ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้คอมพิวเตอร์

(Underground System Design and Installation by Computer)

จัดทำโดย

นาย ชัยสิทธิ์ เนียมถนอม 39013379

นาย เสกสรร ระเริง 39013407

นาย อนวัช แฮคำ 39013409

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ทวีพล ซื่อสัตย์

เลขเรียกหนังสือ ปพ จมถก ๒๕๔๑
เลขทะเบียน 040571
วัน เดือน ปี 13 ตค 42

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2541

040571

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้คอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ

1. นายชัยสิทธิ์ เนียมถนอม
2. นายเสกสรร ระเริง
3. นายอนวัช แฮคำ

.....

(อาจารย์ทวีพล ชื่อสัตย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้คอมพิวเตอร์

Underground System Design and Installation by Computer

นายชัยสิทธิ์ เนียมถนอม

นายเสกสรร ระเริง

นายอนวัช แฮคำ

โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการตรวจสอบได้

.....

(อาจารย์ทวีพล ซื่อสัตย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้คอมพิวเตอร์

ชัยสิทธิ์ เนียมถนอม
เสกสรร ระเริง
อนวัช แฮคำ
อ.ทวีพล ซื่อสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ Visual Basic ช่วยในการออกแบบโดยกำหนดระยะทางจากบ่อพักถึงบ่อพัก พร้อมทั้งแสดงแบบ Profile ซึ่งจะใช้การคำนวณค่าแรงดึงในการลากสายเคเบิลเป็นค่าอ้างอิงสำหรับมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ จะอ้างอิงตามมาตรฐานของ ANS/IEEE Std 525-1987 และมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Underground System Design and Installation by Computer

Chaisit Niamthanom
Seakson Raroeng
Anawat Haekham
Taweephol Seusat Advisor
1998

ABSTRACT

This thesis discusses the design and installation of underground power system by using computer. In designing Visual Basic will be employed to determine the distance between manholes, as well as show a shop drawing, using table pulling tension as a reference value. The design standard conforms to ANSI/IEEE std 525-1987 and MEA'S Requirements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน	
2.1 ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน	4
2.2 บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน	7
2.3 สายเคเบิลใต้ดิน	27
2.4 หัวสายไฟฟ้าใต้ดิน	36
บทที่3 ทฤษฎีการติดตั้งระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน	
3.1 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน	42
3.2 ความสามารถในการส่งและจ่ายพลังงานของสายไฟฟ้าใต้ดิน	48
3.3 การลากสายเคเบิล	50
บทที่ 4 การคำนวณค่าในการติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดิน	
4.1 การคำนวณแรงดึง	52
บทที่ 5 การใช้งานโปรแกรมออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดิน	62
บทที่ 6 การทดลองออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดิน	65
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา	71
บรรณานุกรม	(ก-ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

การไฟฟ้านครหลวงเป็นกิจการสาธารณูปโภค มีหน้าที่จำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 3,107 ตารางกิโลเมตร

ปัจจุบันระบบจำหน่ายพลังไฟฟ้าจำแนกเป็นประเภทแรงดันระดับต่าง ๆ (ไม่รวมระบบแรงดันต่ำ) คือ 12 kV. 24 kV. 69 kV. 115 kV. และ 230 kV. โดยจะจ่ายพลังไฟฟ้าเป็นระบบสายอากาศและสายใต้

จำนวนวงจรของระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากปัญหาต่าง ๆ เช่น right of way การเปลี่ยนจากระบบสายอากาศเป็นสายใต้ดิน เพื่อหลบทางด่วน หรือระบบขนส่งมวลชน และบางพื้นที่ต้องการความเชื่อถือได้ (Reliability) เป็นต้น

ความจำเป็นที่ต้องก่อสร้างระบบจ่ายไฟด้วยสายไฟฟ้าใต้ดิน

โดยปกติทั่ว ๆ ไป การไฟฟ้านครหลวงจะจ่ายไฟด้วยระบบสายอากาศ โดยการปักเสาและพาดสายไปตามถนน หรือซอยที่มี right of way เพียงพอ เพราะการก่อสร้างด้วยระบบสายอากาศจะประหยัด และลดปัญหาการก่อสร้างได้ดีกว่าระบบสายใต้ดินมาก ราคาค่าก่อสร้างแบบสายใต้ดินจะแพงกว่าระบบสายอากาศประมาณ 8-12 เท่า

เหตุที่จำเป็นต้องก่อสร้างระบบสายใต้ดิน เพื่อจ่ายไฟในระบบของการไฟฟ้านครหลวงสามารถแยกได้ดังนี้คือ

1. ในบางพื้นที่ไม่มีที่เพียงพอที่จะปักเสาได้ และบางพื้นที่ระยะปลอดภัยในการก่อสร้างด้วยระบบสายอากาศไม่เพียงพอ อาจจะเป็นอันตรายกับผู้ที่อยู่ใกล้กับสายอากาศเป็นอย่างมาก

2. ในบางพื้นที่เปรียบเทียบการก่อสร้างระหว่างสายอากาศและสายใต้ดินแล้วสายใต้ดินอาจจะถูกกว่า เช่น การก่อสร้างสายอากาศไปตามแม่น้ำ ลำคลองที่คดเคี้ยว ต้องใช้เสาโครงเหล็ก และต้องทำฐานเสาแข็งแรงมาก เมื่อเทียบค่าใช้จ่ายแล้ว การก่อสร้างด้วยระบบสายใต้ดินจะถูกกว่า

3. ในบางพื้นที่ต้องการความเชื่อถือได้ (Reliability) ในระบบสูง หากไฟฟ้าขัดข้องบ่อยจะทำให้ธุรกิจเกิดความเสียหาย จำเป็นต้องก่อสร้างด้วยระบบสายใต้ดิน

4. ในบางพื้นที่ ไม่สามารถก่อสร้างด้วยระบบสายอากาศได้ เพราะมีความจำเป็นต้องรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมให้สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสายไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวง

ปี พ.ศ. 2502 การไฟฟ้านครหลวงได้ก่อสร้างสร้างระบบสายไฟฟ้าใต้ดินแรงดัน 12 KV. เพื่อจ่ายไฟในเขตวงจรตาข่าย (Secondary Network Area) คือบริเวณพื้นที่ของกรุงเทพชั้นใน ซึ่งมีแม่น้ำเจ้าพระยา และคลองผดุงกรุงเกษมล้อมรอบ มีพื้นที่ประมาณ 8 ตารางกิโลเมตร สายใต้ดิน 12 KV. จ่ายเป็นแบบ Radial โดยใช้สาย PILC (Paper insulated lead covered) วางอยู่ใน Duct bank โดยในระยะแรกจ่ายไฟจากสถานีย่อยวัดเลียบ ซึ่งมีหม้อแปลงขนาด 21x5/20 MVA. ปัจจุบันสถานีย่อยวัดเลียบได้เปลี่ยนขนาดเป็น 2x30/40 MVA. และได้ก่อสร้างสถานีย่อยเพิ่มขึ้นอีก 2 แห่ง คือสถานีย่อยสะพานดำเหนือ และสะพานดำใต้ ซึ่งมีกำลังจ่ายไฟแห่งละ 2x30/40 MVA. และในปี 2529 จะมีสถานีย่อยบางขุนพรหมขนาด 2x30/40 อีก 1 แห่ง สายใต้ดินที่ใช้ในระยะหลัง ๆ นี้ ได้เปลี่ยนมาใช้สาย XLPE (Cross-Linked Poly Ethylene)

ระบบสายส่ง 69 KV. ที่จ่ายให้กับสถานีย่อยที่อยู่ในเขตวงจรตาข่ายนี้ ส่วนใหญ่เป็นระบบสายใต้ดิน เพราะการปักเสาเพื่อพาดสายอากาศทำได้ยากมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบระบบไฟฟ้าใต้ดินจากการไฟฟ้านครหลวง
2. เพื่อปรับปรุง และพัฒนาวิธีออกแบบให้รวดเร็ว โดยใช้คอมพิวเตอร์
3. เป็นแนวทางให้นักศึกษาหรือผู้ที่สนใจที่จะออกแบบได้ศึกษาต่อไป

1.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน

ทฤษฎีที่จำเป็นในการออกแบบสำหรับโครงงานนี้ก็คือ ทฤษฎีของการคำนวณหาค่าแรงดึง (tension) ในแนวราบและแนวระดับที่เป็นทางตรงและทางโค้งต่าง ๆ เพื่อที่จะกำหนดระยะห่างระหว่างบ่อพัก (Manhole) ถึงบ่อพัก หรือจากบ่อพักถึง Riser Pole จากการเลือก Duct Bank ชนิดต่าง ๆ ซึ่งทฤษฎีการคำนวณหาค่าแรงดึงจะให้มาตรฐานของ ANSI/IEEE Std 525-1987 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการคำนวณแรงดึงในแต่ละลักษณะ
2. รวบรวมขั้นตอนออกแบบเกี่ยวกับระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อเขียนโปรแกรมให้ทำงานตามที่กำหนด
3. เขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic Show การออกแบบและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงาน

1. ได้ทราบคุณสมบัติและ Cable , Duct Bank , Manhole และ Tension Device
2. สามารถออกแบบระบบสายไฟฟ้าใต้ดินได้โดยยึดหลักเกณฑ์ของ กฟน.
3. ทราบ Parameter ที่มีผลต่อการออกแบบติดตั้งระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน
4. นำโปรแกรมการออกแบบไปใช้หรือให้ผู้ที่สนใจจะออกแบบใช้ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน
(UNDERGROUND SYSTEM COMPONENT)

2.1 ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน (DUCTS OR DUCT BANK)

ในการก่อสร้างสายไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟนั้น จะต้องก่อสร้างให้สายไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งเราเรียกว่า Cable นั้นต้องปลอดภัยต่อคนหรือสัตว์ และแก่ตัว Cable เอง ดังนั้นจึงต้องวางหรือร้อยสาย Cable นั้นเข้าไว้ในท่อ (DUCT BANK) ฝังไว้ใต้ดิน หรือไว้ที่ปลอดภัย

ชนิดของท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน (DUCTS OR DUCT BANK)

มีลักษณะเป็นท่อกลมภายในกลวง วัสดุที่ใช้ทำมาจาก FIBER , CONCRETE , ASBESTOS CEMENT (AC.) , HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE.) , POLYVINYL CHLORIDE (PVC.) และ RIGID STEEL ฯลฯ ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้ใน กฟน. มีหลายประเภท เป็นท่อ HDPE., ท่อ AC. ท่อเหล็ก (RIGID STEEL), ท่อ PVC. (ปัจจุบันเลิกใช้แล้ว เนื่องจากไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ) แต่ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ท่อ AC และท่อ HDPE. ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินที่ดี ควรจะกันน้ำได้ และไม่เกิดปฏิกิริยาทั้งทางเคมีและทางไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติของท่อชนิดต่าง ๆ สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่อชนิดต่าง ๆ

	FIBER	ASBESTOS CEMENT	CONCRETE	STEEL
Co-efficient of Friction to Cable	0.25-0.30	0.40- 0.60	0.35-0.55	0.55
Resistance to Corrosion	Good	Excellent	Excellent	Good
Resistance to Electric Arc.	Fair	Excellent	Excellent	Good
Heat Dissipation	Fair	Good	Good	Excellent
Principal Advantage	Light Weight	Durable	Durable	Flesible& Strong
Principal Disadvantage	Envelope Expensive	Envelope Expensive	Heavy	Magnetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASBESTOS CEMENT DUCT (AC)

เป็นท่อไร้ตะเข็บ ที่ผลิตขึ้นจากส่วนผสมของปูนซิเมนต์ และใยหิน มีความยาว ท่อละ 4.00 m. โดยทั่วไปจะวางแล้วหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณลักษณะของท่อ AC. แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางคุณลักษณะของท่อ AC.

ASBESTOS CEMENT DUCT					
CODE NO.	D(NOTE 2)	d	D	L	WEIGHT
	mm			M	KG S
563-100	100	6	112	4.00	18.0
563-115	115	6	127	4.00	20.0
563-140	140	7	154	4.00	29.1

ขนาดของท่อ A/C ที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ID.) คือ 100 mm., (ภายในเขต NETWORK มีแต่ 100 mm. และ 115 mm. นอกจากของ 69 KV.CABLE) ซึ่งท่อขนาด 140 mm. (ID.) เป็นท่อที่ กฟน.ใช้มากที่สุด

ข้อดี

1. ราคาถูกกว่าท่อชนิดอื่น ๆ
2. มีความทนทานต่อการผุกร่อน
3. สามารถระบายความร้อนได้ดีด้วย

ข้อเสีย

1. มีโอกาสแตกหักง่ายกว่าท่อชนิดอื่น
2. มีน้ำหนักมากกว่า

HIGH DENSITY POLYETHYLENE DUCT (HDPE)

เป็นท่อ PE. (POLYETHYLENE) ซึ่งได้พัฒนาให้ทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้ดีมากยิ่งขึ้น ท่อ HDPE. นี้ แบ่งออกเป็น 2 CLASS คือ CLASS I และ CLASS II ข้อดีของท่อชนิดนี้คือสามารถยืดหยุ่นและดัดโค้งได้ง่ายกว่า เพราะฉะนั้นเวลาวางมักจะวางโดยไม่ต้องมีคอนกรีตมาหุ้ม แต่ราคานั้นสูงกว่าท่อ AC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของท่อ HDPE. ที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (OD.) ตั้งแต่ 90 mm., 125 mm. และ 160 mm. ซึ่งขนาด 140 mm. เป็นขนาดที่ กฟน.ใช้กันมากที่สุดคุณลักษณะของท่อ HDPE. แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงคุณลักษณะของท่อ HDPE

SIDE DIMATION (MM)	HDPE CONDUIT CLASS-I			HDPE CONDUIT CLASS-II			Lc (mm)
	ID (mm)	Tb (mm)	WEIGHT (KT/M)	ID (mm)	Tb (mm)	WEIGHT (KT/M)	
50	44.2	2.9	0.45	46.0	2.0	0.32	6
63	55.8	3.6	0.70	58.2	2.4	0.48	6
75	66.4	4.3	0.99	69.2	2.9	0.69	6
90	79.6	5.1	1.41	83.0	3.3	0.99	6
110	97.4	6.3	2.11	101.6	4.2	1.45	6, 10
125	110.8	7.1	2.70	115.4	4.8	1.87	6, 10
140	124.0	8.0	3.39	129.2	5.4	2.36	6, 10
160	141.8	9.1	4.42	147.6	6.2	3.09	6, 10

FLEXIBLE CORRUGATED PIPE

เป็นท่อที่ทำมาจาก HARD POLYETHYLENE มีลักษณะเป็นลูกฟูก จึงสามารถโค้ง, งอได้ง่าย ดังนั้น ในการขนส่งจึงม้วนมาเป็นขด โดย 1 ขด จะมีความยาวประมาณ 50 หรือ 100 m.

<u>ข้อดี</u>

1. น้ำหนักเบากว่าท่อชนิดอื่น
2. สามารถวางท่อที่มีความยาวมากกว่าท่อชนิดอื่นที่ใช้งานทั่วไป โดยมีตำแหน่งของการต่อท่อที่น้อยกว่า
3. แรงเสียดทานในการร้อยสายเคเบิลน้อยกว่า
4. หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ง่าย

<u>ข้อเสีย</u>

1. ราคาแพง
2. การทำความสะอาดท่อลำบากกว่าท่อชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของท่อ CORRUGATED ที่ใช้จะมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในตั้งแต่ 80 mm., 125mm. ซึ่งขนาด 125 mm. (ID.) เป็นขนาดที่ กฟน.ใช้มากที่สุดคุณลักษณะของท่อ FLEXIBLE แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงคุณลักษณะของท่อ FLEXIBLE

Terminail Diameter Mm	Outer Diameter About mm	Inner Diameter About mm	Wall Thickness About mm	Weight tor Reference Kg/m	Standard Length per Coil	Standard OD And height of Coil m
30	40	30	2.0	10	0.25	1.2x0.55
40	54	40	2.0	13	0.3	1.5x0.6
50	65	50	2.0	17	0.4	1.6x0.65
65	85	65	2.0	21	0.6	1.7x0.7
80	105	80	2.5	25	0.85	1.8x0.7
100	130	100	2.5	32	1.2	2.0x0.75
125	160	125	2.5	40	1.5	1.7x1.1
150	190	160	3.0	47	2.1	1.8x1.2
200	250	200	4.5	62	3.6	2.3x1.2

2.2 บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน (MANHOLE AND HANDHOLE)

บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ใต้ผิวถนน ซึ่งมีการจราจรของยานพาหนะต่าง ๆ ซึ่งจะต้องรับน้ำหนักสูงสุดได้ 18 ตัน (TON) ผนังด้านนอกขอบ่อพักส่วนบนจะต้องอยู่ใต้ระดับผิวถนนไม่น้อยกว่า 40 cm. บ่อพักจะมีฝาปิด (MANHOLE FRAME AND COVER) ทำด้วยเหล็ก ที่ก้นของบ่อพักจะต้องทำ SUMP สำหรับสูบน้ำออกเมื่อเวลาจะทำงานในบ่อพัก ลักษณะของการจัดหน้าต่างของบ่อพัก ขึ้นอยู่กับการวางท่อที่จะออกจากท่อพักนั้น ๆ บ่อพักที่มีขนาดเล็ก ๆ เราสามารถจะหล่อสำเร็จรูป และยกลงมาวางในที่ที่จะติดตั้ง แต่ถ้าเป็นบ่อพักขนาดใหญ่ จำเป็นต้องก่อสร้างในที่ที่จะใช้งานเพราะน้ำหนักมาก

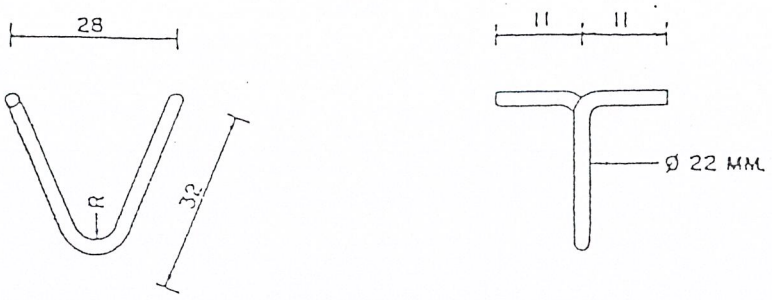
อุปกรณ์ประกอบของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

1. PULLING IRON เป็นตัวช่วยในการลาก CABLE มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.1
2. ARCHOR BOLT เป็นตัวยึด CABLE RACK มีลักษณะและการติดตั้งดังรูปที่ 2.2
3. MANHOLE ENTRANCE STEP เป็นตัวช่วยอำนวยความสะดวกในการลงไปปฏิบัติงานในบ่อพัก มีลักษณะและการติดตั้งดังรูปที่ 2.3
4. DIRVE HOOK มีลักษณะเป็นตะขอติดอยู่บนเพดานบ่อมีไว้อำนวยความสะดวกในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PULLING IRON

(CODE NO. 044-912 - SEE DWG. NO. UG-8-012)



(R = 30 ± 5 MM.)

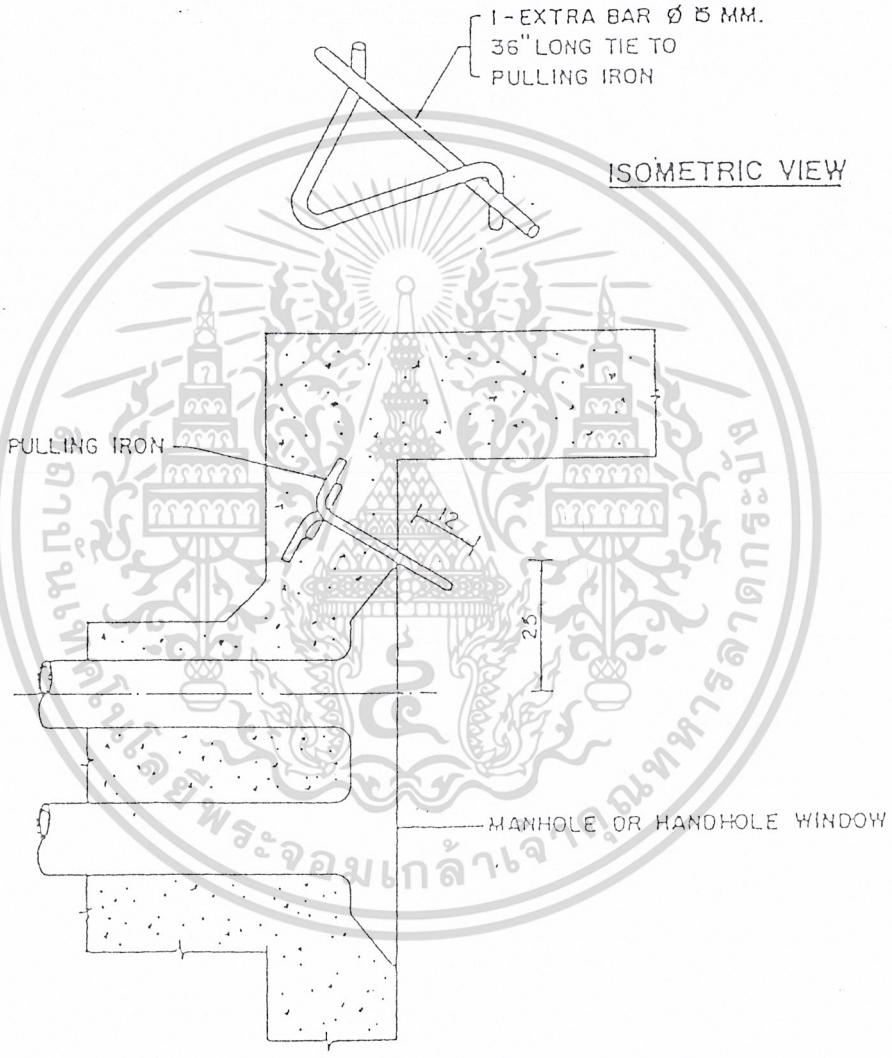


FIG.1 UPPER PULLING IRON

NOTES.
1. DIMENSIONS ARE IN CM. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
2. PULLING IRON SHALL BE HOT-DIP GALVANIZED AFTER FORMING.
   THE THICKNESS OF ZINC COATING SHALL NOT BE LESS THAN 120 MICRONS.
3. LOCATION OF PULLING IRON IN MANHOLE SHALL BE IN LINE WITH OPPOSITE DUCT BANK CENTER LINE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 Pulling Iron

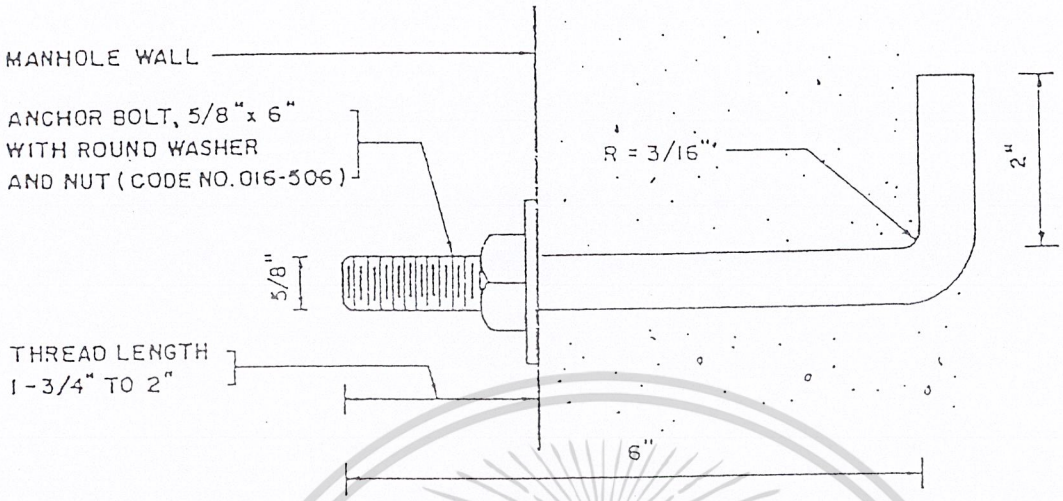


FIG. 1: ANCHOR BOLT INSTALLATION

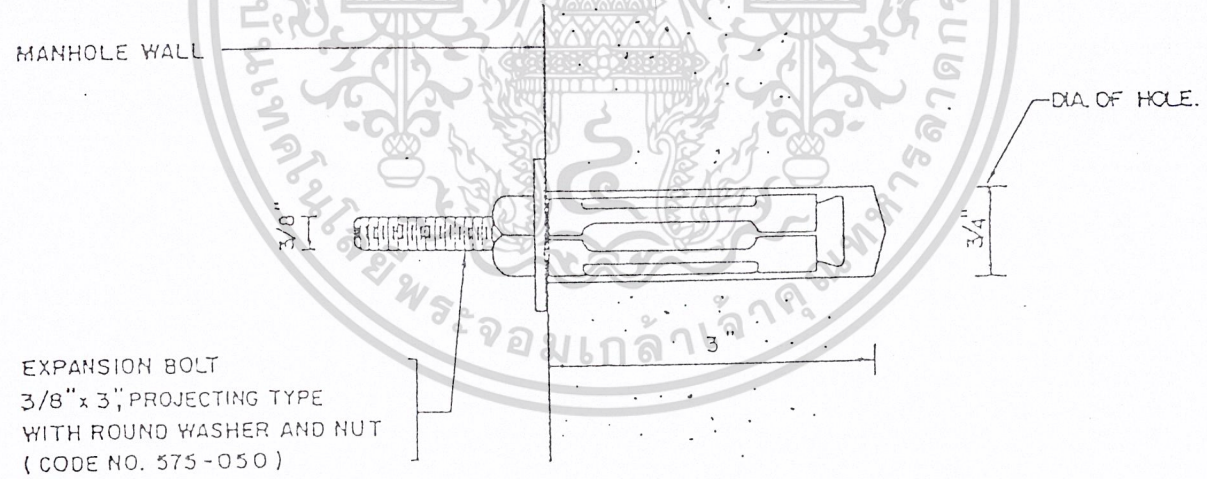
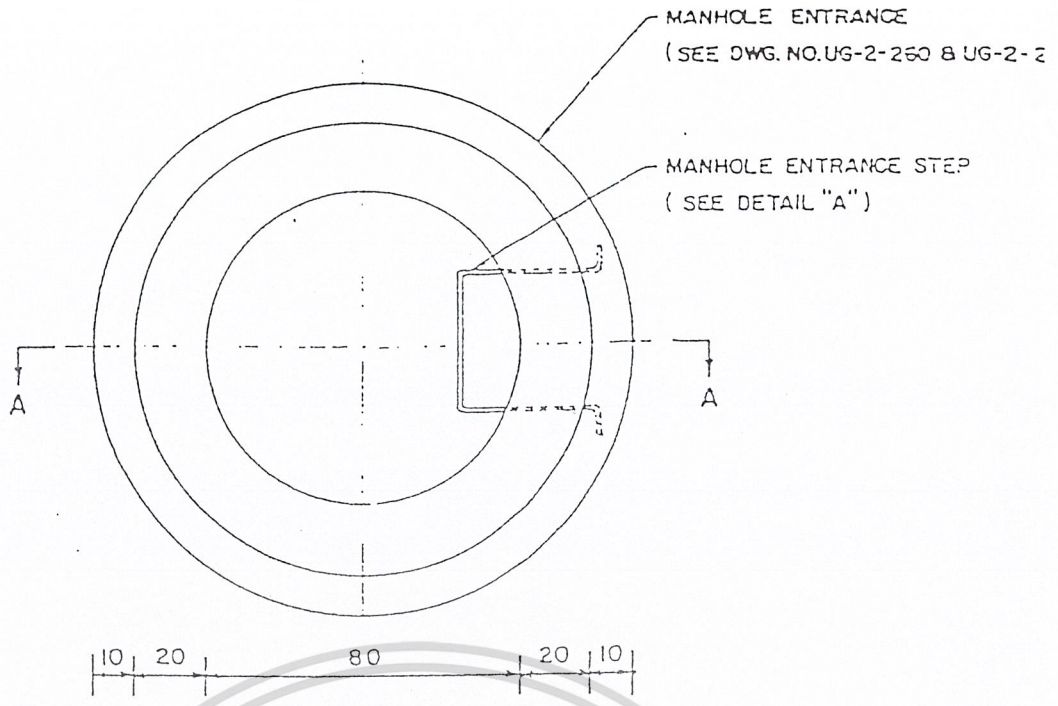
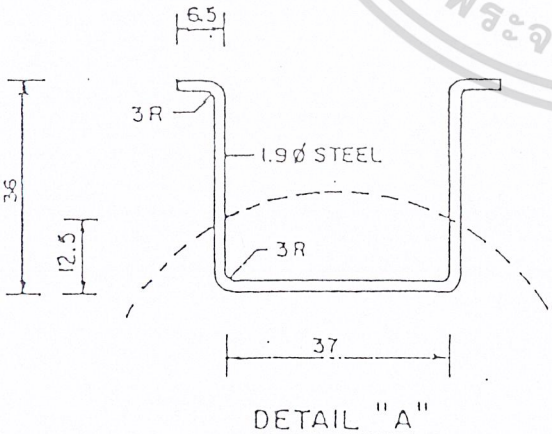


FIG.2: EXPANSION BOLT INSTALLATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 Archor Bolt





NOTES.

1. DIMENSIONS ARE IN CM.
2. MANHOLE ENTRANCE SHALL HAVE AT LEAST ONE MANHOLE ENTRANCE STEP AS SHOWN IN DRAWING.
3. IN CASE OF RESURFACING OF STREET SURFACE, THE HIGHER RECONSTRUCTED MANHOLE ENTRAN SHALL HAVE MANHOLE ENTRANCE STEP EVERY 40 CM. INTERVAL.
4. MANHOLE ENTRANCE STEP SHALL BE HOT-DIP GALVANIZED AFTER FORMING. THE THICKNESS OF ZINC COATING SHALL NOT BE LESS THAN 120 MICRONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 Manhole Entrance Step

5. GROUND ROD เป็นตัวที่ใช้สำหรับท่อ SHIELLD ของ Cable ลงดินเพื่อลดอันตรายเนื่องจากสนามไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.4

ซึ่งส่วนแรกนี้เป็นอุปกรณ์ประกอบที่จะต้องติดตั้งไปพร้อมกับการก่อสร้างบ่อพัก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง CABLE 12 kV., 24 kV.

1. CABLE RACK เป็นตัวที่ยึดติดกับผนังบ่อ เพื่อจะนำเอาอุปกรณ์ ตัวอื่นมาประกอบ รูปร่างและลักษณะของ CABLE RACK ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

2. CABLE SUPPORT ทำมาจากเหล็กชุบด้วย GALVANIZE ใช้เกี่ยวเข้ากับ CABLE RACK ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ PILLOW INSULATOR ซึงแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

3. PILLOW INSULATOR มีลักษณะเป็นฉนวนทำมาจาก PORCELAIN ซึ่งจะถูกวางอยู่บน CABLE SUPPORT ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ CABLE 12kV., 24 kV. ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนรูปที่ 2.6 เป็นลักษณะการติดตั้ง CABLE 12, 24 kV. โดยใช้อุปกรณ์ดังกล่าว

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง CABLE 69 kV., 115 kV.

1. CONCRETE RACKING POLE มีลักษณะคล้ายเสา CONCRETE อยู่ระหว่างเพดานและก้นบ่อพัก เพื่อที่จะใช้เป็นตัวยึดของ HANGER ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2. HANGER FOR SUPPORTING CABLE จะถูกยึดติดอยู่กับ CONCRETE RACKING POLE มีลักษณะเป็นแขนยื่นออกมา เพื่อรองรับ PILLOW INSULATOR ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำมาจากเหล็กเคลือบด้วยสังกะสี (ZINC-COATING) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- HANGER สำหรับ CABLE ซึ่งจะใช้กับ CABLE ขนาด 500 และ 800 mm^2 ดังแสดงในรูปที่ 2.8

- HANGER สำหรับ SPLICING CABLE ซึ่งจะได้กับ CABLE SPICED ขนาด 500 mm^2 และขนาด 800 mm^2

3. PILLOW INSULATOR วัสดุที่ใช้ทำมาจาก PORCELAN ซึ่งจะถูกวางอยู่บน HANGER ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ CABLE 69kV.,115 kV. สามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- ใช้สำหรับ CABLE ซึ่งจะใช้กับ CABLE ขนาด 500^2 mm และ 800^2 mm ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (FIG.1)

- ใช้สำหรับ SPLICING CABLE ซึ่งจะใช้กับ CABLE SPLICED ขนาด 500 และ 800 mm^2 ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (FIG.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในรูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างการติดตั้ง CABLE 69 kV., 115 kV. ขนาด 800mm^2 ภายในบ่อพักสาย โดยใช้อุปกรณ์ดังกล่าว

4. MANHOLE FRAME เป็นวัสดุที่ทำมาจาก SEMI-STEEL หรือ CAST IRON ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ MANHOLE COVER ซึ่ง MANHOLE FRAME นี้ จะติดตั้งอยู่บริเวณช่องทางเข้า-ออกของบ่อพัก (MANHOLE ENTRANCE) แสดงได้ดังรูปที่ 2.11

5. MANHOLE COVER เป็นฝาปิด (COVER) ช่องทางเข้า-ออก ของบ่อพักทำมาจาก CAST IRON รูปร่างและรายละเอียด แสดงได้ดังรูปที่ 2.15

6. WATER SEAL STREET MANHOLE ENTRANCE เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันน้ำไม่ให้เข้าไปในบ่อพักสายซึ่งประกอบด้วย INNER COVER , RUBBER GASKET, PRESS SCREW YOKE และ PRESS SCREW AND HAND WHEEL รูปร่างและลักษณะการติดตั้ง MANHOLE FRAME, COVER และ WATER SEAL แสดงได้ดังรูปที่ 2.13

หน้าที่ของบ่อพักใต้ดิน

1. ใช้งานและจัดทำหัวต่อสาย (Cable splice) เนื่องจากไม่สามารถลากสายออกจาก Cable trench ไปขึ้น Riser ได้ (กรณีที่ระยะทางตรงมากกว่า 150,000 เมตร)

2. ใช้ในการกระทำระบบ Grounding สำหรับระบบป้อน (12,24 kV.) และทำ CROSS-BONDING สำหรับระบบสายส่ง (69, 115, 230 kV.)

3. ใช้ในการเปลี่ยนหรือแยกทิศทางของ DUCT BANK (เช่นกรณีแยกขึ้น RISER หรือแยกไปเข้าซอยหรือถนน)

4. เพื่อช่วยในการลาก Cable ให้สะดวกมากยิ่งขึ้น

ชนิดของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

1. ระดับแรงดัน 69-115 kV. ประกอบด้วย MH. (MANHOLE) TYPE A-4/1, A-4/2, B-3/1S*, B-3/2, L-1/1, T-3/1 และ T-5/1 ซึ่งแสดงตัวอย่าง ได้ดังรูปที่ 2.14

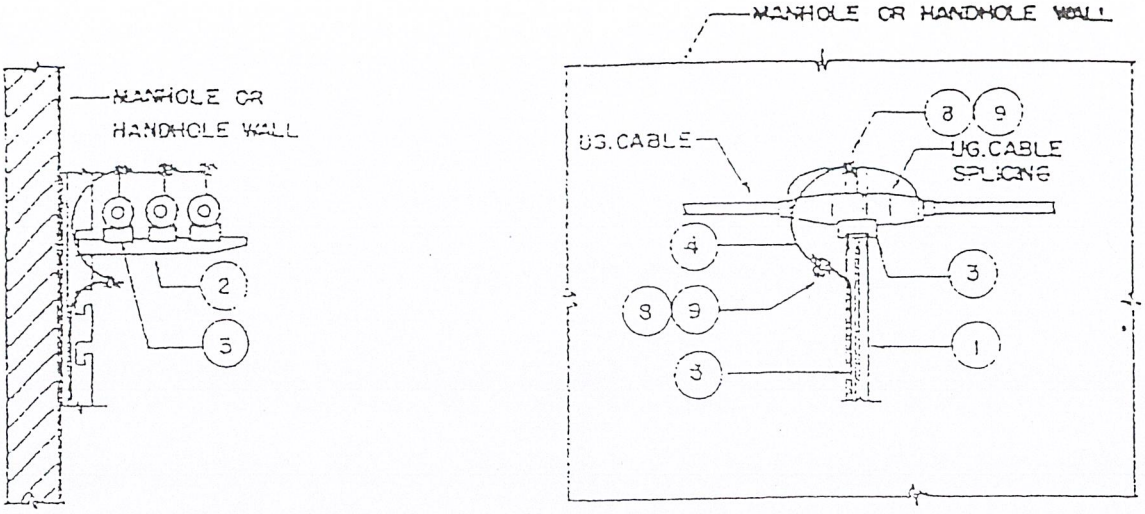
2. ระดับแรงดัน 12-24 kV. สามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

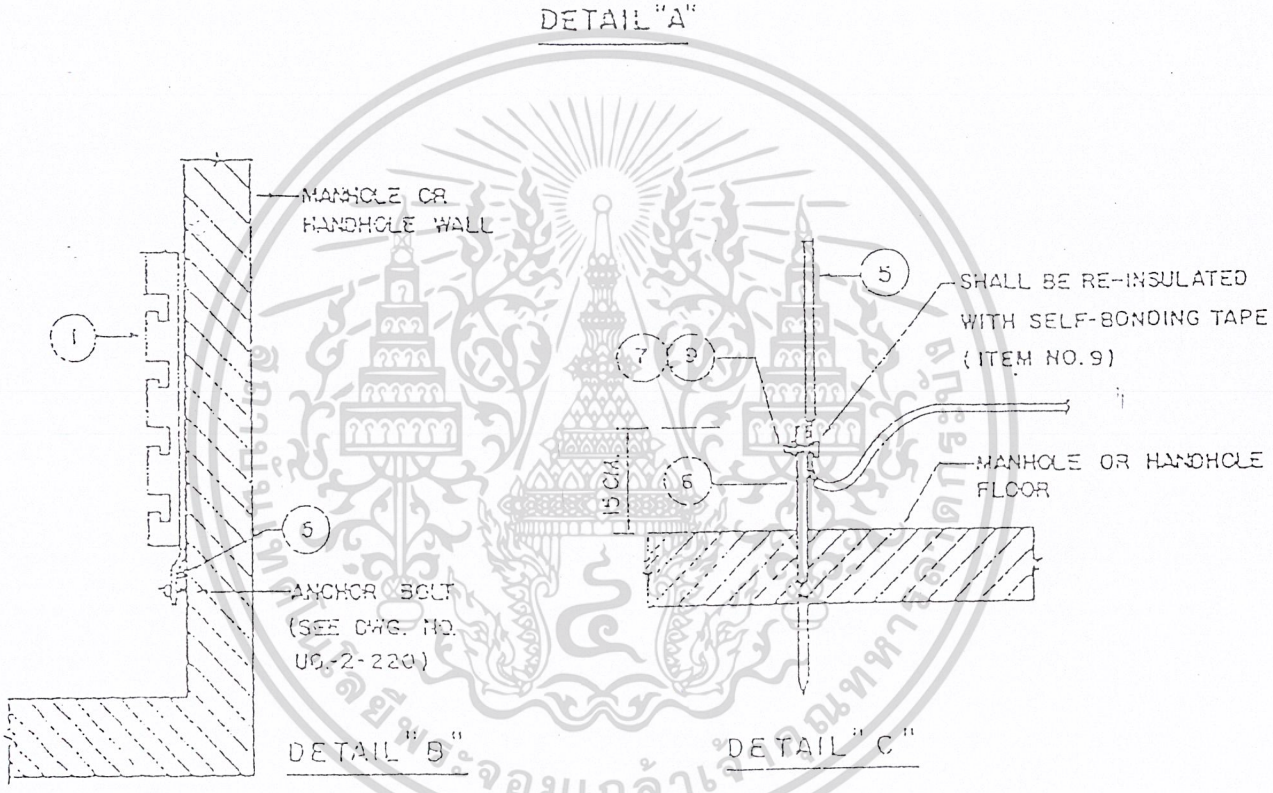
   - HH. (HANDHOLE) ซึ่งประกอบด้วย TYPE C, C-1, C2-/1 และ C-3
   - MH. (MANHOLE) ซึ่งประกอบด้วย TYPE A-1/1, A-1/2, A-2/1, A-3/1, B-4/1, B- 4/2, L-2/1, L-2/2 และ T-4/1

* <u>หมายเหตุ</u> เป็นบ่อชนิดพิเศษ (S=SPECIAL) ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะเช่น

- D (DEEP) บ่อชนิดนี้จะมีคอบ่อลึกกว่าปกติ (ปกติ = 65 CM)
- W (WIDE) บ่อชนิดนี้จะมีความกว้างกว่าปกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

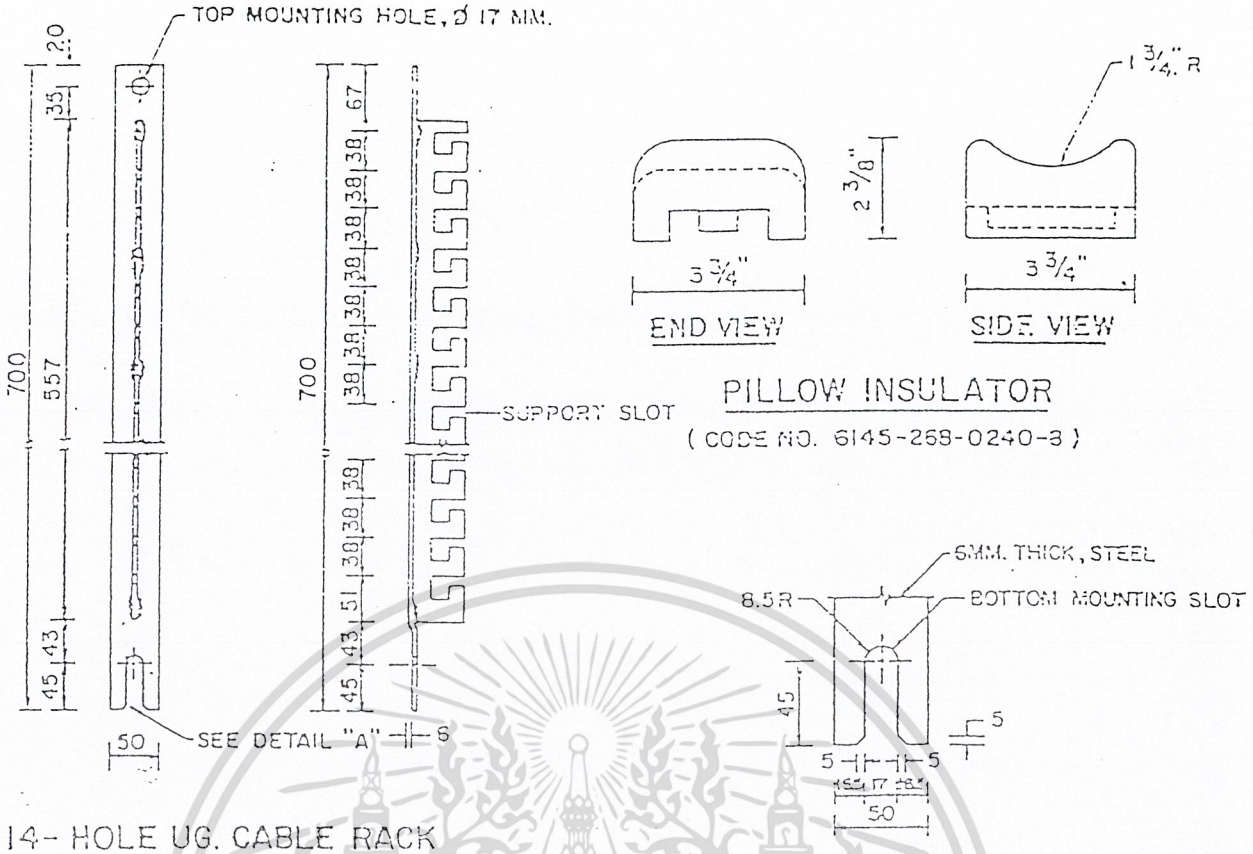




ITEM NO.	CODE NO.	DESCRIPTION
1	268 – 014	RACK, UNDERGROUND CABLE, 14-HOLE
2	268 – 023	SUPPORT, UNDERGROUND CABLE, 3-INSULATOR
3	268 – 024	INSULATOR, PILLOW
4	201 – 023	CONDUCTOR, PVC. INSULATED TYPE A, 25 MM.^{2}
5	201 – 050	CONDUCTOR, PVC. INSULATED TYPE A, 50 MM.^{2}
6	033 – 508	GROUND ROD, 5/8" x 8' COPPER CLAD STEEL
7	092 – 520	CLAMP, GROUND ROD 5/8"
8	071 – ___	BOLT, SPLIT SIZE AS REQ'D
9	316 – 629	TAPE, SELF-BONDING, 3/4" x 30' (REF 3M NO. 23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

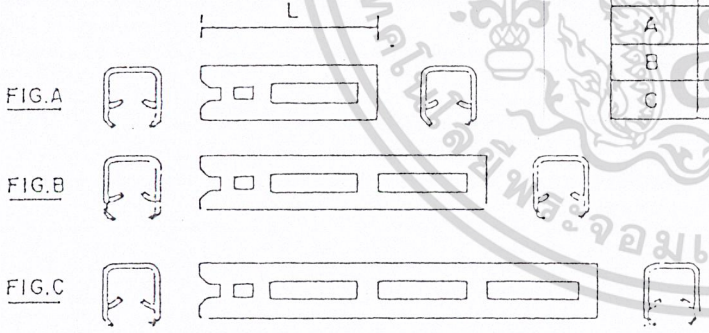
รูปที่ 2.4 Ground Rod



14- HOLE UG. CABLE RACK

(CODE NO. 6145-268-0140-0-SEE NOTE 4.)

UNDERGROUND CABLE SUPPORT			
FIG.	CODE NO	MAXIMUM NUMBER OF INSULATORS	LENGTH (L) M.M.
A	6145-268-0210-1	1	175
B	6145-268-0220-0	2	300
C	6145-268-0230-9	3	425



UNDERGROUND CABLE SUPPORT

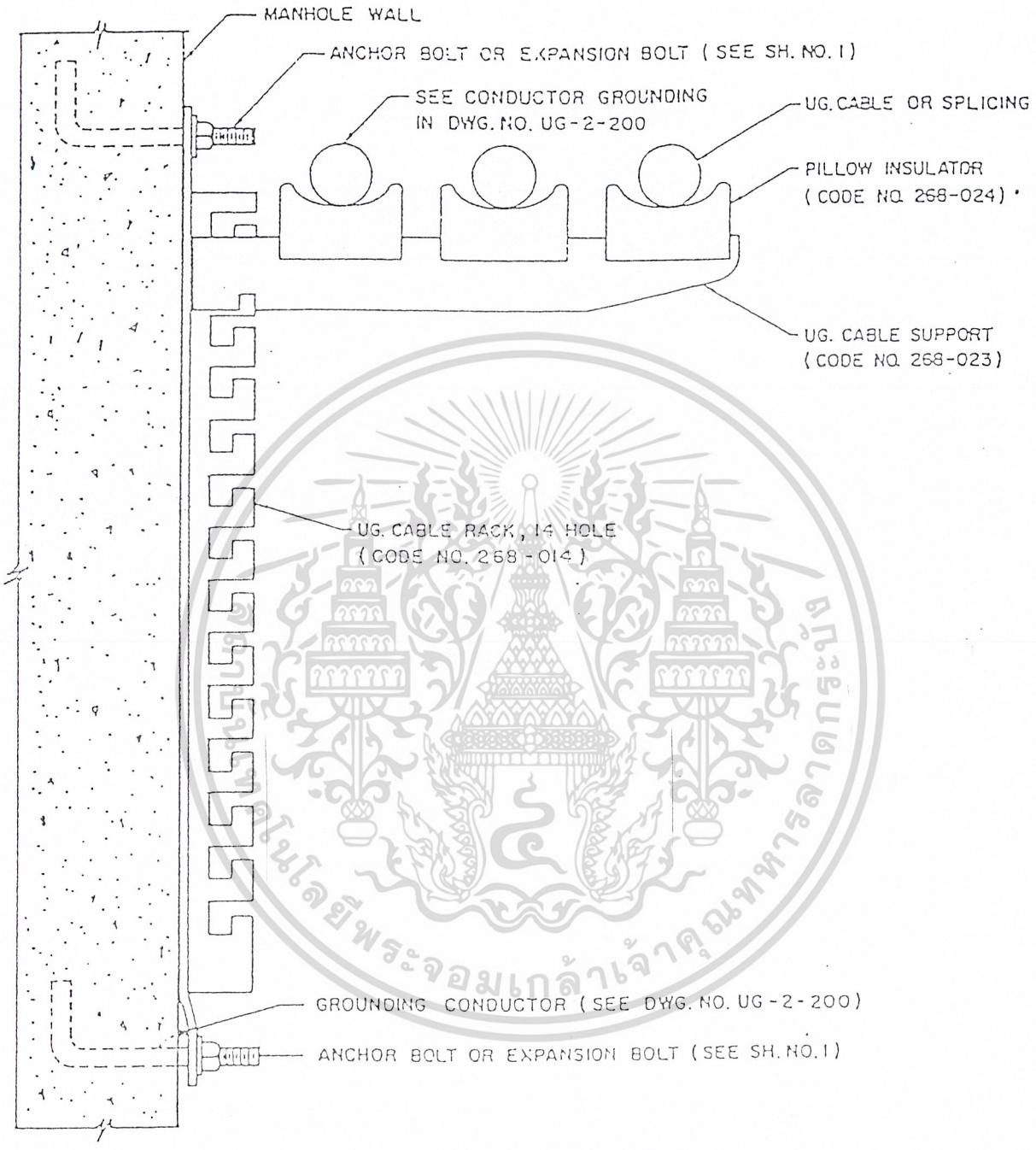
(SEE DWG. NO.UG-8-013)

NOTES. 1. DIMENSIONS ARE IN MM. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

2. AFTER FABRICATION, THE STEEL UG. CABLE RACK & SUPPORT SHALL BE GALVANIZED BY HOT-DIP PROCESS. THE THICKNESS OF ZINC COATING SHALL NOT BE LESS THAN 120 MICRONS.
3. SEE COMPLETE INSTALLATION ON SH. NO. 3
4. SEE DWG. NO. UG-8-011 FOR MORE DETAILS OF UG. CABLE RACK.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

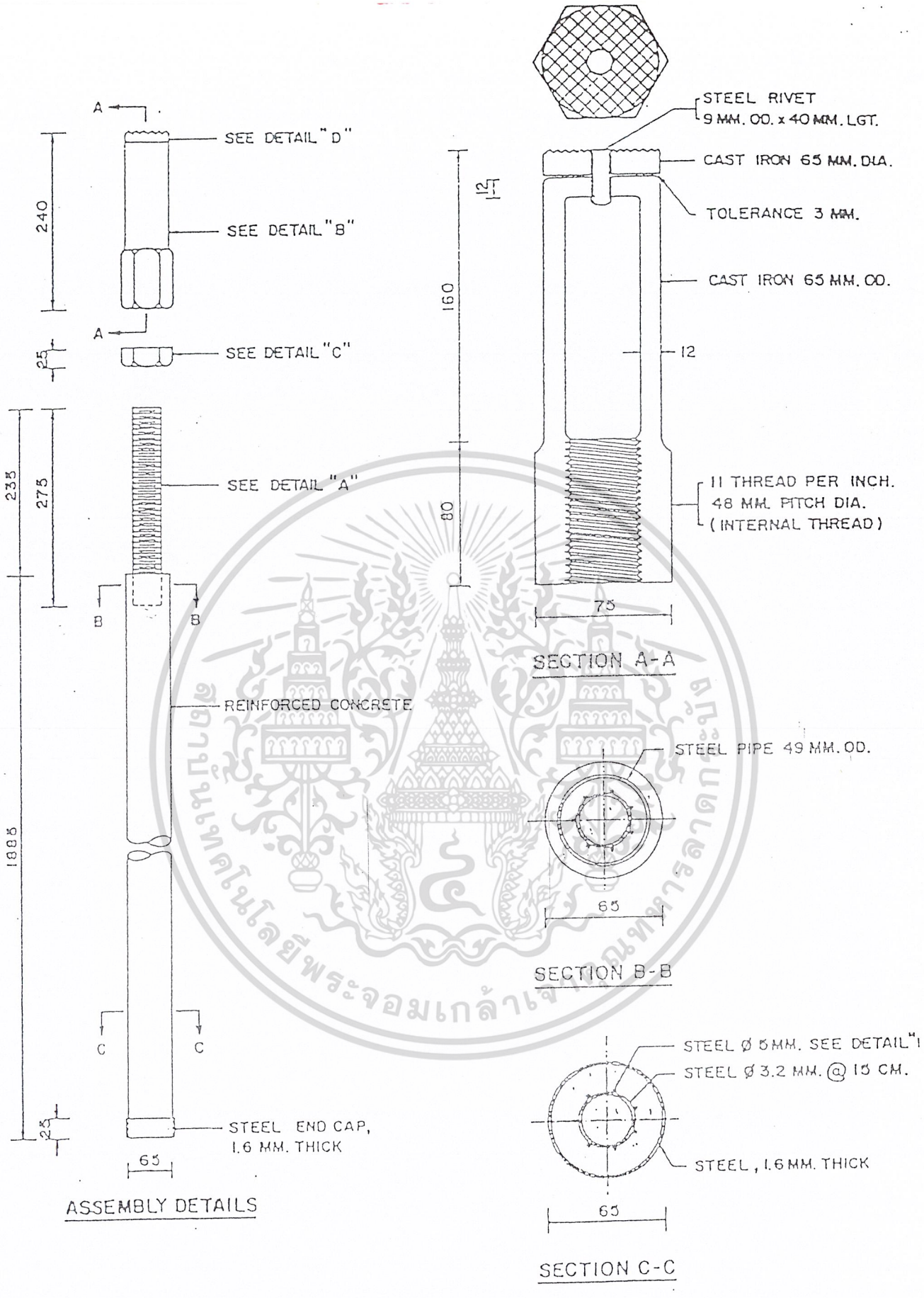
รูปที่ 2.5 Cable Rack, Cable Support and Pillow Insulator



TYPICAL INSTALLATION OF UG. CABLE ON UG. CABLE RACK

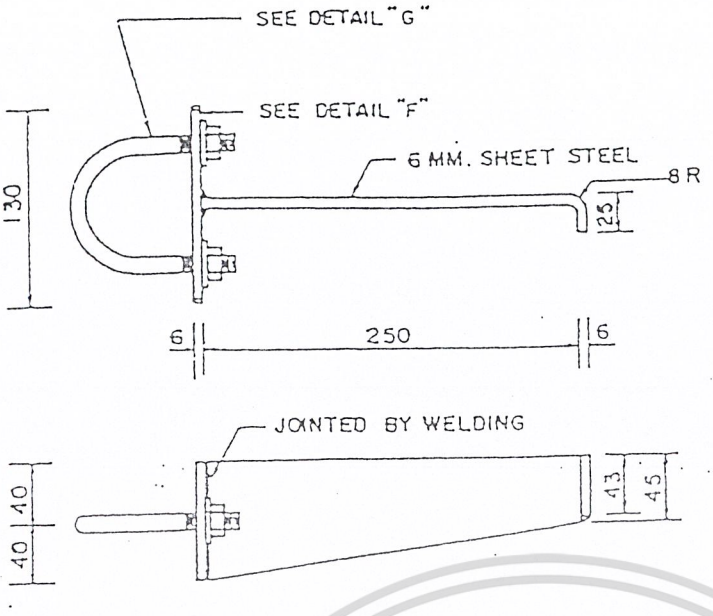
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

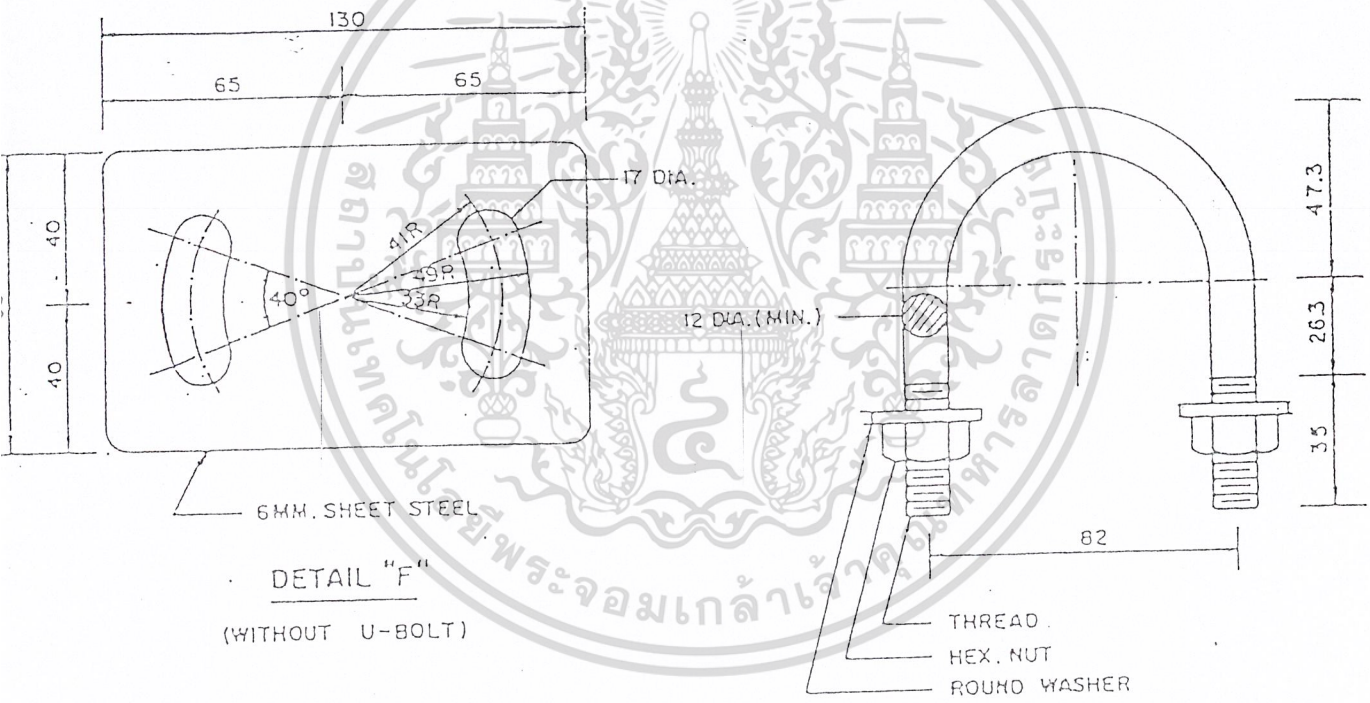
รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้ง Pillow Insulator



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 Concrete Racking Pole



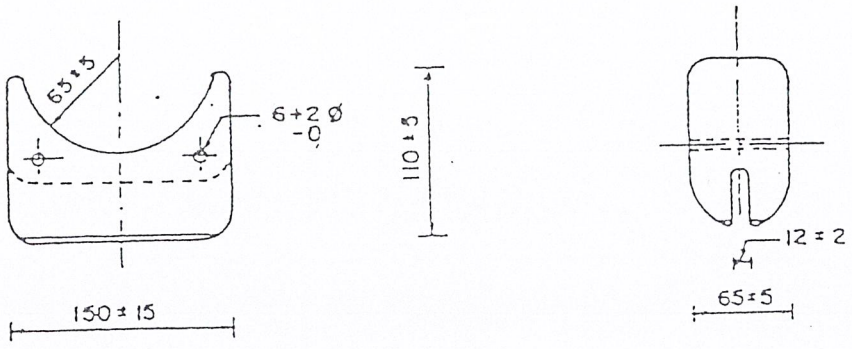


NOTES

1. DIMENSIONS ARE IN MM. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
2. AFTER FABRICATION, THE MATERIALS SHALL BE GALVANIZED BY HOT-DIP PROCESS. THE THICKNESS OF ZINC-COATING SHALL NOT BE LESS THAN 120 MICRONS.
3. CODE NO. OF THIS TYPE OF HANGER IS 274 - 308

รูปที่ 2.8 Hanger สำหรับ Cable ขนาด 500 sq.mm. และ 800 sq.mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



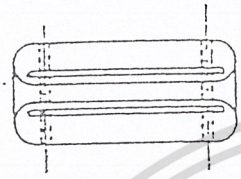


FIG.1 PILLOW INSULATOR

(CODE NO. 274 -328 -SEE NOTE 2)

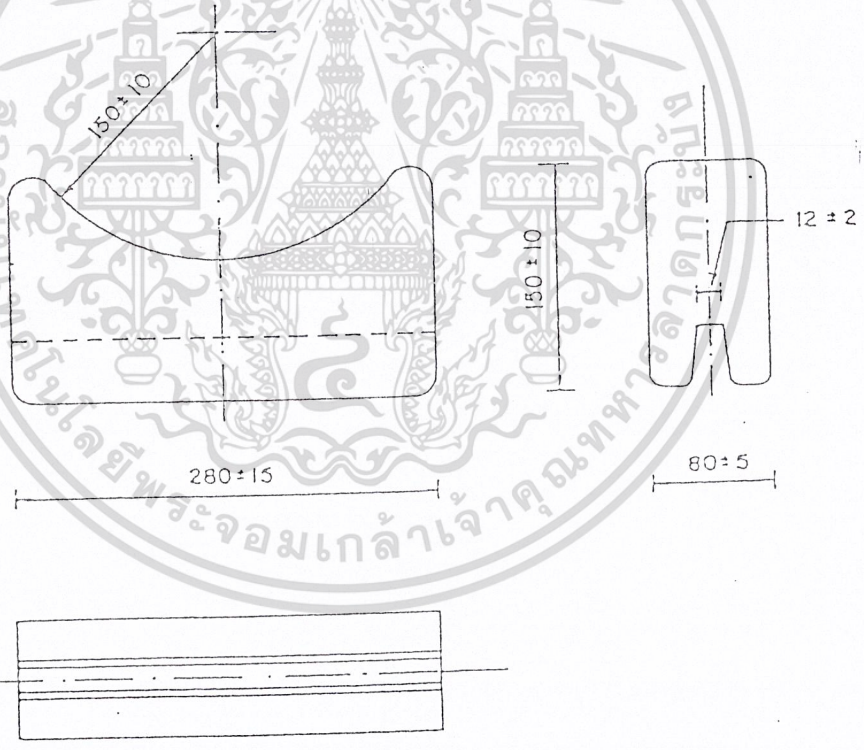


FIG.2 PILLOW INSULATOR

(CODE NO. 274 -338 -SEE NOTE 3)

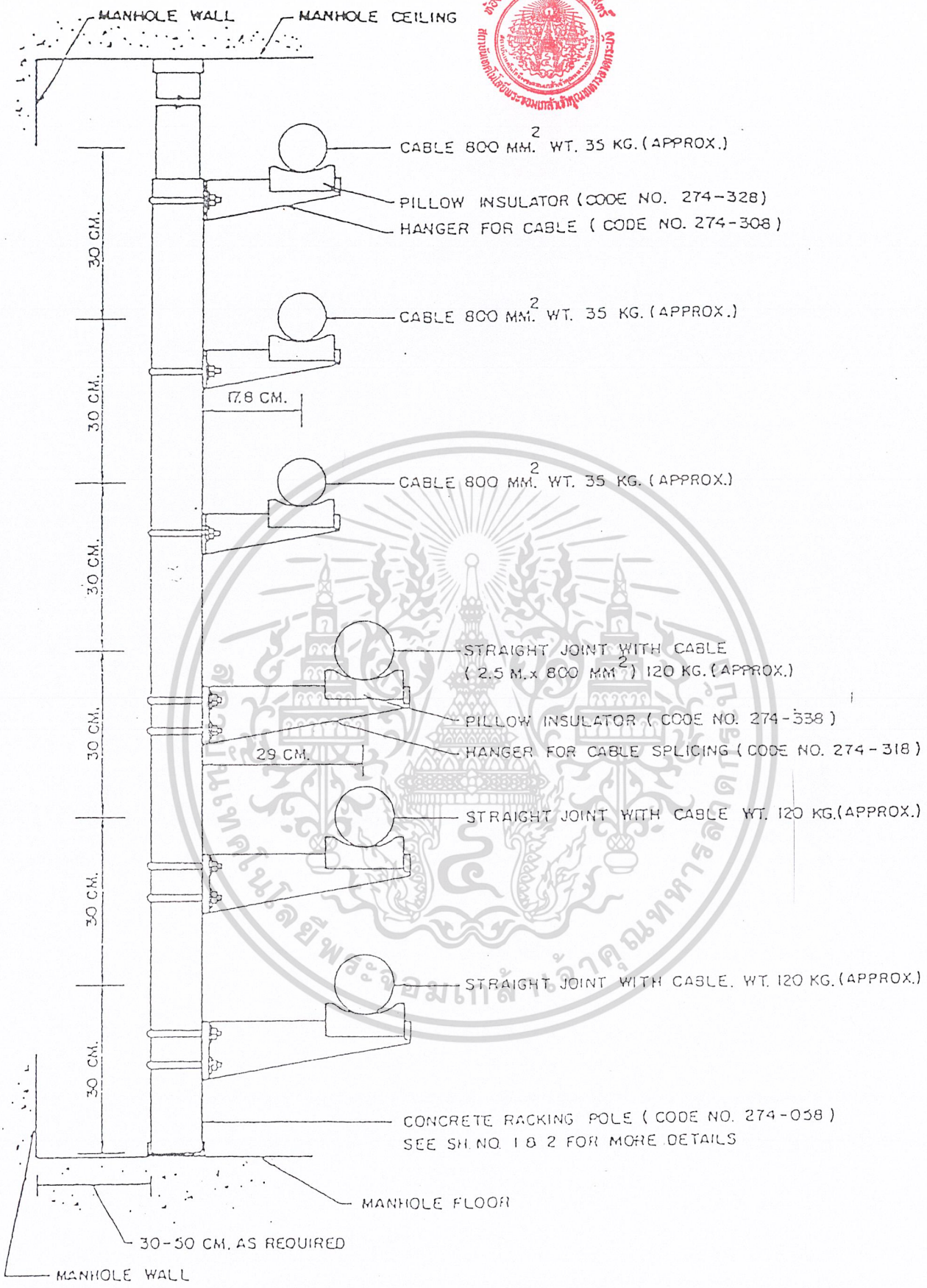
NOTES 1. DIMENSIONS ARE IN MM.

2 FIG.1 IS USED FOR SUPPORTING 500 AND 800 MM.^{2} CABLE.

3 FIG.2 IS USED FOR SUPPORTING 500 AND 800 MM.^{2} SPLICING CABLE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

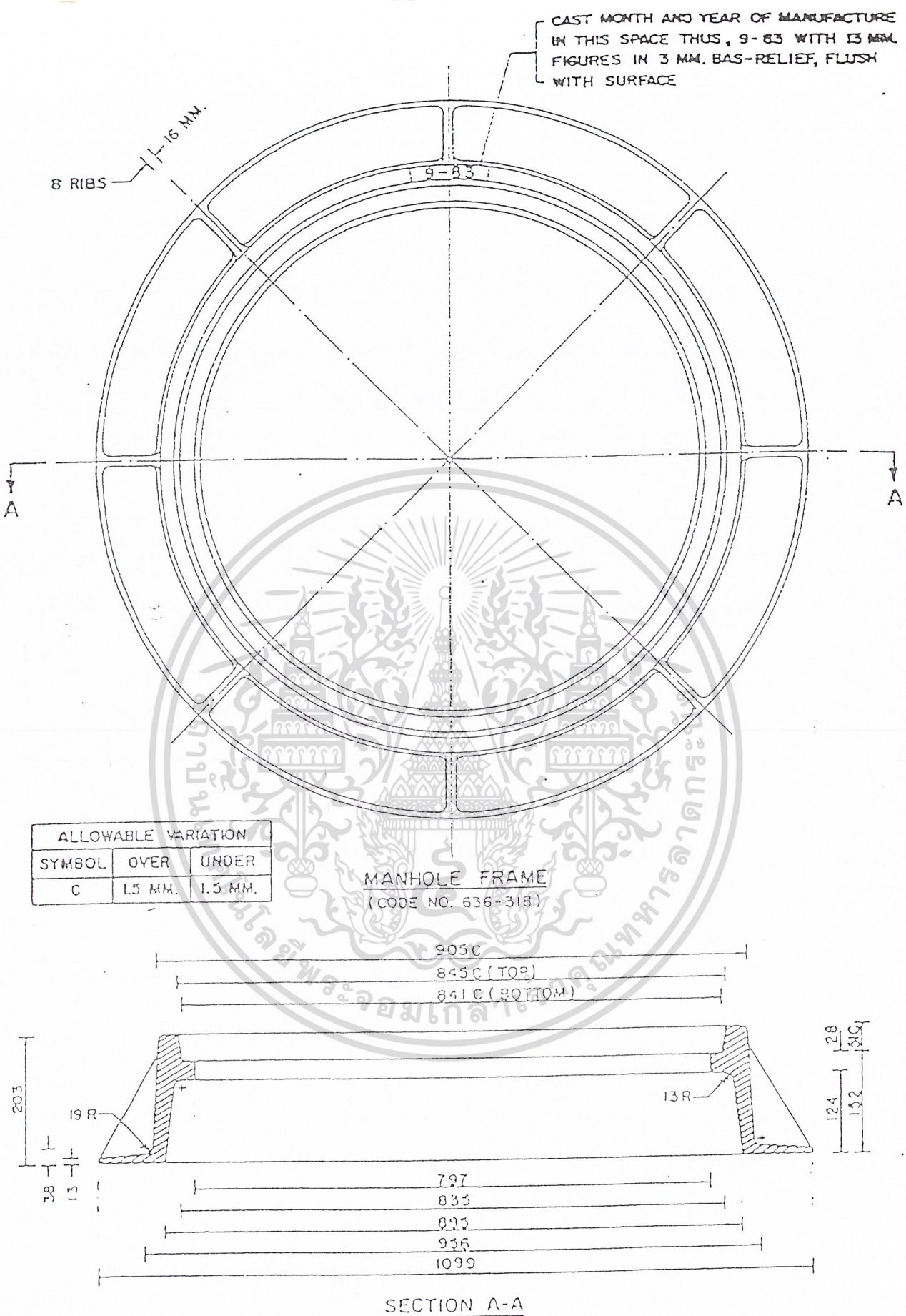
รูปที่ 2.9 Pillow Insulator สำหรับ Cable, Splice Cable



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

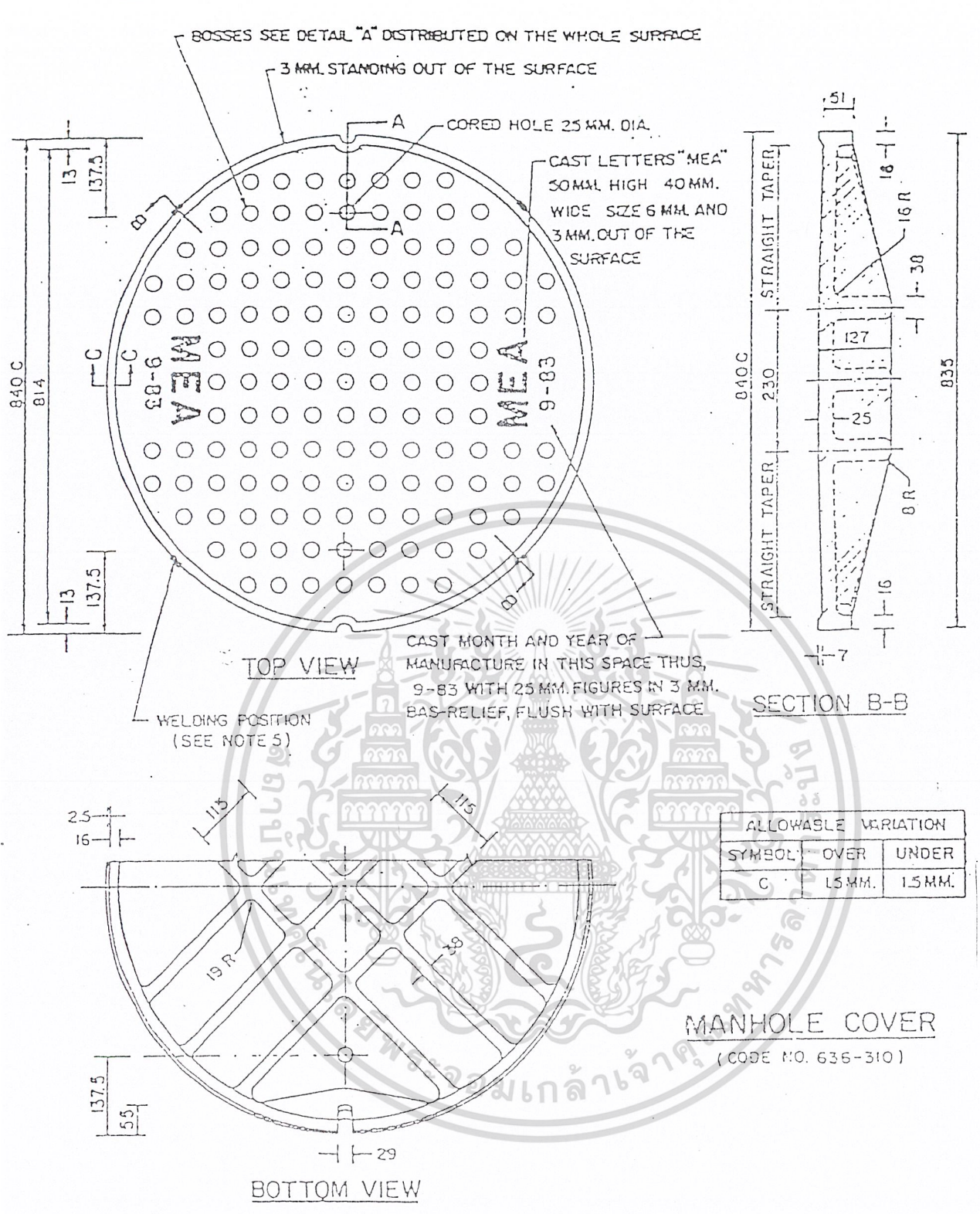
รูปที่ 2.10 การติดตั้ง Cable 69 kV., 115 kV. ขนาด 800 sq.mm.

040571



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 Manhole Frame



ALLOWABLE VARIATION		
SYMBOL	OVER	UNDER
C	1.5 MM.	1.5 MM.

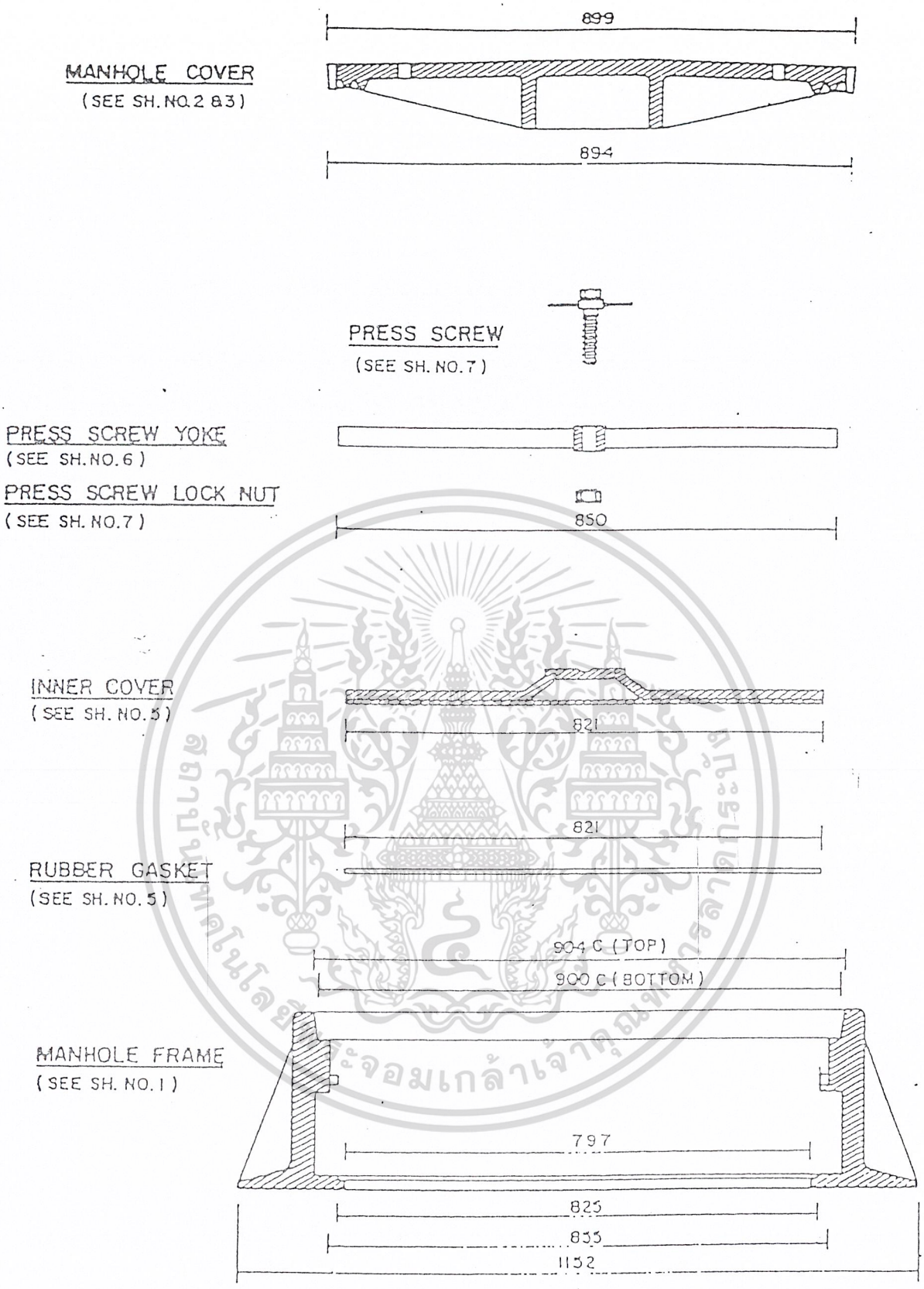
MANHOLE COVER
(CODE NO. 636-310)

NOTES

1. DIMENSIONS ARE IN MM.
2. THE COVER SHALL BE EVENLY PLACED ON ITS FRAME WITHOUT MINOR ROCKING. IN CASE OF UNEVENLY SEATING OR MINOR ROCKING, SEATING SURFACE MUST BE MACHINED.
3. MATERIAL: CAST IRON. REFERENCE: DWG NO. 10A1-0019.
4. TO BE CONTINUED ON SH. NO. 3
5. FRAME AND COVER SHALL BE JOINTED BY BUTT WELDING AT FOUR JOINTS, EACH OF 2.5 CM. LONG.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 Manhole Cover

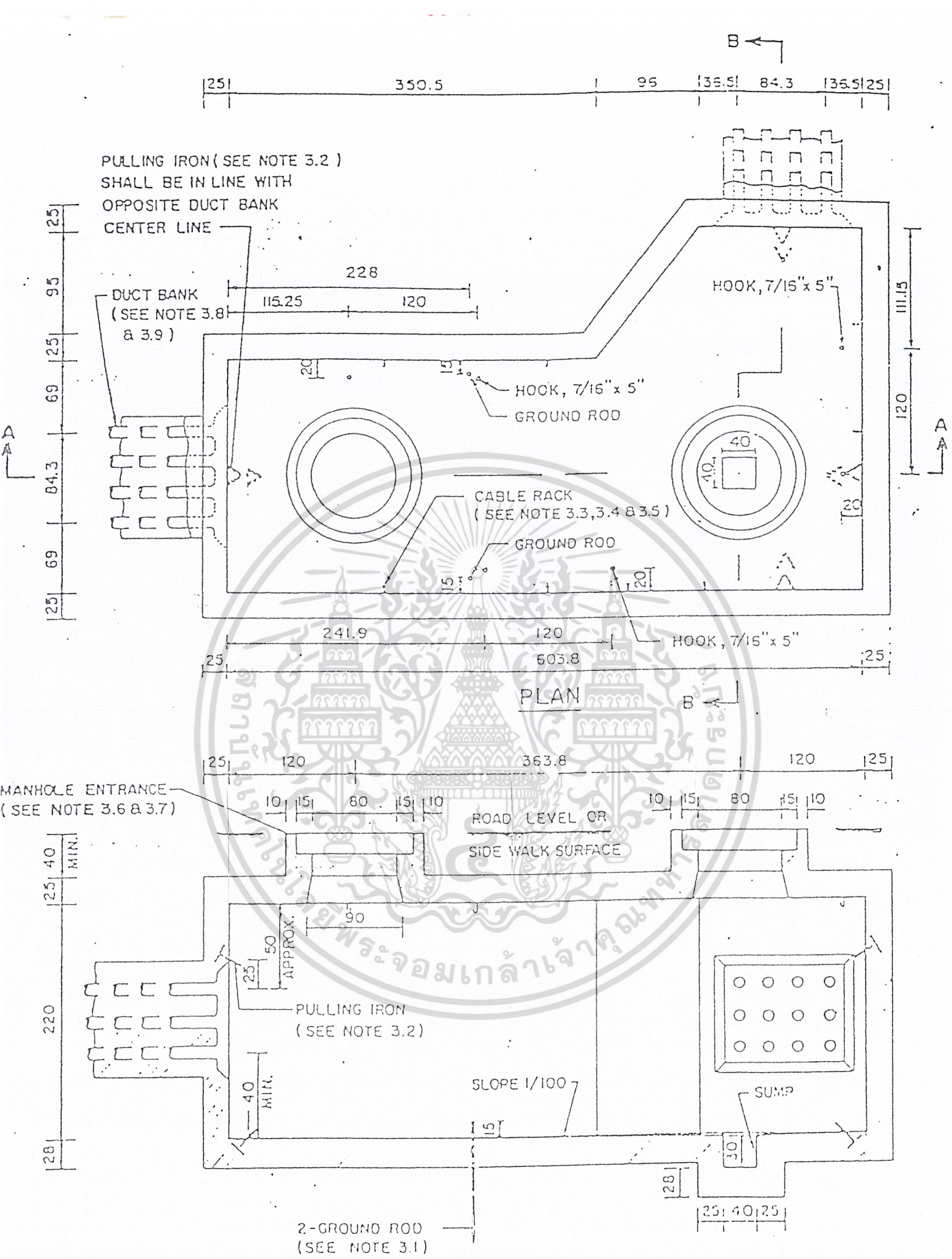


NOTES

1. DIMENSIONS ARE IN MM.
2. SEE ALLOWABLE VARIATION (C) ON SH. NO.1

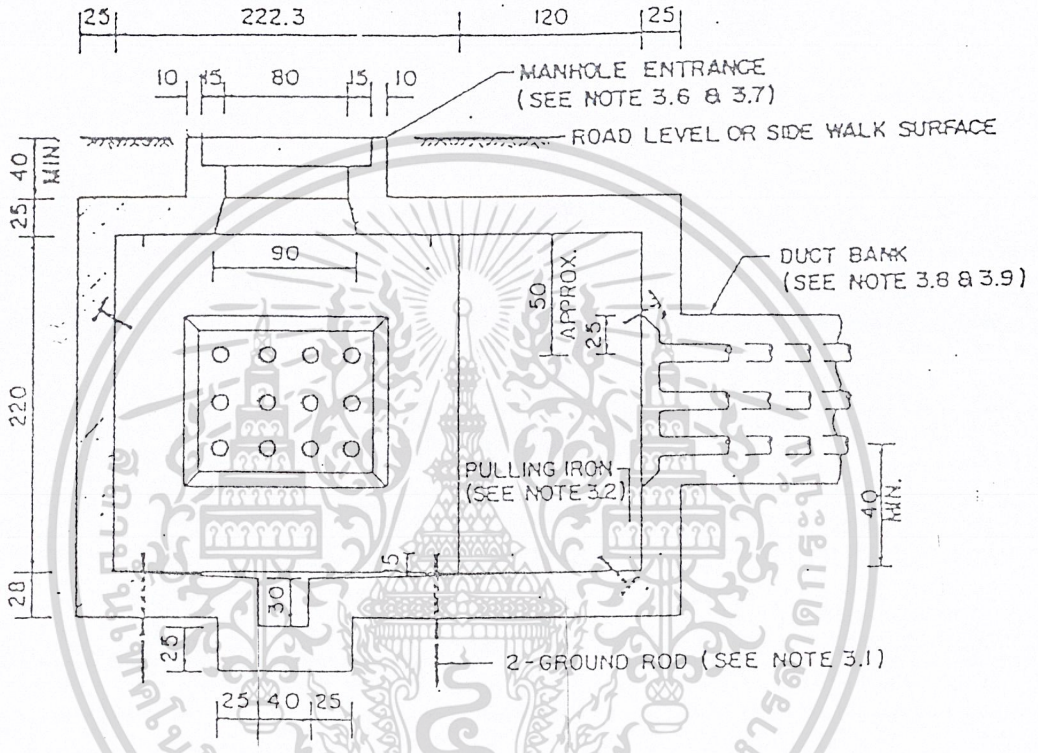
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 Pscrew and Hand Wheel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14(a) Manhole Type L-1/1

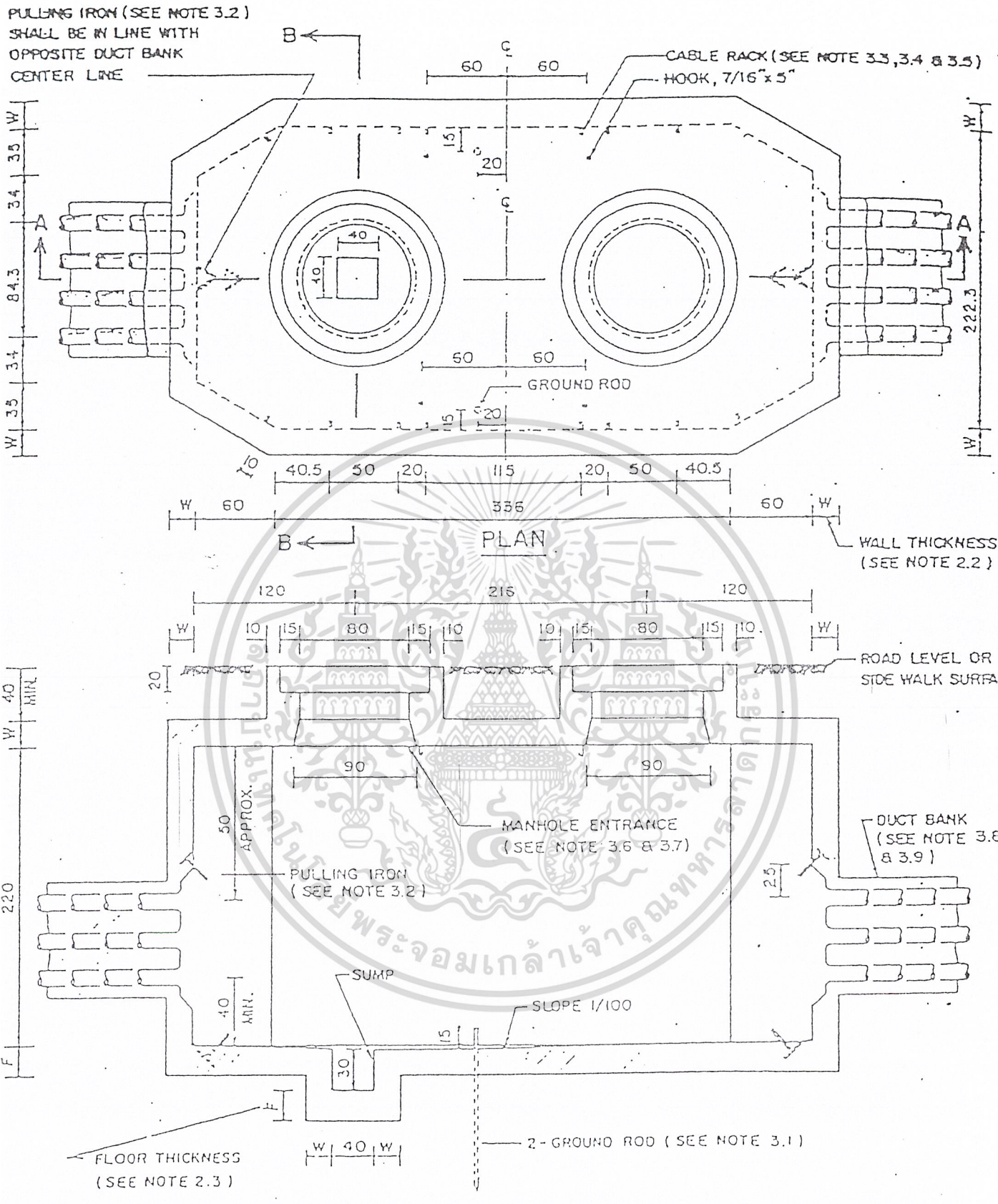


APPLICATIONS

1. MANHOLE TYPES L-1 AND L-1/1 ARE 2-ENTRANCE CORNER MANHOLES THAT ARE GENERALLY USED FOR 69 KV. UNDERGROUND CONSTRUCTION AND MAY HAVE 12 OR 24 KV. UNDERGROUND CONSTRUCTION WITHIN.
2. MANHOLE TYPE L-1/1 IS DEVELOPED FROM MANHOLE TYPE L-1 AND CAN BE CONSTRUCTED AT LOCATIONS WHERE IT IS SUBJECTED TO 18 TONS MAX. TRUCK LOAD.

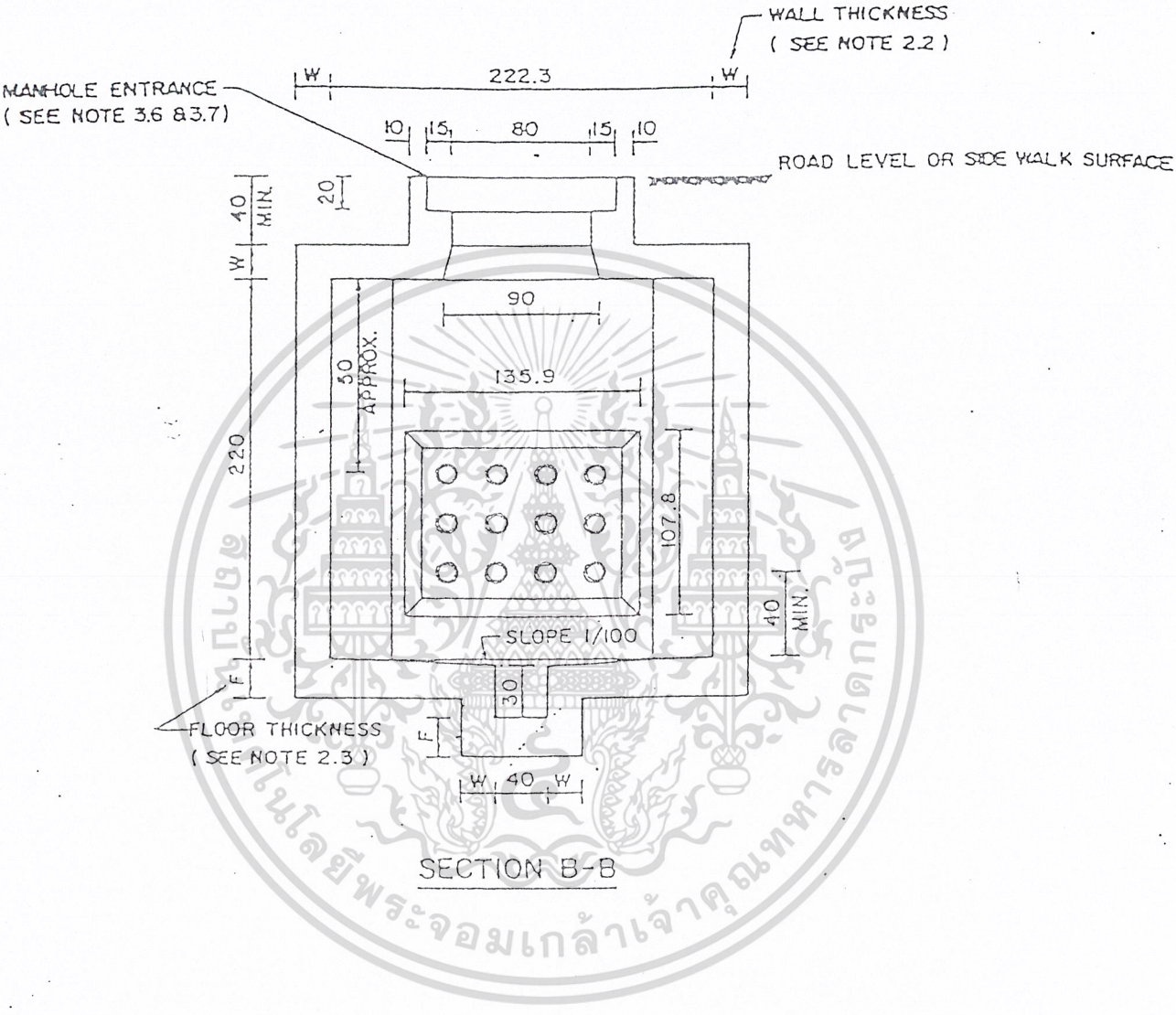
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14(b) Manhole Type L-1/1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14(c) Manhole Type B-3/1



APPLICATIONS

1. MANHOLE TYPES B-3/1 AND B-3/2 ARE 2-ENTRANCE STRAIGHT MANHOLES THAT ARE GENERALLY USED FOR 69 KV. UNDERGROUND CONSTRUCTION AND MAY HAVE 12 OR 24 KV. UNDERGROUND CONSTRUCTION WITHIN.
2. MANHOLE TYPE B-3/2 IS DEVELOPED FROM MANHOLE TYPE B-3/1 FOR THE REQUIREMENT OF PRECAST PROCESS. BOTH TYPES OF MANHOLE CAN BE CONSTRUCTED AT LOCATIONS WHERE THEY ARE SUBJECTED TO 18 TONS MAX TRUCK LOAD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14(d) Manhole Type B-3/1

2.3 สายไฟฟ้าใต้ดิน (UNDERGROUND CABLE)

สายเคเบิลใต้ดินนั้นมีข้อแตกต่างไปจากสายในอากาศ ในด้านการฉนวน กล่าวคือ สายเคเบิลใต้ดินต้องได้รับการฉนวนทางไฟฟ้า (Electrical Insulation) ให้เพียงพอ เพื่อป้องกันตัวนำสัมผัสกับดิน หรือชีลด์ที่อยู่ภายนอก (External Shield) ของสายเคเบิลเอง นอกจากนั้นฉนวนยังต้องป้องกันตัวนำจากแรงทางกล ปฏิกิริยาเคมี และผลกระทบอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อตัวนำ ดังนั้น เมื่อมีการฉนวนที่ดีก็จะทำให้มีความมั่นใจถึงความเชื่อถือได้ในการใช้งานสายเคเบิลใต้ดินนี้ สายเคเบิล โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

ประเภทของสายไฟฟ้าใต้ดิน

1. แบ่งตามชนิดของฉนวนที่ใช้

สายเคเบิลใต้ดินที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน สามารถแบ่งชนิดได้ตามฉนวนได้ 2 ชนิด ดังนี้

ก. สายเคเบิลฉนวนกระดาษบรรจุด้วยน้ำมัน (Paper Insulated, oil-Fukked Cable) โดยทั่วไปมักจะนำมาใช้กับระบบส่งแรงดันสูง 230 kV. ในชั้นของฉนวนทำด้วยกระดาษชุบน้ำมัน (Impregnated Paper) และที่จุดศูนย์กลางของสายเคเบิลในชั้นตัวนำจะเป็นช่องทางของท่อน้ำมัน (Oil Duct) ดังมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.15

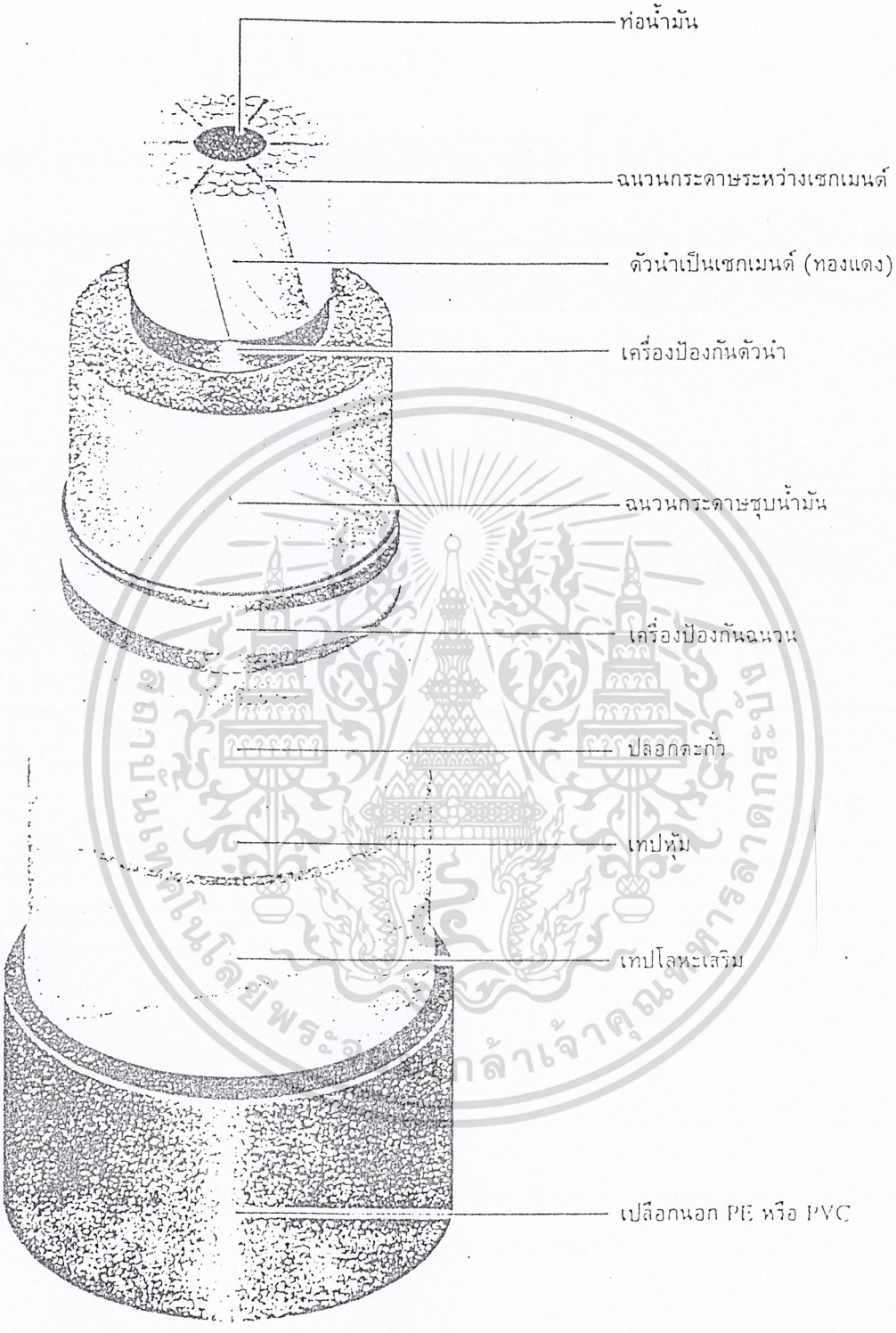
ข. สายเคเบิลฉนวนของแข็ง (Solid Dielectric Cable) โดยทั่วไปจะนำมาใช้กับระบบส่งย่อยที่ระดับแรงดัน 69 kV. และ 115 kV. รวมทั้งในระบบแรงดันปานกลาง 12 kV., 22 kV., 24 kV. และ 33 kopenV. และระบบจำหน่ายแรงต่ำด้วย ในชั้นของฉนวนทำมาจากสารโพลิเมอร์ (Polymer) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือ ครอสลิงก์โพลิเอตทิลีน (Cross-Linked Polyethylene : XLPE) ดังมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.16 แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันนี้สายเคเบิลฉนวนของแข็งได้พัฒนาและนำมาใช้งานในระบบส่งแรงดันสูงแล้ว

ค. GAS FILLED CABLE ได้แก่สายที่มีฉนวนเป็น INERT GAS เช่น N_2, SF_0 แยกเป็น LOW/MEDIUM, HIGH PRESSURE เช่นเดียวกับพวก OIL และแยกเป็นPIPE TYPE หรือ SELF CONTAINING

2. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

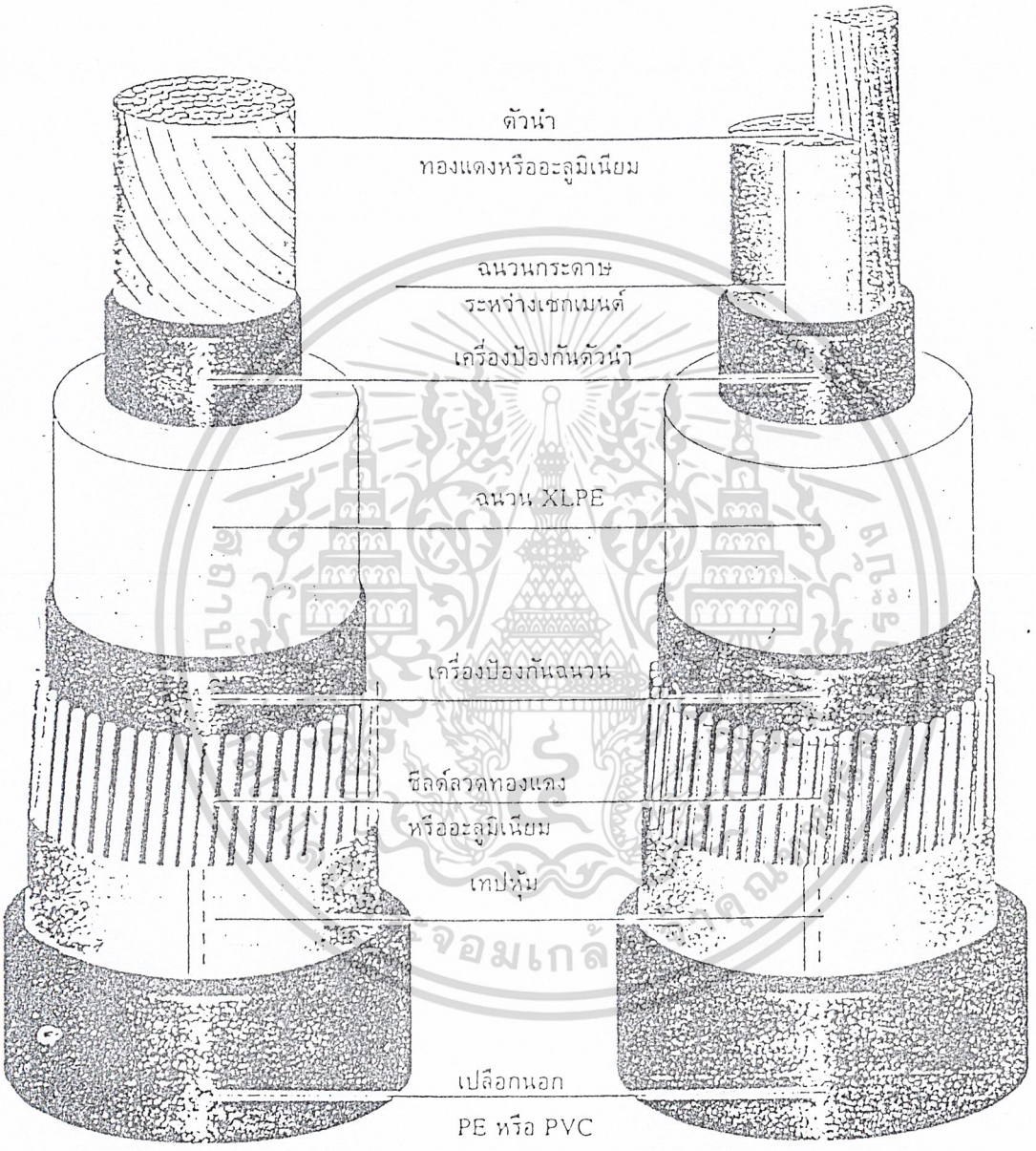
ก. DIRECT BURIAD CABLE เป็นสายพวกติดตั้งใต้ดินโดยตรงเลย ตัวสายใต้ดินเองจะมี ARMOUR เป็น MACHANICAL PROTECTION หรืออาจจะใช้ CONCRETE SLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 สายเคเบิลฉนวนกระดาษบรรจุด้วยน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 โครงสร้างของสายเคเบิลฉนวนของแข็ง

เป็นเครื่องป้องกันในการติดตั้ง ใช้วางลงไปโดยไม่ต้องมีการดึงหรือลาก การติดตั้งสายแบบนี้มีข้อเสียคือ หา FAULT ยาก การแก้ไขซ่อมแซมมีค่าใช้จ่ายสูง

ข. CONDUIT หรือ DUCT CABLE เป็นสายที่ใช้ติดตั้งอยู่ในท่อสำหรับร้อยสายในการติดตั้งต้องมีการดึงลาก โครงสร้างของสายต้องทนต่อการดึงลาก โดยมีข้อดี ข้อเสีย คือ

<u>ข้อดี</u>

1. การหา FAULT ง่าย
2. ซ่อมง่ายกว่า
3. มีโอกาสขยายระบบได้ง่าย

<u>ข้อเสีย</u>

1. มีการลงทุนสูงมาก

ค. SUBMARINE CABEL เป็นสายที่ใช้ติดตั้งในการข้ามแม่น้ำ ข้ามช่องแคบ ในทะเล เป็นพวกสายที่มี ARMOUR ซึ่งต้องรับแรงดึงได้ และต้องทนต่อการผุกร่อน สายชนิดนี้จะมีขนาดช่วงสายยาวมาก ไม่นิยมม้วนมาใน ROLL เพราะเวลาติดตั้งปลายสายด้านใน ROLL จะถอยออกมา จึงนิยมขดเป็นวงมาในรถ หรือเรือแทน แล้วนำไปติดตั้งเลย

ง. AIRIAL CABLE เป็นสายที่ใช้เดินแทนสายเปลือย ในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับระยะปลอดภัย , ความสวยงามอื่น ๆ ซึ่งส่วนหนึ่งจะเดินไปกับ MESSENGER WIRE หรือมาผูกมัดกับ MESSENGER WIRE ภายหลัง สายประเภทนี้จะต้องมีน้ำหนักเบา จึงมักเป็นพวก ALUMINIUM CONDUCTOR

จ. PIPE TYPE CABEL เป็นสายพวกที่ต้องทำ METALLIC SHEATH หุ้มจึงเอา METAL ที่จะทำเป็น SHEATH มาทำเป็นท่อและวางแทน DUCT การวางท่อและเชื่อมต่อกันต้องทำอย่างดี โดยไม่ให้มีรอยรั่วเลย สามารถทนแรงดันและแรงอื่น ๆ ได้ หลังจากนั้นก็เอาสายที่มี INSULATION หุ้มและมี INSULATION SHIELD ลากเข้าไป เมื่อเรียบร้อยก็จะเติม INSULATION OIL หรือ GAS เข้าไปและทำความดันให้ได้ความดันตามกำหนด

3. แบ่งตามจำนวน CONDUCTOR ที่มีอยู่ใน CABLE แต่ละเส้น

ก. CABLE SINGLE CORE (1/C) หมายถึงสาย CABLE ที่มี CONDUCTOR พร้อม INSULATOR อยู่เพียง 1 เส้น และใช้เดินสายไฟได้เพียง 1 เฟส

ข. CABLE TWO CORE (2/C) หมายถึงสาย CABLE ที่มี CONDUCTOR พร้อม INSULATOR อยู่เพียง 2 เส้น และสามารถใช้เดินสายไฟสำหรับระบบไฟ SINGLE PHASE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. CABLE THREE CORE (3/C) หมายถึงสาย CABLE ที่มี CONDUCTOR พร้อม

INSULATOR อยู่เพียง 2 เส้น และสามารถใช้งานในระบบไฟ 3 เฟสได้

ง. CABLE FOUR CORE (4/C) หรือมากกว่าก็เช่นเดียวกับที่กล่าวมา โดยเฉพาะพวกมากกว่า 4/C ส่วนมากจะไม่ได้ใช้งานในระบบส่งพลังงานไฟฟ้า แต่จะใช้งานเป็นสายควบคุมหรือสายสัญญาณ

โครงสร้างของสายเคเบิล

สายเคเบิลใต้ดินที่นำมาใช้งานกับแรงดันต่ำ แรงดันปานกลาง และแรงดันสูง จะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยจำนวนชั้น (Layers) แตกต่างกัน และแต่ละชั้นก็จะมีหน้าที่พิเศษ สำหรับการใช้งานเป็นของตัวเอง ซึ่งสามารถพิจารณาส่วนประกอบในแต่ละชั้นโดยเริ่มต้นจากศูนย์กลางของสายเคเบิลได้ดังต่อไปนี้

ตัวนำ (Conductor)

ตัวนำผลิตจากทองแดง มีหน้าที่ในการนำกระแส โครงสร้างโดยทั่วไปของตัวนำจะมีทั้งสายตัวนำเส้นเดี่ยว สายตัวนำตีเกลียว หรือตัวนำเซกเมนต์ (segments) สำหรับสายเคเบิลหนึ่งเส้นอาจแบ่งเป็นสายเคเบิลตัวนำแกนเดี่ยว (signle-core cable) หรือสายเคเบิลตัวนำ 3 แกน (three-core cable) ก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติของการไฟฟ้านครหลวง จะใช้เฉพาะสายเคเบิลตัวนำผลิตจากทองแดง และเป็นชนิดแกนเดียว เพราะตัวนำทองแดงมีความสามารถนำกระแสได้สูงกว่าตัวนำอลูมิเนียม

ในงานวิศวกรรมนั้นองค์ประกอบที่ต้องการที่จะต้องพิจารณามีมากมาย ซึ่งได้แก่ ความปลอดภัย ราคาเหมาะสม (economic) ความเชื่อถือได้ (Reliability) ความยืดหยุ่น (flexibility) การใช้งาน (operation) การป้องกันการติดตั้ง การบำรุงรักษา รายละเอียดข้อกำหนดการวิเคราะห์ราคา มาตรฐาน กฎ กำหนดราคา การจัดหา มลภาวะ สภาพอันตราย การขยายในอนาคต ความสวยงาม (aesthetic consideration) ซึ่งตารางที่ 2.5 เป็นตารางการเปรียบเทียบเคเบิลที่มีตัวนำทำมาจากทองแดงและอลูมินั่มในงานวิศวกรรม ส่วนตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7 เป็นตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพ และตารางทนกระแสลัดวงจรของทองแดงและอลูมินั่มตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบสายเคเบิลทองแดงและอลูมินั่มในงานวิศวกรรม

ลำดับที่	ข้อสำหรับพิจารณา	เคเบิลทองแดง	เ คเบิลอลูมินัม	หมายเหตุ
1	ความปลอดภัย	เท่ากัน	เท่ากัน	
2	ราคาเหมาะสม	-	ดีกว่า	
3	ความเชื่อถือได้	เท่ากัน	เท่ากัน	
4	ความยืดหยุ่น	เท่ากัน	เท่ากัน	
5	การใช้งาน	เท่ากัน	เท่ากัน	
6	การป้องกัน	เท่ากัน	เท่ากัน	
7	การก่อสร้าง	-	ง่ายกว่า	
8	การติดตั้ง	ง่ายกว่า	-	กระแสเท่ากัน
9	การบำรุงรักษา	ง่ายกว่า	-	กระแสเท่ากัน
10	ข้อกำหนด	เท่ากัน	เท่ากัน	
11	วิเคราะห์ราคา	เท่ากัน	เท่ากัน	
12	มาตราฐาน	เท่ากัน	เท่ากัน	
13	กฎ	เท่ากัน	เท่ากัน	
14	กำหนดเวลา	เท่ากัน	เท่ากัน	
15	การจัดหา	-	ดีกว่า	
16	มลภาวะ	เท่ากัน	เท่ากัน	
17	สภาพอันตราย	เท่ากัน	เท่ากัน	
18	ขยายในอนาคต	เท่ากัน	เท่ากัน	
19	ความสวยงาม	เท่ากัน	เท่ากัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของ ทองแดง และ อลูมินั่ม

รายละเอียด	ทองแดง	อลูมินั่ม
Density kg/Cu.dm. at 20 °c	8.89	2.68
Melting point (°c)	1082.8	657.8
Specific heat J/kg-°c (at 25°c)	385.19	946.22
Linear coeficient of thermal per °c (at room temperature * 0.000001)	16.6	23.0
Thermal conductivity Cal/sq.mm./Hr/°c at 20°c	3.62	2.02
Electrical resistivity Ohm*sq.mm./m. at 20°c	0.018	0.029
Electrical conductivity m/Ohm*sq.mm./ at 20°c	56	35
Ultimate Strenght - Hard N/sq.mm.	379.2	186.1
- Soft N/sq.mm.	220.6	27.6
Elongation - Hard	6% in 2 inch.	1.5% in 10 inch.
- Soft	55% in 2 inch.	23% in 10 inch.
Modulus of Elasticity N/sq.mm.	11.713	6.890

<u>หมายเหตุ</u>

-Ultimate Strength คือ หน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ ณ จุดนี้แท่งวัสดุจะยืดออก อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาว ถ้าการยืดเพิ่มขึ้นอีกก็จะเกิดรอยคอดบนแท่งวัสดุ

-Yield Strength คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่วัสดุยืดหรือหดตัวอย่างถาวรตามค่าที่กำหนดไว้

-Elongation คือ อัตราส่วนการยืดตัวของวัสดุเมื่อรับแรงดึง

= (ค่าความยาวหลังสุด-ค่าความยาวเดิม)/ ค่าความยาวเดิม

-Modulus of Elasticity คือ อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรง (Stress) กับหน่วยการยืดหดตัว (Strain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าการทนกระแสลัดวงจรของสายทองแดงและอลูมิเนียม

ขนาดสาย	เวลา	millisecond	หมายเหตุ
MM^2	Cu.	AL	
35	96.36	41.49	Cu.t=0.07866 x A^2 milli-second
70	385.43	165.13	Al t= 0.03387 x a^2 milli-second
95	710	305.68	ค่า t = ข้างบนปรับปรุงจาก IPCEA
120	113.7	557.28	Pub. P-32-382 คือสมการ
240	4530.8	1951	$(1/A)^2$ x t
325	8308.5	3577.5	Cu = 20137
400	125785.6	5408	Al = 8670
500	-	8467.5	I = กระแสลัดวงจร
600	-	12193.2	A = พท.หน้าตัดของตัวนำ (mm^2)
			T = เวลาที่เคเบิลทนกระแสลัดวงจรได้

เครื่องป้องกันตัวนำ (Conductor Screen)

ส่วนประกอบชั้นนี้ถ้าเป็นสายเคเบิลฉนวนกระดาษเครื่องป้องกันตัวนำจะทำมาจากกระดาษ และสายเคเบิลฉนวนด้วยครองสิงก์โพลิเอตทิลีน เครื่องป้องกันตัวนำจะทำมาจากวัสดุโพลิเมอร์นำกระแส (Conductive Polymer Material) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ชั้นเครื่องป้องกันตัวนำนี้จะเคลือบบนผิวนอกของตัวนำโดยตรง เพื่อทำให้ผิวนอกของตัวนำมีความเรียบและไม่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นนอกสุดของลวดทองแดงตีเกลียวที่ใช้เป็นตัวนำ และป้องกันไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นนอกสุดของลวดทองแดงตีเกลียวที่ใช้เป็นตัวนำ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการแตกตัวของอากาศในช่องว่างดังกล่าวเมื่อสายเคเบิลได้รับแรงดันสูง ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ตัวนำได้รับความเสียหายได้ ดังนั้นสายเคเบิลใต้ดินที่นำมาใช้กับแรงดันมากกว่า 2 KV. จึงต้องมีชั้นเครื่องป้องกันตัวนำ

ฉนวน (Insulation)

ฉนวนของสายเคเบิลใต้ดินสามารถผลิตจากยาง (Rubber) โพลิไวนิลคลอไรน์ (Polyinyl Chloride : PVC) ครอสลิงก์โพลิเอตทิลีน หรือกระดาษชุบน้ำมันซึ่งชั้นฉนวนของสายเคเบิลใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินต้องมีคุณสมบัติทำให้แรงดันตกคร่อมที่ผิวนอกของฉนวนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ นอกจากนั้นสิ่งสำคัญที่สุดคือวัสดุที่ทำฉนวนต้องเป็นสารเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และต้องปราศจากสารเจือปน (Impurities) เพื่อป้องกันการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) และการเจาะทะลุ (Puncturting) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สายเคเบิลใต้ดินได้รับความเสียหายจนไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้

เครื่องป้องกันฉนวน (Insulation Screen)

สำหรับหน้าที่และวัสดุที่ใช้ทำเครื่องป้องกันฉนวนจะเหมือนกับเครื่องป้องกันตัวนำ กล่าวคือจะต้องไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างฉนวนและเครื่องป้องกัน มิฉะนั้นจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนและการเจาะทะลุ โดยทั่วไปสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้งานกับแรงดันต่ำกว่า 5 KV. ไม่จำเป็นต้องมีชั้นเครื่องป้องกันฉนวน

เครื่องป้องกันหรือชีลด์โลหะ (Screen of Metallic Sheath)

ทำมาจากทองแดง ตะกั่ว ที่นำมาประกอบขึ้นรูปเป็นลวด เทป หรือปลอกคลุม จะทำหน้าที่เป็นทางผ่านสำหรับให้กระแสรั่ว (Leakage Current) ไหลลงดิน และเป็นตัวนำสำหรับกระแสลัดวงจรไหลกลับ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นสิ่งเพิ่มความปลอดภัยในการใช้สายสายเคเบิลใต้ดิน โดยปกติสายเคเบิลฉนวนกระดาษจะใช้ชีลด์ในรูปปลอกตะกั่วคลุมตลอดความยาวของสายเคเบิลเพื่อป้องกันความชื้น (Moisture) เข้าไปฉนวน สำหรับสายเคเบิลแขวนด้วยครอสลิงก์โพลิเอตทิลีน ส่วนใหญ่ชีลด์จะเป็นลวดทองแดงและพันทับด้วยเทปทองแดง

เครื่องห่อหุ้ม (Armouring)

บางครั้งจะใช้เครื่องห่อหุ้มเป็นชั้นต่อจากเครื่องป้องกันหรือชีลด์ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันแรงทางกล ความดัน หรือความเครียด (Stress) ต่าง ๆ ที่มากระทำต่อฉนวนหรือตัวนำของสายเคเบิลใต้ดิน เครื่องห่อหุ้มสามารถออกแบบได้หลายวิธี เช่น แบบแผ่นแถบ (Strips) หรือลวดกลม

เปลือกนอก (Outer Jacket or Sheath)

เป็นชั้นนอกสุดของสายเคเบิลใต้ดินมีหน้าที่ป้องกันแรงทางกล ความชื้น และการกัดกร่อน (Corrosion) ที่จะเกิดขึ้นกับสายเคเบิล เปลือกนอกผลิตจาก PVC. หรือ โพลิเอตทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Polyethylene : PE) สำหรับภายในของเปลือก บางครั้งอาจมีแผ่นอะลูมินั่ม (Aluminium Foil) ติดอยู่เพื่อทำให้การป้องกันความชื้นมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2.4 หัวสายไฟฟ้าใต้ดิน (Terminator)

ในระบบสายใต้ดินส่วนสำคัญอันหนึ่งของระบบก็คือ Terminator หรือ Pot Head ส่วนมากจะติดตั้งอยู่บนเสาที่เรียกว่า Riser Pole หรืออยู่ในแผงควบคุมในสถานีย่อย หรือบางคราวอยู่บนเสา Plaform หม้อแปลง ตรงบริเวณ H.Y. Switch และติดตั้งอยู่อีกหลาย ๆ ที่ ตามบริเวณที่เราต้องใช้สายเคเบิลไปสิ้นสุดลง เพื่อจะต่อเป็นสายอากาศไปหรือจุดประสงค์อื่น แต่ที่แน่ ๆ ก็คือ ปลายสายใต้ดินจะสิ้นสุดลงตรงนี้ ทำให้ Shield ของสายใต้ดินมาสิ้นสุดด้วย เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Radial Stress , Longitu Stress ถ้า Shielding ของสายใต้ดินไม่ขาด Stran ทั้งสองอย่างเหล่านี้ก็จะถูกควบคุมให้คงที่สม่ำเสมอ และมีค่าตามที่กำหนดให้ เมื่อ Shield ของสายใต้ดินขาดลง ผลจากการเปลี่ยนแปลงของ Stress ทั้งสองทำให้ฉนวนของ Cable ตรงจุดที่ Shield ขาดนี้เสียหาย ดังนั้นเพื่อป้องกันการเสียหายอันนี้ เราจึงจำเป็นต้องมีการทำการป้องกัน ซึ่งเรียกว่า การหัวสาย (Terminator)

ชนิดของหัวสาย (Type of Terminator)

1. Pothead Type เป็น Terminator ใช้สำหรับการทำหัวสายอยู่ในบริเวณจำกัด และต้องทำหน้าที่เป็นตัวจับยึดปลายสายใต้ดินให้คงอยู่ในสภาพและรูปแบบที่ต้องการด้วย ทั้งต้องทนทานต่อสภาวะได้ด้วยตนเอง ไม่ต้องมีอุปกรณ์ต่างหากมาช่วย

2. Compartment Type เป็นแบบที่มีกล่องหรือตู้ เป็นส่วนที่ห่อหุ้มป้องกันความเสียหายจากภายนอก ป้องกันฝน แดด ลม และมลภาวะอื่น ๆ อาจจะมี compound เดิม หรือมีแต่อากาศอยู่ หรือมีน้ำมัน แต่กล่องหรือตู้จะต้องมีที่ว่างพอที่จะไม่เกิดการลัดวงจรของไฟฟ้าในทุกกรณี

3. Non Pothead ประเภทนี้ส่วนสำคัญมีแต่ Stress Relief Cone และพันเทปป้องกันมลภาวะ ผิวฉนวนของสาย อาจจะประกอบชุดป้องกันฝนด้วย

ชนิดของหัวสายเรียกตามสถานที่ใช้ หรือชนิดของสาย

1. Outdoor Type เป็น Terminator ที่สามารถใช้อยู่ภายนอกอาคาร ใช้งานได้ในสภาพทุกสภาวะอากาศ สามารถแยกออกได้อีก 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SLIP - ON

- PORCELAIN

- HEAT SHRINKABLE

2. Indoor Type เป็น Terminator ที่ใช้งานเฉพาะอยู่ในอาคาร ไม่สามารถทนต่อสภาวะได้ทุกสภาวะ

3. Single Core Type เป็น Terminator สำหรับสายเคเบิลแบบ Single แต่อาจจะใช้กับสายเคเบิล 3 เส้น ก็ได้ โดยเพิ่มส่วนประกอบบางอย่าง

4. Three or Four Core เป็น Terminator โดยทั่วไปจะใช้กับสาย Single Core Type หรือหลาย ๆ เส้น แต่อาจจะใช้กับสาย Single ก็ได้

ส่วนประกอบของ TERMINATOR

1. Airial Lug เป็นหูสายหรือ clamp สำหรับต่อกับสายอากาศ , ต่อกับ bus bar ต่อกับชิ้นส่วนภายนอก ส่วนชิดและแบบของ airial lug ก็แล้วแต่จะต้องการ

2. Connector เป็นตัวนำที่มาหุ้มปลาย conductor ของสายใต้ดินไว้เป็นตัวต่อเชื่อมกับ airial lug และยังทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในตัวสายได้ บางกรณีจะเป็นทางเข้าออกน้ำมันหรือ gas สำหรับ Oil filled หรือ Gas filled cable ส่วนชนิดของรูป Connector พร้อมทั้งการเชื่อม connector กับ Conductor มีหลายแบบหลายวิธี เช่น แบบใช้เครื่องบีบ , ใช้ตะกั่ว , ใช้ผงโลหะผสมดินปืน ใช้เครื่องเชื่อมโลหะ เป็นต้น

3. Insulator เป็นฉนวนที่หุ้มภายนอกสาย cable เพื่อป้องกันมลภาวะภายนอก ไม่ให้เป็นอันตรายต่อฉนวนของสาย Cable และป้องกันมิให้มีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าจากปลายสุดของสายของ Cable มายังฐานรองรับที่ใช้ติดตั้ง Terminator ชนิดของ Insulator ได้แก่พวก Porcelain , Epoxy resin , Silicon Rubber , Shrinkable Tube เป็นต้น ส่วนรูปแบบที่มีอยู่ 2 อย่าง เป็นแบบที่มีปีกเป็นชั้น ๆ เรียกว่า Skirt สำหรับใช้งานภายนอกอาคาร กับพวกที่มีผิวเรียบสำหรับใช้งานภายในอาคาร Compartment

4. Metal Body เป็นส่วนประกอบส่วนล่างของหัวสาย เป็นส่วนสำหรับจับยึดให้ติดกับส่วนประกอบที่จะไปติดตั้งกับโครงสร้าง และเป็นส่วนที่ Shield ของสายจะมาต่อและสิ้นสุดลง ดังนั้นส่วนนี้จะมี Stress relief cone สุด ตั้งอยู่ภายใน

5. Supporting Bracket เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จับยึดตัว Terminator ให้ติดกับโครงสร้างตามที่ต้องการ จะเป็น Cross arm Bracket Cable girp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น พร้อมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Stress relief cone เป็นส่วนสำคัญของ Terminator มีหน้าที่กระจาย Stress ที่บริเวณปลายขอบ Shield ให้เฉลี่ยไปอย่างสม่ำเสมอบนฉนวน อาจจะเป็นแบบ Taping cone Capacitance Tape , rubber cone , eleitomeric cone , Strinkble Tube

7. Cable Gland เป็นส่วนล่างสุดของ Terminator เฉพาะแบบ Pot Head Type มีหน้าที่ป้องกันมลภาวะภายนอกไม่ให้มารบกวนสาย Cable ส่วนนี้ และยังเป็นส่วนยึดแขวนสาย Cable ให้อยู่ได้ แบ่งเป็นพวก Widing gland , Stuffing gland , armour clamp

8. Compound เป็นสารผสมที่มีคุณสมบันเป็นฉนวนใช้เติมใน Terminator เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้าไป และเพิ่มค่าความเป็นฉนวนบนผิวฉนวนของสาย ได้แก่ Aspastic Compound Insulating Oil , Synthetic Compound อื่น ๆ

ส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ Support Insulator , สาย Ground ตะกั่ว 40/60 และ 50/50 เป็นต้น

การคำนวณเกี่ยวกับ Terminator ไม่นิยมใช้กัน มักจะมีการทดลองในห้องทดลอง และประสบการณ์ในสนามผสมผสานกันไป โดยเฉพาะบริเวณ Stress relief cone มักจะใช้การเขียนแผนที่ เส้นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แล้วพิจารณาค่าต่าง ๆ จากแผนที่เส้นแรงไฟฟ้านั้น ซึ่งเราจะทราบว่า Voltage Stress ที่ใดจะเป็นอย่างไร เป็นต้น ถ้า Stress cone อยู่ต่ำกว่า Ground part ด้านข้างนอก Maximum Stress จะอยู่ที่ฉนวนหรือ Insulator บริเวณใกล้กับขอบ Ground part

2.5 หัวต่อสายไฟฟ้าใต้ดิน (SPICE)

หัวต่อของ UNDERGROUND POWER CABLE เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการใช้ออกแบบ จะต้องมีการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นโดยจะคำนึงถึงความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดต่ออุปกรณ์ท่จะนำมาเป็น SPICE ของ POWER CABLE ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. มี DIELECTRIC STRENGTH สูง
2. มี DIELECTRIC POWER FACTOR ต่ำ
3. ง่ายต่อการจัดหา การผลิต และการทำ SPICE

อุปกรณ์เหล่านี้ไม่เพียงแต่จะทนต่อการทดสอบเพียงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น จะต้องสามารถทนและใช้งานได้ตลอดไป ในทาง IDEAL หัวต่อของ POWER CABLE นี้ควรจะมีคุณสมบัติทางกล การยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ CABLE ซึ่งจุดประสงค์ของอุปกรณ์เหล่านี้ไว้เพื่อ

1. ต่อหัวตัวนำของ CABLE เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำหน้าที่แทนฉนวนของสาย
3. ควบคุม VOLTAGE STRESS ที่เกิดขึ้น
4. ป้องกันกลไกของระบบ

การต่อสาย CABLE

การต่อสายใต้ดินอาจทำได้หลายวิธี แต่หลักการง่าย ๆ คือ การทำทุกส่วนของหัวต่อให้เหมือนกับทุกส่วนของสายใต้ดิน เช่นใช้ Connector มาต่อสายทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟ ทน Conductor ทำ Stranded Shield ทำฉนวน Insulation Shield ทำ Metallic Shield ทำเปลือกและอื่น ๆ ในการทำสิ่งทดแทนต่าง ๆ ที่กล่าวมา เราอาจจะทำได้หลายวิธี คือ

1. Taping Spice คือ การใช้เทปพัน
2. Prefatricated Spicing คือ ใช้บางส่วนที่ทำสำเร็จรูปมาจากโรงงาน แล้วนำมาประกอบเป็นหัวต่อสาย แล้วพันบางส่วนด้วยเทป
3. Molecd Spicing คือการนำเครื่องมือพิเศษมาทำในเฉพาะบางส่วนที่สำคัญ ๆ ของหัวต่อสาย โดยทำในสนามเหมือนกับที่ทำในโรงงานผลิตสาย
4. Modular Spicing เป็นแบบที่ทำชิ้นส่วนต่าง ๆ มาจากโรงงานเลย สามารถจะมาประกอบเป็นหัวต่อได้หลายแบบ ใช้กับสายได้หลายขนาด โดยการเพิ่ม Adapter สามารถจะต่อแยกได้เป็น 5 หรือ 6 หรือมากกว่าได้ หรือจะทำเผื่อไว้ต่อแยกในอนาคตอีก 2 หรือ 3 แยกก็ได้ เป็นต้น
5. แบบใช้ Shrinkable Tube โดยการทำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของหัวต่อทั้งหมดด้วยหลอดหดได้ เมื่อโดยความร้อน แล้วนำมาประกอบเข้าเป็นหัวต่อ

ชนิดของหัวต่อสายที่ใช้ใน กฟน.

1. หัวต่อตรง หมายถึง สายใต้ดิน 2 เส้น มาต่อให้สายยาวเพิ่มความยาวขึ้น จะเป็นสายขนาดใดหรือแบบใดก็ได้ ไม่มีการกำหนด

2. หัวต่อ Wye หมายถึง หัวต่อที่มีสายใต้ดิน 3 เส้น มาต่อแยกออกเป็นรูปตัว Y จะเป็นสายขนาดใดก็ได้ ควรจะเป็นสายที่มีชนิด Core อย่างเดียวกัน

3. หัวต่อ T หมายถึง หัวต่อที่มีสายใต้ดิน 3 เส้น มาต่อแยกออกเป็นรูปตัว T จะเป็นสายขนาดใด หรือชนิดใดก็ได้

4. หัวต่อ Y หมายถึง หัวต่อที่มีสายใต้ดิน 4 เส้น มาต่อแยกออกเป็น 4 ทางเป็นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว L ไม่ใช้ตั้งฉากกัน แต่ขนานกันเป็น 2 คู่

5. หัวต่อแยก Ground เป็นหัวต่อซึ่งเป็นส่วนที่เป็น Shield ลงดินให้ Shield Voltage ลดลง

6. หัวต่อแบบ Stop Joint หัวต่อสายแบบที่มีการแบ่งแยกฉนวนออกจากกัน เนื่องจากเป็นฉนวนต่างชนิดกัน หรือแยกความดันทั้ง 2 ด้าน ของสายออกจากกัน

ส่วนประกอบของหัวต่อ (แบบ Tape Splice)

1. Connector คือ หลอดต่อเชื่อมปลายทั้งสองปลายเข้าด้วยกัน แบ่งเป็นหลายแบบ เช่น แบบ Soldering แบบ Compression แบบ Bolted แบบสำหรับ 3 ทาง สาย 4 ทาง ทำหน้าที่เป็นตัวต่อสายให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และยึดสายทั้งสองปลายให้ติดต่อกันเป็นสายแกนเดียว การต่อเชื่อมกระทำโดย การบีบด้วยเครื่องมือ ต่อด้วยตะกั่ว ต่อเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมโลหะ เชื่อมต่อด้วยผลโลหะผสมดินปืน

2. Semi Conductive Tape เป็นเทปกึ่งตัวนำ อาจจะเป็นเทปยาง เทปกระดาษ เทปผ้า แล้วแต่ชนิดของสายใต้ดินที่จะต่อ ในเทปผสมสารกึ่งตัวนำไว้ เช่น Carbon เทปนี้ใช้พัน ทำหน้าที่เป็น Stranded Shield ของสายใต้ดิน และ Insulation Shield เป็นต้น

3. Insulation Tape เป็นเทปที่มีคุณภาพเป็นฉนวนไฟฟ้า อาจจะเป็นยาง เทปผ้า เทปกระดาษ เป็นต้น แล้วแต่ชนิดของสายใต้ดินที่จะต่อ เทปนี้ใช้เป็นฉนวนของหัวต่อ เช่นเดียวกับฉนวนของสายใต้ดิน

4. Metallic Tape เป็นเทปทำด้วยโลหะถักเป็นตาข่าย หรืออาจจะเป็นเทปโลหะบาง ๆ เช่น เทปตะกั่วก็ได้ ใช้พันเป็น Metallic Shield เช่นเดียวกับในสายใต้ดิน

5. Protective Material ได้แก่ พวกที่มาพันกับด้านนอกหัวต่อ เพื่อป้องกันน้ำ ป้องกันการกระทบกระแทก อาจจะเป็นแบบเทป เป็นน้ำยา Resin

6. ส่วนประกอบเบ็ดเตล็ด ได้แก่ ตะกั่วสำหรับบัดกรี (ชนิด 50/50 60/40) เทปผ้า เทปยาง และอื่น ๆ อีกมากมาย

หัวตัวสายแบบสำเร็จรูป

1. หัวต่อสาย (Joint Housing) ซึ่งหล่อสำเร็จแล้วโดยมี Insulation , Stran Shield มี Insulation Shield และอื่น ๆ ประกอบสำเร็จคล้ายกับตัวสายใต้ดิน เวลาใช้เพียงเอาปลายสายใต้ดินทั้งสองปลายมาสอดเข้าไปในหัวต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Connector เหมือนกับแบบอื่น มักจะทำแยกมา

3. Adaptor เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติมมา เพื่อให้สามารถใช้ต่อกับสายขนาดและชนิดอื่น หรือแบบอื่นได้ โดยใช้ส่วนประกอบหลักเหมือนกัน

สำหรับ Molded Splice คล้าย Taping แต่เทปต่าง ๆ ที่นำมาพันจะเป็นเทปดิบทั้งหมด ต้องมาพันและอบให้สุกในขณะทำหัวต่อสายในสนาม ทั้งนี้เพื่อให้เทปเหล่านั้นหล่อหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน แทนที่จะเป็นชั้น ๆ แบบพันเทปและแน่นกับตัวสายใต้ดินที่ต้องการต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีการติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดิน

3.1 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable Installation)

สายเคเบิลใต้ดินสามารถนำมาจัดวางเพื่อติดตั้งใช้งานได้หลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบจะมีวิธีการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายแตกต่างออกไป ดังนั้นการเลือกวิธีการจัดวางสายเคเบิลต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมต่าง ๆ เช่น สภาพพื้นดิน จำนวนวงจรของสายเคเบิล เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง และงบประมาณของการลงทุน ซึ่งการก่อสร้างเพื่อจัดวางสายเคเบิลใต้ดินจะมีรูปแบบต่าง ๆ ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

การวางสายเคเบิลใต้ดินในท่อร้อยสายหุ้มคอนกรีต (Duct Bank with Concrete Sheath)

การวางสายเคเบิลรูปแบบนี้จะต้องขุดดินตามแนวของสายเคเบิลเพื่อก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลที่หุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังรูป 3.1 ตัวคอนกรีตเสริมเหล็กจะเป็นเครื่องป้องกันแรงทางกลและผลกระทบอื่น ๆ ที่มากระทำต่อสายเคเบิลได้เป็นอย่างดี (ซึ่งได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับท่อไว้แล้วในหัวข้อ 2.1)

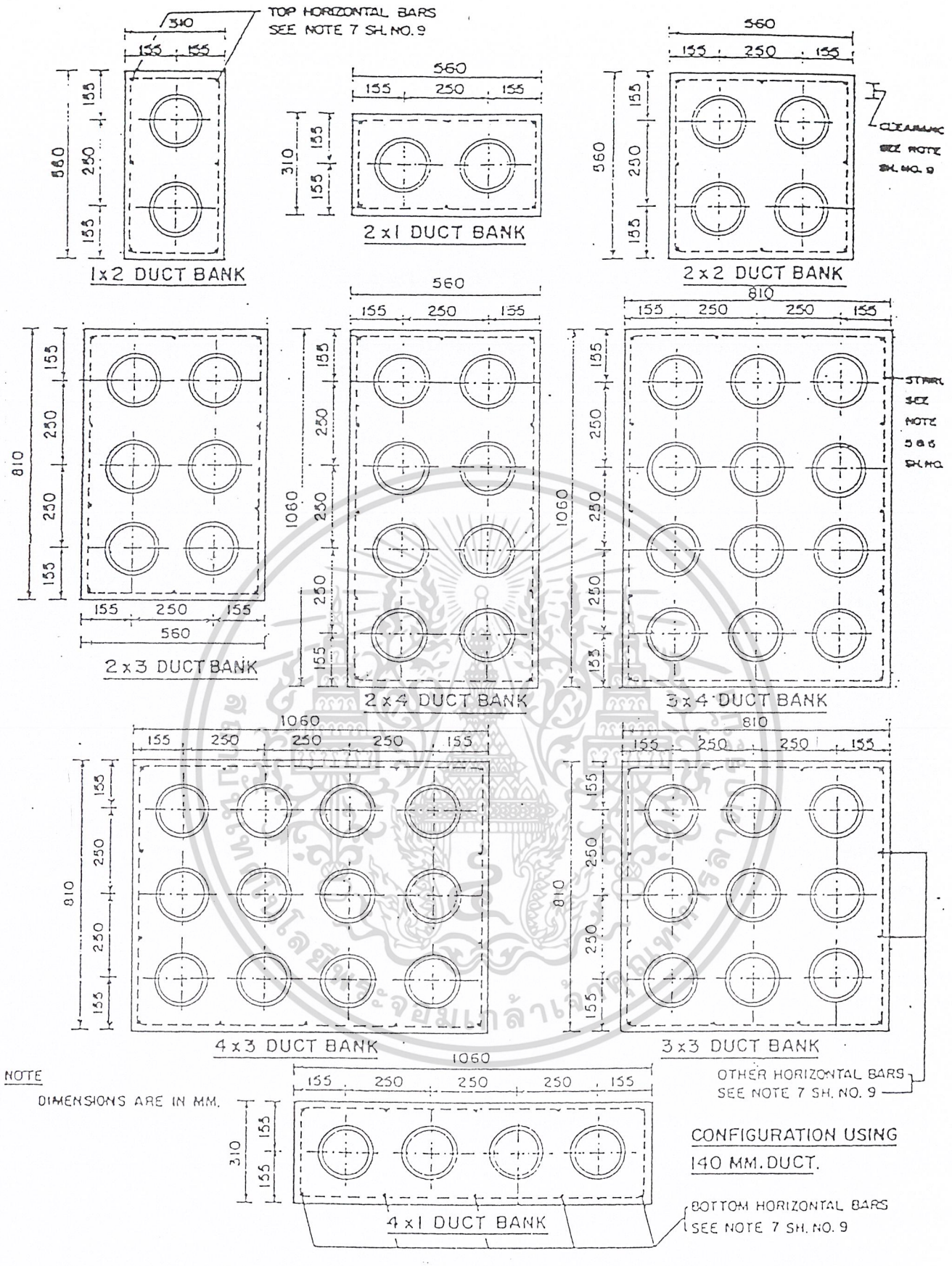
การวางสายเคเบิลด้วยวิธีฝังใต้ดินโดยตรง (Direct Burial)

การวางสายเคเบิลด้วยวิธีนี้จะมีความสะดวก ง่าย และประหยัดที่สุด แต่ต้องแน่ใจว่าแนวของสายเคเบิลต้องปลอดภัยจากผลกระทบต่าง ๆ จากภายนอก เช่น การขุดหรือเจาะพื้นดินเพื่อก่อสร้างอาคาร การเปิดหน้าดินเพื่อทำโครงสร้างพื้นฐานของสาธารณูปโภคอย่างอื่นที่มีโอกาสเกิดขึ้นภายหลังจากการฝังสายเคเบิลใต้ดินแล้ว ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลไปยังสายเคเบิลจนได้รับความเสียหายได้

โดยทั่วไปการวางสายเคเบิลด้วยวิธีการฝังดินโดยตรงสามารถแบ่งการก่อสร้างได้อีก 3 วิธี ดังนี้

1. การวางสายเคเบิลในร่องรับสาย (Cable Trench) วิธีการนี้จะขุดดินตามแนววางสายเคเบิล แล้วก่อสร้างร่องคอนกรีตเสริมเหล็ก มีลักษณะเหมือนกับคูระบายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 ส่วนรูปที่ 3.2 ที่พื้นร่องคอนกรีตจะทำฐานสำหรับรองรับสายเคเบิลบนฐานรายเรียบร้อยแล้ว ก็จะถมทรายจนเต็มร่องและปิดช่องด้วยฝาครอบคอนกรีตอีกชั้นหนึ่ง ส่วนของ

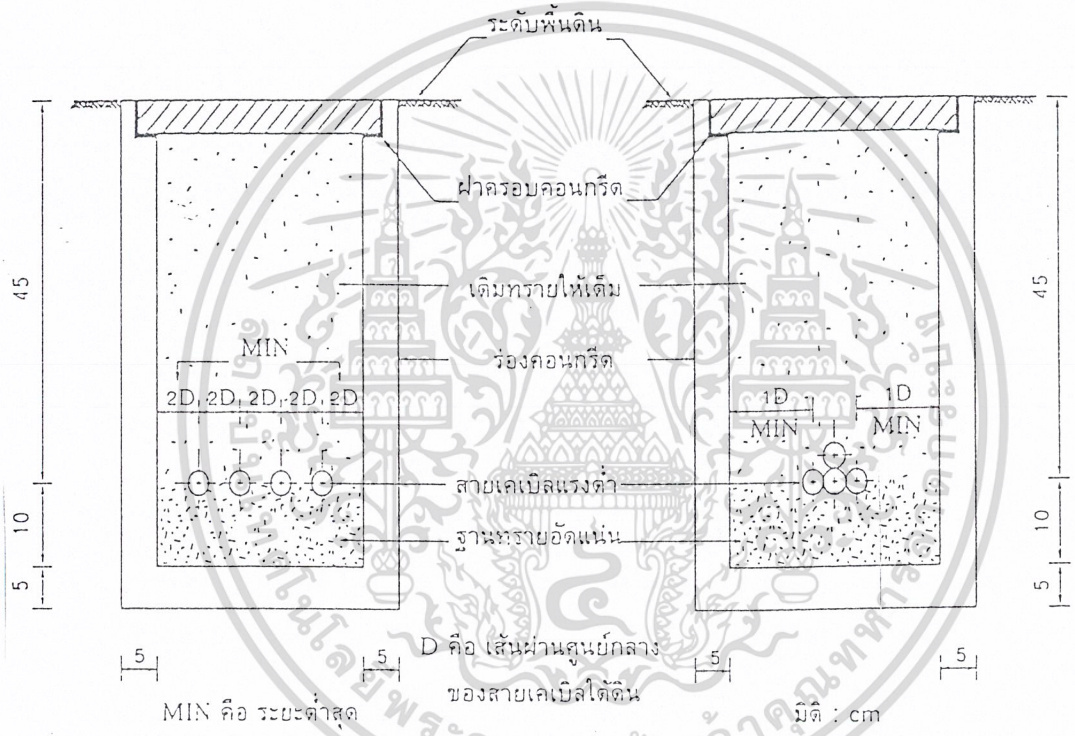
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินหล่อด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

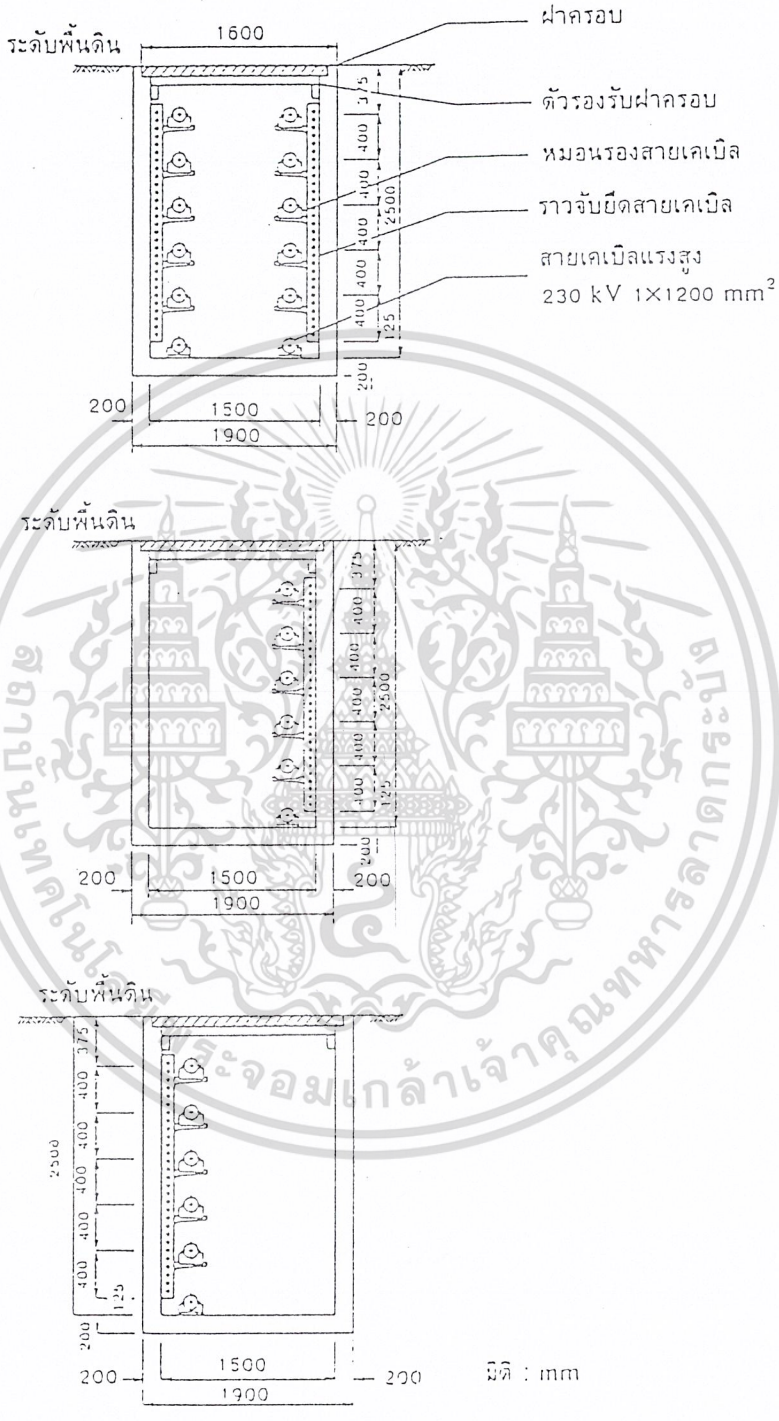
รูปที่ 3.3 เป็นร่องคอนกรีตที่ออกแบบสำหรับวางสายเคเบิลแรงสูง โดยติดตั้งราวจับยึดสายเคเบิล (cable rack) เข้ากับผนังของร่องคอนกรีต และสายเคเบิลแรงสูงจะวางอยู่บนหมอนรองรับของราวจับยึดสาย



รูปที่ 3.2 การวางสายเคเบิลแรงต่ำในช่องคอนกรีต

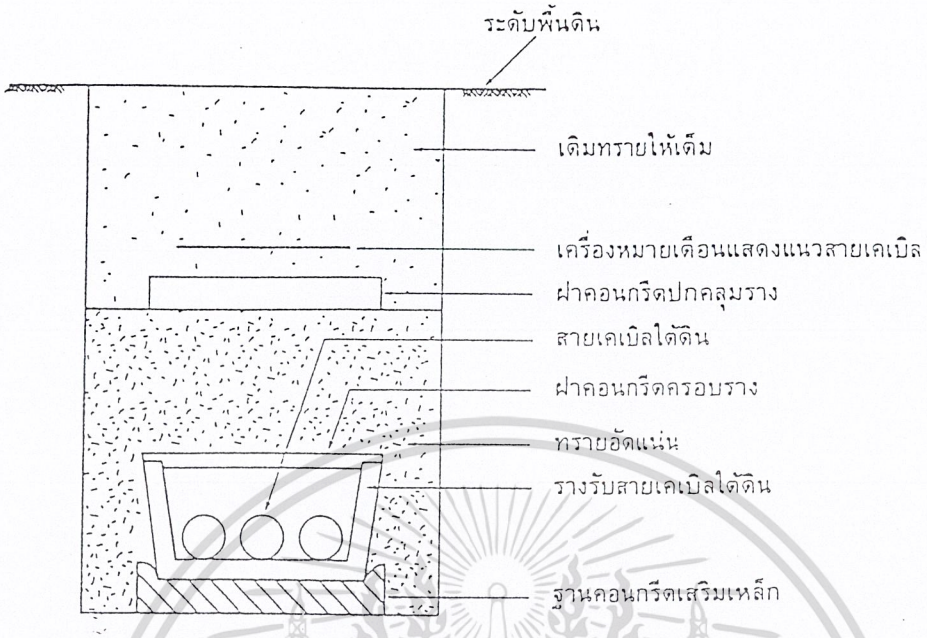
2. การวางสายเคเบิลในรางรับสาย (cable trough) โดยทั่วไปรางรับสายจะใช้กับสายเคเบิลแรงสูง ดังนั้นจึงมีฐานรากที่แข็งแรงสำหรับรองรับรางเพื่อป้องกันการทรุดตัวของรางและสายเคเบิล สำหรับรางรับสายเองก็ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเช่นกัน เมื่อวางสายเคเบิลในรางและปิดฝาคอนกรีตครอบรางเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นถมทรายและอัดจนแน่นแล้วปิดฝาคอนกรีตคลุมรางอีกชั้นหนึ่ง ในส่วนชั้นบนสุดจะมีการเติมทรายและเครื่องหมายแสดงแนวสายเคเบิลแรงสูง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



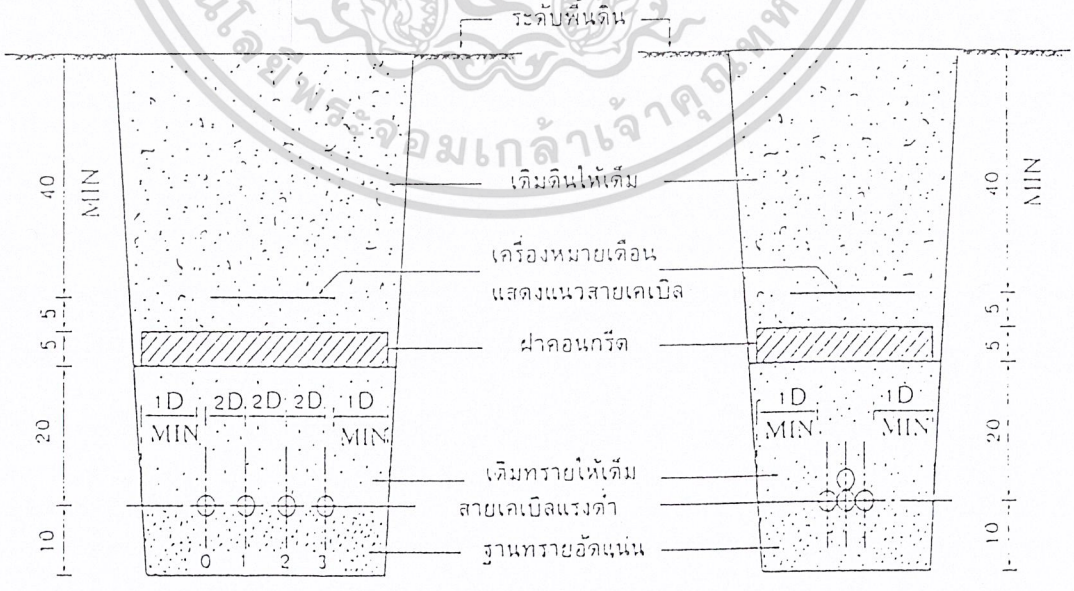
รูปที่ 3.3 การวางสายเคเบิลแรงสูงในช่องคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การวางสายเคเบิลแรงสูงในรางรับสาย

3. การวางสายเคเบิลโดยการฝังดิน วิธีการนี้ส่วนใหญ่ใช้กับสายเคเบิลแรงต่ำ โดยการขุดดินให้ได้ลึกตามกำหนด หลังจากนั้นเททรายที่พื้นร่องแล้วอัดแน่นเพื่อเป็นฐานสำหรับวางสายเคเบิล เมื่อวางสายเคเบิลแล้วก็เททรายกลบและปิดด้วยฝาคอนกรีต สำหรับชั้นบนสุดจะเทกลบด้วยดินพร้อมด้วยเครื่องหมายแสดงแนวสายเคเบิลดังแสดงในรูปที่ 3.5

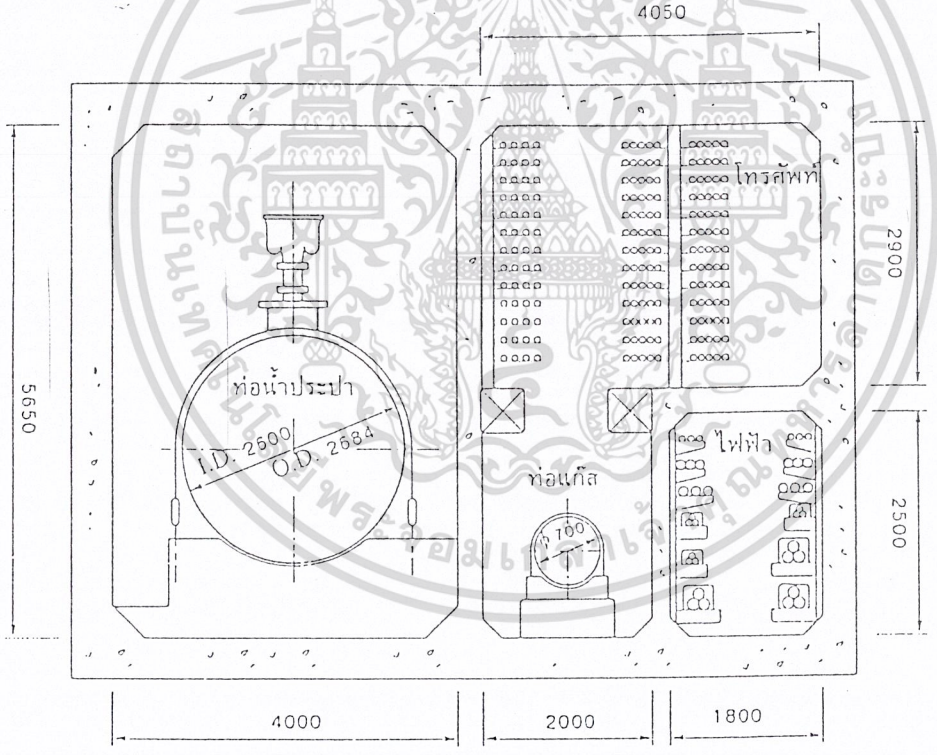


รูปที่ 3.5 การวางสายเคเบิลแรงต่ำโดยการฝังใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางสายเคเบิลใต้ดินในอุโมงค์สาธารณูปโภค (Utilityl tunnel)

เป็นการสร้างอุโมงค์ใต้ดิน ที่มีระดับความลึก 20 - 50 m. เพื่อรองรับการก่อสร้างของสาธารณูปโภคพื้นฐาน คือ ไฟฟ้า ประปา และโทรศัพท์ ให้มารวมอยู่ในที่เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในการก่อสร้างอุโมงค์นั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีในด้านการขุดเจาะพื้นดิน โดยไม่ต้องเปิดผิวหน้าดิน หรือผิวถนนตลอดแนวการก่อสร้าง แต่จะเปิดผิวหน้าดินเป็นช่วง ๆ เพื่อการปฏิบัติงานของคนและเครื่องจักรเท่านั้น สำหรับผนังอุโมงค์ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก และแบ่งอุโมงค์ออกเป็นส่วน ๆ เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ของสาธารณูปโภคแต่ละชนิด เช่น สายเคเบิลไฟฟ้า สายเคเบิลโทรศัพท์ ท่อส่งและจ่ายน้ำประปา เป็นต้น



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของอุโมงค์สาธารณูปโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ความสามารถในการส่งและจ่ายพลังไฟฟ้าของสายเคเบิลใต้ดิน

สำหรับการส่งและจ่ายพลังไฟฟ้าด้วยสายเคเบิลใต้ดิน จะมีใช้กันมากเฉพาะพื้นที่บริการของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งความสามารถในการนำกระแสหรือพลังไฟฟ้าของสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้เป็นสายป้อนในระบบจำหน่ายและสายส่งในระบบส่ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-1 ความสามารถในการนำกระแสและพลังไฟฟ้าของสายป้อนใต้ดิน (สายป้อนใต้ดินจัดวางไว้ในท่อร้อยสายเคเบิล)

ขนาดของสายเคเบิลใต้ดิน ตัวนำทองแดงฉนวนด้วย XLPE	ความสามารถในการนำกระแสและพลังงานไฟฟ้า				
	กระแส (A)	12 kV (MVA)	22 kV (MVA)	24 kV (MVA)	33 kV (MVA)
35 mm^2 Cu XLPE	161	3.3	6.1	6.6	9.2
70 mm^2 Cu XLPE	235	4.8	9.0	9.7	13.4
240 mm^2 Cu XLPE	478	9.9	18.2	19.8	27.3
400 mm^2 Cu XLPE	614	12.7	23.4	25.5	5.1

สำหรับข้อมูลการนำกระแสของสายส่งใต้ดิน จากตารางที่ จะเป็นได้ว่าเมื่อจัดวางสายส่งใต้ดินในแนวเดียวกันให้มีจำนวนวงจรมากขึ้น จึงทำให้มีการลดพิกัด (derating) การนำกระแสของสายส่งแต่ละวงจรลง ตัวอย่างเช่น สายเคเบิล 69 KV. ฉนวนด้วยครอสลิงก์โพลิเอตทิลีน ที่วางในท่อร้อยสายเคเบิลเพียง 1 วงจร สามารถนำกระแสได้ 898 A แต่ถ้าท่อร้อยสายเคเบิลในแนวเดียวกันนี้ จัดวางสายเคเบิลเพิ่มเป็น 3 วงจร จะทำให้สายส่งแต่ละวงจรนำกระแสลดเหลือ 709 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 ความสามารถในการส่งพลังไฟฟ้าของสายส่งใต้ดิน

ชนิดของเคเบิล (KV)	การก่อสร้างเพื่อจัดวางสายส่ง	จำนวนวงจรของสายส่งในแนวเดียวกัน	ความสามารถในการส่งพลังงานไฟฟ้า			
			1 x 800 mm^2		1 x 1200 mm^2	
			(A)	(MVA)	(A)	(MVA)
69 XLPE	Duct Bank	1	898	107	-	-
		2	770	92	-	-
		3	709	85	-	-
	Direct Burial	1	917	110	-	-
		2	860	103	-	-
115 XLPE	Duct Bank	1	870	173	-	-
		2	741	148	-	-
		3	681	136	-	-
115 Oil-Filled	Trench	1	1293	258	-	-
		2	1202	239	-	-
		3	1124	224	-	-
230 Oil-Filled	Duct Bank	1	-	-	960	382
		2	-	-	754	300
	Trough	1	862	343	-	-
		2	774	308	-	-
230 XLPE	Duct Bank	1	-	-	N.A.	N.A.
		2	-	-	N.A.	N.A.
		3	-	-	753	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การลากสาย Cable

ในการลาก Cable เข้าไปใน Duct นี้ ส่วนมากเราจะใช้รถที่มีเครื่องมือดึงที่เรียกว่า Winch ช่วยในการดึง Cable รถ Winch นี้จะจอดอยู่ใกล้กับฝาบ่อของ MANHOLE สลิงที่ใช้ดึง CABLE จะต่อกับ Winch ของรถที่ MANHOLE อีกด้านหนึ่งจะจอดรถบรรทุก REEL CABLE ที่ยกตั้งอยู่บนขาหยั่ง ให้ REEL CABLE ยกสูงพ้นพื้น เพื่อให้หมุนได้ขณะลาก CABLE ออกจาก REEL ที่ปลายสาย CABLE ก่อนจะทำการลากจะต้องทำที่สำหรับยึดกับสลิงที่ยึด สลิงที่ยึดนี้เรียกว่า PULLING EYE หรือใช้ PULLING GRIPE สวมยึดปลาย CABLE กับสลิงก็ได้

ขณะลาก CABLE เข้าไปใน DUCT ที่สาย CABLE จะต้องทาด้วยสิ่งหล่อลื่นซึ่งจะเป็นจารบีหรือน้ำมันหล่อลื่นหรือหินสบู่ก็ได้ ถ้าใช้หินสบู่ก็จะเป็นการดีมาก เสียที่ว่าหินสบู่มีราคาแพงและไม่มีทำจำหน่ายในประเทศไทยต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ที่ขอบ DUCT จะต้องใส่เครื่องป้องกันไม่ให้ขอบ DUCT ทำให้ CABLE เป็นรอยชำรุด ขณะที่ใช้ในการลาก CABLE ในทางปฏิบัติจะใช้ความเร็วประมาณ 3-5 เมตรต่อนาที ระหว่างการลากสายจะต้องคอยให้สัญญาณติดต่อกันระหว่างรถลากกับรถบรรทุก CABLE จะโดยสัญญาณมือหรือวิทยุติดต่อก็ได้ ขณะลากจะต้องคอยจดบันทึกแรงดึงทุก ๆ หนึ่งนาที แรงดึงต้องค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจึงจะดี ถ้าแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงมากบ้าง น้อยบ้าง ขณะลากแสดงว่าอาจมีปัญหาที่ DUCT หรือการป้อนสายไม่ดี ซึ่งจะทำให้ CABLE เสียหายชำรุดได้

เมื่อลาก CABLE โผล่ที่ MANHOLE แล้วต้องทำการดึงเผื่อไว้สำหรับทำการต่ออีกเล็กน้อยหลังจากทำการตัด CABLE นอกจาก REEL แล้ว จะต้องตรวจสอบเปลือกของ CABLE ว่าชำรุดหรือเปล่า โดยใช้ MEGGER ขนาด 1000 V. ตรวจดูระหว่าง เปลือกตะกั่วหรือ SHIELD ของ CABLE กับ GROUND จะต้องได้ความต้านทานไม่ต่ำกว่า 10 MegaOhm ถ้าได้ความต้านทานสูงมากก็ยิ่งดี หลังจากนั้นทำการปิดปลายสายด้วยฝาครอบ ถ้า CABLE เป็นแบบมีเปลือกตะกั่วหุ้ม ก็ใช้ฝาครอบเป็นตะกั่วครอบปลาย CABLE แล้วใช้ตะกั่วชนิด 40/60 เชื่อมปิดอย่างดีอย่าให้รั่ว แล้วพันทับด้วย NEOPRENE TAPE อีกชั้น ถ้า CABLE เป็นแบบไม่มีเปลือกตะกั่วให้ใช้ฝาครอบแบบที่ทำด้วยยางหรือ PVC ครอบพันทับด้วย SELF BONDING TAPE และพันทับนอกด้วย PVC TAPE อีกครั้ง การปิดปลายสายนี้สำคัญมาก ถ้าไม่เรียบร้อยน้ำอาจรั่วเข้าไปในสาย CABLE ได้ จะทำให้ CABLE เสียใช้งานไม่ได้

การลาก CABLE ไม่ใช้มีแต่จะลากเข้าเท่านั้น บางโอกาสยังมีการลาก CABLE ที่ลากเข้าไปใน DUCT แล้วนั้นออก เหตุที่ต้องลากออกส่วนมากจะมาจากการชำรุด เสียหายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงหรือสำเนาต้องได้รับอนุญาตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเท่านั้น

CABLE หลังจากใช้งานไประยะหนึ่ง หรือเมื่อเลิกใช้ CABLE ชุดนั้น หรือต้องการจะเปลี่ยนขนาดของ CABLE การลาก CABLE ออกมีความยุ่งยากมากกว่า การลาก CABLE เข้า บางครั้งลากไม่ออกถึงกับ IRON HOOK ที่แขวนรอกขาดหรือไม่ก็สาย CABLE ขาด ถ้าสาย CABLE ที่ลากออกขาดวิธีแก้ไขเพื่อเอา CABLE ออกให้ได้ ต้องขุดเจาะข้างท่อ DUCT เพื่อตัดเอา CABLE ขึ้นมา แต่ถ้า DUCT ที่ใส่นั้นอยู่เป็น DUCT ที่อยู่กลาง โดยมี DUCT อื่นที่มีสาย CABLE อยู่แล้วล้อมอยู่เช่นนี้ ก็ไม่สามารถใช้วิธีเจาะขุด DUCT ได้ บางทีอาจต้องปล่อย CABLE ทิ้งไว้เลย

การลาก CABLE โดยฝังไว้ใต้ดิน

การลาก CABLE โดยฝังไว้ใต้ดินเรียกว่า DIRECT EARTH BURIAL CABLE เป็นการวางสาย CABLE ลงไปในรางที่ขุดไว้เป็นร่องขนาดกว้าง 24" ลึก 26" วางไว้บนทรายที่เอารองไว้ที่ก้นราง (TRENCH) เมื่อวาง CABLE แล้วกลบด้วยทราย แล้วใช้ฝาครอบลักษณะโค้งเหมือนกาบกล้วยครอบป้องกันสาย CABLE แล้วกลบทับด้วยทรายบนชั้นทรายจะวางแถบพลาสติกที่มีคำเตือนว่า "สายไฟฟ้าแรงสูง" จากนั้นกลบทับด้วยดินที่ขุดขึ้นมานั้นอีกครั้งหนึ่งเป็นครั้งสุดท้าย การกลบดินต้องกลบให้สูงพอสมควร เพื่อว่าเมื่อดินยุบตัวลงแล้วจะต้องไม่เป็นบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การคำนวณค่านการติดตั้งเคเบิลใต้ดิน

4.1 แรงดึง (TENSION)

ในการติดตั้งสายเคเบิลนั้น ไม่ว่าจะเดินสายในท่อ หรือในถาดสายเคเบิลก็จะต้องมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการติดตั้ง เช่น ค่าแรงดึงสูงสุด, ค่าแรงกดบนเคเบิลอันเนื่องจากผนังของท่อ (Sidewall pressure) , Clearance และ Jamming ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณา นอกจากนี้ การติดตั้งอื่น ๆ เช่น การฝังในดินหรือเดินสายในอากาศ ก็จะมีพารามิเตอร์ในการติดตั้งแตกต่างออกไปอีก

ขนาดของท่อจะเป็นการหาขั้นพื้นฐานก่อนแล้วจึงจะคำนวณหาค่า Clearance, Jamming and Fill ส่วนค่าแรงดึงที่ยอมรับได้จะถูกกำหนดจากค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ของแรงดึงจากอุปกรณ์ที่ใช้ โดยแรงดึง (Tension;T) ในการดึงสายเคเบิลในท่อนั้นถูกคำนวณแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ ถ้าแรงดึงที่เราทำการดึงสายเคเบิลมากกว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ เราก็จะต้องทำการคำนวณเพื่อหาค่าแรงดึงใหม่ให้น้อยกว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ มิฉะนั้นสายเคเบิลอาจจะเสียหายได้ และหลังจากที่เราทำการคำนวณหาค่าแรงดึงที่ต้องการได้แล้ว เราจะต้องคำนวณค่า Side wall – pressures (SP) ด้วย ตัวนำเป็นชิ้นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของสายเคเบิลซึ่งจะต้องสามารถทนรับแรงดึงโดยปราศจากความเสียหาย โดยไม่ต้องใช้ Metallic Shielding, Tapes หรือ Armor มาช่วย

ข้อกำหนดสำหรับสมการ

T_c = แรงดึงของตัวนำ (pounds)

S = ค่าความเค้นจากตารางที่ 4.1 (pounds/cmil)

A = ค่าพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (cmil)

N = จำนวนตัวนำ

T_{cable} = ค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ของสายเคเบิล (pounds)

T_{device} = ค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ของอุปกรณ์ (pounds)

T_m = ค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้ที่น้อยกว่าค่า T_{cable} หรือ T_{device}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.1 Maximum Allowable Conductor Stress (S)

Material	lb/cmil
Copper	0.008
Aluminum	0.006

4.1 การคำนวณแรงดึง

1.Single Conductor

$$T_c = S*A \quad \text{(pounds)} \qquad \ldots (4.1)$$

$$T_{cable} = T_c$$

ตัวอย่างที่ 1

Power cable,single conductor 4/0 AWG aluminum

$$T_{cable} = (0.006)*(211,600) \quad \text{pounds}$$

$$T_{cable} = 1,269.6 \quad \text{pounds}$$

2.Multiple Conductors

-Three or less conductors

$$T_{cable} = N*T_c \quad \text{(pounds)} \qquad \ldots (4.2)$$

ตัวอย่างที่ 2

Power cable,two single conductor 4/0 AWG aluminum

$$T_{cable} = (2)*(1,269.6)$$

$$= 2,539.2 \quad \text{pounds}$$

ตัวอย่างที่ 3

Power cable,three conductor 4/0 AWG aluminum

$$T_{cable} = (3)*(1,269.6)$$

$$= 3,808.8 \quad \text{pounds}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-More than three conductors

$$T_{cable} = (0.8)*N*T_c \quad \text{pounds} \qquad \ldots (4.3)$$

ตัวอย่างที่ 4

Control Cable ,four conductor 6 AWG Copper

จากสมการ (4.1)

$$T_c = S*A$$
$$= (0.008)*(26,240)$$
$$= 210 \quad \text{pounds}$$

จากสมการ (4.3)

$$T_{cable} = (0.8)*N*T_c$$
$$= (0.8)*(4)*(210)$$
$$= 672 \quad \text{pounds}$$

ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดึง

T_{in} = ค่าแรงดึงในท่อ (pounds)

T_{out} = ค่าแรงดึงที่ผ่านท่อออกมา (pounds)

w = ตัวประกอบน้ำหนักที่ถูกต้อง

μ = ค่า ส.ป.ส.ความเสียดทาน

W = น้ำหนักรวมของสายเคเบิล (pounds/foot)

L = ความยาวของท่อตรง

θ = มุมของท่อตรงจากแนวราบ (radians)

$\varnothing$ = มุมของท่อโค้ง (radians)

R = ระยะของรัศมีทางโค้ง

e = 2.718

a.) แรงดึงทางตรงในแนวราบ (Horizontal Straight Section)

$$T_{out} = w\mu WL + T_{in} \qquad \ldots (4.4)$$

b.) แรงดึงในท่อเอียงแนวตั้ง (Inclined and Vertical Straight Section)

- แรงดึงขึ้นทางตรง (Pulling Up a Straight Section)

$$T_{out} = WL(\sin\theta + w\mu\cos\theta) + T_{in} \qquad \ldots (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดึงลงทางตรง (Pulling down a Straight Section)

$$T_{out} = -WL(\sin\theta - w\mu\cos\theta) + T_{in} \quad \text{... (4.6)}$$

c.) แรงดึงในท่อโค้งแนวราบ (Horizontal Bend Section)

$$T_{out} = T_{in}(\cosh w\mu\phi) + (\sinh w\mu\phi) * \sqrt{T_{in}^2 + (WR)^2} \quad \text{...(4.7)}$$

d) แรงดึงในท่อโค้งขึ้นในแนวตั้ง (Vertical Concave Up Bend)

- แรงดึงขึ้นในท่อโค้ง (Pulling Up Through a Bend)

$$T_{out} = k' * [2w\mu\sin\phi - (1-(w\mu)^2) * (e^{w\mu\phi} - \cos\phi)] \quad \text{...(4.8)}$$

เมื่อ $k' = T_{in} e^{w\mu\phi} - \dfrac{WR}{1+(w\mu)^2}$

- แรงดึงลงในท่อโค้ง (Pulling down Through a Bend)

$$T_{out} = k' * [2w\mu e^{w\mu\phi} \sin\phi + (1-(w\mu)^2) * (1 - e^{w\mu\phi}\cos\phi)] \quad \text{...(4.9)}$$

เมื่อ $k' = T_{in} e^{w\mu\phi} - \dfrac{WR}{1+(w\mu)^2}$

e) แรงดึงในท่อโค้งลงในแนวตั้ง (Vertical Concave Down Bend)

- แรงดึงขึ้นในท่อโค้ง (Pulling Up Through a Bend)

$$T_{out} = k'' * [2w\mu e^{w\mu\phi} \sin\phi + (1-(w\mu)^2) * (1 - e^{w\mu\phi}\cos\phi)] \quad \text{...(4.10)}$$

เมื่อ $k'' = T_{in} e^{w\mu\phi} + \dfrac{WR}{1+(w\mu)^2}$

- แรงดึงลงในท่อโค้ง (Pulling down Through a Bend)

$$T_{out} = k'' * [2w\mu\sin\phi - (1-(w\mu)^2) * (e^{w\mu\phi} - \cos\phi)] \quad \text{... (4.11)}$$

เมื่อ $k'' = T_{in} e^{w\mu\phi} + \dfrac{WR}{1+(w\mu)^2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f) ค่าแรงดึงประมาณในท่อโค้ง (Commonly Used Approximation for Bend)

ค่าแรงดึงประมาณเราอาจจะใช้สูตรค่าแรงดึงประมาณนี้แทนค่าของการหาแรงดึงในท่อโค้งของสมการที่ 4.8,4.9,4.10 และ 4.11ได้โดย

$$T_{out} = T_{in} * e^{w\mu\phi} \quad \text{... (4.12)}$$

ค่าของสัมประสิทธ์ความเสียดทาน (μ) จะเป็นค่าที่ได้จากการลากสายเคเบิลผ่านท่อซึ่งจะเกิดความฝืดระหว่างสายกับท่อขึ้น ความฝืดนี้ก็คือค่า μ นั่นเอง ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานนี้จะมีผลกระทบในการคำนวณค่าแรงดึง และค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานจะมีค่าระหว่าง 0.1- 1.0 เราจะสามารถดูค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานจาก ตารางที่ 4.2 การดึงสายในท่อจะต้องดึงรวดเดียวโดยจะไม่หยุดหรือเริ่มต้นใหม่ เพราะถ้าดึงแล้วมาหยุดจะทำให้ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานในขณะที่หยุดแล้วเริ่มดึงใหม่นี้มีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานที่ดึงรวดเดียวทำให้การดึงลำบากขึ้น

ตารางที่ 4.2 Typical Coefficients of Dynamic Friction (μ)

Adequate Cable Lubrication During Pull

	Type of Conduit			
Cable Exterior	M	PVC	FIB	ASB
PVC-Polyvinyl Chloride	0.4	0.35	0.5	0.5
PE-Low DencityHMW Polyethylene	0.35	0.35	0.5	0.5
CHPE-Hypalon	0.5	0.5	0.7	0.6
XLPE-Crosslinked PE	0.35	0.35	0.5	0.5
Nylon	0.4	0.35	0.5	0.5
CPE	0.5	0.5	0.7	0.6

หมายเหตุ:

M = metallic , steel or aluminum

PVC = polyvinyl chloride,thin wall or heavy schedule 40

FIB = fiber conduit-Orangeburg or Nocrete

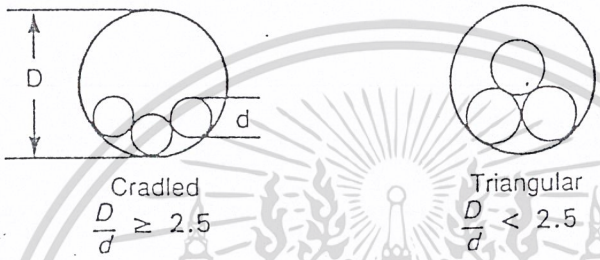
ASB = asbestos cemente-Transite or Korduct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 โครงร่างลักษณะการจัดวางตัวนำของ Three Single Conductor

โครงร่างลักษณะการจัดวางตัวนำของสายเคเบิลชนิด Three Single Conductor ในท่อจะหาได้จากอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกับเส้นผ่านศูนย์กลางตัวใดตัวหนึ่งของสายเคเบิล (D/d ratio)

การวางสายในท่อแบบ Cradled นี้จะใช้เมื่อสายเคเบิลแบบ Three Single Conductor มีค่า D/d ratio มากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 และการวางแบบ Triangular จะใช้เมื่อสายเคเบิลแบบ 3 ตัวนำมีค่า D/d ratio น้อยกว่า 2.5 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงร่างลักษณะการจัดวางตัวนำของ Three Single Conductor

โครงร่างการวางของสายเคเบิล (แสดงในรูปที่ 4.2) สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อแรงดึงของสายได้ค่าน้ำหนักของสาย (w) ที่ถูกต้องจะใช้ในสมการแรงดึงสำหรับผลกระทบนี้ และค่าน้ำหนักตัวประกอบที่ถูกต้องจะหาได้จากสมการดังนี้

1 Cable (signle)

$$w = 1 \qquad \text{... (4.13)}$$

3 Cable (triangular)

$$w = \frac{1}{\sqrt{1-\left[\frac{d}{D-d}\right]^2}} \qquad \text{... (4.14)}$$

3 Cable (cradled)

$$w = 1+\frac{4}{3}\cdot\left[\frac{d}{D-d}\right]^2 \qquad \text{... (4.15)}$$

4 Cable or more (complex)

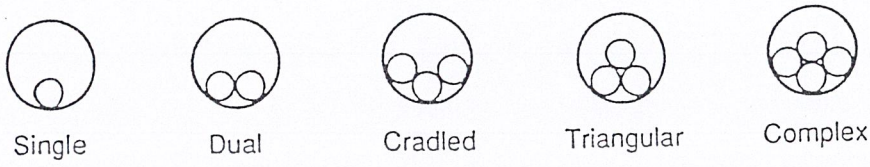
$$w = 1.4 \qquad \text{... (4.16)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ w = ตัวประกอบน้ำหนักสายที่ถูกต้อง

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

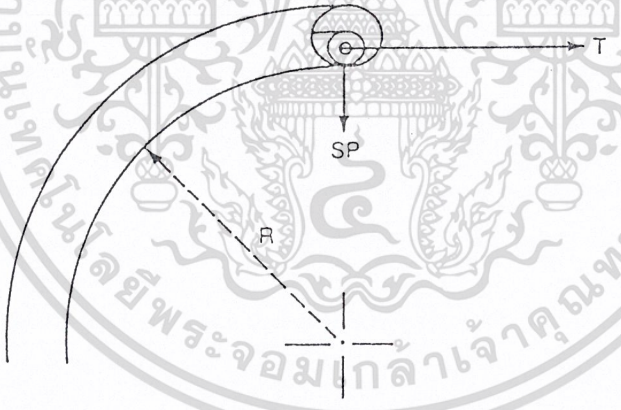
d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสาย



รูปที่ 4.2 โครงร่างการวางของสายเคเบิล

4.1.2 Sidewall pressure (SP)

จะเป็นค่าแรงกดบนเคเบิลอันเนื่องจากผนังท่อ ซึ่งจะเกิดจากการดึงสายผ่านท่อโค้งค่า Sidewall pressure จะนี้สามารถทำให้สายเกิดความเสียหายได้



รูปที่ 4.3 Sidewall Pressure Factors

ค่า Sidewall pressure จะสามารถคำนวณได้ตามสมการข้างล่างนี้

1. สาย Single conductor หรือตัวนำหลายตัวมี Jacket หุ้มร่วมกัน

$$SP = \frac{T}{R} \qquad \ldots (4.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สายตัวนำเดี่ยววาง 3 เส้นแบบ cradled

$$SP = (3w - 2) \cdot \frac{T}{3R} \qquad \text{... (4.18)}$$

3. สายตัวนำเดี่ยววาง 3 เส้นแบบ triangular

$$SP = w \cdot \frac{T}{2R} \qquad \text{... (4.19)}$$

เมื่อ T = แรงดึงที่ดึงออกมาจากท่อโค้ง (pounds)
(ดูได้จากตารางที่ 4.5 สำหรับท่อ sweep elbows)
R = ระยะรัศมีของท่อโค้ง (feet)
W = ตัวประกอบน้ำหนักที่ถูกต้อง
SP = Sidewall Pressure (pounds/feet)

ค่า maximum sidewall pressure นี้จะอยู่ในช่วง 300-500 pounds ต่อ feet ซึ่งจะสามารถดูได้จาก ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 Recommended Maximum Sidewall Pressures

Cable Type	SP lbs/ft
600 V nonshielded	300
600 V & 1 KV nonshieded	500
5-15 kV	500
25-35 kV	300
Interlocked armored cable (All Voltage Classes)	300

4.1.3 Clearance

Clearance จะเป็นระยะห่างระหว่างส่วนบนสุดของสายเคเบิลในท่อกับส่วนบนสุดของพื้นผิวภายในท่อ ซึ่งค่าระยะห่างนี้จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 10% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อหรือ 1 นิ้ว สำหรับสายเคเบิลขนาดใหญ่

การคำนวนหาค่า Clearance จะสามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

1.Single Cable

$$CL = D - d \qquad \text{... (4.20)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Three Cable,Triplexed or Triangular

$$CL = \frac{D}{2} - 1.366d + \frac{D-d}{2} \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{d}{D-d}\right]^2} \qquad \text{... (4.21)}$$

3. Three Cable,Cradled

$$CL = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2} \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{d}{2(D-d)}\right]^2} \qquad \text{... (4.22)}$$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิล (inches)

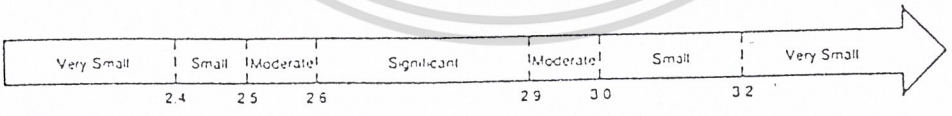
D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (inches)

4.1.4 Jamming

Jamming เป็นแรงอัดของสายเคเบิลที่มี 3 สายหรือมากกว่าเมื่อถูกดึงภายในท่อ, อัตราส่วนของการอัด (jam ratio) นี้จะเป็นอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของเคเบิล (d) โดย

$$\text{Jam Ratio} = \frac{D}{d} \qquad \text{... (4.23)}$$

ความน่าจะเป็นสำหรับ Jamming แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเทียบความน่าจะเป็นของ jamming

4.1.5 Conduit Fill

Conduit Fill เป็นเปอร์เซนต์ของพื้นที่ภายในท่อที่ถูกกระทำโดยสาย ซึ่งจะหาได้จากสมการ

$$\text{Fill} = \left[\frac{d}{D}\right]^2 \cdot N \cdot 100 \quad \text{percent} \qquad \text{... (4.24)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิล (inches)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (inches)

N = จำนวนของสายเคเบิล

ตารางที่ 4.4 Riged Conduit Information

Trade Size	Area Sq.In.	40% Area Sq. In.	53% Area Sq. In.	ID In.	OD In.
1/2	0.30	0.12	0.16	0.622	0.84
3/4	0.53	0.21	0.28	0.824	1.05
1	0.86	0.34	0.46	1.049	1.31
1-1/4	1.50	0.60	0.80	1.380	1.66
1-1/2	2.04	0.82	1.08	1.610	1.90
2	3.36	1.34	1.78	2.067	2.37
2-1/2	4.79	1.92	2.54	2.469	2.87
3	7.38	2.95	3.91	3.068	3.50
3-1/2	9.90	3.96	5.25	3.548	4.00
4	12.72	5.09	6.74	4.026	4.50
5	20.00	8.00	10.60	5.047	5.56
6	28.89	11.60	15.30	6.065	6.62

สรุปขั้นตอนการคำนวนหาค่า parameter ในการติดตั้งสายเคเบิลภายในท่อ

1. จะต้องเลือกขนาดท่อที่ต้องการก่อนแล้วจึงคำนวนหา Required Fill,Clearance และ Jamming

2. เลือกค่าสำหรับชนิดของท่อ, องศาการโค้งของท่อและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ใน ตารางที่ 4.5 จะเป็นข้อมูลรัศมีภายในของท่อ rigid steel conduit sweep elbows

3. หาน้ำหนักของสายเคเบิล (W) จาก data sheets ของสายที่ต้องการ

4. คำนวนหาค่า weight correction factor (w)

5. คำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดที่ยอมรับได้

6. คำนวนหาค่าแรงดึงที่ใช้ (T) และ Sidewall pressure (SP)ทุกๆ Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การใช้งานโปรแกรมออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดิน

โปรแกรมการออกแบบระบบไฟฟ้าใต้ดิน จะเริ่มต้นโดยการเลือกวิธีการออกแบบโดยจะทำการออกแบบรูปถนนโดยใช้ Visio Technician หรือจะload รูปไฟล์ที่มีอยู่แล้วก็ได้ จากนั้นทำการกำหนดตำแหน่งและระยะทางของถนน โปรแกรมจะทำการคำนวณตำแหน่งของถนน และระยะห่างระหว่างบ่อและคำนวนแรงดึงที่ใช้จากนั้นนำมาแสดงเป็นตารางรายละเอียด ซึ่งสามารถแสดงเป็น Flow Chart การทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

รูปที่ 5.1 แสดงการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

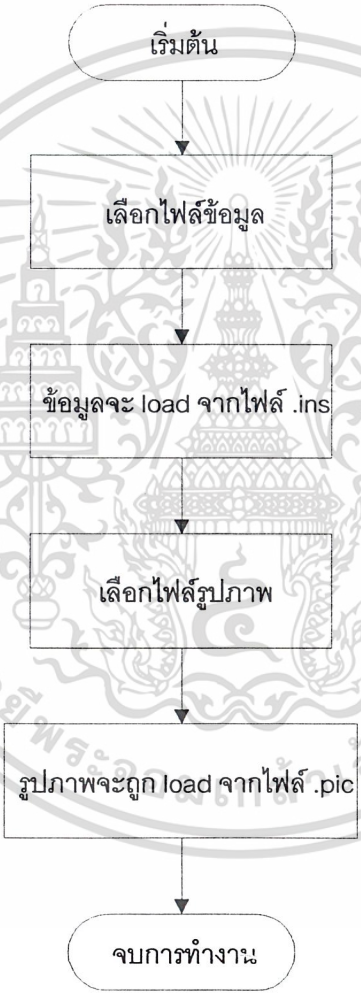
การ save files และ load files

การ save files เมื่อทำการออกแบบแล้ว ผู้ใช้โปรแกรมสามารถทำการ save ข้อมูลการออกแบบได้ โดยจะ save ข้อมูลเก็บไว้เป็นไฟล์นามสกุล .ins และเก็บรูปภาพเป็นไฟล์นามสกุล .pic ซึ่งจะสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังนี้

รูปที่ 5.2 แสดงการ save ข้อมูลการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ load files ข้อมูล ผู้ใช้โปรแกรมสามารถ load ข้อมูลที่ได้เคยทำการออกแบบไว้แล้ว นำมาดูหรือทำการออกแบบต่อเติมได้ โดยการ load ข้อมูล ซึ่งสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 5.3 แสดงการ load ข้อมูลการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

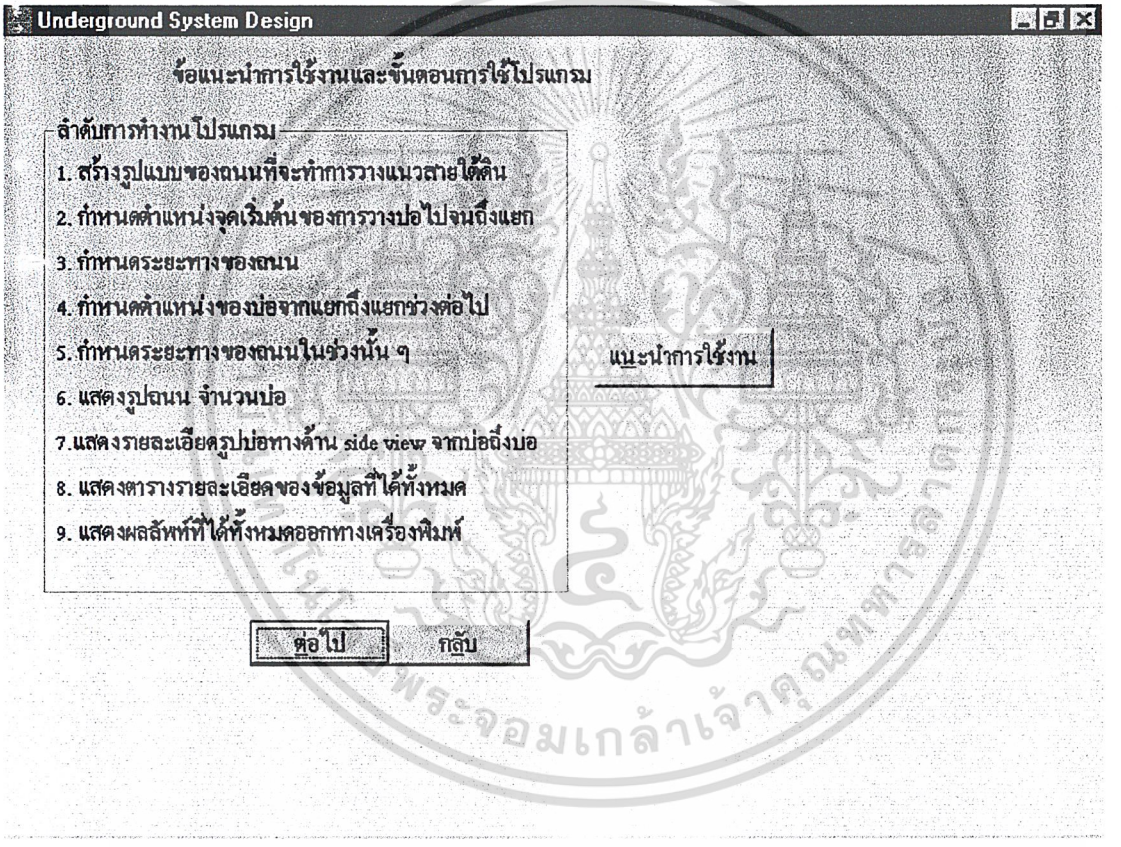
บทที่ 6
การทดลองออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดิน

โปรแกรมออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดิน เป็นโปรแกรมที่ทำขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้าใต้ดิน และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินต่อไปโดยจะบอกชนิดของบ่อที่ใช้, ขนาด dimension,ชนิดของ duct bank ที่ใช้ และระยะทางจากบ่อถึงบ่อ รวมทั้งบอกค่าของแรงดึงที่ใช้ในการดึงสายว่ามีค่าเท่าไร เป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ และ แก้ไขให้ได้ตามข้อกำหนด ก่อนที่จะทำการติดตั้งงานจริง

รูปที่ 6.1 เริ่มต้นโปรแกรมออกแบบระบบสายใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

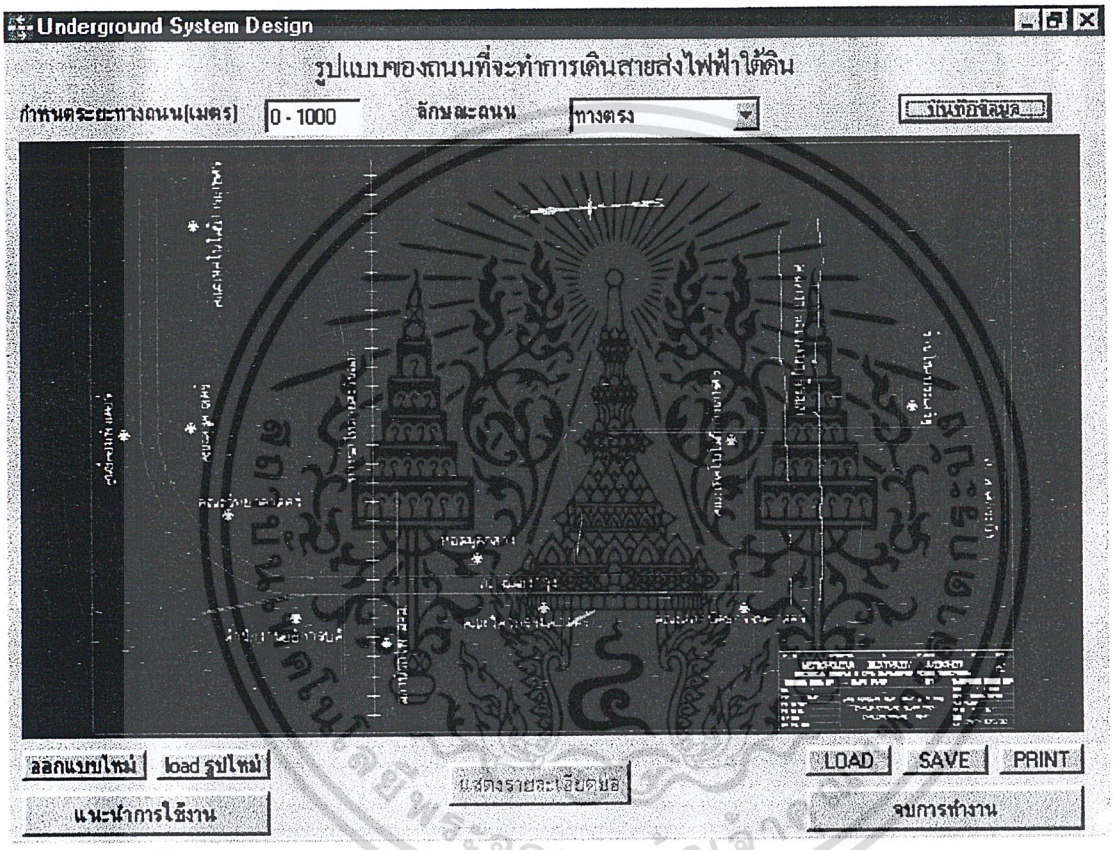
การทำงานของโปรแกรมและลำดับขั้นการทำงาน จะเริ่มต้นโดยเมื่อเข้ามาในโปรแกรม แล้วโปรแกรมจะบอกหลักในการออกแบบและวิธีการออกแบบซึ่งผู้ใช้สามารถเปิดไฟล์ under.hlp ดูได้โดยกดปุ่ม แนะนำการใช้งาน ซึ่งจะอธิบายเป็นลำดับขั้นและทำความเข้าใจได้ง่าย เมื่อผู้ใช้ศึกษาวิธีการออกแบบจนเข้าใจแล้วก็สามารถออกแบบระบบไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ได้



รูปที่ 6.2 แนะนำการใช้งานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

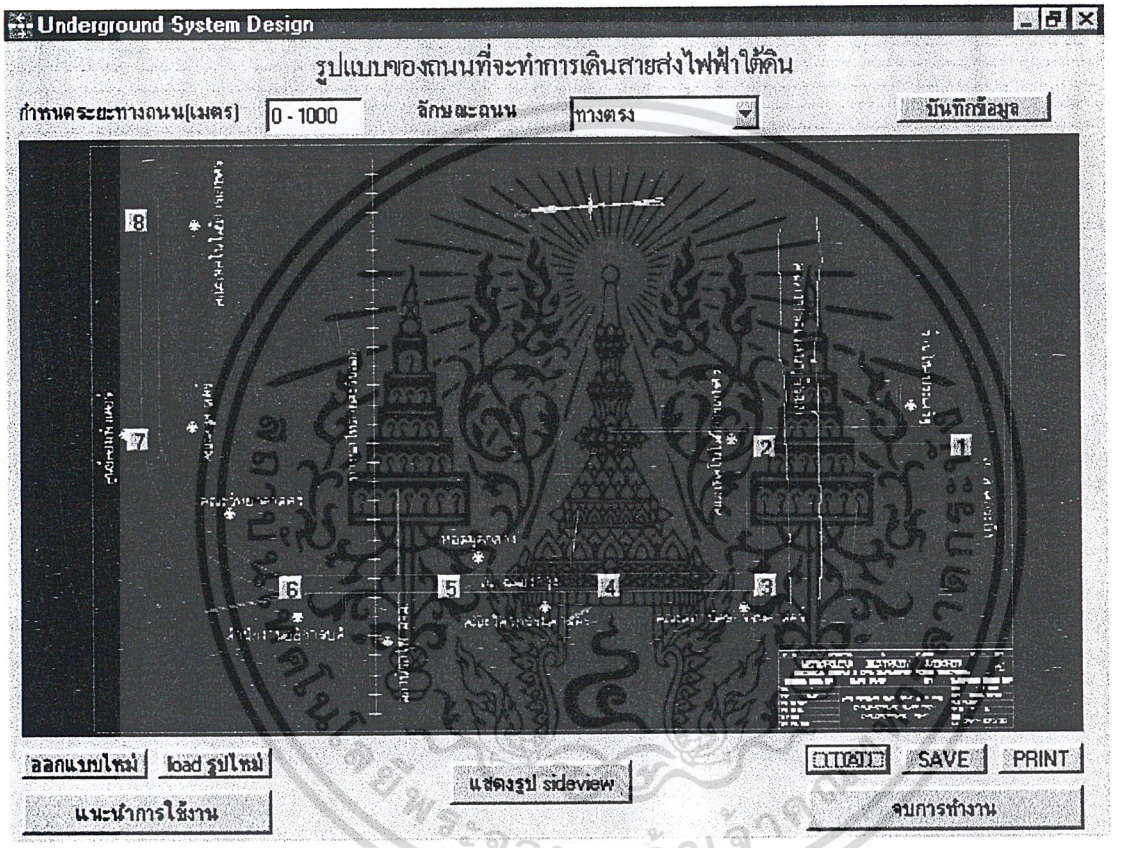
เมื่อเข้ามาทำงานในโปรแกรม ผู้ใช้จะทำการวาดรูปถนนที่จะทำการออกแบบ โดยใช้โปรแกรม Visio Technician หรือสามารถ load รูปภาพออกมาได้เลยถ้ามีรูปภาพอยู่แล้ว โดยจะเป็นไฟล์ .bmp หรือ .wmf ก็ได้ ซึ่งจะทำการวาดเองหรือ scan ออกมาจากเครื่อง scanner ก็ได้



รูปที่ 6.3 แสดงรูปภาพถนนที่จะทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

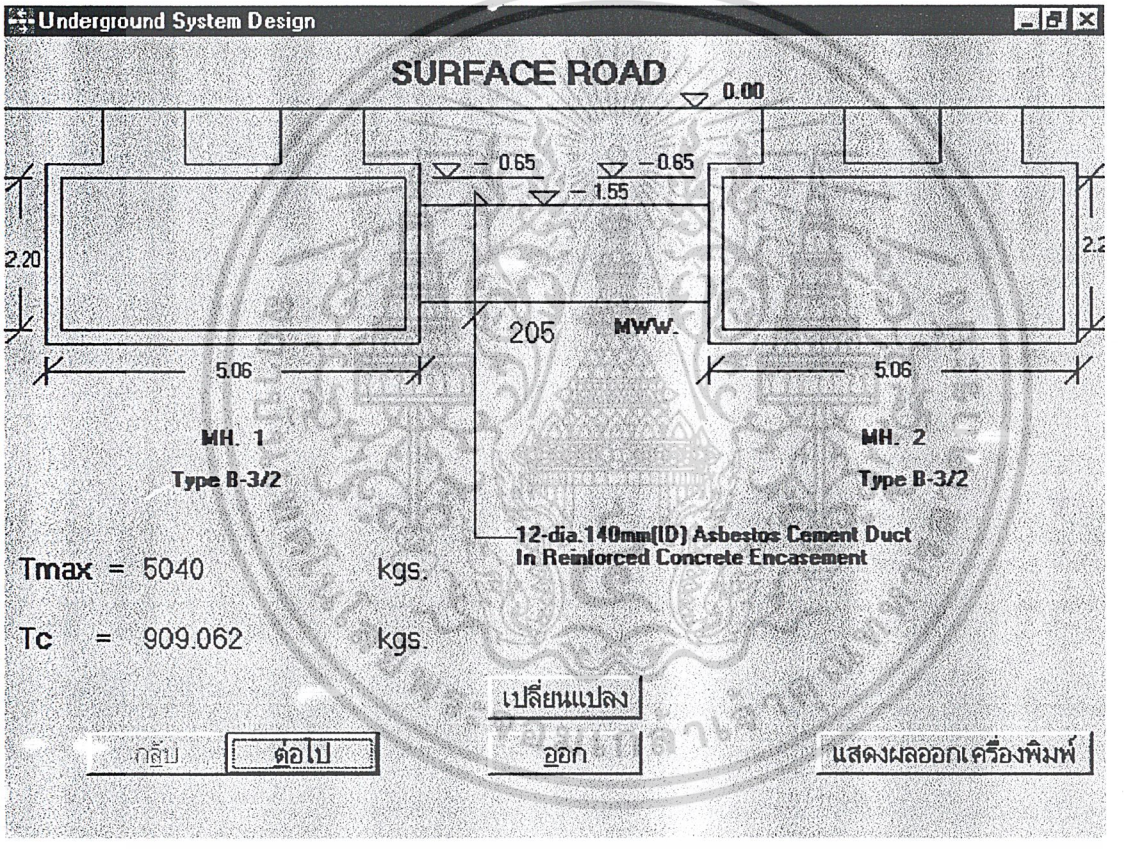
ผู้ใช้จะทำการกำหนดจุดเริ่มต้นของการวางบ่อพักและจุดแยกของถนน พร้อมทั้งบอระยะความยาวของถนนให้โปรแกรมทราบ จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวนจำนวนบ่อพักสาย (Manhole) และระยะที่จะวางบ่อพักสายให้ผู้ใช้ทราบแล้วแสดงออกมาดังรูป



รูปที่ 6.4 แสดงรูปบ่อพักสายที่จะทำการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

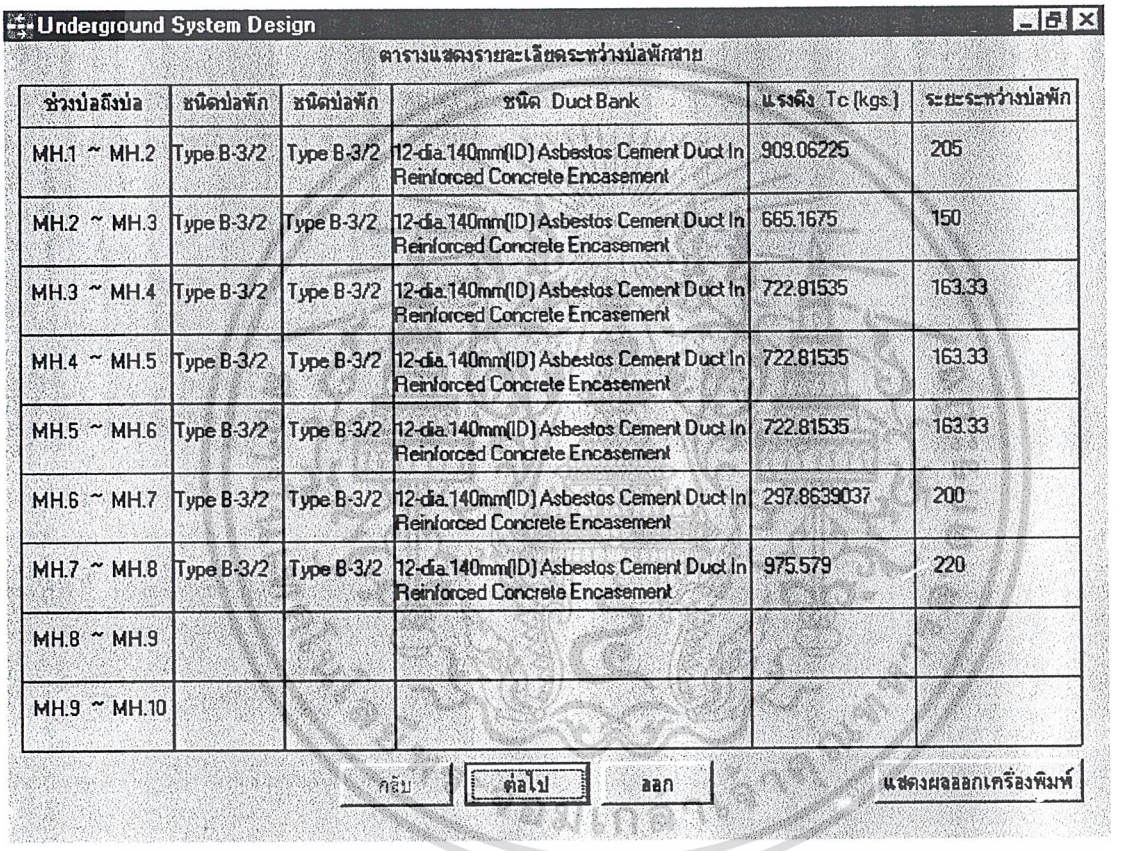
โปรแกรมจะทำการคำนวนค่าของแรงดึงที่ใช้ระหว่างบ่อถึงบ่อให้ทราบ โดยผู้ใช้สามารถดูรายละเอียดได้โดยกดปุ่ม แสดงรูป sideview ในหน้าจอที่ผ่านมา โปรแกรมจะแสดงรูปทางด้าน sideview ของบ่อพักระหว่างบ่อถึงบ่อ โดยจะมีรายละเอียดขนาดของบ่อ, ระยะทางจากบ่อถึงบ่อ, ขนาดและชนิดของ duct bank พร้อมทั้งบอกค่าแรงดึงที่ใช้จากบ่อถึงบ่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดึง Tmax ด้วย



รูปที่ 6.5 แสดงรูปบ่อพักสายด้านข้าง sideview และแรงดึงที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้โปรแกรมสามารถดูผลของการออกแบบทั้งหมดได้จากตารางแสดงรายละเอียดโดยการ Click ปุ่ม Report โดยตารางนี้จะแสดงชนิดของบ่อพัก , ชนิดของสายเคเบิล และ ชนิดของท่อ (Ductbank) ,ค่าแรงดึงระหว่างบ่อถึงบ่อ (Tc) , ระยะห่างระหว่างบ่อพัก โดยจะรวมแสดงไว้ในตารางเดียวกันซึ่งสามารถดูข้อมูลได้ง่าย



รูปที่ 6.6 แสดงรายละเอียดของบ่อพักสายช่วงบ่อถึงบ่อ

ผู้ใช้สามารถนำผลที่ได้แสดงออกทางเครื่องพิมพ์ โดยการกดปุ่มแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในงานติดตั้งจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

จากการทดลองที่ได้ทำขึ้นเป็นการออกแบบการวางระบบสายใต้ดินถนนฉลองกรุง บริเวณหน้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นระยะทาง 1265 เมตร ซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบ เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลที่ใช้ในการติดตั้งจริงต่อไปหรือสามารถเก็บข้อมูลที่ได้ออกแบบแล้วเพื่อใช้ในการติดตั้งในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Thomas P. Arrold, C. David Mercior, "Southnire Company Power Cable Mamual" Georgia : Southnire Company, 1991.

- J.A. Williams, "Underground Transmission Systems Reference Boole", Newyork : 1992

- Raychem, "Heat-Shrin Kable Joints for screened plastic and rubber insulated cable for up "to 36 KV."

- Raychem, "Heat-Shrin Kable terminator systems for single care plastic and rubber insulated Cables up to 36 KV."

- Raychem, "Heat-Shrin Kable terminator systems for 3-core plastic and rubber insulated Cables up to 36 KV."

- Rachem, "Greepage Extenders a remedy for pollution flashovers of insulators."

- MEA., "XLPE Cable user' quide"

- MEA., "69 KV HXLP"

- ELASTIMOLD, "Installation Instructions", New jersey, 1992

- Rachem, "tes Report Electrical with stand Tests on 72 KV", Germany 1992

- Raychem, Test report Performance test on 72 KV. Joint Type EHVS and outdoor termination type OHVP on XLVE calbe 400 mm^2."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Joseph J. Bambara, Paul R. Allen, "PowerBuilder", McGraw-hill, 1995

- การไฟฟ้านครหลวง, "โครงการฝึกอบรมช่างเทคนิคเพื่อช่วยงานวิศวกร", 1992

- โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ, "การผลิตการส่งจ่ายไฟฟ้า", กรุงเทพมหานคร, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้