ยวโค้งของสายเคเบิลใต้ดิน
α	-	มุมของการลาดเอียงจากแนวระดับ
Sin, Cos, Sinh,Cosh	-	ตรีโกณมิติ

ตัวอย่างการคำนวณแรงดึง

จากรูปให้ตรวจสอบว่าการดึงลากสายจะมีปัญหาหรือไม่



ข้อมูล

1. ใช้สายเคเบิลใต้ดินขนาด 240 ต.มม มี OD. = 42 มม. น้ำหนัก = 12.18 กก. / กม. / 3 เส้น
2. ใช้ท่อ HDPE PN 6.3 ขนาด ID = 144.6 มม.
   Friction (F) = 0.4
3. ใช้ Pulling Eye จับตัวนำ ในการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

หาค่า Percent Area Fill (PAF) โดยร้อยสายเคเบิล 3 เส้นต่อท่อ ค่า PAF ต้องไม่เกิน 40 %

$$PAF = n \times \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times 100$$

$$PAF = 3 \times \left(\frac{42}{144.6}\right)^2 \times 100$$

$$PAF = 25.309\% < 40\% \qquad \text{OK}$$

หาค่า Jam Ratio

$$\text{Jam Ratio} = 1.05 \times \frac{D}{d}$$

$$= 1.05 \times \frac{144.6}{42}$$

$$= 3.615 > 3.0 \qquad \text{OK}$$

หาค่า Weight Correction Factor (C) โดยที่

D/d = 144.6/42

= 3.44 > 3.0 (สายวางตัวแบบ CRADLED)

$$C = 1 + (4/3)x\,[d/(D - d)]^2$$

$$C = 1 + (4/3)x\,[42/(144.6 - 42)]^2$$

$$= 1.223$$

การดึงลากสายเคเบิลใต้ดินจะพิจารณาวิธีการดึง 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 ตั้ง Reel สายเคเบิลใต้ดินที่ Control Building ดึงจาก Control Building (CB) ไป D

T_A = T_{IN} + WLCF ; T_{IN} = Reel Back Tension = 50 Kg

= 50 + (12.18 x 14.4 x 1.223 x 0.4)

= 135.80 kg

T_B = $T_A e^{CF\theta}$; θ = 60^O x 3.1416 / 180^O = 1.0472

= 135.80 x $e^{1.223x0.4x1.0472}$

= 226.67 kg

T_C = T_B + WLCF

= 226.67 + (12.18 x 53.5 x 1.223 x 0.4)

= 545.45 kg

T_D = $T_C e^{CF\theta}$; θ = 90^O x 3.1416 / 180^O = 1.5708

= 545.45 x $e^{1.223x0.4x1.5708}$

= 1,176.20 kg

ตรวจสอบ

T_{MAX} = 7.162 nA_{mm}^2

= 7.162 x 2 x 240

= 3,437.76 kg

แต่จะใช้แรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน ไม่เกิน 2,722 kg ดังนั้น 2,722 kg > 1,176.20 kg ..OK และถ้าใช้ Pulling Grip จับที่เปลือกสาย จะไม่ผ่าน (1,176.20 kg > 2 x 453 kg))

SWP (ที่จุด A-B) = $(3C-2)T_B / 3R$

= (3x1.223-2)x226.67 / (3x12.8)

= 9.85 kg / m < 450 kg / m OK

SWP (ที่จุด C-D) = $(3C-2)T_D / 3R$

= (3x1.223-2)x1,176.20 / (3x1)

= <u>654.36</u> kg / m > 450 kg / m NO

วิธีที่ 2 ตั้ง Reel สายเคเบิลใต้ดินที่จุด D ดึงจาก D ไป Control Building(CB)

T_C = $T_{IN} e^{CF\theta}$; T_{IN} = Reel Back Tension = 50 Kg

= 50 x $e^{1.223x0.4x1.5708}$; θ = 90^O x 3.1416 / 180^O = 1.5708

= 107.8 kg

T_B = T_C + WLCF

= 107.8 + (12.18 x 53.5 x 1.223 x 0.4)

= 426.57 kg

T_A = $T_B e^{CF\theta}$; θ = 60^O x 3.1416 / 180^O = 1.0472

= 426.57 x $e^{1.223x0.4x1.0472}$

= 711.99 kg

T_{CB} = T_A + WLCF

= 711.99 + (12.18 x 14.4 x 1.223 x 0.4)

= 797.79 kg

ตรวจสอบ

T_{MAX} = 7.162 nA_{mm^2}

= 7.162 x 2 x 240

= 3,437.76 kg

แต่จะใช้แรงดึงสายเคเบิลใต้ดินฯ ไม่เกิน 2,722 kg ดังนั้น 2,722 kg > 797.79 kg OK และถ้าใช้ Pulling Grip จับที่เปลือกสาย จะผ่านเช่นกัน (797.93 kg < 2 x 453 kg)

SWP (ที่จุด D-C) = $(3C-2)T_C / 3R$

= (3x1.223-2)x107.8 / (3x1)

= 59.97 kg / m < 450 kg / m OK

SWP (ที่จุด B-A) = $(3C-2)T_A / 3R$

= (3x1.223-2)x711.99 / (3x12.80)

= 30.95 kg / m < 450 kg / m OK

สรุปเป็นตารางการคำนวณแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินฯ ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ได้คือ

ตารางที่ 3.8 การคำนวณแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินฯ ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ

ที่จุดตำแหน่ง	วิธีที่ 1 ดึงจาก CB ไป D	T_{MAX}	วิธีที่ 2 ดึงจาก D ไป CB	T_{MAX}	Side wall Pressure	
					CB ไป D	D ไป CB
CB	0.00	-	797.79	**797.79**		
A	135.80	-	711.99	-	9.85 (OK)	30.95 (OK)
B	226.67	-	426.57	-		
C	545.45	-	107.8	-	**654.43 (NO)**	59.97 (OK)
D	1,176.20	**1,176.20**	0.00	-		

สรุป

1.จากการตรวจสอบจะเห็นว่าทิศทางการดึงลากสายเคเบิลใต้ดินที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ค่าแรงดึงใช้งานที่แตกต่างกันและมีผลทำให้สายอาจชำรุดได้หากใช้วิธีการดึงลากสายเคเบิลใต้ดินวิธีที่ 1 (ดึงจาก Control Building(CB) ไป D)

2.ส่วนใหญ่ค่าแรงดึงที่ใช้งานจะไม่เกินค่าแรงดึงสูงสุดของสายเคเบิลใต้ดิน แต่ปัญหาที่พบบ่อยๆ และเป็นจุดสำคัญ (แต่มักมองข้าม) คือ ค่าแรงกดที่สายเคเบิลใต้ดินกระทำกับผนังภายในท่อ (Side wall Pressure) เพราะส่วนใหญ่ในช่วงเข้าโค้ง ถ้ารัศมีช่วงเข้าโค้งสั้นๆ จะมีปัญหานี้เกิดขึ้นทันทีกับอีกประเด็นหนึ่งก็คือ ทิศทางที่ป้อนสายควรจะป้อนในจุดที่ใกล้ช่วงทางโค้งหรือที่จุดโค้งจะทำให้ลดแรงกดที่ผนังท่อด้านในได้มาก

รูปที่ 3.29 แสดงการใช้สารหล่อลื่นช่วยในการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

8. ระยะห่างทางไฟฟ้าระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับสาธารณูปโภคอื่นๆ

ในบางครั้งแนวการก่อสร้างสายเคเบิลใต้ดินอาจอยู่แนวเดียวกันกับระบบสาธารณูปโภคอื่นๆ ซึ่งระบบสาธารณูปโภคนั้นอาจได้รับผลกระทบทางไฟฟ้าจากสายเคเบิลใต้ดิน หรือจากการก่อสร้างได้ ดังนั้นผู้ออกแบบต้องกำหนดให้แนวสายเคเบิลใต้ดินอยู่ห่างจากแนวระบบสาธารณูปโภคอื่นๆ ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ระยะห่างระหว่างแนวสายเคเบิลใต้ดินกับสาธารณูปโภคอื่นๆ

สาธารณูปโภค	ระยะห่างต่ำสุด(เมตร)	
	แนวขนานกัน	แนวตัดกัน
ท่อระบายน้ำ	0.3	0.3
ท่อน้ำ	0.45	0.45
ท่อแก๊ส	0.3	0.3(1.5)
ท่อร้อยสายระบบไฟฟ้า	3	0.6
ท่อร้อยสายโทรศัพท์	0.3	0.3
ท่อไอน้ำ	3	1.2

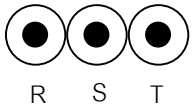
อ้างอิงจาก Underground Transmission Systems Reference Book 1992 Edition
ค่าในวงเล็บ( ) เป็นค่าที่บริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน) กำหนด

9. การจัดวางสายเคเบิลใต้ดิน

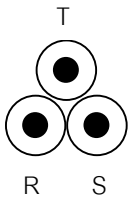
ในการจัดวางสายเคเบิลใต้ดินภายใน Cable Trench หรือภายใน Duct Bank สิ่งที่ต้องพิจารณาคือการจัดวางสายเคเบิลใต้ดินต้องให้มีการเรียงตาม Phase Relationship ทั้งนี้หากมีการจัดวางสายไม่เป็นไปตาม Phase Relationship จะทำให้ค่า Inductance ของเคเบิลแต่ละเส้นมีค่าไม่เท่ากันทำให้การรับกระแสของสายเคเบิลใต้ดินไม่เท่ากันยิ่งโหลดมีค่าสูงมากๆกระแสที่ไหลในเคเบิลแต่ละเส้นยิ่งแตกต่างกันมาก

การจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินในระบบ 3 ϕ จัดเรียงได้ 2 วิธีคือ

1) แบบ Flat Formation



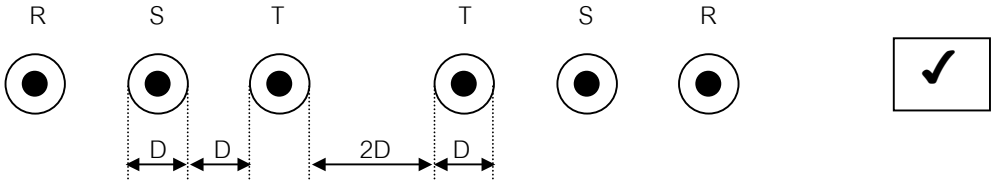
2) แบบ Trefoil Formation



ในหนังสือ Power Cables and Their Application หัวข้อ Arrangement of Cables ได้กล่าวถึงวิธีการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินไว้ดังนี้

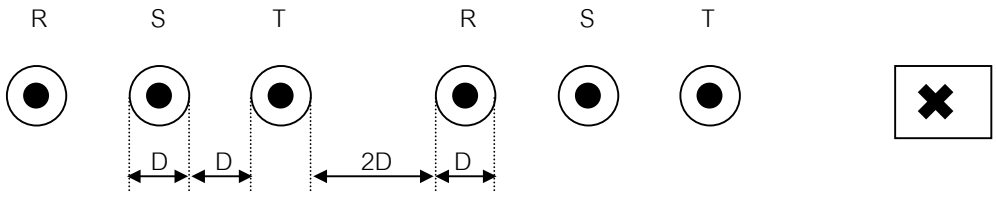
1) การจัดวางสายเคเบิลใต้ดินแบบ Flat (Flat Formation)

1.1) การจัดวางสายเคเบิลใต้ดินแบบ Flat โดยเรียงแบบ RST TSR ดังแสดงในรูปที่ 3.30 การจัดวางแบบนี้ระยะห่างระหว่างเฟสเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดิน(D) ระยะห่างระหว่างวงจรเป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดิน(2D) และระหว่างวงจรเฟสที่อยู่ติดกันควรเป็นเฟสเดียวกัน ดังรูปที่ 3.30 ในกรณีที่เป็นสายแบบ Bundle(สายเคเบิลใต้ดิน 2 เส้นต่อหนึ่งเฟส) การจัดเรียงแบบนี้ค่า inductance ของเฟสเดียวกันจะเท่ากันแต่ค่า inductance ของเฟส R, S ,T แต่ละเฟสจะไม่เท่ากัน กระแสโหลดจะแบ่งไหลภายในเฟสเดียวกันใกล้เคียงกันแต่กระแสโหลดต่างเฟสกันจะแตกต่างกันบ้างแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดตามรูปที่ 3.31 แล้วการจัดแบบนี้ดีกว่ามาก



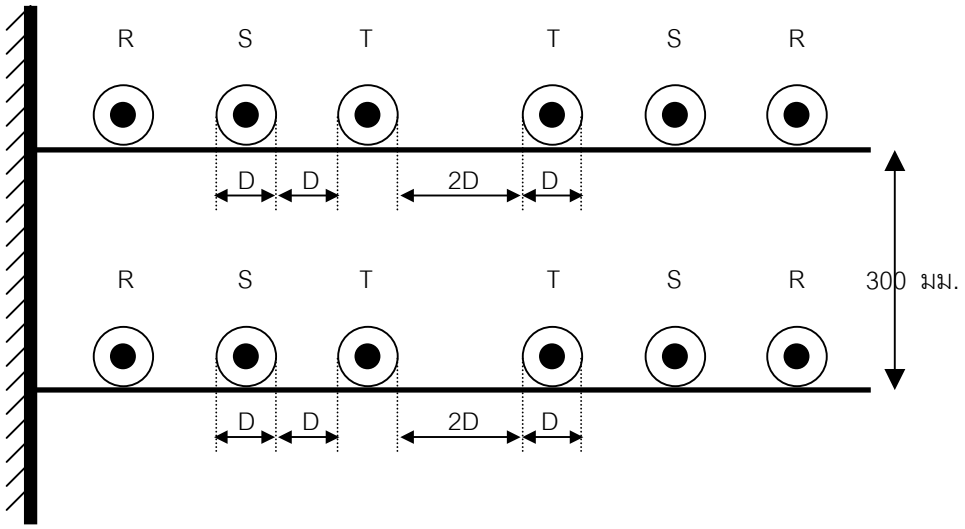
รูปที่ 3.30 แสดงการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินบน Cable Tray ที่ถูกต้อง

1.2) การจัดวางสายเคเบิลใต้ดินแบบ Flat โดยเรียงแบบ RST RST ดังแสดงในรูปที่ 3.31 การจัดเรียงแบบนี้(สายแบบ Bundle) นอกจากค่า inductance ของแต่ละเฟสภายในวงจรเดียวกันจะไม่เท่ากันแล้วค่า inductance ของเฟสเดียวกันยังไม่เท่ากันอีกด้วยผลที่เกิดคือกระแสโหลดจะไหลไม่เท่ากันทั้งที่เป็นเฟสเดียวกันและต่างเฟสกัน



รูปที่ 3.31 แสดงการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินบน Cable Tray ที่ไม่ถูกต้อง

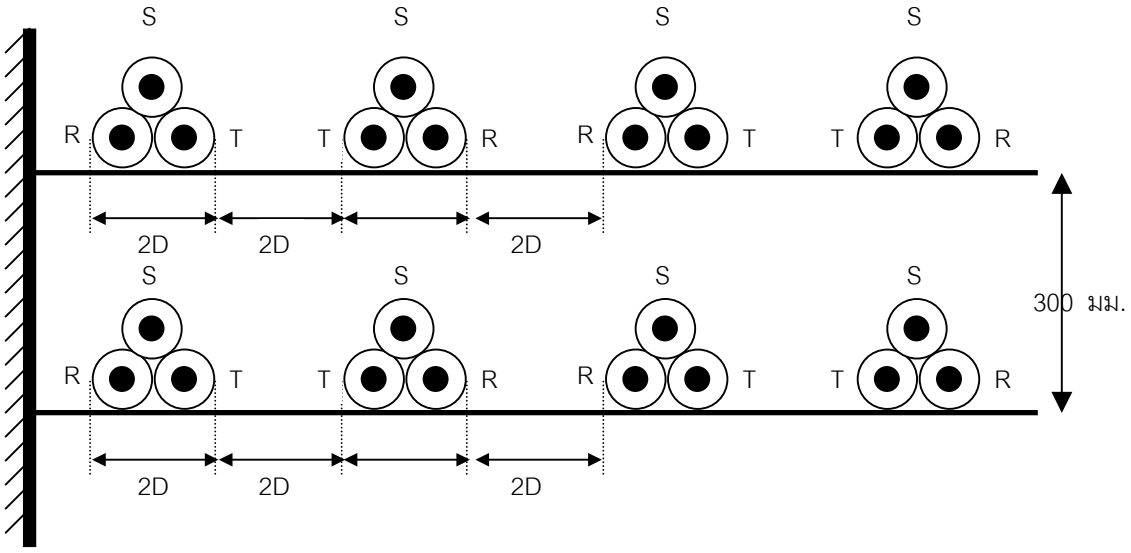
1.3) การจัดวางสายเคเบิลใต้ดินแบบ Flat โดยเรียงแบบ RST RST บน RACK ดังแสดงในรูปที่ 3.32 กรณีจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินบน Rack หลายๆชั้น ระยะห่างระหว่างชั้นไม่ควรน้อยกว่า 300 มม.



รูปที่ 3.32 แสดงการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินแบบ Flat Formation บน Rack ที่ถูกต้อง

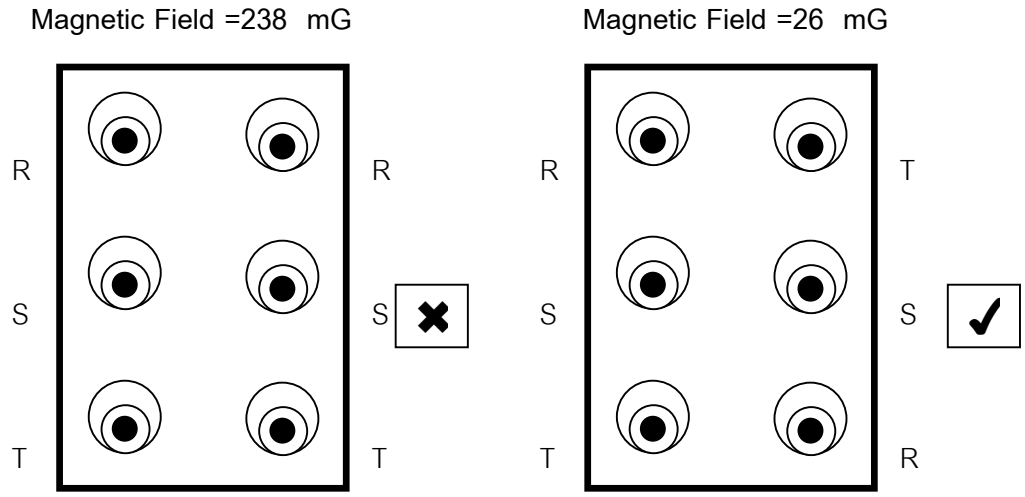
2) การจัดวางสายเคเบิลใต้ดินแบบ Trefoil

ดังแสดงในรูปที่ 3.33 การจัดเรียงแบบนี้ค่า inductance แต่ละเฟสในวงจรเดียวกันจะเท่ากัน



รูปที่ 3.33 แสดงการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินแบบ Trefoil Formation บน Rack ที่ถูกต้อง

นอกจากนี้การจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินตาม Phase Relationship ยังมีผลในเรื่องของ Magnetic Field ที่ออกมาจากสายเคเบิลใต้ดินอีกด้วยโดยในหนังสือ Underground Transmission System Refference Book 1992 Edition ได้กล่าวไว้ว่าวิธีที่มีประสิทธิผลมากที่สุดในการลดผลของ Magnetic Field จากสายส่งที่วางข้างๆคือการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินตาม Phase Relationship



รูปที่ 3.34 แสดงเปรียบเทียบการจัดเรียงสายภายใน Duct Bank 2 วิธี โดยจ่ายกระแส 700 A ทั้ง 2 วิธี

จากรูปที่ 3.34 จะแสดงให้เห็นการจัดเรียงสายเคเบิลใต้ดินจำนวน 2 วงจรใน Duct Bank เดียวกัน 2 วิธี วิธีแรกเป็นการจัดเรียงแบบ RST RST ในแนวตั้งซึ่งมันมีข้อดีในแง่ของการปฏิบัติที่จะไม่สับสนในการจำแนกเฟสเมื่อลงไปปฏิบัติงานภายในบ่อพัก ส่วนวิธีที่สองเป็นการจัดเรียงแบบ RST TSR ซึ่งมีการจัดเรียง Phase Sequence ของสายเคเบิลใต้ดินทำให้ Magnetic Field ที่ออกมาน้อยกว่าการจัดเรียงแบบแรก ในส่วนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเองปัญหาการจัดเรียง Phase Sequence ภายใน Duct Bank นี้จะเกิดเฉพาะกับสายเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV เท่านั้นส่วนระบบ 22-33 kV จะไม่มีปัญหานี้เกิดขึ้น

บทที่ 4
การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน

การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 นั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงการเตรียมงานคอนกรีต งานเหล็กเสริม ขั้นตอนการเตรียมงาน และการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินวิธีต่างๆ ดังนี้

1. คอนกรีต แบบหล่อ และเหล็กเสริม

1.1 งานคอนกรีต

คอนกรีตต้องประกอบด้วยซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และสารผสมเพิ่มเติมที่กำหนดวัสดุทั้งหมดต้องถูกผสมจนเข้ากันดี ได้ความข้นที่เหมาะสม และได้กำลังและค่ายุบตัวที่ต้องการดังนี้

- ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุด 210 กก./ซม.^{2} สำหรับงานก่อสร้าง Manhole และค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุด 180 กก./ซม.^{2} สำหรับงานก่อสร้าง Duct Bank ยกเว้นระบุไว้ในแบบ(ทดสอบตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานที่มีอายุครบ 28 วัน)
- ค่าการยุบตัว 10 ± 2.5 ซม.

ห้ามเติมน้ำเพื่อชดเชยการแข็งตัวของคอนกรีตก่อนการเทและความข้นเหลวของคอนกรีตที่ผสมแต่ละครั้งต้องมีความสม่ำเสมอ

1) คอนกรีตหยาบ

ต้องใช้คอนกรีตหยาบรองพื้นทุกงานที่มีการเทคอนกรีต ยกเว้นระบุไว้ในแบบ โดยมีอัตรา ซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 3 : 5 (โดยปริมาตร)

2) ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นชนิดปอร์ตแลนด์ตามข้อกำหนดของซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ดังที่ระบุใน ASTM C150 หรือ มอก. 15 หรือระบุเป็นอย่างอื่น และต้องเก็บปูนซีเมนต์ในบริเวณที่สามารถป้องกันความชื้นได้ มีการระบายอากาศรอบปูนซีเมนต์อย่างเพียงพอ ห้ามใช้ปูนซีเมนต์ที่จับตัวกลายเป็นก้อน

3) น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตหรือผสมปูนทราย (Mortar) ต้องปราศจากตะกอน อินทรีวัตถุ น้ำมัน ด่าง กรด เกลือ และสารปนเปื้อน หรือสารอันตราย

4) หิน

หินต้องเป็นกรวดธรรมชาติหรือหินที่แตกตัวตามธรรมชาติและต้องมีรูปร่างดี สะอาด แข็ง แน่น ทนทาน และต้องไม่มี อินทรีย์วัตถุและสารปนเปื้อนอื่น ๆ และต้องคัดขนาดหินแต่ละขนาดให้มีปริมาณภายในขีดกำจัดมาตรฐานที่กำหนดดังต่อไปนี้

จำนวนร้อยละโดยน้ำหนัก

ขนาดตะแกรง	**จำนวนร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก**	
	หินขนาดใหญ่สุด 40 มม. (1 ½ - 1 ¾ นิ้ว)	**หินขนาดใหญ่สุด 20 มม. (3/4 นิ้ว – เบอร์ 4)**
2 นิ้ว	100	-
1 ½ นิ้ว	90 – 100	-
1 นิ้ว	20 – 55	100
3/4 นิ้ว	0 – 15	90 – 100
3/8 นิ้ว	0 – 5	20 – 55
เบอร์ 4	-	0 – 10

ทั้งนี้ต้องเก็บหินในลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดการปนขนาดของหิน และไม่เก็บรวมกับวัสดุอื่น

5) ทราย

ทรายต้องเป็นทรายธรรมชาติ(น้ำจืด) ทรายต้องสะอาด แข็ง แน่น และทนทาน ปราศจากฝุ่น ตะกอน ผงหิน เศษหิน ด่าง อินทรีย์วัตถุ และสารปนเปื้อนอื่น ๆ และทรายที่จะผสมคอนกรีตต้องได้รับการคัดขนาดอย่างดีและเมื่อถูกทดสอบต้องเป็นไปตามขีดจำกัดต่อไปนี้

ขนาดตะแกรง	จำนวนร้อยละโดยน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง
9.51 มม. (3/8 นิ้ว)	100
4.76 มม. (NO. 4)	95 – 100
2.38 มม. (NO. 8)	86 – 100
1.19 มม. (NO. 16)	50 – 85
595 ไมครอน (NO. 30)	25 – 60
297 ไมครอน (NO. 50)	10 – 30
149 ไมครอน (NO. 100)	2 – 10

ทั้งนี้ต้องเก็บทรายในลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดการปนขนาดของทราย และไม่เก็บรวมกับวัสดุอื่น

6) การผสม

เมื่อจะทำการผสมคอนกรีตต้องเตรียม รักษา และใช้อุปกรณ์ในการผลิตคอนกรีตให้มีคุณภาพตามที่ต้องการ วัสดุทั้งหมดที่ใช้ผลิตคอนกรีตต้องชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนด้วยเครื่องชั่งที่มีความถูกต้อง และต้องควบคุมการใส่วัสดุลงในถังผสม(ห้ามผสมคอนกรีตด้วยมือ) ไม่ให้คลาดเคลื่อนเกินค่าความคลาดเคลื่อนดังต่อไปนี้

วัสดุผสม	ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละของน้ำหนัก
ปูนซีเมนต์	2
น้ำ	1.5
หินและทราย	3
สารผสมเพิ่ม	2

7) การเทคอนกรีต

- การเตรียมก่อนการเท การเตรียมแบบหล่อต้องทำความสะอาดและทำให้ผิวแบบหล่อเปียกทั่วก่อนเทคอนกรีต ถ้าจะเทคอนกรีตบนดินต้องขจัดวัตถุที่ไม่พึงประสงค์ เช่น น้ำ และเศษไม้ การเตรียมผิวของจุดต่อการก่อสร้าง (Construction Joint) ก่อนการเทคอนกรีตบนหรือต่อจากคอนกรีตที่แข็ง

ตัวแล้ว ผิวของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วต้องสะอาดและเปียก และต้องขจัดเศษคอนกรีตและวัสดุแปลกปลอมต่าง ๆ

- การขนส่งและการลำเลียง

1) คอนกรีตผสมเสร็จที่ไม่ได้ใช้สารหน่วงการก่อตัว ที่มีอายุมากกว่า 30 นาที หลังออกมาจากเครื่องผสม และ/หรือสูญเสียค่าการยุบตัวเกิน 10 ± 2.5 ซม. จะไม่ได้รับอนุมัติให้เท

2) คอนกรีตผสมเสร็จที่ใช้สารหน่วงการก่อตัว ที่มีอายุมากกว่า 120 นาที หลังออกมาจากเครื่องผสม และ/หรือสูญเสียค่าการยุบตัวเกิน 10 ± 2.5 ซม. จะไม่ได้รับอนุมัติให้เท

คอนกรีตที่แยกตัวระหว่างการขนส่งต้องผสมให้เข้ากันใหม่และห้ามเติมน้ำ

- การเท หลังจากทำความสะอาดผิวของจุดต่อการก่อสร้างแล้ว ผิวของจุดต่อการก่อสร้างนั้นต้องปิดด้วยปูนทราย(Mortar) หนาประมาณ 1.5 ซม. โดยการเทคอนกรีตต้องเทลงบนปูนทราย (Mortar) สดก่อนที่มันจะแข็งตัว ปูนทราย(Mortar) ต้องมีปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้เทไม่มีหินในส่วนผสม การเทคอนกรีตต้องเทให้ใกล้ที่สุด และตรงตำแหน่งที่ต้องการ และต้องไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนไปทางข้างหรือการแยกตัวของ หิน ปูนทราย(Mortar) หรือน้ำจากมวลคอนกรีต

- การยุบตัว ทันทีหลังจากการเทคอนกรีตต้องทำให้คอนกรีตทุกชั้นยุบตัวเพื่อให้มีความหนาแน่นมากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ เพื่อให้คอนกรีตสัมผัสติดกับทุกผิวสัมผัส เหล็กเสริม อุปกรณ์ที่ฝังในคอนกรีต และทุกมุมของแบบหล่อ การทำคอนกรีตให้แน่นต้องใช้เครื่องจี้ชนิดจม (Immersion Type) แบบใช้ไฟฟ้าหรืออัดลมหรือวิธีอื่นที่เหมาะสม

8) การซ่อมคอนกรีต

การซ่อมคอนกรีตต้องทำให้เสร็จภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากเอาแบบหล่อออก คอนกรีตที่มีความเสียหายเกิดขึ้น เช่น รอยแตกร้าวและรอยแตกแบบรังผึ้งต้องตัดออกจนเห็นคอนกรีตเนื้อดี และต้องแต่งด้วยปูนทราย(Mortar) หรือคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้แต่งต้องจับอย่างแน่นหนากับผิวของคอนกรีตเนื้อดี และต้องมีสภาพดี และปราศจากรอยร้าวเนื่องจากการหด และปราศจากผิวหยาบหลังจากการบ่มและการทำให้แห้ง พื้นที่ทั้งหมดที่จะถูกแต่งด้วยคอนกรีตต้องฉาบด้วยสารจับยึด (Bonding Agent) ตามวิธีใช้ของผู้ผลิต และได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมงาน หรือผู้แทน กฟภ.

1.2 แบบหล่อ

แบบหล่อต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดันเนื่องจากการเทและการใช้เครื่องจี้คอนกรีต และต้องรักษาให้อยู่ในตำแหน่งอย่างมั่นคง แบบหล่อต้องต่อกันชิดเพียงพอที่จะป้องกันการสูญเสียปูน

ทราย(Mortar) จากคอนกรีต แบบหล่อแต่ละแผ่นต้องต่อกัน โดยให้สามารถรื้อแบบแต่ละส่วนได้โดยไม่ทำให้ความเสียหายแก่คอนกรีต สภาพผิวของแบบหล่อต้องเรียบ

วัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อและวัสดุเคลือบ

ไม้อัด	:	กันน้ำ ยึดติดด้วยเรซิน ประเภทใช้งานภายนอก
ไม้แปรรูปและเหล็ก	:	ตรง ความกว้างและความหนาสม่ำเสมอ และปราศจากเศษหรือวัสดุแปลกปลอมอื่น ๆ
น้ำมันทาแบบหล่อ	:	น้ำมันทาแบบที่ไม่ทำให้เกิดคราบ
ฟิล์มโพลีเอทิลีน	:	หนา 0.15 มม. และมีกำลังรับแรงกระแทกสูง

ก่อนการประกอบแบบหล่อต้องทำความสะอาดผิวของแบบหล่อที่สัมผัสกับคอนกรีต และทาน้ำมันบนผิวแบบหล่อด้วยน้ำมันที่มีส่วนผสมของแร่ หรือน้ำมันที่ไม่ทำให้เกิดคราบบนผิวคอนกรีต

1.3 การทดสอบ

ต้องทำการทดสอบทุกอย่างที่จำเป็นเพื่อกำหนดสัดส่วนการผสมของคอนกรีตแต่ละประเภทรวมทั้งการทดสอบหินทรายเพื่อให้ได้คอนกรีตตามที่กำหนดในข้อกำหนด เพื่อที่จะควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่จะเทโดยต้องทำการทดสอบภาคสนามต่อไปนี้

- การทดสอบค่าการยุบตัว การทดสอบค่าการยุบตัวจะถูกทำกับถังผสม (Batch) สามถังแรกของแต่ละวัน และจะทดสอบเพิ่มเติมสำหรับคอนกรีตทุก ๆ 40 ลบ.ม. ที่เทเพิ่มในแต่ละวัน ค่าการยุบตัวจะถูกหาตามมาตรฐาน ASTM C143

- การทดสอบกำลังรับแรงอัด จะต้องทำคอนกรีตทรงกระบอก 3 แท่ง จำนวน 2 ชุด ทุกวันที่เทคอนกรีต

- คอนกรีตทรงกระบอกชุดที่ 1 จะถูกทดสอบที่อายุ 7 วัน (มีค่าไม่น้อยกว่า 75 %ของค่ากำลังรับแรงอัด)
- คอนกรีตทรงกระบอกชุดที่ 2 จะถูกทดสอบที่อายุ 28 วัน

คอนกรีตทรงกระบอกต้องหล่อ, บ่ม และเก็บรักษาตามมาตรฐาน ASTM C31 และได้รับการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39

1.4 เหล็กเสริมและอุปกรณ์ที่ฝังในคอนกรีต

1) เหล็กเสริม เหล็กเสริมที่ถูกใช้ในโครงสร้างคอนกรีตต้องเป็นเหล็กกลม ห้ามใช้เหล็กรีดซ้ำ (Re-Rolled Bars) ขนาด รูปร่าง กำลังรับแรงดึง จุดล้า (Yield Point) ส่วนยืด (Elongation) และสมบัติอื่น ๆ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน มอก. 20 หรือ มอก. 24 ต้องยกอย่างระมัดระวังและเก็บเหล็กเส้นไว้ในที่ร่ม และวางไว้บนฐานรองรับที่ทำให้เหล็กเส้นไม่สัมผัสกับดิน เมื่อจะทำการประกอบเหล็กเส้นผิวของเหล็กเส้นต้องปราศจากสนิม น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ที่อาจลดแรงยึดเหนี่ยว (Bonding) ระหว่างเหล็กเส้นกับคอนกรีต เหล็กเสริมต้องถูกวางอย่างถูกต้องด้วยการดูแลเป็นพิเศษเพื่อป้องกันเหล็กเส้นเคลื่อนระหว่างการเทคอนกรีต จุดตัดและจุดต่อทาบของเหล็กเสริมต้องถูกยึดโดยการใช้ตัวจับที่เหมาะสมหรือลวดผูกเหล็ก เหล็กเสริมในโครงสร้างต้องถูกวางและรองรับด้วยลูกปูนที่มีลวด ตัวเว้นช่องโลหะ (Metal Spacer) ตัวแขวนโลหะ (Metal Hanger) หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ระยะหุ้มของคอนกรีตระหว่างเหล็กเส้น กับผิวคอนกรีต การต่อทาบตามตารางต่อไปนี้ (จาก ว.ส.ท. 1001-16) ในทุกกรณี สำหรับเหล็กข้ออ้อยความยาวทาบต่ำสุดต้องเท่ากับ 300 mm สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบระยะสั้นที่สุดที่ทาบกันต้องใช้เป็น 2 เท่าของเหล็กข้ออ้อย

ความยาวทาบสำหรับเหล็กรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	**กำลังล้าของเหล็กเสริม (Yield Strengh)_ kg/cm^2**	**ระยะทาบ**	
		เหล็กข้ออ้อย	**เหล็กกลม**
มากกว่า 200 kg/cm^2	≤ 3500	20D	40D
	≤ 4200	24D	48D
(D=เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก)	≤ 5200	30D	60D

ความยาวทาบสำหรับเหล็กรับแรงดึง

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	**กำลังล้าของเหล็กเสริม (Yield Strengh)_ kg/cm^2**	**ระยะทาบ**	
		เหล็กข้ออ้อย	**เหล็กกลม**
มากกว่า 200 kg/cm^2	≤ 2800	24D	48D
	≤ 3500	30D	60D
(D=เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก)	≤ 4200	36D	72D

ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของการวางเหล็กเสริม

1) สำหรับระยะหุ้ม 50 มม. หรือน้อยกว่า ค่าคลาดเคลื่อนของระยะหุ้มของคอนกรีตไม่เกิน 5 มม.
2) สำหรับระยะหุ้มมากกว่า 50 มม. ค่าคลาดเคลื่อนของระยะหุ้มของคอนกรีตไม่เกิน 10 มม.
3) ค่าคลาดเคลื่อนจากระยะห่างของเหล็กเสริมที่กำหนดในแบบ(เหล็กเส้นเดียว) ไม่เกิน 25 มม.

2) วัสดุฝัง (Embedded Item) วัสดุฝังต่างๆจะต้องฝังในคอนกรีตเพื่อรองรับอุปกรณ์หรืองานอื่นๆ วัสดุทั้งหมดที่จะถูกฝังในผิวคอนกรีตต้องเป็นไปตามข้อกำหนด วัสดุฝังทั้งหมดต้องถูกติดตั้งตรงตำแหน่งโดยคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าที่ยอมให้และต้องฝังลึกในคอนกรีตเพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ที่รองรับโดยวัสดุฝังมีกำลังสูงสุด ตำแหน่งที่ลืมติดตั้งวัสดุฝัง วัสดุฝังนั้นต้องติดตั้งโดยใช้หัวเจาะที่เหมาะสมเจาะเข้าไปในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

2. การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบเปิดหน้าดิน

2.1 การก่อสร้าง Duct Bank

รูปที่ 4.1 การก่อสร้าง Duct Bank

การเตรียมและจัดหาวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง

1) ท่อ High Density Polyethylene (HDPE) มีลักษณะเป็นท่อสีดำมีความหนาตามมาตรฐาน กฟภ.

2) แผ่นคอนกรีตประกบท่อ หรือแผ่นคอนกรีต (หวี) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือแผ่นคอนกรีต 1 หน้าและแผ่นคอนกรีต 2 หน้า ต้องเป็นแผ่น คสล. มีความแข็งแกร่งและในส่วนโค้งของแผ่นคอนกรีต

ต้องเรียบ ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งนูนออกมาเกินจากรัศมีโค้ง ใช้รองรับระหว่างชั้นของท่อ HDPE ตรงหัวท้ายของแผ่นคอนกรีตต้องเจาะรูเพื่อเสียบเหล็กขนาด ∅ 15 มม. เพื่อยึดแผ่นคอนกรีต

3) เหล็กร้อยยึดแผ่นคอนกรีตประกบท่อ ต้องเป็นเหล็กที่มีขนาด ∅ เท่ากันตลอด ตรง ไม่คดงอ ตัดทอนเป็นท่อน ๆ แล้วแต่จำนวนของการวางท่อ

4) ข้อต่อ HDPE (HDPE COUPLING) มีลักษณะเป็นสีดำเหมือนตัวท่อ HDPE มี 2 ชนิด ชนิดที่ใช้กับการต่อตรง มีความหนา 8 มม. ยาว 300 มม. เป็นรูปทรงกระบอก เท่ากันตลอด และชนิดที่ใช้กับการต่อท่อโค้ง 90^0 RSC มีความหนา 8 มม. ยาว 150 มม.

5) End Bell มีลักษณะเป็นสีดำคล้ายปากแตร เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ Duct Window

6) หลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) ดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 หลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker)

7) ทราย ต้องเป็นทรายสะอาด ไม่มีเศษพวกวัตถุอื่นเจือปน

8) คอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้าง Duct Bank ทั่วไปจะต้องเป็นคอนกรีตที่มีคุณภาพและความแข็งแรงที่สามารถทนแรงอัดได้ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้องานคอนกรีต และเหล็กเสริม

ขั้นตอนและการดำเนินการก่อสร้าง

1) งานสกัดถนน ก่อนอื่นต้องกำหนดและวางแผน แนวการสกัดและการขุดให้เป็นแนวตรงให้มากที่สุด ตามชนิดและขนาดของ Duct Bank

2) การขุดดิน ต้องขุดให้มีขนาดและความลึกได้ขนาดตามที่กำหนด ความกว้างต้องเผื่อการตั้งแบบทั้งสองด้านไว้เสมอ ความลึก ต้องไม่น้อยกว่า 0.75 ม. จากระดับถนนถึงหลัง Duct Bank

3) พื้น Duct Bank ต้องได้ระดับมากที่สุด พร้อมรองพื้นด้วยทรายหยาบหนาไม่น้อยกว่า 0.05 ม. และต้องเทคอนกรีตหยาบ หรือปูแผ่นคอนกรีต

4) การตั้งแบบ ต้องพยายามตั้งให้เป็นแนวตรงทั้งสองด้าน มีความกว้างไม่น้อยกว่าขนาดของแผ่นคอนกรีต(หวี)

5) การวางแผ่นคอนกรีต(หวี)รองรับท่อ แผ่นคอนกรีตจะต้องไม่มีความคมหรือแง่มุมในส่วนโค้งของหวีบริเวณที่ผิวท่อจะต้องสัมผัส ต้องระมัดระวังแผ่นคอนกรีตให้ได้ระดับมากที่สุด

6) การวางเหล็ก เหล็กเส้นจะต้องเป็นเหล็กที่สะอาดไม่มีคราบน้ำมันหรือดินเลนจับเปื้อน และต้องวางเหล็กบนคอนกรีตหยาบ หรือแผ่นคอนกรีตเสมอ เหล็กต้องไม่จมดินหรือโคลนเป็นอันขาด ส่วนปลายเหล็กอีก 1 ด้าน ต้องเหลือรอยต่อไม่น้อยกว่า 60 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก

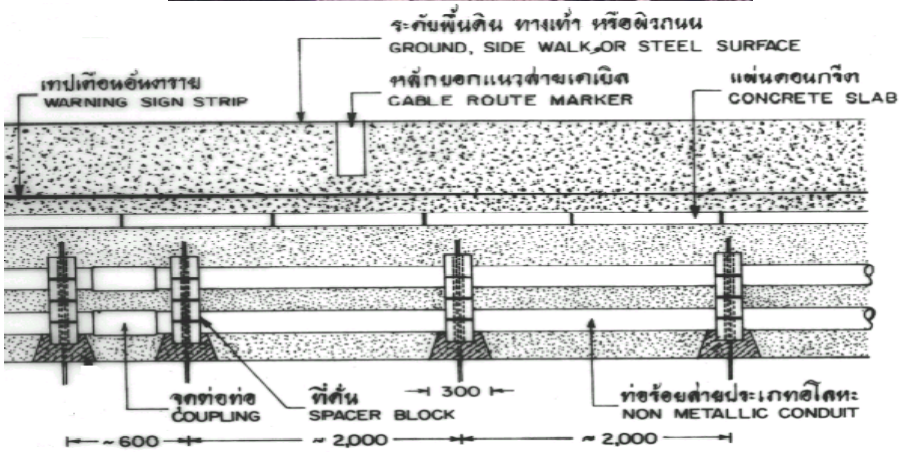
7) การวางท่อ HDPE ท่อทุกท่อนที่นำมาใช้ต้องได้รับการตบแต่งลบมุมปลายท่อภายในทั้ง 2 ด้านเสียก่อน จำนวนชั้นของการวางท่อขึ้นกับการกำหนดในแบบ การวางแต่ละชั้นต้องวางบนแผ่นคอนกรีต(หวี) สองหน้าเสมอพร้อมเสียบเหล็กยึดแผ่นคอนกรีต ∅ 15 มม. เพื่อล็อกแผ่นคอนกรีตไว้ไม่ให้เคลื่อนออกจากกัน โดยการวางแผ่นคอนกรีต(หวี) ให้มีระยะห่างกัน 2.00 ม. ส่วนบริเวณที่มีการต่อท่อให้วางแผ่นคอนกรีต(หวี) ห่างกัน 0.60 ม.

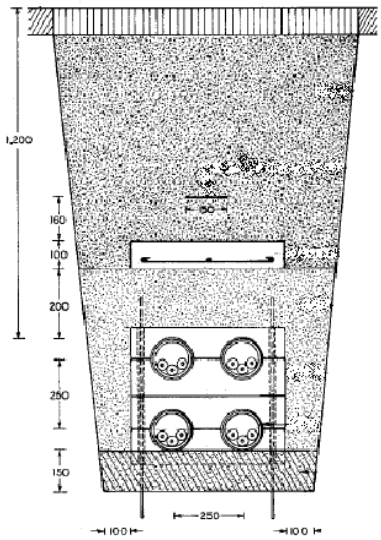
8) เมื่อได้ดำเนินการวางท่อครบจำนวนแล้วจะต้องนำแผ่นคอนกรีต(หวี) ชนิด 1 หน้ามาวางทับบนท่อชั้นสุดท้าย ให้ส่วนโค้งของแผ่นคอนกรีตสัมผัสส่วนโค้งของท่อ จึงทำการเสริมเหล็ก และอัดล็อคท่อให้แข็งแรง(ห้ามเสริมเหล็กระหว่างท่อ) ก่อนเทคอนกรีตต้องมีฝาครอบปลายท่อไว้ให้แน่นหนาทุกครั้ง

9) ก่อนเทคอนกรีตควรตรวจสอบการวางท่ออีกครั้งว่าอยู่ในสภาพพร้อมเทได้หรือไม่การเทคอนกรีตต้องเทด้วยความระมัดระวัง ขณะเทต้องกระทุ้งคอนกรีตตามช่องระหว่างท่อ ด้วยวัสดุที่ไม่มีคม และมีน้ำหนักเบาเพื่อช่วยให้คอนกรีตไหวตัวดีขึ้น ในกรณีที่มีน้ำต้องสูบน้ำออก เพื่อป้องกันน้ำปูนย้อนเข้าท่อ เมื่อเทเสร็จตบแต่งผิวหน้าให้เรียบได้ระดับ หลังจากเทคอนกรีตเสร็จ 24 ชม.จึงถอดแบบออก

10) ถ้ามีการใช้ Sheet Pile ก่อนการถอน Sheet Pile ต้องกลบทรายและฉีดน้ำให้ทรายแทรกตัวลงในช่องว่างให้ทั่วเสียก่อน แล้วจึงทำการถอน Sheet Pile เมื่อได้ทำการถอน Sheet Pile ออกหมดแล้วจะต้องถมทรายและฉีดน้ำพร้อมบดอัดให้แน่นที่สุด ก่อนถึงขั้นตอนการซ่อมถนน

2.2 การก่อสร้างแบบร้อยท่อฝังดิน (Semi-Direct Burial)





หน่วยเป็น มิลลิเมตร

รูปที่ 4.3 การก่อสร้างแบบร้อยท่อฝังดิน(Semi-Direct Burial)

การเตรียมและจัดหาวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง

1) ท่อ High Density Polyethylene (HDPE) มีลักษณะเป็นท่อสีดำมีความหนาตามมาตรฐาน กฟภ.

2) แผ่นคอนกรีตประกบท่อ หรือแผ่นคอนกรีต (หวี) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือแผ่นคอนกรีต 1 หน้าและแผ่นคอนกรีต 2 หน้า ต้องเป็นแผ่น คสล. มีความแข็งแกร่งและในส่วนโค้งของแผ่นคอนกรีตต้องเรียบ ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งนูนออกมาเกินจากรัศมีโค้ง ใช้รองรับระหว่างชั้นของท่อ HDPE ตรงหัวท้ายของแผ่นคอนกรีตต้องเจาะรูเพื่อเสียบเหล็กขนาด ∅ 15 มม. เพื่อยึดแผ่นคอนกรีต

3) เหล็กร้อยยึดแผ่นคอนกรีตประกบท่อ ต้องเป็นเหล็กที่มีขนาด ∅ เท่ากันตลอด ตรง ไม่คดงอ ตัดทอนเป็นท่อน ๆ แล้วแต่จำนวนของการวางท่อ

4) แผ่นคอนกรีตปิดหลังบนแนวท่อ ต้องเป็นแผ่นคอนกรีต คสล. มีขนาดความกว้างยาวตามมาตรฐาน

5) ข้อต่อ HDPE (HDPE COUPLING) มีลักษณะเป็นสีดำเหมือนตัวท่อ HDPE มี 2 ชนิด ชนิดที่ใช้กับการต่อตรง มีความหนา 8 มม. ยาว 300 มม. เป็นรูปทรงกระบอก เท่ากันตลอด และชนิดที่ใช้กับการต่อท่อโค้ง 90^0 RSC มีความหนา 8 มม. ยาว 150 มม.

6) End Bell มีลักษณะเป็นสีดำคล้ายปากแตร เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ Duct Window

7) หลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) ดังรูปที่ 4.2

8) เทปเตือนอันตราย (Warning Sign Strip) ดังรูปที่ 4.4

9) ทราย ต้องเป็นทรายสะอาด ไม่มีเศษพวกวัตถุอื่นเจือปน

รูปที่ 4.4 Warning Sign Strip

ขั้นตอนและการดำเนินการก่อสร้าง

1) งานสกัดถนน ก่อนอื่นต้องกำหนดและวางแผน แนวการสกัดและการขุดให้เป็นแนวตรงให้มากที่สุด

2) การขุดดิน ต้องขุดให้มีขนาดและความลึกได้ขนาดตามที่กำหนด ความลึก ต้องไม่น้อยกว่า 1.20 ม. จากระดับถนนถึงหลังท่อชั้นบนสุด ความกว้างของแนวร่อง ต้องห่างจากขอบของแผ่นคอนกรีต(หวี) ด้านละ10 ซม. ดังนั้นเมื่อวางท่อจำนวนชั้นมากๆ การขุดก็ต้องมีความลึกมากจึงต้องขุดในลักษณะทำมุมลาดไม่น้อยกว่า 85^0

3) พื้นที่ท้องร่อง ต้องได้ระดับมากที่สุด และต้องใส่ทรายอัดแน่นลงไปในแนวร่องหนา 15 ซม. ตลอดแนว

4) การวางแผ่นคอนกรีต(หวี)รองรับท่อ แผ่นคอนกรีตจะต้องไม่มีความคมหรือแง่มุมในส่วนโค้งของหวีบริเวณที่ผิวท่อจะต้องสัมผัส ต้องระมัดระวังแผ่นคอนกรีตให้ได้ระดับมากที่สุด

รูปที่ 4.5 การขุดดิน และการวางท่อ

5) การวางท่อ HDPE ท่อทุกท่อนที่นำมาใช้ต้องได้รับการตบแต่งลบมุมปลายท่อภายในทั้ง 2 ด้านเสียก่อน จำนวนชั้นของการวางท่อขึ้นกับการกำหนดในแบบ การวางแต่ละชั้นต้องวางบนแผ่นคอนกรีต(หวี) สองหน้าเสมอพร้อมเสียบเหล็กยึดแผ่นคอนกรีต ∅ 15 มม. เพื่อล็อกแผ่นคอนกรีตไว้ไม่ให้เคลื่อนออกจากกัน โดยการวางแผ่นคอนกรีต(หวี)ให้มีระยะห่างกัน 2.00 ม. ส่วนบริเวณที่มีการต่อท่อให้วางแผ่นคอนกรีต(หวี)ห่างกัน 60 ซม.

6) เมื่อได้ดำเนินการวางท่อครบจำนวนแล้วจะต้องนำแผ่นคอนกรีต(หวี) ชนิด 1 หน้ามาวางทับบนท่อชั้นสุดท้าย ให้ส่วนโค้งของแผ่นคอนกรีตสัมผัสส่วนโค้งของท่อ

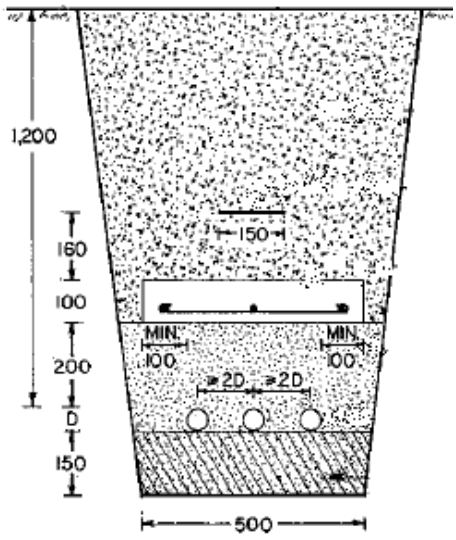
รูปที่ 4.6 การกลบทราย

7) การกลบต้องกลบด้วยทราย จากระยะก้นท่อถึงระดับเหนือผิวท่อชั้นบน 20 ซม. และปูด้วยแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กตลอดแนวท่อ และวางเทปเตือนอันตรายที่ระดับเหนือแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก 16 ซม. แล้วจึงกลบด้วยทรายหรือดินที่ขุดขึ้นมาก็ได้

8) ในบริเวณชุมชนหรือตัวเมืองให้ติดตั้งหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน ตรงจุดกึ่งกลางการวางสายเคเบิลใต้ดิน ทุกๆระยะ 10 ม. สำหรับทางตรง และทุกจุดหักมุม และจุดตัดกับสิ่งก่อสร้าง

9) ทำการซ่อมถนนให้มีสภาพเหมือนเดิม

2.3 การก่อสร้างแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial)



หน่วยเป็น มิลลิเมตร

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล

รูปที่ 4.7 การก่อสร้างแบบฝังดินโดยตรง(Direct Burial)

การเตรียมและจัดหาวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง

1) แผ่นคอนกรีตปิดหลังบนแนวเคเบิล ต้องเป็นแผ่นคอนกรีต คสล. มีขนาดความกว้างยาวตามมาตรฐาน

2) หลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Route Marker) ดังรูปที่ 4.2

3) เทปเตือนอันตราย (Warning Sign Strip) ดังรูปที่ 4.4

4) ทราย ต้องเป็นทรายสะอาด ไม่มีเศษพวกวัตถุอื่นเจือปน

ขั้นตอนและการดำเนินการก่อสร้าง

1) งานสกัดถนน ก่อนอื่นต้องกำหนดและวางแผน แนวการสกัดและการขุดให้เป็นแนวตรงให้มากที่สุด

2) การขุดดิน ต้องขุดให้มีขนาดและความลึกได้ขนาดตามที่กำหนด ความลึก ต้องไม่น้อยกว่า 1.20 ม. จากระดับถนนถึงสายเคเบิลใต้ดิน ความกว้างของแนวร่อง ต้องห่างจากขอบของสายเคเบิลใต้ดิน ด้านละ 10 ซม. การขุดต้องขุดในลักษณะทำมุมลาดไม่น้อยกว่า 85^0

รูปที่ 4.8 การสกัดถนน

3) พื้นที่ท้องร่อง ต้องได้ระดับมากที่สุด และต้องใส่ทรายอัดแน่นลงไปในแนวร่องหนา 15 ซม. ตลอดแนว ดังรูปที่ 4.9

4) การวางสายเคเบิลใต้ดินต้องวางให้สายแต่ละเส้นห่างกันไม่น้อยกว่า 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดิน

5) การกลบต้องกลบด้วยทราย จากระยะก้นสายเคเบิลใต้ดินถึงระดับเหนือสายเคเบิลใต้ดิน 20 ซม. และปูด้วยแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กตลอดแนวท่อ และวางเทปเตือนอันตรายที่ระดับเหนือแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก 16 ซม. แล้วจึงกลบด้วยทรายหรือดินที่ขุดขึ้นมาก็ได้

รูปที่ 4.9 การอัดทรายที่ก้นร่อง

6) ในบริเวณชุมชนหรือตัวเมืองให้ติดตั้งหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน ตรงจุดกึ่งกลางการวางสายเคเบิลใต้ดิน ทุกๆระยะ 10 ม. สำหรับทางตรง และทุกจุดหักมุม และจุดตัดกับสิ่งก่อสร้าง

7) ทำการซ่อมถนนให้มีสภาพเหมือนเดิม

รูปที่ 4.10 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินใต้ดินแบบฝังดินโดยตรง

3. การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินแบบไม่เปิดหน้าดิน

3.1 Horizontal Directional Drilling (HDD)

เป็นวิธีการวางท่อใต้ดินโดยที่ไม่ต้องขุดเปิดผิวดินตลอดความยาวของการวางท่อซึ่งเมื่อพิจารณาถึงเรื่องของความสะดวกคล่องตัวในการทำงานแล้ว ระบบ Directional Drills จะมีขีดความสามารถที่กว้างขวางกว่าวิธีการอื่นๆมาก ในขนาดของกลุ่มท่อที่ไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งความสามารถในการควบคุมความลึกและทิศทาง รวมถึงความสามารถเจาะลากท่อในแนวโค้งหลบหลีกอุปสรรคสิ่งกีดขวางได้ Directional Drills จึงเป็นวิธีการวางท่อใต้ดินที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่ง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1) Guide Drills หรือ Pilot Bore

เป็นการนำโดยที่หัวเจาะ จะมีตัวส่งสัญญาณความถี่ที่จะแจ้งตำแหน่งทิศทางและความลึกของหัวเจาะออกมา ซึ่งสัญญาณนี้จะมีตัวรับสัญญาณอีกตัวที่ใช้คู่กันคือ Spot D-Tex ในขณะที่ทำการเจาะความถี่ที่ถูกส่งออกมาจะตรวจรับได้โดยตัว Spot D-Tex ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถรู้ตำแหน่งทิศทางและความลึกของหัวเจาะ ในขณะปฏิบัติงานอยู่ จึงสามารถควบคุมการเจาะให้สู่เป้าหมายที่ต้องการได้ และที่ปลายของหัวเจาะจะมี Water Jet ที่จะช่วยในการเจาะให้ง่ายขึ้นในสภาพดินที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 ขั้นตอน Guide Drills หรือ Pilot Bore

2) Back Reamer

เป็นการขยายแนวเจาะให้ได้ขนาดตามต้องการที่จะทำการลากกลุ่มท่อ ในขั้นตอนนี้อาจต้องฉีดอัดสารละลายเบนโทไนท์ เพื่อให้แนวที่จะลากท่ออ่อนตัว แต่ยังคงสภาพเดิมไว้ ดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.12 การทำ Back Reamer

3) Pulling Pipe

เมื่อทำการคว้านขยายแนวได้จนเป็นที่แน่ใจว่า จะไม่มีอุปสรรคกีดขวางในแนวท่อที่จะลากแล้ว จึงทำการลากท่อ หรือกลุ่มท่อ ด้วยหลักการลากท่อเข้าไปแทนที่ดิน ชุดหัวลากจะขยายดินบริเวณผนังโพรงให้แน่นตัวจากการลากท่อเข้าไปแทนที่ดินนี้ จะมีดินที่ผสมสารละลายเบนโทไนท์ ไหลออกมาจากโพรงบ้างบางส่วน แต่วิธีการนี้จะไม่ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินจากการวางท่อแต่อย่างใด ดังรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.13 การทำ Pulling Pipe

เครื่องเจาะมีส่วนประกอบ 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1) Power Unit เป็นชุดเครื่องยนต์ต้นกำลังที่จะไปขับปั๊มไฮโดรลิคจ่ายไปยัง Mixing Unit และ Drill Track ดังรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.14 Power Unit

2) Mixing Unit จะใช้มอเตอร์ที่ได้รับกำลังหมุนจากชุด Power Unit ซึ่ง จะเป็นตัวปั่นน้ำกับเบนโทไนท์ให้ผสมกัน และอัดฉีดออกไปยัง Drill Track ดังรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 Mixing Unit

3) Drill Track เป็นชุดเครื่องเจาะและลากท่อซึ่งได้รับกำลังงานมาจาก Power Unit โดยตรง และจะได้รับสารละลายเบนโทไนท์ จาก Mixing Unit เพื่อจ่ายไปยังหัวคว้านขยายแนว ดังรูปที่ 4.16

รูปที่ 4.16 Drill Track

ซึ่งอุปกรณ์ในการเจาะนี้ จะมีส่วนประกอบอื่นอีกดังนี้

3.1) หัวเจาะ มีลักษณะแบ่งออกตามสภาพของดินซึ่งสามารถแบ่งออก เป็น 3 ชนิดคือ

3.1.1) Rocket Head

3.1.2) Sky Head

3.1.3) Flex Head

3.2) Reamer แบบตามลักษณะการใช้งาน 2 แบบ คือ

3.2.1) Bits Reamer เป็นหัวคว้านแบบโปร่งติดเขี้ยวคาร์ไบท์เพื่อคว้านขยายแนวและฉีดสารละลายเบนโทไนท์

3.2.2) Packer Reamer เป็นหัวคว้านแบบทึบทำหน้าที่ขยายแนวเจาะและอัดดินโดยรอบให้แน่นตัว และมีหัวฉีดเบนโทไนท์

3.3) ท่อเจาะ (Rod) เป็นท่อที่จะเพิ่มระยะทางการเจาะโดย Rod หนึ่งเท่าจะยาวประมาณ 3 ม. ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่จะส่งสารละลายเบนโทไนท์ไปยังหัว Reamer

3.4) Pulling Head เป็นตัวจับยึดท่อขณะทำการลากท่อ

วิธีการปฏิบัติงาน แบ่งออกเป็นขั้นตอนโดยคร่าว ๆ ดังนี้

1) การเตรียมพื้นที่ ทำการเคลียร์พื้นที่ให้เรียบร้อยสำหรับการวางเครื่องเจาะในการปฏิบัติงานเจาะได้ สะดวก

2) วางเครื่องเจาะ ตรวจเช็คความพร้อมของชุดเครื่องเจาะให้เรียบร้อยโดยเช็คทุกส่วนให้พร้อมสำหรับการปฏิบัติงาน ไม่ว่าจะเป็นชุด Power Unit สตาร์ทเครื่อง เช็คระดับน้ำมันไฮดรอลิคว่าเครื่องอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่

- Mixing Unit เช็คดูน้ำในถัง Mix มอเตอร์ทำงานดีหรือไม่

- Drills Track เช็คหัวเจาะ หัว Reamer Rod ตัวส่งสัญญาณ เช็คความพร้อมของเครื่องทั้งระบบ

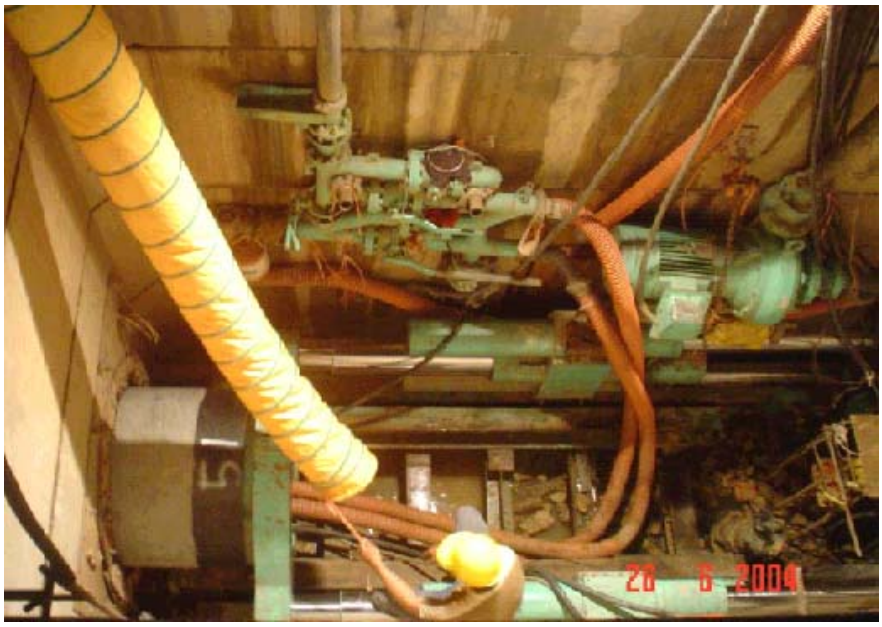
3) ทำการเจาะนำ Guide Drill ในขณะทำการเจาะ ต้องมีการเช็คตำแหน่งของหัวเจาะว่าอยู่ในตำแหน่งใดระดับความลึกและทิศทางเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถเช็คได้จากสัญญาณความถี่ที่ส่งออกมาจากตัวส่งสัญญาณที่อยู่ภายในหัวเจาะโดย Spot D-Tex เมื่อเจาะถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ ก็จะทำการเปลี่ยนหัวเจาะเป็น Reamer เพื่อคว้านขยายแนวต่อไป ดังรูปที่ 4.11

4) การคว้านขยายแนว Back Reamer เมื่อทำการเจาะนำเสร็จแล้ว ขั้นตอนในการ Reamer จะทำการ Ream ขยายแนวเจาะให้กว้างขึ้น โดยจะทำการคว้านขยายแนวให้ใหญ่กว่า กลุ่มท่อที่จะทำการลากในขั้นตอนนี้จะใช้ Reamer หลายขนาด โดยจะใช้ขนาดเล็กก่อน แล้วค่อยไล่มาจนถึงขนาดที่จะทำการลากท่อได้โดยขณะที่ทำการ Reamer นี้ จะอัดฉีดสารละลายเบนโทไนท์ เพื่อช่วยในการหล่อลื่นและสร้างผนังป้องกันดินพัง ภายในโพรงที่เจาะไว้ ดังรูปที่ 4.12

หมายเหตุ การคว้านขยายแนวจะทำการใส่ Reamer เข้าไปแทนที่หัวเจาะ แล้วจึงให้เครื่องเจาะหมุนดึงตัว Reamer กลับมาที่เครื่องเจาะ

5) Pulling Pipes การลากท่อ เมื่อทำการคว้านขยายแนวเจาะ จนได้ขนาดที่จะทำการลากท่อได้แล้ว ก็จะทำการลากท่อโดยเอากลุ่มท่อที่จะลากมาสวมเข้ากับหัวลาก แล้วนำมาต่อกับ Rod โดยการลากท่อนี้จะทำการคล้ายกับทำการคว้านขยายแนว แต่จะมีตัวต่อตัดการหมุน (Swivel) มาต่อเข้ากับ Rod แล้วต่อเข้ากับหัวลาก เพื่อป้องกันไม่ให้กลุ่มท่อหมุนตามขณะทำการลากท่อ ดังรูปที่ 4.13

3.2 Pipe Jacking



อุปกรณ์ที่ใช้ในการดันท่อ

1) Jacking Frame
2) Directional Drill Machine
3) Launch seal
4) Laser
5) Theodolite

ขั้นตอนในการติดตั้ง Jacking Frame

1) สำรวจแนวการดันท่อ ต้องให้แนวการดันท่อตรงกับปากบ่อดัน (Jacking Shaft)

2) ตั้งค่า Slope ที่กระบอก Laser และนำกระบอก Laser ไปติดตั้งที่บ่อ Jacking (อยู่ด้านหลัง Back Plate ของ Jacking Frame)

3) ขึงสายเอ็นปากบ่อ Jacking ตามแนวการดันท่อ และหย่อนลูกดิ่งลงในบ่อ Jacking ทั้งด้านหน้าและด้านหลังตามแนวการดันท่อ

4) เปิดแสง Laser (Laser Beam) ผ่านสายเอ็นทั้งสอง โดยปรับให้กึ่งกลางของลำแสง Laser อยู่บนสายเอ็น

5) นำ Jacking Frame วางลงในบ่อ Jacking ปรับ Jacking Frame ให้อยู่กึ่งกลางของการดันท่อ โดยยึดลูกดิ่งเป็นหลัก

6) ปรับระดับ Jacking Frame ให้ได้ตามค่า Slope ของ Laser Beam

7) เมื่อ Set up Jacking Frame แล้วเสร็จให้ค้ำยัน Jacking Frame ไว้เพื่อไม่ให้ขยับ

ขั้นตอนการดันท่อ

1) เจาะผนัง Jacking Frame โดยขนาดรูเจาะเท่ากับความกว้างของหัว Directional Drill โดยตำแหน่งที่เจาะต้องตรงกับตำแหน่งที่ Laser Beam ปรากฏอยู่ผนัง Shaft

2) ประกอบหัว Directional Drill เข้ากับ Jacking Frame

3) เริ่มดันหัวเจาะโดย Operator ต้องสังเกตที่กล้อง Theodolite ให้สายใยกลางตรงกับ Target ที่ยึดติดอยู่ปลายหัวเจาะ Directional Drill

4) เมื่อหัวเจาะชนบ่อรับ (Receive) แล้ว จึงสกัดผนังบ่อ Receive เพื่อให้หัว Directional Drill ผ่านเข้าไปในบ่อ Receive ได้

5) ประกอบท่อน Adapter หลังท่อ Directional Drill ท่อนสุดท้าย สำหรับดันท่อจริง

6) สกัดผนังบ่อ Jacking และบ่อ Receive ให้มีความกว้างเท่ากับท่อจริง และติดตั้ง Launch Seal ที่ผนังบ่อ Jacking

4. การก่อสร้างบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยวิธีการจมบ่อ

วิธีการก่อสร้างบ่อพักด้วยวิธีการจมบ่อ (Caisson Sinking) ได้เริ่มต้นเข้ามีบทบาทในด้านการก่อสร้างบ่อพักใต้ดินสำหรับสาธารณูปโภคต่าง ๆ ด้วยเหตุผลต่อไปนี้

1) เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งก่อสร้างข้างเคียงเกิดการทรุดตัว หรือเคลื่อนตัวจนเกิดการแตกร้าวหรือแตกรั่วเสียหายได้ เช่น อาคาร ถนน ท่อต่าง ๆ ฯลฯ

2) เพื่อให้การก่อสร้างบ่อพักใต้ดินเหล่านี้แล้วเสร็จรวดเร็วขึ้น โดยลดระยะเวลาการกีดขวางจากจราจร หรือการสัญจรลงไป

4.1 การจมบ่อพัก

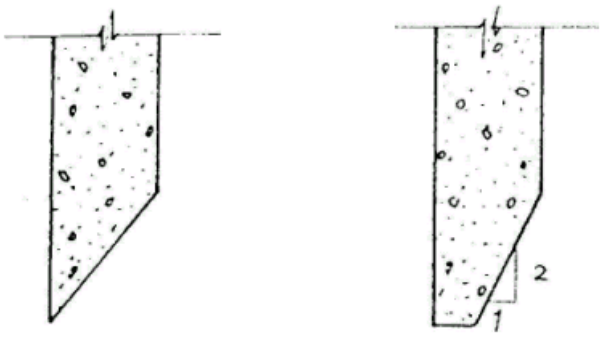
บ่อพักที่สามารถจมลงไปจนถึงระดับความลึกที่ต้องการได้ โดยอาศัยน้ำหนักของบ่อพักเองเป็นหลักนั้นจะช่วยให้การจมบ่อพักเกิดความสะดวกและประหยัดค่าก่อสร้างในการจมบ่อพักจะมีสิ่งต้านทานต่อการจม คือ

1) แรงแบกทาน (Bearing Force) ของดินที่ใต้ขอบล่างของผนังบ่อพัก

2) แรงเสียดทาน (Wall Friction) ระหว่างรอบผนังบ่อพักกับดินโดยรอบ

3) สิ่งกีดขวางข้างใต้ขอบล่างของผนัง เช่น ก้อนหิน ท่อนไม้ ท่อใต้ดิน ฯลฯ

วิธีการลดแรงแบกทานนี้ โดยปกติจะทำขอบล่างของผนังบ่อพักเป็นรูป Cutting Edge ดังรูปที่ 4.17 นอกจากนี้ Cutting Edge ยังช่วยในการจมบ่อพักด้วยดังนี้



รูปที่ 4.17 Cutting Edge

1) เมื่อลดพื้นที่ขอบล่างของบ่อพักลง แรงกดของน้ำหนักบ่อพักต่อดินข้างใต้จะเพิ่มสูงขึ้น จึงมีส่วนช่วยให้บ่อพักจมลงง่ายขึ้น

2) การขุดดินบริเวณขอบล่างของผนังบ่อพักจะทำได้สะดวกขึ้น สามารถช่วยให้จมบ่อพักได้รวดเร็วขึ้น

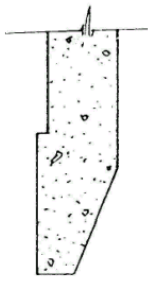
3) หากมีสิ่งกีดขวางที่ใต้ขอบล่างของผนังบ่อพักในขณะจม ก็สามารถตัด สกัด หรือกำจัดออกได้สะดวกขึ้น

4) กรณีที่บ่อพักทรุดเอียงเนื่องจากด้านใดด้านหนึ่งเป็นดินอ่อนกว่า ก็สามารถใช้เสาหรือวัสดุอื่นสอดใต้ขอบล่างผนังบ่อพักหนุนชั่วคราวไว้ได้สะดวก หากว่าเสามีความยาวและแข็งแรงเพียงพอและสอดค้ำไปถึงดินข้างนอกที่แข็งมากขึ้น

สำหรับวิธีการลดแรงเสียดทานระหว่างผนังบ่อพักกับดินโดยรอบนั้นมีหลายๆวิธีการด้วยกัน เช่น

1) เหนือ Cutting Edge ขึ้นมา ให้ทำผนังผิวนอกบ่อพักเว้าเข้ามาดังรูปที่ 4.18 กรณีนี้จะใช้ได้ผลดีกับการจมบ่อพักในชั้นดินที่แน่นหรืออยู่ตัวเพราะดินเหล่านี้จะไหลหรือเคลื่อนตัว มาเกาะจับผนังบ่อพักช้า

2) ใช้น้ำฉีดรอบนอกผนังบ่อพักเพื่อช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผนังบ่อพักกับดินเหนียวโดยรอบ หากเป็นดินทรายและบ่อพักที่จมลึกให้ใช้น้ำผสมเบ็นไทไนท์ช่วยหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานแทน



รูปที่ 4.18 การทำผนังผิวนอกบ่อพักเว้าเข้ามา

ขั้นตอนการก่อสร้าง

1) ก่อนการขนย้ายต้องตรวจสอบ Manhole ที่ต้องการ เช่น การเจาะหน้าต่างและติดอุปกรณ์ภายในบ่อให้ถูกต้อง หากไม่ครบควรดำเนินการเสียก่อน

2) ก่อนการขนย้ายจมบ่อทุกครั้ง ต้องทำการขุดสำรวจและกด Sheet Pile โดยรอบเสียก่อน การขุดสำรวจควรขุดในความลึกที่ระดับ 1.50-2.00 เมตร และกลบทรายบดอัดแน่น ปิดแผ่นเหล็กทิ้งไว้ เพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคต่อการจราจร

3) เมื่อถึงกำหนดที่จะขนย้ายบ่อ Manhole ลงแล้ว ให้ดำเนินการขุดทรายออกและรีบยกบ่อ Manhole ลงให้ถูกต้องตามทิศทางของหน้าต่าง(ห้ามไม่ให้ขุดดินจนได้ระดับก่อนยกบ่อลง)

รูปที่ 4. 19 การวางบ่อ Manhole

4) หลังจากดำเนินการยกบ่อ Manhole ลงแล้วให้ดำเนินการขุดดินในส่วนที่เหลือจนได้ความลึกจากระดับถนนถึงหลังฝาบ่อ Manhole ต้องไม่น้อยกว่า 0.40 เมตร ในการขุดดินจมบ่อพัก จะต้องระมัดระวังควบคุมไม่ให้บ่อพักเกิดเอียงขึ้นมา เพราะเมื่อเกิดเอียงขึ้นมาแล้ว จะแก้ไขให้กลับตั้งตรงได้ยากมาก การป้องกันไม่ให้บ่อพักเกิดเอียง ก็จะต้องควบคุมการขุดดินแต่ละด้านให้สมดุลย์กันและควรขุดดินให้บ่อพักค่อย ๆ จมลงทีละน้อยแทนที่จะขุดครั้งละลึก ๆ เพื่อเร่งจมลงเร็ว ๆ เพราะจะแก้ไขและป้องกันการเอียงได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ ก็จะต้องมีการ Survey ตรวจสอบระดับของบ่อพักแต่ละด้านด้วย หรือจะใช้การตรวจสอบด้วยลูกดิ่งก็ได้ สำหรับการจมบ่อพักในชั้นดินอ่อน ควรขุดดินในส่วนตรงกลางบ่อพักก่อน และปล่อยให้เนินดินทั้งสองข้างค่อย ๆ เบียดตัวเข้ามาตรงกลาง แล้วค่อยขุดขยายจากตรงกลางบ่อพักออกไป ส่วนการจมบ่อพักในชั้นดินแน่นหรือแข็ง สามารถขุดดินที่ได้ Cutting Edge ได้โดยให้การขุดสมมาตรกับด้านตรงข้ามเสมอ

รูปที่ 4. 20 การขุดดินออกเพื่อจมบ่อ

5) เมื่อดำเนินการขุดดินจนได้ความลึกตามกำหนด ให้กดเสาเข็มเพื่อทำฐานให้ครบจำนวนของบ่อ Manhole แต่ละแบบให้สูงกว่าระดับไม่น้อยกว่า 20 ซม. เสร็จแล้วแต่งและขนเลนส่วนเกินออก และลงทรายหยาบหนาไม่น้อยกว่า 10 ซม. จึงเทคอนกรีตหยาบหนาไม่น้อยกว่า 0.05 ม. และทุบหัวเสาเข็มส่วนเกินออก ปล่อยเหล็กเสริมเสาเข็มไว้ในคอนกรีตพื้นบ่อ

6) ตบแต่งเหล็กตีนบ่อ Manhole ทำความสะอาด และผูกเหล็กเสริมพื้นบ่อตามรูปแบบของบ่อ Manhole แต่ละแบบ ฝัง Ground Rod (ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยให้มีค่าความต้านทานดินไม่เกิน 5 โอห์ม หรือในพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสูงๆยอมให้ค่าความต้านทานดินไม่เกิน 25 โอห์ม) เสร็จแล้วจึงเทคอนกรีตพื้นบ่อ Manhole ตามความหนาที่ระบุไว้แต่ละแบบดังรูปที่ 4.21

7) ผนังบ่อ Manhole ชนิดสำเร็จรูปทั่วไปมักจะเจาะรูไว้เพื่อสะดวกในการขนย้ายจึงจำเป็นต้องทำการอุดและตบแต่งเสียก่อนให้เรียบร้อย

รูปที่ 4.21 การเทคอนกรีตที่พื้นบ่อ Manhole

8) ก่อนการปิดฝาบ่อ Manhole ชนิดสำเร็จรูป จะต้องทำความสะอาดบริเวณผิวพื้นโดยรอบบนผนังปากบ่อ Manhole ให้สะอาด และลาดน้ำปูนให้ทั่วทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที จึงเอาปูนทรายอัตราส่วน 1:2 ผสมน้ำยากันซึม คลุกเคล้าให้เข้ากันดีแล้ว วางทับบนขอบปากบ่อให้มีความหนาประมาณ 5 ซม. แล้วจึงดำเนินการปิดฝาบ่อสำเร็จรูปวางทับบนปูนทรายดังกล่าว และต้องแต่งแนวระหว่างฝาบ่อและปูนทรายให้เรียบร้อย

รูปที่ 4.22 การติดตั้งฝาบ่อ Manhole

9) การติดตั้งคอบ่อ Manhole ต้องตั้งให้ตรงกับช่องบนฝาบ่อคอนกรีต และทำการหนุนปรับระดับให้ได้ระดับมากที่สุด พร้อมทั้งติดเหล็กขั้นบันได (Manhole Entrance Step) ผูกเหล็กเสริมรอบคอบ่อเสร็จแล้วติดตั้งแบบทั้งภายนอกและภายใน ก่อนเทคอนกรีต

10) ก่อนการถอน Sheet Pile ต้องกลบทรายและฉีดน้ำให้ทรายแทรกตัวลงในช่องว่างให้ทั่วเสียก่อน แล้วจึงทำการถอน Sheet Pile เมื่อได้ทำการถอน Sheet Pile ออกหมดแล้ว จะต้องถมทรายและฉีดน้ำพร้อมบดอัดให้แน่นที่สุด ก่อนถึงขั้นตอนการซ่อมถนน

11) เมื่อได้ทำการก่อสร้างบ่อ Manhole เสร็จแล้ว จะต้องทำการล้างบ่อให้สะอาด และเก็บงานส่วนที่เหลือให้เรียบร้อย

12) สำหรับแบบ Manhole ที่จะก่อสร้างด้วยวิธีการจมบ่อ จะต้องทำการออกแบบโครงสร้างให้สอดคล้องกับการดำเนินการด้วย

บทที่ 5
การทดสอบ

1. การทดสอบสายเคเบิลใต้ดิน

มีมาตรฐานระดับชาติมากมายที่ใช้กับสายเคเบิล สำหรับมาตรฐานที่ กฟภ. ใช้อ้างอิงในการกำหนดสเปค คือ มาตรฐาน IEC โดยสายเคเบิลแรงดันระดับปานกลาง (22 kV-33 kV) ใช้ IEC 60502 ส่วนสายเคเบิลแรงสูง (115 kV) ใช้มาตรฐาน IEC 60840 ทั้งนี้ในส่วนของตัวนำเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60228

หนึ่งในข้อกำหนดที่ไม่มีระบุในมาตรฐาน IEC สำหรับสายเคเบิลแรงดันปานกลางคือปรากฏการณ์ 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 ในการพัฒนาการทดสอบการเร่งอายุการใช้งานของเคเบิลเป็นเรื่องค่อนข้างยาก เพราะมันเกี่ยวพันกับเรื่องของวัสดุที่ใช้มีความแตกต่างหลากหลาย ขบวนการผลิตและสภาพแวดล้อมในการติดตั้งใช้งาน ผลที่ตามมาทำให้มีความแตกต่างของ Water treeing มาก

การทดสอบ water treeing ที่สำคัญๆ ที่ใช้กันคือ

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

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินที่โรงงานผู้ผลิตและการทดสอบที่สถานที่ติดตั้ง

1.1 การทดสอบสายเคเบิลใต้ดินที่ดำเนินการโดยโรงงานผู้ผลิต

1.1.1 การทดสอบเคเบิลแรงดันปานกลาง 22-33 kV (IEC 60502)

พิกัดแรงดันที่ใช้ทดสอบสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC 60502 มีดังนี้

U_o(kV)	3.6	6	8	12	18
U(kV)	6	10	5	20	30
U_m(kV)	7.2	12	17.5	24	36

U_o = แรงดันเฟสเทียบกับกราว์ด

U = แรงดันเฟส-เฟส

U_m = แรงดันสูงสุดของระบบ

1.) การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Tests) เป็นการทดสอบที่ทำก่อนนำผลิตภัณฑ์สู่ท้องตลาด เพื่อแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเป็นที่พอใจ ซึ่งต้องการการทดสอบที่สมบูรณ์เป็นหลักฐานเพียงครั้งเดียว โดยไม่ต้องทดสอบซ้ำ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในวัสดุประกอบของสายเคเบิลใต้ดินหรือการออกแบบหรือกระบวนการผลิต ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

1.1) Partial discharge test (PD Test) การทดสอบปฏิบัติตาม IEC 60885-2 ก่อนทำการทดสอบให้ทำการ Calibrate เครื่องมือวัด PD ด้วยPD Calibrator 5 pC ให้เรียบร้อยก่อน ป้อนแรงดันทดสอบเพิ่มถึง 2 U_0 แล้วลดลงมาอยู่ที่ 1.73U_o จึงวัดค่า PD ในการทดสอบต้องให้แน่ใจว่าไม่ทำการทดสอบในขณะที่มี PD Background (harmonic หรือ Noise ในระบบ) ในระดับสูงโดยปกติจะทำในระหว่างการทำ Routine test เมื่อผลิตเสร็จ **เกณฑ์ตัดสินต้องมีค่า PD ไม่เกิน 5 pC**

1.2) Bending test เป็นการทดสอบจำลองสภาพการติดตั้งใช้งาน โดยใช้ตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินยาวอย่างน้อย 10 เมตรมาดัดโค้งงอรอบทรงกระบอก ที่อุณหภูมิห้องทดสอบอย่างน้อย 1 รอบทรงกระบอก หลังจากนั้นคลายออกแล้วดัดโค้งงอรอบทรงกระบอก ในทิศทางตรงกันข้าม นับเป็น 1

ครั้ง จะต้องดัดโค้งงอทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำตัวอย่างที่ทดสอบความโค้งงอแล้ว มาวัดการปล่อยประจุบางส่วน (Partial discharge) เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอกที่ใช้ทดสอบ ต้องไม่น้อยกว่า

- 25(d+D) + 5 % สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่มีตัวป้องกันน้ำโดยรอบเป็นตะกั่ว ตะกั่วเจือโลหะลูกฟูก หรือห่อด้วยเทปโลหะบางตลอดความยาว
- 20(d+D) + 5 % สำหรับสายเคเบิลใต้ดินประเภทอื่นๆ

เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่วัดได้ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดินที่วัดได้ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

1.4) Heating cycle test ใช้ Current transformer ป้อนกระแสเข้าตัวนำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของตัวนำอยู่ระหว่าง 95-100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงสุดท้าย (ชั่วโมงที่ 7-8) อุณหภูมิต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยหลังจากป้อนกระแสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วตัดกระแสออก ปล่อยให้ตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินเย็นลงอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ทำอย่างนี้ 20 รอบ (ไม่มีการป้อนแรงดันในขณะที่ป้อนกระแส และไม่มีการกำหนดช่วงเวลาและอุณหภูมิการปล่อยให้เย็นตัวของสายเคเบิลใต้ดินหลังจากทำครบ 20 รอบ ซึ่งต่างจากใน IEC 60840 หรือ มาตรฐานอื่นๆที่มีการกำหนด) หลังจากนั้นให้ทำการทดสอบ Partial discharge test อีกครั้ง (การทดสอบ Heating cycle test 1000 hours ด้วยแรงดัน 2.5 U_0 12 h on/12 h off 30 รอบ จะให้ผลที่ดีกว่าจะสามารถขจัดสายเคเบิลใต้ดินที่มีคุณภาพต่ำได้:คำแนะนำจาก KEMA)

1.5) Impulse voltage test, followed by power frequency voltage test

เป็นการทดสอบแรงดัน Impulse ที่กำหนด ทางบวกและทางลบอย่างละ 10 ครั้ง (125 kV และ 170 kV สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 22 kV และ 33 kV ตามลำดับ) ในขณะที่สายเคเบิลใต้ดินมีอุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส สายเคเบิลใต้ดินต้องไม่มีการ breakdown ระหว่างการทดสอบ แล้วทำการทดสอบ voltage test ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะต้องปล่อยสายเคเบิลใต้ดินเย็นลงโดยทิ้งไว้อย่างน้อย 3 ชั่วโมงหลังจากทดสอบ Impulse แล้วป้อน A.C. Voltage ที่ $3.5U_0$ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อตรวจสอบการ Breakdown ภายหลังจากทดสอบ Impulse voltage test

1.6) Voltage test for 4 hours เป็นการป้อนแรงดันทดสอบในเวลานานๆ จะต้องกระทำในทุกงวดการผลิตโดยตัวอย่างที่ทดสอบต้องมีความยาวอย่างต่ำ 5 ม. ค่อยๆ เพิ่มแรงดัน

ทดสอบจนถึงค่า 4 U_0 คงแรงดันไว้ 4 ชั่วโมง **ต้องไม่เกิดการ Breakdown** การทดสอบนี้จะทำให้อายุของสายเคเบิลใต้ดินสั้นลงกว่าที่คาดการณ์ไว้ ถ้าทำกับสายเคเบิลใต้ดินทั้งเส้น

1.7) Resistivity of semi-conducting screens ทำการวัดค่าความต้านทานของ Conductor Screen และ Insulation Screenที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ทั้งก่อนและหลังเร่งอายุโดยการนำตัวอย่างใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที แล้วจึงวัดขนาดของชิ้นตัวอย่างและคำนวณตามวิธีที่มาตรฐานกำหนด เพื่อหาค่าสภาพต้านทาน

ค่า resistivity ของ conductor screen ต้องมีค่าน้อยกว่า 1000 Ω-m

ค่า resistivity ของ insulation screen ต้องมีค่าน้อยกว่า 500 Ω-m

(ค่า Ω-m มาจาก $\Omega m^2/m$)

1.8) Measurement of dimensions ทำการวัดค่าความหนาของชั้นฉนวนและส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างที่ทดสอบเป็นสายเคเบิลใต้ดินปกติที่ไม่ได้มีการปรับเพิ่มเพื่อให้ผ่านการทดสอบ และในระหว่างการตรวจวัดมิติ ขนาดต่างๆ จะต้องตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำด้วย (Raw Material)

1.9) Test for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing. เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฉนวน (Tensile strength & Elongation ,at break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

1.10) Test for determining the mechanical properties of non – metallic sheath before and after ageing. เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของ non – metallic sheath (Tensile strength & Elongation ,at break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

1.11) Water absorption test on insulation การทดสอบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจะดูว่าฉนวนจะมีการดูดซึมน้ำหรือไม่ โดยนำตัวอย่างฉนวนมาชั่งหาน้ำหนักอย่างละเอียดก่อน แล้วจุ่มลงในน้ำร้อนในระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นนำมาวัดน้ำหนักของฉนวนอีกครั้ง ซึ่งจะรวมการดูดซึมของน้ำไว้แล้ว โดยปกติผลการทดสอบจะได้ค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้มาก

2.) การทดสอบประจำ (Routine Tests) เป็นการทดสอบที่ทำโดยผู้ผลิตบนความยาวแต่ละความยาวของสายเคเบิลใต้ดินที่ผลิตแต่ละเส้น เพื่อตรวจสอบว่าตลอดความยาวของสายเคเบิลใต้ดินทั้งหมดที่ผลิตแต่ละเส้นเป็นไปตามข้อกำหนดRoutine tests

2.1) Measurement of the conductor resistance การทดสอบนี้กระทำทุกๆ ความยาวที่ผลิต ทำการวัดเมื่อสายเคเบิลใต้ดินมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม โดยจะต้องนำสาย

เคเบิลใต้ดินที่จะวัดไปวางในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ค่าความต้านทานตัวนำที่วัดได้ต้องทำการแปรผันไปที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความยาว 1 กิโลเมตร การแปรค่าความต้านทานเป็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำได้จากสูตร

R_{20} = R_t x254.5/(234.5+t) x 1000/L หน่วย Ω/km for Cu

R_{20} = R_t x248/(228+t) x 1000/L หน่วย Ω/km for Al

โดยที่ R_t = ความต้านทานของสายเคเบิลใต้ดินยาว L เมตรที่อุณหภูมิ t หน่วย Ω/km

t = อุณหภูมิของสายเคเบิลใต้ดินขณะที่วัด หน่วย เซลเซียส

L = ความยาวสายเคเบิลใต้ดินที่ทำการวัด หน่วย เมตร

ค่า Correction factor สำหรับปรับอุณหภูมิ ดูเพิ่มเติมใน IEC 60228

2.2) Partial discharge test การทดสอบจะทำเหมือนกันทุกประการกับการทดสอบใน Type test การวัดจะวัดตลอดความยาวสาย **ค่า PD สูงสุดต้องไม่เกิน 10 pC** แต่ค่านี้ค่อนข้างจะสูงไป โดยปกติเคเบิลที่วัด PD แล้วมีค่าสูงๆ จะต้องสงสัยตั้งข้อสังเกตไว้ก่อน (ข้อกำหนดเพิ่มเติมคือถ้ามีค่า PD > 1 pc จะไม่ยอมรับ : คำแนะนำจาก KEMA)

2.3) Voltage test จะทำทุกๆ ความยาวสายทุกรีล โดยค่อยๆ เพิ่มป้อนแรงดันระหว่างตัวนำและสาย Shield จนถึงค่า 3.5 U_0 แล้วคงแรงดันไว้ **เป็นเวลา 5 นาที ต้องไม่เกิดการ Breakdown**

3.) การทดสอบตัวอย่าง (Sample Tests) เป็นการทดสอบที่ทำกับตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินในแต่ละแบบและงวดการผลิต

3.1) Check of construction and dimensions ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างและขนาดมิติของตัวอย่างเทียบกับค่าที่กำหนดอย่างน้อยหนึ่งตัวอย่างต่อการผลิตแต่ละงวด จำนวนที่ตรวจสอบไม่เกิน 10% ของความยาว

ความยาวสายทั้งหมด (เมตร)	ความยาวสายต่อรีล (เมตร)	10 % (เมตร)	จำนวนรีลที่สุ่มเลือก
6000	500	600	2
3000	500	300	1

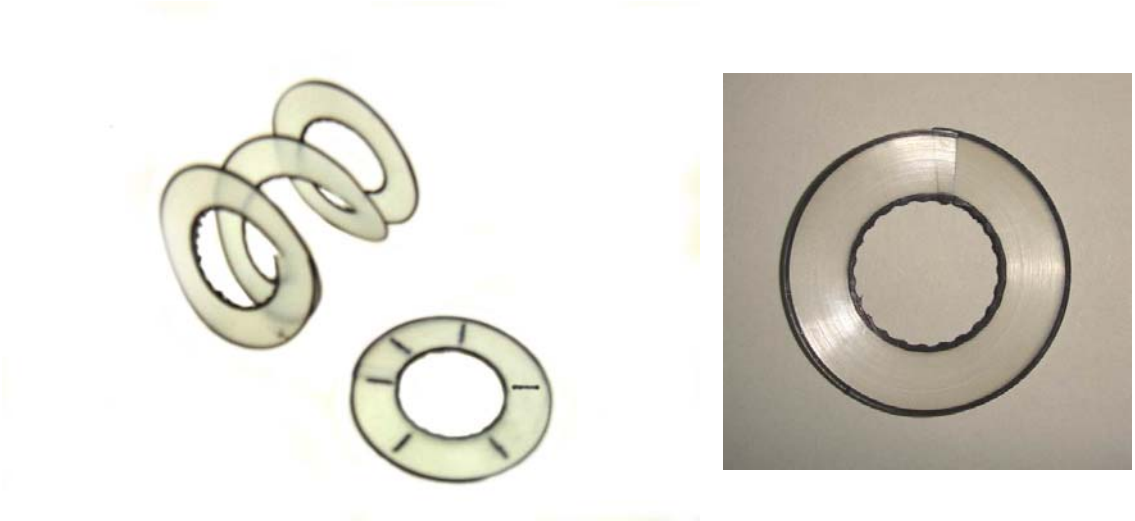
3.2) Voltage test for 4 hours เป็นการป้อนแรงดันทดสอบในเวลานานๆ จะต้องกระทำในทุกงวดการผลิตโดยตัวอย่างทดสอบต้องมีความยาวอย่างต่ำ 5 ม. ค่อยๆ เพิ่มแรงดันทดสอบจนถึงค่า 4 U_0 คงแรงดันไว้ 4 ชั่วโมง ต้องไม่เกิดการ Breakdown การทดสอบนี้จะทำให้อายุของสายเคเบิลใต้ดินสั้นลงกว่าที่คาดการณ์ไว้ ถ้าทำกับสายเคเบิลใต้ดินทั้งเส้น

3.3) Hot-set test การทดสอบนี้เพื่อตรวจสอบการทำ Cross-linking ว่าดีพอหรือไม่ หากวัสดุมีการ Cross-linking ที่ดีก็จะมีคุณสมบัติทนอุณหภูมิใช้งานที่สูง โดยการนำตัวอย่างจากบริเวณชั้นใน กลาง และ นอก ของฉนวน นำมาถ่วงน้ำหนัก 20 N/cm^2 และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 200 ± 3 องศาเซลเซียส ถ้าวัสดุมีการ Cross-linking ไม่ดีจะมีค่า elongation เกินกว่าที่กำหนด (เช่น ตัวอย่างอาจขาด) โดยปกติส่วนของฉนวนที่มี Cross-linking ต่ำจะเป็นส่วนชั้นในที่ใกล้ตัวนำที่สุด อย่างไรก็ตามหากในระหว่างการผลิตมีการให้ความร้อนกับตัวนำ ฉนวนส่วนกลางจะมี Cross-linking ต่ำ

Repetition of tests ในกรณีที่ตัวอย่างที่ทดสอบแล้วไม่ผ่านจะต้องสุ่มเพิ่มเป็น 2 เท่า จากตัวอย่างที่ผลิตในงวดเดียวกัน และจะต้องส่งผลการทดสอบเช่นเดียวกับในรายการที่ทดสอบไม่ผ่าน ถ้าตัวอย่างที่สุ่มเพิ่มเติมผ่านการทดสอบ จึงจะยอมรับ แต่ถ้า 1 หรือ 2 ตัวอย่างในจำนวนที่สุ่มเพิ่มเติมนี้ไม่ผ่านการทดสอบถือว่าไม่ผ่านการทดสอบ อย่างไรก็ตามการยอมรับหรือไม่ขึ้นอยู่กับการเจรจากันระหว่างผู้ผลิตและลูกค้า โดยปกติเพื่อให้การทดสอบยอมรับกันทั้งสองฝ่าย จะมีการสุ่มตัวอย่างเพิ่มมากกว่า 2 ตัวอย่าง

1.1.2 การทดสอบเคเบิลแรงสูง 115 kV (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 5.1 แสดงการตรวจสอบความหนาของฉนวน 6 ตำแหน่ง

พิกัดแรงดันที่ใช้ทดสอบสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC 60840 มีดังนี้

U_o(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

U_o = แรงดันเฟสเทียบกับกราว์ด

U = แรงดันเฟส-เฟส

U_m = แรงดันสูงสุดของระบบ

1.) Type Test จุดประสงค์ของการทดสอบเช่นเดียวกับสายเคเบิลแรงดันปานกลาง

การทดสอบทางไฟฟ้ากับสายเคเบิลใต้ดิน (Electrical on completed cable)

1.1) Bending test followed by Partial discharge test ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง ยกเว้นการวัดค่า Partial discharge ให้ค่อยๆ เพิ่มแรงดันไฟฟ้าทดสอบจนกระทั่งเท่ากับ 1.75 U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV เท่ากับ 112 kV) คงแรงดันไว้เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นค่อยๆ ลดแรงดันไฟฟ้าทดสอบจนเหลือ 1.5 U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV เท่ากับ 96 kV) จึงวัดค่า Partial discharge ต้องไม่เกิน 5 pC.

1.2) Tan δ Measurement เป็นการวัดค่า dielectric losses ของสายเคเบิลใต้ดิน โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิของตัวนำสูงกว่าพิกัดอุณหภูมิสูงสุด 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่ฉนวนเป็น XLPE ทำการทดสอบที่อุณหภูมิที่ตัวนำระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV เท่ากับ 64 kV) แล้ววัดค่าตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า ถ้าในการทดสอบมีการประกอบส่วนประกอบเช่น หัวเคเบิล ด้วย จะต้องแยกส่วนของส่วนประกอบออกโดยการทำ " Soft interruption" โดยการแยก metallic screen ที่ระยะประมาณ 30 ซม. จากส่วนประกอบ ส่วนของ semiconductive layer ซึ่งมีค่าความต้านทานสูงจะทำให้เกิดการแยกส่วนของสายเคเบิลใต้ดินออกจากส่วนประกอบ

1.3) Heating cycle voltage test followed by Partial discharge test เป็นการทดสอบจำลองสภาพสภาวะใช้งาน โดยดัดตัวอย่างให้เป็นรูปตัวยู มีเส้นผ่านศูนย์กลางเช่นเดียวกับการทดสอบความดัดโค้ง และทำให้ร้อนด้วยวิธีการที่เหมาะสมให้อุณหภูมิตัวนำระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนกับตัวอย่างอย่างน้อย 8 ชั่วโมง โดยให้อุณหภูมิตัวนำระหว่าง 95 ถึง 100 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 2 ชั่งโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงตามธรรมชาติอย่างน้อย 16 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ ต้องทำจำนวน 20 รอบ ระหว่างทดสอบจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ $2U_0$ (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV เท่ากับ 128 kV) หลังจากครบรอบสุดท้ายนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าการปล่อยประจุบางส่วนที่อุณหภูมิห้องทดสอบ หรือหากยังไม่ทดสอบในขั้นตอนนี้ให้ทดสอบภายหลังจากทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์

1.4) Inpulse voltage test followed by a power frequency voltage test ใช้ตัวอย่างเดียวกับการทดสอบความทนทานไฟฟ้าขณะเกิดวัฏจักรการให้ความร้อน ทำให้อุณหภูมิตัวนำอยู่ระหว่าง 95 – 100 องศาเซลเซียส ทดสอบแรงดันอิมพัลส์ 550 kV รูปคลื่นบวก 10 ครั้ง และรูปคลื่น ลบ

10 ครั้ง หลังจากนั้นนำไปทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 2.5 U_0 (สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน 115 kV เท่ากับ 160 kV) เป็นเวลา 15 นาที การทดสอบสามารถดำเนินการได้ขณะปล่อยให้สายเคเบิลใต้ดินเย็นลงโดยธรรมชาติหรือที่อุณหภูมิห้องทดสอบ

การทดสอบกับส่วนต่างๆของสายเคเบิลใต้ดิน (Non electrical type tests on cable components)

1.5) Conductor examination and check of dimensions ตรวจสอบตัวนำ มิติขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของสายเคเบิลใต้ดิน

1.6) Resistivity of semi-conductive layers ทำการหาค่าสภาพต้านทานของ Conductor Screen และ Insulation Screen โดยใช้วิธีเดียวกับการหาค่าของสายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง

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

1.8) Tests for determining the mechanical properties of non – metallic sheath before and after ageing เป็นการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของ non – metallic sheath (Tensile strength & Elongation ,at break) ก่อนและหลังการเร่งอายุใช้งาน

1.9) 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

1.10) Pressure test at high temperature on sheath ทดสอบการเปลี่ยนรูปขณะมีแรงกดที่อุณหภูมิสูงของเปลือก

1.11) Hot set test ทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง

1.12) Carbon black content of PE sheath นำชิ้นส่วนของเปลือกมาเผาอย่างสมบูรณ์จนเหลือแต่ Carbon black นำไปชั่งน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วนก่อนเผา การทดสอบนี้เพื่อตรวจสอบว่ามี Carbon black ผสมอยู่เพียงพอหรือไม่ซึ่งจะเป็นการแสดงความทนต่อ UV

radiation เมื่อมีส่วนผสมของ Carbon black มากขึ้นวัสดุจะมีความเป็น Semi-conductive ห้องปฏิบัติการสมัยใหม่ทั่วไปจะมีเครื่องมืออัตโนมัติที่สามารถหาค่าได้

1.13) Shrinkage test for XLPE insulations ทดสอบการหดตัวของฉนวน โดยเตรียมตัวอย่างฉนวนจากสายเคเบิลใต้ดิน มาทำเครื่องหมายและวัดระยะ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง วัดระยะเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังอบที่ปล่อยให้เย็น การทดสอบนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากหากสายเคเบิลใต้ดินมีการหดตัวในอุปกรณ์ประกอบ เช่นหลังจากเกิดการลัดวงจรผ่านสายเคเบิลใต้ดิน หากการหดตัวมีค่าสูงจะทำให้เกิดโพรงอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดการ Breakdown ได้ ผู้ผลิตอุปกรณ์ประกอบบางรายไม่ได้มีวิธีเผื่อเหตุการณ์ดังกล่าวไว้

1.14) Water penetration test ทดสอบการซึมของน้ำ โดยปอกตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินซึ่งยาว 3 เมตรที่ตำแหน่งกึ่งกลางโดยรอบกว้างประมาณ 50 มิลลิเมตรจนถึงชั้น Insulation Screen นำไปติดตั้งกับเครื่องมือเพื่อให้น้ำเข้าตรงรอยที่ปอก ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วทำให้ตัวนำร้อนและปล่อยให้เย็นตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดเป็นวัฏจักร รวม 10 รอบ แล้วตรวจว่ามีน้ำซึมออกที่ปล่อยทั้งสองด้านของตัวอย่างหรือไม่

2.) Routine Tests จุดประสงค์ของการทดสอบเช่นเดียวกับสายเคเบิลแรงดันปานกลาง

2.1) Partial discharge test ทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบ type test

2.2) Voltage test ป้อน A.C. voltage ระหว่างตัวนำกับสาย Shield โดยค่อยๆ เพิ่มแรงดันจนถึงค่า 2 U_0 คงค่าไว้นาน 30 นาที ต้องไม่เกิดการ Breakdown

2.3) Electrical test on non – metallic sheath ตามมาตรฐานเป็นข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและลูกค้า

3.) Sample Tests จุดประสงค์ของการทดสอบเช่นเดียวกับสายเคเบิลแรงดันปานกลาง

3.1) Conductor examination and check of dimensions ตรวจสอบตัวนำ มิติขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของสายเคเบิลใต้ดิน

3.2) Measurement of electrical resistance of conductor ทดสอบเช่นเดียวกับสายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง

3.3) Hot set test ทดสอบเช่นเดียวกับสายเคเบิลใต้ดินแรงดันปานกลาง

3.4) Measurement of capacitance วัดค่า Capacitance ระหว่างตัวนำและสาย Shield

การตรวจสอบสายเคเบิลใต้ดิน ก่อนการขนส่ง

โดยปกติหลังจากที่ทดสอบประจำแล้ว ก่อนการขนส่งสายเคเบิลใต้ดินไปส่งมอบจะมีการตรวจประเมิน คุณภาพของสายเคเบิลใต้ดิน 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

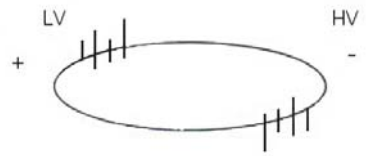
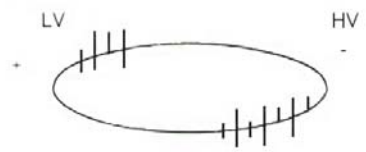
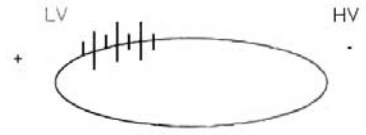
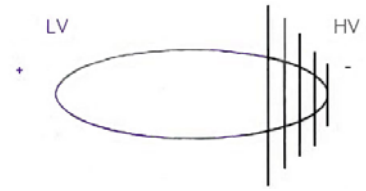
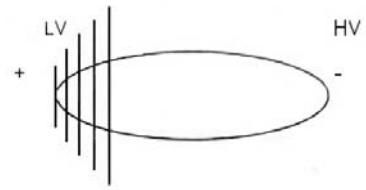
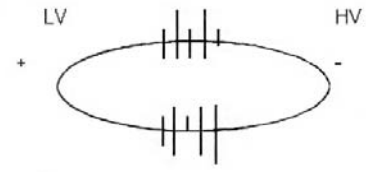
สำหรับจำนวนการสุ่มเลือกตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินเพื่อทำการทดสอบ ทาง KEMA ได้จัดทำตารางไว้ดังต่อไปนี้

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.		

Inspection Programme Factory Acceptance Test XLPE insulated MV-XLPE Cables in accordance with IEC 60502 - 2		
Electrical tests	**Clause**	**Method of control**
Measurement of resistance of conductor	16.2	V 10%
Partial Discharge Test	16.3	V 25%
Voltage Test for 5 minutes	16.4	V 25%
Voltage test for 4 hours	17.9	W 1
Non Electrical tests		
Check of construction and dimensions	17.4 / 17.8	V 10%
Hot set test	17.10	W 1
Other tests / checks		
Visual inspection of all drums	-	W 100%
Check of drum numbers	-	W 100%
Check with clients specification	-	W 100%

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.

ตัวอย่างลักษณะการเกิด Discharge ระหว่างการทดสอบ Partial discharge

รูปแบบบนจอแสดงผล	ลักษณะของ Discharge	สาเหตุการเกิด Discharge
	เกิด Discharge ที่ตำแหน่งทั้ง HV และ LV ทั้งสองด้านเท่าๆ กัน และคงอยู่ตลอดไม่ลดลงหรือหายไป	เกิด Discharge เนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอม (Voids) ในเนื้อของฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน
	เกิด Discharge จำนวนมากด้าน HV และเกิดด้าน LV จำนวนน้อย	เกิด Discharge ระหว่างตัวนำกับขั้วไฟฟ้าด้าน HV เนื่องจากการต่อขั้ว HV กับตัวนำไม่ดี
	เกิด Discharge จำนวนมากด้าน LV และเกิดด้าน HV จำนวนน้อย	เกิด Discharge ระหว่างตัวนำกับขั้วที่มีศักย์เป็น Ground เนื่องจากการต่อ Ground ไม่ดี
	เกิด Discharge จำนวนมากที่ปลายยอดด้าน HV	เกิด Corona discharge รอบๆ จุด Sharp point ที่ขั้ว HV
	เกิด Discharge จำนวนมากที่ปลายยอดด้าน LV	เกิด Corona discharge รอบๆ จุด Sharp point ที่ขั้ว Ground
	เกิดสัญญาน Impulse ที่ไม่สม่ำเสมอรอบๆ จุด Zero point	สัญญานรบกวนเนื่องจากฝุ่นหรือสิ่งสกปรก

ที่มา : ISO Division, HV Lab , PPC Supervisor, Phelph Dodge Thailand

1.2 การทดสอบสายเคเบิลใต้ดินที่สถานที่ติดตั้ง (Field Test)

การทดสอบสายเคเบิลใต้ดินและอุปกรณ์ประกอบนั้นโดยจุดประสงค์ทั่วไปก็คือการตรวจดูว่า

1. สายเคเบิลใต้ดินมีการเสื่อมสภาพลงหรือไม่หลังจากติดตั้งใช้งานมาหลายปี
2. เป็นการทดสอบเพื่อความมั่นใจหลังการติดตั้งและหลังการต่อสาย

โดยปกติทั่วไปการทดสอบในกรณีบำรุงรักษาจะใช้แรงดันทดสอบที่ 60 % ของแรงดันที่ทดสอบที่โรงงานผู้ผลิต การทดสอบสายเคเบิลใต้ดินด้วยแรงดันกระแสตรงจะทำการวัดความต้านทานฉนวนและตามด้วยการทดสอบ DC High Potential (DC Hi-Pot Test) การทดสอบ DC High Potential จะเป็นการทดสอบค่ากระแสรั่วไหล(Leakage Current)กับแรงดัน การทดสอบกระแสรั่วไหลกับเวลา วิธีการที่เหมาะสมในการทดสอบคือจะเริ่มด้วยการวัดค่าความต้านทานฉนวนตามด้วย DC High Potentialและทดสอบวัดค่าความต้านทานฉนวนอีกครั้งเพื่อความมั่นใจว่าสายเคเบิลใต้ดินจะไม่เกิดความเสียหายระหว่างการทดสอบ DC High Potential

การวัดความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Measurement _Test)

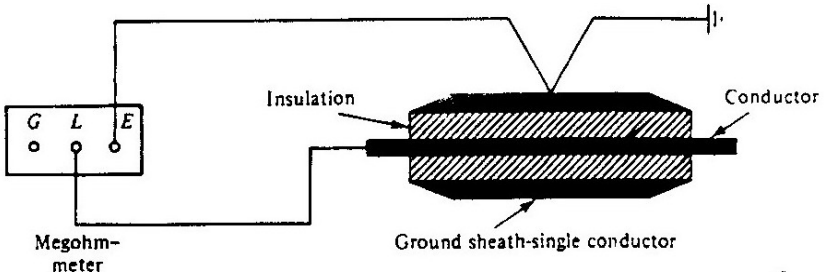
การวัดความต้านทานของฉนวนจะวัดโดยเครื่องมือวัดที่เรารู้จักกันในชื่อ เมกกะโอหม์มิเตอร์ (MEGGER) ค่าที่วัดได้จะอยู่ในหน่วย เมกกะโอหม์(MΩ) นี่เป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ทำลายเพื่อที่จะหาสภาพความเป็นฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน เพื่อตรวจสอบดูว่ามีสิ่งปนเปื้อนที่มาจากความชื้น ฝุ่นหรือคาร์บอนหรือไม่ ค่าแรงดันที่ใช้วัดสำหรับสายเคเบิลใต้ดินระดับแรงดันต่างๆมีดังต่อไปนี้

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

อ้างอิงจาก Electrical Power Equipment Maintenance and Testing

ขั้นตอนในการวัดความต้านทานฉนวนโดยใช้เมกกะโอหม์มิเตอร์ (MEGGER)

1. ปลดสายเคเบิลใต้ดินจากอุปกรณ์อื่นๆเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการจ่ายไฟอยู่ (energize)
2. ทำการดีสชาร์จสายเคเบิลใต้ดินโดยการต่อลงดินทั้งก่อนทดสอบและหลังทดสอบ
3. ต่อสายตัวนำที่จะทดสอบเข้ากับขั้ว L ของเครื่องวัด
4. ต่อสายชีลด์เข้ากับขั้ว E และต่อลงดิน



รูปที่ 5.2 แสดง การวัดความต้านทานฉนวนโดยใช้เมกกะโอหม์มิเตอร์ (MEGGER)

ปกติค่าความต้านทานฉนวนที่วัดระหว่างตัวนำกับกราว์ดต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 MΩ สำหรับสายแรงต่ำ(600 V)และไม่ต่ำกว่า 2000 MΩ สำหรับสายแรงดันปานกลางและแรงดันสูง(22,33และ 115 kV)

การทดสอบ DC High Potential

เป็นการทดสอบ Dielectric Strength ของฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งสามารถแบ่งระดับขนาดของ ที่ใช้ทดสอบสายเคเบิลใต้ดินได้ดังนี้

Uo/U(Um) (kV)	Installation Test[1] 4Uo	Maintenance Test [2] 75% of installation test
3.6/6(7.2)	14.4	10.8
6/10(12)	24	18
8.7/15(17.5)	34.8	26.1
12/20(24)	48	36
18/30(36)	72	54

Uo/U(Um) (kV)	Installation Test[1] 3Uo	Maintenance Test [2] 75% of installation test
36/60-69(36)	108	81
64/110-115(64)	192	144

[1] Installation Test Voltage หมายถึงการทดสอบภายหลังจากที่ได้ติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ป้อนแรงดันที่กำหนดเป็นเวลา 15 นาที)

[2] Maintenance Test Voltage หมายถึงการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินหลังจากที่สายเคเบิลใต้ดินได้จ่ายไฟผ่านการใช้งานไปแล้วและต้องการทดสอบ (ป้อนแรงดันที่กำหนดเป็นเวลา 15 นาที)

ตารางค่าทดสอบดังกล่าวอ้างอิงมาจาก IEC60502-2 ,IEC60840 และ IEEE std 400-1980 ดังนี้

1. IEC60502-2 สำหรับสายเคเบิลใต้ดินระดับแรงดัน 1 kV-30 kV ระบุว่าการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินที่ติดตั้งใหม่ใช้ DC Test = 4Uo

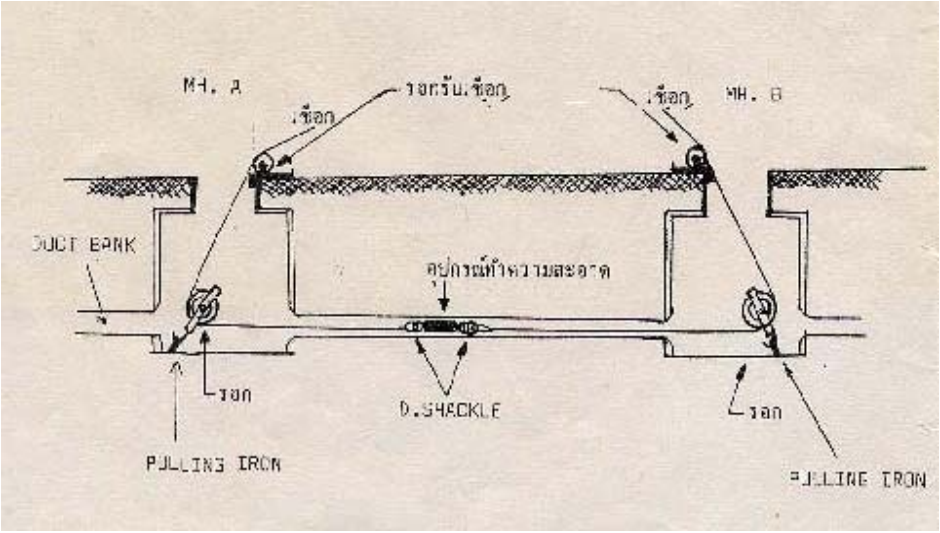
2. IEC60840 สำหรับสายเคเบิลใต้ดินระดับแรงดัน 30 kV-150 kV ระบุว่าการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินที่ติดตั้งใหม่ใช้ DC Test = 3Uo

3. IEEE std 400-1980 กำหนดให้ Maintenance Test Voltage = 75 % of installation test voltage

รูปที่ 5.3 แสดง DC Hi-Pot Test Set และ Megohmmeter

2. การทดสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

ก่อนที่จะทำการร้อยสายเคเบิลใต้ดินต้องตรวจสอบท่อร้อยสายก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าท่อไม่ตันและไม่มีสิ่งกีดขวางซึ่งอาจจะทำให้สายเคเบิลใต้ดิน ชำรุดเสียหายเป็นอุปสรรคในการร้อยสาย โดยปกติแล้วท่อสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ที่เป็นท่อ โพลีเอทธีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ตรงช่วงรอยต่อระหว่างท่อร้อยสายที่นำมาต่อกันเพื่อให้ได้ความยาวตามที่ต้องการนั้น หากต่อกันไม่สนิทหรือเหลื่อมล้ำกันอยู่จะทำให้น้ำปูน หรือเศษทรายและดิน เข้าไปในท่อได้ ซึ่งทำให้เกิดการติดขัดหรือชำรุดเสียหายต่อสายเคเบิลใต้ดิน และการฝังท่อที่มีระยะทางยาวมากนั้นอาจจะทำให้ท่อคดเคี้ยวไปมา ไม่ได้แนวตรง ก็เป็นอุปสรรคอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือและวิธีการสำหรับตรวจสอบเพื่อที่จะได้ทราบว่าท่อไหนใช้งานได้หรือไม่ได้ เพื่อที่จะได้ทำการวางสายเคเบิลใต้ดิน ต่อไป



รูปที่ 5.4 การทำความสะอาด และทดสอบท่อร้อยสาย

1.) ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพท่อร้อยสายไฟฟ้าก่อนการก่อสร้าง

การทดสอบจากการสุ่มตรวจที่หน้างาน (Site Test)

- สุ่มตัวอย่างจากท่อที่นำส่งเข้ามาที่โครงการก่อสร้าง
- ทำการตรวจสอบสภาพทั่วไปด้วยสายตาเช่น สี ขนาด แถบแสดงการผลิตอยู่ในสภาพที่ดี
- วัดขนาด ความหนา เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (ID , OD)
- ใช้ลูก Dummy เพื่อทดสอบสภาพของผนังท่อร้อยสายด้านใน

2.) ขั้นตอนการตรวจสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

เมื่อได้ทำการก่อสร้างแนวท่อร้อยสายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนซ่อมแซมผิวถนน ผู้รับจ้าง หรือ กฟภ. (ดำเนินการเอง) จะต้องดำเนินการล้างทำความสะอาดและทดสอบท่อร้อยสายทุกท่อ ซึ่งมีขั้นตอนวิธีการดังนี้

2.1) ตรวจสอบและล้างทำความสะอาดท่อร้อยสาย ให้ดำเนินการดังนี้

2.1.1) ใช้ถุงพลาสติกผูกสี่มุมเป็นร่มใส่เข้าไปในท่อร้อยสาย ตามด้วยเชือกไนล่อนขนาด ϕ 1/8 นิ้ว (ควรเป็นเชือกในล่อนที่แช่อยู่ในน้ำนานๆ ได้) แล้วฉีดน้ำจากเครื่องสูบน้ำเพื่อดันร่มให้โผล่อีกด้านหนึ่ง

2.1.2) ร้อยเชือกไนล่อนขนาด ϕ 1/2 นิ้ว หรือโตกว่าเข้าในท่อร้อยสาย โดยผูกเข้ากับเชือกไนล่อน ขนาด ϕ 1/8 นิ้ว ตามข้อ 2.1.1 แล้วดึงร้อยในท่อ

2.1.3) ทำความสะอาดท่อร้อยสายด้วยผ้ากระสอบหรือ Flexible Cleaner โดยผูกเข้ากับเชือกไนล่อนขนาด ϕ 1/2 นิ้ว ตามข้อ 2.1.2) ลากผ่านตลอดแนวท่อร้อยสาย พร้อมทั้งฉีดน้ำล้างทำความสะอาดตามไปด้วย กรณีลากไม่ผ่านให้ทำการตรวจสอบหาสาเหตุและต้องทำการแก้ไขจนผ้ากระสอบสามารถลากผ่านได้ สาเหตุส่วนใหญ่ที่ผ้ากระสอบไม่สามารถลากผ่านได้ มีดังนี้

รูปที่ 5.5 Flexible Cleaner

- ท่อร้อยสายตีบเกิดจากการดึงท่อลอดแบบ HDD ใช้แรงดึงมากอาจใช้ลูก dummy ตั้งแต่ขนาดที่ลากผ่านและเพิ่มขนาดไปจนขนาดใหญ่
- ท่อร้อยสายขาดมักเกิดตรงรอยต่อระหว่างบ่อพัก กับ duct bank หรือ duct กับ pipe jacking ต้องเปิดหน้าดินซ่อม
- รอยต่อท่อยุบตัวบริเวณปากท่อที่ต่อกันและอาจมีน้ำปูนไหลเข้าท่อต้องเปิดหน้าดินซ่อม
- ท่อตันจากการไม่ปิดอุดท่อในระหว่างรอการร้อยสายมีเศษวัสดุเข้าท่อ

2.1.4) ถ้าไม่สามารถดำเนินการตามข้อ 2.1.1 ได้ สามารถใช้ Rod Duct (PVC) สอดเพื่อร้อยเชือกก็ได้ ทั้งนี้ในกรณีนี้ก่อนการก่อสร้างจะต้องตรวจสอบ พิจารณาขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง วางท่อ เทคอนกรีต ไม่ให้มีเศษหินดินปูนทราย ฯลฯ เข้าในท่อร้อยสายโดยเด็ดขาด

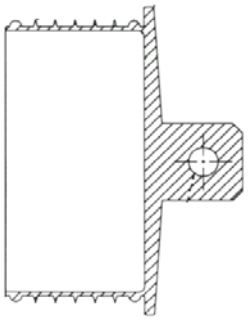
รูปที่ 5.6 Rod Duct (PVC)

2.1.5)ให้ทดสอบท่อร้อยสายโดยใช้ Dummy ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 12 มม. ลากผ่านท่อร้อยสาย โดยผูกเข้ากับเชือกไนล่อนขนาด ϕ 1/2 นิ้ว ตามข้อ 2.1.2 และให้ใช้แรงงานคนหรือแรงดึงไม่เกิน 50 kg ถ้าไม่สามารถลาก Dummy ผ่านได้ตลอดหรือใช้แรงดึงสูงเกิน 50 kg จะต้องตรวจสอบและแก้ไขจนสามารถลาก Dummy ผ่านไปได้

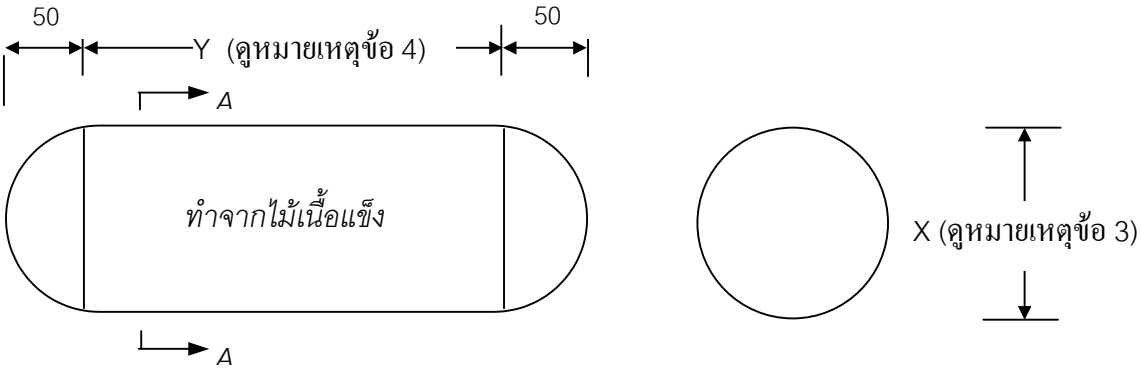
2.1.6) ทดสอบท่อ Elbow 90^0 ขึ้นเสา Riser Pole ให้ใช้ Dummy ขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 12 มม. ลากทดสอบเฉพาะท่อ Elbow ที่จุดขึ้นเสา Riser Pole เท่านั้น

2.1.7) กรณีทดสอบไม่ผ่านตามข้อ 2.1.5 และ 2.1.6 ให้ใช้สายเคเบิลใต้ดินขนาด 3-1/C,400 mm^2 XLPE, 22 kV ความยาว 5 เมตร ลากเข้าไปในทุกท่อร้อยสายที่ทำการซ่อมเพื่อตรวจสอบสภาพผิวเปลือกสาย โดยเปลือกสายที่ทดสอบต้องไม่มีรอยถลอก รอยขูดหรือชำรุด

2.1.8) เมื่อดำเนินการเสร็จและผ่านการทดสอบแล้ว จะต้องทำการอุดท่อร้อยสายทุกท่อทันที โดยใช้ปลั๊กอุดตามแบบมาตรฐาน กฟภ. และขนาดต้องให้เหมาะสมกับท่อร้อยสายชนิดนั้นๆ พร้อมทั้งร้อยเชือกไนล่อนขนาด ϕ 1/8 นิ้ว ไว้ด้วยทุกท่อร้อยสาย



รูปที่ 5.7 Plastic Plug



Dummy for Testing Duct

SECTION A - A

รูปที่ 5.8 ลักษณะ Dummy ที่ใช้ในการทดสอบ

หมายเหตุ

1. Dummy ใช้สำหรับทดสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินระบบ 22,33 & 115 kV
2. Dummy ทำจากไม้เนื้อแข็ง (มิติเป็นมิลลิเมตร)
3. เส้นผ่านศูนย์กลางของลูก Dummy หาจากนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสายที่จะทดสอบลบด้วย 12 มม.
4. การทดสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินให้ใช้ลูก Dummy ขนาดความยาว 400 มม. ส่วนการทดสอบท่อร้อยสายช่วงขึ้นเสา Riser Pole ให้ใช้ลูก Dummy ขนาดความยาว 200 มม.

2.2) ตรวจสอบการปิดปลายท่อร้อยสายใต้ดินส่วนที่โผล่จากพื้นดิน (ที่เสาต้น Riser Pole) จุดประสงค์เพื่อให้มีการปิดปลายท่อร้อยสายใต้ดินส่วนที่โผล่พ้นจากพื้นดิน(เสาต้น Riser Pole) ซึ่งยังไม่ได้ติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน ป้องกันไม่ให้มีการทิ้งสิ่งของลงไปในท่อ ซึ่งจะทำให้ท่ออุดตันและลากสายเคเบิลใต้ดิน ในภายหลังได้ยาก ฝาปิดจะต้องทำจากพลาสติกโดยมีส่วนผสมของ Carbon Black เพื่อให้ทนต่อแสงแดดได้ดี (รังสี ultra violet) หรือทำจาก Neoprene Rubber ซึ่งเป็นยางชนิดที่ทนต่อแสงแดดได้ดี สำหรับการติดตั้งให้ดำเนินการตามแบบมาตรฐานเลขที่ SA1-015/31022 (การประกอบเลขที่ 7232)

บทที่ 6
ข้อแนะนำในการควบคุมงานก่อสร้าง

1. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน งานคอนกรีตและเหล็กเสริม

สิ่งที่ควรให้ความสำคัญในงานคอนกรีตและเหล็กเสริมคือ

1) คอนกรีตจะต้องมีกำลังรับแรงอัดต่ำสุด 210 กก./ซม.^{2} สำหรับงานก่อสร้าง Manhole และค่ากำลังรับแรงอัด 180 กก. /ซม.^{2} สำหรับงานก่อสร้าง Duct Bank

2) คอนกรีตจะต้องมีค่าการยุบตัว 10 ± 2.5 ซม.

3) ห้ามเติมน้ำเพื่อชดเชยการแข็งตัวของคอนกรีตก่อนการเท

4) ห้ามใช้ปูนซีเมนต์ที่จับตัวกลายเป็นก้อน

5) คอนกรีตที่ใช้ต้องผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีต ห้ามผสมคอนกรีตด้วยมือ

6) คอนกรีตผสมเสร็จที่ไม่ได้ผสมสารหน่วงการก่อตัวเมื่อออกมาจากเครื่องผสม จะต้องเทคอนกรีตให้แล้วเสร็จภายใน 30 นาที ส่วนคอนกรีตผสมเสร็จที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวเมื่อออกมาจากเครื่องผสม จะต้องเทคอนกรีตให้แล้วเสร็จภายใน 120 นาที

7) การเตรียมแบบหล่อต้องทำความสะอาดและทำให้ผิวแบบหล่อเปียกทั่วก่อนเทคอนกรีต

8) เหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตต้องเป็นเหล็กกลม หรือเหล็กข้ออ้อยตามแบบที่กำหนด ห้ามใช้เหล็กรีดซ้ำ (re-rolled bars)

9) ผิวของเหล็กเส้นต้องปราศจากสนิม น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ

10) จุดต่อทาบของเหล็กเสริมต้องมีความยาวทาบตามข้อกำหนด ว.ส.ท.

2. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน การก่อสร้างบ่อพัก (Manhole)

สิ่งที่ควรให้ความสำคัญในงานก่อสร้างบ่อพักคือ

1) ก่อนการขนย้ายบ่อพัก (Manhole) ต้องตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องติดตั้ง เช่น การเจาะหน้าต่างและติดอุปกรณ์ภายในบ่อพัก หากไม่ครบควรดำเนินการเสียก่อน

2) ในการจมบ่อนั้นห้ามไม่ให้ขุดดินจนได้ระดับ (ระดับก้นบ่อพักตามแบบ) ก่อนยกบ่อลง

3) วัดค่าความต้านทานดินไม่เกิน 5 โอห์ม หรือในพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสูงๆ ยอมให้ค่าความต้านทานดินไม่เกิน 25 โอห์ม

4) ก่อนการถอน Sheet Pile ต้องกลบทรายและฉีดน้ำให้ทรายแทรกตัวลงในช่องว่างให้ทั่วเสียก่อน แล้วจึงทำการถอน Sheet Pile เมื่อได้ทำการถอน Sheet Pile ออกหมดแล้ว จะต้องถมทรายและฉีดน้ำพร้อมบดอัดให้แน่นที่สุด

3. ข้อแนะนำในการควบคุมงาน การก่อสร้าง Duct Bank

สิ่งที่ควรให้ความสำคัญในงานก่อสร้าง Duct Bank คือ

1) ไม่ควรใช้ท่อร้อยสายประเภทท่อลูกฟูก (Corrugated) ก่อสร้าง Duct Bank

2) ต้องเทคอนกรีตหยาบรองพื้นเสมอ และเหล็กเส้นจะต้องเป็นเหล็กที่สะอาดไม่มีคราบน้ำมันหรือดินเลนจับเปื้อน โดยต้องวางเหล็กบนคอนกรีตหยาบ

3) Duct Bank ต้องมีความลาดเอียง (Slope) ไม่น้อยกว่า 1:200

4) ความโค้งของ Duct Bank ต้องโค้งอย่างสม่ำเสมอโดยไม่หักเป็นมุม

5) ห้ามเสริมเหล็กระหว่างท่อร้อยสาย

6) ในการหล่อ Window ในบ่อพัก ห้ามถอดเหล็กเสริมออกจาก Window Space (โดยให้ตัดและดัดงอเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในผนังบ่อพักบริเวณ Window Space มาเชื่อมกับเหล็กเส้นกลมตันในแนวราบของ Duct Bank เพื่อกันการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันระหว่างบ่อพักกับ Duct Bank)

4. ข้อแนะนำในการควบคุมงานการก่อสร้างแบบร้อยท่อฝังดิน (Semi-Direct Burial)

สิ่งที่ควรให้ความสำคัญในงานก่อสร้างท่อร้อยท่อฝังดิน คือ

1) การวางแผ่นคอนกรีต(หวี) ให้มีระยะห่างกัน 2.00 ม. ส่วนบริเวณที่มีการต่อท่อให้วางแผ่นคอนกรีต(หวี) ห่างกัน 60 ซม.

2) ต้องปูแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กตลอดแนวท่อ และวางเทปเตือนอันตรายที่ระดับเหนือแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3) ในบริเวณชุมชนหรือตัวเมืองให้ติดตั้งหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน

5. ข้อแนะนำในการควบคุมงานการก่อสร้างแบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial)

สิ่งที่ควรให้ความสำคัญในงานก่อสร้างแบบฝังดินโดยตรง คือ

1) พื้นที่ท้องร่อง ต้องได้ระดับมากที่สุด และต้องใส่ทรายอัดแน่นลงไปในแนวร่องหนา 15 ซม. ตลอดแนว โดยทรายต้องไม่มีสิ่งเจือปนใดๆ เช่น เศษหิน เศษแก้ว หรือสิ่งที่จะเป็นอันตรายต่อสายเคเบิลใต้ดิน

2) การวางสายเคเบิลใต้ดินต้องวางให้สายแต่ละเส้นห่างกันไม่น้อยกว่า 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลใต้ดิน

3) ต้องปูแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กตลอดแนวสาย และวางเทปเตือนอันตรายที่ระดับเหนือแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

4) ในบริเวณชุมชนหรือตัวเมืองให้ติดตั้งหลักบอกแนวสายเคเบิลใต้ดิน

6. การเตรียมงานสำหรับการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน (Cable Pulling Preparation)

ถึงแม้ว่าในการปฏิบัติงานจะมีเครื่องมือและเทคนิคมากมายหลายอย่าง ซึ่งช่วยในการวางสายเคเบิลใต้ดินได้มาก แต่ถ้าหากปราศจากการเตรียมการที่ดีพอ การปฏิบัติงานก็อาจจะไม่สามารถดำเนินงานได้สะดวกและมีอุปสรรค ปัญหามากมายย่อมมีโอกาสเกิดขึ้นไม่ว่าจะเกิดขึ้นกับสายเคเบิลใต้ดิน ผู้ปฏิบัติงาน และผู้สัญจรผ่านไปมา การเตรียมการที่ดีย่อมหมายถึงการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ลดการใช้เครื่องมือที่เกินความจำเป็น และสามารถนำเครื่องมือไปใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงลดอันตรายที่อาจจะเกิดได้อีกด้วย นอกจากนี้แล้วลักษณะของงานติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินที่อยู่ในตัวเมือง ซึ่งมีปัญหาการจราจรติดขัด จะต้องมีการเตรียมการ วางแผน และประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งหมดที่กล่าวนี้ในการเตรียมการจึงควรที่จะไปสำรวจตำแหน่งสถานที่จะปฏิบัติงานก่อนทุกครั้งที่จะปฏิบัติงาน

6.1 การตรวจสอบท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

ก่อนที่จะทำการร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ต้องตรวจสอบท่อร้อยสายก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าท่อไม่ตันและไม่มีสิ่งกีดขวางซึ่งอาจจะทำให้สายเคเบิลใต้ดิน ชำรุดเสียหายเป็นอุปสรรคในการร้อยสาย โดยปกติแล้วท่อสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ที่เป็นท่อโพลีเอทธีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ตรงช่วงรอยต่อระหว่างท่อร้อยสายที่นำมาต่อกันเพื่อให้ได้ความยาวตามที่ต้องการนั้น หากต่อกันไม่สนิทหรือเหลื่อมล้ำกันอยู่จะทำให้น้ำปูน หรือเศษทรายและดิน เข้าไปในท่อได้ ซึ่งทำให้เกิดการติดขัดหรือชำรุดเสียหายต่อสายเคเบิลใต้ดิน และการฝังท่อที่มีระยะทางยาวมากนั้นอาจจะทำให้ท่อคดเคี้ยวไปมา ไม่ได้แนวตรง ก็เป็นอุปสรรคอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการทดสอบท่อก่อนการร้อยสายเคเบิลใต้ดินโดยทดสอบตามหัวข้อ 2 ของบทที่ 5

6.2 การวางสายเคเบิลใต้ดิน

การพิจารณานำระบบเคเบิลใต้ดินมาใช้แทนระบบสายอากาศนั้น จุดประสงค์หลักอันหนึ่งคือเพิ่มความเชื่อถือได้ให้แก่ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าโอกาสที่ไฟฟ้าดับมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สายอากาศ แต่หากสายเคเบิลใต้ดินเกิดชำรุดก่อนกำหนดอายุการใช้งานจริงเช่นใช้งานไปได้ 1-2 ปี สายเคเบิลใต้ดินเกิดระเบิดขึ้นมานั่นแสดงว่าไม่ประสบผลในการนำสายเคเบิลใต้ดินมาใช้งาน

เนื่องจากสายเคเบิลใต้ดิน ชุดต่อสาย (Splicing) หรือหัวเคเบิล (Terminator) ต่างได้รับการออกแบบและทดสอบมาจากโรงงานผู้ผลิตแล้วเป็นอย่างดี ทำให้มีความเชื่อมั่นได้ระดับหนึ่งว่ามีคุณภาพที่ดีมีอายุการใช้งานยาวนาน แต่หากสายเคเบิลใต้ดิน ชุดต่อสาย หรือหัวเคเบิล เกิดระเบิดชำรุดเสียหายขึ้นมาสันนิษฐานได้ว่าสาเหตุน่าจะมาจากการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินไม่ถูกวิธี ดังนั้นระบบเคเบิลใต้ดินจะมี

ความมั่นคงสูงจะต้องมีการติดตั้งที่ถูกต้องถูกวิธีด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าการติดตั้งเป็นหัวใจหลักของระบบเคเบิลใต้ดินก็ว่าได้สาเหตุที่ทำให้สายเคเบิลใต้ดิน ชำรุดอาจแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

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

2) **ชำรุดเนื่องจากการติดตั้ง** กรณีนี้มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด สาเหตุมาจากผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสายเคเบิลใต้ดิน ไม่ดีพอ ไม่เข้าใจว่าทิศทางดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน สำคัญอย่างไร ทำไมต้องให้สายเคเบิลใต้ดิน มีรัศมีการโค้งงอมากๆ บางครั้งละเลยในการล้างทำความสะอาดท่อก่อนร้อยสายเคเบิลใต้ดินเข้าไป สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่ทำให้สายเคเบิลฯ มีโอกาสชำรุดก่อนเวลาอันควรทั้งสิ้น

6.3 เครื่องมือการวางสายเคเบิลใต้ดิน

ในการเตรียมการเพื่องานวางสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อม เครื่องมือเหล่านี้ได้แก่

1) แบบ As-Built Drawing ส่วนงานด้านไฟฟ้าที่ผ่านการอนุมัติ
2) Check List และ Test Form ส่วนของงานติดตั้งระบบไฟฟ้า
3) Material List พร้อมผลการทดสอบ
   3.1) การทดสอบที่โรงงาน (Factory Test)
   3.2) การทดสอบประจำ (Routine Test) - partial discharge, voltage test
   3.3) การทดสอบเพิ่มเติม (Special Test) - dimension , electric resistance
4) เครื่องดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Winch)

รูปที่ 6.1 Winch

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

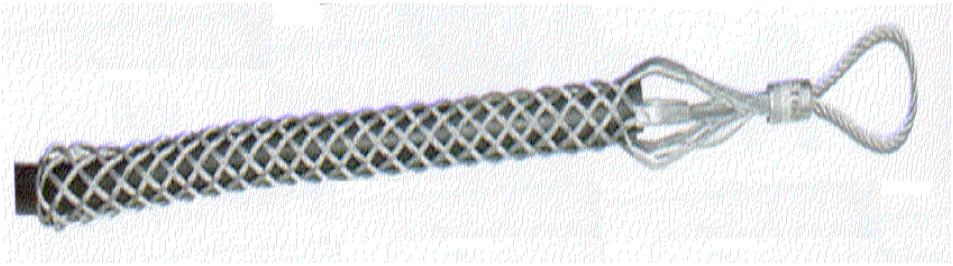
6) เชือกมนิลา มีขนาดต่างๆ เช่น 1/8 นิ้ว และ 1/2 นิ้ว ซึ่งเป็นเชือกสำหรับร้อยตามลูก Dummy เผื่อว่าจะยังไม่เรียบร้อยต้องตรวจสอบอีกครั้งก่อนทำงาน

7) ขารีลใส่รีลสายเคเบิลใต้ดิน หรือ Drum Jack (ตั้งรีลสาย)

รูปที่ 6.2 ขารีลใส่รีลสายเคเบิลใต้ดิน หรือ Drum Jack (ตั้งรีลสาย)

8) อุปกรณ์จับสายเคเบิลใต้ดิน

8.1) Pulling Grips ใช้สำหรับลากสายเคเบิลใต้ดิน ช่วงสั้นๆ ดูจาก Catalogue แต่ละยี่ห้อว่าลากสายเคเบิลใต้ดินได้แรงดึงสูงสุด (Maximum Tension ; T_M) เท่าไร ใช้กับสายเคเบิลใต้ดินขนาดใด ส่วนมากจะใช้ดึงสายเคเบิลใต้ดิน ขนาด 240 มม.^{2} เป็นขนาดสูงสุด

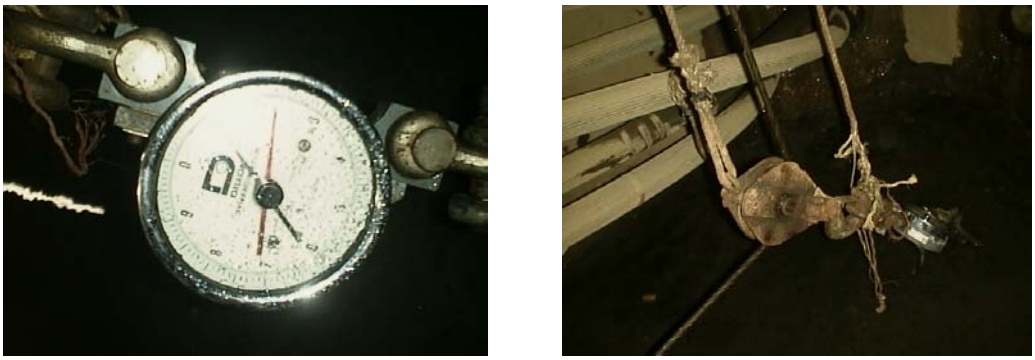


รูปที่ 6.3 Pulling Grips

8.2) Pulling Eye รูปร่างคล้าย Terminal Lug ใช้จับที่ตัวนำ (Conductor) ของสาย ใช้เชื่อมกับสายโดยการหยอดตะกั่วและบัดกรี ถอดออกมาและนำไปใช้ได้อีก ใช้พันเทปป้องกันน้ำเข้าด้วย ส่วนมากจะใช้กับสายเคเบิลใต้ดินขนาดใหญ่ตั้งแต่ 400 - 800 มม.^{2}

รูปที่ 6.4 Pulling Eye

9) มิเตอร์วัดแรงดึงสายเคเบิลใต้ดิน (Dynamo meter)



รูปที่ 6.5 Dynamo meter

10) น้ำยาหล่อลื่นสำหรับร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

รูปที่ 6.6 น้ำยาหล่อลื่น

11) รอกสำหรับติดตั้งร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

12) เครื่องมือทำ Mark สายเคเบิลใต้ดิน

13) เครื่องมือตัดสายเคเบิลใต้ดิน

14) รอกรองสายเคเบิลใต้ดิน (Roller)

รูปที่ 6.7 Roller

15) รอก Stringing Box

16) สวีเวล (Swivel)

รูปที่ 6.8 Swivel

17) สลิงห่วงถักหลายๆ ชุดสำหรับเกี่ยวรอก

18) บันไดไม้ (วางพาดบ่อ Manhole) สำหรับความสะดวกในการทำงาน

19) D – Shackle

20) Rod Duct (PVC) ปกติใช้ขนาด ø 1 นิ้ว

21) ปั๊มน้ำ (Water Pump)

22) และอื่นๆ

นอกจากเครื่องมือที่กล่าวข้างต้นแล้ว จะต้องคำนึงถึงทิศทางการลากสายเคเบิลใต้ดิน (Pulling Tensions) แรงกดที่ผนังด้านข้าง (Sidewall Pressure) ตำแหน่งที่จะต้องมีการต่อสายเคเบิลใต้ดิน การติดตั้งล้อม้วนสาย แกนรองรับ และ Drum Jack ซึ่งจะต้องตรวจดูความเรียบร้อยก่อนที่จะดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

การคำนวณหาค่าแรงดึงในการดึงสายทางตรงและทางโค้ง จะมีสูตรของการคำนวณอยู่แต่ในการปฏิบัติงานจริงต้องรับคำสั่งจากแผนกงาน ซึ่งผลการคำนวณแรงดึงจะคำนวณมาพร้อมว่าควรจะใช้ขนาดเท่าใด โดยการคำนวณต้องอาศัยค่าแรงดึงจาก Catalouge ของ Pulling Grips และ Pulling Eye ซึ่งต้องดูว่าค่าแรงดึงสูงสุด (T_M) ในคู่มือ (Handbook) ของแต่ละยี่ห้อมีค่าเท่าใด แล้วนำมาเข้าสูตรคำนวณ

6.4 การตรวจสอบและขั้นตอนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

1) ตรวจดูสภาพของรีลสายเคเบิลใต้ดิน (ล้อไม้) ว่ามีสภาพเรียบร้อยหรือไม่ มีการแตกหักของไม้ที่ปิดหรือไม่

2) ทำการทดสอบสภาพความเป็นฉนวนของสายก่อนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน โดยจะอยู่ในหัวข้อการทดสอบ

3) ตรวจสอบท่อร้อยสายตามขั้นตอนการตรวจสอบและทำความสะอาดท่อร้อยสาย

4) ให้ตรวจสอบดูที่หน้าต่างภายในบ่อพักสายว่าใส่ End Bell ไว้หรือไม่หากไม่มีต้องทำการติด End Bell เข้าไปก่อนดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

5) ร้อยลวดสลิงเข้าไว้ในท่อร้อยสาย เตรียมพร้อมทำการลากสายเคเบิลใต้ดิน จะโดยวิธีการใช้น้ำดันร่มหรือใช้ Rod duct (PVC) ก็ได้

6) ด้านบ่อพักที่รถลาก (รถ Winch) จอดอยู่ ในบ่อพักติดตั้งรอกเหล็กและเครื่องวัดแรงดึง (Dynamo meter) เพื่อให้ผู้ควบคุมงานตรวจสอบแรงดึงขณะดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน โดยให้ปรับระดับรอกและสลิงให้อยู่ในแนวขนานกับท่อที่จะลาก และรถลากต้องจอดในลักษณะที่มั่นคง

7) ด้านรถบรรทุกสายเคเบิลฯ ให้ทำการตั้งรีลสายเคเบิลใต้ดิน บน Drum Jack ให้อยู่ในระนาบเดียวกันทุกรีลสายเคเบิลใต้ดิน เพื่อป้องกันไม่ให้รีลสายเคเบิลใต้ดิน เอียงไปทางใดทางหนึ่งเพราะอาจจะล้มได้ ติดตั้งรอกพักสายเคเบิลใต้ดิน ประจำรีลสายเคเบิลใต้ดิน

8) ทำการปอกสายเคเบิลฯ ให้เป็นมุม 45 องศา กรณีลาก 3 เส้นพร้อมกัน เพราะถ้าปอกสายเคเบิลใต้ดินแล้ว สายเคเบิลใต้ดินจะไม่ไปชนกับรอยต่อของท่อ HDPE แล้วพันเทปที่ปลายสายเคเบิลใต้ดินที่ทำการปอกเพื่อป้องกันความชื้นเข้าไป ถ้าดึง 3 เส้น ให้ใช้ Pulling Grips ขนาดตามสายเคเบิลฯ จับตรงที่ปอกไว้ทั้ง 3 เส้น และทำการ Mark สายเคเบิลฯ เพื่อความมั่นใจด้วย แต่กรณีดึงสายเคเบิลฯ 1 เส้น ที่ปลายสายเคเบิลใต้ดิน ทุกเส้นที่จะลากให้ทำการเข้าหัวพูลลิ่งอาย (Pulling Eye) แล้วพันเทปป้องกันน้ำเข้าสายเคเบิลใต้ดิน หลังจากนั้นนำสายเคเบิลใต้ดิน ที่จะลากต่อเข้ากับปลายสลิง

9) สำหรับการดึงลากสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้ Pulling Grip จับตรงที่ปอกสายเคเบิลใต้ดินทั้งสามเส้น จะต้องใช้ D – Shackle ต่อเข้ากับห่วงของ Pulling Grip และใส่ Swivel เพื่อป้องกันสายเคเบิลใต้ดินพันเป็นเกลียวกันในท่อขณะลากสายเคเบิลใต้ดินด้วย หลังจากนั้นทำการดึงลากพร้อมกันทั้งสามเส้นห้ามไม่ให้ดึงลากสายเคเบิลใต้ดินทีละเส้นโดยเด็ดขาด (สำหรับระบบ 22 และ 33 kV) สำหรับการลากสายเคเบิลใต้ดินออกจากสถานีไฟฟ้า (Substation) นั้น ให้ตั้งรีลสายเคเบิลใต้ดินที่เสา Riser Pole แล้วลากผ่านบ่อพักสายฝั่งตรงข้ามสถานีไฟฟ้า ผ่านไปยังบ่อพักสาย Manhole ฝั่งสถานีไฟฟ้าแล้วเข้าไปยังสถานีไฟฟ้า เนื่องจากจะทำให้เกิดแรงกดที่ผนังด้านข้าง (Sidewall Pressure) น้อยกว่าที่จะดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน ฝั่งสถานีไฟฟ้า แล้วดึงสายที่เสาต้น Riser Pole

รูปที่ 6.9 รูปแสดงการเข้าหัวพูลลิ่งกริป (Pulling Grip) ที่ปลายสายเคเบิลใต้ดิน

10) ทำการลากโดยให้สัญญาณให้รถลากทำการลาก ซึ่งก่อนลากขณะลากสายเคเบิลใต้ดินให้มีคนงานอยู่ในบ่อพักสายเพื่อทาสารหล่อลื่นที่สายเคเบิลฯ ตลอดเวลา เช่น Soap Stone , Poly Water หรือ Silicone Grease เป็นต้น (ห้ามใช้จาระบี) เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับท่อร้อยสาย ซึ่งสารหล่อลื่นจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อสายเคเบิลใต้ดิน ต้องไม่เป็นสาร Petroleum Product เพราะจะทำให้ Jacket บวม และจะต้องไม่ยึดเกาะกับสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน ทำให้ยากต่อการลากสายเคเบิลใต้ดินออกจากท่อ

11) ขณะดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องมีรอกเหล็กคอยรองรับสายเคเบิลใต้ดิน ไม่ให้ครูดไปกับพื้นดินหรือถนน และต้องคอยทำความสะอาดเปลือกสายเคเบิลใต้ดินตลอดเวลาที่ดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน อย่าให้มีเศษหิน กรวด ติดที่เปลือกสายเคเบิลใต้ดิน การดึงสายเคเบิลใต้ดินควรจะเป็นไปแบบช้าๆ และความเร็วขณะดึงควรจะคงที่ ซึ่งความเร็วที่พอเหมาะจะอยู่ในช่วงประมาณ 5 เมตร/นาที ถึง 15 เมตร/นาที ห้ามลากๆ หยุดๆ ซึ่งจะมีผลให้เกิดการยืดตัว (Expansion) และต้องใช้แรงเบื้องต้นสูงในการเริ่มต้นลากแต่ละครั้ง และในขณะที่ดึงสายเคเบิลใต้ดิน ควรจะมีการติดต่อสื่อสารถึงกันเพื่อตรวจสอบแรงดึงกันเป็นระยะๆ และมีบุคคลเพียงพอด้วย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินตามการคำนวณที่จุดต่างๆ จะเป็นตัวบอกอยู่แล้วว่าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินขณะนั้นเป็นเท่าใด ถ้าสามารถตรวจเช็คได้ว่าปลายสายเคเบิลใต้ดินขณะนี้อยู่ที่ตำแหน่งไหน เทียบกับแรงดึงที่คำนวณได้ ถ้าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินมากเกินไปก็ลดความเร็วลงและใส่วัสดุหล่อลื่นให้มากขึ้น และถ้าแรงดึงสายเคเบิลใต้ดินน้อยเกินไปก็เพิ่มความเร็วมากขึ้นให้สัมพันธ์กัน โดยที่สารหล่อลื่นให้ใส่ตลอดเวลา

12) เมื่อลากสายเคเบิลใต้ดินถึงบ่อพักได้ระยะที่ต้องการแล้ว ทำการตัดสายเคเบิลใต้ดินโดยควรจะเผื่อความยาวสายไว้ 1.50 – 2.50 เมตรไว้สำหรับการต่อสาย แล้วทำการวัดความต้านทานของสายเคเบิลใต้ดินที่ลากแล้วนั้น โดยให้ใช้ Megger Ohm ตรวจสอบความต้านทานของสายก่อนพันเทปปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน โดยทำการวัดค่า 3 ค่าดังนี้

12.1) สายตัวนำกับสายต่อลงดิน (Conductor – Shield)

12.2) สายต่อลงดินกับกราวด์ (Shield – Ground)

12.3) สายตัวนำกับกราวด์ (Conductor – Ground)

โดยก่อนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องทำการทดสอบสายเคเบิลใต้ดินก่อนทุกครั้งว่าชำรุดหรือไม่

13) เมื่อวัดความต้านทานแล้ว ดำเนินการปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน โดยดำเนินการตามขั้นตอนการปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน และเก็บปลายสายเคเบิลใต้ดิน ที่พันเทปกันความชื้นเรียบร้อยแล้ว ให้พ้นเหนือน้ำ

14) หลังจากดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน เสร็จเรียบร้อยให้อุดปิดปากท่อให้เรียบร้อย

6.5 เอกสารสำหรับขั้นตอนการดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน

ทั้งนี้ก่อนลงมือดึงลากสายเคเบิลใต้ดิน ให้บริษัทฯ จัดส่งรายละเอียดดังต่อไปนี้ให้ 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 ”

6.6 ขั้นตอนการพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable)

1) จากปลายสายเคเบิลใต้ดินระยะ 180 มม. ทำการขูดครีบออกจนหมดแล้วขัดด้วยกระดาษทรายจนเรียบ

2) จากปลายสายเคเบิลใต้ดินระยะ 76 มม. ให้ตัดเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน และซีลเทปออก

3) จากปลายสายเคเบิลใต้ดินระยะ 13 มม. ให้เหลาปลายโดยรอบเพื่อเอาเซมิคอนดัคเตอร์ออก แล้วทำความสะอาดปลายสายเคเบิลใต้ดินอย่าให้มีเศษทองแดง หรือขี้เลื่อยติดอยู่

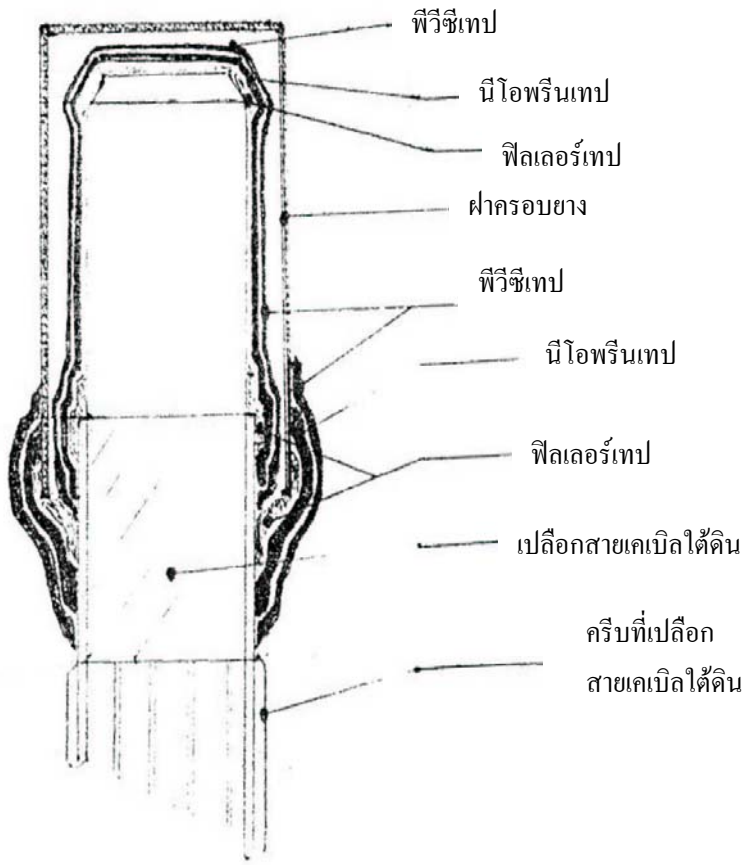
4) ที่ขอบเปลือกสายเคเบิลใต้ดินตรงซีลเทปและปลายสายเคเบิลใต้ดิน ให้อุดด้วยฟิลเลอร์เทป จนทั่ว

5) จากขอบเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน ระยะ 25 มม. พันด้วย นีโอพรีนเทป พันบน ฟิลเลอร์เทป ไปจนถึงปลายสายเคเบิลใต้ดิน ขณะพันต้องดึงให้แน่น และต้องพันจำนวน 2 ชั้น แลวพันทับด้วย พีวีซีเทปอีก 2 ชั้น

6) สวมฝาครอบสายให้ลึกที่สุดเท่าที่จะลึกได้ จนขอบฝาครอบเสมอกับเทปที่พันไว้แล้ว

7) ระหว่างฝาครอบและเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน ให้พันด้วย ฟิลเลอร์เทป โดยรอบอีก 1 ชั้นแล้วพันทับด้วย นีโอพรีนเทป กว้างประมาณ 130 มม. จำนวน 4 ชั้น และดึงให้แน่น แล้วพันทับด้วย พีวีซีเทป อีก 2 ชั้น เป็นอันเสร็จสิ้นการพันปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน

<u>หมายเหตุ</u> นอกจากวิธีการพันเทปแล้ว อาจจะใช้กระบอก Heat Shrink ปิดปลายสายเคเบิลใต้ดินเป็นอีกวิธีก็ได้



รูปที่ 6.10 รูปแสดงการปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน โดยวิธีการพันเทป

ลำดับที่ 1

ลำดับที่ 2

ลำดับที่ 3

ลำดับที่ 4

ลำดับที่ 5

ลำดับที่ 6

รูปที่ 6.11 รูปแสดงขั้นตอนการปิดปลายสายเคเบิลใต้ดิน (Sealing End Cable) โดยใช้กระบอก Heat Shrink

7. ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานระบบเคเบิลใต้ดิน

งานใดก็ตามเมื่อทำเสร็จและมีความปลอดภัยด้วย ย่อมนำความสบายใจมาให้ผู้ปฏิบัติงาน ในทางตรงข้ามงานใดก็ตามเมื่อทำเสร็จแล้วแต่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นในงานนั้น ย่อมนำความยุ่งยากลำบากใจมาให้ผู้ปฏิบัติงาน การปฏิบัติงานระบบเคเบิลใต้ดินเป็นงานที่มีอันตรายปะปนอยู่ทุกขั้นตอนของการดำเนินงาน อันตรายซึ่งจะมาจากบุคคลภายนอกที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องด้วยเป็นไปได้เสมอ เช่น ผู้ขับขี่ยวดยานพาหนะขับรถมาชนขณะปฏิบัติงานอยู่กลางถนน หรือจากเพื่อนพนักงานจากหน่วยงานอื่นที่มาทำงานเกี่ยวข้องกันอาจสับสวิตช์จ่ายไฟฟ้าเข้าไปในสายเคเบิลใต้ดิน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่สายเคเบิลใต้ดิน ได้รับอันตราย ซึ่งนอกจากที่กล่าวแล้วอันตรายอาจเกิดขึ้นจากผู้ทำงานสายเคเบิลใต้ดินเอง โดยทำงานไว้ไม่เรียบร้อย เมื่อใช้งานในระยะหนึ่งสายเคเบิลใต้ดินนั้นอาจเกิดชำรุด ทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจร ระเบิดขึ้นได้ขณะมีผู้ปฏิบัติงานอยู่ใกล้ๆ ทำให้ได้รับอันตรายได้

ดังนั้น การปฏิบัติงานใดๆ ก็ตาม ประการแรกก็จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่จะเกิดขึ้นทั้งในระหว่างปัจจุบันและอนาคตด้วยเสมอ การป้องกันที่ดีประการหนึ่งคือการทำงานอย่างมีขั้นตอน มีระบบการตรวจวัดได้ มีการทดสอบที่ดี ไม่มีการกระทำที่เรียกว่าสักแต่ว่าทำให้เสร็จเท่านั้น แต่ต้องทำงานอย่างมีชีวิตจิตใจ ต้องทำงานอย่างที่เรียกว่าเชื่อถือได้ การทำงานเกี่ยวกับระบบเคเบิลใต้ดินจึงเกิดความปลอดภัย ทั้งแก่ตนเองและผู้อื่น

7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ สำหรับความปลอดภัยในการทำงาน

เครื่องมือและอุปกรณ์คร่าวๆ ในการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะงาน คือ

1) ด้านงานก่อสร้างงานโยธา
   1.1) เครื่องมือป้องกันดินพัง เช่น Sheet Pile หรือแผ่นเหล็กป้องกันดิน
   1.2) เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่
   1.3) ป้ายกั้นพื้นที่บริเวณปฏิบัติงาน
   1.4) แผ่นเหล็กปิดหลุม
   1.5) และอื่นๆ
2) ด้านงานก่อสร้างงานร้อยสาย
   2.1) เครื่องมือวัดแก๊สในบ่อ Manhole
   2.2) พัดลมดูด,เป่า อากาศจากบ่อ Manhole
   2.3) วิทยุสื่อสาร
   2.4) และอื่นๆ

7.2 ขั้นตอนและการตรวจสอบก่อนการทำงานในบ่อพักสาย

งานก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินประมาณ 80% เป็นการปฏิบัติงานในบ่อพักสาย ส่วนอีกประมาณ 20% เป็นการปฏิบัติงานนอกบ่อพักสาย การปฏิบัติงานที่บ่อพักสายทุกครั้ง จะต้องป้องกันบ่อพักสายและป้องกันผู้ที่ลงไปปฏิบัติงานในบ่อพักสาย

บ่อพักสาย (Manhole) คือบ่อใต้ดินที่อยู่ภายใน หรือภายนอกบริเวณสถานีไฟฟ้า (Sub-station) มีลักษณะเป็นสถานที่อับอากาศ หมายความว่า เป็นสถานที่ที่มีทางเข้า-ออกจำกัด มีการระบายอากาศตามธรรมชาติไม่เพียงพอที่จะทำให้อากาศภายในอยู่ในสภาพที่ถูกสุขลักษณะ และปลอดภัย ซึ่งอาจเป็นที่สะสมของสารเคมีที่เป็นสารพิษ สารไวไฟ รวมถึงมีออกซิเจนไม่เพียงพอ

รูปที่ 6.12 แสดงบ่อพักสาย (Manhole) ในสถานีไฟฟ้า (Sub-station)

ดังนั้น เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีความปลอดภัยในการทำงาน ควรปฏิบัติดังนี้

1) วางแผนการปฏิบัติงาน และขอบเขตการทำงานในบ่อพักสาย

2) ติดต่อประสานงานเกี่ยวกับการทำงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สถานีไฟฟ้า

3) ผู้ควบคุมงานต้องดำเนินการขออนุญาตเข้าทำงานในบ่อพักสายตามแบบฟอร์ม “ใบอนุญาตให้พนักงานเข้าทำงานในสถานที่อับอากาศ” ซึ่งติดต่อได้ที่กองมาตรฐานความปลอดภัย

4) ทุกครั้งที่พนักงานลงไปในบ่อพักสายจะต้องมีพนักงานอีกคนหนึ่งคอยเฝ้าดูอยู่ที่ปากบ่อพักสาย คอยให้ความช่วยเหลือผู้ปฏิบัติงานตลอดเวลาการทำงาน

5) ทุกครั้งที่เปิดฝาบ่อพักสาย ให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้

5.1) ต้องติดตั้งสัญญาณเตือนภัยที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสถานที่ เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติ และต้องตั้งรั้วกั้นหรือใช้เครื่องมือป้องกันที่เหมาะสมบริเวณปากบ่อพักสาย โดยให้ปฏิบัติ

งานตามรูปแบบและแนวทางการติดตั้งเครื่องหมายและสัญญาณสำหรับการจัดสร้างซ่อมถนน และงานสาธารณูปโภคของหน่วยงานราชการ

5.2) ถ้าสถานที่และโอกาสอำนวยให้จอดรถไว้ใกล้บ่อพักสาย เพื่อป้องกันอันตรายอันอาจจะเกิดขึ้นจากยวดยานพาหนะที่สัญจรผ่านไปมา

5.3) ห้ามพนักงานลงไปในบ่อพักสายก่อนที่จะได้ทำการระบายอากาศ จนแน่ใจว่าไม่มีก๊าซที่เป็นอันตราย หรือที่จะทำให้เกิดการระเบิดหลงเหลืออยู่ (ในบ่อพักสายส่วนมากจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์อยู่) และควรปฏิบัติดังนี้

5.3.1) ทุกครั้งก่อนลงไปปฏิบัติงานภายในบ่อพัก ผู้ควบคุมงานควรจะทำการตรวจสอบปริมาณออกซิเจน และสารเคมีว่ามีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ และจะทำให้เกิดการระเบิด และเป็นพิษหรือไม่ ดังนี้

- ตรวจสอบปริมาณออกซิเจน (ค่าปลอดภัยมากกว่า 18%)
- ตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่ติดไฟได้ (ค่าปลอดภัยไม่เกิน 20%ของความเข้มข้นต่ำสุดที่จะติดไฟ หรือระเบิดได้ (Lower Explosive Limit LEL.))
- ตรวจสอบปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (ค่าปลอดภัยไม่เกิน 25 PPM.)
- ตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ค่าปลอดภัยไม่เกิน 10 PPM.)

5.3.2) หากผลการตรวจวัดตามข้อ 5.3.1 ข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนด ให้ทำการระบายอากาศภายใน เพื่อลดปริมาณสารที่เป็นพิษ การถ่ายอากาศอาจทำโดยการใช้พัดลมเป่าหรือวิธีการอื่นๆ และทำการตรวจสอบปริมาณสารเป็นพิษต่างๆ จนกว่าจะอยู่ในสภาพที่ปลอดภัย จึงจะอนุญาตให้เข้าทำงานได้

5.3.3) ห้ามทำการตรวจสอบอากาศโดยวิธีการจุดไฟในบ่อพักสาย ทั้งนี้เนื่องจากสารไฮโดรเจนซัลไฟต์จัดเป็นสารที่ระดับความสามารถในการติดไฟค่อนข้างสูง ขณะเดียวกันอาจมีก๊าซธรรมชาติตัวอื่นๆ ที่สามารถติดไฟได้ในบริเวณดังกล่าว

5.3.4) สำหรับผู้ที่จะเข้าไปทำการตรวจสอบก๊าซควรจะสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ที่นอกจากจะป้องกันก๊าซเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินหายใจแล้ว จะต้องสามารถป้องกันตาและใบหน้าได้ด้วย

5.3.5) ภายหลังจากการตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เมื่อจะปฏิบัติงานผู้ปฏิบัติงานจะต้องสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPE.) ให้เหมาะสมกับสภาพของงาน เช่น หมวกนิรภัย รองเท้าหนัง ถุงมือ(ยาง) หรือเข็มขัดนิรภัย เป็นต้น โดยอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยต้องเป็นไปตามมาตรฐาน กฟภ.

5.3.6) ผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมงานอย่างใกล้ชิด

7.3 การอนุญาตให้ปฏิบัติงานและการปฏิบัติงาน

ภายหลังจากการตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในการปฏิบัติงานก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน ไม่ว่าจะทำงานในขั้นตอนใดๆ พนักงานผู้ปฏิบัติจะต้องได้รับอนุญาตให้ปฏิบัติงานจากผู้ควบคุมงานก่อนเสมอ ซึ่งการอนุญาตให้ปฏิบัติงานและการปฏิบัติงาน จะมีข้อกำหนดรายละเอียด ดังนี้

1) ห้ามพนักงานลงมือปฏิบัติงาน จนกว่าจะได้รับคำสั่งจากหัวหน้า

2) ก่อนจะดับไฟฟ้าเพื่อปฏิบัติงาน หัวหน้างานจะต้องได้รับอนุญาตแล้ว (ในกรณีต้องดับไฟฟ้า) และต้องมีการตรวจสอบการดับกระแสไฟฟ้าด้วย

3) จะต้องนึกไว้ก่อนเสมอว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าและสายไฟฟ้าอาจจะมีไฟฟ้าอยู่จนกว่าจะได้ตรวจสอบให้แน่ชัดว่าปลอดภัยดีแล้วจึงจะลงมือปฏิบัติงานได้ สำหรับสายไฟระบบเหนือดินและสายไฟระบบเคเบิลใต้ดิน ต้องนึกไว้ก่อนเสมอว่า มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่จนกว่าจะได้ต่อลงดินเรียบร้อยดีแล้ว

4) ก่อนเริ่มลงมือปฏิบัติงานทุกครั้ง หัวหน้างานต้องทำการตรวจสอบหรือทดสอบให้ มั่นใจก่อนว่าอุปกรณ์สายไฟฟ้าและสายเคเบิลใต้ดินที่จะทำนั้น ได้ตัดกระแสไฟฟ้าและต่อลงดินเรียบร้อยดีแล้ว โดย

4.1) จะต้องปลดสวิตช์ตัดตอนกระแสไฟฟ้า ก่อนที่จะทำการตัดเปลือกหุ้มสายหรือหัวต่อสายเคเบิลใต้ดิน

4.2) จะต้องปลดกลไกตัดตอนและเครื่องตัดวงจรไฟฟ้าทุกตัวก่อน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสายเคเบิลใต้ดิน นั้นไม่มีกระแสไฟฟ้าแล้ว

5) ไม่ให้มีการลงปฏิบัติงานในบ่อเพียงคนเดียว โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องสวมใส่อุปกรณ์ คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPE.) ให้เหมาะสมกับสภาพของงาน เช่น หมวกนิรภัย รองเท้าหนัง ถุงมือ(ยาง) หรือเข็มขัดนิรภัย เป็นต้น รวมทั้งมีอุปกรณ์สำหรับสื่อสารด้วยโดยอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยต้องเป็นไปตามมาตรฐาน กฟภ.

6) ขณะปฏิบัติงานที่จำเป็น เช่น จับสายเข้าที่รองรับ พันซ่อมเปลือกสายเคเบิลใต้ดิน ที่ยังมีกระแสไฟฟ้าอยู่ จะต้องใช้ผ้าห่มยางหรือฉนวนที่เหมาะสมคลุมสายอื่นที่ยังจ่ายกระแสไฟฟ้าอยู่ พนักงานจะต้องสวมถุงมือยางหรือถุงมือที่จำเป็น และการปฏิบัติงานทั่วไปก็ต้องป้องกันสายเคเบิลใต้ดิน เส้นอื่นที่ยังมีกระแสไฟฟ้าเช่นกัน

7) ก่อนที่จะปฏิบัติงานหรือทำการเคลื่อนย้ายสายเคเบิลใต้ดิน ที่มีกระแสไฟฟ้า ให้ตรวจดูให้ละเอียดว่า มีรอยชำรุดบกพร่องหรือไม่ การเคลื่อนย้ายสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องทำโดยความระมัดระวังอย่าให้กระแทกหรืองอเกินไป

8) ขณะปฏิบัติงานจะต้องระวังอย่าให้เกิดความเสียหายใดๆ แก่สายเคเบิลใต้ดิน เส้นอื่นๆ ทุกเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าอยู่ โดยอาจจะใช้ไม้หรือผ้าห่มยางกั้นหรือคลุมไว้

7.4 ฝาปิดบ่อพักสาย

ในการปิดหรือเปิดบ่อพักสาย จะต้องใช้ขอ ชะแลง หรือเครื่องมืออื่นๆ ที่แข็งแรงพอ โดยขณะปิดหรือเปิดจะต้องระวังอย่าให้มือหรืออวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งอยู่ใต้ฝาเด็ดขาด

7.5 การส่งวัสดุและเครื่องมือขึ้นลงบ่อพักสาย

บ่อพักสายใต้ดิน เป็นบ่อคอนกรีตที่มีพื้นที่ภายในจำกัด เวลาลงทำงานภายในบ่อพักสายจึงไม่สามารถนำเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ลงไปในบ่อพักได้มากนัก โดยวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ จะต้องเตรียมพร้อมไว้บริเวณปากบ่อพักสาย เมื่อคนทำงานภายในบ่อพักสายต้องการใช้สิ่งใด จะต้องบอกให้คนที่อยู่บนปากบ่อพักสายนำส่งไปให้ การส่งวัสดุและเครื่องมือลงในบ่อพัก ควรปฏิบัติดังนี้

1) การส่งวัสดุและเครื่องมือต่างๆ ขึ้นลงบ่อพักสายจะต้องใช้ถุงผ้าใบหรือภาชนะอื่นๆ ที่เหมาะสม

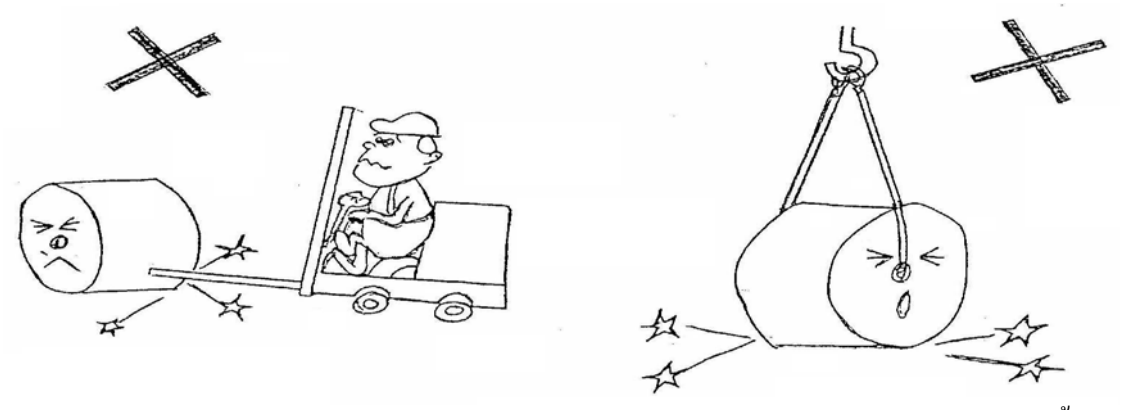
2) ก่อนที่จะส่งตะกั่วหรือคอมปาวด์ ที่กำลังร้อนลงไปในบ่อพักสาย จะต้องบอกพนักงานที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ภายในบ่อพักสายให้รู้ตัวก่อน และเมื่อพนักงานที่อยู่ในบ่อพักสายอนุญาตแล้ว จึงค่อยส่งลงไป สำหรับกระบวยตักตะกั่วจะต้องส่งลงไปภายหลังและใส่ในหม้อต้มตะกั่วทันที

8. การปฏิบัติขนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดิน

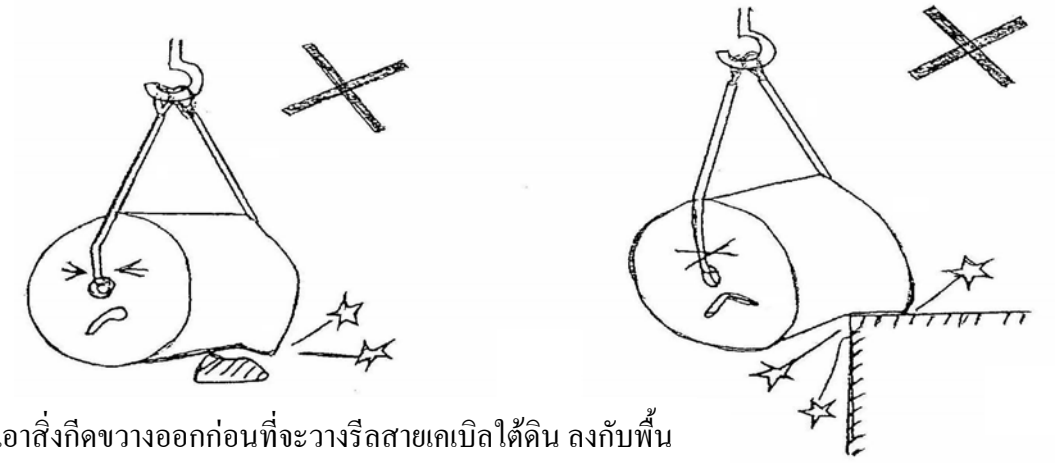
รีลสายสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน ตามข้อกำหนดของ กฟภ. จะกำหนดให้เป็นรีลไม้แข็งหรือรีลเหล็กก็ได้ ซึ่งรายละเอียดในการบรรจุ (Packing) จะเป็นหน้าที่ของบริษัทผู้ผลิต ที่จะต้องดำเนินการให้ถูกต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ กฟภ. เช่น รีลสายจะต้องมีแผ่นไม้ปิดรีลสาย (Wooden battens) เพื่อป้องกันสายเคเบิลฯ มีสายลวดเหล็กตีเกลียวหรือแผ่นเหล็ก (Galvanized Steel Wire or Steel Strap) ยึดและรัดแผ่นไม้ปิดอีกที รวมทั้งที่ปลายสายเคเบิลใต้ดิน ด้านนอกต้องปิดด้วย Moisture-proof pulling Eye สำหรับระบบ 115 kV ส่วนปลายสายเคเบิลใต้ดิน ระบบ 22 kV จะปิดด้วย Moisture-proof end Caps เป็นต้น ซึ่งเมื่อบริษัทผู้ผลิตได้บรรจุเรียบร้อยและได้ขนย้ายมาแล้ว ต่อไปจึงเป็นหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานของ กฟภ. ที่จะต้องจัดเก็บและขนย้ายให้ถูกต้องต่อเนื่องไป จนถึงปลายทางที่จะไปถึงผู้ปฏิบัติงานด้านก่อสร้าง ดังนั้นในเนื้อหานี้จะกล่าวถึง การปฏิบัติการขนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดิน ที่จำเป็นต้องทราบและปฏิบัติให้ถูกต้องต่อไป

8.1 ข้อระวังทั่วๆ ไป

1) หลีกเลี่ยงการกระทบกันระหว่างรีลสายเคเบิลใต้ดิน กับสิ่งต่างๆ

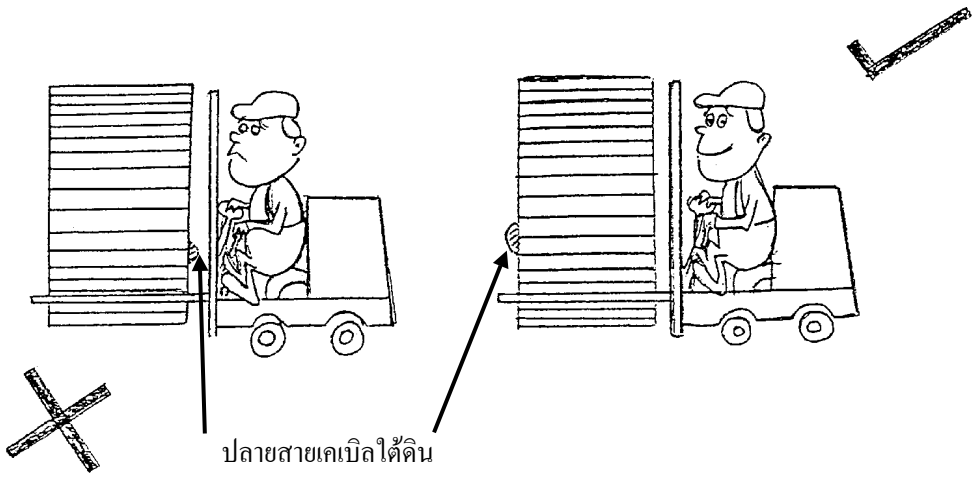


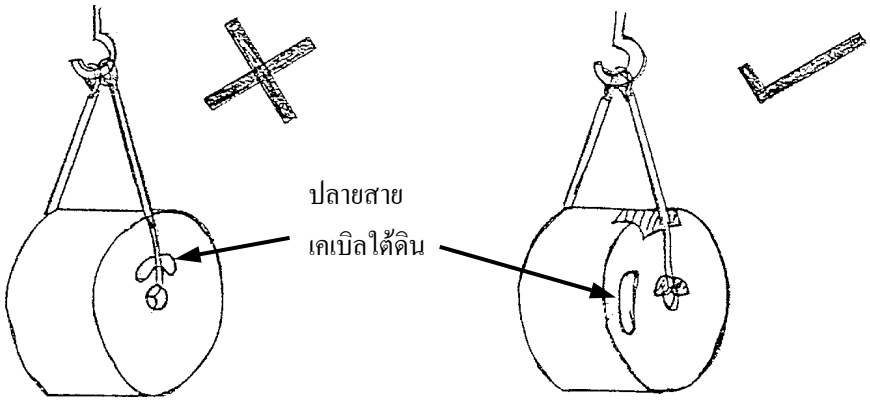
หย่อนรีลสายเคเบิลใต้ดิน ลงช้าๆ อย่าให้กระแทกพื้น



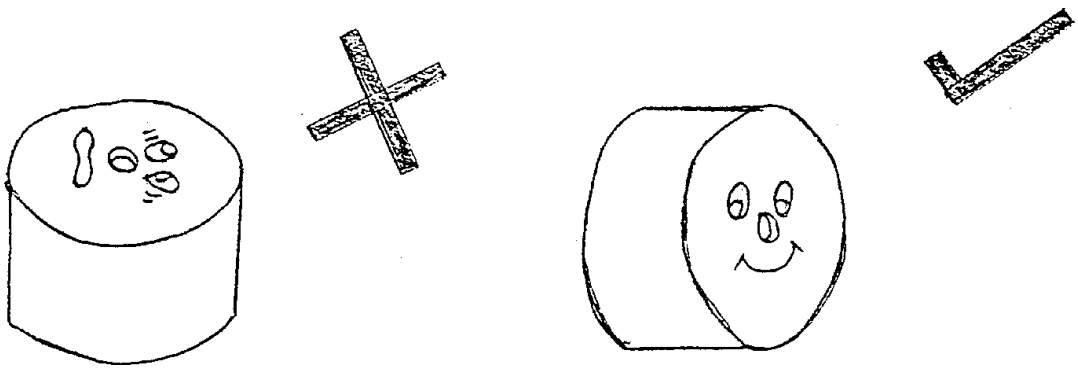
เอาสิ่งกีดขวางออกก่อนที่จะวางรีลสายเคเบิลใต้ดิน ลงกับพื้น

2) ใช้ความระมัดระวัง อย่าให้ปลายสายเคเบิลใต้ดินที่โผล่ออกมา หรือฝาครอบปลายสายเคเบิลใต้ดินชำรุด เมื่อยกรีลสายเคเบิลใต้ดินด้วยสลิง หรือเครื่องมือกลอย่างอื่น

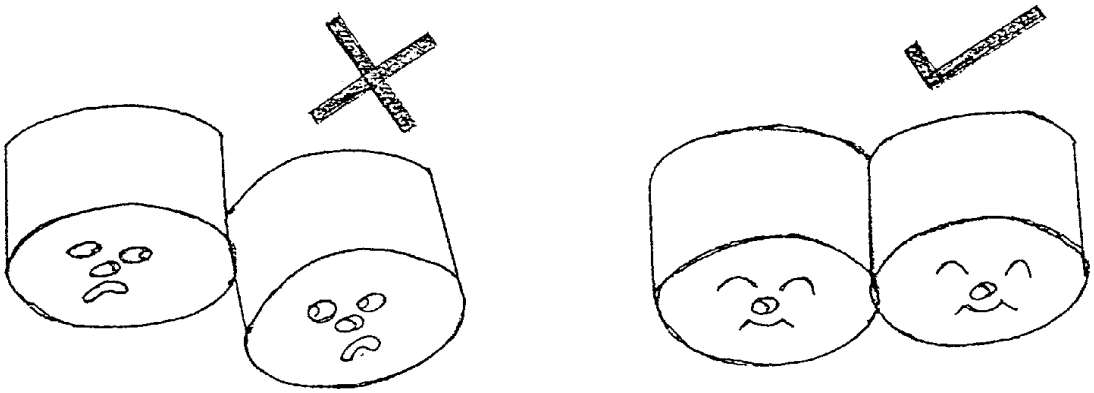




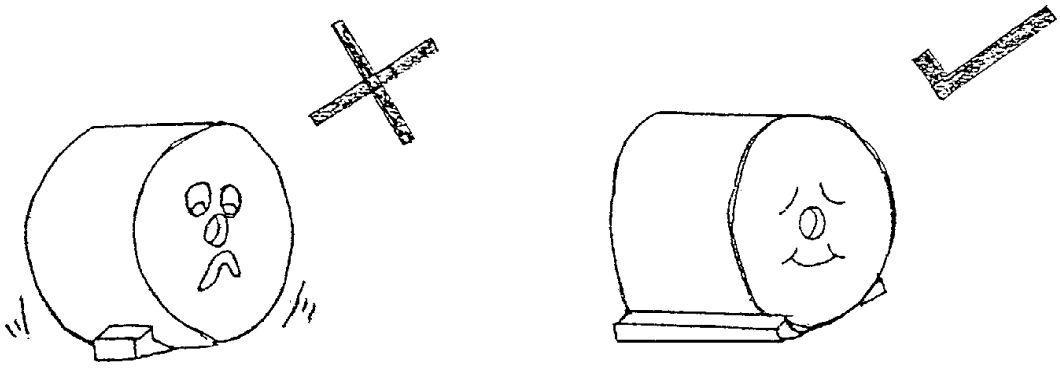
3) อย่าวางรีลสายเคเบิลใต้ดินทางหน้าเรียบลงกับพื้น



4) ในการเก็บรีลสายเคเบิลใต้ดินที่มีขนาดกว้างเท่ากัน ให้เก็บโดยให้ด้านแบนเรียงเสมอกัน



5) เพื่อความแน่ใจที่จะไม่ให้รีลสายเคเบิลใต้ดินกลิ้ง ให้ใช้ลิ่มไม้อัดรีลสายเคเบิลใต้ดินไว้

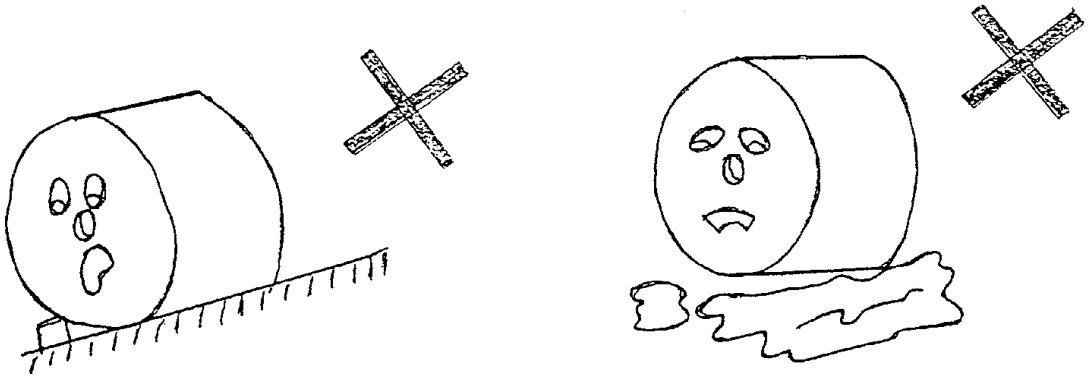


เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้ารีลสายเคเบิลใต้ดิน	**ความหนาของลิ่ม**
เล็กกว่า 1,700 มม.	หนากว่า 90 มม.
เล็กกว่า 2,700 มม.	หนากว่า 120 มม.
สายเคเบิลใต้ดินชนิดน้ำมัน (O.F.)	หนากว่า 180 – 240 มม.

6) ข้อควรระวังในการเก็บรีลสายเคเบิลใต้ดิน ที่ถูกต้อง

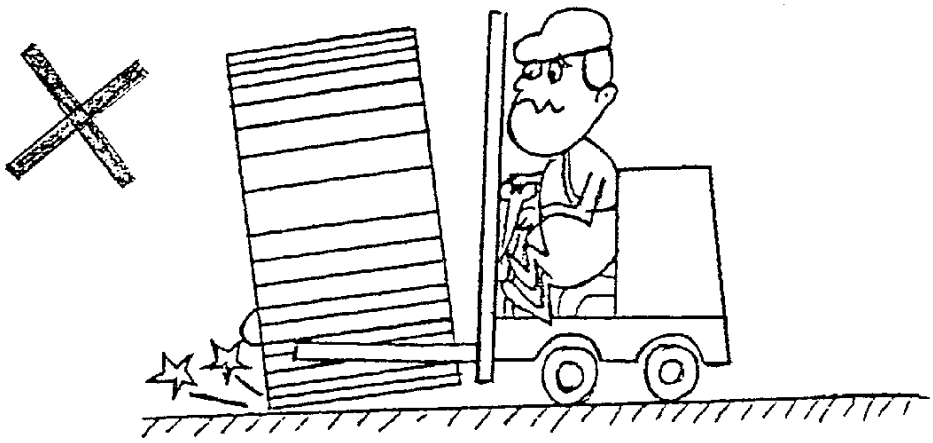
ก. อย่าเก็บรีลสายเคเบิลใต้ดิน บนพื้นลาดเอียงหรือขรุขระ

ข. อย่าเก็บไว้กลางแจ้งที่ถูกฝนหรือมีความชื้นสูง



7) ข้อควรระวังในการเคลื่อนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดิน

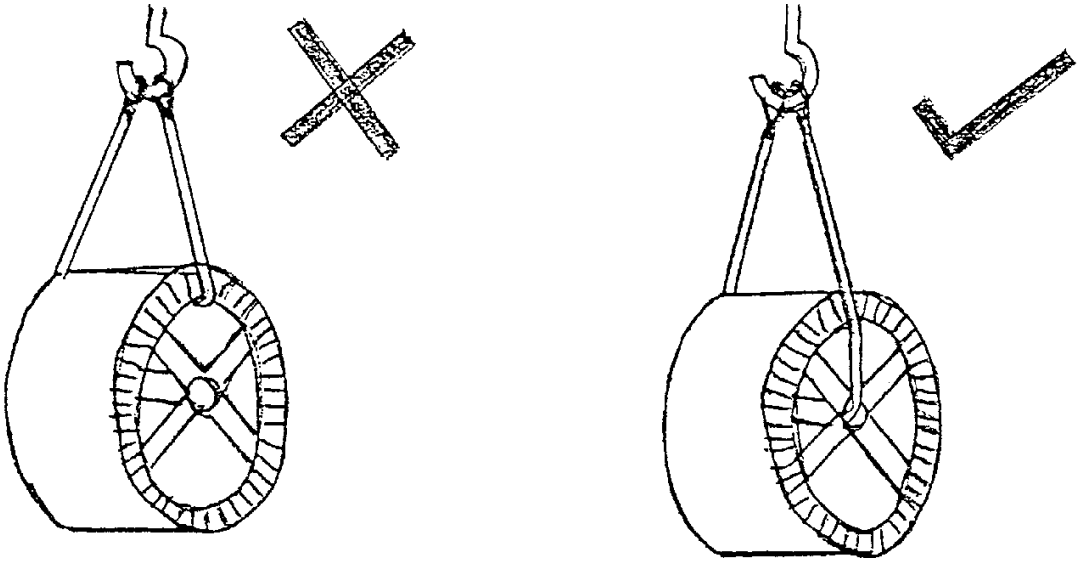
ก. เพื่อป้องกันรีลสายเคเบิลใต้ดินชำรุด เมื่อเคลื่อนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดิน ให้ใช้รถเครนรอกยกหรือรถโฟรคลีฟยกเคลื่อนย้าย อย่าเคลื่อนย้ายโดยการลากรีลสายเคเบิลใต้ดินไปกับพื้น



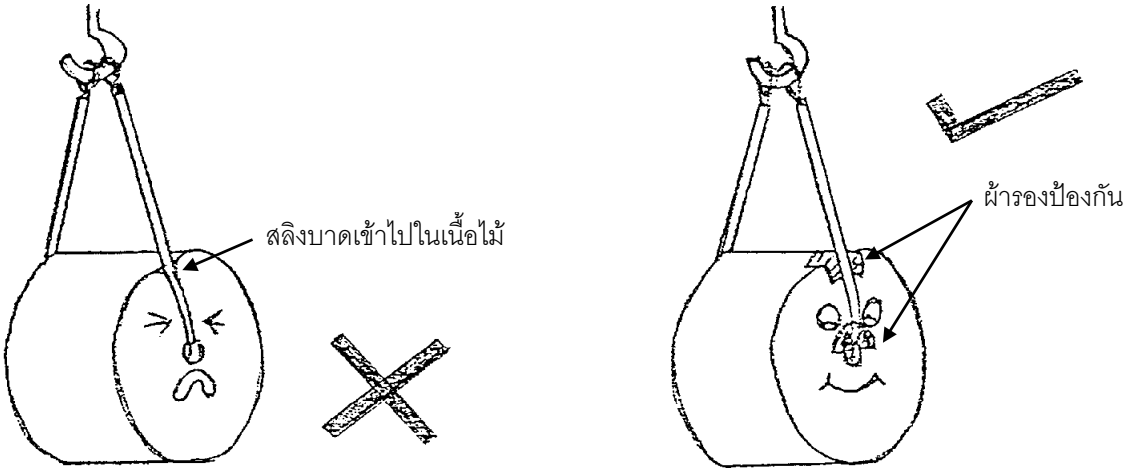
ข. อย่ากลิ้งรีลสายเคเบิลใต้ดินไปไกลกว่า 5 เมตร สำหรับรีลสายเคเบิลใต้ดิน น้ำมันห้ามกลิ้งเด็ดขาด

8.2 เมื่อทำการยกรีลสายเคเบิลใต้ดิน

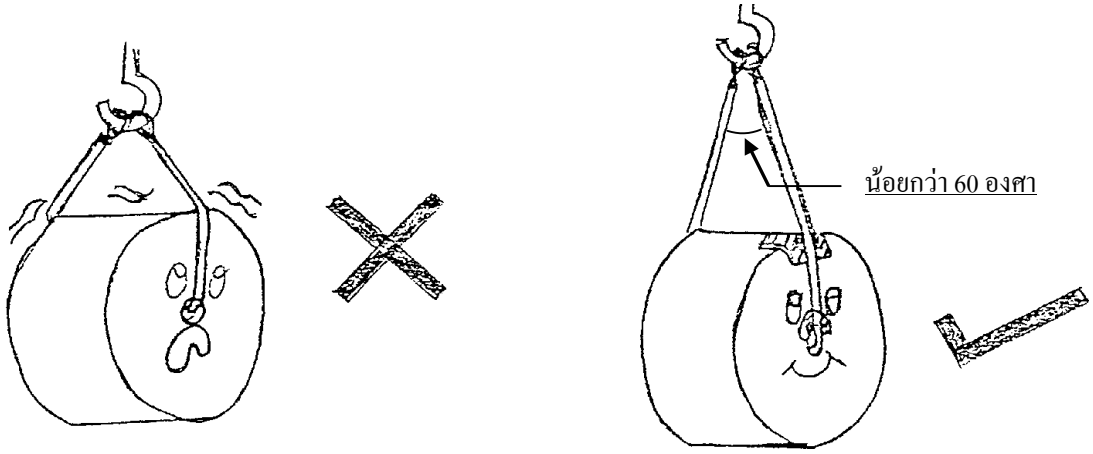
1) ต้องร้อยสลิงยกผ่านรูกลางของรีลสายเคเบิลใต้ดิน เท่านั้น



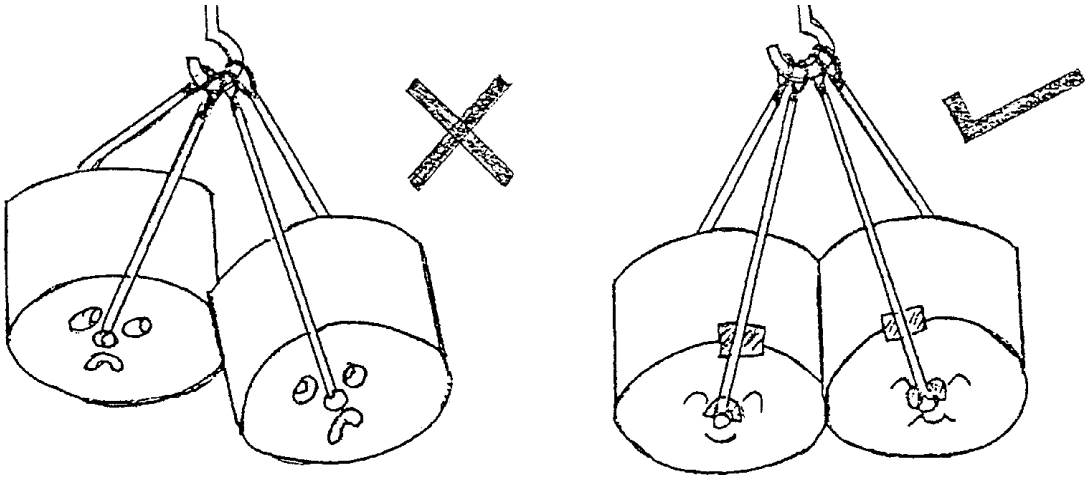
2) ใช้ผ้าหรือไม้รองป้องกันระหว่างสลิงกับรู และขอบรีลสายเคเบิลใต้ดิน ทั้ง 2 ข้าง

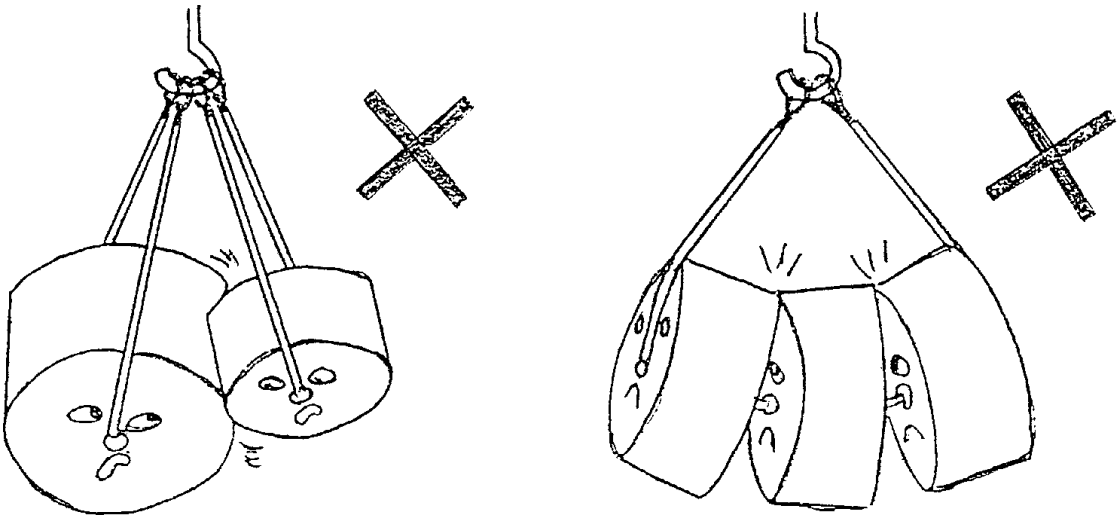


3) อย่าพยายามยกรีลสายเคเบิลใต้ดิน ด้วยสลิงที่ทำมุมมากกว่า 60 องศา

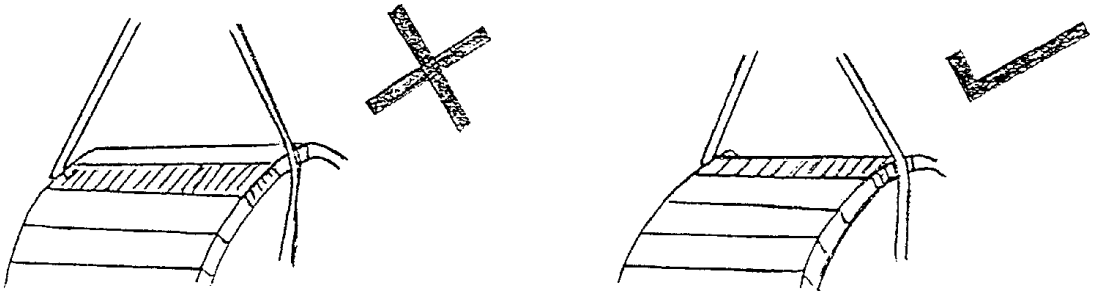


4) อย่ายกรีลสายเคเบิลใต้ดิน 2 ลูกพร้อมกันด้วยขอยกอันเดียว ถ้ารีลสายเคเบิลใต้ดิน แต่ละลูกหนักเกิน 5 ตัน แต่ถ้าน้ำหนักของรีลสายเคเบิลใต้ดิน แต่ละลูกน้อยกว่า 5 ตัน ให้ยกพร้อมกัน 2 ลูกได้ แต่ต้องให้ขอบของรีลสายเคเบิลใต้ดิน แนบเสมอกัน และอย่ายกรีลสายเคเบิลใต้ดิน ที่มีขนาดต่างกันโดยใช้ขอยกอันเดียว

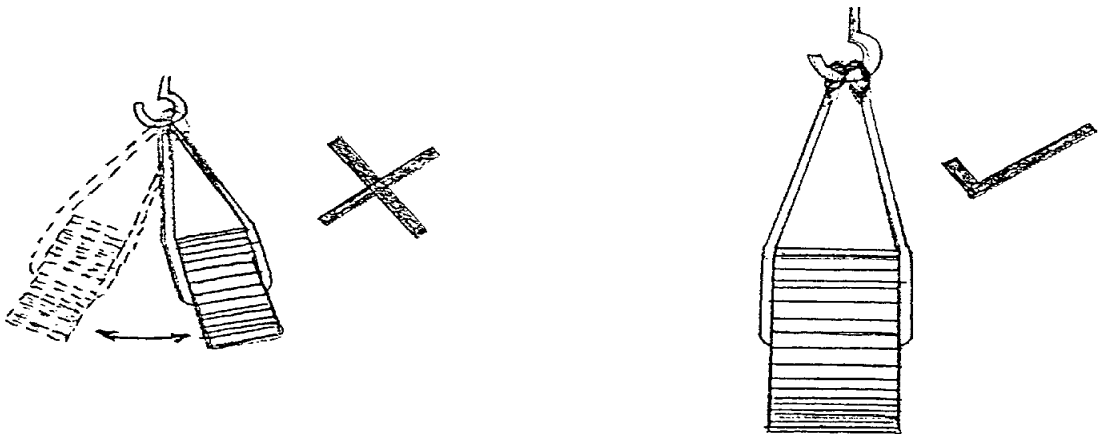




5) ต้องจัดสลิงให้อยู่บนขอบทั้งสองข้างของไม้รอง โดยสลิงด้านใดด้านหนึ่งต้องไม่หลุดออกจากไม้รอง

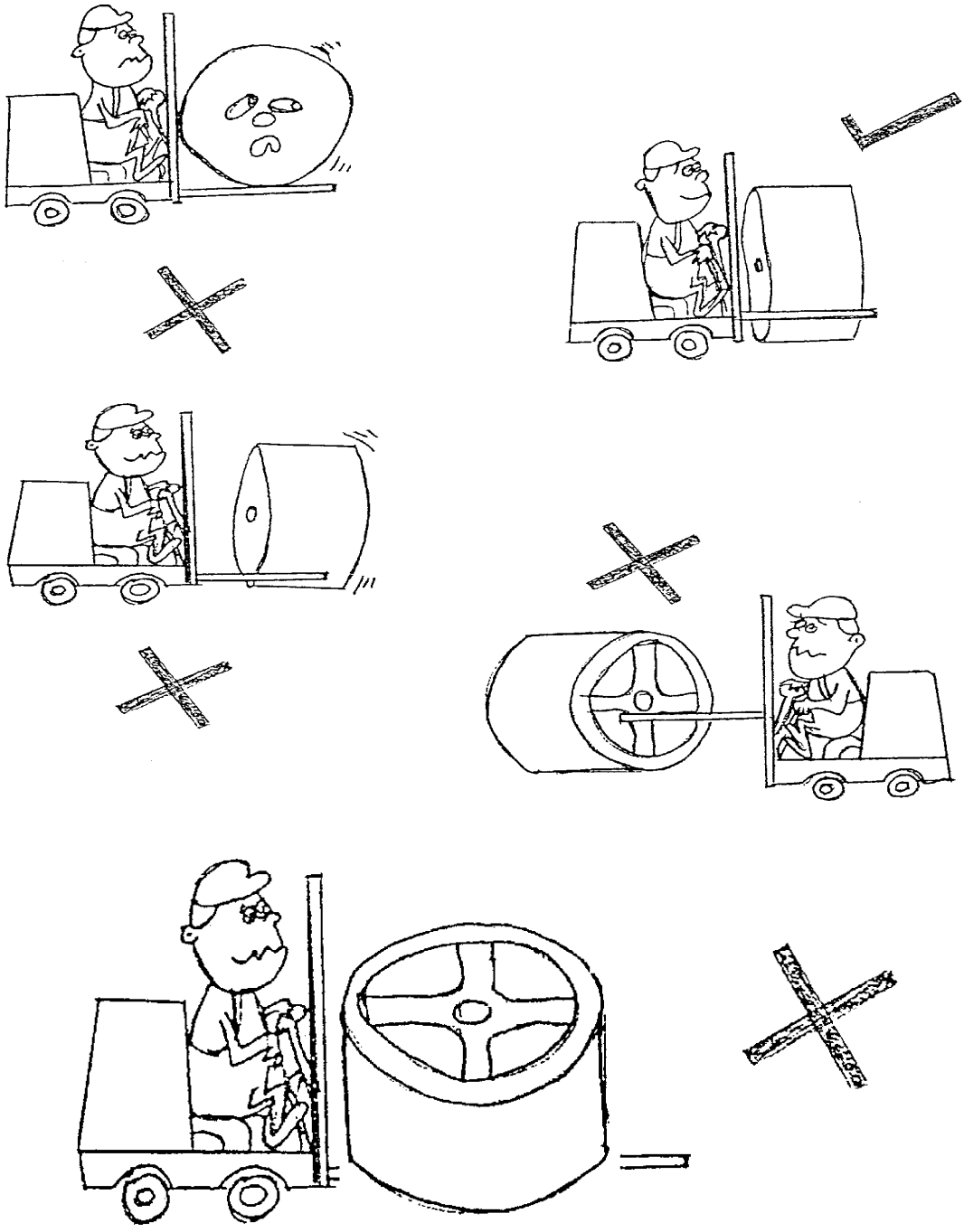


6) ต้องแน่ใจว่าได้จัดสลิงให้ขอยกอยู่ตรงกลางของรีลสายเคเบิลใต้ดิน เมื่อทำการยกรีลสายเคเบิลใต้ดิน เพื่อกันไม่ให้รีลสายเคเบิลใต้ดิน พลิก



8.3 ข้อควรระวังในการใช้รถยกโฟลคลีฟ อย่างถูกต้อง

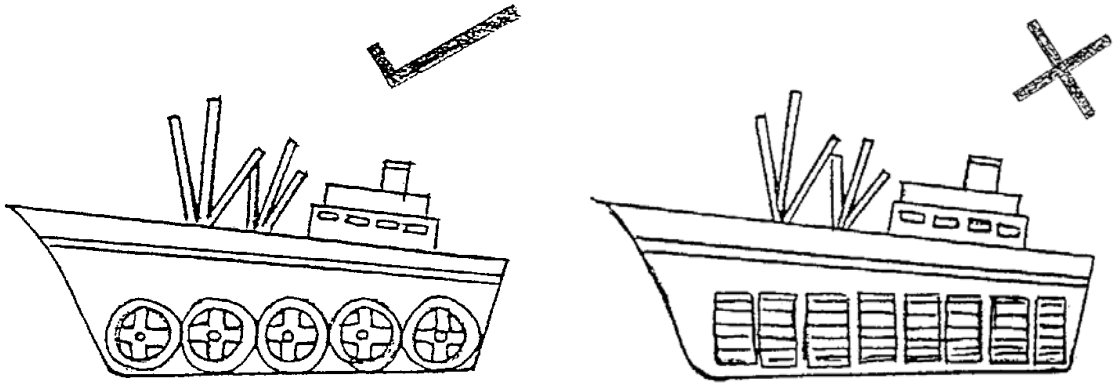
การสอดงาของรถโฟลคลีฟเข้าใต้รีลสายเคเบิลใต้ดิน ต้องให้ถูกต้องและเต็มตลอดความยาวของงา



8.4 ข้อควรระวังในการเก็บบรรทุกรีลสายเคเบิลใต้ดิน อย่างถูกต้องในการบรรทุกในเรือ

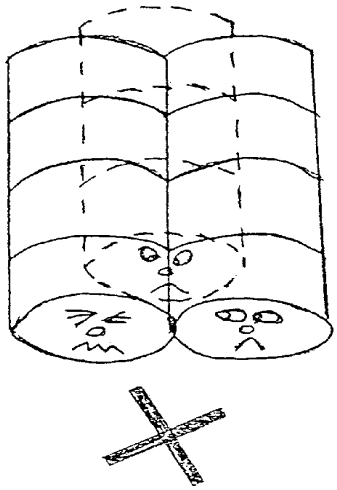
1) เก็บบรรทุกตามแนวที่เรือแล่น

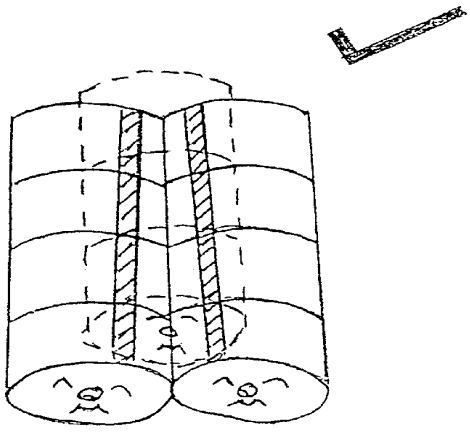
เก็บรีลสายเคเบิลใต้ดิน ให้ด้านโค้งของรีลสายอยู่ในแนวยาวของเรือ เพื่อว่าเมื่อเรือโต้คลื่นจะไม่ทำให้รีลสายเคเบิลใต้ดินเคลื่อนไหว ถ้าหากทำไม่ได้เช่นนั้นให้ปรึกษากับทางบริษัทผู้ผลิต ในกรณีเช่นนี้ให้ระวังเป็นพิเศษอาจจะเสียหายได้เมื่อเรือจอดกระทบฝั่ง สำหรับรีลสายเคเบิลใต้ดินชนิดน้ำมัน จะต้องบรรทุกให้ด้านโค้งของรีลสายเคเบิลใต้ดินหันไปทางหัวเรือเท่านั้น



2) การเก็บรีลสายเคเบิลใต้ดิน เรียงชั้นเดียว

รีลสายเคเบิลใต้ดิน น้ำมันและรีลสายเคเบิล ที่หนัก 5 ตันหรือมากกว่า ให้กองเรียงชั้นเดียว จะต้องไม่มีอะไรวางทับข้างบน เมื่อจำเป็นต้องกองซ้อนสองชั้น เพื่อความแน่ใจให้ปรึกษาบริษัทผู้ผลิตก่อน ในกรณีนี้ให้ใช้ไม้ลิ่มที่มีขนาดพอเหมาะรองไว้ระหว่างรีลสายเคเบิลใต้ดิน

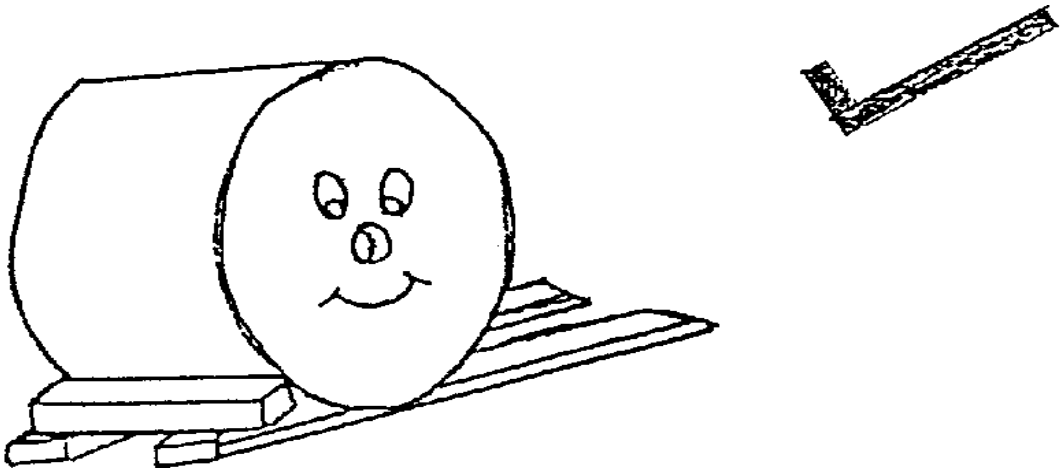




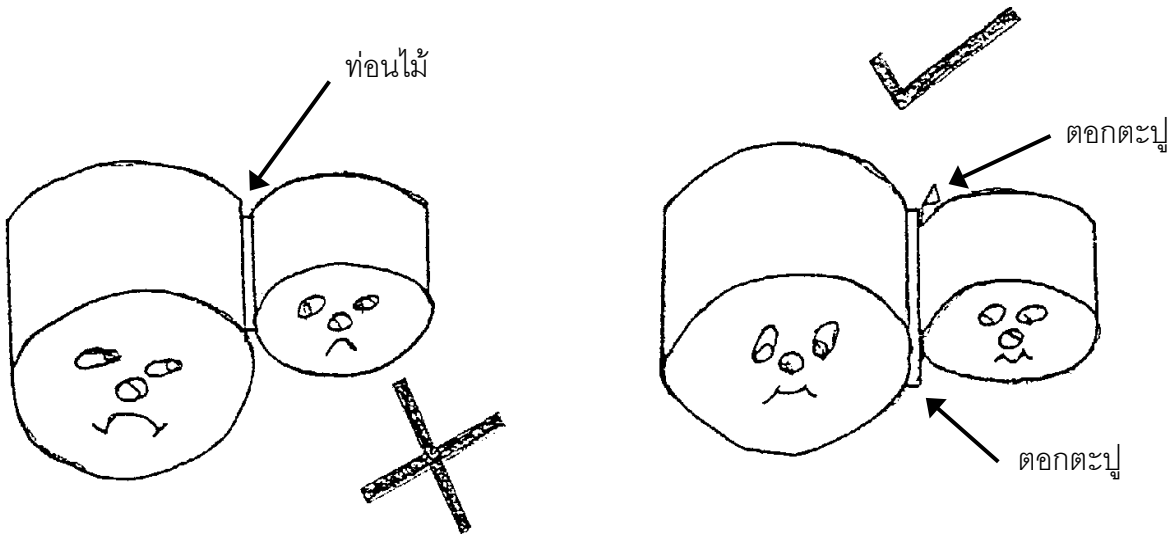
สำหรับความยาวของไม้ลิ่ม ให้ขอความเห็นจากบริษัทผู้ผลิต

3) ให้หย่อนรีลสายเคเบิลใต้ดินลงอย่างช้าๆ ลงในที่ๆ ต้องการ เมื่อต้องย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดินในเรือให้ใช้รอกยกหรือรถโฟรคลีฟแล้วแต่กรณี เมื่อต้องเคลื่อนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดินซึ่งมีเครื่องหมาย “ ด้านนี้อยู่บน ” เช่น รีลสายเคเบิลใต้ดินชนิดน้ำมัน ต้องแน่ใจว่าเครื่องหมายนั้นอยู่ด้านบนเวลาเคลื่อนย้าย

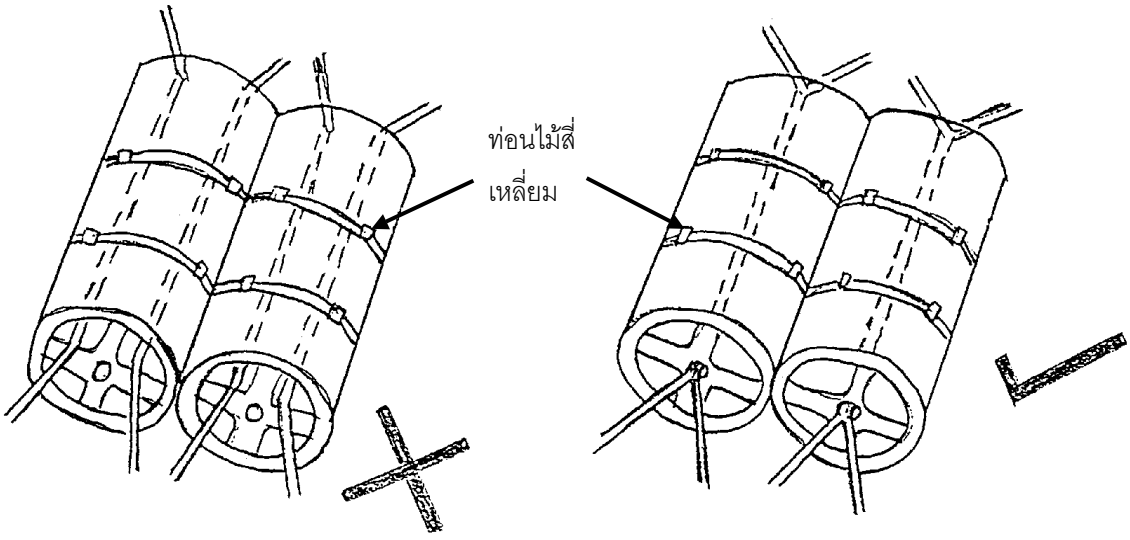
4) ในกรณีที่วางบนแผ่นเหล็ก ให้ใช้ลิ่มไม้ อัดไว้ใต้รีลสายเคเบิลใต้ดิน เสมอ



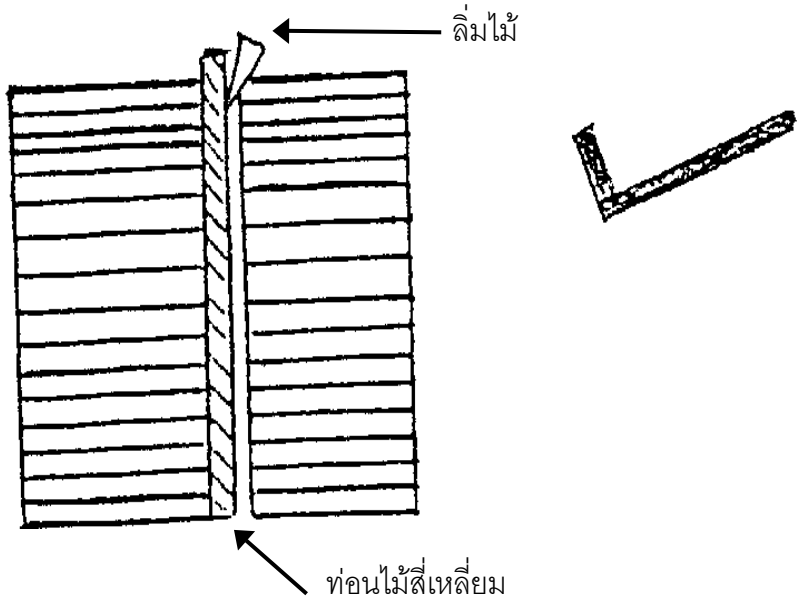
5) เมื่อเก็บรีลสายเคเบิลใต้ดินที่มีขนาดกว้างต่างกัน ให้วางท่อนไม้ตลอดความกว้างของรีลสายเคเบิลใต้ดิน เพื่อกันการกระแทกกันระหว่างรีลสายเคเบิลใต้ดิน ท่อนไม้จะต้องตอกตะปูติดที่ด้านแบนของท่อนไม้ทั้งสองด้าน



6) ลวดโยงจะต้องร้อยผ่านรูกลางของรีลสายเคเบิลใต้ดิน เสมอ

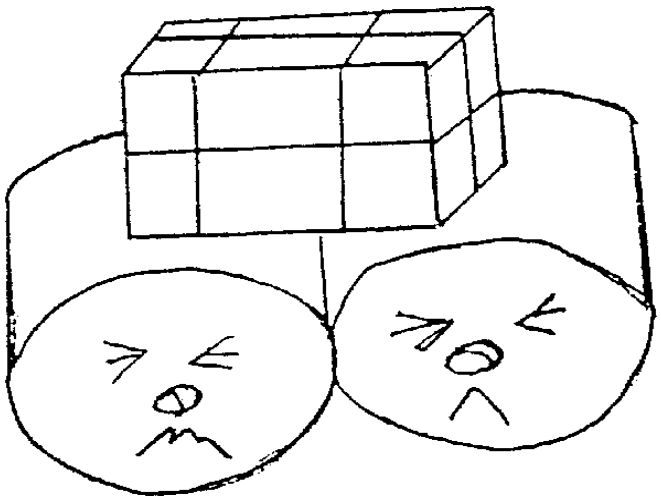


7) อัดระหว่างหน้าแบนของรีลสายเคเบิลใต้ดิน



8) อย่าวางสินค้าอื่นบนรีลสายเคเบิลใต้ดิน

ในกรณีที่ต้องวางสินค้าอื่นบนรีลสายเคเบิลใต้ดิน ต้องแน่ใจว่าได้ทำพื้นที่แข็งแรงบนรีลสายเคเบิลใต้ดิน เพื่อรองรับน้ำหนักสินค้าอื่นได้ อย่างไรก็ตามจะต้องได้รับความยินยอมจากบริษัทผู้ผลิตก่อน

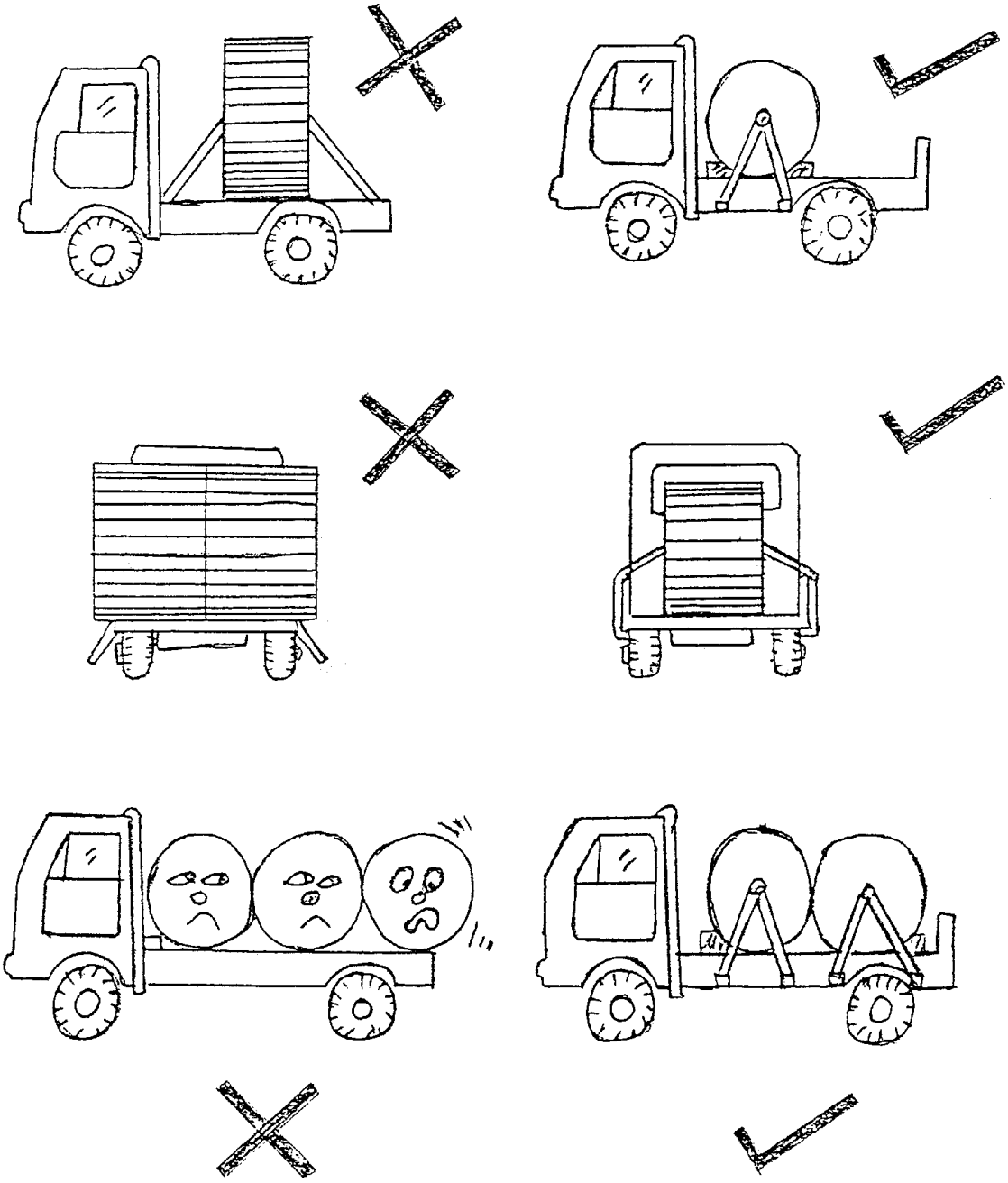


9) เมื่อต้องบรรทุกรีลสายเคเบิลใต้ดินบนสินค้าอื่น ต้องทำพื้นรองรับเหนือสินค้านั้น ให้มีความแข็งแรง ก่อนบรรทุกต้องแน่ใจว่าพื้นนั้นเรียบและแข็งแรงดี

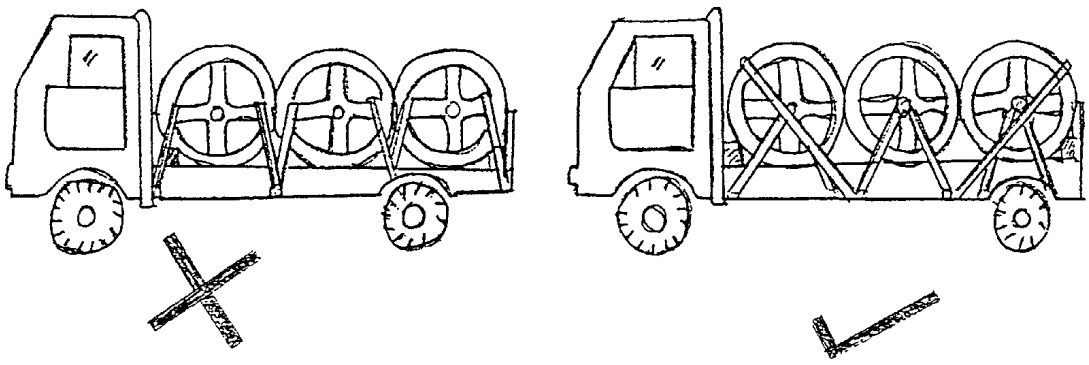
8.5 ข้อควรระวังในการขนส่งรีลสายเคเบิลใต้ดิน ทางบก

1) การบรรทุก

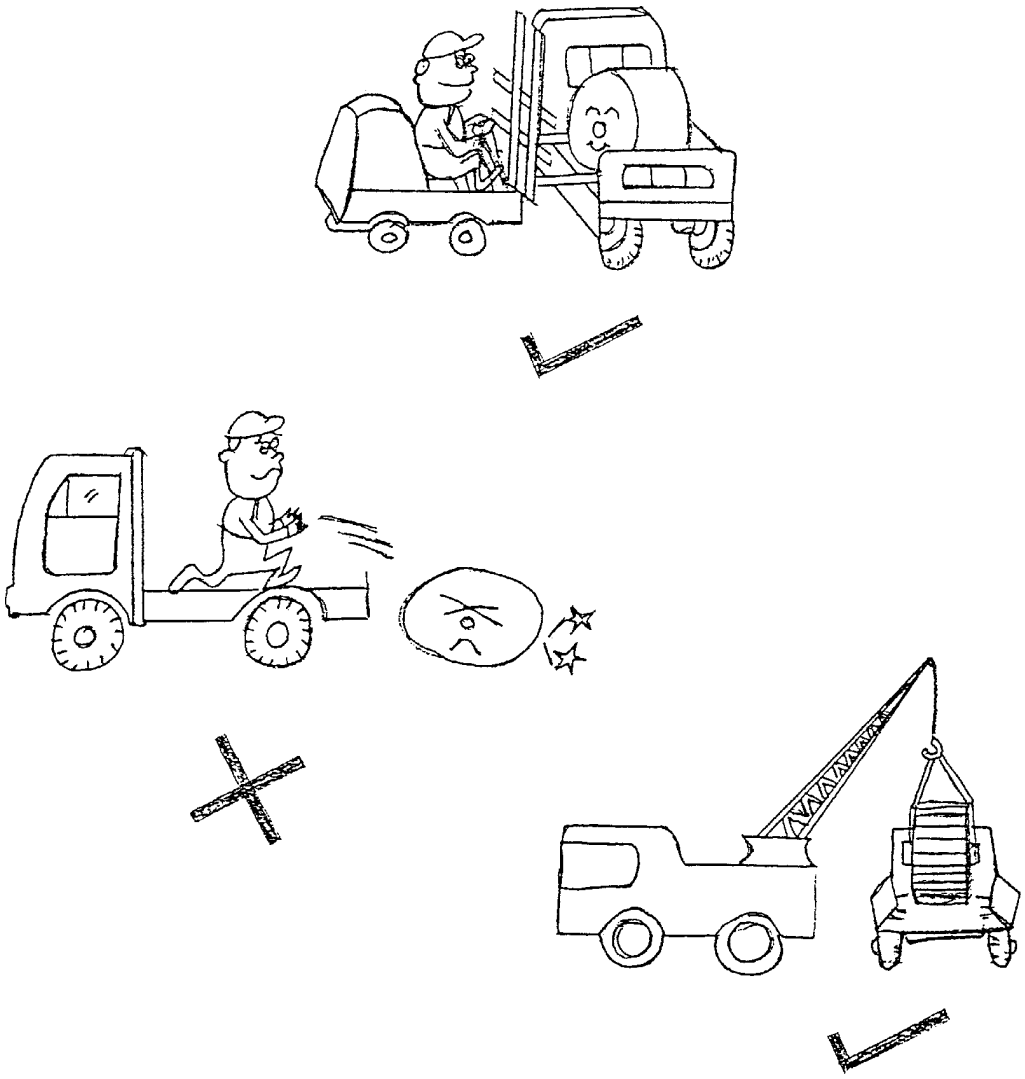
เมื่อบรรทุกรีลสายเคเบิลใต้ดินบนรถบรรทุก ต้องแน่ใจว่ารีลสายเคเบิลใต้ดิน วางอยู่อย่างมั่นคงบนตัวรถ และไม่ยื่นออกมานอกตัวรถ



2) การผูกมัดรีลสายเคเบิลใต้ดิน กับรถ



3) การยกรีลสายเคเบิลใต้ดิน ลงจากรถ



8.6 ปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ผลิต

โดยผู้ผลิต จะติดข้อปฏิบัติในการเก็บรักษา และการขนย้ายรีลสายเคเบิลใต้ดิน ไว้ที่รีลสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งจะต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด ในกรณีที่ต้องการความแน่ใจในการปฏิบัติที่นอกเหนือจากที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ให้ปรึกษาบริษัทผู้ผลิตก่อน เพื่อจะเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดตามมาภายหลังได้