

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใย  
แก้วที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวนภายใน  
ท่อใต้ดินแบบไปร์แจคกิ้ง

MAGNETIC FIELD ANALYSIS OF UNDERGROUND CABLE IN  
REINFORCED THERMOSETTING RESIN CONDUIT ARRANGED  
BY STEEL SPACER AND INSULATOR SPACER IN UNDERGROUND  
PIPE JACKING SYSTEM

ปรีชา มงคลสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว  
ที่จัดเรียงด้วยตัวกันระยะแบบเหล็กและตัวกันระยะแบบฉนวนภายในท่อใต้ดิน  
แบบไปร์แจคกิ้ง

ปรีชา มงคลสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่ออ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว  
ที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวนภายในท่อใต้ดิน  
แบบไประแจค้ำ

Analysis of Magnetic Fields of Underground Power Cables in  
Reinforced Thermosetting Resin Conduits Arranged by Steel  
Spacers and Insulator Spacers in Underground Pipe Jacking System

ชื่อ - นามสกุล

นายปรีชา มงคลสวัสดิ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.

ปีการศึกษา

2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ประมุข อุณหเลขกะ, D.Eng.)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนทล นาวงษ์, วศ.ด.)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อยีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวนภายในท่อยีพ็อกซีเรซินแบบโปรเจคกิ้ง
ชื่อ – นามสกุล	นายปรีชา มงคลสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์บุญยั้ง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2563

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อยีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวนภายในท่อยีพ็อกซีเรซินแบบโปรเจคกิ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสนามแม่เหล็ก กระแสไหลวน และเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกวัสดุมาใช้ในการก่อสร้างท่อยีพ็อกซีเรซินสายไฟฟ้าใต้ดิน

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดิน ขนาด 800 ตร.มม. แรงดัน 115 เควี ติดตั้งภายในท่อยีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวนภายในท่อยีพ็อกซีเรซินเสริมเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.80 เมตร ระดับความลึก 4 เมตร จากผิวดิน ซึ่งจัดระยะห่างตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง การดำเนินงานวิจัยด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำการจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลของสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของการใช้ตัวกั้นระยะแบบต่าง ๆ

ผลการวิจัยพบว่าสนามแม่เหล็กกระจายตัวอยู่ในวงปิดของตัวกั้นระยะแบบเหล็ก ในขณะที่สนามแม่เหล็กจะกระจายออกนอกวงปิดของตัวกั้นระยะแบบฉนวน ซึ่งปริมาณสนามแม่เหล็กจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อกระแสของสายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และยังพบว่าปริมาณกระแสไหลวนจะเกิดขึ้นที่ตัวกั้นระยะแบบเหล็กซึ่งส่งผลทำให้ความสามารถในการรับภาระโหลดของสายไฟฟ้าใต้ดินได้ลดลง ในขณะที่ตัวกั้นระยะแบบฉนวนจะไม่เกิดกระแสไหลวนและไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับภาระโหลดของสายไฟฟ้าใต้ดิน

**คำสำคัญ :** สนามแม่เหล็ก กระแสไหลวน สายไฟฟ้าใต้ดิน

<b>Thesis Title</b>	Magnetic Field Analysis of Underground Cable in Reinforced Thermosetting Resin Conduit Arranged by Steel Spacer and Insulator Spacer in Underground Pipe Jacking System
<b>Name - Surname</b>	Mr.Preecha Mongklonsawat
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Associate Professor Boonyang Plangklang, Dr.-Ing.
<b>Academic Year</b>	2020

## ABSTRACT

This thesis presents the magnetic field analysis of underground cable in reinforced thermosetting resin conduit arranged by steel spacer and insulator spacer in underground pipe jacking system. The research aimed to study magnetic fields and eddy currents in order to provide the supporting information in considering the suitability of materials to construct underground conduits.

Magnetic field analysis of underground cable size 800 sq. mm., 115 kV installed inside a reinforced thermosetting resin conduit arranged by a steel spacer and an insulator spacer was investigated. The cable was installed inside the reinforced concrete pipes with diameter of 1.80 m. and the depth of 4 m. from the ground surface according to the Metropolitan Electricity Authority's standard. The research used the finite element method to simulate for comparing the effects of magnetic field and eddy current of the different spacers.

The study results showed that the magnetic field dissipated within the closed-loop of the steel spacer. In contrast, the magnetic field diffused outside the closed-loop of the insulator spacer. The magnetic field increased as the current of the underground cable increased. It was also found that the eddy current occurred on the steel spacer, which decreased the load capacity of the underground cable. There was no eddy current occurred on the insulator spacer and therefore no impact on the load capacity of the underground cable.

**Keywords:** magnetic field, eddy current, underground cables

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของรองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำและชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุดมলেখกะ ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนทล นาวงษ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์และเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ญาติพี่น้อง เพื่อนพ้องและคณะครู-อาจารย์ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน รวมทั้งประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ปรีชา มงคลสวัสดิ์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	13
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	13
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	13
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 บทนำ.....	15
2.2 ระบบเคเบิลใต้ดิน.....	15
2.3 รูปแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน.....	16
2.4 การจัดวางเคเบิลใต้ดิน.....	20
2.5 ลำดับวงจรเคเบิลใต้ดินใน.....	22
2.6 สนามแม่เหล็ก.....	32
2.7 โครงสร้างของเคเบิลใต้ดิน.....	36
2.8 ผลกระทบและค่าความปลอดภัยของสนามแม่เหล็ก.....	39
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
3.1 บทนำ.....	44
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	44

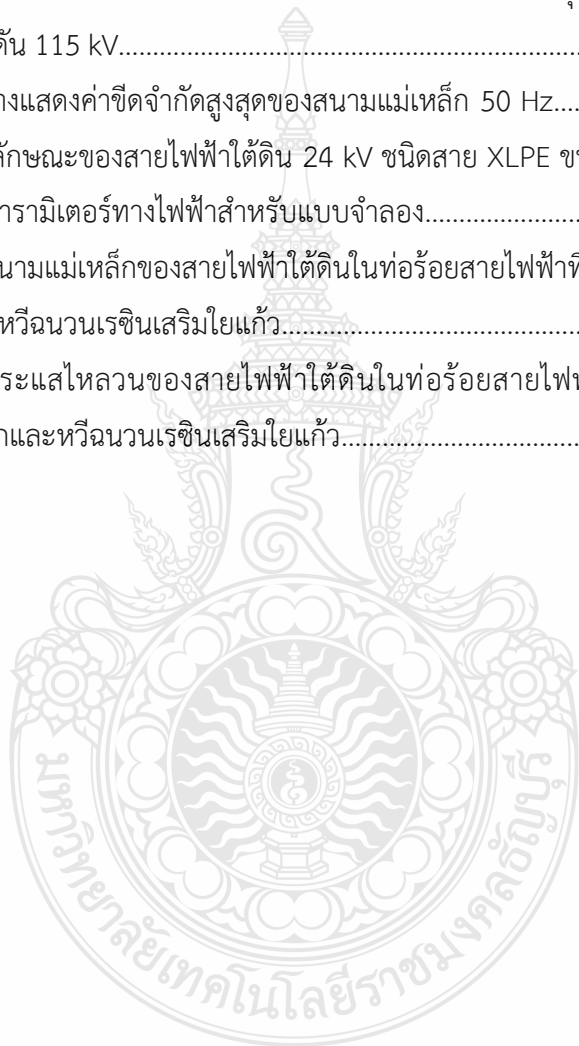
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ข้อมูลของสายไฟฟ้าใต้ดินของโครงการเปลี่ยนระบบสายไฟฟ้าอากาศเป็นสายไฟฟ้าใต้ดิน รัชดาภิเษก – พระราม 9.....	45
3.4 การออกแบบการติดตั้งหีเหล็กของระบบเคเบิลใต้ดินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป	48
3.5 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	51
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	52
4.1 บทนำ.....	52
4.2 ผลการจำลองของสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว.....	52
4.3 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีเหล็ก.....	53
4.4 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว.....	54
4.5 บทสรุป.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 บทนำ.....	57
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	57
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	78



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ระดับแรงดัน 69 kV.....	36
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ระดับแรงดัน 115 kV.....	38
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าขีดจำกัดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก 50 Hz.....	40
ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของสายไฟฟ้าใต้ดิน 24 kV ชนิดสาย XLPE ขนาด 800 ตร.มม.....	46
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสำหรับแบบจำลอง.....	49
ตารางที่ 4.1 ค่าสนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีและหีฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว.....	55
ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและหีฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว.....	56



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank).....	16
รูปที่ 2.2 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial).....	17
รูปที่ 2.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial).....	18
รูปที่ 2.4 Pipe Jacking.....	19
รูปที่ 2.5 Horizontal Directional Drilling.....	20
รูปที่ 2.6 การจัดเรียงสายแบบ Flat Formation.....	20
รูปที่ 2.7 การจัดเรียงสายแบบ Flat Formation แบบ bundle.....	21
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงเคเบิลใต้ดิน แบบ Trefoil Formation.....	21
รูปที่ 2.9 (ก) Duct bank ขนาด 2x1, (ข) Duct bank ขนาด 2x2 , (ค) Duct bank ขนาด 2x3.....	22
รูปที่ 2.10 (ก) Duct bank ขนาด 2x4, (ข) Duct bank ขนาด 2x5 , (ค) Duct bank ขนาด 3x3.....	22
รูปที่ 2.11 (ก) Duct bank ขนาด 3x4, (ข) Duct bank ขนาด 3x5 , (ค) Duct bank ขนาด 3x6.....	23
รูปที่ 2.12 (ก) Duct bank ขนาด 4x3, (ข) Duct bank ขนาด 4x6 , (ค) Duct bank ขนาด 5x2.....	23
รูปที่ 2.13 (ก) Duct bank ขนาด 5x3, (ข) Duct bank ขนาด 6x3.....	24
รูปที่ 2.14 (ก) Pipe jacking 1-CKT,Single 12 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, bundle 12 ducts.....	24
รูปที่ 2.15 (ก) Pipe jacking 1-CKT,Single 12 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, bundle 12 ducts.....	25
รูปที่ 2.16 Pipe jacking 1-CKT,Single 12 ducts.....	25
รูปที่ 2.17 (ก) Pipe jacking 2-CKT, bundle 15 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT,Single 15 ducts 1.2m.....	26
รูปที่ 2.18 18 Pipe jacking 2-CKT,Single 15 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, bundle 15 ducts 1.2m.....	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.19	19 (ก) Pipe jacking 2-CKT, bundle 15 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, bundle 18 ducts 1.2m.....	27
รูปที่ 2.20	(ก) Pipe jacking 1-CKT, Single 18 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, Single 18 ducts 1.2m.....	27
รูปที่ 2.21	(ก) Pipe jacking 1-CKT, bundle 18 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, bundle 18 ducts 1.2m.....	28
รูปที่ 2.22	(ก) Pipe jacking 1-CKT, bundle 18 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, bundle 18 ducts 1.2m.....	28
รูปที่ 2.23	(ก) Pipe jacking 2-CKT, Single 21 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 21 ducts 1.5m.....	29
รูปที่ 2.24	(ก) Pipe jacking 2-CKT, Bundled 21 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 21 ducts 1.5m.....	29
รูปที่ 2.25	(ก) Pipe jacking 3-CKT, Bundled 24 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Single 24 ducts 1.5m.....	30
รูปที่ 2.26	(ก) Pipe jacking 2-CKT, Single 24 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 24 ducts 1.5m.....	30
รูปที่ 2.27	(ก) Pipe jacking 2-CKT, Bundled 24 ducts, (ข) Pipe jacking 3-CKT, Bundled 24 ducts 1.5m.....	31
รูปที่ 2.28	(ก) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 30 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, Bundled 30 ducts 1.8m.....	31
รูปที่ 2.29	(ก) Pipe jacking 3-CKT, Bundled 30 ducts, (ข) Pipe jacking 4-CKT, Bundled 30 ducts 1.8m.....	32
รูปที่ 2.30	ทิศทางการสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา.....	33
รูปที่ 2.31	เส้นโค้ง B-H หรือเส้นโค้งแรงแม่เหล็ก (Magnetization curve) ของสารแม่เหล็กธรรมดา.....	35
รูปที่ 2.32	ลักษณะของเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 69 kV.....	36
รูปที่ 2.33	ลักษณะของเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 kV.....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 44
รูปที่ 3.2	โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มีนบุรี ถึง แคราย..... 45
รูปที่ 3.3	ลักษณะของสายไฟฟ้าใต้ดิน 115 kV ชนิดสาย XLPE ขนาด 800 ตร.มม..... 46
รูปที่ 3.4	การติดตั้งหีเหล็กภายในท่อPipe Jacking..... 47
รูปที่ 3.5	การติดตั้งท่อร้อยสายภายในหีเหล็กของท่อ Pipe Jacking..... 47
รูปที่ 3.6	การออกแบบสายชนิด XLPE ขนาด 800 sq.mm.ในท่อ pipe jacking ด้วยโปรแกรม Auto cad..... 48
รูปที่ 3.7	การจำลองเคเบิลใต้ดินภายในหีฉนวนและหีเหล็ก..... 48
รูปที่ 3.8	การใส่ค่าพารามิเตอร์ของหีฉนวนและหีเหล็กของเคเบิลใต้ดิน..... 49
รูปที่ 3.9	ผลการจำลองค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหีฉนวน..... 50
รูปที่ 3.10	ผลการจำลองค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหีเหล็ก..... 50
รูปที่ 4.1	แบบจำลองสายเคเบิลใต้ดินขนาด 800 ตร.มม. ระดับแรงดัน 115 kV ภายในท่อ Pipe Jacking..... 52
รูปที่ 4.2	ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของหีเหล็ก..... 53
รูปที่ 4.3	ผลการจำลองกระแสไฟฟ้าไหลวนของหีเหล็ก..... 53
รูปที่ 4.4	ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของหีฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว..... 54
รูปที่ 4.5	ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของหีฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว..... 55

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการปริญญาโท

ปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) เป็นรัฐวิสาหกิจที่จัดจำหน่ายกระแสไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งประกอบด้วย กรุงเทพมหานคร นนทบุรี สมุทรปราการ ได้มีโครงการเปลี่ยนระบบสายเคเบิลอากาศเป็นระบบสายเคเบิลใต้ดินแทน โดยได้คำนึงถึงความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอนาคต เพิ่มความเชื่อมั่นอย่างเต็มที่ในระบบไฟฟ้า รวมทั้งเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของเมืองที่สวยงามขึ้นน่าอยู่เพื่อรองรับการเป็นมหานครแห่งอาเซียน จึงได้มีการโครงการเปลี่ยนรูปแบบการจ่ายกระแสรูปแบบชิงอากาศ (Overhead Line System) เป็นรูปแบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นระบบสายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System) ซึ่งขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินต้องพิจารณาทั้งทางด้านวิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงออกแบบก่อนก่อสร้างและช่วงระหว่างทำการก่อสร้าง

การส่งจ่ายแบบสายเคเบิลใต้ดินจะเป็นระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีความปลอดภัย ความมั่นคง และความเชื่อถือได้ในระบบสูง เนื่องจากระบบสายเคเบิลใต้ดินเมื่อเกิดปัญหาขึ้นในระบบต้องใช้เวลามากในการตรวจสอบ หากจุดบกพร่องรวมทั้งการซ่อมแซมที่ต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน ดังนั้นในการก่อสร้างหรือการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินจึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานเพื่อป้องกันปัญหาในอนาคตได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาเหตุผลดังกล่าว การไฟฟ้านครหลวงจึงเลือกใช้สายตัวนำชนิดหุ้มฉนวนหลายชั้น Cross-Linked Polyethylene (XLPE) เพื่อให้ทนต่อแรงดันได้สูงและทนต่อสภาพอากาศที่อยู่ใต้ดินรวมทั้งแรงสั่นสะเทือนที่มาจากพื้นดินด้านบนและภายในชั้นดินเอง แต่ถ้าหากการก่อสร้างหรือการติดตั้งระบบเคเบิลใต้ดินไม่ถูกต้องตามมาตรฐานแล้ว ความปลอดภัย ความมั่นคงและความเชื่อถือของระบบก็จะสูญเสียไป และเมื่อระบบสายส่งเคเบิลใต้ดินมีการก่อสร้างและติดตั้งสายเคเบิลที่ใกล้กับคนมากกว่าระบบสายส่งเคเบิลในอากาศ ทำให้มีการแผ่กระจายของคลื่นสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามากกว่าระบบสายส่งเคเบิลในอากาศ และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของคนได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าสนามแม่เหล็กในระบบส่งจ่ายเคเบิลใต้ดินภายในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว (RTRC) ที่จัดเรียงด้วยหิวเหล็กภายในท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Pipe Jacking) ของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่ง 115 KV และการจัดเรียงด้วยหิวด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนอย่างเรซินเสริมใยแก้ว เพื่อให้มีค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผล

กระทบต่อคนน้อยที่สุด ประกอบด้วยเสนอแนวทางแก้ไขตลอดจนนำเสนอค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหา

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการส่งจ่ายระบบสายเคเบิลใต้ดินด้วยวิธีดันท่อ (Pipe Jacking)

1.2.2 เพื่อศึกษาระบบส่งจ่ายสายเคเบิลใต้ดินภายในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและหีด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลท์

1.2.3 เพื่อศึกษาสนามแม่เหล็กในระบบส่งจ่ายเคเบิลใต้ดินภายในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและหีด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนที่ให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลท์

1.2.4 เปรียบเทียบรูปแบบของหีด้วยวัสดุที่เป็นเหล็กที่ออกแบบตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงและหีด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน พร้อมทั้งศึกษาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายส่งจ่ายไฟฟ้าแบบเคเบิลใต้ดิน เนื่องจากว่าวัสดุตั้งเดิมที่ใช้ทำหีได้แก่เหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าและช่วยเพิ่มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของประชาชนหรือไม่ และมากน้อยเพียงใด

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาสนามแม่เหล็กที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ในระบบเคเบิลใต้ดิน ชนิดสายหุ้มฉนวน Cross-Link Polyethylene (XLPE)

1.4.2 วิเคราะห์การติดตั้งวัสดุที่ใช้ทำหีได้แก่เหล็กที่ออกแบบตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงและวัสดุที่เป็นฉนวนประเภทอื่นๆ

1.4.3 เปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กในระบบของสายเคเบิลใต้ดินภายในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและหีด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน

## 1.5 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.5.1 ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเกี่ยวกับโครงการดำเนินงาน
- 1.5.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.3 ศึกษาการออกแบบระบบไฟฟ้าใต้ดินและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.4 ออกสำรวจหน้างานจริง เก็บรวบรวมข้อมูลการติดตั้งที่หน้างานจริง
- 1.5.5 จำลองผลของสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics
- 1.5.6 วิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น
- 1.5.7 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics
- 1.5.8 สรุปผลและอภิปรายผลการที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
- 1.5.9 เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการส่งจ่ายระบบสายเคเบิลใต้ดินด้วยวิธีดันท่อ (Pipe Jacking)
- 1.6.2 ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจสนามแม่เหล็กในระบบส่งจ่ายเคเบิลใต้ดินภายในท่อ อีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหิวเหล็กและหิวด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนที่ให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลท์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
- 1.6.3 เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่มีสนใจศึกษาค้นคว้าเรื่องการติดตั้งหิวด้วยวัสดุที่เป็นเหล็กและวัสดุที่เป็นฉนวนอื่นๆ ที่เหมาะสม ให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุดในระบบสายส่งเคเบิลใต้ดิน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีทั้งระบบส่งจ่ายแบบสายชิงอากาศ ระบบส่งจ่ายใต้ดิน โดยการออกแบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบรถไฟฟ้ายานยนต์ ช่วงตลาดมินบุรีถึงแคราย ได้กำหนดการส่งจ่ายพลังงานให้อยู่ในรูปแบบของการส่งจ่ายระบบสายเคเบิลใต้ดิน โดยบทนี้จะกล่าวถึงความรู้ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบเคเบิลใต้ดิน (Underground cable system) สนามไฟฟ้า (Electric field) สนามแม่เหล็ก (Magnetic field) สายเคเบิลใต้ดิน รูปแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน และ การจัดวางเคเบิลใต้ดิน

#### 2.2 ระบบเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable System)

การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบเคเบิลใต้ดินนั้น จะใช้สายที่หุ้มฉนวนแข็ง สายหุ้มฉนวนก้ำซัดความดัน หรือสายหุ้มฉนวนเหลว ซึ่งจะเพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นโดยที่ความหนาของฉนวนไม่ได้มากนัก ซึ่งในบางกรณีพื้นที่ในการติดตั้งเคเบิลมีพื้นที่จำกัดไม่สามารถใช้พื้นที่ส่งจ่ายด้วยวิธีชิงอากาศได้ จึงจำเป็นที่จะต้องนำเคเบิลลงใต้ดิน และเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมโดยรอบ ความเสียหายของภูมิทัศน์ โดยการนำเคเบิลลงใต้ดินสามารถทำได้โดย นำลงในอุโมงค์ โดยมีอุปกรณ์รองรับอย่างมั่นคง หรือวางลงในราง และการฝังดินโดยตรง ข้อดีของการใช้เคเบิลใต้ดิน มีอยู่มากมายเช่น ความเรียบร้อยของระบบส่งจ่าย ความปลอดภัยของระบบส่งจ่ายต่อฟ้าผ่าโดยตรง และให้ความปลอดภัยสูงแก่คนและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

ปัญหาในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายแบบชิงอากาศ (Overhead Line System) มีปัญหามากขึ้นเนื่องจากความเจริญของพื้นที่นั้นๆ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้น พื้นที่ในการส่งจ่ายพลังงานที่น้อยลง ความปลอดภัยจากสิ่งแวดล้อม จากปัจจัยเหล่านี้จึงสรุปได้ดังนี้

2.2.1 ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบสายไฟฟ้าแบบชิงอากาศนั้นน้อยลง ด้วยปัจจัยที่ว่าความเจริญของพื้นที่ ทำให้ระบบส่งจ่ายมีความต้องการสูงแต่พื้นที่ติดตั้งน้อย จึงทำให้เสาไฟฟ้าหนึ่งต้นนั้น ต้องรับกับระบบส่งจ่ายหลายวงจร เมื่อเกิดเหตุขัดข้องจึงมีผลกระทบเป็นวงกว้าง

2.2.2 สภาพของพื้นที่ เนื่องจากความเจริญอย่างรวดเร็วจึงทำให้การออกแบบระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบชิงอากาศนั้นเป็นไปได้ยากมากยิ่งขึ้น ด้วยปัจจัย หลายอย่างเช่น คน สัตว์ และสิ่งของ



ต่างๆ นอกจากนั้นความปลอดภัยของระยะห่างระหว่างสายส่งกับสิ่งของต่างๆ เช่น บ้าน อาคารสูง มีไม่เพียงพอต่อความปลอดภัย และบางสถานที่ต้องคำนึงถึงความสวยงามของภูมิทัศน์ไว้ ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบเคเบิลใต้ดินเพื่อมารองรับปัญหาที่เกิดขึ้น

## 2.3 รูปแบบการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดิน

การก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินในปัจจุบันนั้น มีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบ ซึ่งลักษณะการใช้งานของแต่ละรูปแบบจะแตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่นั้น ซึ่งสามารถที่จะใช้รูปแบบในการก่อสร้างอย่างไรเพื่อให้ได้ความเหมาะสม และลดการเกิดปัญหาให้น้อยที่สุด โดยทั่วไปแล้วการก่อสร้างระบบเคเบิลใต้ดินนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ 5 วิธีดังนี้ [1]

### 2.3.1 แบบเปิดหน้าดิน

การก่อสร้างแบบเปิดหน้าดินนั้นเป็นการก่อสร้างโดยการขุดหน้าดินโดยตรง การก่อสร้างรูปแบบนี้สามารถแบ่งออกได้อีก 3 วิธี คือ

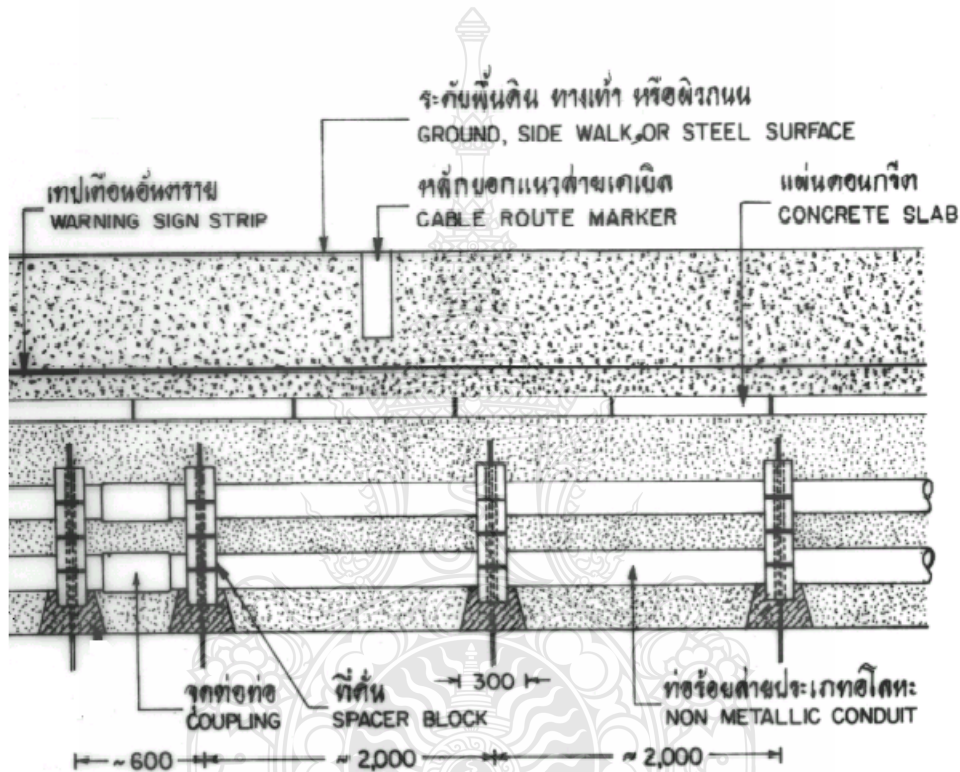
2.3.1.1 กลุ่มท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank) .ในการก่อสร้างรูปแบบนี้จะใช้ท่อ HDPE (High Density Polyethylene) หรือท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) เพื่อเป็นท่อร้อยเคเบิลอย่างดี จากนั้นจึงเทคอนกรีตหุ้มทับอีกชั้นเพื่อเสริมการกันกระแทกจากแรงทางกล



รูปที่ 2.1 ท่อหุ้มคอนกรีต (Concrete Encased Duct Bank)[2]

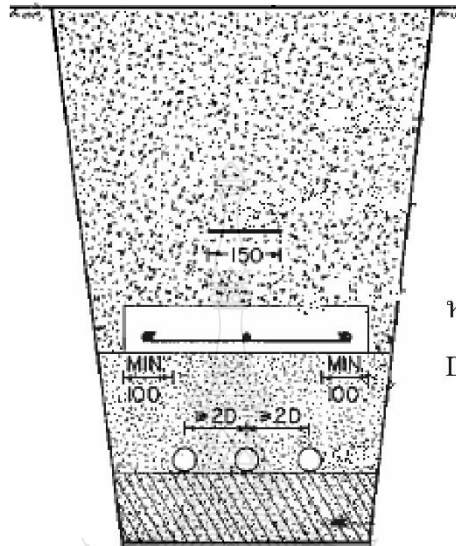
### 2.3.1.2 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial) การสร้างโดยทั่วไปของของระบบส่ง

จ่ายจะสามารถนำท่อ Corrugated HDPE หรือ RTRC มาติดตั้งได้ โดยลักษณะการก่อสร้างจะต้องใช้ Concrete Spacer Block เพื่อบังคับท่อร้อยสาย ซึ่งจะติดตั้งเป็นระยะๆ โดยการก่อสร้างจะไม่เทคอนกรีตเพื่อหุ้มท่อ แต่จะมีแผ่นคอนกรีตปิดเพื่อป้องกันการกดจากแรงทางกลด้านบนของท่อดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ร้อยท่อฝังดิน (Semi – Direct Burial) [1]

2.3.1.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial) การก่อสร้างระบบส่งจ่ายโดยการฝังเคเบิลลงใต้ดินโดยตรง ไม่มีท่อร้อยสายหรือเทปูนหุ้มสายเคเบิล แต่ต้องฝังให้ได้ความลึกตามมาตรฐานที่กำหนด และมีการแผ่นคอนกรีตไว้ด้านบน และทำเทปเตือนอันตราย ดังรูปที่ 2.3



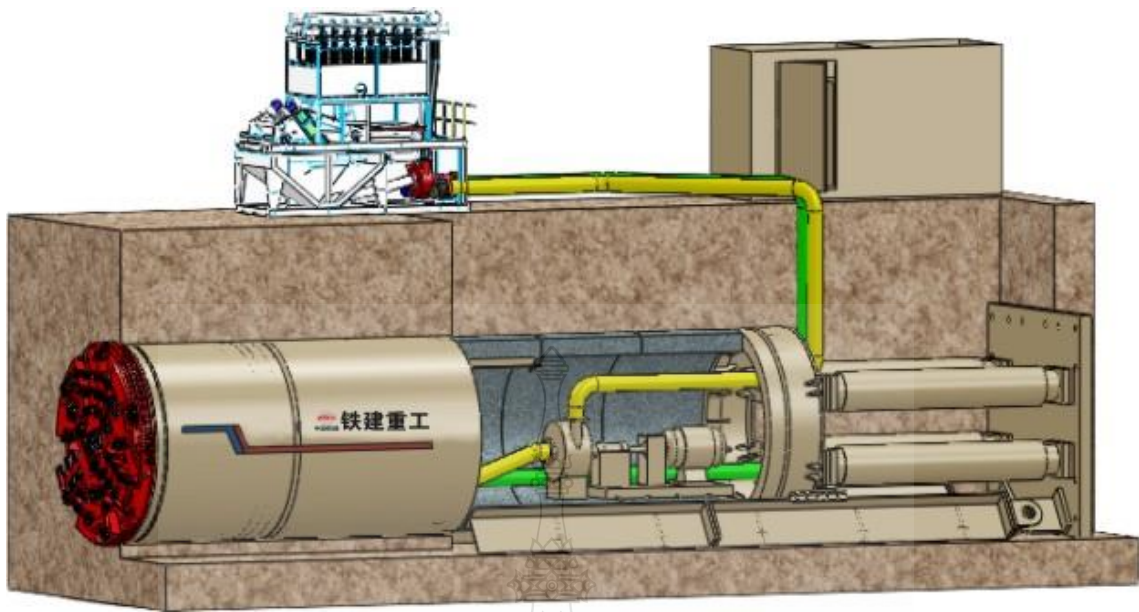
หน่วยเป็น มิลลิเมตร  
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  
 ของเคเบิล

รูปที่ 2.3 ฝังดินโดยตรง (Direct Burial) [1]

### 2.3.2 แบบไม่เปิดหน้าดิน

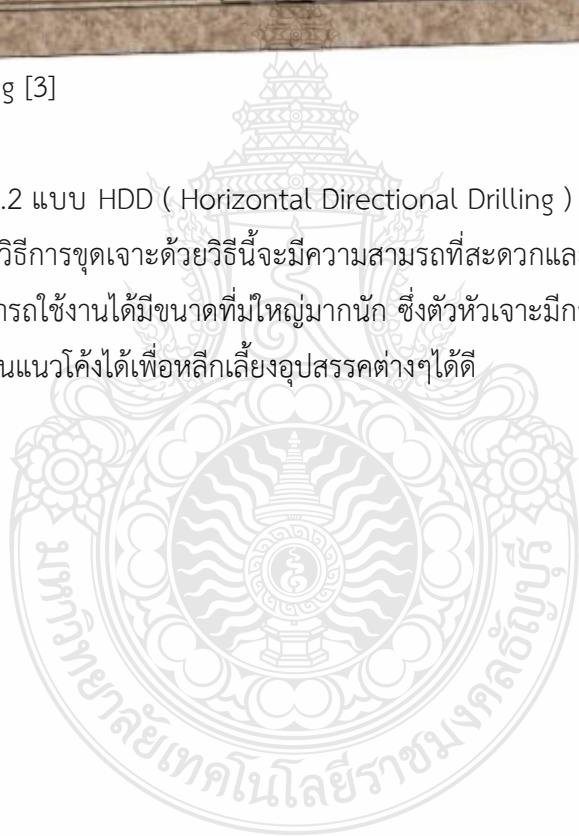
การก่อสร้างระบบส่งจ่ายโดยไปเปิดหน้าดิน โดยการใช้หัวขุดเจาะใต้ดินโดยไม่ต้องเปิดหน้าดินตลอดแนวของการทำงานแต่จะเปิดเป็นช่วงๆ เพื่อต่อเคเบิลใต้ดิน แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

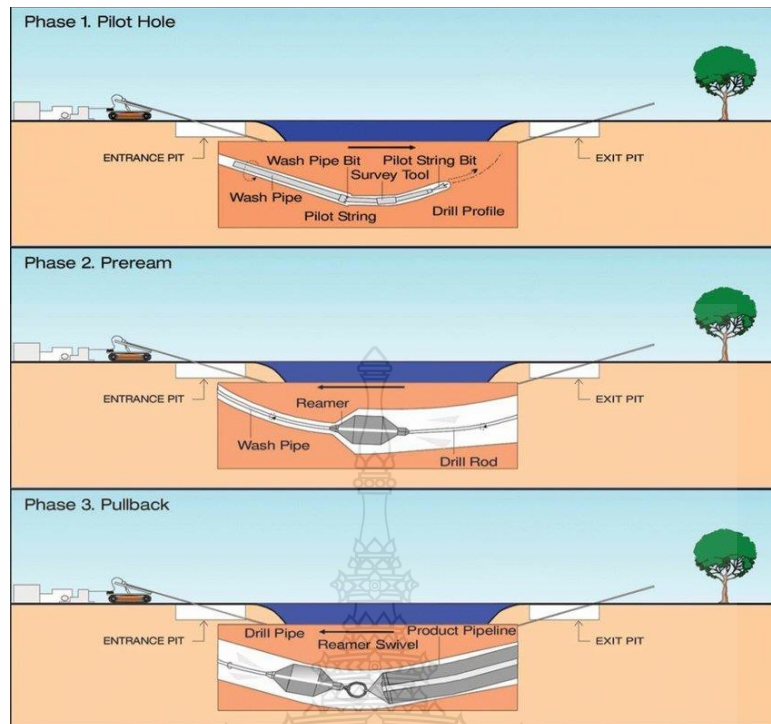
2.3.2.1 Pipe Jacking เป็นวิธีการก่อสร้างท่อเคเบิลใต้ดิน โดยที่ไม่ต้องเปิดหน้าดินตลอดความยาวของการทำงาน โดยการจัดวางท่อโดยใช้แม่แรงซึ่งต้องติดตั้งภายในบ่อคดคั่น เมื่อติดตั้งแม่แรงเพื่อดันท่อในบ่อคั่นแล้วนั้น ตัวแม่แรงจะดันท่อไปตามแนวที่ต้องการ โดยบริเวณของหัวเจาะจะมีแม่แรงอีกหนึ่งเพื่อกำหนดทิศทางของหัวเจาะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Pipe Jacking [3]

2.3.2.2 แบบ HDD ( Horizontal Directional Drilling ) เป็นวิธีการก่อสร้างโดยไม่ต้องเปิดผิวหน้าดิน ซึ่งวิธีการขุดเจาะด้วยวิธีนี้จะมีความสามารถที่สะดวกและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีอื่นๆ แต่กลุ่มท่อที่สามารถใช้งานได้มีขนาดที่มใหญ่มากนัก ซึ่งตัวหัวเจาะมีการควบคุมทิศทางและความลึกที่ดี สามารถเจาะเป็นแนวโค้งได้เพื่อหลีกเลี่ยงอุปสรรคต่างๆได้ดี



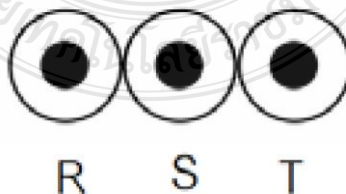


รูปที่ 2.5 Horizontal Directional Drilling [5]

## 2.4 การจัดวางเคเบิลใต้ดิน

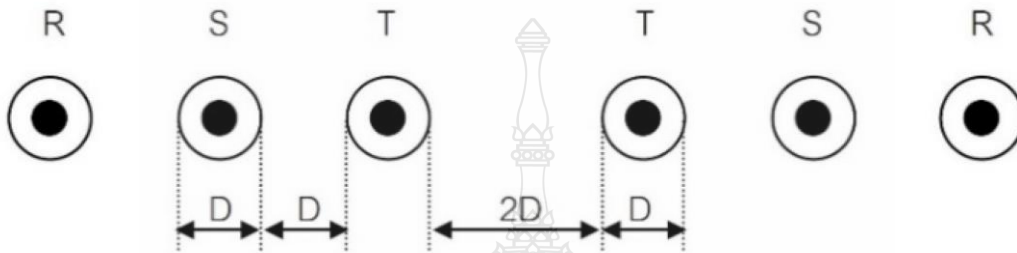
การจัดวางเคเบิลใต้ดิน จำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยการจัดเรียงต้องเรียงตาม Phase Relationship เพื่อให้ค่า Inductance ของเคเบิลใต้ดินในกลุ่มนั้นๆมีค่าเท่ากัน และจะสามารถรองรับโหลดได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยการจัดเรียงสายแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

### 2.4.1 แบบ Flat Formation



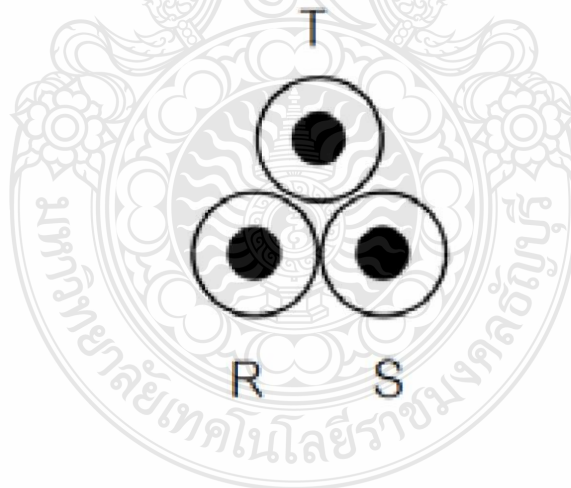
รูปที่ 2.6 การจัดเรียงสายแบบ Flat Formation [1]

การจัดเรียงสายแบบ Flat Formation โดยเรียง RST TSR ดังรูปที่ 2.6 เป็นการ จัดเรียงโดยจะมีระยะห่างที่เท่ากัน ซึ่งระยะห่างดังกล่าวจะเป็นสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิล ใต้ดิน (2D) ในกรณีที่เป็นเคเบิลแบบ bundle เคเบิลใต้ดิน 2 เส้นต่อหนึ่งเฟส การจัดเรียงจะทำให้ค่า Inductance ในเฟสมีค่าที่เท่ากัน แต่กระแสไหลจะแตกต่างกันเล็กน้อยดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงสายแบบ Flat Formation แบบ bundle [1]

#### 2.4.2 แบบ Trefoil Formation

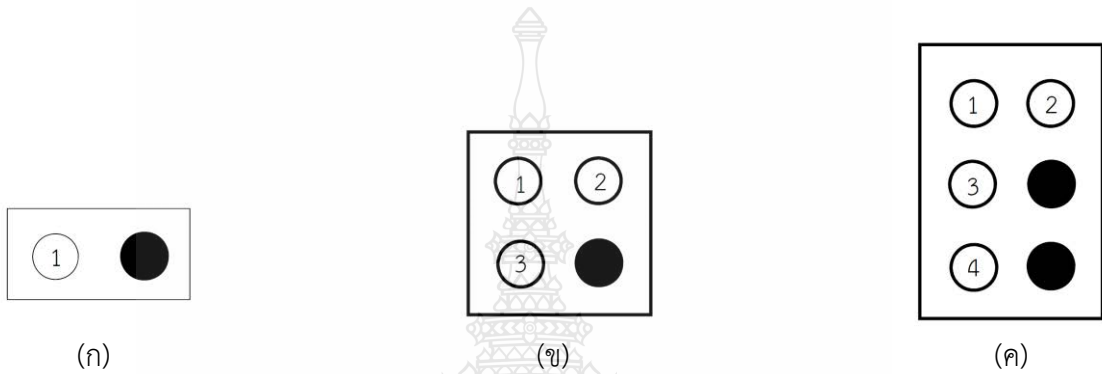


รูปที่ 2.8 การจัดเรียงเคเบิลใต้ดิน แบบ Trefoil Formation [1]

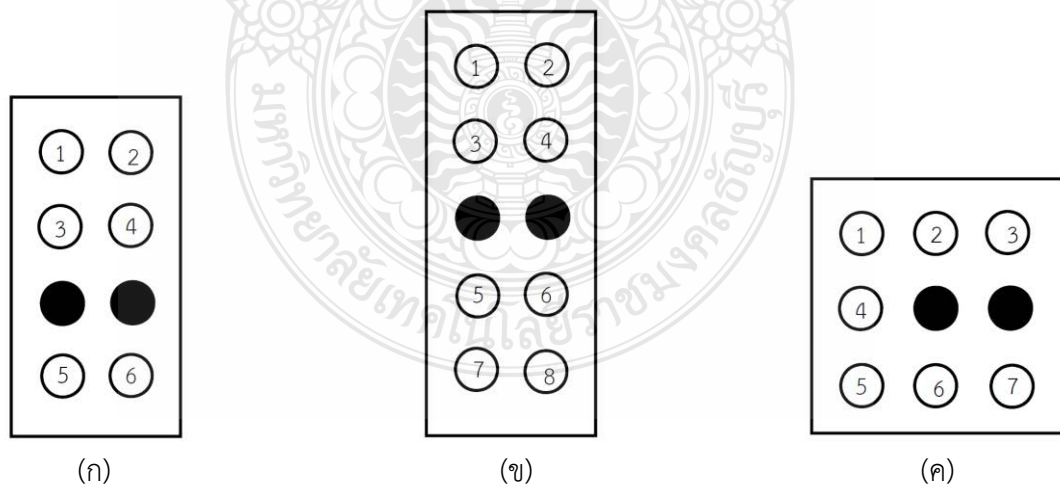
การจัดเรียงเคเบิลใต้ดินในลักษณะนี้จะมีค่า Inductance ของแต่ละเฟสที่เท่ากัน โดย ที่การจัดเรียงตาม Phase Relationship จะช่วยในเรื่องของ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเคเบิลใต้ดินโดยการ เรียงเคเบิลในลักษณะนี้เป็นการเรียงเคเบิลใต้ดินที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด

## 2.5 ลำดับวงจรเคเบิลใต้ดินใน

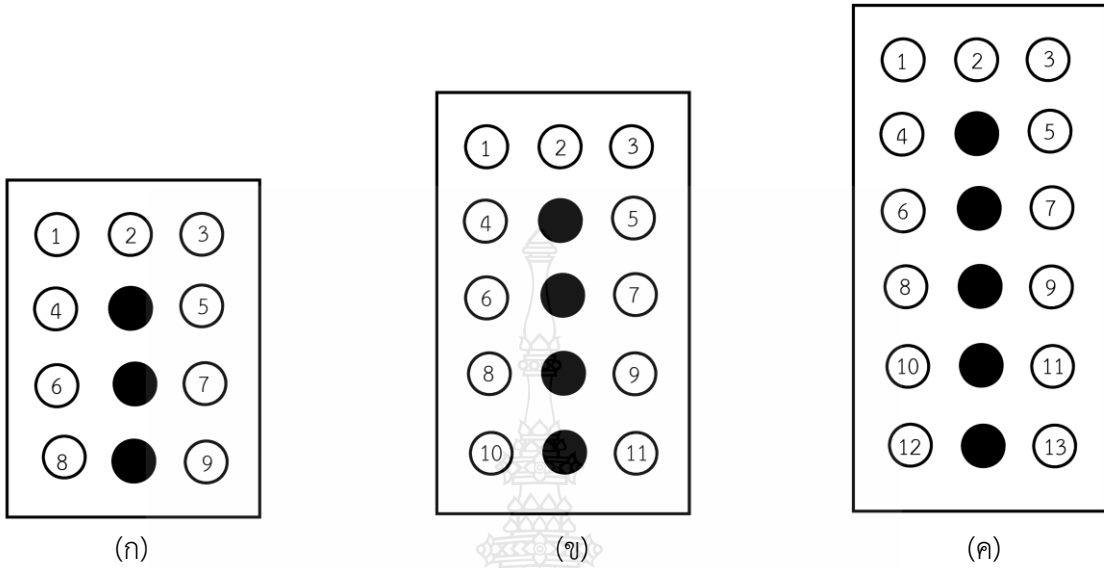
2.5.1 การเรียงเคเบิลใต้ดินใน Duct Bank โดยจะเรียงจากจำนวนของเคเบิลใต้ดินจากน้อยไปหาจำนวนที่มากขึ้นโดยมีรูปแบบการเรียงตามการไฟฟ้ากำหนดดังรูปที่ 2.9 ถึงรูปที่ 2.13



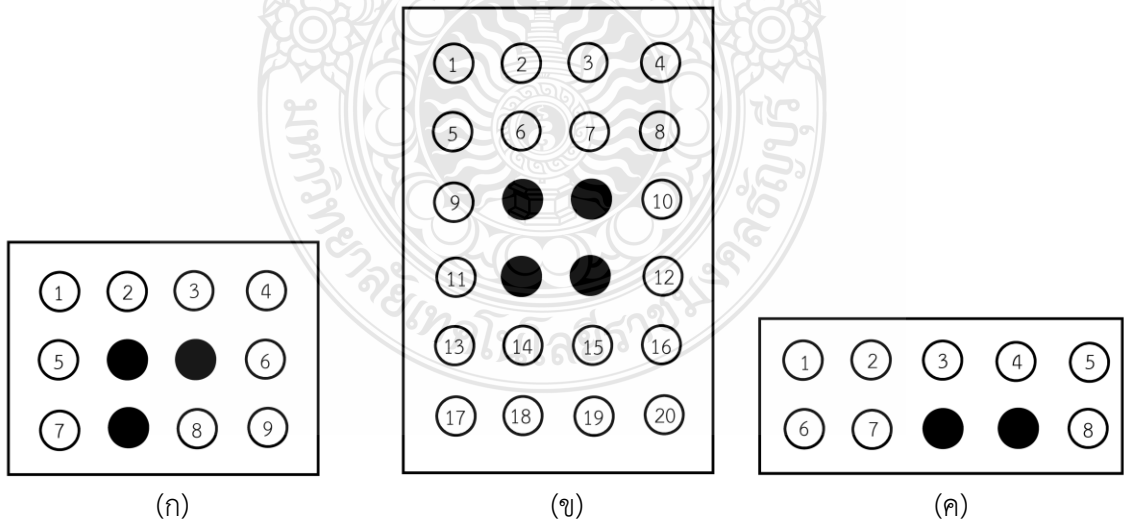
รูปที่ 2.9 (ก) Duct bank ขนาด 2x1, (ข) Duct bank ขนาด 2x2 , (ค) Duct bank ขนาด 2x3 [4]



รูปที่ 2.10 (ก) Duct bank ขนาด 2x4, (ข) Duct bank ขนาด 2x5 , (ค) Duct bank ขนาด 3x3 [4]

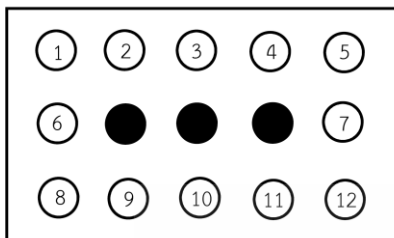


รูปที่ 2.11 (ก) Duct bank ขนาด 3x4, (ข) Duct bank ขนาด 3x5 , (ค) Duct bank ขนาด 3x6 [4]

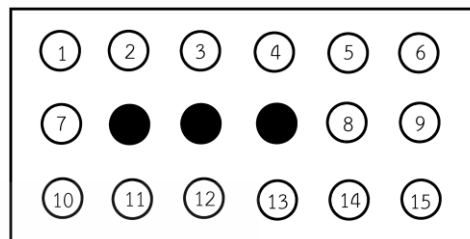


รูปที่ 2.12 (ก) Duct bank ขนาด 4x3, (ข) Duct bank ขนาด 4x6 , (ค) Duct bank ขนาด 5x2 [4]





(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 (ก) Duct bank ขนาด 5x3, (ข) Duct bank ขนาด 6x3 [4]

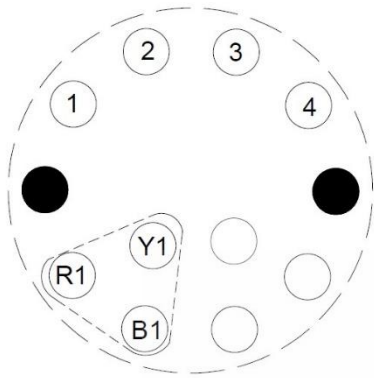
2.5.2 การจัดวางเคเบิลใต้ดินภายในท่อ Pipe Jacking โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 1.0 เมตรถึง 1.8 เมตร โดยการกำหนดตำแหน่งของระบบเคเบิลใต้ดินโดยจัดเรียงลำดับเฟสตามที่มาตรฐานกำหนด การจัดเรียงภายในท่อจะถูกแบ่งตำแหน่งของสายส่งกับสายสื่อสาร ดังรูปที่



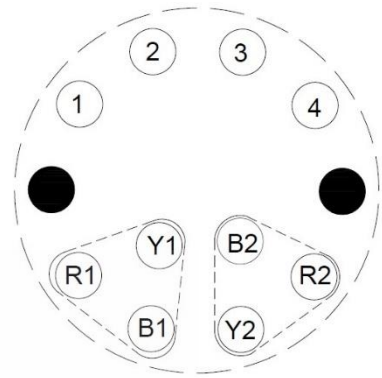
(ก)

(ข)

รูปที่ 2.14 (ก) Pipe jacking 1-CKT, Single 12 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, bundle 12 ducts

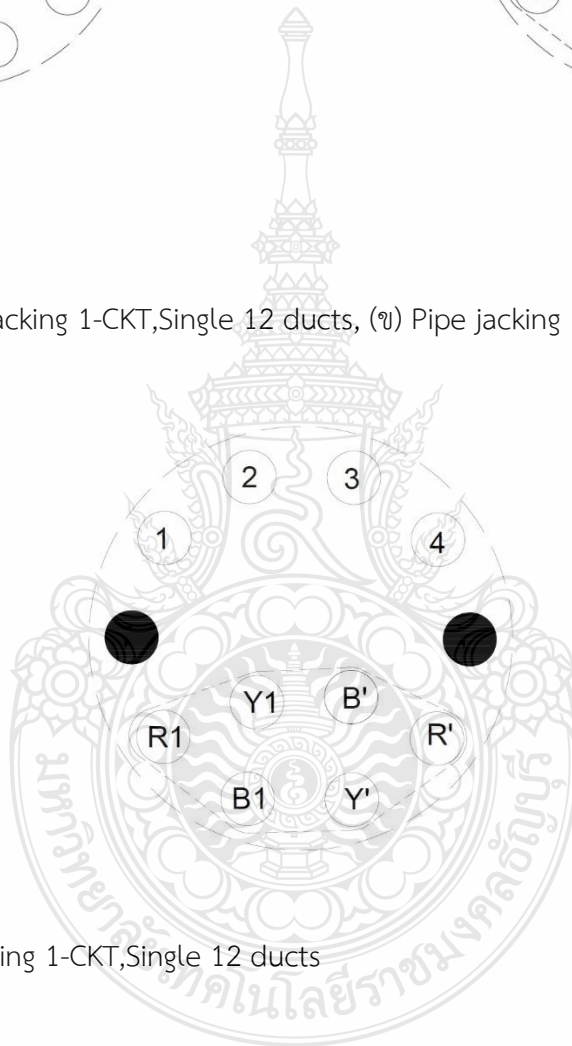


(ก)

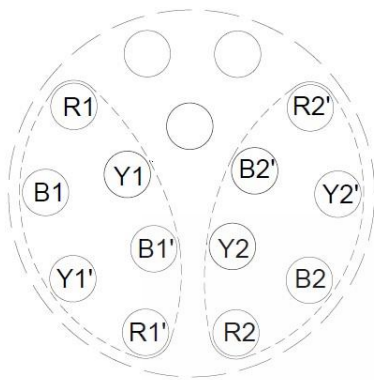


(ข)

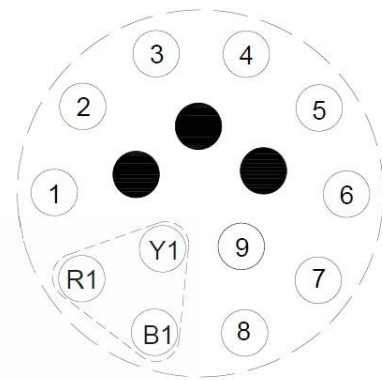
รูปที่ 2.15 (ก) Pipe jacking 1-CKT, Single 12 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, bundle 12 ducts



รูปที่ 2.16 Pipe jacking 1-CKT, Single 12 ducts



(ก)

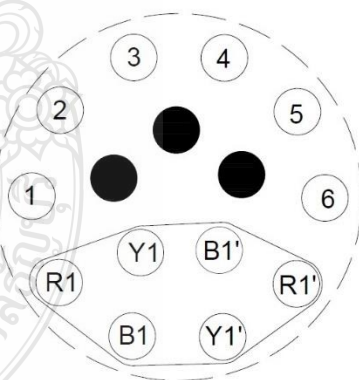


(ข)

รูปที่ 2.17 (ก) Pipe jacking 2-CKT, bundle 15 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Single 15 ducts  
1.2m

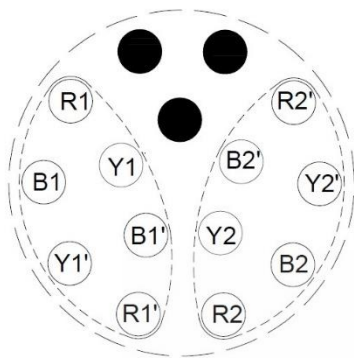


(ก)

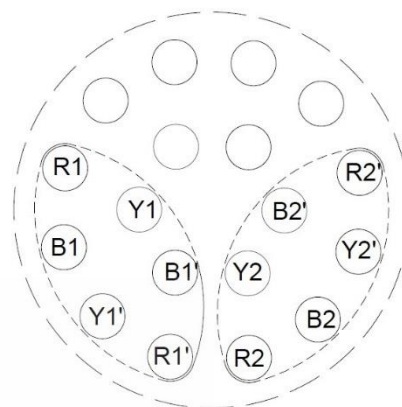


(ข)

รูปที่ 2.18 (ก) Pipe jacking 2-CKT, Single 15 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, bundle 15 ducts 1.2m

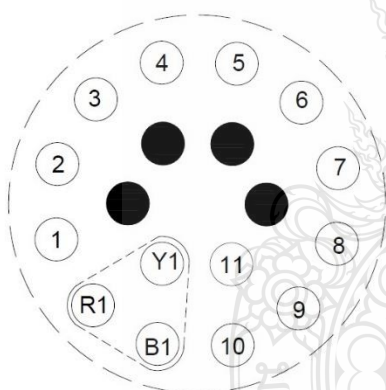


(ก)

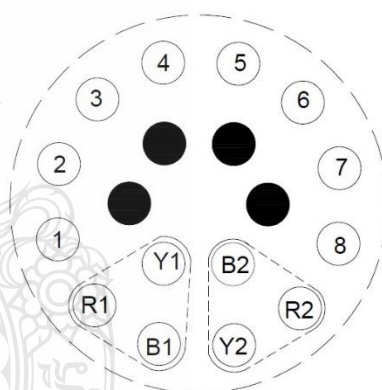


(ข)

รูปที่ 2.19 (ก) Pipe jacking 2-CKT, bundle 15 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, bundle 18 ducts 1.2m

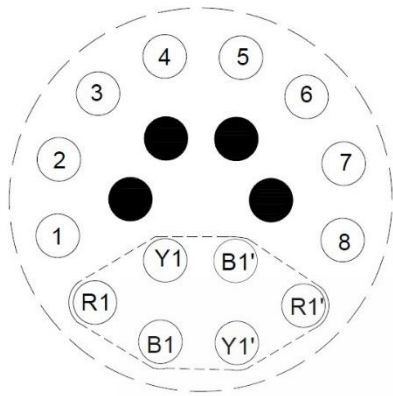


(ก)

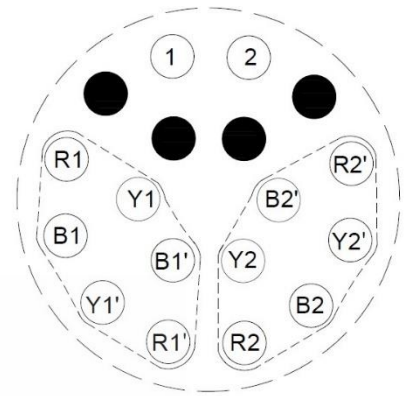


(ข)

รูปที่ 2.20 (ก) Pipe jacking 1-CKT, Single 18 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, Single 18 ducts 1.2m

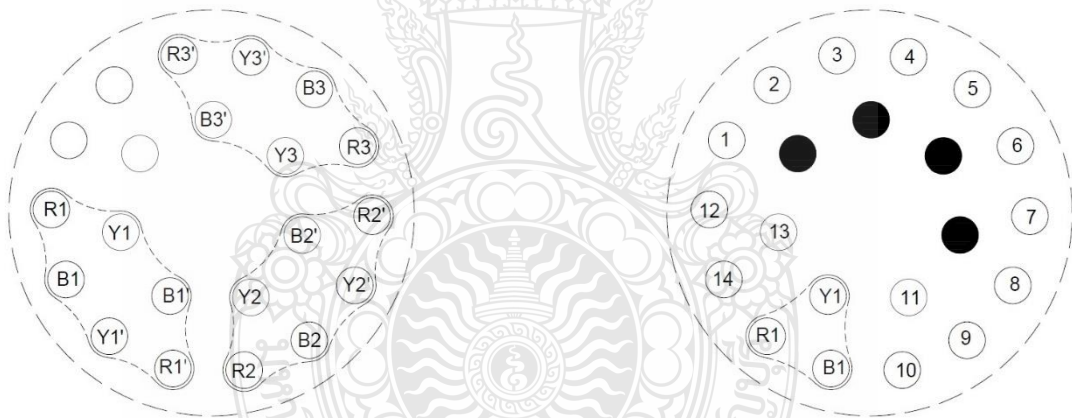


(ก)

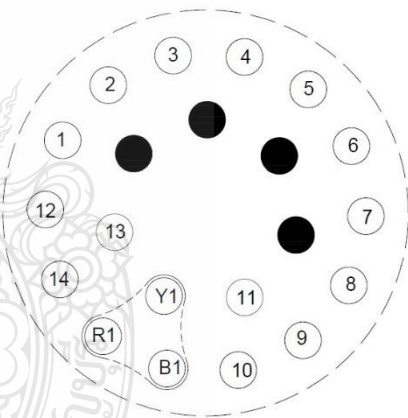


(ข)

รูปที่ 2.21 (ก) Pipe jacking 1-CKT, bundle 18 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, bundle 18 ducts 1.2m

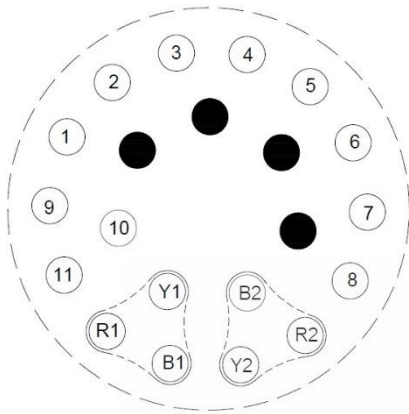


(ก)

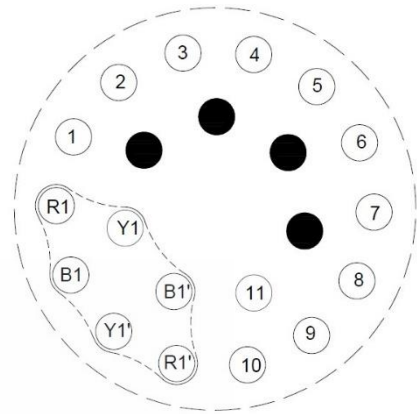


(ข)

รูปที่ 2.22 (ก) Pipe jacking 3-CKT, bundle 21 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Single 21 ducts 1.5m

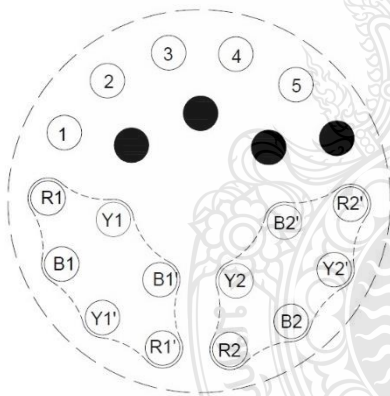


(ก)

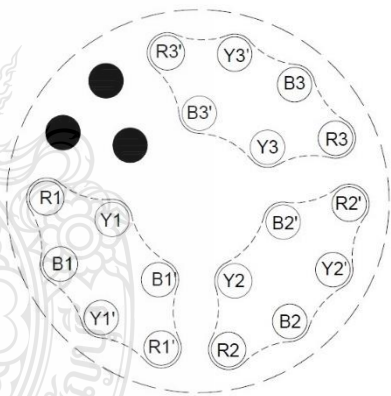


(ข)

รูปที่ 2.23 (ก) Pipe jacking 2-CKT, Single 21 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 21 ducts 1.5m

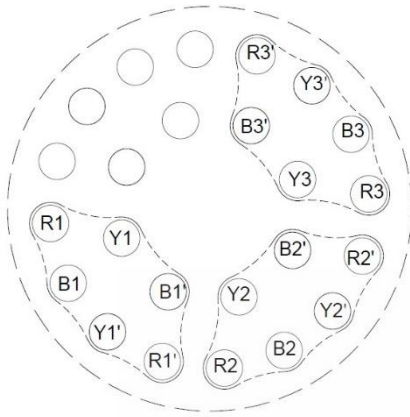


(ก)

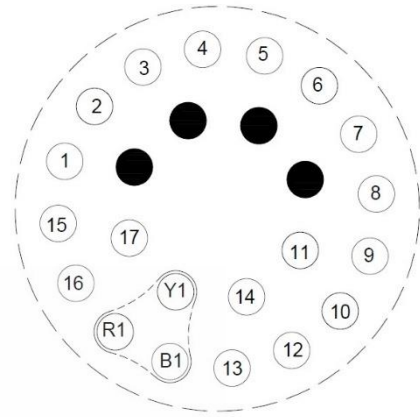


(ข)

รูปที่ 2.24 (ก) Pipe jacking 2-CKT, Bundled 21 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 21 ducts 1.5m

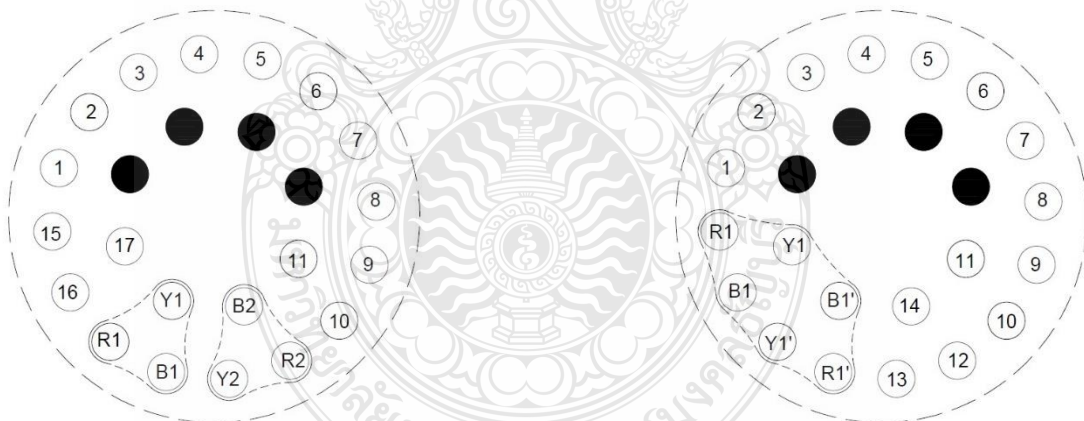


(ก)

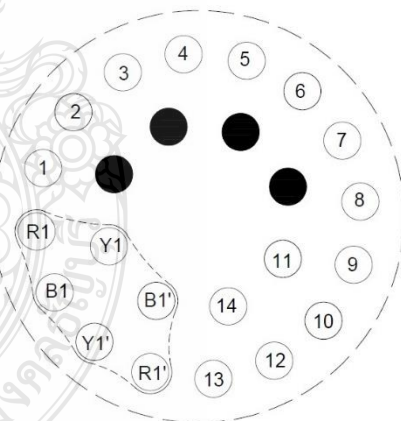


(ข)

รูปที่ 2.25 (ก) Pipe jacking 3-CKT, Bundled 24 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Single 24 ducts 1.5m

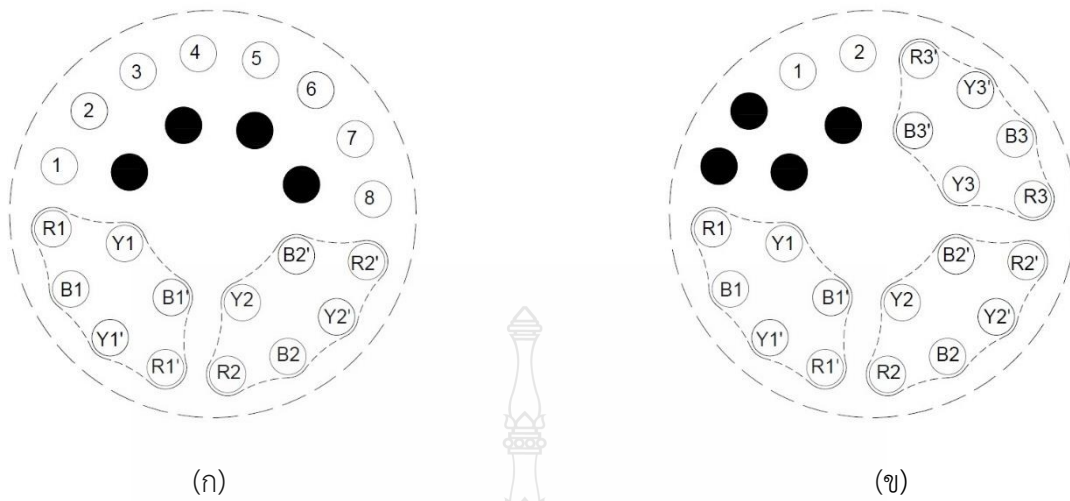


(ก)

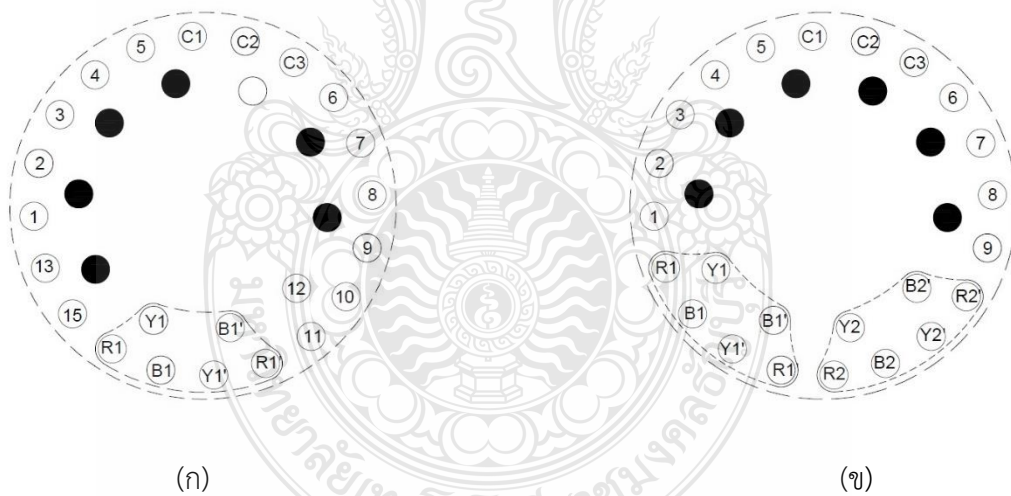


(ข)

รูปที่ 2.26 (ก) Pipe jacking 2-CKT, Single 24 ducts, (ข) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 24 ducts 1.5m

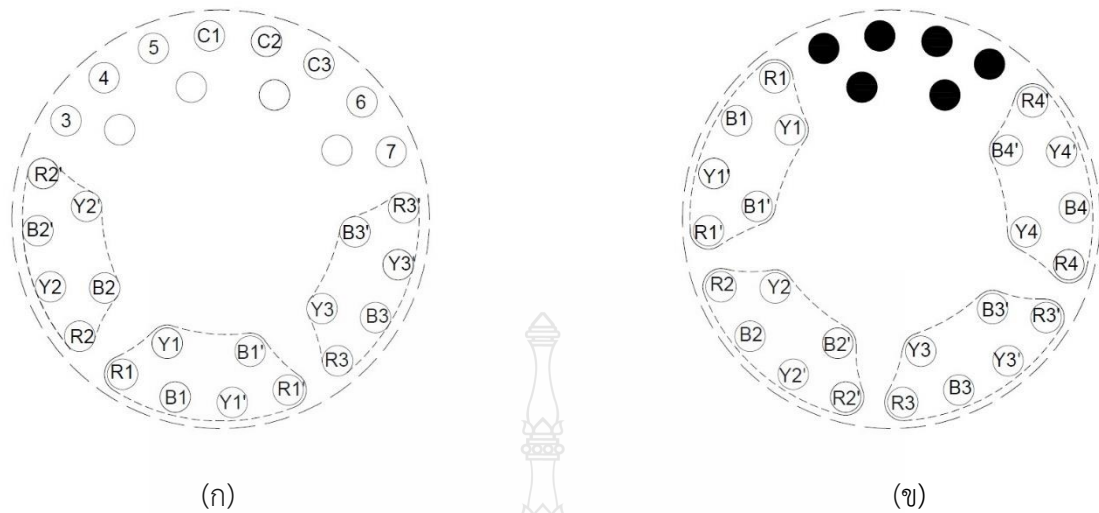


รูปที่ 2.27 ก) Pipe jacking 2-CKT, Bundled 24 ducts, (ข) Pipe jacking 3-CKT, Bundled 24 ducts 1.5m



รูปที่ 2.28 ก) Pipe jacking 1-CKT, Bundled 30 ducts, (ข) Pipe jacking 2-CKT, Bundled 30 ducts 1.8m





รูปที่ 2.29 (ก) Pipe jacking 3-CKT, Bundled 30 ducts, (ข) Pipe jacking 4-CKT, Bundled 30 ducts 1.8m

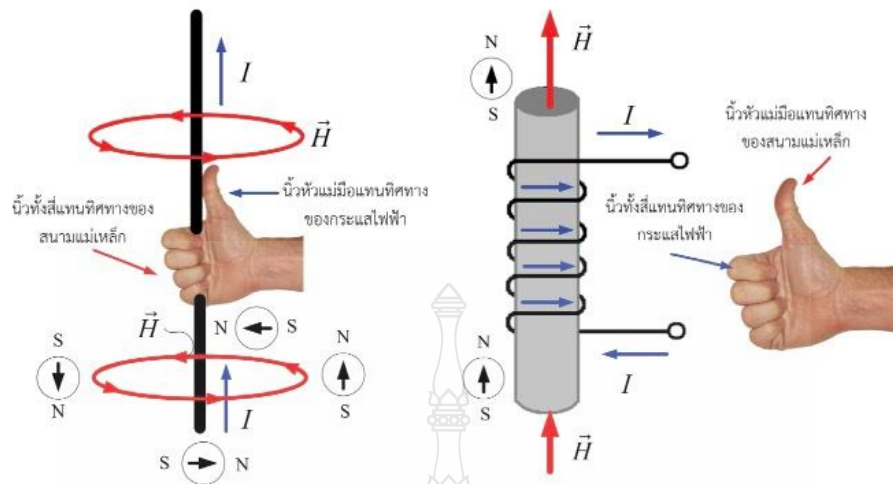
## 2.6 สนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็ก (magnetic field) รอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก จะประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic flux) หลาย ๆ เส้น ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กแต่ละเส้นจะไหลออกจากขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็ก และไหลเข้าทางขั้วใต้แล้วไหลกลับไปยังขั้วเหนือครบวงจร (closed loop) แม่เหล็กที่มีแรงดึงดูดหรือแรงผลักมาก ก็หมายความว่ามันมีปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กมาก

### 2.6.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้า

เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำนั้น ปรากฏการณ์นี้ค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์คชื่อ แฮนส์ คริสเตียน เออร์สเต็ด (Hans Cristian Oersted) ณ กรุงโคเปนเฮเกนเมื่อ ปี ค.ศ. 1820 เขาพบว่า เมื่อเอาเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านไปวางเหนือเข็มทิศเข็มทิศจะบ่ายเบนไปในตำแหน่งตั้งฉากกับเส้นลวดตัวนำ โดยทิศทางตามเข็มนาฬิกา ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลในเส้นลวดตัวนำ นั้นหมายความว่าสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กรอบเส้นลวดตัวนำ และทิศทางกระแสในเส้นลวดตัวนำสามารถหาได้โดยใช้ “ กฎมือขวาของตัวนำ ” (Right-Hand Rule of Conductor) คือ ถ้าใช้มือขวากำรอบตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน โดยให้หัวแม่มือชี้ทิศทางของกระแส ปลายนิ้วมืองอที่กำรอบตัวนำจะชี้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.30 ทิศทางของสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา [6]

### 2.6.2 ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

เพื่อให้ทราบปริมาณที่แน่นอนของเส้นแรงแม่เหล็ก จึงต้องกำหนดพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เรียกว่า “ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก” ดังนั้นหน่วยความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก คือ เวเบอร์/ตารางเมตร ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ ) หรือ เทสลา (Tesla) [4]

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

$$\left[ \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]$$

$B$  คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\left[ \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]$$

$\Phi$  คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

$$[\text{Wb}]$$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็ก เป็น ตารางเมตร

$$[\text{m}^2]$$

### 2.6.3 ความเข้มสนามแม่เหล็ก

แรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวของวงจรมแม่เหล็ก วงจรมแม่เหล็กที่มีเส้นแรงแม่เหล็กสม่ำเสมอ จะมีค่าของแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวคงที่ตลอดแนวของเส้นแรงแม่เหล็กนั้น นั่นหมายความว่าความเข้มสนามแม่เหล็กคือ แอมแปร์/เมตร ( $\text{A}/\text{m}$ ) หรือ แอมแปร์-เทินส์/เมตร ( $\text{At}/\text{m}$ ) [4]

$$H = \frac{F}{l} = \frac{NI}{l} \quad (2.67)$$

$H$	คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก	$[A/m]$
$l$	คือ พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็ก เป็น ตารางเมตร	$[m^2]$

#### 2.6.4 ความซึมซาบได้

ความซึมซาบได้ คือ คุณสมบัติของตัวกลางที่ยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้ง่าย หรือง่าย ความซึมซาบของสุญญากาศ ( $\mu_0$ ) มีค่าเท่ากับ  $\pi \times 10^{-7}$  เฮนรี/เมตร โดยทั่วไปเราจะกล่าวถึงเฉพาะความซึมซาบสัมพัทธ์ ( $\mu_r$ ) หมายถึงตัวกลาง เช่น เหล็กยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้เป็นกี่เท่าของอากาศ เมื่อใช้แรงแม่เหล็ก (H) เท่ากัน [4]

#### 2.6.5 ความซึมซาบได้ของสุญญากาศหรือค่าคงที่ของแม่เหล็ก

อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) เรียกว่าความซึมซาบได้ของสุญญากาศ (Permeability of Free Space) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ค่าคงที่ ของแม่เหล็ก (Magnetic Constant) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu_0$  มีค่าเท่ากับ  $\pi \times 10^{-7}$  เฮนรี/เมตร (H/m)

ดังนั้นในตัวกลางที่เป็นสุญญากาศอากาศ หรือในวัสดุที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก (Non-magnetic material) ค่าคงที่ของแม่เหล็กคือ

$$\mu_0 = \frac{B}{H} = 4\pi \times 10^{-7} \quad [H/m]$$

ความเข้มสนามแม่เหล็กสำหรับวัสดุที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก

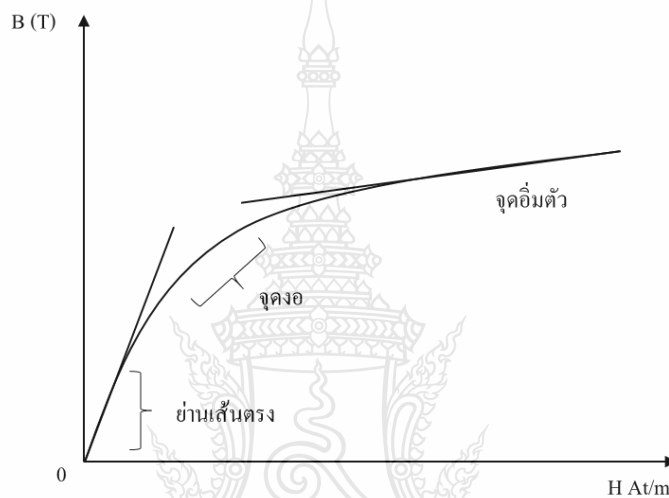
$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{B}{4\pi \times 10^{-7}} \quad [A/m]$$

#### 2.6.6 ความซึมซาบได้สัมพัทธ์

ถ้าหากแกนวงแหวนทอรอยด์ทำมาจากวัสดุที่ไม่ใช่สารแม่เหล็กเส้นแรงแม่เหล็กในแกนวงแหวนที่ผลิตโดยแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะมีค่าน้อย แต่ถ้าแกนวงแหวนทอรอยด์ทำมาจากวัสดุสารแม่เหล็ก (ferromagnetic materials) เช่น เหล็ก นิกเกิล และโลหะอื่นๆ ที่ยินยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้ดีกว่าอากาศหรือสุญญากาศเส้นแรงแม่เหล็กที่ผลิตโดยแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่กำหนดให้ จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นจึงนิยมใช้วัสดุสารแม่เหล็กทำอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็ก

อัตราส่วนของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ที่ผลิตได้ในวัสดุสารแม่เหล็กต่อความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ที่ผลิตได้ในสุญญากาศ (หรือในแกนที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก) โดยใช้ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ค่าเดียวกัน มีชื่อเรียกว่า “ความซึมซาบได้สัมพัทธ์” (Relative permeability) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu_r$  ในอากาศ  $\mu_r = 1$  แต่ในโลหะผสม เช่น นิกเกิล-เหล็ก (Nickel-iron alloys) มีค่า  $\mu_r$  สูงถึง 100,000

เส้นโค้ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) กับความเข้ม สนามแม่เหล็ก (H) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.31 เส้นโค้ง B-H หรือเส้นโค้งแรงแม่เหล็ก (Magnetization curve) ของสารแม่เหล็กธรรมดา

หากพิจารณาเส้นโค้ง B-H จะพบว่าออกจากจุดเริ่มต้นจะเป็นเส้นตรง หมายความว่า เมื่อเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จะทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) เพิ่มขึ้นตามเป็นสัดส่วนโดยตรง และเมื่อขึ้นถึงจุดงอของเส้นโค้ง ถ้าต้องการจะให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) เพิ่มขึ้นต่อไปอีกจะต้องเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) เป็นปริมาณที่มากกว่าในย่านเส้นตรงและในที่สุดก็จะถึงจุดอิ่มตัว (Saturation Point) ซึ่งเกือบจะอยู่ในระดับแนวอนของเส้นโค้ง นั่นหมายความว่าแม้จะเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ต่อไปอีก ก็จะทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ลักษณะของเส้นโค้ง B-H ขึ้นอยู่กับสารหรือวัสดุซึ่งนำมาทำเป็นวงจรมแม่เหล็กเท่านั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดหรือรูปร่างของวงจรมแม่เหล็ก เส้นโค้ง B-H นำมาใช้หาปริมาณทางแม่เหล็กด้วยวิธีการฟ เช่น ถ้าทราบจำนวนแอมแปร์-เทินส์ (NI) ของขดลวดและความยาวของวงจรมแม่เหล็ก ( $\ell$ ) ลักษณะเป็นวงแหวนทอรอยด์ในรูปจะทราบค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ( $H = NI / \ell$ ) และโดยใช้เส้นโค้ง B-H ก็จะหาค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ได้ หากทราบพื้นที่หน้าตัด (A) ของวงจรมแม่เหล็กหรือวงแหวนทอรอยด์ก็สามารถคำนวณหาปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก

(Ø) ได้และในทำนองเดียวกันถ้าทราบค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ก็สามารถหาความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ได้จากเส้นโค้ง B-H เช่นเดียวกัน

ในตัวกลางหรือวัสดุประเภทสารแม่เหล็ก ที่มีความซึมซาบได้สัมพัทธ์เป็น  $\mu_r$  จะได้

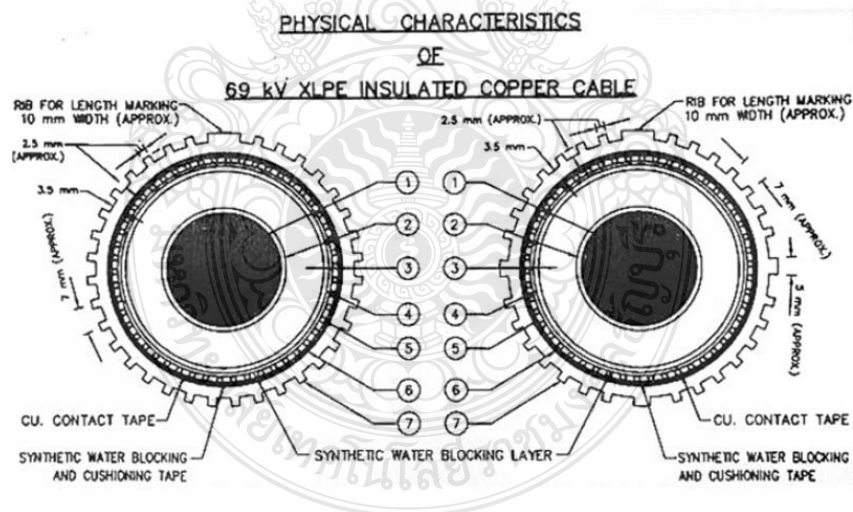
$$\frac{B}{H} = \mu_r \mu_0 = B = \mu_r \mu_0 H \quad (2.70)$$

ความซึมซาบได้สมบูรณ์ (absolute permeability)  $\mu = \mu_r \mu_0$

$\mu_0$  เป็นค่าคงที่ของสมการ มีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-7}$  เฮนรี/เมตร  $\mu_r$  จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของสารแม่เหล็ก และ  $\mu_r$  ในอากาศจะมีค่าเท่ากับ = 1

## 2.7 โครงสร้างของเคเบิลใต้ดิน

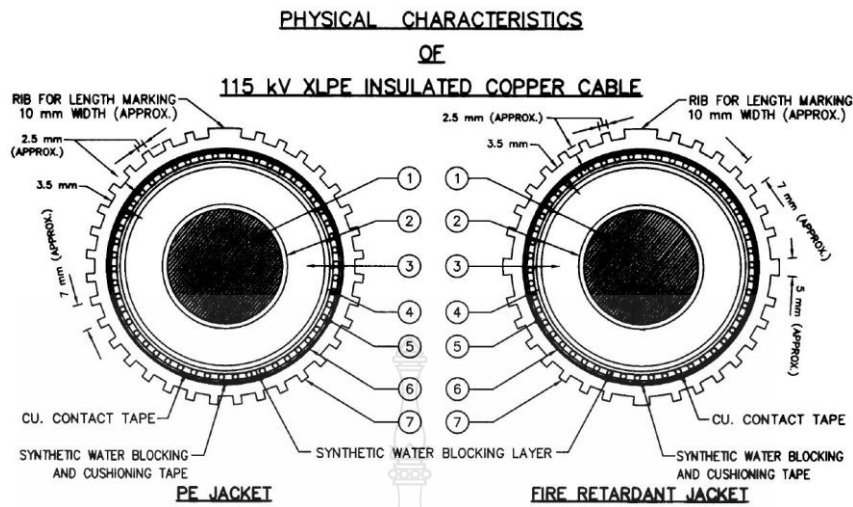
ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ในระดับแรงดัน 12 kV ถึง 115 kV โดยส่วนมากแล้วการไฟฟ้าจะมีการเรียกอยู่อีกสองระดับคือ ระบบจำหน่ายมีขนาดแรงดันอยู่ที่ 12 kV ถึง 24 kV และระบบส่งจะมีขนาดแรงดันอยู่ที่ 69 kV ขึ้นไป โดยปัจจุบันเคเบิลใต้ดินนั้นจะเป็นเคเบิลชนิดตัวนำทองแดงมีฉนวน XLPE ซึ่งมีขนาดใหญ่สุดของเคเบิลอยู่ที่ 1200 ตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 2.32 ลักษณะของเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 69 kV [3]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ระดับแรงดัน 69 kV

ลักษณะ	พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (mm <sup>2</sup> )	
	800	1200
จำนวนต่ำสุดของ Strand wires	53	-
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (mm) ①	34.0	43
ความหนาของตัวกั้นตัวนำ (mm) ②	1.5	1.5
ความหนาของฉนวน (mm) ③	11	11
ช่วงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าฉนวน (mm)	59-62	67-73
ความหนาของตัวกั้นฉนวน ④	1.5	1.5
จำนวนต่ำสุดของตัวกั้นลวด	50	70
พื้นที่หน้าตัดรวมต่ำสุดของตัวกั้นสายทองแดง (mm <sup>2</sup> ) ⑤	120	120
ความหนาเฉลี่ยของเทปกั้นน้ำ (mm) ⑥	0.19	0.19
ความหนาของเปลือกกอลโลหะ (mm) ⑦	3.5	3.5
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรวม(D) (mm)	76-81	84-92
น้ำหนักของสายเคเบิล (โดยประมาณ) (kg/km)	12,000	15,000
รัศมีการตัดโค้งต่ำสุด	20D	20D



รูปที่ 2.33 ลักษณะของเคเบิลใต้ดิน ระดับแรงดัน 115 kV[3]

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพของสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ระดับแรงดัน

115 kV

ลักษณะ	พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (mm <sup>2</sup> )
	800
จำนวนต่ำสุดของ Strand wires	53
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (mm) ①	34.0
ความหนาของตัวกันตัวนำ (mm) ②	1.5
ความหนาของฉนวน (mm) ③	16
ช่วงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าฉนวน (mm)	69-72
ความหนาของตัวกันฉนวน ④	1.5
จำนวนต่ำสุดของตัวกันลวด	70
พื้นที่หน้าตัดรวมต่ำสุดของตัวกันสายทองแดง (mm <sup>2</sup> ) ⑤	120
ความหนาเฉลี่ยของเทปกั้นน้ำ (mm) ⑥	0.19
ความหนาของเปลือกอลูมิเนียม (mm) ⑦	3.5
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรวม(D) (mm)	86-91
น้ำหนักของสายเคเบิล (โดยประมาณ) (kg/km)	14,000
รัศมีการตัดโค้งต่ำสุด	20D

## 2.8.1 โครงสร้างของเคเบิลใต้ดิน

2.8.1.1 Conductor (ตัวนำ) ทำจากอะลูมิเนียมหรือทองแดง เพื่อทำหน้าที่ส่งจ่ายแรงดันและกระแส

2.8.1.2 Conductor Screen ทำจากวัสดุซึ่งมีสารกึ่งตัวนำที่ทำจากผ้าอาบ Carbon หรือเป็น Extrude Layer ของสารสังเคราะห์จำพวกพลาสติกที่ผสมตัวนำลงไปในเรื่องของวัสดุ มีหน้าที่ช่วยลดการเกิด Partial Discharge

2.8.1.3 Insulation (ฉนวน) มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้าเกิดการรั่วไหลจนนำไปสู่การสูญเสียต่อระบบไฟฟ้า และอาจเกิดอันตรายต่อบุคคลที่สัมผัสได้ โดยที่คุณภาพของสายเคเบิลจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำฉนวนซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่โดยส่วนใหญ่แล้วเคเบิลใต้ดินจะใช้ฉนวนชนิด Crosslinked Polyethylene (XLPE)

2.8.1.4 Insulation Screen ทำหน้าที่ในการช่วยลดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณผิวสัมผัสโดยวัสดุที่ใช้ทำ Insulation Screen จะลักษณะเดียวกันกับ Conductor Screen

2.8.1.5 Metallic Screen ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ในกรณีที่สายเกิดการชำรุดและยังเป็นชั้นของฉนวนในการป้องกันสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอีกชั้นหนึ่งด้วย

2.8.1.6 Reinforcement หรือ Armour เป็นชั้นที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อรองรับแรงกระแทกจากแรงภายนอก เช่น แรงกด แรงดึง แรงที่เกิดจากแรงกระของสิ่งของต่างๆวัสดุที่ใช้ทำได้แก่ Steel Tape, Steel Wire หรือ Aluminium Wire

2.8.1.7 Water Blocking Tape เป็นชั้นที่สร้างเสริมขึ้นมาในกรณีของเคเบิลใต้ดินแรงสูงที่ถูกใช้ในบริเวณที่มีความชื้นและป้องกันน้ำไหลเข้าเคเบิลในกรณีที่ Jacket ของสายเคเบิลมีการชำรุดจากการลากสาย นอกจากนี้ตัววัสดุทำจากสารสังเคราะห์และมี Swellable Powder (สารที่ดูดซึมน้ำเข้าไปแล้วขยายตัว มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง)

2.8.1.8 Laminated Sheath เป็นชั้นมีไว้สำหรับกั้นน้ำตามแนวขวางของเคเบิลแรงสูงซึ่งมีลักษณะเป็นเทปโลหะหุ้มด้วย Plastic ทั้งสองหน้า โดย Plastic ที่ผิวนอกและผิวในของเทปจะถูกละลายให้ติดกันเป็นเนื้อเดียวทำให้สามารถป้องกันน้ำแพร่ผ่านเข้าไปถึงฉนวนได้

2.8.1.9 Non Metallic Sheath หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า Jacket ทำหน้าที่ป้องกันแรงกระแทกเสียดสีต่างๆขณะติดตั้งสายเคเบิล วัสดุที่ใช้ทำมี PVC, PE

## 2.8 ผลกระทบและค่าความปลอดภัยของสนามแม่เหล็ก

ผลกระทบที่เกิดจากสนามแม่เหล็กภายนอกที่มีผลต่อร่างกาย จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่และขนาดของสนามแม่เหล็ก ซึ่งในระบบส่งจ่ายพลังงานนั้น สนามแม่เหล็กจะส่งผ่านร่างกาย



ไป อาจจะมีบางส่วนที่ร่างกายของมนุษย์ซึมซาบเข้าไป โดยปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวงได้มีการติดตั้งระบบควบคุมค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้เป็นที่น่าเชื่อถือตามที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) กำหนด ซึ่งได้ร่วมกับหน่วยงาน International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ทำการวิจัยและพัฒนาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยได้กำหนดระดับสูงสุดของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดจากระบบไฟฟ้าความถี่ต่ำ (50 Hz) ที่ประชาชนสามารถสัมผัสได้อย่างปลอดภัยไว้ดังแสดงในตาราง

**ตารางที่ 2.3** ตารางแสดงค่าขีดจำกัดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก 50 Hz

สถานที่	ระยะเวลา	สนามแม่เหล็ก
สถานประกอบการ	ตลอดชั่วโมงการทำงาน	5,000 mG
สาธารณะ	ตลอดทั้งวัน	1,000 mG

หมายเหตุ: 1,000mG=1G

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

I.O. Habiballah และคณะ [15] บทความนี้กล่าวถึงแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งนั่นคือสายไฟใต้ดิน การออกแบบใหม่ในการกำหนดค่าสำหรับหนึ่งสองสามและสี่สายต่อเฟสถูกนำเสนอจากมุมมองของสนามแม่เหล็ก แตกต่างกันมีการศึกษารายละเอียดเทคนิคการจัดการ การจัดการวางเฟสของสายเคเบิลอย่างรอบคอบในสายมัลติคอนดักเตอร์เพื่อลดผลกระทบของสนามดำเนินการโดยการสร้างแบบจำลองและการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ แพ็คเกจจำลองสนามแม่เหล็กที่ล้ำสมัย PCFIELD พัฒนาโดย EPRI ใช้เพื่อหาปริมาณและนำเสนอเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการค่าฟิลด์ กรณีการกำหนดค่าการออกแบบใหม่มีประโยชน์มากจากมุมมองของสนามแม่เหล็กและมีโครงสร้างต้นทุนต่ำที่สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย

Xiao-Bang Xu และคณะ [16] บทความนี้แนะนำเสนอเทคนิคเชิงตัวเลขสำหรับการตรวจสอบสนามแม่เหล็กที่ผลิตโดยท่อสามเฟสใต้ดินสายเคเบิลซึ่งอาจมีกระแสเฟสไม่สมดุล เทคนิคตัวเลขขึ้นอยู่กับวิธีองค์ประกอบ จำกัด และความเท่าเทียมกันหลักการ. เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเทคนิคเชิงตัวเลขผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลขของสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดยสายเคเบิลแบบท่อกระแสเฟสสมดุลจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดที่มีอยู่ก่อน จากนั้นผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลขของสนามแม่เหล็กที่สร้างโดยกระแสเฟสที่ไม่สมดุลในสายเคเบิลชนิดท่อจะถูกนำเสนอและวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลเรา

สังเกตว่ากระแสลำดับศูนย์ที่กลับมาในท่อซึ่งเป็นผลมาจากกระแสเฟสที่ไม่สมดุลอาจทำให้ค่าสนามแม่เหล็กเหนือท่อ

Earle C. (Rusty) Bascom และคณะ[17] สายส่งจ่ายโดยทั่วไปเป็นวิธีที่ต้องการในการถ่ายโอนพลังงานเนื่องจากต้นทุนที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความสามารถในการส่งผ่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชนบทเมื่อเปรียบเทียบกับเข้ากับสายไฟ อย่างไรก็ตามส่วนการส่งสัญญาณใต้ดินอาจเป็นสิ่งที่สำคัญในวงจรส่งกำลังที่มีสายทำไม่ได้ ยูทิลิตี้หนึ่งใช้แอปพลิเคชันเชิงกลยุทธ์ของสายเคเบิลส่วนเพื่อสร้างสายส่งและเพิ่มพลังระบบผ่านความสัมพันธ์ในสถานี นี้มาพร้อมกับต่างๆความท้าทายรวมถึงการจับคู่สายเหนือศีรษะหรือสถานีรถบัสดูแลการพิจารณาความน่าเชื่อถือการสนับสนุนสินค้าคงคลังที่ทำงานได้ละเอียดและประสานงานกิจกรรมการก่อสร้างรอบ ๆ หยุดทำงาน เอกสารนี้สรุปตัวเลือกการออกแบบและความท้าทายของโครงการที่พิจารณาระหว่างการใช้สายเคเบิลหกลายโครงการบนคาบสมุทรเดลมาร์วาในปี 2555 และ 2556 นั้นเพิ่มความน่าเชื่อถือของพลังของยูทิลิตี้อย่างมากระบบ.

Juan Carlos del-Pino-López และคณะ[18] ในบทความนี้จะนำเสนอกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรมสำหรับการลดต้นทุน (รวมถึงการสูญเสีย) ของโล่แม่เหล็กไฟฟ้าและตัวนำไฟฟ้า จุดประสงค์ของเกราะป้องกันเหล่านี้คือเพื่อรักษาสนามแม่เหล็กความถี่ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากduct bankท่อสายไฟใต้ดินให้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยไม่ จำกัด ความแอมป์ของสายเคเบิลที่ลดลง รูปทรงการป้องกันทั้งแนวนอนและด้านหลัง -U ได้รับการทดสอบผ่านการประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาที่ประกอบด้วยท่อ 9 (3 × 3) ซึ่งวงจรสามเฟสแบบสมมาตรในเฟสสองตัวถูกจัดเรียงในสามรูปแบบ: แนวตั้งแนวนอนและสามเหลี่ยม พื้นที่ที่จะป้องกันจะอยู่เหนือพื้นผิวดินที่ด้านหนึ่งของแกนสลักซึ่งโดยปกติจะมีที่อยู่อาศัย ปัญหาแม่เหล็กไฟฟ้า - ความร้อนที่เกี่ยวข้องได้รับการแก้ไขในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โซลูชันที่เหมาะสมที่สุดจะถูกระบุโดยเน้นคุณสมบัติหลักของโล่แต่ละอัน (วัสดุและรูปทรงเรขาคณิต) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์สถานการณ์เพิ่มเติมเช่นการเพิ่มวงจรสามเฟสที่สามในduct bankท่อป้องกัน

สมคิด ลีลาชนะชัยพงศ์ และคณะ[19] บทความนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองสนามไฟฟ้าสถิต 2 มิติ (2D-Electrostatic fields) ที่กระจายอยู่โดยรอบสายส่งไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable) ซึ่งเป็นระบบส่งจ่ายกระแสอีกรูปแบบหนึ่งที่เหมาะสมแก่การเดินสายในเมืองใหญ่หรือบริเวณชุมชนที่มีพื้นที่จำกัดซึ่งต้องอาศัยวิธีการและเทคนิคทางด้านวิศวกรรมที่จะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขความปลอดภัยจากสนามไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงพฤติกรรมของศักย์ไฟฟ้าในสายเคเบิลใต้ดินชนิดฉนวนแบบ Cross-linked Polyethylene (XLPE) ระดับแรงดันปานกลาง 33 กิโลโวลต์กรณีจัดเรียงสายแบบ Flat แบบ Trefoil และกรณีฝังสายใต้ดินโดยตรง (Direct Burial) โดยประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element Method) รันบนโปรแกรม FEMM

Victor J. Hernández Jiménez และคณะ[20] การจัดสรรสายส่งพลังงานไฟฟ้าในอุโมงค์เป็นแนวทางปฏิบัติทั่วไปในการใช้งานหลายประเภทเช่นสายใต้ดินในเขตเมืองการเชื่อมต่อสายเคเบิลกับสถานีย่อยการชุดและระบบรถไฟการก่อสร้างอุโมงค์ต้องใช้งานที่ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ข้อจำกัด ของแม่เหล็กภายนอกและภายในจำเป็นต้องใช้ฟิลด์ที่สร้างโดยกระแสในสายเคเบิลของอุโมงค์เอกสารปัจจุบันเสนอและวิเคราะห์วิธีการทางสถิติที่แตกต่างกันสำหรับการคำนวณการจัดจำหน่ายสายเคเบิลและขนาดอุโมงค์ที่เหมาะสมสำหรับการลดสนามแม่เหล็กและค่าใช้จ่ายสำหรับกระแสที่แตกต่างกันในสายเคเบิล การนำวิธีการเหล่านี้ไปใช้กับสิ่งจรรยาบรรณจริงจะตรวจสอบประสิทธิภาพของพวกเขา

สมมาตร ขำเกลี้ยง[21] การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมจำลองแบบแผนสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตามขวางในท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เรียกว่า WGDPTETM รูปแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำงานด้วยโปรแกรมแมทแล็บในฟังก์ชันจียูไอ (GUI) มีความสามารถดังนี้ 1) แสดงค่าของอิมพีแดนซ์ในโหมด TE และโหมด TM ที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ 2) จำลองแบบแผนสนามแม่เหล็กตามขวางในท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ 3) จำลองแบบแผนสนามไฟฟ้าตามขวางในท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผลการวิจัยพบว่า ผลการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้องตรงตามผลทางทฤษฎี และผลการประเมินของผู้ใช้งาน

Vitor Maló Machado[22] บทความนี้มีส่วนช่วยในการวิเคราะห์การลดสนามแม่เหล็กที่ป้องกันสายไฟใต้ดิน องค์ประกอบ จากัด แบบไฮบริดจ์วิธีการ Finite-Element Method (FEM) การขยายตัวแบบกึ่งวิเคราะห์ถูกนำมาใช้สำหรับการรักษาเชิงตัวเลขของปัญหาสนามแม่เหล็กขอบเขตเปิดมีการศึกษาวัสดุที่เป็นส่วนประกอบที่แตกต่างกันสำหรับการป้องกันสนามแม่เหล็กและมีการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้า (อะลูมิเนียม) และเคส ferromagnetic (เหล็ก) มีการพิจารณาโครงสร้างแบบแบนแนวนอนสำหรับสายเคเบิลใต้ดิน สรุปได้ว่าอะลูมิเนียมการป้องกันมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถลดสนามแม่เหล็กข้อกำหนดได้

ดร.เผด็จ เผ่าละออและคณะ[23] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยอันดับที่สอง โดยได้วิเคราะห์การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กกรอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นรวมถึงบุคลากรที่ทำงานบริเวณพื้นด้านล่าง โดยได้พิจารณาสายส่งขนาด 500 kV ทั้งวงจรเดี่ยวและวงจรคู่ ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าสูงที่สุดในประเทศไทย การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ประยุกต์ใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB โดยพิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติ ซึ่งอาศัยการแปลงระบบจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ พร้อมแสดงผลทางกราฟิกของค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง ค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 500 kV ทั้งวงจรเดี่ยวและวงจรคู่ ในระดับความสูง 1

m จากพื้นดินที่บุคลากรทางานอยู่ จะมีค่าไม่เกินระดับของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ซึ่งถูกกำหนดโดยมาตรฐานของ ICNIRP

Francisco de Leon [24] เอกสารนี้แนะนำกลไกการถ่ายเทความร้อนในการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน และวิเคราะห์ที่มีอยู่วิธีการแก้สมการการแพร่กระจาย แหล่งความร้อนและความต้านทานความร้อนของชั้น ต่างๆของการติดตั้งสายเคเบิลมีการอธิบาย แนวคิดพื้นฐานเบื้องหลัง Nether-McGrathวิธีการ (IEEE) จะ กล่าวถึงพร้อมกับความแตกต่างกับมาตรฐาน IEC สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลใต้ดิน ที่มีอยู่โปรแกรม คอมพิวเตอร์เชิงพาณิชย์ออกแบบมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพการคำนวณจะแสดงรายการพร้อมกับคำอธิบายของ การสร้างแบบจำลองความสามารถของ CYME's CYMCAP

Kawin c และคณะ [25] เอกสารนี้วิเคราะห์อุณหภูมิของการนำกระแสไฟฟ้าใต้ดิน 115 kV ขนาด 800 ตร.มม. ติดตั้งในท่อ HDPE ของ Concrete Duct Bank ขนาด 2x2 ด้วย Thermal model ของโปรแกรม Finite Element Method สรุปได้ว่าการนำกระแสแปรผันตามขนาดมิติของ Duct Bank การเพิ่มระยะห่างระหว่างสายไฟฟ้าและระยะห่างระหว่าง ศูนย์กลางท่อร้อยสายไฟฟ้าถึงด้านบนและด้านล่าง Concrete Duct Bank จะสามารถปรับปรุงการนำกระแสของสายไฟฟ้าได้ การเพิ่มระยะห่างสามารถลดผลกระทบพลังงานความร้อนจากสายไฟฟ้าใกล้เคียงได้

ศราวุฒิ ก่องใจ [26] ศึกษาวิธีการติดตั้งท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยวิธีดันท่อลอด ข้อดีข้อเสีย และระยะเวลาการติดตั้ง ใช้งบประมาณ ความยากง่ายของการปฏิบัติงาน ของงานประปา



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 บทนำ

จากการศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็ก งานวิจัยนี้จึงขอนำเสนอการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายเคเบิลใต้ดิน ขนาด 115 kV ชนิดสาย XLPE ขนาด 800 ตร.มม. ของรถไฟฟ้าสายสีชมพู ช่วงตลาดมินบุรีถึงแคราย ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบของห้วงด้วยวัสดุที่เป็นเหล็กที่ออกแบบตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงและห้วงด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน

#### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ภาพรวมของการดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ตาม Flow Chart ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

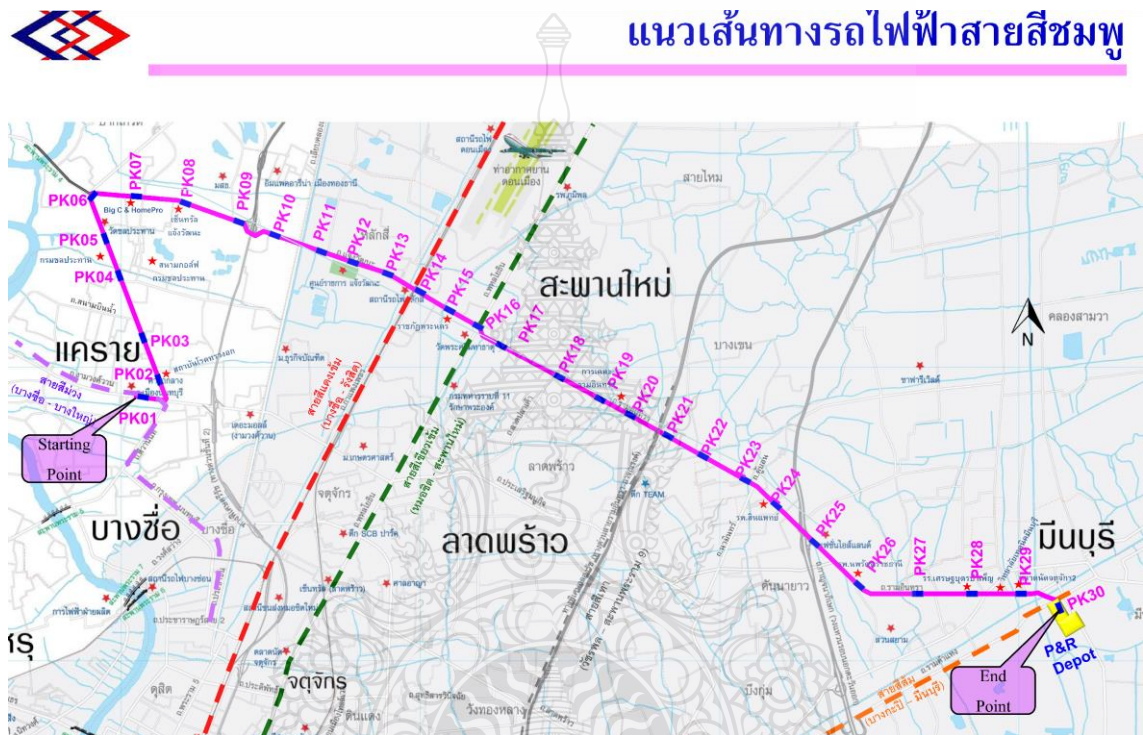


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.3 ข้อมูลของสายไฟฟ้าใต้ดินของโครงการเปลี่ยนระบบสายไฟฟ้าอากาศเป็นสายไฟฟ้าใต้ดิน รัชดาภิเษก - พระราม 9

#### 3.3.1 สถานที่ตั้ง

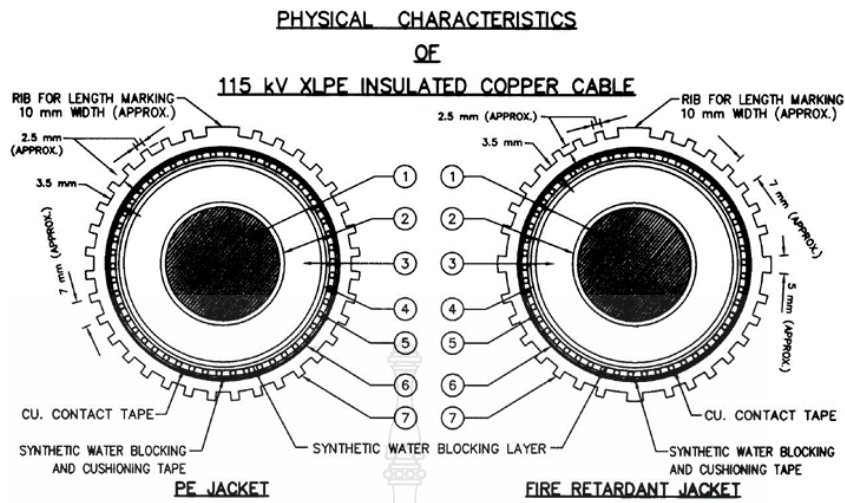
แผนผังโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มินบุรี ถึง แคราย โดยมีสถานีทั้งหมด 30 สถานี มีระยะทางโดยรวมทั้งหมด 34.5 กิโลเมตร



รูปที่ 3.2 โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มินบุรี ถึง แคราย

#### 3.3.2 สายไฟฟ้าใต้ดิน

สายไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้ในระดับแรงดัน 115 kV แผนผังโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มินบุรี ถึง แคราย เพื่อใช้การจำลองศึกษาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าของสายไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 3.3 ลักษณะของสายไฟฟ้าใต้ดิน 115 kV ชนิดสาย XLPE ขนาด 800 ตร.มม.[3]

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของสายไฟฟ้าใต้ดิน 24 kV ชนิดสาย XLPE ขนาด 800 ตร.มม.

ลักษณะ	พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (mm <sup>2</sup> )
	800
จำนวนต่ำสุดของ Strand wires	53
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของตัวนำ (mm) ①	34.0
ความหนาของตัวกั้นตัวนำ (mm) ②	1.5
ความหนาของฉนวน (mm) ③	16
ช่วงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าฉนวน (mm)	69-72
ความหนาของตัวกั้นฉนวน ④	1.5
จำนวนต่ำสุดของตัวกั้นลวด	70
พื้นที่หน้าตัดรวมต่ำสุดของตัวกั้นสายทองแดง (mm <sup>2</sup> ) ⑤	120
ความหนาเฉลี่ยของเทปกั้นน้ำ (mm) ⑥	0.19
ความหนาของเปลือกกอลโลหะ (mm) ⑦	3.5
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรวม(D) (mm)	86-91
น้ำหนักของสายเคเบิล (โดยประมาณ) (kg/km)	14,000
รัศมีการดัดโค้งต่ำสุด	20D

3.3.3 การสำรวจสถานที่งานจริงของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มีนบุรี ถึง แคราย  
การจัดวางเคเบิลใต้ดินภายในท่อ Pipe Jacking โดยการกำหนดตำแหน่งของระบบ  
เคเบิลใต้ดินโดยจัดเรียงลำดับเฟสตามที่มาตรฐานกำหนด การจัดเรียงภายในท่อจะถูกแบ่งตำแหน่งของ  
สายส่งกับสายสื่อสาร ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การติดตั้งหีเหล็กภายในท่อPipe Jacking

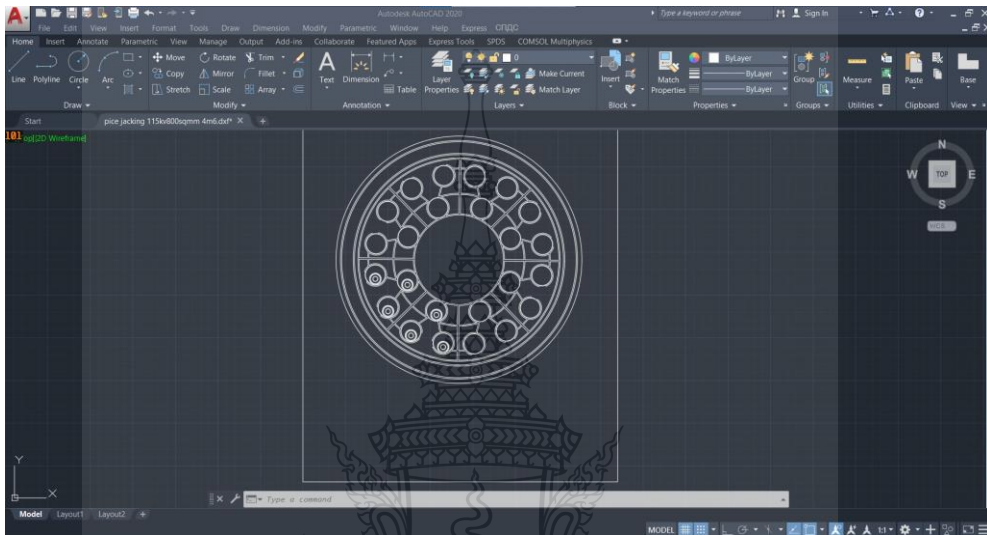


รูปที่ 3.5 การติดตั้งท่อร้อยสายภายในหีเหล็กของท่อ Pipe Jacking



### 3.4 การออกแบบการติดตั้งหวิเหล็กของระบบเคเบิลใต้ดินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

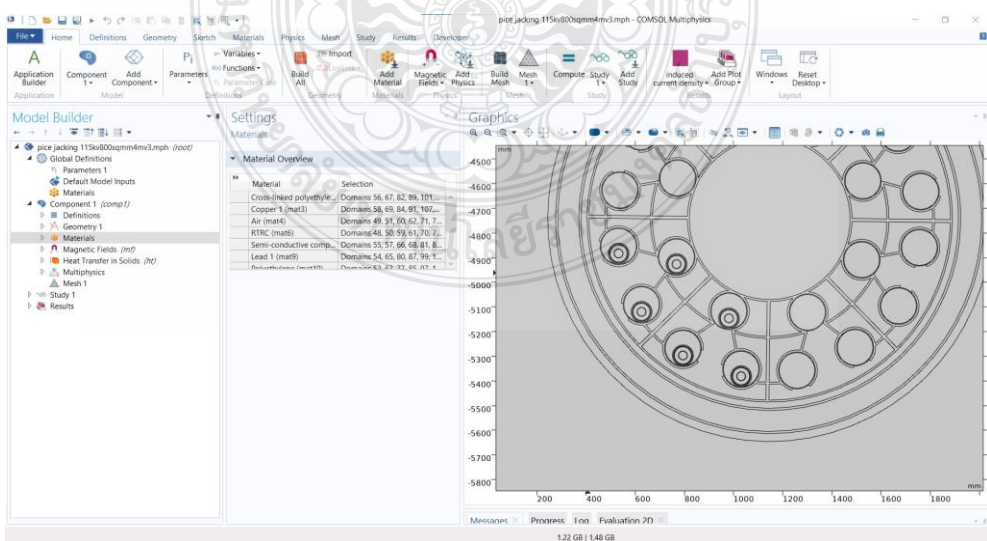
จากการออกแบบหวิฉนวนและหวิเหล็กเพื่อเปรียบเทียบผลของสนามแม่เหล็กสำหรับเคเบิลใต้ดินที่รองรับระบบส่งจ่าย 115 kV โฉโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มีนบุรี ถึง แคราย โดยการจำลองเคเบิล 1-KTC Bundled



รูปที่ 3.6 การออกแบบสายชนิด XLPE ขนาด 800 ตร.มม. ในท่อ pipe jacking ด้วยโปรแกรม

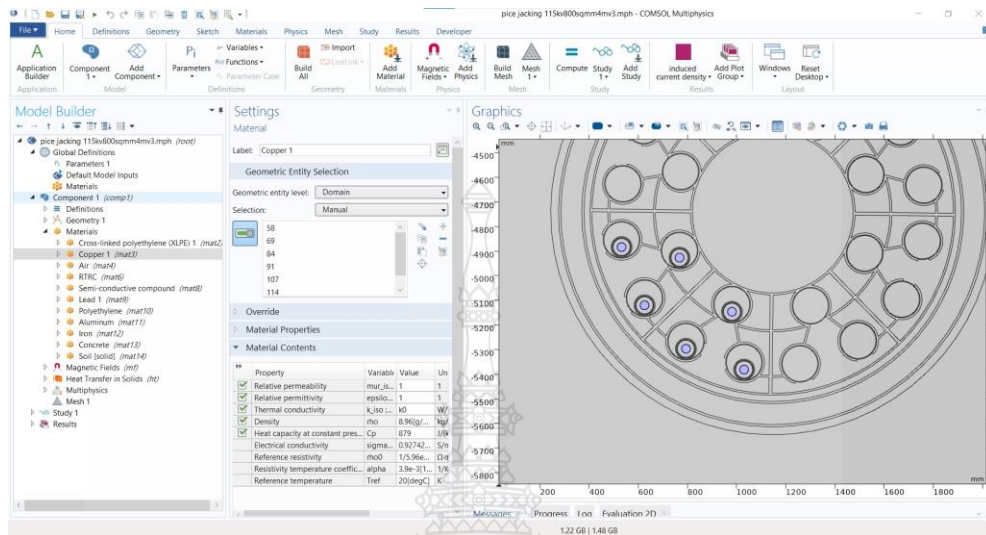
Auto cad

จากรูปที่ 3.6 เป็นการออกแบบสายชนิด XLPE ขนาด 800 ตร.มม. ในท่อ Pipe Jacking ที่ระดับความลึก 4 เมตร ด้วยโปรแกรม Auto cad เพื่อนำไปใส่ในโปรแกรม comsol



รูปที่ 3.7 การจำลองเคเบิลใต้ดินภายในหวิฉนวนและหวิเหล็ก

จากรูปที่ 3.7 คือการนำแบบจำลองสายชนิด XLPE ขนาด 800 ตร.มม. ในท่อ Pipe Jacking ที่ระดับความลึก 4 เมตร จากโปรแกรม Auto cad ใส่ในโปรแกรม comsol เพื่อใช้ในการจำลองผลของสนามแม่เหล็ก

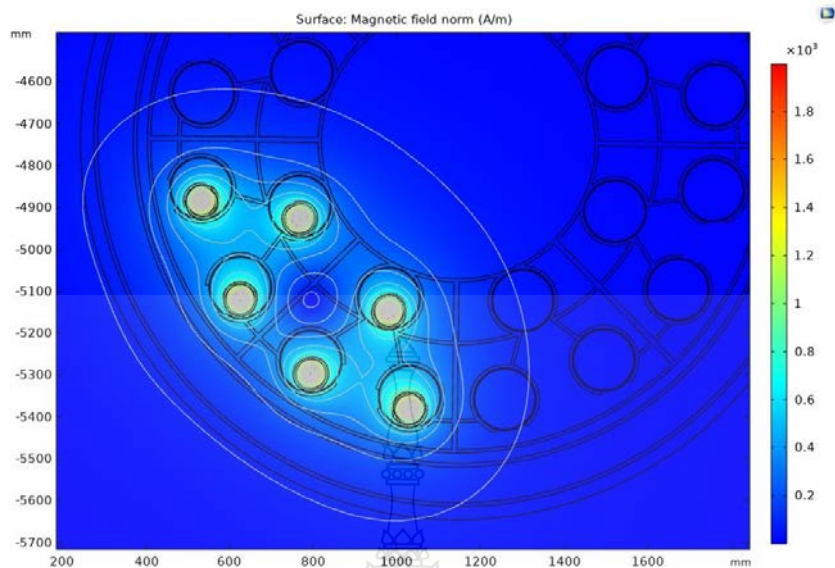


รูปที่ 3.8 การใส่ค่าพารามิเตอร์ของหิววนและหิวเหล็กของเคเบิลใต้ดิน

จากรูปที่ 3.8 คือการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสายชนิด XLPE ขนาด 800 ตร.มม. ในท่อ pipe jacking ที่ระดับความลึก 4 เมตร ด้วยโปรแกรม comsol จากตารางที่ 3.2

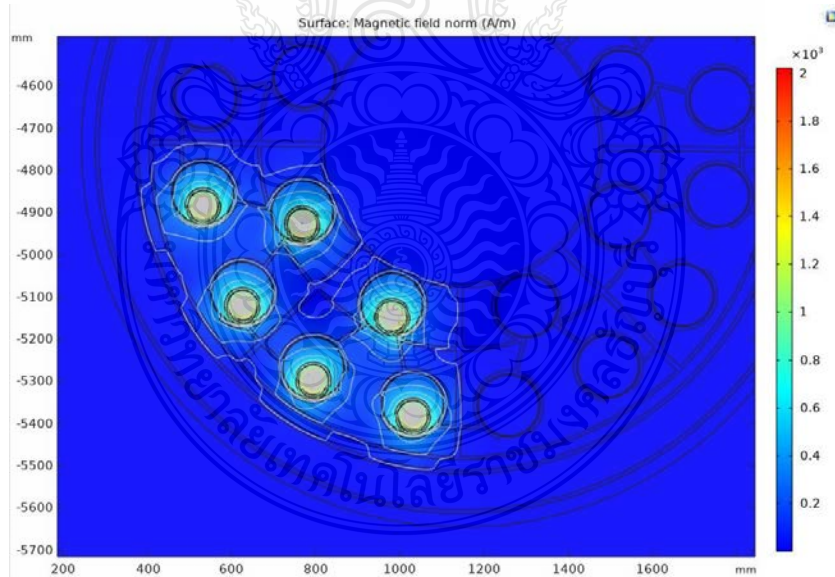
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสำหรับแบบจำลอง

No.	Materials	Conductivity [S/m]	Permeability
1.	Copper	$5.998 \times 10^7$	1.00
2.	Semi-conductive Cross-linked polyethylene compound	2.000	2.25
3.	Cross-linked polyethylene (XLPE)	$1.000 \times 10^{-18}$	2.50
4.	Lead	$4.032 \times 10^6$	1.00
5.	Polyethylene	0.286	1.00
6.	Soil	1.000	1.00
7.	Steel	$4.032 \times 10^6$	1.00
8.	Resin	$1.000 \times 10^{-18}$	4.40



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหิวินวน

จากรูปที่ 3.9 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กของหิวีเรซินเสริมใยแก้ว พบว่ามีการกระจายตัวแบบกระจายออกนอกวงปิด ซึ่งจะค่าสนามแม่เหล็กบริเวณตัวนำ เท่ากับ 46.50 G และจะลดลงเมื่อห่างจากตัวนำ



รูปที่ 3.10 ผลการจำลองค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหิวีเหล็ก

จากรูปที่ 3.10 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กของหิวีเหล็กพบว่าการกระจายตัวเฉพาะในวงปิดของวงเหล็ก ซึ่งไม่กระจายตัวออกภายนอก ซึ่งจะค่าสนามแม่เหล็กบริเวณตัวนำ เท่ากับ 43.83 G และจะลดลงเมื่อห่างจากตัวนำ

### 3.5 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 3 เป็นการอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานและการจำลองผลด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics เพื่อศึกษาสนามแม่เหล็กของเคเบิลใต้ดินขนาด 800 ตร.มม. ขนาดพิกัดแรงดัน 115 kV ภายในท่อ Pipe Jacking ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งเพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของหวิดด้วยวัสดุที่เป็นเหล็กที่ออกแบบตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงและหวิดด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics ที่กล่าวถึงในบทนี้จะนำไปสู่การจำลองผลของสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหวิดเหล็กและฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป



## บทที่ 4

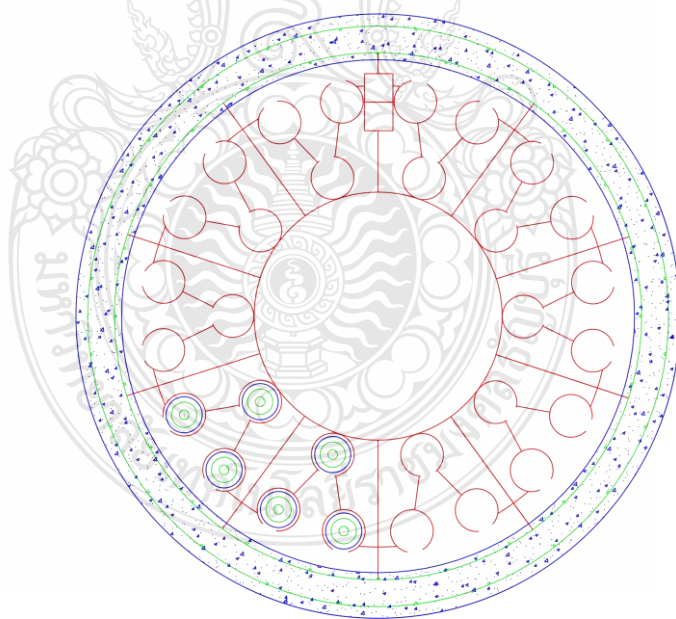
### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

#### 4.1 บทนำ

การจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อการศึกษาผลกระทบของเคเบิลใต้ดินขนาด 800 ตร.มม. ขนาดพิกัดแรงดัน 115 kV ภายในท่อ Pipe Jacking โดยเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน เพื่อดูค่าสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของที่เกิดขึ้นภายในบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งมีวงจรสายส่งจำนวน 1 วงจรภายในท่อ Pipe Jacking

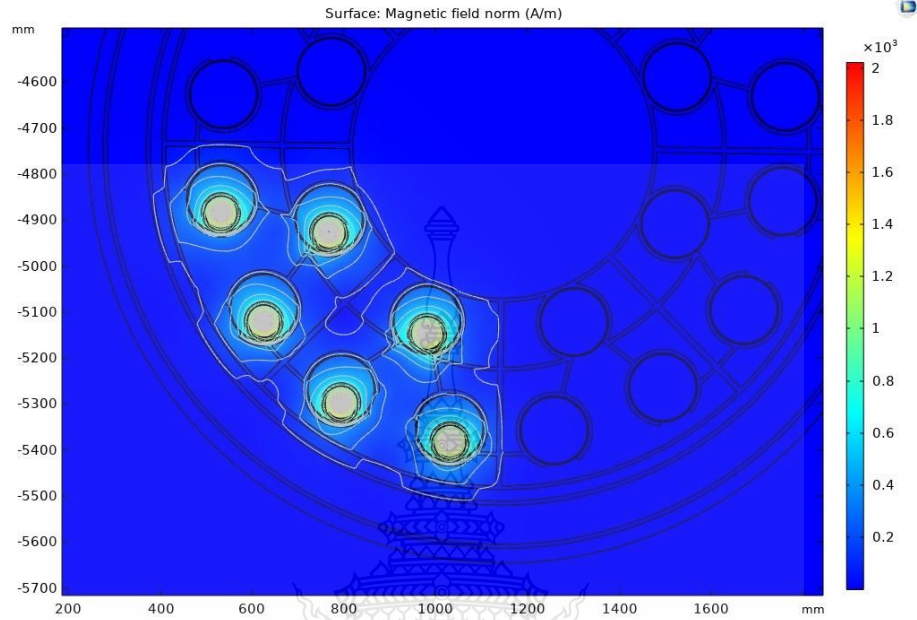
#### 4.2 ผลการจำลองของสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน

ผลการจำลองของสายเคเบิลใต้ดินขนาด 800 ตร.มม. ระดับแรงดัน 115 kV ภายในท่อ Pipe Jacking ที่ระดับความลึก 4 เมตร เพื่อทำการจำลองผลของแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน



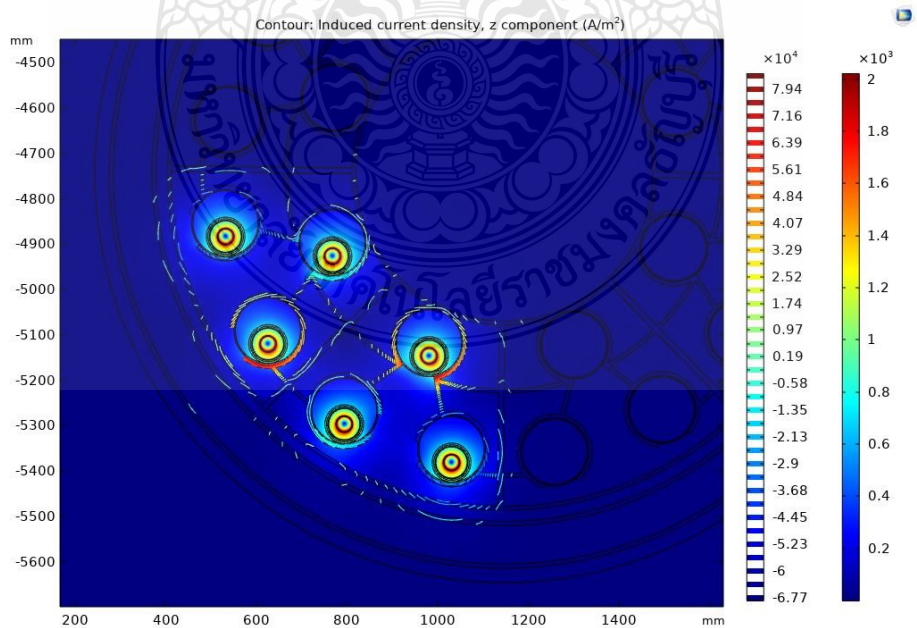
รูปที่ 4.1 แบบจำลองสายเคเบิลใต้ดินขนาด 800 ตร.มม. ระดับแรงดัน 115 kV ภายในท่อ Pipe Jacking

### 4.3 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็ก



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของตัวกั้นระยะแบบเหล็ก

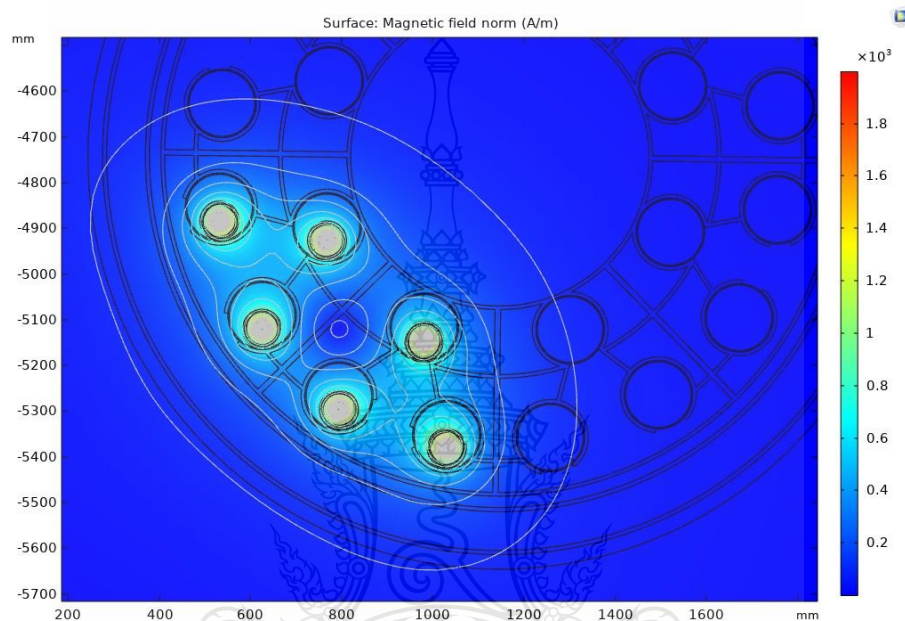
จากรูปที่ 4.2 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กของตัวกั้นระยะแบบเหล็กพบว่ามีการกระจายตัวเฉพาะในวงปิดของวงเหล็ก ซึ่งไม่กระจายตัวออกภายนอก ซึ่งจะค่าสนามแม่เหล็กบริเวณตัวนำ เท่ากับ 43.83 G และจะลดลงเมื่อห่างจากตัวนำ



รูปที่ 4.3 ผลการจำลองกระแสไฟฟ้าไหลวนของตัวกั้นระยะแบบเหล็ก

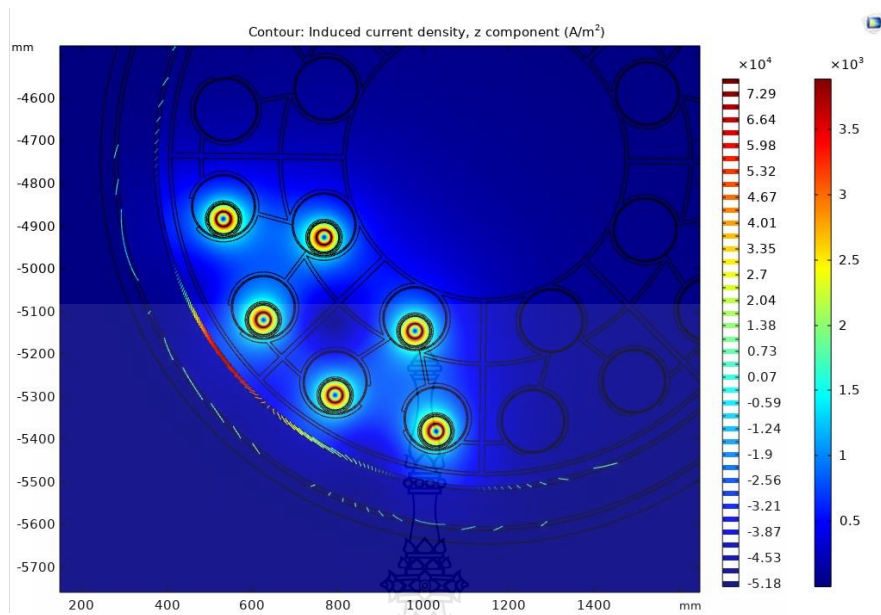
จากรูปที่ 4.3 กระแสไฟฟ้าไหลวนของตัวกั้นระยะแบบเหล็กพบว่ามีการไหลวนสูงสุดในบริเวณตัวกั้นระยะแบบเหล็ก เท่ากับ 17.04 แอมป์/ตร.ซม.

#### 4.4 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบฉนวน



#### รูปที่ 4.4 ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของตัวกั้นระยะแบบฉนวน

จากรูปที่ 4.4 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กของตัวกั้นระยะแบบฉนวน พบว่ามีการกระจายตัวแบบกระจายออกนอกวงปิด ซึ่งจะค่าสนามแม่เหล็กบริเวณตัวนำ เท่ากับ 46.50 G และจะลดลงเมื่อห่างจากตัวนำ



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองกระแสไฟฟ้าไหลวนของตัวกั้นระยะแบบฉนวน

จากรูปที่ 4.5 กระแสไฟฟ้าไหลวนของตัวกั้นระยะแบบฉนวน พบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลวนสูงสุดอยู่ที่บริเวณเหล็กเสริมคอนกรีตของท่อ Jacking Pipe เท่ากับ 7.79 แอมป์/ตร.ซม.

ตารางที่ 4.1 ค่าสนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน

พิกัดการจ่ายกระแสในสายเคเบิลใต้ดิน(A)	ค่าสนามแม่เหล็ก(mG)	
	ตัวกั้นระยะแบบเหล็ก	ตัวกั้นระยะแบบฉนวน
400	25517.1	24494.6
500	31896.4	30618.3
600	38275.7	36741.9
700	44655.0	42865.6
800	51034.2	48989.2



**ตารางที่ 4.2** ค่ากระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและ  
หีฉนวนเรซินเสริมใยแก้ว

พิกัดการจ่ายกระแสในสายเคเบิลใต้ดิน(A)	กระแสไหลวน(A/cm <sup>2</sup> )	
	ตัวกั้นระยะแบบเหล็ก	ตัวกั้นระยะแบบฉนวน
400	8.517	0
500	10.647	0
600	12.776	0
700	14.906	0
800	17.035	0

#### 4.5 บทสรุป

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน พบว่าสนามแม่เหล็กจะกระจายตัวในวงปิดของหีที่ทำจากโลหะ ขณะที่หีที่ทำจากวัสดุโลหะจะกระจายตัวแบบกระจัดกระจาย ขณะที่กระแสไหลวนจะเกิดขึ้นจากการใช้ตัวกั้นระยะแบบเหล็กมากกว่าการใช้ตัวกั้นระยะแบบฉนวน ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่ตัวนำของสายไฟฟ้าใต้ดินสูงตามปริมาณกระแสไหลวน ซึ่งส่งผลให้การรับภาระโหลดของสายไฟฟ้าใต้ดินลดลง จึงสามารถนำไปสรุปผลต่อภายในบทต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน โดยเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนจากโปรแกรม COMSOL Multiphysics ซึ่งสามารถนำเสนอผลของการทำวิทยานิพนธ์ได้ดังนี้

#### 5.2 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics เพื่อหาค่าสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของเคเบิลใต้ดินขนาด 800 ตร.มม. พิกัดแรงดัน 115 kV ของสาย XLPE ในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน โดยการจำลองจะแบ่งการจ่ายกระแสออกเป็น 5 ระดับ 400 A จนถึง 800 A ในการจัดเรียงในท่อร้อยสายด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็ก ที่พิกัดกระแส 400 A ได้ค่าของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 25.51 G และค่าของกระแสไหลวนในตัวกั้นระยะแบบเหล็กเท่ากับ  $8.51 \text{ A/cm}^2$  ด้วยค่ากระแสที่ระดับ 800 A ได้ค่าสนามแม่เหล็กเท่ากับ 51.03 G และค่ากระแสไหลวนในตัวกั้นระยะแบบเหล็กเท่ากับ  $17.03 \text{ A/cm}^2$  ในการจัดเรียงในท่อร้อยสายด้วยตัวกั้นระยะแบบฉนวน ที่พิกัดกระแส 400 A ได้ค่าของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 24.49 G และค่าของกระแสไหลวนในตัวกั้นระยะแบบฉนวน เท่ากับ 0 มีค่ากระแสไหลวนที่เหล็กเสริมของท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (ท่อ Pipe Jacking) มีค่าเท่ากับ  $3.89 \text{ A/cm}^2$  ด้วยค่ากระแสที่ระดับ 800 A ได้ค่าสนามแม่เหล็กเท่ากับ 48.98 G และค่ากระแสไหลวนในตัวกั้นระยะแบบฉนวน เท่ากับ  $7.79 \text{ A/cm}^2$  จากการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็ก และตัวกั้นระยะแบบฉนวน พบว่าสนามแม่เหล็กจะกระจายตัวในวงปิดของหรีที่ทำจากโลหะขณะที่ทำจากวัสดุโลหะจะกระจายตัวแบบกระจัดกระจายขณะที่กระแสไหลวนจะเกิดขึ้นจากการใช้ตัวกั้นระยะแบบเหล็กมากกว่าการใช้ตัวกั้นระยะแบบฉนวนซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่ตัวนำของสายไฟฟ้าใต้ดินสูงตามปริมาณกระแสไหลวน ซึ่งส่งผลให้การรับภาระโหลดของสายไฟฟ้าใต้ดินลดลง ซึ่งในทางด้านเศรษฐศาสตร์ตัวกั้นระยะแบบเหล็กดีกว่าตัวกั้นระยะแบบฉนวนเพราะเหล็กมีต้นทุนที่ถูกกว่าเรซินเสริมใยแก้ว ในอนาคตอาจมีการเลือกใช้ตัวกั้นระยะแบบฉนวนเพิ่มมากขึ้นเพราะประสิทธิภาพของตัวกั้นระยะแบบฉนวนดีกว่าตัวกั้นระยะแบบเหล็กและอนาคตต้นทุนของเรซินเสริมใยแก้วอาจมีต้นทุนที่ลดลง

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยตัวกั้นระยะแบบเหล็กและตัวกั้นระยะแบบฉนวน ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics นั้น เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง รายละเอียดขั้นตอนการใช้โปรแกรมค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นผู้ที่จะใช้โปรแกรมนี้ในการทดลอง หรือวิเคราะห์งานต่อไป ควรศึกษารายละเอียดของโปรแกรมและรายละเอียดของวัสดุต่างๆ ก่อนนำมาวิเคราะห์ผล และควรทำการทดลองวงจรของสายเคเบิลใต้ดินมากกว่า 2 วงจร เพื่อการวิเคราะห์ผลจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง



## บรรณานุกรม

- [1] ระบบเคเบิลใต้ดิน Underground Cable System. (online), 2020, Available:  
<https://www.peac2-eng.com/wp-content/uploads/2016/11/Book-cable-GREEN.pdf> (30 มิถุนายน 2563).
- [2] Underground duct bank (online), 2020, Available:  
<https://easyde-sign.blogspot.com/2018/12/electrical-duct-bank-design.html?m=1>  
(30 มิถุนายน 2563).
- [3] Pipe Jacking (online), 2020, Available:  
<http://www.imexworldwide.com/content-blog/2018/12/20/tunnelling-equipment>  
(30 มิถุนายน 2563).
- [4] กนกวรรณ ประทีปศิริ, ญัฐริกา เทียมเสมอ, สุธาสินี นุ่นชื่น, “การศึกษาสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าของสายส่งเคเบิลใต้ดินโดย กฟน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2559
- [5] Horizontal Directional Drilling (online), 2020, Available:  
[https://www.researchgate.net/figure/Horizontal-Directional-Drilling-HDD-construction-procedure-Platosh-2010\\_fig1\\_334263806](https://www.researchgate.net/figure/Horizontal-Directional-Drilling-HDD-construction-procedure-Platosh-2010_fig1_334263806) (30 มิถุนายน 2563).
- [6] วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์ (2562). สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ: บริษัท วี.พี.รินทร์ (1991) จำกัด.
- [7] ท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว (Reinforce Thermosetting Resin Conduit) (online), 2020, Available: <https://www.globalpipeit.com/> (2 สิงหาคม 2563).
- [8] Metropolitan Electricity Authority, “Conduit Steel Spacer for Pipe - Jacking Construction”, DWG. NO. 10A4-0885
- [9] Metropolitan Electricity Authority, “Configuration and Circuit Arrangement 30 Duct in Jacking Pipe ID 1.8 m ”, DWG. NO. 10A4-0708.
- [10] ปรีชา มงคลสวัสดิ์, ฤทธิชัย ราชแป้น, ยุทธนา คงจิ้น, ณัฏติพงษ์ อุทอง และบุญยัง ปลั่งกลาง “การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหวีเหล็กและหวีฉนวนภายในท่อใต้ดินแบบไปร์แจคกิ้ง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 12 (น. 94-97)

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Haowei Lu, Abdullah Bokhari, Tianqi Hong, and Francisco de León "Experimental evaluation of available computational methods for eddy current and hysteresis losses for cables installed in steel pipes, " IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 33, no. 4, pp. 1777–1786, Aug. 2018.
- [12] An introduction to pipe jacking and microtunnelling. (2017). United Kingdom:Pipe Jacking Association.
- [13] การไฟฟ้านครหลวง. (2551). ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสายส่งไฟฟ้า (พิมพ์ครั้งที่ 2 ). กรุงเทพมหานคร: บริษัท วิสมา เอเชีย จำกัด
- [14] การไฟฟ้านครหลวง ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูง(Online), 2020, Available: [https://www.mea.or.th/minisite/doingbusinessinbkk/download/download\\_file/1000090](https://www.mea.or.th/minisite/doingbusinessinbkk/download/download_file/1000090). (26 มิถุนายน 2563).
- [15] I.O. Habiballah, A.S. Farag, M.M. Dawoud, and A. Firoz, "Underground Cable Magnetic Field Simulation and Management Using New Design Configuration", Electric Power System Research, Vol. 45, No. 2, May 1998, pp. 141-148.
- [16] Xiao-Bang Xu and Guanghao Liu, "A finite-element analysis of electromagnetic field produced by ELF sources enclosed by a nonlinear ferromagnetic pipe," 2000 5th International Symposium on Antennas, Propagation, and EM Theory. ISAPE 2000 (IEEE Cat. No.00EX417), 2000, pp. 215-218.
- [17] Earle C. Bascom, James Williams, and Mark Kwilinski, "Technical considerations for applying trenchless technology methods to underground power cables", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), Dallas, TX, USA, May 2016.
- [18] J. C. del Pino Lopez and P. C. Romero, "Influence of Different Types of Magnetic Shields on the Thermal Behavior and Ampacity of Underground Power Cables," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, no. 4, pp. 2659-2667, Oct. 2011, doi: 10
- [19] สมคิด ลีลาชนะชัยพงศ์ แบบจำลองสนามไฟฟ้าสถิต 2 มิติสำหรับสายส่งไฟฟ้าใต้ดิน, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [20] Jiménez, Víctor & Castronuovo, Edgardo & Sanchez, Ismael. (2018). Optimal statistical calculation of power cables disposition in tunnels, for reducing magnetic fields and costs. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 103.
- [21] สามารถ ข้าเกลี้ยง, โปรแกรมจำลองแบบแผนสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางในท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้จียูไอ (GUI) ของแมทแลป, 2558, การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 8
- [22] Vitor Malo Machado. (2012). Magnetic Field Mitigation Shielding of Underground Power Cables. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, 48(2). 707-710.
- [23] เผด็จ เผ่าละออ และ สุกัญญา ทัพศรี. (2555). “การวิเคราะห์ผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อมนุษย์ ใต้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 500 kV.,” *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*, 2555
- [24] Francisco de Leon. (2005). Calculation of Underground Cable Ampacity. *CYMEInternational T&D*, 1-6.
- [25] Charende, R. Chatthaworn, P. Khunkitti, A. Kruesubthaworn, A. Siritarawat and C. Surawanitkun, "Effect of Concrete Duct Bank Dimension with Thermal Properties of Concrete on Sensitivity of Underground Power Cable Ampacity," *2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 2018, pp. 484-489
- [26] ศรารุณี ก่องใจ. (2554). การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคงานวางท่อประปาโดยวิธีดันท่อลอด ของการประปาส่วนภูมิภาค. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).



ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่

1. ปรีชา มงคลสวัสดิ์ และคณะ, การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินที่อู่ฟ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและหีฉนวน ภายในท่อใต้ดินแบบไปร์แจคกิ้ง
2. ปรีชา มงคลสวัสดิ์ และคณะ, การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อร้อยสายไฟฟ้าที่จัดเรียงด้วยหีเหล็กและหีฉนวน







**การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 12**  
**The 12<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2020**  
26 - 28 สิงหาคม 2563 ณ โรงแรมรอยัล ซิรีส์ กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครนายก

**หนังสือรวมบทความวิจัย**

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร (EC)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า (SS)



**คณะกรรมการวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า**

1	รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	ที่ปรึกษา
2	รองศาสตราจารย์ ดร.กานต์ เกิดชื่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	ที่ปรึกษา
3	รองศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	ประธานกรรมการ
4	รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
5	รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโค สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	กรรมการ
6	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
7	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐ ไซดี รักไทยเจริญชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กรรมการ
8	รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	กรรมการ
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวิกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	กรรมการ
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชวลีเจ็อิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วุฒิชัย สว่างาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	กรรมการ
13	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิชัย บุญปัทม์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประหัต คองสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตฉะเชิงเทรา	กรรมการ
15	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกวิทย์ หายักวณิช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร	กรรมการ
16	รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	กรรมการและเลขานุการ



### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ รอดอัมพร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	ที่ปรึกษา
2	อาจารย์อัครม ม่วงเขาแดง หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	ประธานกรรมการ
3	อาจารย์ธานินทร์ ดวงจันทร์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	รองประธานกรรมการ
4	รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	รองประธานกรรมการ
5	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	กรรมการ
6	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กรรมการ
7	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกัศรัชกรณ์ อารีย์กุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค ให้อ่องคำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางทิน สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	กรรมการ
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	กรรมการ
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ ศรีสงคราม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี	กรรมการ
13	ดร.วีระ ชันยภักดิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร	กรรมการ
14	ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
15	ดร.สุวัฒน์ กิจเจริญวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
16	ดร.ไพวรรณ เกิดดวง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	กรรมการ

### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

- |    |  |                     |
|----|--|---------------------|
| 17 | ดร.กัญจนา ชัยอมฤต<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น      | กรรมการ             |
| 18 | นายปวิติ บุญมา<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ                      | กรรมการ             |
| 19 | นางสาววารกรณ์ ลือใจ<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ                 | กรรมการ             |
| 20 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการและเลขานุการ |





### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายวิชาการ

1	รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์	ประธานกรรมการ
2	อาจารย์อาคม ม่วงเขาแดง	รองประธานกรรมการ
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรชัย วิริยะสุทธีวงศ์	กรรมการ
4	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยณรงค์ คล้ายมณี	กรรมการ
5	อาจารย์ ดร.ศรีศุภางค์ ทิวสุวรรณ	กรรมการ
6	อาจารย์สุทธิพันธ์ อักษรเนียม	กรรมการ
7	อาจารย์ธิติพร ประมวน	กรรมการ
8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร มาตรา	กรรมการ
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ ศรีมรินทร์	กรรมการ
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรภัทร หล่มบุญเรือง	กรรมการ
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภรณี ศรีมรินทร์	กรรมการ
12	อาจารย์ธำนิทร์ ดวงจันทร์	กรรมการ
13	อาจารย์นาวี รุจตามพ์	กรรมการ
14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายสถานที่และประชาสัมพันธ์

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุดนิรันดร์ เพชรรัตน์	ประธานกรรมการ
2	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรภัทร หล่มบุญเรือง	รองประธานกรรมการ
3	อาจารย์ ดร.ศรีศุภางค์ ทิวสุวรรณ	กรรมการ
4	นายณัฐกาญจน์ ไชยสมบูรณ์	กรรมการ
5	นางธิดา ศรีกงพาน	กรรมการ
6	นายสุภกิจ ขาวเนตร	กรรมการ
7	นายขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	กรรมการ
8	นายกนก สุขพูน	กรรมการ
9	นางสาวณานิกา ฤกษ์มหาลิขิต	กรรมการ
10	นายรุ่งโรจน์ ฤกษ์ห่วย	กรรมการ
11	นางชนิษฐา แก้วล้วน	กรรมการและเลขานุการ



### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายจัดหารายได้

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริพงษ์ ฉายสินธ์	ประธานกรรมการ
2	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	รองประธานกรรมการ
3	นางสาวมาลี สอนดา	กรรมการ
4	นางสาววันวิสาข์ โกลินทร์	กรรมการ
5	นางสาวอัญชลี เดชอุดม	กรรมการ
6	นางสาววิไล ปรีชา	กรรมการ
7	นางสาวลินดา นิลพัท	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายลงทะเบียน

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริพงษ์ ฉายสินธ์	ประธานกรรมการ
2	นางสาวมาลี สอนดา	รองประธานกรรมการ
3	นางสาวยอดแก้ว ผู้ภักดี	กรรมการ
4	นางธิดา ศรีกงพาน	กรรมการ
5	นางสาวนิตา วรพรตกุล	กรรมการ
6	นางสาวณิชพัชร พุทธเมธา	กรรมการ
7	นางสาวอัญชลี เดชอุดม	กรรมการ
8	นางสาวนิตา ชีรัตน์	กรรมการ
9	อาจารย์ธิติพร ประมวน	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายยานพาหนะ

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริพงษ์ ฉายสินธ์	ประธานกรรมการ
2	นางสาวมาลี สอนดา	รองประธานกรรมการ
3	นางสาววิไล ปรีชา	กรรมการ
4	นายจำเนียร มั่นทวี	กรรมการ
5	นางชนิษฐา แก้วล้วน	กรรมการและเลขานุการ



### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายพิธีการ

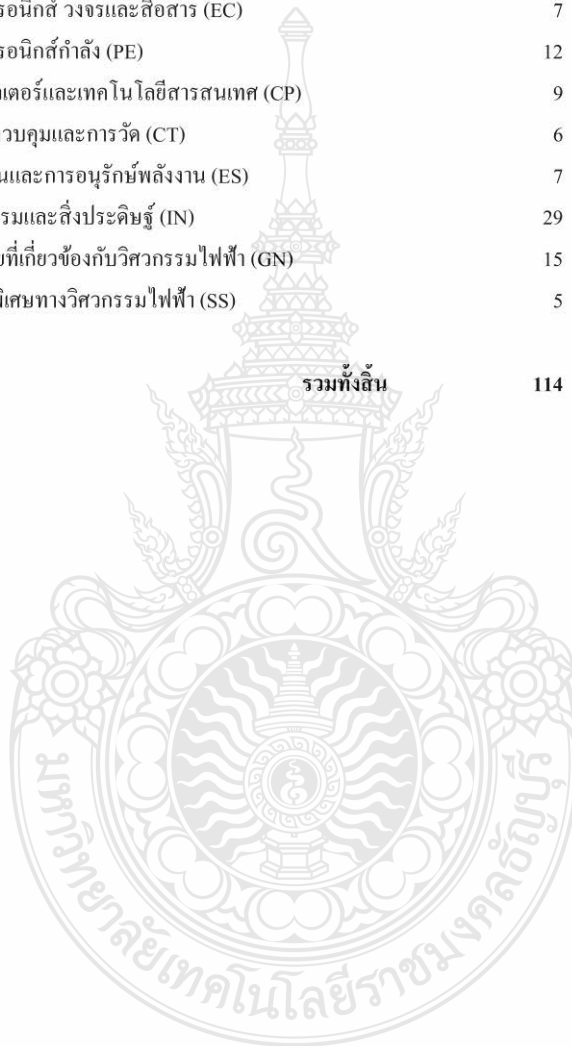
1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภรณ์ ศรีธรรมรินทร์	ประธานกรรมการ
2	รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล	รองประธานกรรมการ
3	รองศาสตราจารย์ ว่าที่พันตรี ดร.อิทธิพร ศิริสวัสดิ์	กรรมการ
4	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด	กรรมการ
5	อาจารย์ ดร.รักไทย บุรพภาค	กรรมการ
6	อาจารย์ ดร.ปรารถนา ประชานุรักษ์	กรรมการ
7	นางสาวมาลี สอนดา	กรรมการ
8	นางสาวธนิดา ชีร์ตัน	กรรมการ
9	นางสาวจันทราภรณ์ พุนดี	กรรมการและเลขานุการ

### คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2020 ฝ่ายประเมินผล

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	ประธานกรรมการ
2	นางสาวมาลี สอนดา	รองประธานกรรมการ
3	อาจารย์สุทธิพันธ์ อักษรเนียม	กรรมการ
4	อาจารย์นาวิ รุจตามพ์	กรรมการ
5	นางชนิษฐา แก้วล้วน	กรรมการและเลขานุการ

### สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณา

ไฟฟ้ากำลัง (PW)	24 บทความ
อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร (EC)	7 บทความ
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)	12 บทความ
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)	9 บทความ
ระบบควบคุมและการวัด (CT)	6 บทความ
พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)	7 บทความ
นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)	29 บทความ
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)	15 บทความ
หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า (SS)	5 บทความ
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>114 บทความ</b>







**สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณาแยกตามหน่วยงาน**

โรงเรียนนายเรือ	1	บทความ
วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี	1	บทความ
มหาวิทยาลัยชนบุรี	1	บทความ
มหาวิทยาลัยนเรศวร	1	บทความ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์	1	บทความ
มหาวิทยาลัยนครพนม	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	1	บทความ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม	2	บทความ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2	บทความ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2	บทความ
มหาวิทยาลัยศิลปากร	2	บทความ
มหาวิทยาลัยสยาม	3	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	3	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	3	บทความ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	6	บทความ
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	5	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	3	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	7	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	3	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	11	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	8	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	6	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	2	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	30	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	3	บทความ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	4	บทความ
<b>รวมจำนวนสถาบันที่ร่วมนำเสนอบทความ</b>	<b>27</b>	<b>สถาบัน</b>

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่ออิพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้วที่จัดเรียงด้วยหีเหล็ก  
และหีฉนวน ภายในท่อใต้ดินแบบไปร์แจกคิง

Analysis of Magnetic Field of Underground Cable in Reinforced Thermosetting Resin Conduit (RTRC)

Arranged by Steel Spacer and Insulator Spacer in Under Ground Pipe Jacking System

ปรีชา มงคลสวัสดิ์<sup>1</sup> อุทธิชัย ราชเป็น<sup>1</sup> ยุทธธนาภรณ์<sup>2</sup> ณัฏฐิพงศ์ อูทอง<sup>1</sup> และ บุญยัง ปลั่งกลาง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: preecha\_m@mail.mut.ac.th, boonyang.p@en.mut.ac.th

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**บทคัดย่อ**

งานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินเพื่อรองรับการเปลี่ยนสายไฟฟ้าอากาศเป็นสายไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งมีวิธีการก่อสร้าง ประกอบด้วย การก่อสร้างด้วยวิธี Open Cut การก่อสร้างด้วยวิธี Horizontal Directional Drilling (HDD) และการก่อสร้างด้วยวิธี Pipe Jacking ซึ่งการก่อสร้างด้วยวิธี Pipe Jacking มีขั้นตอนก่อสร้างประกอบด้วย งาน ดิน ท่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล.) งานติดตั้งหีรองรับท่อ RTRC งานติดตั้งท่อ RTRC และงาน Grouting Material ภายในท่อ ค.ส.ล. ซึ่งการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาสนามแม่เหล็กที่แหล่งกำเนิดจากสายส่งไฟฟ้าขนาดแรงดัน 115 kV ที่ถูกติดตั้งตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงในท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินดังกล่าว ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ COMSOL ซึ่งผลการจำลองพบว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำที่ใช้หีที่ทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า น้อยกว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำที่ใช้หีที่เป็นฉนวนไฟฟ้า

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็ก, ระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน, งานดินท่อ, หีเหล็ก

**Abstract**

Construction of power underground system consists of construction of Manhole and Ductbank in order to accommodate underground system for Metropolitan Electricity Authority (MEA). There are three construction types of underground system, Open Cut, Horizontal Directional Drilling (HDD), and Pipe Jacking. The Pipe Jacking has the construction process as Pipe Jacking, RTRC pipe fitting, RTRC pipe installation, and Grouting Material inside the RCP pipeline. This study focuses on the magnetic field originating from power underground cable of MEA 115 kV. The computation program

COMSOL was used to simulate the investigation. From the simulation results, it found the magnetic field around the cable that arranged by steel spacer was less than the magnetic field around cable that arranged by insulator type spacer.

Keywords: magnetic field, underground cable, pipe jacking, steel spacer

**1. บทนำ**

การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจที่จัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ 3 จังหวัด ประกอบด้วย กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา และ จ.สมุทรปราการ เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ารองรับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ปรับปรุงสภาพภูมิทัศน์ เพิ่มความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นที่มาของโครงการเปลี่ยนระบบสายไฟฟ้าอากาศเป็นสายไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดินต้องพิจารณาทั้งด้านวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงออกแบบก่อนก่อสร้างและช่วงระหว่างก่อสร้าง

ดังนั้นการวิจัยนี้สนับสนุนการศึกษาสนามแม่เหล็กของการวางสายเคเบิลใต้ดินภายในท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว (RTRC) ที่จัดเรียงด้วยหีเหล็ก ภายในท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่ง ขนาดแรงดัน 115 KV และเสนอแนวทางการแก้ไขตลอดจนนำเสนอค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหา

**2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

งานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวงมีอยู่ 3 วิธีคือ วิธี Concrete Duct Bank, วิธี HDD และด้วยวิธี Pipe Jacking โดยวิธี Pipe Jacking นั้นถูกนำมาใช้มากที่สุด ยกเว้นแต่จะถูกจำกัดโดยพื้นที่ก่อสร้าง วิธีอื่นจึงจะถูกนำมาพิจารณาใช้

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 12  
The 12<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2020 (EENET 2020)

**PW-19**



**2.1 การจัดวางสายไฟฟ้าใต้ดิน**

การจัดวางสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน [1][7] ที่ก่อสร้างด้วยวิธี Pipe Jacking นั้น จะต้องพิจารณาผลจากการวางสายเคเบิล ได้แก่ อิมพีแดนซ์ สนามแม่เหล็ก แรงดันในสายเคเบิลและความสูญเสีย

**2.2 บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน (Man Hole)**

บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน [2] ช่วงระหว่างก่อสร้าง ใช้สำหรับติดตั้งเครื่องดันท่อและดันท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก และหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จจะใช้เป็นบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

**2.3 ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Jacking Pipe)**

ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก [3] ที่ถูกนำมาใช้งานในการดันท่อนั้น จะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน BS 5911 Part 120 ซึ่งขนาดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางท่อคอนกรีตเสริมเหล็กจะสามารถผลิตได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

**2.4 หนีเหล็ก (Steel Spacer)**

หนีเหล็ก [4] ซึ่งมีหน้าที่สำหรับใช้จัดเรียงท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว (RTRC) เพื่อกำหนดระยะห่างของท่อ ได้นำมาใช้ในงานเมื่อประมาณช่วงปี 2556 และยังมีใช้งานจนถึงปัจจุบัน ซึ่งได้ถูกพัฒนามาทดแทนหนีแบบเดิม [7] ซึ่งทำจากไม้ไผ่ซึ่งมีจุดด้อยด้านความแข็งแรงและต้นทุนการไหลของ Mortar และหนีเหล็กแต่ละช่องไม่ควรรัดรอบด้วยโลหะเนื่องจากจะทำให้เกิดค่าสูญเสีย [9]

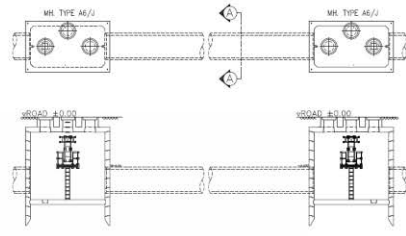
**2.5 ท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว (RTRC)**

ท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว [5][6][9] จะถูกนำมาใช้งานแทนท่อ HDPE ในงานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน เนื่องจากพิจารณาต้านทานความแข็งแรง ทนความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนและอายุการใช้งานที่ต่ำกว่า

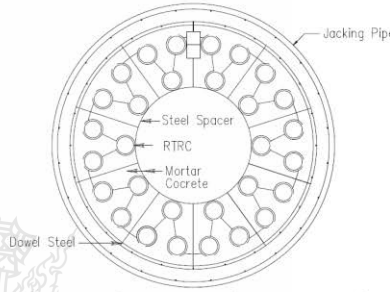
**2.6 ขั้นตอนงานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน**



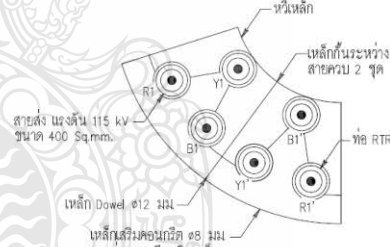
รูปที่ 1 Flow chart ของการก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 2 Plan และ Profile ของบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 3 ภาพตัดท่อนร้อยสายและหนีเหล็กสำหรับจัดเรียงท่อนร้อยสายเคเบิล

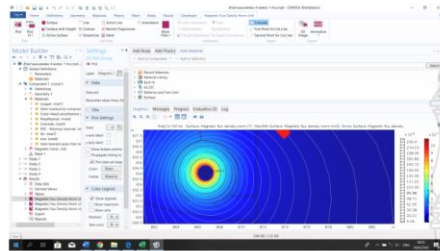


รูปที่ 4 แบบจำลองหนีเหล็ก ท่อร้อยสายเคเบิล และสายเคเบิล

**3. วิธีการดำเนินงาน**

การก่อสร้างสายไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้านครหลวงด้วยวิธี Pipe Jacking นั้น การออกแบบจัดเรียงสายเคเบิลต้องคำนึงถึงสนามแม่เหล็กและอินดักแตนซ์ ดังนั้นการศึกษาก็ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ COMSOL สำหรับจำลอง (simulate) ผลส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงขนาด 115 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 50 Hz และสมมติให้สายส่งวงจรเดียวเป็นสายเคเบิลใต้ดิน ฉนวนหุ้ม Cross-linked Polyethylene

(XLPE) จัดเรียงด้วยโครงหวี โดยหวีจะถูกป้อนพารามิเตอร์ให้เป็นตัวนำ และฉนวนเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 5 โปรแกรมจำลองผล COMSOL สำหรับสร้างรูปแบบการจัดวางสายเคเบิล และ โครงสร้างหวี

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสำหรับจำลองผลเคเบิล สำหรับเป็นข้อมูลป้อนเข้าโปรแกรม COMSOL

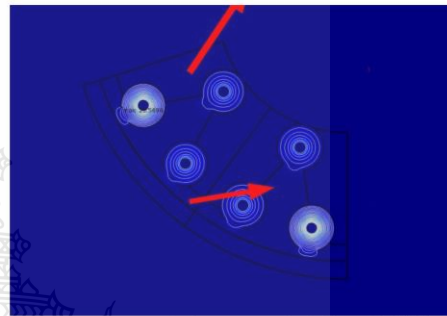
Tables of the Parameters for Simulations of the Power Cable				
Layer	Material	Electric Conductivity	Relative Permittivity	Relative Permeability
1	Copper	5.998e7[S/m]	1	1
2	Semi-conductive Cross-linked polyethylene compound	2 [S/m]	2.25	1
3	Cross-linked polyethylene (XLPE)	1e-18 [S/m]	2.25	1
4	Semi-conductive Cross-linked polyethylene compound	2 [S/m]	2.25	1
5	High-Strength alloy steel	4.032e6 [S/m]	1	1
6	Copolymer Aluminum tape	3.774e7 [S/m]	1	1
7	Polyethylene (PE)	1e-18 [S/m]	2.25	1
8	Steel	1.12e7 [S/m]	1	4000
9	Concrete	1	4.5	1

**4. ผลการจำลอง**

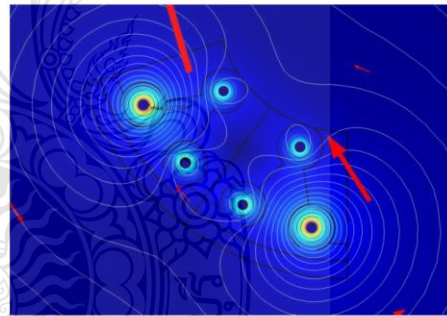
ผลการจำลองโดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของหวีที่เป็นตัวนำและฉนวน

จากรูปที่ 6 เป็นการจำลองสนามแม่เหล็กของสายเคเบิลใต้ดินที่จัดเรียงด้วยหวีเหล็ก จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กไม่เคลื่อนที่ผ่านหวีเหล็กได้ แต่ยังมีสนามแม่เหล็กเพียงเล็กน้อยบางส่วนผ่านบริเวณช่องว่างของหวีเหล็กได้บ้าง

จากรูปที่ 7 เป็นการจำลองสนามแม่เหล็กของสายเคเบิลใต้ดินที่จัดเรียงด้วยหวีเรซินเสริมใยแก้ว จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านหวีเรซินเสริมใยแก้วได้



รูปที่ 6 การจำลองสนามแม่เหล็กของการจัดเรียงท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยหวีเหล็ก



รูปที่ 7 การจำลองสนามแม่เหล็กของการจัดเรียงท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยหวีเรซินเสริมใยแก้ว

จากรูปที่ 8 เป็นกราฟจากการจำลองสนามแม่เหล็กของสายเคเบิลใต้ดินที่จัดเรียงด้วยหวีเหล็ก จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นค่ามากที่สุดระดับ  $38 \times 10^{-6}$  mG

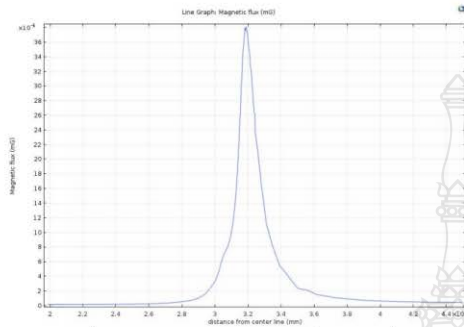
จากรูปที่ 9 เป็นกราฟจากการจำลองสนามแม่เหล็กของสายเคเบิลใต้ดินที่จัดเรียงด้วยหวีเรซินเสริมใยแก้ว จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นสูงกว่าการจัดเรียงด้วยหวีเหล็กมากที่สุด ระดับ 0.8 mG

## บทความวิจัย

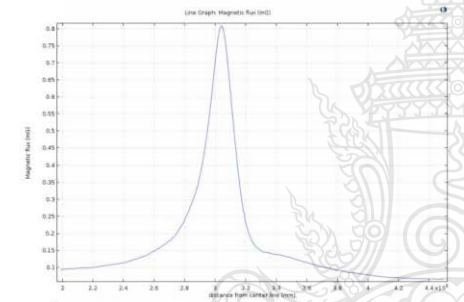
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 12

The 12<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2020 (EENET 2020)

PW-19



รูปที่ 8 กราฟจากการจำลองสนามแม่เหล็กของหวิเหล็ก



รูปที่ 9 กราฟจากการจำลองสนามแม่เหล็กของหวิรีซิ่นเสริมใยแก้ว

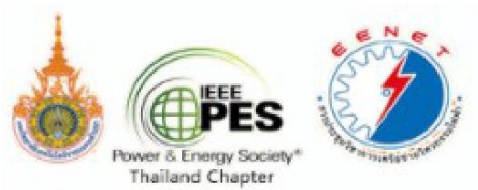
## 5. สรุปผล

จากการวิจัยพบว่าวัสดุเคมิกที่ใช้ทำหวิได้แก่เหล็กซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ช่วยซึมซับ สนามแม่เหล็กและช่วยลดสนามแม่เหล็กจากตัวนำ ขณะเดียวกันหากผลิตหวิด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนอย่างเรซินเสริมใยแก้วตามที่งานวิจัยฉบับนี้เสนอพบว่า ไม่สามารถช่วยลดสนามแม่เหล็กที่ออกจากตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้หวิที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ช่วยลดสนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำ ในการเดินสายเคเบิลใต้ดิน อย่างไรก็ตามการวางหวิเพื่อการติดตั้งเคเบิลไฟฟ้าใต้ดินนั้นติดตั้ง 1 ตัว ทุก ๆ ระยะ 1 เมตรหรือครึ่งเมตรเท่านั้น การเกิดสนามแม่เหล็กในภาพรวมของการติดตั้งเคเบิลไฟฟ้าใต้ดินยังคงมีสนามแม่เหล็กอยู่เช่นเดิมและเป็นไปตามมาตรฐานและควบคุมค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่มีความปลอดภัยให้เป็นไปตามที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) กำหนด โดยได้กำหนดระดับสูงสุดของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากระบบไฟฟ้าความถี่ต่ำ (50 Hz) ที่ประชาชนสามารถสัมผัสได้อย่างปลอดภัย โดยมีขีดจำกัดสูงสุดของ สนามแม่เหล็ก 1,000 mG และสนามไฟฟ้าที่ 5 kV/m ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อแรง (หรือร็อยแรง) จนเป็น

อันตรายต่อคนได้อีกทั้งในแง่ของการก่อสร้าง หวิเหล็กยังแข็งแรงและคงทนมากกว่าอีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Metropolitan Electricity Authority, "Configuration and Circuit Arrangement 30 Duct in Jacking Pipe ID 1.8 m", DWG. NO. 10A4-0708
- [2] Metropolitan Electricity Authority, "Manhole Type A/J (Typical) for Underground Construction (Pipe Jacking Method)", DWG. NO. UG-2-050
- [3] บริษัท เนวรัตน์พัฒนาการ จำกัด(มหาชน) , งานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินบริเวณถนนรามอินทราถึงถนนพหลโยธิน กรุงเทพมหานคร , ฝบค.ค.7/2558 , "รายการคำนวณและแบบละเอียดของบ่อพัก"
- [4] Metropolitan Electricity Authority, "Conduit Steel Spacer for Pipe - Jacking Construction", DWG. NO. 10A4-0885
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 2518 – 2557 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่ออีพ็อกซีเรซินเสริมใยแก้ว สำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์
- [6] การไฟฟ้านครหลวง ฝ่ายบริหารโครงการ "ข้อกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน"
- [7] สุริโย บุญ, วรณวิทย์ เต็มทอง, "ผลกระทบของอุปกรณ์ในงานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง", วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 24 ฉบับที่ 3 กย. - ธ.ค. 2557 หน้าที่ 456 - 466
- [8] คนตรี บุญนาค, "การจัดวางสายและการคำนวณความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลใต้ดินที่ติดตั้งในท่อร้อยสาย", การสัมมนาวิชาการเรื่องระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน, 21-23 มิถุนายน 2560
- [9] Earle C(Rusty) Bascom, 2016."Technical Considerations for Applying Trenchless Technology Method to Underground Power Cables". III, Senior Member, Electrical Consulting Engineers, P.C. Schenectady, New York, Unites States.



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13

20 เมษายน 2564

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความ EENET2021  
เรียน ปรีชา มงคลสวัสดิ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 (The 13<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network : EENET 2021) ที่จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในหัวข้อเรื่อง

การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนของสายไฟฟ้าใต้ดินในท่อย่อยสายไฟฟ้า ที่จัดเรียงด้วยหี  
เหล็กและหีฉนวน

ในกรณีนี้ คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการเครือข่าย มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า บทความดังกล่าวได้ "ผ่านการพิจารณา" โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอแบบปากเปล่า (Oral Presentation) ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 (EENET 2021) แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

( อาจารย์กัจจา ไชยหนู )

ประธานคณะกรรมการดำเนินงาน  
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทร.0-5392-1444 ต่อ 1236

โทรสาร 0-5321-3183 ต่อ 1236

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายปรีชา มงคลสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	13 กันยายน 2517
ที่อยู่	8/100 หมู่ 5 ตำบลทับมา อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 21000
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
การทำงาน	ผู้อำนวยการโครงการ บริษัท เอ็นเนอร์ยี เอ็กซ์ จำกัด
วิชาชีพ	ภาควิศวกร สาขาไฟฟ้ากำลัง (ภพท.51964)
เบอร์โทรศัพท์	09-5808-6739
อีเมลล์	<a href="mailto:preecha@energyx.co.th">preecha@energyx.co.th</a>

