

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลแรงดันไฟฟ้าต่ำ  
และแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง  
แรงดันไฟฟ้าตกในสายและผลกระทบจากฮาร์มอนิก

THE CALCULATION TO FIND AMPACITY AND SIZE OF LOW VOLTAGE  
CABLE AND MEDIUM VOLTAGE CABLE DEPEND ON TYPE OF  
INSTALLATION, VOLTAGE DROP AND THE IMPACT OF HARMONIC



ทิมาญ ดิษสุธรรม

TEEKAYU DISSUTAM

กพ.  
๗๖๙๙๗  
๗๕๔๕

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 60911  
วัน,เดือน,ปี..... - 6 ก.ค. 2549

b..... 11513449  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ISBN 974-15-1926-5 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลแรงดันไฟฟ้าต่ำ และแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันไฟฟ้าตกในสายและผลกระทบจากฮาร์มอนิก
นักศึกษา	นายทีฆายุ ดิษสุธรรม
รหัสประจำตัว	43061170
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สุที บรรจงจิตร

### บทคัดย่อ

ในงานวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยความรวดเร็ว และความถูกต้อง ดังนั้น จึงมีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ ซึ่งการออกแบบหรือวางแผนนั้น ขนาดของสาย ตลอดจน อุณหภูมิแวดล้อม แรงดันไฟฟ้าตกและวิธีการของการเดินสาย เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของงาน ดังนั้นในงานวิจัยที่นำเสนอฉบับนี้ จะเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาคำนวณ โดยในรายละเอียดของงานจะประกอบไปด้วย การหาขนาดกระแสที่ติดตั้งลักษณะต่างๆ ทั้งแรงดันน้อยกว่า และมากกว่า 1 kV ซึ่งการคำนวณที่นำเสนอในงานวิจัยได้มีการเปรียบเทียบกัน 2 วิธีการ คือ ของ IEC และ Neher McGrath ตลอดจนนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของขนาดกระแสตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้า ของ ว.ส.ท. อีกด้วย นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำเสนอผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงผลในรูปของขนาดของสายนิวทรอล

<b>Thesis Title</b>	The Calculation to Find Ampacity and Size of Low Voltage Cable and Medium Voltage Cable Depend on Type of Installation, Voltagedrop and the Impact of Harmonic
<b>Student</b>	Mr. Teekayu Dissutam
<b>Student ID</b>	43061170
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Sulee Bunjongjit

### ABSTRACT

Rapidity and accuracy are the most important factors in planning and designing an electrical system . Thus, a computer is used to facilitate the designing process. The size of cables, thermal ambient, voltage drop and method of installation are factors to be considered in planning and designing . This research proposes a computer aided calculation. The research consists of finding the ampacity of the installation with voltage levels of lower than 1 kV as well as of higher than 1 kV. The comparison between IEC standards with Neher McGrath's is shown in the thesis. The result is, then, compared with the installation standard of E.I.T Standard . In addition the impact of harmonics on the size of neutral conductors is also presented.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจากท่านอาจารย์ ศุติ บรรจงจิตร ซึ่งได้ให้ความเมตตา คำปรึกษาและแนะนำกับผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกทราบบนซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เคารพรักยิ่งตลอดจนพี่น้องและครอบครัวที่ให้การสนับสนุนรวมทั้งผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ และเพื่อนร่วมงานที่ให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันใดอันหนึ่งได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศิษย์ นาย ดิษสุธรรม



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.5 ขอบเขตโครงการ.....	4
1.6 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการศึกษา.....	4
บทที่ 2 พื้นฐานเกี่ยวกับสายเคเบิลกำลัง.....	5
2.1 โครงสร้างของสายเคเบิล.....	5
2.1.1 ตัวนำ.....	5
2.1.2 ฉนวน.....	6
2.1.3 เปลือกสายหรือสายนำกระแสนิวทรัล(Sheath/Concentric Neutral Wries).....	7
2.1.4 เกราะป้องกันสายเคเบิล(Armor).....	7
2.1.5 เปลือกนอก(External Converting).....	8
2.2 ประเภทของสายเคเบิลแบ่งตามลักษณะงาน.....	8
2.2.1 สายเคเบิลที่ใช้กับสถานที่ปกติทั่วไป.....	8
2.2.1.1 สายเคเบิลแรงสูง(High Voltage Cable).....	8
2.2.1.2 สายเคเบิลแรงต่ำ(Low Voltage Cable).....	11

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 สายเคเบิลที่ใช้งานสำหรับสถานที่อันตรายและงานเฉพาะ.....	14
2.2.2.1 สถานที่อันตราย.....	14
2.2.2.2 งานเฉพาะ.....	14
2.2.3 การวิเคราะห์หลักเกณฑ์ในการกำหนดขนาดของสายเคเบิล.....	15
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีการคำนวณหาพิกัดกระแสของสายเคเบิล โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง</b>	
<b>และแรงดันตกในสาย.....</b>	<b>17</b>
3.1 การคำนวณหาพิกัดกระแสของสายเคเบิล แบบ Neher- McGrath.....	17
3.1.1 บทนำ.....	17
3.1.2 การวิเคราะห์เบื้องต้น.....	17
3.1.3 วงจรสมมูลย์ทางความร้อน.....	17
3.1.4 สมการคำนวณค่ากระแส.....	19
3.1.5 สมการคำนวณค่าความต้านทานความร้อน(Thermal Resistance).....	20
3.1.5.1 ความต้านทานความร้อนของฉนวน.....	20
3.1.5.2 ความต้านทานความร้อนของ jacket.....	20
3.1.5.3 ความต้านทานความร้อนของสายเคเบิลใน Ducts.....	21
3.1.5.4 ความต้านทานความร้อนของ cables, conduit หรือ duct เมื่อลอยอยู่ใน	
อากาศ.....	21
3.1.5.5 ความต้านทานความร้อนของดิน.....	21
3.1.6 ตัวอย่างการคำนวณ.....	23
3.1.6.1 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง.....	23
3.1.6.1.1 กรณีเดินลอยในอากาศ.....	23
3.1.6.1.2 กรณีเดินในท่ออลูมิเนียมหนา.....	24
3.1.6.1.3 กรณีแบบเดินฝังดิน.....	25
3.1.6.2 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง.....	26
3.1.6.2.1 เดินใน Duct Bank.....	26

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การคำนวณหากระแสในสายเคเบิลตามมาตรฐาน IEC 287.....	28
3.2.1 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของตัวนำ(AC Resistance of Conductor:R).....	30
3.2.1.1 ความต้านทานไฟกระแสดตรง(DC Resistance of Conductor:R').....	31
3.2.1.2 ผลจากปรากฏการณ์ทางผิว(Skin Effect:Y <sub>s</sub> ).....	31
3.2.1.3 ผลปรากฏการณ์ความใกล้เคียง(Proximity Effect:Y <sub>p</sub> ).....	31
3.2.2 ค่าพลังงานสูญเสียของฉนวนต่อหน่วยความยาวของสายเคเบิล (Dielectric loss:W <sub>d</sub> ).....	32
3.2.3 ตัวประกอบความสูญเสียกำลังในชีท และสกรีนของสายเคเบิลใต้ดิน(Loss Factor of Sheath and Screen:λ <sub>1</sub> ).....	33
3.2.3.1 สายแกนเดี่ยว 2 เส้น และ 3 เส้น วางแบบสามเหลี่ยม มีการชีทที่ปลาย สายทั้งสองลงกราวด์ และมีการสลับสาย.....	33
3.2.3.2 สายแกนเดี่ยว 3 เส้น วางแบบราบ มีการต่อชีทที่ปลายทั้งสองลงกราวด์ และมีการสลับสาย.....	34
3.2.3.3 สายแกนเดี่ยว 1 เส้น มีการต่อชีทลงกราวด์ และที่จุดปลายมีการสลับสาย.....	35
3.2.4 ค่าตัวประกอบความสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องห่อหุ้ม(Power Loss Factor in Armour: λ <sub>2</sub> ).....	37
3.2.4.1 สายเคเบิลเป็นตัวนำแบบกลม(Round).....	37
3.2.4.2 สายเคเบิลเป็นตัวนำแบบเซกเตอร์(Sector).....	37
3.2.5 การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน(Thermal Resistance).....	37
3.2.5.1 ความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำกับชีท(T <sub>1</sub> ).....	37
3.2.5.2 ความต้านทานความร้อนระหว่างชีทกับเครื่องห่อหุ้ม(T <sub>2</sub> ).....	38
3.2.5.3 ความต้านทานความร้อนของฉนวนเปลือกนอกของสายเคเบิล(T <sub>3</sub> ).....	39
3.2.5.4 ความต้านทานความร้อนระหว่างฉนวนเปลือกของสายถึงผิวพื้นดิน (T <sub>4</sub> ).....	39
3.3 แรงดันไฟฟ้าตก.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ทฤษฎีการคำนวณขนาดกระแสของสายเคเบิลเมื่อคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิก.....	43
4.1 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อสายเคเบิลกำลัง.....	43
4.2 การคำนวณอุณหภูมิของตัวนำเมื่อคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิก.....	45
4.3 การคำนวณขนาดกระแสของสายเคเบิลเมื่อคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิก.....	47
บทที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณและวิเคราะห์ผลการศึกษา.....	50
5.1 ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย.....	50
5.1.1 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ.....	50
5.1.2 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง.....	56
5.2 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย.....	58
5.2.1 หลักการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดัง Flowchart ต่อไปนี้.....	58
5.2.2 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ.....	59
5.2.3 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง.....	67
5.3 ตารางแสดงผลลัพธ์เปรียบเทียบทั้ง 3 มาตรฐาน.....	69
5.3.1 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง.....	69
5.3.2 ในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ.....	70
5.4 ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกในสาย.....	74
5.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกในสาย.....	77
5.5.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม.....	77
5.5.2 เปรียบเทียบค่า Derating Factor กับมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี 2545.....	83

## VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.5.3 เปรียบเทียบค่า Derating Factor ที่ได้จากการศึกษานี้และวิธีของ Ajit Hiranandani.....	83
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ปี2545.....	89
ภาคผนวก ข ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	105

### VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอลูมิเนียม.....	6
2.2 คุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE.....	6
3.1 การเปรียบเทียบตัวแปรที่ใช้ในวงจรไฟฟ้ากับวงจรสมมูลย์ทางความร้อน.....	18
3.2 ความหมายของตัวแปรในวงจรสมมูลย์ทางความร้อน.....	19
3.3 ความต้านทานความร้อนของวัสดุต่างๆ.....	22
3.4 ค่าคงที่ A',B'.....	22
3.5 ค่าตัวแปรต่างๆ ของ Duct Bank.....	23
3.6 ค่าคงที่ของตัวแปร U,V และ Y.....	39
5.1 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน Duct Bank ในระบบแรงดันขนาดกลาง.....	69
5.2 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสเดินในท่อโลหะในอากาศ ในระบบแรงดันขนาดกลาง.....	69
5.3 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสเดินฝังดินโดยตรง ในระบบแรงดันขนาดกลาง.....	69
5.4 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสเดินในท่อโลหะฝังดิน ในระบบแรงดันขนาดกลาง.....	70
5.5 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสเดินในท่อโลหะฝังดิน ในระบบแรงดันขนาดกลาง.....	70
5.6 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน Cable Tray ในระบบแรงดันต่ำ.....	70
5.7 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน Surface Metal Raceway ในระบบแรงดันต่ำ.....	71
5.8 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน Surface Nonmetallic Raceway ในระบบแรงดันต่ำ.....	71
5.9 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้ง เดินในอากาศ ในระบบแรงดันต่ำ.....	71
5.10 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน ท่อโลหะฝังดิน ในระบบแรงดันต่ำ.....	72
5.11 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน ท่อโลหะฝังดิน ในระบบแรงดันต่ำ.....	72
5.12 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน ท่อโลหะในอากาศ ในระบบแรงดันต่ำ.....	72
5.13 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน ท่อโลหะในอากาศ ในระบบแรงดันต่ำ.....	73
5.14 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งฝังดินโดยตรง ในระบบแรงดันต่ำ.....	73
5.15 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน ช่องชาร์พ ในระบบแรงดันต่ำ.....	73

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.16 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสติดตั้งใน Wireways ในระบบแรงดันต่ำ.....	74
5.17 แสดงผลค่า Derating Factor เปรียบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี 2545.....	83
5.18 เปรียบเทียบค่า Derating Factor ที่ได้จากการศึกษากับวิธีของ Ajit Hiranandani.....	84



# สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะพื้นที่ที่หน้าตัดตัวนำของสายเคเบิลชนิดต่างๆ.....	5
2.2 แสดงลักษณะของสายเคเบิลตามตารางที่ 4 มอก.11-2531.....	12
2.3 แสดงลักษณะของสายเคเบิลตามตารางที่ 6 มอก.11-2531.....	13
2.4 แสดงลักษณะของสายเคเบิลตามตารางที่ 7 มอก.11-2531.....	13
2.5 แสดงลักษณะของสาย CV.....	14
3.1 วงจรสมมูลย์ทางความร้อน.....	18
3.2 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้า.....	18
3.3 วงจรสมมูลย์ทางความร้อนสำหรับตัวนำเดี่ยวเดินลอยในอากาศ.....	18
3.4 ลักษณะของ Duck Bank ขนาดต่างๆ.....	22
3.5 วงจรสมมูลย์ของสายเคเบิลชนิด 1 แกน.....	29
3.6 วงจรสมมูลย์ของสายเคเบิลชนิด 3 แกน.....	29
3.7 (ก) การวางสายแบบสามเหลี่ยม(Trefoil) (ข) การวางสายเคเบิลแบบราบ(Flat).....	30
3.8 แสดงข้อกำหนดในเรื่องเกี่ยวกับแรงดันตกในสายไฟ.....	42
3.9 แสดงการคำนวณแรงดันไฟฟ้าตกจากเวกเตอร์ไดอะแกรม.....	43
4.1 แสดงผลรวมของกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 ในสายนิวทรอลระบบ 3 เฟส 4 สาย.....	45
5.1 Flowchart โปรแกรมการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดสายเคเบิล ทั้งระบบแรงดันไฟฟ้าขนาด ต่ำ และแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย.....	60
5.2 เริ่มเข้าสู่การทำงานของ โปรแกรม กด next เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลัก.....	62
5.3 เมื่อเข้าสู่หน้าจอหลักผู้ใช้สามารถเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ 3 มาตรฐานดังที่ได้กล่าว มาแล้วข้างต้น.....	63
5.4 เมื่อผู้ใช้เลือกลักษณะการติดตั้งชนิดร้อยท่อโลหะติดตั้งบนกำแพง และป้อนข้อมูล ชนิดสาย ขนาด โหลด อุณหภูมิแวดล้อม ความยาวสาย ค่า POWER FACTOR .....	64
5.5 โปรแกรมแสดงผลเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย.....	65
5.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกกับขนาดสาย.....	66

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 แสดงการทำงานของโปรแกรมในกรณีที่ใช้เลือกแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย โดยวิธีการลดความยาว.....	67
5.8 โปรแกรมแสดงค่าความยาวสายที่ทำการแก้ไข นั่นก็คือ ที่เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย 3 % จะต้องมีความยาวสายไม่เกิน 162 เมตร.....	68
5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายกับความยาวสาย.....	68
5.10 แสดงการทำงานของโปรแกรมในกรณีที่ใช้เลือกแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย โดยวิธีเพิ่มสายจำนวนคู่ควบ.....	69
5.11 โปรแกรมแสดงผลค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกเมื่อทำการแก้ไข โดยการเพิ่มสายคู่ควบแล้ว.....	70
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกกับขนาดสายเมื่อทำการเพิ่มสายคู่ควบ....	83
5.13 แสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณขนาดสายที่เหมาะสมกับโหลด และเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย.....	72
5.14 โปรแกรมแสดงผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย.....	72
5.15 แสดงแผนผังการทำงาน.....	84
5.16 ป้อนข้อมูลขนาด โหลด ขนาดความถี่ Harmonic order เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิตัวนำ.....	85
5.17 โปรแกรมแสดงผลค่า Derating factor ในรูปตัวคูณลดกระแส และแสดงผลค่าขนาดสายใหม่ที่เหมาะสม.....	86
5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Derating factor กับค่าเปอร์เซ็นต์กระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในสาย.....	87

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยความรวดเร็ว และความถูกต้อง ซึ่งการออกแบบและวางแผนนั้น ขนาดของสาย ตลอดจน อุณหภูมิแวดล้อม แรงดันไฟฟ้าตกและวิธีการของการเดินสาย เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของงาน โดยเฉพาะขนาดของสายเคเบิลมีความจำเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะเกี่ยวข้องกับขนาดโหลด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของสายเคเบิลนั้น ได้ถูกออกแบบและเลือกใช้จากข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตและจำหน่าย ซึ่งในปัจจุบัน มีสายเคเบิลให้เลือกใช้มากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันมาก ทั้งทางด้านโครงสร้างของสายเคเบิล ชนิดของตัวนำ ชนิดของฉนวน การใช้งานของสายเคเบิลในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันทำให้คุณลักษณะของสายเคเบิลในด้านความสามารถในการรับกระแสมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิข้างเคียง อุณหภูมิขณะใช้งาน ความร้อนที่เกิดจากลักษณะการติดตั้งที่แตกต่างกัน เช่น การเดินสายลอยในอากาศ เดินสายร้อยท่อบนกำแพงหรือฝังในผนังปูนฉาบ เดินสายฝังดินโดยตรงหรือ เดินสายในรางเคเบิลเป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆอีกเช่น ความร้อนที่เกิดจากสายเคเบิลข้างเคียงขณะใช้งาน ปัจจัยในการกำหนดแรงดันตกคร่อมในสายเคเบิล ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำของตัวเอง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้สายเคเบิลกับไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดแรงดันไฟฟ้า อีกทั้งในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinear devices) ได้แก่ อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานระบบไฟฟ้าและอุตสาหกรรม อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้นในระบบ เมื่อกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านตัวนำของสายเคเบิล จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากความร้อน ซึ่งก่อให้เกิดผลตามมาคือการเพิ่มอุณหภูมิตัวนำในสายเคเบิล และถ้ามีค่าเกินอุณหภูมิของสายเคเบิลที่สามารถรับได้ จะส่งผลให้ขีดความสามารถในการรับกระแสปริมาณกระแสของสายเคเบิลลดลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมดนี้คือสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า เนื่องจากสิ่งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นมีความยุ่งยากสลับซับซ้อนมาก ซึ่งทำให้ไม่มีเวลามากในการที่จะพิจารณาได้ทุกกรณี ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่นิยมที่สุดก็คือ หาพิสัยการรับกระแสจากรางสายเคเบิลที่ได้จากผู้ผลิตและจำหน่าย เปรียบเทียบกับกระแสโหลดที่ต้องการเดินสายเคเบิล ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ผู้ออกแบบจึงได้ทำการเผื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายให้มีขนาดใหญ่ เพื่อให้เพียงพอในการรองรับกระแสโหลดที่มีอยู่ ตรงจุดนี้ผู้ออกแบบมักทำการเผื่อขนาดของสายเคเบิลที่มีขนาดเกินความเป็นจริง และเป็นเหตุให้ต้นทุนในการติดตั้งสายเคเบิลสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือในกรณีผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อาจทำให้เลือกขนาดสายที่ไม่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลตามมาในเรื่องความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า

ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า (จุดที่ปลอดภัยตามมาตรฐานและประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด) ในการคำนวณหาพิคกระแสมและขนาดของสายเคเบิลจึงพยายามศึกษาและวิจัยเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ในการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งคำนึงถึงความสะดวกและความคล่องตัวสำหรับผู้ใช้งานในการออกแบบด้วย โดยใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการประมวลผล

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ออกแบบระบบไฟฟ้า หรือผู้ที่สนใจในเรื่องการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า ในการคำนวณหาพิคกระแสมและขนาดของสายเคเบิลแรงดันไฟฟ้าต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสายและผลกระทบจากฮาร์มอนิก โดยใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นตัวประมวลผล เพื่อให้ได้สายเคเบิลที่มีขนาดที่เหมาะสมที่สุดภายใต้มาตรฐานที่กำหนด สำหรับใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้าในโครงการต่างๆ เพราะเนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการก่อสร้างอาคารสถานที่ต่างๆถูกสร้างขึ้นมาอย่างมากมาย ดังนั้นในการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารสูงเหล่านี้ นอกจากจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยแล้ว เรื่องงบประมาณในการติดตั้งก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา ซึ่งเมื่อพิจารณาในส่วนของงานระบบไฟฟ้านั้น สายเคเบิลเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการพิจารณา กล่าวคือ ผู้ออกแบบมักจะเผื่อขนาดของสายให้มีขนาดใหญ่ เพื่อความปลอดภัย แต่ในบางครั้งก็เกินความจำเป็นอยู่มาก อีกทั้งบางกรณีอาจจะไม่ได้นำองค์ประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาร่วมในการเลือกขนาดของสายเคเบิลจึงทำให้ได้ขนาดสายที่ไม่เหมาะสม อันเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายทั้งในด้านความปลอดภัยและด้านงบประมาณได้ ดังนั้นจึงควรมีทางเลือกใหม่ให้กับผู้ออกแบบระบบไฟฟ้า และผู้สนใจ ให้สามารถเลือกขนาดสายเคเบิลที่เหมาะสม ตามองค์ประกอบแวดล้อมที่ต่างกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการออกแบบระบบไฟฟ้าทั้งในด้านความปลอดภัยและงบประมาณในการติดตั้ง โดยอาศัยคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องอำนวยความสะดวกในการประมวลผลให้มีความคล่องตัวและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าสามารถป้อนค่าองค์ประกอบพื้นฐานดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ที่เกี่ยวข้องกับงานระบบไฟฟ้าที่ออกแบบ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะแสดงผลค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้านำผลที่ได้ไปประกอบการตัดสินใจเพื่อดำเนินงานขั้นตอนต่อไปในการออกแบบระบบไฟฟ้า

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาที่ตั้งไว้ก็คือ ค่าพิกัดกระแสจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนต่างๆ ของสายเคเบิล ถ้าสายเคเบิลสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีเท่าไร ก็ยังสามารถรับกระแสได้ดีด้วยเช่นกัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น วัสดุที่ทำฉนวน วิธีการติดตั้งสายเคเบิล โครงสร้างของสายเคเบิล อุณหภูมิที่อยู่แวดล้อม ลักษณะการติดตั้ง และอีกองค์ประกอบหนึ่งในอดีตที่ผ่านมาไม่ได้นำมาพิจารณา คือ ผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านตัวนำในสายเคเบิล จะเห็นได้ว่าการคำนวณค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิลมีองค์ประกอบในคำนวณอยู่มากมาย จึงเป็นการยุ่งยากในการคำนวณ ดังนั้นถ้าหากการคำนวณค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิลไม่ได้คำนึงถึงองค์ประกอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะทำให้ได้ค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิลที่ไม่ถูกต้อง จึงเป็นต้นเหตุนำมาซึ่งความเสียหายของสายเคเบิลได้ และค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิลเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของการออกแบบระบบไฟฟ้า ดังนั้นผู้ที่ออกแบบระบบไฟฟ้าจึงต้องให้ความสนใจในเรื่องค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิล ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง ในการออกแบบระบบไฟฟ้ายังมีองค์ประกอบในการพิจารณาอีกหลายอย่างอาทิเช่น ขนาดแรงดันตกในสาย ลักษณะการติดตั้ง อุณหภูมิแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังถ้าหากสามารถคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะทำให้การออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านความถูกต้องตามมาตรฐาน ความปลอดภัยในการใช้งานและในด้านงบประมาณในการติดตั้ง ปัญหาของผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าก็คือ เมื่อทำการคำนวณ และออกแบบระบบไฟฟ้าเมื่อคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะทำให้เกิดความล่าช้าและยุ่งยากในการคำนวณและออกแบบระบบไฟฟ้าจากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงนำไปสู่การศึกษาวิจัยครั้งนี้

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

ทฤษฎีและแนวคิดที่ประยุกต์ใช้กับงานศึกษานี้ได้ประยุกต์วิธีการคำนวณความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายเคเบิล [2,4] ซึ่งจะปรากฏอยู่ในรูปของความร้อนภายในตัวนำ ฉนวน และส่วนประกอบต่างๆ ที่เป็นโลหะของสายเคเบิลได้แก่ เปลือกสายโลหะเกราะป้องกันสาย ท่อร้อยสาย เป็นต้น ค่าพิกัดกระแสจะขึ้นอยู่กับเส้นทางที่ความร้อนถูกส่งผ่านไป ตามผิวของส่วนต่างๆ ของสายเคเบิล และกระจายไปรอบๆ อุณหภูมิ ณ ส่วนต่างๆ ที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนนี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state) และมีความสัมพันธ์กับผลรวมของความสูญเสียในรูปความร้อนที่เพิ่มขึ้น กฎการไหลของความร้อนจะคล้ายกับกฎของโอห์ม โดยที่การไหลของความร้อน (Heat flow) จะสอดคล้องกับการไหลของกระแสไฟฟ้าผลต่างของอุณหภูมิจะสอดคล้องกับความต่างศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์หรือต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงดันไฟฟ้า และความต้านทานของความร้อน (Thermal resistance) จะสอดคล้องกับความต้านทานทางไฟฟ้า จากความสัมพันธ์ระหว่าง Heat losses และ Ohmic losses ดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาพิกัดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้

## 1.5 ขอบเขตโครงการงาน

ขอบเขตของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ การหาแนวทางในการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่วางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า ในการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้งในรูปแบบต่างๆ ทั้งบนดิน และใต้ดิน แรงดันตกในสาย และในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการหาขนาดของสายนิวทรัลที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งแนวทางที่เลือกใช้ คือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยให้อำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่วางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้าในการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล เพื่อนำผลที่ได้จากการคำนวณนำไปพิจารณาในการออกแบบต่อไป และผลการคำนวณที่นำเสนอในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบ 2 วิธีการ คือ ของ IEC [4] และ Neher McGrath [2] ตลอดจนนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของขนาดกระแสตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 [5]

## 1.6 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการศึกษา

วิธีที่ใช้ในการดำเนินการศึกษานี้จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยทฤษฎีและสมมติฐานที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกำหนดค่าพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้งในรูปแบบต่างๆ ทั้งบนดิน และใต้ดิน แรงดันตกในสาย รวมทั้งการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ตามองค์ประกอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

## บทที่ 2

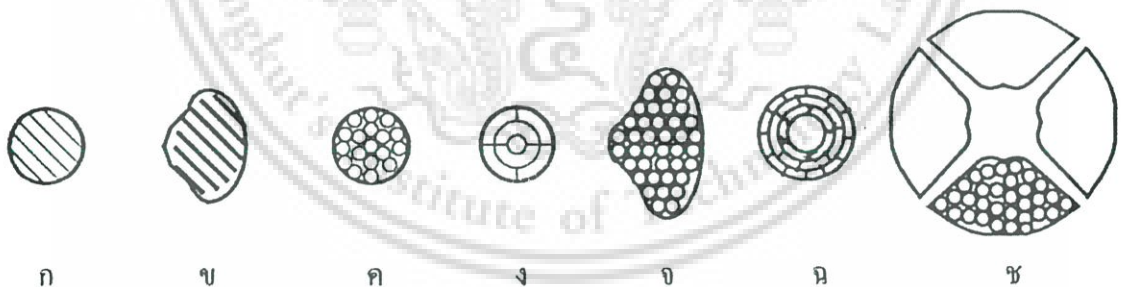
# พื้นฐานเกี่ยวกับสายเคเบิลกำลัง

### 2.1 โครงสร้างของสายเคเบิล

สายเคเบิลมีหน้าที่สำหรับส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ สายเคเบิลก็ถูกจัดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งประกอบไปด้วยตัวนำไฟฟ้า ฉนวน และเปลือกหุ้ม ในการออกแบบสายเคเบิลให้ใช้กับงานด้านต่าง ๆ นั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นสายเคเบิล เพื่อที่สามารถใช้สายเคเบิลที่ถูกออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 2.1.1 ตัวนำ

ตัวนำของสายเคเบิลต้องทำจากวัสดุตัวนำที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ หรืออาจพูดได้ว่ามีความนำไฟฟ้าสูงนั่นเอง ลักษณะของตัวนำ อาจจะเป็นตัวนำเดี่ยวตัน (Solid) หรือตัวนำหลายเส้นตีเกลียว (Strand) ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวนำเล็ก ๆ ตีกันเป็นเกลียว โดยทั่วไปมักนิยมทำด้วยวัสดุทองแดง หรืออลูมิเนียม มีลักษณะกลม หรือเป็นส่วนของวงกลม เช่น เคเบิลน้ำมัน ถ้าตัวนำของสายเคเบิลมีพื้นที่หน้าตัดตั้งแต่  $1,000 \text{ mm}^2$  ขึ้นไป สายตัวนำกลมจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนของวงกลมเพื่อลดปรากฏการณ์ทางผิว และมีรูตรงกลางเพื่อระบายความร้อนด้วยสายหล่อเย็น เช่น น้ำมัน หรือก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดตัวนำของสายเคเบิลชนิดต่างๆ

**ทองแดง** ทองแดงเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมาก มีความแข็งแรงและเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ มีน้ำหนักมากและราคาสูง จึงไม่เหมาะกับงานด้านแรงสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานทั่วไป โดยเฉพาะงานในอาคาร

**อลูมิเนียม** เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง รองจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเอกกระแสนี้เท่ากันแล้ว พบว่าอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่า จึงเหมาะสมกับการใช้งานเดินการไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายไฟนอกอาคาร และแรงดันสูง อลูมิเนียมถ้าทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิล์มบาง ๆ เกาะตามผิวช่วยป้องกันการสึกกร่อน แต่จะมีข้อเสียคือทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ทองแดง	อลูมิเนียม
ความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ทองแดง=100)	100	61
ความต้านทานไฟฟ้าที่ 20° C ( $\Omega\text{m}\times 10^{-8}$ )	1.724	2.803
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Per ° C* $10^{-6}$ )	17	23
จุดหลอมเหลว (°C)	1083	659
ความนำความร้อน (W/cm° C)	3.8	2.4
ความหนาแน่นที่ 20° C ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	8.89	2.7

### 2.1.2 ฉนวน

ฉนวน ทำหน้าที่เป็นตัวหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างตัวนำกับตัวนำ หรือระหว่างตัวนำกับพื้นดิน และป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางเคมีและทางกลต่าง ๆ ได้ ในระหว่างที่ตัวนำนำกระแสไฟฟ้า จะเกิดพลังงานสูญเสียอยู่ในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ซึ่งความสามารถในการทนความร้อนของฉนวนนี้เอง จะไปเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนความร้อนของสายเคเบิลได้ด้วย การเลือกฉนวนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน, ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง ฉนวนที่ดีควรมีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำ และความสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำด้วย วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนมากที่สุดในขณะนี้ก็คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked (XLPE) นอกจากนี้ยังมีฉนวนอีกประเภทหนึ่งซึ่งใช้งานกับสถานที่พิเศษ นั่นก็คือสายฉนวนแร่เปลือกโลหะ (Mineral Insulated Sheath Cable) ซึ่งฉนวนจะเป็นแร่ Magnesium Oxide ตารางที่ 2.2 จะแสดงคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งาน (°C)	70	90
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะลัดวงจร (°C)	160	250
ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	6	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	1.4	0.92
ความนำความร้อน ( $\text{cal/cm}\cdot\text{sec}\cdot\text{C}$ )	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง ( $\text{kg/mm}^2$ )	2.5	3

จะเห็นว่าฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึงมีผู้ใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น

### 2.1.3 เปลือกสายหรือสายนำกระแสนิวทรัล (Sheath/Concentric Neutral Wires)

เปลือกโลหะมีความจำเป็นสำหรับเคเบิลประเภทที่ฉนวนเป็นกระดาษ (paper-insulated) ทำหน้าที่แยกและป้องกันน้ำจากส่วนที่เป็นฉนวน และรักษาความชุ่มชื้นของของเหลวในสายเคเบิลประเภทที่เติมของเหลวที่มีความดันต่ำ (Low-pressure fluid-filled) ช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับสายเคเบิลที่ไม่มีฉนวนและป้องกันฉนวนของสายเคเบิลด้วย นอกจากนี้ เปลือกของสายเคเบิล ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของสายเคเบิล ในการนำกระแสนิวทรัลและ/หรือกระแสฟอลท์ลงสู่ดิน เมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้นในระบบ สายเคเบิลบางประเภท อาจจะมีโครงสร้างที่มีสายนำกระแสนิวทรัล (concentric neutral wires) เพื่อที่จะนำกระแสฟอลท์ แทนเปลือกโลหะ ซึ่งอาจจะเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียมก็ได้

การเชื่อมต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิล 1 แกน ในระบบ 3 เฟส จะมีผลต่อการกำหนดค่าพิคตกระแสของสายเคเบิลด้วย

### 2.1.4 เกราะป้องกันสายเคเบิล (Armor)

ทำหน้าที่ป้องกันสายเคเบิลในการรับแรงเค้นทางกล โดยทั่วไปทำจากลวดเหล็กหรือเทป เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นเหล็ก ดังนั้นจะก่อให้เกิดความสูญเสียฮิสเทอรีซิส (hysteresis) และความสูญเสียของวงจรเปลือกสายจากกระแสไหลวน (circulating current) ขึ้น ซึ่งจะลดความสามารถในการนำกระแสของสายเคเบิลลง เพื่อที่จะลดความสูญเสียฮิสเทอรีซิส สายเคเบิลควรมีโครงสร้างของเกราะป้องกันสายที่ทำมาจากสารที่ไม่ใช่แม่เหล็ก (nonmagnetic) เช่น อลูมิเนียมหรือทองแดง เป็นต้น เมื่อสายเคเบิลซึ่งประกอบไปด้วยเปลือกสายตะกั่ว และเกราะป้องกันสายถูกใช้ติดตั้งในระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยมีระยะห่างระหว่างสายน้อย จะก่อให้เกิดความสูญเสียในเปลือกสายเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกราะป้องกันสายจะมีผลทำให้ความต้านทานของเปลือกสายลดลง (โดยที่วงจรของเปลือกสายและเกราะป้องกันสายต่อขนานกัน) และความสูญเสียจะมีค่ามากที่สุด เมื่อความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ของเปลือกสายมีค่าเท่ากัน โดยทั่วไปเมื่อสายเคเบิลไม่มีเกราะป้องกัน สายค่ารีแอกแตนซ์ของเปลือกสายจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทาน เพื่อที่จะลดค่าความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นนี้ให้

น้อยที่สุดนั้น เกราะป้องกันสายควรทำจากวัสดุที่มีความต้านทานสูง เช่น โลหะผสมระหว่างไม่มีการเหนี่ยวนำ ฟอสฟอรัส อีกทั้งห้ามมิให้ติดตั้งบนเสา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดง, ซิลิคอนและแมงกานีส เมื่อสายเคเบิลถูกจัดวางโดยมีระยะห่างจากกันเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้เกราะป้องกันสายอาจทำมาจากวัสดุที่มีค่าความต้านทานต่ำได้ เช่น โลหะผสมอลูมิเนียม เนื่องจากค่าความต้านทานรวม จะมีค่าต่ำกว่ารีแอกแตนซ์มาก ดังนั้น ความสูญเสียจะมีค่าลดลงด้วย

### 2.1.5 เปลือกนอก (External Coverting)

ชั้นของเปลือกนอกนี้ อาจจะเป็น polyethylene (PE) หรือ polyvinylchloride (PVC) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน เช่น ถ้าเป็นงานกลางแจ้งก็มักจะใช้ polyvinylchloride เนื่องจากคุณสมบัติที่เมื่อต่อการติดไฟ ในขณะที่ polyethylene มักจะใช้งานแบบเดินลอย เนื่องจากคุณสมบัติทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ สายเคเบิลบางชนิดจะมีชั้นของ armor serving ซึ่งทำมาจากวัสดุที่เป็นผ้า (fibrous) หรือมีชั้นของ armor bedding ซึ่งทำมาจากวัสดุประเภทเดียวกัน และมีคุณสมบัติที่ไม่นำไฟฟ้า โดยคั่นอยู่ระหว่างเปลือกโลหะกับเกราะป้องกันสาย เปลือกนอกของสายเคเบิลอาจจะทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากตัวนำสู่ภายนอกลดลง จึงส่งผลให้ความสามารถในการรับกระแสลดลงด้วยค่าความต้านทานความร้อนของเปลือกนอก จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ซึ่ง polyethylene จะมีคุณสมบัติตัวนำทางความร้อนที่ดีกว่า polyvinylchloride

## 2.2 ประเภทของสายเคเบิลแบ่งตามลักษณะของงาน

ในการเลือกใช้สายเคเบิลนั้น ควรคำนึงถึงลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ เนื่องจากสายเคเบิลนั้นมีหลายประเภท แต่ละประเภทนั้นได้ถูกออกแบบมาอย่างเหมาะสมกับงานด้านต่าง ๆ เราจึงแบ่งประเภทของสายเคเบิลตามลักษณะของงานได้เป็น 2 แบบ คือ

### 2.2.1 สายเคเบิลที่ใช้กับสถานที่ปกติทั่วไป

สถานที่ปกติทั่วไปในที่นี้ หมายถึงสถานที่ที่พบเห็นได้โดยทั่วไป ไม่มีข้อจำกัดหรือข้อหวงห้ามพิเศษใด ๆ ที่จะป็นอันตรายต่อบุคคลทั่วไป ดังนั้น สายเคเบิลสำหรับสถานที่ปกติจึงไม่สามารถใช้กับอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรมในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายเนื่องจากสารเคมี เปลวไฟ ความร้อน และความเสียด้านอื่น ๆ สายเคเบิลประเภทนี้ จึงมีคุณสมบัติของฉนวนที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติได้ดีโดยไม่เสื่อมคุณภาพตามสภาพแวดล้อมดังกล่าวโดยง่าย จึงสามารถแบ่งแยกสายเคเบิลประเภทนี้ตามพิกัดแรงดันได้เป็น 2 ชนิด

#### 2.2.1.1 สายเคเบิลแรงสูง (High Voltage Cable)

สายเคเบิลที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูง เป็นสายที่มีขนาดใหญ่ในลักษณะตัวนำตีเกลียว สายเคเบิลแรงสูงยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

##### 1) สายเปลือย (Bare Cables)

เป็นสายที่ไม่มีเปลือกฉนวนหุ้มสาย ถ้าหากนำไปใช้กับระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ภายในองค์กรสื่อสารพลังงานฯ ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า แรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัย จึงใช้สายชนิดนี้กับงานแรงดันสูงระดับ 11kV ขึ้นไป สายเปลือยที่นิยมใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานแรงดันสูงมักจะทำมาจากอลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบา และราคาถูก แต่สายอลูมิเนียมล้วน จะสามารถรับแรงดันได้ต่ำ จึงมีการพัฒนาเพื่อให้สามารถรับแรงดันได้สูงขึ้น โดยการเสริมแกน เหล็กหรือใช้โลหะอื่นผสม สายเปลือยที่นิยม ใช้ในปัจจุบันได้แก่

- สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC:All Alluminium Conductor)

เป็นตัวนำอลูมิเนียมพันตีเกลียวเป็นชั้น ๆ สายชนิดนี้รับแรงดันได้ต่ำ จึงไม่สามารถ จึงสายมีระยะห่างช่วงเสา (span) มาก ๆ ได้โดยปกติความยาวช่วงเสาต้องไม่เกิน 50 m ยกเว้นสายที่ ขนาด 95 mm<sup>2</sup> ขึ้นไปนั้น สามารถที่จะมีระยะห่างช่วงเสาได้ไม่เกิน 100 m

- สายอลูมิเนียมผสม (AAAC:All Alluminium Conductor)

สายชนิดนี้มีส่วนผสมของอลูมิเนียม แมกนีเซียม และซิลิคอน สายชนิดนี้ จะมีความเหนียว และรับแรงดึงได้สูงกว่าสายอลูมิเนียมล้วน จึงสามารถจึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสาได้ มากขึ้น นิยมใช้เดินสายบริเวณชายทะเล เพราะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของไอเกลือบริเวณ ชายทะเลได้ดี

- สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR:Alluminium Conductor steel Reinforced)

เป็นสายอลูมิเนียมตีเกลียว และมีสายเหล็กอยู่ตรงกลาง เพื่อให้สามารถรับแรงดึง ได้สูงขึ้น ทำให้ขยายระยะห่างระหว่างเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้ในบริเวณชายทะเล เพราะว่าจะไม่ทนการกัดกร่อนจากไอเกลือ ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

สายเปลือยทั้ง 3 ชนิด มีใช้ทั่วไปในระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และการไฟฟ้า ภูมิภาค สำหรับสาย AAC นั้นยังมีใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงด้วย แต่ในปัจจุบัน ทางการไฟฟ้าได้มีนโยบายที่จะเลิกใช้สายชนิดนี้แล้ว เนื่องจากมีการลัดวงจรจากสัตว์ และกิ่งไม้ บ่อย และได้หันมาใช้สายหุ้มฉนวนประเภท PIC และ SAC ที่จะกล่าวถึงต่อไป

2) สายหุ้มฉนวน (Insulated Cables)

ในการเดินสายเคเบิลแรงสูง ผ่านบริเวณที่มีผู้คนอาศัยเพื่อความปลอดภัย จะต้องใช้สาย เคเบิลแรงสูงที่มีฉนวนหุ้ม และการใช้สายหุ้มฉนวนยังช่วยลดการเกิดลัดวงจรจากสัตว์ หรือกิ่งไม้ ถูกสายไฟอีกด้วย ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น สายเคเบิลแรงสูงหุ้มฉนวนที่นิยมมีดังนี้

- สาย Partial Insulated Cable (PIC)

ดังได้กล่าวไปแล้วว่า การใช้สายเปลือยจะมีโอกาสเกิดลัดวงจรขึ้นได้ง่าย เพื่อลด ปัญหาจึงได้มีการนำสาย PIC มาใช้แทนสายเปลือย โดยโครงสร้างของสาย PIC นี้จะประกอบด้วย ตัวนำอลูมิเนียมตีเกลียวหุ้มด้วยฉนวน XLPE 1 ชั้นสาย Space Aerial Cable (SAC) แม้ว่าสายชนิด นี้จะมีฉนวน XLPE หุ้ม แต่ก็ไม่สามารถแตะต้องโดยตรงได้ เนื่องจากฉนวนเป็นเพียงฉนวนบาง ซึ่งจะลดการเกิดลัดวงจรของสายเปลือยเท่านั้น การไฟฟ้าได้นำสายชนิดนี้มาใช้ทุกขนาด คือ 35, 50, 95, 120 และ 185 mm<sup>2</sup> มาใช้งาน โดยเดินในอากาศผ่านลูกถ้วยบนเสาไฟแทนสายเปลือย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - สาย Preassembly Aerial Cable (PAC)

สายชนิดนี้ มีโครงสร้างจัดเป็นสาย Fully Insulated มีโครงสร้างคล้ายสาย XLPE เนื่องจากสายชนิดนี้ สามารถวางใกล้กันได้ จึงใช้สายชนิดนี้ เมื่อสายไฟผ่านในบริเวณที่มีระยะห่าง (clearance) กับอาคารจำกัด หรือผ่านบริเวณที่คนอาศัยอยู่ สายชนิดนี้ยังไม่สามารถสภาพไปกับมุมตึกได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานมาก การไฟฟ้าฯ ใช้สายชนิดนี้อยู่ 2 ขนาด คือ 185 และ 240 mm<sup>2</sup> โดยในการเดินสายจะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยค้ำสายด้วย

### - สาย Space Aerial Cable (SAC)

สาย SAC โครงสร้างเป็นตัวนำอลูมิเนียมเคลือบด้วย XLPE หุ้ม เช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีความทนทานมากกว่าสาย PIC ถึงแม้ว่าสายชนิดนี้ จะมีเปลือก (Sheath) หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แต่ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง จะเป็นอันตรายได้ ในการใช้งานสายเคเบิลชนิดนี้ การไฟฟ้าฯ ใช้เป็นวงจรเสริมสำหรับวงจรที่ใช้สาย PIC โดยในการเดินสายจะต้องใช้ Spacer เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสาย สายชนิดนี้ถึงแม้ว่าจะสามารถวางได้ใกล้กันมากกว่าสาย PIC แต่ก็ต้องไม่เกินระยะจำกัดค่าหนึ่ง นอกจากนี้ จะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยค้ำสายไว้ Messenger Wire จะต่อลงดินทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire ขนาดของสายที่การไฟฟ้าฯ ใช้จะมี 3 ขนาด คือ 35, 70 และ 185 mm<sup>2</sup> โดยขนาด 185 mm<sup>2</sup> จะใช้เดินตามถนนสายหลักต่าง ๆ ขนาด 70 mm<sup>2</sup> เป็นสายที่แยกจากถนนหลัก เข้าซอย ส่วนขนาด 35 mm<sup>2</sup> เป็นสายที่แยกจากซอยอีกที

### - สาย Cross – linked Polyethylene (XLPE)

ตัวนำ (Conductor) ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงในลักษณะตีเกลียว (Strand) ซึ่งอาจจะจัดอยู่ในรูปแบบของ copper concentric strand

ชีลด์ของตัวนำ (Conducting shield) ทำด้วยสายกึ่งตัวนำ (Semi conducting Material) มีหน้าที่ช่วยให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนกระจายอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี เป็นการช่วยลดการเกิด Break Down

ฉนวน (Insulation) เป็นชั้นที่หุ้มห่อชั้นชีลด์ของตัวนำอีกทีหนึ่งทำด้วยฉนวน XLPE สายเคเบิลที่ตีฉนวน ผิวด้านนอกของชั้นฉนวนจะต้องเรียบ

ชีลด์ของฉนวน (Insulating Shield) เป็นชั้นของ Semi-Conducting Tape พันทับชั้นของฉนวน จากนั้นก็จะหุ้มด้วยชั้นของ copper tape อีกทีหนึ่งชีลด์ของฉนวนนี้ จะทำหน้าที่จำกัดสนามไฟฟ้า ให้อยู่เฉพาะภายในสายเคเบิล เป็นการป้องกันการรบกวนระบบสื่อสาร นอกจากนี้การต่อชีลด์ลงดิน ยังช่วยลดอันตรายจากการสัมผัสสายเคเบิลด้วย และทำให้เกิดการกระจายแรงดันอย่างสม่ำเสมอเวลาใช้งาน

เปลือกนอก (Jacket) ชั้นของเปลือกนอกนี้ อาจจะเป็น polyvinyl chloride หรือ polyethylene ก็ได้ แล้วแต่ว่าลักษณะของงาน จะเป็นอย่างไร ถ้างานกลางแจ้งก็มักจะใช้ polyvinyl chloride เพราะว่ามันเฉื่อยต่อการติดไฟ ในขณะที่ polyethylene มักจะใช้งานแบบเดินลอย เนื่องจากไม่ไวกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนในกรณีที่ว่าเงเบิลได้ดิน อาจจะมีชั้นของ Service tape ซึ่งอาจทำด้วยชั้นผ้า (Fabric Tape) คั่นระหว่างซิดด์ และเปลือกนอก ช่วยป้องกันเสียดสีและการกระทบกระแทก

สายชนิดนี้สามารถเดินลอยในอากาศหรือฝังดินก็ได้ แต่นิยมใช้ฝังได้ดิน เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน สามารถทนต่อความชื้นได้ดีอยู่แล้ว

### 2.2.1.2 สายเคเบิลแรงต่ำ (Low Voltage Cable)

สายเคเบิลแรงต่ำ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน โดยที่ตัวนำอาจจะใช้ทองแดง หรืออลูมิเนียม แต่ที่นิยมใช้สำหรับสายเคเบิลแรงต่ำจะเป็นสายทองแดง สายขนาดใหญ่ จะมีลักษณะตัวนำเกลียว แต่ถ้าเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็ก ตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยว วัสดุฉนวนที่นิยมใช้กับสายเคเบิลแรงต่ำ ได้แก่ polyvinyl chloride (PVC) และ Cross – linked Polyethylene (XLPE)

สำหรับฉนวน PVC นั้นเดิมตาม มอก.11-2518 ได้แบ่งชนิดของฉนวน PVC ที่ใช้งานเป็น 2 ชนิด คือ ฉนวน PVC ธรรมดา มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และฉนวน Heat Resisting PVC มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส แต่ในปัจจุบัน ตาม มอก.11-2531 จะมีฉนวน PVC เพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส

#### - สายเคเบิลอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC

สายเคเบิลชนิดนี้ จะมีตัวนำเป็นอลูมิเนียม และหุ้มด้วยฉนวน PVC โดยอาจจะเป็น PVC ธรรมดา หรือเป็นแบบ Heat Resisting PVC ก็ได้ สามารถใช้ได้รับแรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ สายเคเบิลชนิดนี้จะเป็นไปตาม มอก.293-2526

สายเคเบิลอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC สามารถใช้งานในระบบจำหน่ายแรงต่ำ เดิมภายนอกอาคารเป็นสายเมน (Main) หรือสายป้อน (Feeder) โดยจะใช้เดินในอากาศเหนือพื้นดินทางการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะใช้สายชนิดนี้เป็นสายเมนแรงต่ำ เดินมาจากหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformers) พาดบนลูกถ้วยตามเสาไฟฟ้า หรือได้ชัชคาบ้านหรือตึกแถว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สายชนิดนี้มีราคาถูก และรับแรงดึงได้พอสมควร

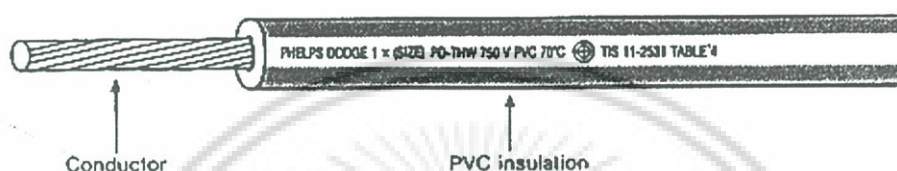
#### - สายเคเบิลทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC

เนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติข้อดีเหนือกว่าอลูมิเนียมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นโลหะที่มีความนำสูงกว่า การตัดต่อก็ทำได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้สายเคเบิลชนิดนี้กันมาก สายทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็เหมาะกับงานแต่ละแบบ ทำให้สามารถใช้สายเคเบิลชนิดนี้ กับงานได้กว้างขวางมาก ตั้งแต่เป็นสายเชื่อมต่อวงจรเล็ก ๆ จนกระทั่งเป็นสายเมน หรือสายป้อน จะขอกกล่าวถึงตัวอย่างสายเคเบิลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 11-2531 บางชนิด ซึ่งมีการใช้งานทั่ว ๆ ไป ตามสถานประกอบการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### - สายเคเบิลตามตารางที่ 4 ของ มอก.11-2531

สายเคเบิลชนิดนี้ มีลักษณะเป็นสายกลมเดี่ยวตัวนำเป็นทองแดงหุ้มฉนวน PVC โดยทั่วไปนิยมใช้สายชนิดนี้เป็นสายวงจรย่อย, สายป้อนและสายเมน ซึ่งแต่เดิม มอก.11-2518 ได้แบ่งสายชนิดนี้ออกเป็น 2 แบบ ตามชนิดของฉนวน PVC คือ ชนิดที่อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จะมีชื่อเรียกว่า TW และชนิดที่อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส มีชื่อเรียกว่า THW แต่ในปัจจุบันตาม มอก.11-2531 สายไฟชนิดนี้มีแบบเดียวคือ มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป



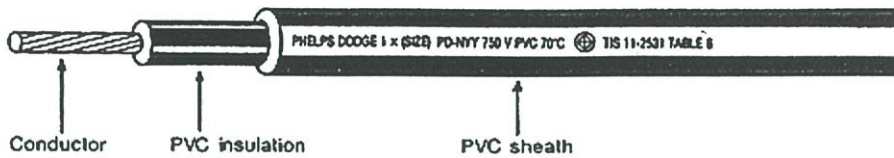
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของสายเคเบิลตามตารางที่ 4 มอก. 11-2531

#### ข้อกำหนดการใช้งาน

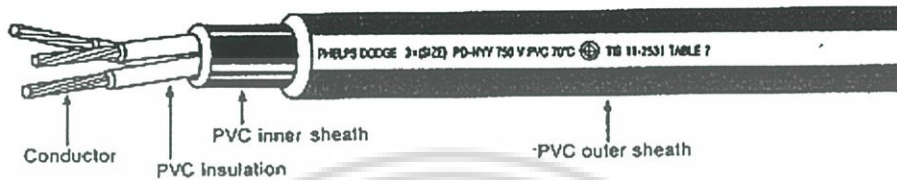
- แรงดันใช้งาน : 750 v
  - อุณหภูมิใช้งาน : 70 องศาเซลเซียส
  - สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
  - ลักษณะการติดตั้ง : เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน  
: เดินในท่อไร้สาย ในสถานที่แห้ง  
: เดินในท่อร้อยสายฝังดิน ต้องป้องกันไม่ให้ น้ำเข้าท่อ
- และป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ
- : ห้ามฝังดินโดยตรง

#### - สายเคเบิลตามตารางที่ 6,7 ของ มอก.11-2531

เป็นสายที่มีฉนวน 2 ชั้น โดยฉนวน PVC ชั้นใน จะทำหน้าที่เป็นฉนวนหุ้มตัวนำเอาไว้แล้วจะมีฉนวน PVC ชั้นนอกอีกชั้นหนึ่ง มีหน้าที่เป็นเปลือก (Sheath) ซึ่งสามารถทนความชื้นได้สูง สายชนิดนี้จึงสามารถฝังดินได้โดยตรง สายตามตารางที่ 6 จะเป็นชนิด 1 แกน มีเปลือกชั้นเดียว สายตามตารางที่ 7 เป็นชนิด 2 ถึง 4 แกน มีเปลือกหุ้ม 2 ชั้น โดยทั่วไปนิยมใช้สายชนิดนี้เป็นสายป้อนและสายเมนจะเรียกสายชนิดนี้ว่า สาย NYV ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสายเคเบิลตามตารางที่ 6 มอก. 11-2531



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะสายเคเบิลตามตารางที่ 7 มอก. 11-2531

**ข้อกำหนดการใช้งาน**

- แรงดันใช้งาน : 750 v
- อุณหภูมิใช้งาน : 70 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง : ใช้งานได้ทั่วไป , ผึงดินโดยตรง

**- สายเคเบิลทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE**

เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวน XLPE ที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูงมีความแข็งแรง ทนต่อแรงทางกลและการกัดกร่อนทางเคมีได้ดี ในปัจจุบัน จึงมีการใช้สายเคเบิลที่หุ้มด้วยฉนวน XLPE มากขึ้น โดยสายชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า สาย CV ซึ่งไม่อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) แต่จะใช้มาตรฐานอื่น เช่น IEC 502 โดยทั่วไปสายชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้เหมือนกับสาย NYY จึงนิยมใช้เป็นสายป้อนหรือสายเมน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



**REFERENCES**

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1. Copper Conductor | 4. Separator Tape |
| 2. Separator Tape   | 5. PVC Jacket     |
| 3. XLPE Insulation  |                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของสาย CV**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อกำหนดการใช้งาน

- แรงดันใช้งาน : 0.6/1 KV
- อุณหภูมิใช้งาน : 90 องศาเซลเซียส
- สถานที่ใช้งาน : สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
- ลักษณะการติดตั้ง : ใช้งานได้ทั่วไป , ฝังดินโดยตรง

## 2.2.2 สายเคเบิลใช้งานสำหรับสถานที่อันตรายและงานเฉพาะ

### 2.2.2.1 สถานที่อันตราย

หมายถึง สถานที่ใด ๆ ที่มีโอกาสและความเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างไม่คาดฝัน ถ้าหากไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบข้อบังคับของเจ้าของสถานที่อย่างเคร่งครัด โดยทั่วไป สถานที่อันตรายที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิลที่จะกล่าวถึงที่เห็นได้บ่อย ๆ ก็คือ โรงกลั่นน้ำมัน คลังเก็บน้ำมัน โรงแยกแก๊ส โรงงานผลิตไนโตรเจนเหลว รวมทั้งสถานที่ไวไฟ ทุกประเภท นอกจากนี้ยังรวมไปถึงสถานที่ที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อวัสดุฉนวนได้ง่าย เช่น โรงงานปิโตรเคมี โรงปูน ฯลฯ ดังนั้น สายเคเบิลที่สามารถใช้กับงานในสถานที่อันตรายนี้ จะต้องถูกออกแบบให้ได้ตามมาตรฐานของความปลอดภัยสำหรับงานนั้น ๆ ด้วย เช่น สายเคเบิลที่ใช้กับโรงกลั่นน้ำมัน จะต้องมีการก่อสร้างที่ทำด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันการถูกทำลายจากน้ำมันได้ เช่น มีเปลือกสายตะกั่วห่อหุ้มสายเคเบิลด้านนอก และต้องมีคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟ เป็นเหตุให้สายเคเบิลถูกทำลายได้ เป็นต้น

- สาย HOFR - Heat resistant, oil resistant and flame retardant cables for general application

- สาย ZH - Zero halogen cables for enclosed accommodation or working areas

- สาย FS - Fire Survival cables for essential circuit integrity

- สาย MI - Mineral insulated metal sheath cable for hazard areas

สายเคเบิลดังกล่าวมีทั้ง Power cable Control และ Instrument Cable

### 2.2.2.2 งานเฉพาะ

หมายถึง งานที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างจากงานทั่วไป เช่น สายเคเบิลใต้น้ำ สายเหมือง สายที่ใช้ในเรือ สายที่ใช้งานกับลิฟท์ที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้ ยังมีสภาวะบางอย่างที่มักจะมองข้ามกันไป เช่น การใช้งานกับโหลดที่เป็นตัวกำเนิดฮาร์มอนิก เนื่องจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง จะทำให้เกิดความสูญเสียที่อยู่ในรูปของความร้อน เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของสายเคเบิลสั้นลง โหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดของฮาร์มอนิก สูง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ UPS มอเตอร์ หม้อแปลงและอุปกรณ์ที่เป็นพวกโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นทุกประเภทสายเคเบิลที่ใช้ในงานเฉพาะได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - สายโพลีเมอร์ทนไฟ (Fire Resistant Polymeric Cable)

สายชนิดนี้เรียกสั้น ๆ ว่า สาย F.R. จะมีชั้นของฉนวนไมก้า ที่สามารถทนอุณหภูมิได้สูงประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชม. ตามมาตรฐานการทดสอบของ IEC 331 ไม่เหมาะสมกับงานที่อยู่ในสภาวะของการเกิดเพลิงไหม้ที่มีระบบ ควบคุมครบวงจร เนื่องจากมาตรฐานของ IEC 331 ไม่ครอบคลุมถึงผลกระทบทางกลและน้ำ ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการดับเพลิงของเจ้าหน้าที่ ดังนั้นสายทนไฟชนิดนี้ จะต้องเดินในท่อเพื่อป้องกันและผลกระทบทางกลที่อาจเกิดขึ้นได้

### - สายเคเบิลฉนวนแร่เปลือกโลหะ (Mineral Insulated Metal Sheathed Cable)

สายชนิดนี้ เรียกสั้น ๆ ว่า สาย M.I. ขบวนการผลิตสายชนิด M.I. แตกต่างกับสายชนิดอื่นโดยสิ้นเชิง เรียกว่าขบวนการผลิตแบบรีดเย็น ตามมาตรฐานของ IEC 702 ซึ่งสายปกติทั่วไป จะใช้กรรมวิธีฉีดพลาสติก หรือที่เรียกว่า Extrudeตามมาตรฐาน IEC 502 โครงสร้างของสายชนิด M.I. ประกอบไปด้วยตัวนำที่ทำมาจากทองแดงเท่านั้น และมีฉนวนที่เป็นผงแร่ของ Magnesium oxide และหุ้มด้วยเปลือกสายทองแดงอีกชั้นหนึ่ง (copper sheath) แต่เมื่อนำไปใช้กับสถานที่ที่อาจเกิดการกัดกร่อนจากไอของเกลือ หรือสารเคมี จะต้องหุ้มเปลือกสายที่เป็น PVC ห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่ง คุณสมบัติของสายเคเบิลชนิด M.I. จะเหนือกว่าสายชนิด FR เนื่องจากเป็นสายเคเบิลที่มีวัสดุเป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic Material) ดังนั้น จึงย่อยสลายไปตามสภาวะแวดล้อม มีความทนต่อสภาวะแวดล้อมในทุก ๆ สภาวะ แม้กระทั่งการเกิดเพลิงไหม้

#### 2.2.3 การวิเคราะห์หลักเกณฑ์ในการกำหนดขนาดของสายเคเบิล

ตัวแปรที่มีผลต่อการกำหนดขนาดของสายเคเบิล ที่เหมาะสมนั้นมีหลายประการ เช่น อุณหภูมิรอบข้าง ค่าความต้านทานความร้อน การสูญเสียที่ตัวนำ และส่วนประกอบที่เป็นโลหะ เนื่องจากกระแสไฟฟ้า การสูญเสียที่ฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า ผ่านฉนวนไฟฟ้า แรงดันตก และพิสัยการทนต่อกระแสลัดวงจร เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวแปรที่กำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล ในอดีตที่ผ่านมา การคำนวณหาขนาดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสายเคเบิล และระบบจะกำหนดมาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าว แต่ในปัจจุบันนี้ มีการใช้อุปกรณ์ประเภทที่ส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไม่เป็นเชิงเส้น ในงานอุตสาหกรรมมากมาย อุปกรณ์เหล่านี้จะก่อให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้น ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่เกิดจากผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อสายเคเบิล ได้แก่ ความสูญเสียในรูปความร้อน ซึ่งก่อให้เกิดผลตามมาก็คือ การเพิ่มอุณหภูมิของตัวนำ เปลือกโลหะ เกราะป้องกันสายและส่วนประกอบโลหะอื่น ๆ ในระบบของสายเคเบิลนั้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขีดความสามารถในการรับปริมาณกระแสของสายเคเบิลลดลง กำลังสูญเสียทางความร้อนต่าง ๆ จะต้องถูกส่งผ่านความร้อนออกสู่ด้านนอกของสายเคเบิล โดยผ่านชั้นของฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีค่าความต้านทานความร้อน  $R_{th}$  ไม่เท่ากัน ความแตกต่างของอุณหภูมิจากอุณหภูมิของตัวกลางรอบ ๆ สายเคเบิล ย่อมจะต้องมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ ขอบเขตจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิของฉนวนไฟฟ้าของสายเคเบิล เช่น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนไฟฟ้าประเภทวัสดุสังเคราะห์ PVC ชิดจำกัดของอุณหภูมิขณะใช้งานที่ยอมให้ได้สูงสุดที่ตัวนำเพียง 70°C หรือฉนวน XLPE ทนได้ 90°C เป็นต้น ในการคำนวณหาขนาดกระแสไฟฟ้าที่สายเคเบิลสามารถรับได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ทำให้อุณหภูมิที่ตัวนำเพิ่มขึ้นขีดความสามารถ ที่ฉนวนไฟฟ้าห่อหุ้มตัวนำนั้นจะทนได้ จำเป็นต้องแยกแยะอุณหภูมิที่ตัวนำเพิ่ม ออกเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ เปลือกโลหะ เกราะป้องกันสาย และท่อร้อยสาย จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความร้อนที่เพิ่มขึ้น เราสามารถคำนวณหาขนาดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้เมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านตัวนำในรูปของตัวคูณลดกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีการคำนวณหาพิคัดกระแสของสายเคเบิล โดยคำนึงถึง ลักษณะการติดตั้ง และแรงดันตกในสาย

### 3.1 การคำนวณหาพิคัดกระแสของสายเคเบิล แบบ Neher-McGrath

#### 3.1.1 บทนำ

กล่าวถึงการใช้ Neher-McGrath (NM) คำนวณหาค่าพิคัดกระแสในสายเคเบิล (ไม่มี Shield 2000 V) โดยอธิบายในรูปวงจรมูลยทางความร้อน พร้อมมีตัวอย่างเพื่อแสดงให้เห็นด้วย

ในปี 1975 Neher และ McGrath ได้นำเสนอผลงานออกสู่สาธารณชน โดยกล่าวถึงการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ กับอุณหภูมิขณะทำงาน ซึ่งได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรูปแบบตัวนำและเงื่อนไขการติดตั้งแบบต่าง ๆ ได้ด้วย

เพื่อให้่ายขึ้นต่อการคำนวณค่าต่าง ๆ ในบทนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะในสภาวะคงตัว (steady-state) เท่านั้น

วิธีการคำนวณแบบ Neher-McGrath ได้รับการยอมรับจากหลาย ๆ สถาบันเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณหากระแสในสายเคเบิล เช่น NEC, ICEA เป็นต้น

#### 3.1.2 การวิเคราะห์เบื้องต้น

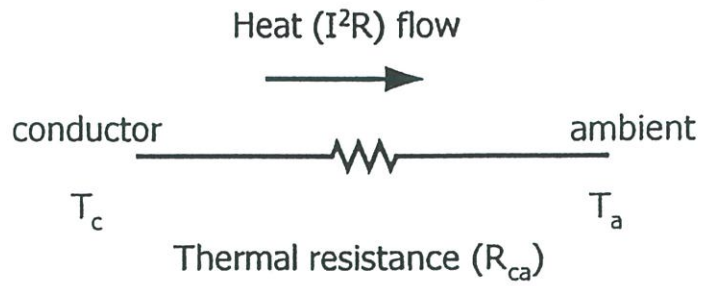
เมื่อกระแสถูกผ่านเข้าไปในตัวนำ จะทำให้เกิดความร้อน ( $I^2R$ ) ซึ่งความร้อนนี้จะแผ่กระจายออกไปยังอากาศรอบ ๆ ตัวนำหรือผ่านไปสู่ดินในกรณีที่ตัวนำเป็นแบบฝัง เนื่องจากระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ถูกจำกัดโดยพิคัดอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนเคเบิล ดังนั้น พิคัดอุณหภูมิของฉนวนจึงเป็นขีดจำกัดกระแสใช้งานของสายเคเบิล ความร้อน  $I^2R$  ที่เกิดขึ้นในสายเคเบิล นำมาเขียนเป็นวงจรมูลยทางความต้านทานความร้อนได้ดังรูปที่ 5.1 และจากรูปที่ 5.1 แปลงให้อยู่ในรูปวงจรมูลยทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 5.2 สัญลักษณ์และหน่วยของตัวแปรในรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 แสดงดังตารางที่ 5.1

#### ข้อสังเกต

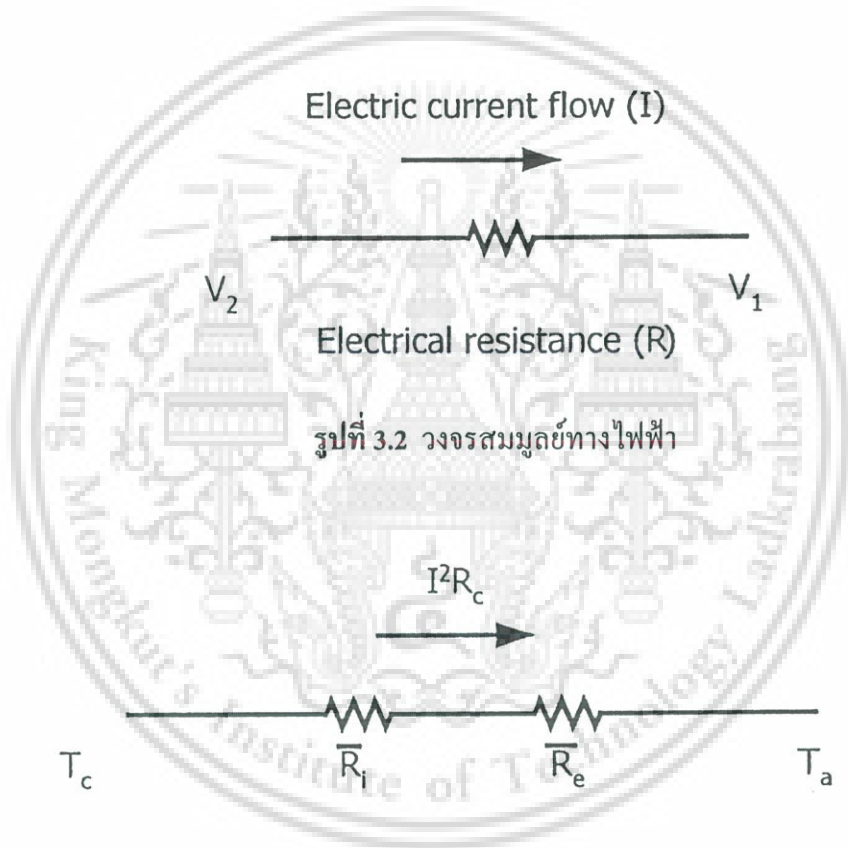
ในตารางที่ 3.2 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ที่มีตัวห้อยต่าง ๆ ซึ่งตัวห้อยเหล่านี้ จะมีความหมายสอดคล้องตามตำแหน่งนั้น ๆ ของวงจรมูลยทางความร้อน

#### 3.1.3 วงจรมูลยทางความร้อน

การคำนวณตามวิธี Neher-McGrath จะต้องเขียนวงจรมูลยทางความร้อนตามรูปแบบเอกสารนี้ และการติดตั้งของสายเคเบิลนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น เคเบิลแบบ 1-แกน เดินในอากาศมีวงจรมูลยทางความร้อนดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลย์ทางความร้อน



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลย์ทางความร้อนสำหรับตัวนำเดี่ยวดนในอากาศ

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบตัวแปรที่ใช้ในวงจรไฟฟ้ากับวงจรสมมูลย์ทางความร้อน

Electrical Circuit			Thermal Circuit		
สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย	สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย
V	Voltage	V	T	Temperature	$^{\circ}C$
I	Current	A	$I^2R$	Heatflow	W/ft
R	Resistance	$\Omega$	$R$	Thermal resistance	$^{\circ}C.ft/W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ความหมายของตัวแปรในวงจรสมมูลย์ทางความร้อน

สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย
$T_c$	Conductor temperature	$^{\circ}\text{C}$
$T_a$	Ambient temperature	in
$R_c$	Conductor resistance thermal resistance	$\mu\Omega/\text{ft}$
$\bar{R}_i$	Insulation	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$
$\bar{R}_j$	Jacket	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$
$\bar{R}_{sd}$	Between cable and surrounding enclosure	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$
$\bar{R}_d$	Duct wall	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$
$\bar{R}_e$	Between cable and ambient air	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$
$\bar{R}_{ca}$	Total between conductor and ambient	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$
$\bar{R}_c$	Earth	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$

การหาวงจรสมมูลย์ทางความร้อนของสายเคเบิล มีขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นที่ 1 หาค่าความต้านทานความร้อนในแต่ละส่วน

ขั้นที่ 2 นำค่าความต้านทานความร้อนส่วนต่าง ๆ ระหว่างตัวนำและอากาศรอบข้างรวมเข้าด้วยกัน

ขั้นสุดท้าย นำค่าความต้านทานที่ได้ในขั้นที่ 2 มาต่ออนุกรมกัน ส่วนสมการของ Neher-McGrath เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน แสดงไว้ในหัวข้อ 4.4 ซึ่งมีทั้งตัวนำแบบแกนเดี่ยวและ 3 แกน ทั้งแบบเดินลอยในอากาศ ร้อยท่อเดินในอากาศ เดินในท่อฝังดิน และฝังดินโดยตรง

### ความร้อน

ความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในสายตัวนำเนื่องจากกระแสไหลผ่านมีค่า  $= I^2 R_{ac}$  ( $R_{ac}$  คือความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ) ในที่นี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจะแสดงในหน่วยของ W/ft

ในบางระบบ ความร้อนที่เกิดขึ้นในสายตัวนำเป็นผลรวมจากจำนวนของเคเบิล metallic shield และ raceway อย่างไรก็ตามสำหรับระบบ 2000V. ค่า dielectric loss มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่ได้คิดผลจาก metallic shield และ raceway ส่วนค่า mutual heating จากสายเคเบิลที่วางอยู่ใกล้กันจะนำมาคิดด้วยในสมการ เพื่อหาความต้านทานความร้อน

### 3.1.4 สมการคำนวณหาค่ากระแส

ความร้อนที่เกิดขึ้นในสายตัวนำ (W/ft) คูณด้วย ความต้านทานความร้อนจากตัวนำถึงอากาศรอบข้าง ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$ ) แสดงถึงระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำจากอุณหภูมิรอบข้างนั่นคือ

$$(I^2 R_{ac}) \times \bar{R}_{ac} = T_c - T_a \quad (3.1)$$

หรือ

$$I = \sqrt{\frac{T_c - T_a}{R_{ac} \times R_{ca}}} \quad (3.2)$$

(I มีหน่วยเป็น kA เพราะ  $R_{ac}$  มีหน่วยเป็น  $\mu\Omega/\text{ft}$ )

สมการที่ (3.2) แสดงถึงกระแสของตัวนำซึ่งสัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิเมื่อมีรูปแบบการใช้งานแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นค่ากระแสที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ฉนวนของสายเคเบิลนั้น ๆ จะยอมรับได้

### 3.1.5 สมการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน(Thermal Resistance)

#### 3.1.5.1 ความต้านทานความร้อนของฉนวน

$$\bar{R}_i = 0.012 \bar{\rho}_i \log(DI/DC) \quad (3.3)$$

เมื่อ DC คือเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ

DI คือเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวน

$\bar{\rho}_i$  คือความต้านทานความร้อนของวัสดุ ( $\bar{\rho}_i$  ของวัสดุต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5.3)

#### 3.1.5.2 ความต้านทานความร้อนของ jacket

$$R_j = 0.0104 \bar{\rho}_j n' \frac{t}{D-t} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\bar{\rho}_j$  = ความต้านทานความร้อนของวัสดุ ( $\bar{\rho}_j$  ของวัสดุต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 5.4)

T = ความหนาของ jacket

D = เส้นผ่าศูนย์กลางรวม jacket

$n'$  = จำนวนตัวนำกระแสภายใน D

= ความต้านทานความร้อนของผนังท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5.3 ความต้านทานความร้อนของสายเคเบิลใน Ducts

$$\bar{R}_{sd} = \frac{n'A'}{D_s' + B'} \quad (3.5)$$

- เมื่อ  $n'$  = จำนวนตัวนำกระแสภายใน  $D_s$   
 $D_s'$  = effective diameter ของเคเบิลใน duct  
 $A', B'$  = ค่าคงที่ดังตารางที่ 5.4

### 3.1.5.4 ความต้านทานความร้อนของ cables, conduit หรือ duct เมื่อลอยอยู่ใน

อากาศ

$$\bar{R}_e = \frac{9.5n'}{1 + 1.7D_s'(\epsilon + 0.41)} \quad (3.6)$$

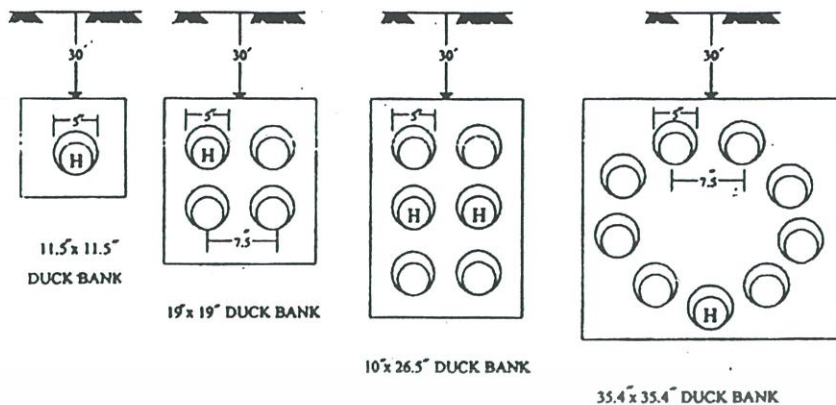
เมื่อ  $\epsilon$  = effective diameter of surface emissivity

### 3.1.5.5 ความต้านทานความร้อนของดิน

$$\bar{R}_{e'} = 0.012 \bar{\rho}_e n' \left[ \log \frac{8.3}{D_e} + LF \log \frac{4L \times F}{8.3} \right] \quad (3.7)$$

- เมื่อ  $n'$  = จำนวนตัวนำกระแสภายใน  $D_e$   
 $\bar{\rho}_e$  = ความต้านทานความร้อนของดิน  
 $LF$  = loss factor  
 $L$  = ความลึกของการฝังดิน  
 $D_e$  = เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนที่เริ่มในดินของวงจรสมมูลย์ความร้อน  
 (diameter at start of the earth portion of the thermal circuit)  
 $F$  = mutual heating factor (ดังตารางที่ 5.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะของ duct bank ขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 3.3 ความต้านทานความร้อนของวัสดุต่าง ๆ

วัสดุ	$\bar{p}_i$ ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{ft}/\text{W}$ )
Paper insulator (solid type)	700
Varnished insulator	600
Paper insulator (other type)	500
Rubber and rubber-like	500
Jute and textile protective covering	500
Fiber duct	480
Polyethylene	450
Transits duct	200
Somastic	100
Concrete	85

ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่ A', B'

Condition	A'	B'
In metallic conduit	3.2	0.19
In fiber duct in air	5.6	1.33
In fiber duct in concrete	4.6	0.27
In metallic duct in air	4.4	0.26
In metallic duct in concrete	3.7	0.22
Gas-filled pipe cable at 200 lb/in <sup>2</sup>	2.1	0.68
Oil-filled pipe cable	2.1	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวแปรต่างๆ ของ duct bank

Condition	Figure	n'	N	L	F
One three-conductor cable	1	3	1	35.8	1
Three three-conductor cable	2	3	3	35.8	102
Six three-conductor cable	3	3	6	43.3	$1.02 \times 10^5$
Nine three-conductor cable	4	3	9	57.7	$6.81 \times 10^6$
Three single-conductor cable	2	1	3	35.8	102
Six single-conductor cable	3	1	6	43.3	$1.02 \times 10^5$
Nine single-conductor cable	4	1	9	57.7	$6.81 \times 10^6$

### 3.1.6 ตัวอย่างการคำนวณ

#### 3.1.6.1 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง

##### 3.1.6.1.1 กรณีเดินลอยในอากาศ

ให้คำนวณหากระแสของ I/O AWG compact aluminum XHMW อุณหภูมิ

รอบข้าง 40 °C

- เส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ (DC) = 0.336 นิ้ว
- ความหนาของฉนวน (2t) = 0.120 นิ้ว
- ความต้านทานความร้อนของฉนวน = 400 °C ft/W
- effective diameter of surface emissivity ( ) = 0.95
- $R_{dc}$  ของ cable ที่ 25°C = 168  $\mu\Omega$ /ft
- ac/dc = 1.00
- พิกัดอุณหภูมิของฉนวน = 90 °C

วิธีทำ:

$$DC = 0.336$$

$$DI = DC + 2t = 0.456$$

$$\begin{aligned} \bar{R}_i &= 0.012 \bar{\rho}_i \log\left(\frac{DI}{DC}\right) = 0.012(400) \log\left(\frac{0.456}{0.336}\right) \\ &= 0.637 \end{aligned}$$

$$\bar{R}_e = \frac{9.5n'}{1+1.7Ds(\epsilon+0.41)} = \frac{9.5(1)}{1+1.7(0.456)(0.95+0.41)}$$

$$= 4.625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อผิดพลาดและข้อสงสัยของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{R}_{ca} = \bar{R}_i + \bar{R}_e = 0.637 + 4.625 = 5.262$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } R_{DC} \text{ ที่ } 90^{\circ}\text{C} &= 168 \times \frac{228.1+90}{228.1+25} \\ \text{จาก } R_{ac} \text{ ที่ } 90^{\circ}\text{C} &= 168 \times \frac{228.1+90}{228.1+25} \times 1.0 \\ &= 211 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{T_c - T_a}{R_{ac} \times R_{ca}}} = \sqrt{\frac{90 - 40}{211 \times 16.8}} \\ &= 119 \text{ A} \end{aligned}$$

### 3.1.6.1.2 กรณีเดินในท่ออลูมิเนียมหนา

คำนวณหากระแสของ three I/O AWG compact aluminum XHMW cable ซึ่งร้อยในท่ออลูมิเนียมขนาด 1 1/4 (ID=1.38 นิ้ว, OD=1.66 นิ้ว) อุณหภูมิรอบข้าง 40 °C

ข้อมูล	DC	=	0.336 นิ้ว
	2t	=	0.120 นิ้ว
	$\bar{\rho}_i$	=	400 °C ft/W
	$R_{dc} \text{ } 25^{\circ}\text{C}$	=	168 $\mu\Omega/\text{ft}$
	ac/de	=	1.00
	$T_c$	=	90°C
	$\epsilon$	=	0.5
	A'	=	3.2
	B'	=	0.19

วิธีทำ :

จากหัวข้อที่ 5.6.1

$$\begin{aligned} \bar{R}_i &= 0.637 \\ \bar{R}_{sd} &= \frac{n \cdot A'}{Ds' + B'} \end{aligned}$$

จาก

$$Ds' = 216DI = 216 \times (0.456/100) = 0.984$$

$$\bar{R}_{sd} = \frac{3(3.2)}{0.984 + 0.19} = 8.177$$

$$\bar{R}_e = \frac{9.5n'}{1 + 1.7Ds'(\epsilon + 0.41)} = \frac{9.5(3)}{1 + 1.7(1.66)(0.5 + 0.41)} = 7.987$$

$$\bar{R}_{ca} = \bar{R}_i + \bar{R}_e + \bar{R}_{sd} = 0.637 + 8.177 + 7.987 = 16.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหัวข้อที่ 5.6.1

$$R_{ac} = 211$$

$$I = \sqrt{\frac{T_c - T_a}{R_{ac} \times R_{ca}}} = \sqrt{\frac{90 - 40}{211 \times 16.8}}$$

$$= 119 \text{ A}$$

### 3.1.6.1.3 กรณีแบบเดินฝังดิน

คำนวณหากระแสของ three I/O AWG concentric copper type USE cables. เดินแบบฝังดินลึก 36 นิ้ว มี loss factor เท่ากับ 0.75 เท่ากับ 90 °C cm/W. อุณหภูมิรอบข้าง 20 °C

ข้อมูล DC	=	0.373 นิ้ว
2t	=	0.160 นิ้ว
$\bar{\rho}_i$	=	400 °C ft/W
$R_{dc} \text{ } 25^{\circ}\text{C}$	=	106 $\mu\Omega/\text{ft}$
L	=	36 นิ้ว
F	=	1
$T_c$	=	90 °C

วิธีทำ :

$$DI = DC + 2t = 0.373 + 0.160 = 0.533$$

$$\bar{R}_i = 0.012 \bar{\rho}_i \log\left(\frac{DI}{DC}\right) = 0.012(400) \log\left(\frac{0.533}{0.373}\right)$$

$$= 0.744$$

$$\bar{R}_e = 0.012 \bar{\rho}_e n' \left[ \log \frac{8.3}{D_e} + LF \log \frac{4L \times F}{8.3} \right]$$

จาก  $D_e = 1.6DI$

$$\bar{R}_e = 0.012(90)(3) \left[ \log \frac{8.3}{1.6(0.533)} + LF \log \frac{4(36) \times 1}{8.3} \right]$$

$$= 6.213$$

$$\bar{R}_{ca} = \bar{R}_i + \bar{R}_e = 0.744 + 6.213 = 6.957$$

$$\text{จาก } R_{DC} \text{ ที่ } 90^{\circ}\text{C} = 106 \times \frac{234.5 + 90}{234.5 + 25}$$

$$\text{จาก } R_{ac} \text{ ที่ } 90^{\circ}\text{C} = 106 \times \frac{234.5 + 90}{234.5 + 25} \times 1.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = \sqrt{\frac{T_c - T_a}{R_{ac} \times R_{ca}}} = \sqrt{\frac{90 - 40}{132.55 \times 6.957}}$$

$$= 276$$

### 3.1.6.2 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง

#### 3.1.6.2.1 เดินใน Duct Bank

หาค่ากระแสของสายขนาด 35 mm<sup>2</sup> ชนิดทองแดง หุ้มฉนวนครอสลิงโพลีเอททีลีน มีซิลิค์ อลูมิเนียมตัวนำ 90 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดัน 12 หรือ 24 เควี อลูมิเนียมโดยรอบ 30 องศาเซลเซียส เดินใน Duck Bank จำนวน 3 วงจร

เส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำ DC 7 mm แปลงเป็นนิ้ว (7 x 0.03937) = 0.275 นิ้ว

Insulation thickness(t) 5.5 mm เป็นนิ้ว (5.5 x 0.03937) = 0.216 นิ้ว

DI=2t + DC = 0.707 นิ้ว

คำนวณหาค่า Thermal Resister of Insulation

สูตร

$$R_i = 0.012 \pi \log \frac{DI}{DC}$$

( $\pi = 450$ )

แทนค่า

$$R_i = 2.21^\circ \text{C.ft/w}$$

คำนวณค่า Thermal Resister of Cable in Ducts

สูตร

$$R_{sd} = \frac{n'A'}{D_s'B'}$$

( $A' = 3.2, B' = 0.19$ )

$$D_s' = 2.15 \times DI$$

$$D_s' = 1.52$$

แทนค่า

$$R_{sd} = \frac{3 \times 3.2}{1.52 + 0.19}$$

$$R_{sd} = 5.61^\circ \text{C.ft/W}$$

คำนวณค่า Thermal Resister of Jacket

สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมดของสาย คือ 52 mm แปลงเป็นนิ้ว =  $52 \times 0.03937 = 2.0472$  นิ้ว  
 t คือ ความหนาของ jacket = 2.7 mm แปลงเป็นนิ้ว =  $2.7 \times 0.03937 = 0.010629$  นิ้ว  
 แทนค่า

$$R_j = 0.0104 \times 500 \times 3 \left( \frac{0.010629}{2.0472 - 0.010629} \right)$$

$$R_j = 0.081^\circ \text{C.ft/W}$$

คำนวณค่า Thermal Resister of the Earth

สูตร

$$R_e = 0.012 \rho_{en} \left[ \log \left( \frac{8.3}{D_e} \right) + LF \log \left( \frac{4LF}{8.3} \right) \right]$$

แทนค่า

$$R_e = 0.012 \times 90 \times 3 \left[ \log \left( \frac{8.3}{1.529} \right) + LF \log \left( \frac{4 \times 3 \times 1}{8.3} \right) \right]$$

$$R_e = 6.4^\circ \text{C.ft/W}$$

ผลรวมค่าความต้านทานทั้งหมด

$$R_{ca} = R_i + R_{sd} + R_j + R_e = 2.21 + 5.61 + 0.081 + 6.4 = 14.3$$

Rdc ที่ 20 องศาเซลเซียส =  $0.542 \Omega/\text{km}$

$$R_{dc90^\circ \text{C}} = 0.000165 \times \left( \frac{228.1 + 90}{228.1 + 20} \right)$$

$$R_{dc90^\circ \text{C}} = 0.00021 \Omega$$

หาพิกัดกระแส

$$I = \sqrt{\frac{90 - 30}{0.00021 \times 14}}$$

$$= 143 \text{ A}$$

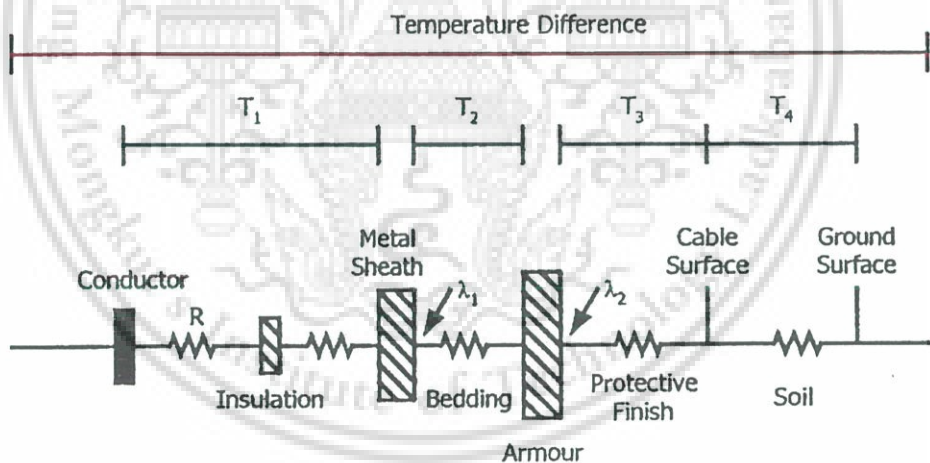
### 3.2 การคำนวณหากระแสในสายเคเบิลตามมาตรฐาน IEC 287

การคำนวณหาพิกัดของกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ในสภาวะการจ่ายโหลดภายใต้เงื่อนไขการใช้งานหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้หลายวิธี และหลายมาตรฐาน แต่วิธีการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรมสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นวิธีการคำนวณอ้างอิงตามมาตรฐานเอกสารนี้ IEC.287 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการใช้งานที่มีการยอมรับกันทั่วโลก และการไฟฟ้านครหลวงก็เป็นอีกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยงานหนึ่ง ที่เลือกใช้มาตรฐานนี้อ้างอิงการติดตั้งระบบไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย เพื่อให้สามารถเลือกขนาดสายเคเบิลได้เหมาะสม การออกแบบสายไฟฟ้าใต้ดินจะต้องคำนึงถึงพิกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายบนพื้นฐานจุดวิกฤติที่เกี่ยวกับความร้อน และไม่พิจารณาเกี่ยวกับภาระโหลดทางเศรษฐกิจในการคำนวณ จะกำหนดให้สายอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) นั่นคือกระแสจะมีค่าคงที่ต่อเนื่องกันตลอดที่ตัวประกอบภาระโหลด 100% (100% Load factor) การคำนวณหาค่าปริมาณกระแสสูงสุดที่ไหลในสายเคเบิลต้องคำนึงถึง ลักษณะโครงสร้างของสายเคเบิล ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการคำนวณหากระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบแบ่งออกเป็น 3 ประการ คือ

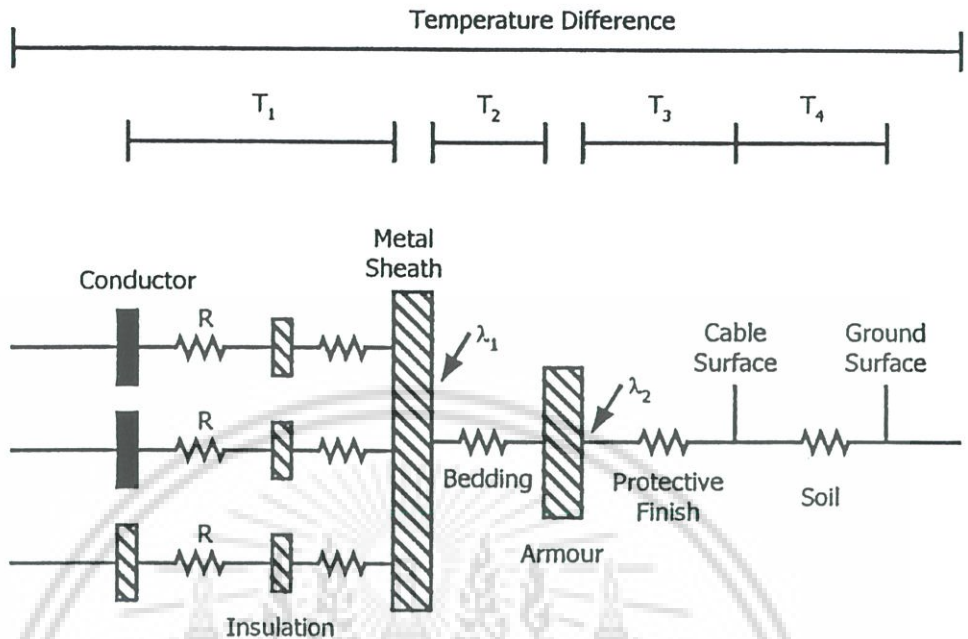
- 1) คุณสมบัติของสายเคเบิล เช่น ความต้านทานความร้อน
- 2) สภาวะแวดล้อมในบริเวณที่ติดตั้งสายเคเบิล
- 3) ข้อมูลที่ได้จากการประชุมระหว่างผู้ผลิต และผู้ใช้เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

จากวงจรสมมูลย์ของสายเคเบิลชนิด 1 แกน และชนิด 3 แกน ดังรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 ตามลำดับขนาดกระแสไฟฟ้าที่ทนได้ในสายเคเบิล ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ยอมให้ไหลผ่านได้สูงสุด ในหนึ่งตัวนำในสภาวะการใช้งานขณะนั้น ๆ โดยไม่ทำให้สายเคเบิลเสียหาย (Calculation of Continuous Rating of Cable :  $I_{AC}$ ) สามารถคำนวณหาตามมาตรฐาน IEC.287 ได้จากสมการที่ (3.8)



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลย์ของสายเคเบิลชนิด 1 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลของสายเคเบิลชนิด 3 แกน

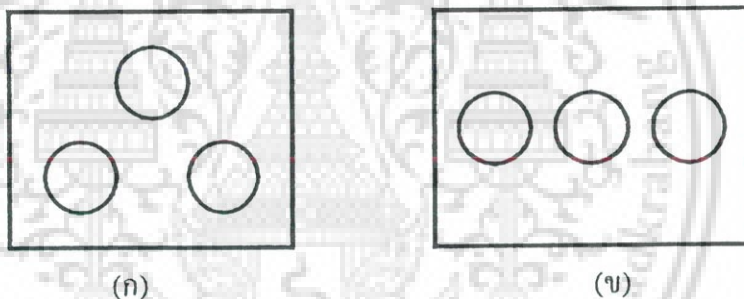
$$I_{AC} = \left[ \frac{\Delta\theta - W_d [0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{1/2} \tag{3.8}$$

- เมื่อ  $\Delta\theta$  = อุณหภูมิของตัวนำที่ยอมให้สูงกว่าสิ่งแวดล้อม
- $R$  = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับต่อหน่วยความยาวของตัวนำที่อุณหภูมิสูงสุด
- $W$  = พลังงานสูญเสียในฉนวนต่อหน่วยความยาวของสายเคเบิล
- $T_1$  = ความต้านทานความร้อนต่อระหว่างตัวนำกับฉนวน
- $T_2$  = ความต้านทานความร้อนระหว่างฉนวนกับเครื่องห่อหุ้ม
- $T_3$  = ความต้านทานความร้อนของฉนวนเปลือกนอกของสายเคเบิล
- $T_4$  = ความต้านทานความร้อนภายนอก (ระหว่างผิวฉนวนเปลือกนอกของสายถึงผิวดิน)
- $n$  = จำนวนตัวนำ (แกน) ในสายเคเบิล
- $\lambda_1$  = องค์กรประกอบความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในฉนวน โลหะ และสกรีนของสายเคเบิลใต้ดิน
- $\lambda_2$  = องค์กรประกอบความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในเครื่องห่อหุ้มของสายเคเบิลใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการสามารถสรุปได้ว่าลักษณะการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณหา ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลในสายจะแตกต่างกันออกไปเมื่อ

1. ชนิดของตัวนำแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิด 1 แกน และชนิด 3 แกน
2. รูปแบบการวางสายเคเบิลในท่อร้อยสาย โดยสามารถวางได้ 2 แบบ คือ วางแบบ สามเหลี่ยม (Trefoil) และวางแบบราบ (Flat) ดังรูปที่ 3.3 ก) และรูปที่ 3.3 ข) ตามลำดับ
3. ลักษณะ และขนาดของตัวนำ ถ้าเป็นตัวนำที่มีขนาดใหญ่ต้องนำค่าตัวประกอบ F (Factor) เข้ามาพิจารณาด้วย
4. ลักษณะของสารที่ใช้ทำฉนวน
5. ตำแหน่งการร้อยสายเคเบิลในท่อร้อยสาย
6. ชนิดของท่อ
7. ชนิดของสายเคเบิล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือแบบสกรีน (Screen) กับแบบเข็มขัด (Belted)



รูปที่ 3.7 (ก) การวางสายเคเบิลแบบสามเหลี่ยม (Trefoil)

(ข) การวางสายเคเบิลแบบราบ (Flat)

### 3.2.1 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของตัวนำ (AC Resistance of Conductor : R)

ค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแส 12 สลัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6.50 โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสมการที่ 6.51 นี้ สามารถหาได้จากตั้งแต่สมการที่ 3.9 จนถึงสมการที่ 3.16

$$R = R' (1 + Y_s + Y_p) \quad (3.9)$$

เมื่อ  $R$  = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของตัวนำที่อุณหภูมิขณะทำงานสูงสุด ( $\Omega/m$ )

$R'$  = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงของตัวนำที่อุณหภูมิขณะทำงานสูงสุด ( $\Omega/m$ )

$Y_s$  = ผลจากปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect)

$Y_p$  = ผลจากปรากฏการณ์ความใกล้ชิด (Proximity Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.1 ความต้านทานไฟกระแสดตรง (DC Resistance of Conductor : R')

$$R' = R_0 (1 + \alpha_{20} (\theta - 20)) \quad (3.10)$$

เมื่อ  $R_0$  = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสดตรงของตัวนำที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  ( $\Omega/\text{m}$ )

$\alpha_{20}$  = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่  $20^\circ\text{C}$

$\theta$  = ค่าอุณหภูมิสูงสุดขณะทำงาน ( $^\circ\text{C}$ )

### 3.2.1.2 ผลจากปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect : $Y_s$ )

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่ไหลในตัวนำ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำ มีความหนาแน่นมาก แต่แกนกลางของตัวนำมีกระแสไฟฟ้าไหลน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ ขนาดของตัวนำ และขนาดของกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ ดังนั้นสามารถหาค่าผลจากปรากฏการณ์ทางผิวได้จากสมการที่ 3.11 นั่นคือ

$$Y_s = \frac{X^4}{192 + 0.8X^4_p} \left( \frac{d_4}{s} \right)^2 \times 2.9 \quad (3.11)$$

$$X^2_p = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_p \quad (3.12)$$

เมื่อ  $X_s$  = Argument of A Bessel Function ที่ใช้กับการคำนวณผลจากปรากฏการณ์ทางผิว (ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.8 เพื่อให้ได้ค่า  $Y$  ที่ถูกต้องแม่นยำ)

$K_s$  = ค่าแฟกเตอร์ที่ใช้คำนวณค่า  $X_s$

$F$  = ความถี่ไฟที่ป้อน (Hz)

### 3.2.1.3 ผลจากปรากฏการณ์ความใกล้ชิด (Proximity Effect : $Y_p$ )

ลักษณะการติดตั้งสายเคเบิลหลาย ๆ เส้นจะมีระยะห่างระหว่างสายเคเบิลน้อยมาก ดังนั้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ ของสายเคเบิลที่อยู่ข้างเคียง จึงมีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำสายเคเบิลเส้นที่อยู่ใกล้เคียงกัน ผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ จึงถูกเรียกว่า ผลจากปรากฏการณ์ความใกล้ชิด ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังนี้

$$Y_p = \frac{X^4_p}{192 + 0.8X^4_p} \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 \left[ 0.312 \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X^4_p}{192 + 0.8X^4_p} + 0.27} \right] \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R} \cdot 10^{-7} k_p \quad (3.14)$$

- เมื่อ  $d_c$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (mm)  
 $S$  = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวนำ (mm)  
 $X_p$  = Argument of a Bessel Function ที่ใช้ในการคำนวณผลจากปรากฏการณ์ความถี่สูง (ค่า  $X$  ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.8 เพื่อให้ได้ค่า  $Y$  ที่ถูกต้องแม่นยำ)  
 $K_p$  = ค่าแฟกเตอร์ที่ใช้คำนวณ  $X$

### 3.2.2 ค่าพลังงานสูญเสียของฉนวนต่อหน่วยความยาวของสายเคเบิล (Dielectric loss : $W_d$ )

พลังงานสูญเสียของฉนวนมีผลทำให้ฉนวนเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งอาจร้อนพอ ๆ กันกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวนำได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับแรงดันไฟฟ้าค่าสูง ๆ สามารถหาค่าพลังงานสูญเสียของฉนวนต่อหน่วยความยาว ในเฟสเดียวกันคำนวณได้จากสมการที่ 6.56 และสามารถหาค่าความจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว (Capacitance :  $C$ ) ได้ดังสมการที่ 6.57 ค่าความสูญเสียของฉนวนจะมีความสำคัญก็ต่อเมื่อค่าความต่างศักย์ของพื้นดินมีค่ามากกว่า 30 kV สำหรับฉนวนกระดาษและ 6 kV สำหรับฉนวนพีวีซีทั้งเคเบิลชนิด 1 แกน และ 3 แกน

$$W_d = \omega C U_o^2 \tan \delta \quad (3.15)$$

- เมื่อ  $W_d$  = พลังงานสูญเสียของฉนวนต่อหน่วยความยาวของสายเคเบิล (W/m)  
 $\tan \delta$  = แฟกเตอร์การสูญเสียของฉนวน (Dielectric Loss Factor)  
 $\omega$  =  $2\pi f$   
 $U_o$  = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายมีไฟกับดิน (Voltage to Earth) (volt)  
 $C$  = ความจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว (F/m)

#### 3.2.2.1 ความจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว

(3.16)

$$C = \frac{\epsilon}{18 \ln \left( \frac{D_i}{D_c} \right)} \times 10^{-9}$$

- เมื่อ  $\epsilon$  = ความซึมซับสัมพัทธ์ของฉนวน (Relative Permittivity of Insulation)  
 $D_i$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฉนวน (mm)  
 $D_c$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำรวมถึง Conductor Screen (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ตัวประกอบความสูญเสียกำลังในชีท และสกรีนของสายเคเบิลใต้ดิน (Loss Factor of Sheath and Screen : $\lambda_1$ )

ค่าตัวประกอบความสูญเสียในชีท และสกรีนมีสาเหตุมาจากกระแสไหลวน (Circulating Current :  $\lambda'_1$ ) และกระแสเอ็ดดี้ (Eddy Current :  $\lambda''_1$ ) ที่ไหลอยู่ในชีท และสกรีนสามารถหาค่าตัวประกอบความสูญเสียได้จาก

$$\lambda_1 = \lambda'_1 + \lambda''_1 \quad (3.17)$$

ในการคำนวณหาค่าประกอบความสูญเสียในชีท และสกรีนนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างและลักษณะการวางสาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

#### 3.2.3.1 สายแกนเดี่ยว 2 เส้น และ 3 เส้น วางแบบสามเหลี่ยม มีการต่อชีทที่ปลายสาย ทั้งสองลงกราวด์ และมีการสลัดสาย

เนื่องจากกระแสเอ็ดดี้สำหรับลักษณะสาย และการวางสายแบบนี้มีค่าเท่ากับศูนย์ (9) ดังนั้น ค่าตัวประกอบความสูญเสียในชีท และสกรีนมีค่าเฉพาะ ซึ่งเป็นค่าตัวประกอบความสูญเสียในชีทและสกรีนมีสาเหตุมาจากกระแสไหลวน ดังนี้

$$\lambda_1 = \lambda'_1 = \frac{R_s}{R} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2} \right] \quad (3.18)$$

โดยที่

$$X = 2\omega \times 10^{-7} \ln\left(\frac{2s}{d}\right) \quad (3.19)$$

$$d = \sqrt{d_M \times d_m} \quad (3.20)$$

เมื่อ  $R_s$  = ความต้านทานของชีท หรือสกรีนต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายที่อุณหภูมิทำงานสูงสุด ( $\Omega/m$ )

$R$  = ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของตัวนำที่อุณหภูมิทำงานสูงสุด ( $\Omega/m$ )

$X$  = ค่ารีแอกแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของชีท หรือสกรีน ( $\Omega/m$ )

$S$  = ระยะห่างระหว่างแกนกลางของตัวนำ (mm)

$d_M$  = ความเร็วเชิงมุม มีค่าเท่ากับ (rad)

$d_m$  = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชีท (mm)

$d_M$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชีท (mm)

$d_m$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชีท (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.2 สายแกนเดี่ยว 3 เส้น วางแบบราบ มีการต่อซีทที่ปลายทั้งสองลงกราวด์ และมีการสลับสาย

ระยะจากสายเคเบิลเส้นกลางไม่สู่เคเบิลอีก 2 เส้น มีระยะเท่ากัน ค่าตัวประกอบความสูญเสียในซีท และสกรีน จึงมีค่าค่อนข้างสูง เพราะว่าสายเคเบิลด้านนอกจะเป็นเฟสลำดับหลัง ดังนั้นจะได้

$$\lambda'_{11} = \frac{R_s}{R} \left[ \frac{0.75P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{0.25Q^2}{R_s^2 + Q^2} + \frac{2R_s PQ X_m}{\sqrt{3}(R_s^2 + P^2)(R_s^2 + Q^2)} \right] \quad (3.21)$$

$$\lambda'_{12} = \frac{R_s}{R} \left[ \frac{0.75P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{0.25Q^2}{R_s^2 + Q^2} - \frac{2R_s PQ X_m}{\sqrt{3}(R_s^2 + P^2)(R_s^2 + Q^2)} \right] \quad (3.22)$$

$$\lambda'_{1m} = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{Q^2}{R_s^2 + Q^2} \quad (3.23)$$

และ

$$P = X + X_m \quad (3.24)$$

$$Q = X - \left( \frac{X_m}{3} \right) \quad (3.25)$$

$$X = 2\omega \times 10^{-7} \ln \left( \frac{2s}{d} \right) \quad (3.26)$$

$$X_m = 2\omega \times 10^{-7} \ln 2 \quad (3.27)$$

- เมื่อ  $\lambda'_{11}$  = ค่าตัวประกอบความสูญเสียในซีท และสกรีนของสายเคเบิลด้านนอกเส้นที่ 1  
 $\lambda'_{12}$  = ค่าตัวประกอบความสูญเสียในซีท และสกรีนของสายเคเบิลด้านนอกอีกเส้นหนึ่ง  
 $\lambda'_{1m}$  = ค่าตัวประกอบความสูญเสียในซีท และสกรีนของสายเคเบิลเส้นกลาง  
 $X_m$  = ค่า Mutual Reactor ต่อหน่วยความยาวของสายเคเบิลระหว่างซีทของสายเคเบิล ด้านนอก กับตัวนำของสายที่เหลืออีกสองเส้น ( $\Omega/m$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 สายแกนเดี่ยว 1 เส้น มีการต่อชิตลงกรวด และที่จุดปลายมีการสลัวยาย การทำในลักษณะนี้ จะทำให้ค่ากระแสไหลวนมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\lambda_1 = \lambda'_1 = \frac{R_S}{R} \left[ g_s \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \times 10^{12}} \right] \quad (3.28)$$

$$g_s = 1 + \left( \frac{t_s}{D_s} \right)^{1.74} (\beta_1 D_s \times 10^{-3} - 1.6) \quad (3.29)$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi\omega}{10^7 \rho_s}} \quad (3.30)$$

เมื่อ  $\rho_s$  = ความต้านทานจนวนไฟฟ้าจำเพาะของชิต (Electrical Resistivity of Sheath) ( $\Omega/m$ )

$D_s$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิต (mm)

$t_s$  = ความหนาของชิต (mm)

$\omega$  =  $2\pi f$  (rad/sec)

$\square_1$  = สัมประสิทธิ์การสูญเสียกระแสไหลวน (Coefficient of Eddy Current

Losses)

$\lambda_0, \Delta_1, \Delta_2$  = สัมประสิทธิ์การใช้งาน

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบการวางสาย และลักษณะของสายซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. สายเคเบิลแกนเดี่ยว 3 เส้น วางแบบสามเหลี่ยม

$$\lambda_0 = 3 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2 \quad (3.31)$$

$$\Delta_1 = (1.1m^{2.45} + 0.33) \left( \frac{d}{2s} \right)^{(0.92m+1.66)} \quad (3.32)$$

$$\Delta_2 = 0 \quad (3.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สายเคเบิลแกนเดี่ยว 3 เส้น วางแบบราบ

## (ก) สายเคเบิลเส้นกลาง

$$\lambda_0 = 6 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2 \quad (3.34)$$

$$\Delta_1 = 0.86^{3.08} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(1.4m+0.7)} \quad (3.35)$$

$$\Delta_2 = 0 \quad (3.36)$$

## (ข) สายเคเบิลเส้นนอกที่เป็นเฟสหน้า

$$\lambda_0 = 1.5 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2 \quad (3.37)$$

$$\Delta_1 = 4.7m^{0.7} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(0.16m+2)} \quad (3.38)$$

$$\Delta_2 = 21m^{3.3} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(1.47m+5.06)} \quad (3.39)$$

## (ค) สายเคเบิลเส้นนอกที่เป็นเฟสล้าหลัง

$$\lambda_0 = 1.5 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2 \quad (3.40)$$

$$\Delta_1 = \frac{0.74(m+2)m^{0.5}}{2+(m-0.3)^2} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(m+1)} \quad (3.41)$$

$$\Delta_2 = 0.92m^{3.7} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(m+2)} \quad (3.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 ค่าตัวประกอบความสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องห่อหุ้ม (Power Loss Factor in Armour : $\lambda_2$ )

สายเคเบิลแบบ 3 แกน มีเครื่องห่อหุ้มเป็นลวดโลหะ แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 กรณี คือ

#### 3.2.4.1 สายเคเบิลเป็นตัวนำแบบกลม (Round)

จะไม่มี การแก้ไขด้วยค่าปรับแต่ง (F Factor) เมื่อตัวนำมีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่า หรือเท่ากับ 400 ตารางเมตร สามารถหาค่ากำลังสูญเสียของเครื่องห่อหุ้มจนวน ได้จากสมการที่ 3.42

$$\lambda_2 = 1.23 \frac{R_A}{R} \left( \frac{2c}{d_A} \right)^2 \frac{1}{\left( \frac{2.77R_A 10^6}{\omega} \right)^2 + 1} \quad (3.43)$$

เมื่อ  $R_A$  = ความต้านทานของเครื่องห่อหุ้มที่อุณหภูมิการทำงานสูงสุด ( $\Omega/m$ )  
 $d_A$  = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเครื่องห่อหุ้ม (mm)  
 $C$  = ระยะห่างระหว่างแกนของตัวนำ และศูนย์กลางของเคเบิล (mm)

#### 3.2.4.2 สายเคเบิลเป็นตัวนำแบบเซกเตอร์ (Sector)

$$\lambda_2 = 0.358 \frac{R_A}{R} \left( \frac{2r_1}{d_A} \right)^2 \frac{1}{\left( \frac{2.77R_A 10^6}{\omega} \right)^2 + 1} \quad (3.44)$$

เมื่อ  $r_1$  = รัศมีโคจรรอบตัวนำทั้ง 3 แกน (mm)

### 3.2.5 การคำนวณหาความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

จากวงจรสมมูลย์ของสายเคเบิลรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าความต้านทานความร้อนของส่วนต่าง ๆ ของสายเคเบิลใต้ดิน แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำกับซีท ( $T_1$ ) ความต้านทานความร้อนระหว่างซีทกับเครื่องห่อหุ้ม ( $T_2$ ) ความต้านทานความร้อนของฉนวนเปลือกนอกของสายเคเบิล ( $T_3$ ) และความต้านทานความร้อนระหว่างผิวฉนวนเปลือกนอกของสายถึงพื้นผิวดิน ( $T_4$ ) สำหรับชั้นของสกรีนนั้น ถ้าเป็นเทปโลหะให้พิจารณาว่าเป็นส่วนหนึ่งของตัวนำซีท ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำ ให้พิจารณาว่าเป็นส่วนหนึ่งของฉนวน

#### 3.2.5.1 ความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำกับซีท ( $T_1$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนค่าความต้านทานความร้อนระหว่างตัวนำกับซีท ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนชั้นในเป็นสำคัญ โดยปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (1) สายเคเบิลแกนเดี่ยว

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[ 1 + \frac{2t_1}{d_c} \right] \quad (3.45)$$

- เมื่อ  $\rho_T$  = ความต้านทานความร้อนของฉนวน (km/W)  
 $D_c$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ (mm)  
 $T_1$  = ความหนาของฉนวนระหว่างตัวนำกับฉีท สำหรับฉีทที่เป็นรอน ๆ นั้น  $t_1$  จะมีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเฉลี่ยของฉีท (mm)

## 2) สายเคเบิล 3 แกน แบบเข็มขัด

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} G \quad (3.46)$$

- เมื่อ  $G$  = แฟกเตอร์เรขาคณิตขึ้นอยู่กับขนาด และรูปแบบของตัว

## 3) สายเคเบิล 3 แกนแบบมีสกรีนเทปโลหะ

เคเบิลแบบนี้ พิจารณาเช่นเดียวกับในกรณีสายเคเบิลแบบเข็มขัด แต่ค่า  $\frac{t_1}{t} = 0.5$

โดยที่  $t$  คือค่าความหนาของฉนวนระหว่างตัวนำ ดังนั้น จึงมีผลทำให้ค่า  $T_1$  ต้องคูณกับค่าแฟกเตอร์  $K$  ซึ่งเรียกว่า Screening factor ดังนั้นจะได้ว่า

$$T_1 = K \frac{\rho_T}{2\pi} \ln G \quad (3.47)$$

3.2.5.2 ความต้านทานความร้อนระหว่างฉีทกับเครื่องห่อหุ้ม ( $T_2$ )

สำหรับสายเคเบิลชนิด 1 แกน ชนิด 2 แกน และชนิด 3 แกน ที่มีฉีทโลหะจะได้

$$T_2 = \frac{1}{2\pi} \rho_T \ln \left[ 1 + \frac{2t_2}{D_s} \right] \quad (3.48)$$

- เมื่อ  $t_2$  = ความหนาของ Bedding (mm)  
 $D_s$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกฉีท (mm)  
 $\rho_T$  = ความต้านทานความร้อนของฉีท (km/W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ,  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5.3 ความต้านทานความร้อนของฉนวนเปลือกนอกของสายเคเบิล ( $T_3$ )

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[ 1 + \frac{2t_3}{D_s} \right] \quad (3.49)$$

- เมื่อ  $t_3$  = ความหนาของเปลือกนอกของสายเคเบิล (mm)  
 $D_s$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของเครื่องห่อหุ้ม (mm)  
 $\rho_T$  = ความต้านทานความร้อนของเครื่องห่อหุ้ม (km/W)

### 3.2.5.4 ความต้านทานความร้อนระหว่างฉนวนเปลือกนอกของสายถึงผิวพื้นดิน ( $T_4$ )

$$T_4 = T'_4 + T''_4 + T'''_4 \quad (3.50)$$

- เมื่อ  $T'_4$  = ความต้านทานความร้อนระหว่างสายเคเบิลกับท่อ  
 $T''_4$  = ความต้านทานความร้อนระหว่างผนังสูล์ฟนังของท่อ  
 $T'''_4$  = ความต้านทานความร้อนภายนอกของท่อถึงผิวพื้นดิน

#### 1) ความต้านทานความร้อนระหว่างสายเคเบิลกับท่อ ( $T'_4$ )

ค่า  $T'_4$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6.94 ซึ่งใช้สำหรับสายเคเบิลที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25-100 มม. ร้อยในท่อร้อยสาย และใช้คำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของอากาศที่อยู่ระหว่าง สายเคเบิลกับผิวของท่อเหล็ก รวมทั้งใช้ในกรณีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของสายเคเบิล 3 เส้น ในท่อเหล็กมีค่าระหว่าง 75-125 มม. ในส่วนของค่าคงที่ของตัวแปร U, V และ Y มีค่าเป็นดังตารางที่ 6.3

$$T'_4 = \frac{U}{1 + 0.1(V + Y\theta_m)D_e} \quad (3.51)$$

ตารางที่ 3.6 ค่าคงที่ของตัวแปร U, V และ Y

Installation condition	U	V	Y
In metallic conduit	5.20	1.40	0.011
In fiber in concrete	5.20	0.91	0.01
In asbestos cement duct in concrete	5.20	1.10	0.011
Gas pressure cable in pipe	0.95	0.46	0.0021
Oil pressure pipe-type cable	0.26	0.00	0.0026
Earthenware ducts	1.87	0.28	0.0036

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $U, V, Y$  = ค่าคงที่ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขการติดตั้ง  
 $D_c$  = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายนอกของสายเคเบิล (mm)  
 $\theta_m$  = อุณหภูมิระหว่างสายเคเบิลกับท่อ (mm)

### 2) ความต้านทานความร้อนระหว่างผนังสู่ผนังของท่อ ( $T''_4$ )

ในกรณีที่เป็นท่อเดี่ยว ไม่มีคอนกรีตเทหุ้ม รัศมีภายนอกของท่อจะรวมถึงวัสดุคลุมปกป้อง หรือห่อหุ้มท่อด้วย ถ้าเป็นท่อเดี่ยวมีคอนกรีตเทหุ้มต้องสมมุติให้ตัวกลางที่อยู่ด้านนอกท่อมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับของคอนกรีตหุ้มท่อนั้น

$$T''_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln\left(\frac{D_o}{D_d}\right) \quad (3.52)$$

- เมื่อ  $D_o$  = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายนอกของท่อ (mm)  
 $D_d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (mm)  
 $\rho_T$  = ความต้านทานความร้อนตามชนิดของท่อ (km/W)

### 3) ความต้านทานความร้อนภายนอกของท่อถึงผิวพื้นดิน

$$T'''_4 = \frac{N}{2\pi} (\rho_e - \rho_c) \ln(\mu + \sqrt{\mu^2 - 1}) \quad (3.53)$$

- เมื่อ  $N$  = จำนวนสายเคเบิลในท่อร้อยสาย (เส้น)  
 $\rho_e$  = ความต้านทานความร้อนของดิน (km/W)  
 $\rho_c$  = ความต้านทานความร้อนของคอนกรีต (km/W)

โดยที่

$$\mu = \frac{L_G}{r_b} \quad (3.54)$$

$$\ln r_b = \frac{1}{2} \frac{X}{Y} \left( \frac{4}{\pi} - \frac{X}{Y} \right) \ln \left( 1 + \frac{Y^2}{X^2} \right) \ln \left( \frac{X}{2} \right) \quad (3.55)$$

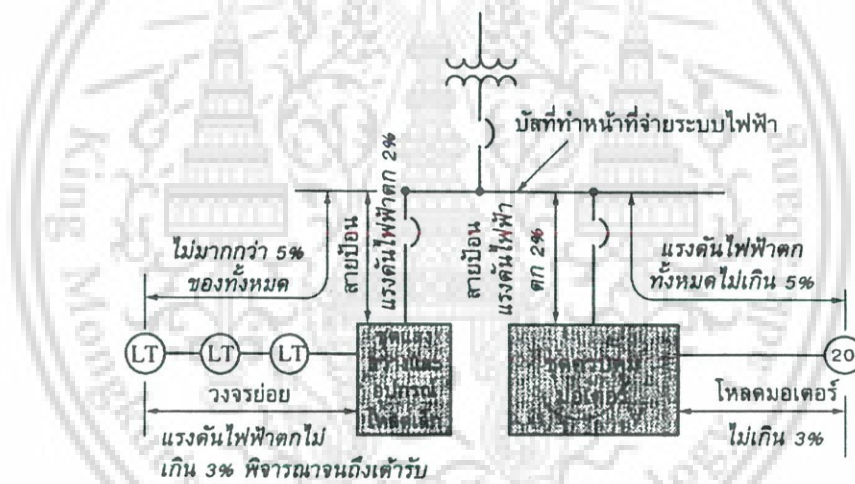
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$L_g$	=	ความลึกของท่อร้อยสายจากผิวดิน (mm)
	$R_b$	=	รัศมีของท่อคอนกรีต (mm)
	$x$	=	ความกว้างของท่อร้อยสาย (mm)
	$Y$	=	ความยาวของท่อร้อยสาย (mm)

### 3.3 แรงดันไฟฟ้าตก

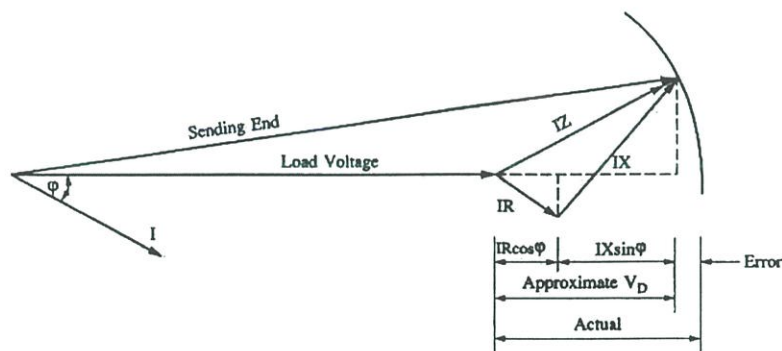
แรงดันตกในสาย คือ แรงดันที่ตกคร่อมสายไฟฟ้าซึ่งจะทำให้แรงดันด้านอินพุทและเอาต์พุตแตกต่างกันหรือแรงดันเอาต์พุตหายไปส่วนหนึ่ง โดยยังมีแรงดันตกคร่อมสายไฟฟ้ามากเท่าใด ก็ยิ่งจะทำให้แรงดันที่เอาต์พุตมีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุตมากเท่านั้น

ตามมาตรฐานของ NEC ได้กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าตกทั้งหมดนั้นต้องไม่เกิน 5% ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงข้อกำหนดในเรื่องเกี่ยวกับแรงดันตกในสายไฟ

การพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าตกสามารถพิจารณาได้จากเวกเตอร์ความสัมพันธ์รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการคำนวณแรงดันไฟฟ้าตกจากเวกเตอร์ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าตกเมื่อพิจารณาจากเวกเตอร์ จะคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} V_D &= IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \\ V_D &= I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \end{aligned} \quad (3.56)$$

โดยที่  $V_D$  คือแรงดันไฟฟ้าตกในวงจร(ค่าเฟส)(V)

$I$  คือกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ(A)

$R$  คือค่าความต้านทานของตัวนำ( $\Omega$ )

$X$  คือค่ารีแอกแตนซ์ของตัวนำ( $\Omega$ )

$\varphi$  คือมุมของโหลด

ระบบที่พิจารณาในรูปที่ 3.9 นั้นเป็นการพิจารณาในทิศทางเดียวกัน แต่ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส จะมีการไหลกลับของสายนิวทรัล ดังนั้น

- ในระบบ 1 เฟส จะมีค่าตัวคูณแรงดันไฟฟ้าตกในวงจรเท่ากับ 2
- ในระบบ 3 เฟส จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกในวงจรเท่ากับ  $\sqrt{3}$  หรือ 1.732



## บทที่ 4

# ทฤษฎีการคำนวณขนาดกระแสของสายเคเบิลเมื่อคำนึงถึง ผลกระทบของฮาร์มอนิก

### 4.1 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อสายเคเบิลกำลัง

ถ้ามีกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านตัวนำและสายเคเบิล จะทำให้เกิดผลกระทบ[10,11] ดังนี้

1. ทำให้เกิดความสูญเสียในสายเคเบิล (Ohmic loss) เพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานกระแสไฟสลับจะมีค่าสูงขึ้นอันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ทางผิว, ปรากฏการณ์ความใกล้เคียง, ตัวประกอบการสูญเสียของเปลือกสายโลหะ, ตัวประกอบความสูญเสียของเกราะป้องกันสายและท่อร้อยสาย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสายเคเบิล ขนาดตัวนำ ระยะห่างระหว่างตัวนำ ลักษณะการเชื่อมต่อสายเคเบิลและการจัดเรียงสายเคเบิล ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวจะส่งผลให้ความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลลดลงด้วย ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ในการคำนวณขนาดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้เมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่าน จะกล่าวในบทที่ 3

2. ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของวงจร โดยเป็นผลจากกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านในวงจร ส่งผลให้ปลายทางมีความเพี้ยนของแรงดัน (Voltage distortion) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในระบบแรงดันสูงนั้น แรงดันตกคร่อมจะทำให้ความเครียดไดอิเล็กทริก (Dielectric stress) ของฉนวนสูงขึ้นกว่าปกติ เป็นผลทำให้อายุการใช้งานของสายเคเบิลสั้นลงและยังเกิดฟอลท์ง่ายขึ้น

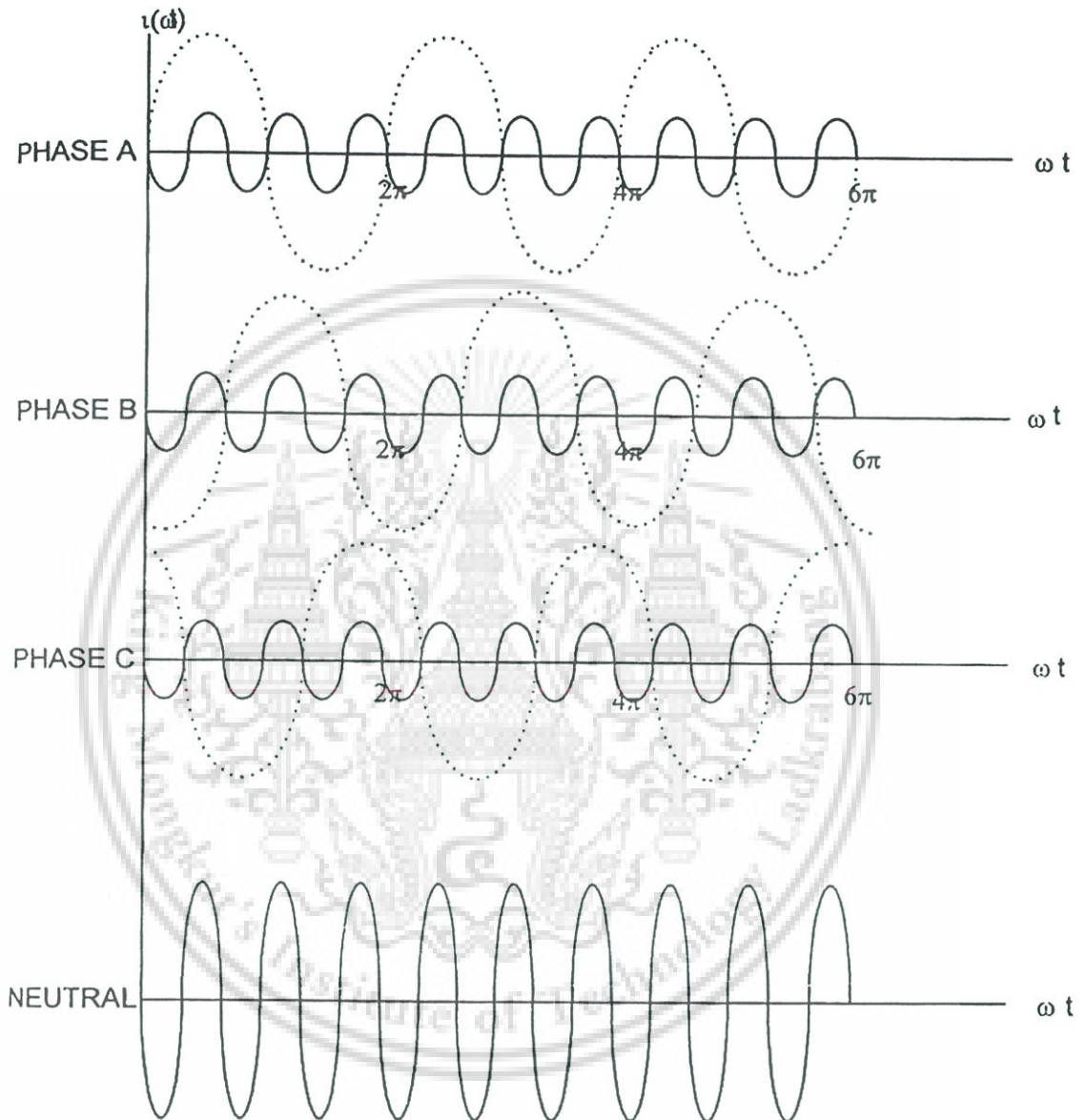
3. ทำให้กระแสในสายนิวทรัลมีขนาดมากขึ้นในกรณีที่เกิด Triple Harmonic ไหลในสายนิวทรัล เมื่อพิจารณาในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย กระแสจะไหลจากสายเฟสไปยังสายนิวทรัล เพื่อให้ครบวงจร ในระบบสามเฟสสมดุล มุมทางไฟฟ้าจะแตกต่างกัน 120 องศา ดังนั้นทำให้เกิดการหักล้างของกระแสให้เป็นศูนย์ ทำให้ระบบสามเฟสสมดุลจึงไม่มีกระแสนิวทรัล

สำหรับฮาร์มอนิกที่ 2 กระแสจะมีมุมต่างกัน 120 องศาไฟฟ้าเช่นกัน เมื่อกระแสนิวทรัลได้จากการรวมกันของกระแสในแต่ละเฟส ซึ่งรวมกันเป็นศูนย์หรือกล่าวได้ว่าสำหรับฮาร์มอนิกที่เป็นเลขคู่กระแสนิวทรัลจะเป็นศูนย์

สำหรับฮาร์มอนิกที่ 3 กระแสนิวทรัลจะมีลำดับเฟสเป็นศูนย์ซึ่งเกิดจากกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 ในแต่ละเฟสเสริมกันในนิวทรัล ซึ่งทำให้ผลรวมของกระแสนิวทรัลของฮาร์มอนิกที่ 3 จะเป็นผลรวมของเลขคณิตของกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 ในแต่ละเฟสและจะเป็นจริงสำหรับลำดับฮาร์มอนิกเลขคี่ที่เป็นจำนวนเท่าของ 3 เช่น ฮาร์มอนิกที่ 3,9,15,21.....ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องคำนึงถึงขนาดสายนิวทรัลที่เหมาะสมกับประเภทของโหลดหรืออุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต่ออยู่ในระบบและสามารถรับกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านได้โดยเฉพาะฮาร์มอนิกที่เป็นพหุคูณของ 3 ซึ่งมีลำดับเฟสเป็นศูนย์



รูปที่ 4.1 แสดงผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 ในสายนิวทรัลของระบบ 3 เฟส 4 สาย

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ก็คือ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายเคเบิล จะปรากฏอยู่ในรูปของความร้อนภายในตัวนำ ฉนวน และส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นโลหะของสายเคเบิล ได้แก่ เปลือกสายโลหะ เกราะป้องกันสาย และท่อร้อยสาย เป็นต้น ค่าพิกัดกระแสจะขึ้นอยู่กับเส้นทางที่ความร้อนถูกส่งผ่านไปตามผิวของส่วนต่าง ๆ ของสายเคเบิล และกระจายไปรอบ ๆ อุณหภูมิ ณ ส่วนต่าง ๆ ที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนนี้ จะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดค่าความสามารถ ในการรับกระแสของสายเคเบิลภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state)

และมีความสัมพันธ์กับผลรวมของความสูญเสียในรูปความร้อนที่เพิ่มขึ้น กฎของการไหลของความร้อนจะคล้ายกับกฎของโอห์ม โดยที่การไหลของความร้อน (Heat flow) จะสอดคล้องกับการไหลของกระแสไฟฟ้า ผลต่างของอุณหภูมิจะสอดคล้องกับความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้า จากความสัมพันธ์ระหว่าง Heat losses และ Ohmic losses ดังกล่าว สามารถนำมาคำนวณหาพิกัดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้ เมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านตัวนำในสายเคเบิล

การคำนวณขนาดพิกัดกระแสของสายเคเบิลเมื่อคำนึงถึงผลกระทบของ ฮาร์มอนิกนั้น จะต้องรวมกระแสฮาร์มอนิกทุกลำดับที่ไหลผ่านตัวนำ ผลรวมของกระแสทั้งหมดที่เวลา  $t$  เท่ากับ

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) \tag{4.1}$$

โดยที่

- $i(t)$  = ผลรวมของกระแสซึ่งประกอบด้วยฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ
- $i_n(t)$  = กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $n$

ความสูญเสียในรูปของความร้อนของสายเคเบิลที่  $i$  เนื่องจากฮาร์มอนิกลำดับที่  $n$  นั้นหาได้จาก

$$Q_{i(n)} = \sum_{i=1}^{\infty} n_i I_n^2 r_{ac}(n) \tag{4.2}$$

โดยที่

- $Q_{i(n)}$  = ความร้อนที่เกิดขึ้นในสายเคเบิลเส้นที่  $i$  ต่อหน่วยความยาว
- $n_i$  = จำนวนตัวนำของสายเคเบิลเส้นที่  $i$
- $r_{ac}(n)$  = ความต้านทานรวมของตัวนำเนื่องจากฮาร์มอนิกลำดับที่  $n$  ต่อหน่วยความยาว
- $I_n$  = ค่าประสิทธิผลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $n$

#### 4.2 การคำนวณอุณหภูมิของตัวนำเมื่อคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิก

ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในรูปของความร้อนที่เพิ่มขึ้นภายในตัวนำ ฉนวน และส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นโลหะ ของสายเคเบิลอันเนื่องมาจากกระแสฮาร์มอนิก จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ส่วนต่าง ๆ ของสายเคเบิลจากการถ่ายเทความร้อนภายใต้สภาวะคงตัว (Steadt state) สำหรับอุณหภูมิของตัวนำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $n$  หาได้จาก [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \Delta T_1(n) \\ \Delta T_2(n) \\ \vdots \\ \Delta T_m(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/R_{11} \cdots 1/R_{12} \cdots 1/R_{1m} \\ 1/R_{21} \cdots 1/R_{22} \cdots 1/R_{2m} \\ \vdots \\ 1/R_{m1} \cdots 1/R_{m2} \cdots 1/R_{mm} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -(\Delta Q_1(n) + T_a/R_{1a}) \\ -(\Delta Q_2(n) + T_a/R_{2a}) \\ \vdots \\ -(\Delta Q_m(n) + T_a/R_{ma}) \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

เช่น อุณหภูมิของตัวนำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 2 จะเท่ากับ

$$\begin{bmatrix} \Delta T_1(2) \\ \Delta T_2(2) \\ \vdots \\ \Delta T_m(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/R_{11} \cdots 1/R_{12} \cdots 1/R_{1m} \\ 1/R_{21} \cdots 1/R_{22} \cdots 1/R_{2m} \\ \vdots \\ 1/R_{m1} \cdots 1/R_{m2} \cdots 1/R_{mm} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -(\Delta Q_1(2) + T_a/R_{1a}) \\ -(\Delta Q_2(2) + T_a/R_{2a}) \\ \vdots \\ -(\Delta Q_m(2) + T_a/R_{ma}) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ดังนั้น อุณหภูมิการทำงานของตัวนำในสายเคเบิล เมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n ไหลผ่านจะเท่ากับ

$$\begin{bmatrix} \Delta T_{1n} \\ \Delta T_{2n} \\ \vdots \\ \Delta T_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/R_{11} \cdots 1/R_{12} \cdots 1/R_{1m} \\ 1/R_{21} \cdots 1/R_{22} \cdots 1/R_{2m} \\ \vdots \\ 1/R_{m1} \cdots 1/R_{m2} \cdots 1/R_{mm} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -(Q_1(1) + \Delta Q_1(2) + \cdots + \Delta Q_1(n) + n T_a/R_{1a}) \\ -(Q_2(1) + \Delta Q_{21}(2) + \cdots + \Delta Q_2(n) + n T_a/R_{2a}) \\ \vdots \\ -(\Delta Q_m(1) + \Delta Q_{m1}(2) + \cdots + \Delta Q_{m1}(n) + n T_a/R_{ma}) \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

และ

$$\begin{bmatrix} T_{1n} \\ T_{2n} \\ \vdots \\ T_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1(1) + \Delta T_1(2) + \cdots + \Delta T_1(n) \\ T_2(1) + \Delta T_2(2) + \cdots + \Delta T_2(n) \\ \vdots \\ T_m(1) + \Delta T_m(2) + \cdots + \Delta T_m(n) \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

โดยที่

$$\Delta T_1(n), \Delta T_2(n) \cdots \Delta T_m(n) = \text{อุณหภูมิของตัวนำที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากฮาร์มอนิกลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ n}$$

$$T_{1n}, T_{2n} \cdots T_{mn} = \text{อุณหภูมิของตัวนำที่ 1 ถึง m เนื่องมาจากฮาร์มอนิก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การคำนวณขนาดกระแสของสายเคเบิลเมื่อคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิก

กำหนดให้

$$[A] = \begin{bmatrix} 1/R_{11} \dots 1/R_{12} \dots 1/R_{1m} \\ 1/R_{21} \dots 1/R_{22} \dots 1/R_{2m} \\ \vdots \\ 1/R_{m1} \dots 1/R_{m2} \dots 1/R_{mm} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} L_{11} \dots L_{12} \dots L_{1m} \\ L_{21} \dots L_{22} \dots L_{2m} \\ \vdots \\ L_{m1} \dots L_{m2} \dots L_{mm} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความร้อนที่เพิ่มขึ้นภายในตัวนำ ฉนวน และส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นโลหะของสายเคเบิล อันเนื่องมาจากกระแสฮาร์มอนิก เราสามารถคำนวณหาอุณหภูมิที่พิกัดของตัวนำที่  $m$  เมื่อมีกระแสที่พิกัด  $n$  ความถี่มูลฐานไหลผ่าน ( $T_{mr}$ ) ได้จากสมการ

$$T_{mr} = L_{m1}(Q_1(l) + T_a/R_{1a}) + L_{m2}(Q_2(l) + T_a/R_{2a}) + \dots + L_{mn}(Q_m(l) + T_a/R_{ma}) \quad (4.8)$$

ดังนั้น อุณหภูมิที่พิกัดของตัวนำที่  $m$  เมื่อมีกระแสที่พิกัด  $n$  ความถี่ที่  $n$  ไหลผ่าน ( $T_{mn}$ ) จะเท่ากับ

$$T_{mn} = L_{m1}(\sum Q_1(n) + T_a/R_{1a}) + L_{m2}(\sum Q_2(n) + T_a/R_{2a}) + \dots + L_{mn}(\sum Q_m(n) + T_a/R_{ma}) \quad (4.9)$$

กำหนดให้

$T_R$  คือ อุณหภูมิที่พิกัดของตัวนำที่ทำมาจากวัสดุหนึ่ง ๆ

ดังนั้น  $n$  เงื่อนไขที่พิกัดอุณหภูมิจะได้ว่า

$$T_R = T_{mr} = T_{mn}$$

สำหรับตัวนำที่  $m$  จะได้ความสัมพันธ์  $n$  พิกัดอุณหภูมิดังนี้

$$L_{mn}(Q_m(l) + T_a/R_{ma}) = L_{mn}(\sum Q_m(n) + T_a/R_{ma}) \quad (4.10)$$

$$I_{mrf}^2 R_{ac} = I_{mr}^2(1)R_{ac}(1) + I_{mr}^2(2)R_{ac}(2) + \dots + I_{mr}^2(n)R_{ac}(n) \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $R_{ac} = R_{ac}(1)$  ณ ความถี่มูลฐาน

$$I_{mrf}^2 = I_{mr}^2(1) + I_{mr}^2(2)R_{ac}(2)/R_{ac} + \dots + I_{mr}^2(n)R_{ac}(n)/R_{ac} \quad (4.12)$$

กำหนดให้

$$\beta(n) = \frac{\left(\frac{R_{ac}}{R_{dc}}\right)_n}{\left(\frac{R_{ac}}{R_{dc}}\right)_{fund}} \quad (4.13)$$

โดยที่

$\beta_n$  คือ อัตราส่วนระหว่างความต้านทานกระแสไฟฟ้าสลับต่อความต้านทานกระแสไฟฟ้าตรงที่ความถี่  $n$  เทียบกับอัตราส่วนดังกล่าวที่ความถี่มูลฐาน

$\alpha_i$  คือ Harmonics distribution factor ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่  $n$  เมื่อเทียบกับกระแสที่ความถี่มูลฐาน ( $I_B$  : Base Current) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ว่า

$$\beta_2 = R_{ac}(2)/R_{ac}, \beta_3 = R_c \dots \beta_n = R_c(n)/R_c \quad (4.14)$$

และ

$$\alpha_1 = I_{mr}(1)/I_{mr} \dots \alpha_n = I_{mr}(n)/I_{mr} \quad (4.15)$$

ดังนั้น

$$I_{mrf}^2 = I_{mr}^2 + \alpha^2_2 I_{mr}^2 \beta_2 + \alpha^2_3 I_{mr}^2 \beta_3 + \dots + \alpha^2_n I_{mr}^2 \beta_n \quad (4.16)$$

$$I_{mrf}^2 = I_{mr}^2 (\alpha^2_2 \beta_2 + \alpha^2_3 \beta_3 + \dots + \alpha^2_n \beta_n) \quad (4.17)$$

$$\frac{I_{mr}^2}{I_{mrf}^2} = \frac{1}{1 + \alpha^2_2 \beta_2 + \alpha^2_3 \beta_3 + \dots + \alpha^2_n \beta_n} \quad (4.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4.19)

โดยที่

$\frac{I_{mr}}{I_{mrf}}$  คือ ตัวคูณลดขนาดกระแสเมื่อคำนึงถึงฮาร์โมนิก (Harmonic Derating Factor)

$I_{mr}$  คือ กระแสโหลด (rms) ที่ความถี่ของฮาร์โมนิก

$I_{mrf}$  คือ กระแสพิกัด (rms) ที่ความถี่มูลฐาน

ดังนั้น

Harmonic Derating Factor for Neutral สำหรับกระแสนิวทรอล

(4.20)

$$NHDF = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum_{n=3k}^{\infty} \alpha_n^2 \beta_n}}$$

เมื่อ  $k$  เป็นเลขคี่

กระแสที่พิกัดที่สายเคเบิลสามารถรับได้เท่ากับ  $I_{mr} \times NHDF$  (A)



## บทที่ 5

### ตัวอย่างการคำนวณและวิเคราะห์ผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการแสดงตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย รวมทั้งตัวอย่างการคำนวณหาขนาดสายนิวทรอล โดยคำนึงถึงผลกระทบกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในสาย รวมทั้งเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานศึกษานี้ทั้งมาตรฐาน IEC และ Neher McGrath นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545

#### 5.1 ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย

##### 5.1.1 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ

##### ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1.1 ต้องการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสายเคเบิล ไปยังโหลดขนาด 110 kVA 3 เฟส 3 สาย ความยาวของสายจากแหล่งจ่ายไฟถึงโหลด 200 m. เป็นสาย thw แกนเคียวเดินในท่อโลหะร้อยสายติดบนกำแพง อุณหภูมิรอบข้าง  $40^{\circ}\text{C}$  จงหาขนาดของสายเคเบิลที่ทำให้แรงดันตกไม่เกิน 3% เมื่อใช้สายเคเบิลมีฉนวนเป็น PVC อุณหภูมิตัวนำ  $70^{\circ}\text{C}$

วิธีทำ กระแสโหลด 
$$\frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 167 \text{ A}$$

ฉนวน PVC

อุณหภูมิรอบข้าง  $40^{\circ}\text{C}$  เดินในท่อร้อยสายติดบนกำแพง

ใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

$\therefore$  จะได้ขนาดสายเคเบิลเท่ากับ  $95 \text{ mm}^2$

พิกัดกระแสของสายเคเบิลขนาด  $95 \text{ mm}^2$  ในตารางเท่ากับ 187 A

พิกัดกระแสจริง  $I_Z = 187 \text{ A}$

ตรวจสอบกระแส  $I_Z \geq I_L$

ตรวจสอบแรงดันตกในสายเคเบิลจากสมการที่ 5.1

$$V_{d(3\phi)} = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot L (R_t \cos \Phi + X_t \sin \Phi) [V]$$

(5.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_t$  = ความต้านทานของสายเฟสที่อุณหภูมิใช้งาน  $[\Omega/m]$  หาได้จาก

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha_{20}(t - 20)] \quad [\Omega/m] \quad (5.2)$$

$R_{20}$  = เป็นความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  หาได้จาก

$$R_{20} = \rho/s \quad [\Omega/m] \quad (5.3)$$

เมื่อตัวนำเป็นทองแดงจะได้  $\rho = 1/154 \quad |\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}|$

$$\therefore R_{20} = 0.195 \quad [\text{m}\Omega/\text{m}]$$

$t$  เป็นอุณหภูมิของตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเคเบิล จะได้

$$t = t_a + \Delta t(I_L / I_Z)^2 \quad (5.4)$$

$$= 40 + [(70 - 40) \cdot (167/187)^2]$$

$$= 65.8 \quad (^\circ\text{C})$$

แทนค่าที่ได้ลงใน(5.2) จะได้

$$R_t = 0.195[1 + 0.00393(65.8 - 20)]$$

$$= 0.23[(\text{m}\Omega)/\text{m}]$$

$$X = 0.1[(\text{m}\Omega)/\text{m}]$$

แทนค่าต่างๆลงใน(5.1) จะได้

$$V_d = \sqrt{3} \cdot 167 \cdot 200 \left[ (0.23 \cdot 0.8) + (0.1 \cdot \sqrt{1 - 0.8^2}) \right] \cdot 10^{-3} [\text{V}]$$

$$= 14.1 [\text{V}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \%V_d = \frac{14.1}{380} * 100 = 3.69\%$$

สรุป: ใช้สายเคเบิล thw ขนาด 95 mm<sup>2</sup>

สายเคเบิลยาว 200 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 3.69%

ในกรณีที่เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเกินกว่าค่ากำหนดสามารถทำการแก้ไข โดย

1. เพิ่มขนาดสายหรือเพิ่มสายคู่ควบ
2. ลดความยาวสาย

ตัวอย่างที่ 1.2 จากตัวอย่างที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายมีค่าเกิน 3% ดังนั้นจะทำการแก้ไขโดยวิธีที่ 1 คือการลดความยาวของสายเคเบิล

วิธีทำ กระแสโหลด 
$$\frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 167 \text{ A}$$

ฉนวน PVC

อุณหภูมิรอบข้าง 40°C เดินในท่อร้อยสายติดบนกำแพง

ใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

∴ จะได้ขนาดสายเคเบิลเท่ากับ 95 mm<sup>2</sup>

พิกัดกระแสของสายเคเบิลขนาด 95 mm<sup>2</sup> ในตารางเท่ากับ 187 A

พิกัดกระแสจริง  $I_z = 187 \text{ A}$

ตรวจสอบกระแส  $I_z \geq I_L$

ตรวจสอบแรงดันตกในสายเคเบิลจากสมการที่ 5.1

$$V_d(3\phi) = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot L (R_t \cos \Phi + X \sin \Phi) [V]$$

$R_t$  = ความต้านทานของสายเฟสที่อุณหภูมิใช้งาน [ $\Omega/m$ ] หาได้จาก

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)] \quad [\Omega/m]$$

$R_{20}$  = เป็นความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ 20°C หาได้จาก

$$R_{20} = \rho / s \quad [\Omega/m]$$

เมื่อตัวนำเป็นทองแดงจะได้  $\rho = 1/154$

$$[\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore R_{20} = 0.195 \quad [\text{m}\Omega/\text{m}]$$

t เป็นอุณหภูมิของตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเคเบิล จะได้

$$\begin{aligned} t &= t_a + \Delta t (I_L / I_Z)^2 \\ &= 40 + [(70 - 40) \cdot (167 / 187)^2] \\ &= 65.8 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

แทนค่าที่ได้ลงใน(5.2) จะได้

$$\begin{aligned} R_t &= 0.195 [1 + 0.00393(65.8 - 20)] \\ &= 0.23 [(\text{m}\Omega)/\text{m}] \\ X &= 0.1 [(\text{m}\Omega)/\text{m}] \end{aligned}$$

$$v_d = \frac{\%v_d \times 380}{100}$$

แทนค่าต่างๆ ลงในจะได้

$$v_d = \frac{3 \times 380}{100} = 11.4 [\text{V}]$$

แทนค่า  $v_d$  ลงในสมการที่ 5.1

$$V_d(3\phi) = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot L (R_t \cos \Phi + X \sin \Phi) [\text{V}]$$

$$L = 162\text{m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป : ในการแก้ไขโดยวิธีการลดความยาวสาย

ใช้สายเคเบิล thw ขนาด 95 mm<sup>2</sup>

สายเคเบิลยาว 162 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 3.0%

ตัวอย่างที่ 1.3 จากตัวอย่างที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายมีค่าเกิน 3% ดังนั้นจะทำการแก้ไขโดยวิธีที่ 2 คือไม่สามารถลดความยาวของสายเคเบิลได้ จึงต้องทำการแก้ไขโดยการเพิ่มสายคู่ควบ

วิธีทำ กระแสโหลด 
$$\frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 167 \text{ A}$$

ฉนวน PVC

อุณหภูมิรอบข้าง 40°C เดินในท่อร้อยสายติดบนกำแพง

ใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

∴ จะได้ขนาดสายเคเบิลเท่ากับ 95 mm<sup>2</sup>

พิกัดกระแสของสายเคเบิลขนาด 95 mm<sup>2</sup> ในตารางเท่ากับ 187 A (เพิ่มสายคู่ควบขึ้น 1 ตัวนำต่อ 1 เฟส)

พิกัดกระแสจริง  $I_Z = 187 \times 2 \times 0.8 = 299 \text{ A}$

ตรวจสอบกระแส  $I_Z \geq I_L$

ตรวจสอบแรงดันตกในสายเคเบิลจากสมการที่ 5.1

$$V_{d(3\phi)} = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot L (R_t \cos \Phi + X \sin \Phi) [V]$$

$R_t$  = ความต้านทานของสายเฟสที่อุณหภูมิใช้งาน [ $\Omega/m$ ] หาได้จาก

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)] \quad [\Omega/m]$$

$R_{20}$  = เป็นความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ 20°C หาได้จาก

$$R_{20} = \rho / s \quad [\Omega/m]$$

เมื่อตัวนำเป็นทองแดงจะได้  $\rho = 1/154$

$$[\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore R_{20} = 0.195 \times \left(\frac{1}{2}\right) = 0.0975 \quad [\text{m}\Omega/\text{m}]$$

t เป็นอุณหภูมิของตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเคเบิล จะได้

$$\begin{aligned} t &= t_a + \Delta t (I_L / I_Z)^2 \\ &= 40 + [(70 - 40) \cdot (167 \div 299)^2] \\ &= 49.35 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

แทนค่าที่ได้ลงใน(5.2) จะได้

$$R_t = 0.195 [1 + 0.00393(49.35 - 20)]$$

$$= 0.1087 [(\text{m}\Omega)/\text{m}]$$

$$X = 0.1 \times \left(\frac{1}{2}\right) = 0.05 [(\text{m}\Omega)/\text{m}]$$

แทนค่าต่างๆลงใน(5.1) จะได้

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \cdot 167 \cdot 200 [(0.1087 \cdot 0.8) + (0.05 \cdot \sqrt{1 - 0.8^2})] \cdot 10^{-3} [\text{V}] \\ &= 6.76 [\text{V}] \end{aligned}$$

$$\therefore \%V_d = \frac{6.76}{380} \cdot 100 = 1.78\%$$

สรุป: วิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีการเพิ่มสายคู่ควบ

ใช้สายเคเบิล thw ขนาด 95 mm<sup>2</sup>

สายเคเบิลยาว 200 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 1.78%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง

#### ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1.4 ต้องการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลไปยังโหลดขนาด 630 kVA 3 เฟส 3 สาย แรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 kV ความยาวของสายจากแหล่งจ่ายไฟถึงโหลด 1500 m. เป็นสาย XLPE เดินในท่อโลหะเดินในอากาศ อุณหภูมิรอบข้าง  $40^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิตัวนำ  $90^{\circ}\text{C}$  จงหาขนาดของสายเคเบิลที่ทำให้แรงดันตกไม่เกิน 5%

วิธีทำ กระแสโหลด 
$$\frac{630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3300} = 110 \text{ A}$$

ฉนวน XLPE

อุณหภูมิรอบข้าง  $40^{\circ}\text{C}$  เดินในท่อโลหะเดินในอากาศ

ใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

$$\therefore \text{จะได้ขนาดสายเคเบิลเท่ากับ } 35 \text{ mm}^2$$

พิกัดกระแสของสายเคเบิลขนาด  $35 \text{ mm}^2$  ในตารางเท่ากับ 148 A

พิกัดกระแสจริง  $I_z = 148 \text{ A}$

ตรวจสอบกระแส 
$$I_z \geq I_L$$

ตรวจสอบแรงดันตกในสายเคเบิลจากสมการที่ 5.1

$$V_{d(3\phi)} = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot L (R_t \cos \Phi + X \sin \Phi) [\text{V}] \quad (5.1)$$

$R_t$  = ความต้านทานของสายเฟสที่อุณหภูมิใช้งาน  $[\Omega/\text{m}]$  หาได้จาก

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)] \quad [\Omega/\text{m}] \quad (5.2)$$

$R_{20}$  = เป็นความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  หาได้จาก

$$R_{20} = \rho / s \quad [\Omega/\text{m}] \quad (5.3)$$

เมื่อตัวนำเป็นทองแดงจะได้  $\rho = 1/154 \quad \left| \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right|$

$$\therefore R_{20} = 0.529 \quad [\text{m}\Omega/\text{m}]$$

$$\begin{aligned}
 (5.4) \quad t &= t_a + \Delta t (I_L / I_Z)^2 \\
 &= 40 + [(90 - 40) \cdot (110 / 148)^2] \\
 &= 67.62 \quad (^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

แทนค่าที่ได้ลงใน(5.2) จะได้

$$R_t = 0.529[1 + 0.00393(67.62 - 20)]$$

$$= 0.63[(\text{m}\Omega)/\text{m}]$$

$$X = 0.1[(\text{m}\Omega)/\text{m}]$$

แทนค่าต่างๆลงใน(6.1) จะได้

$$V_d = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 1500 [(0.63 \cdot 0.8) + (0.1 \cdot \sqrt{1 - 0.8^2})] \cdot 10^{-3} [\text{V}]$$

$$= 161 [\text{V}]$$

$$\therefore \%V_d = \frac{161}{3300} \cdot 100 = 4.7\%$$

สรุป: ใช้สายเคเบิล XLPE ตัวนำทองแดงขนาด  $35 \text{ mm}^2$

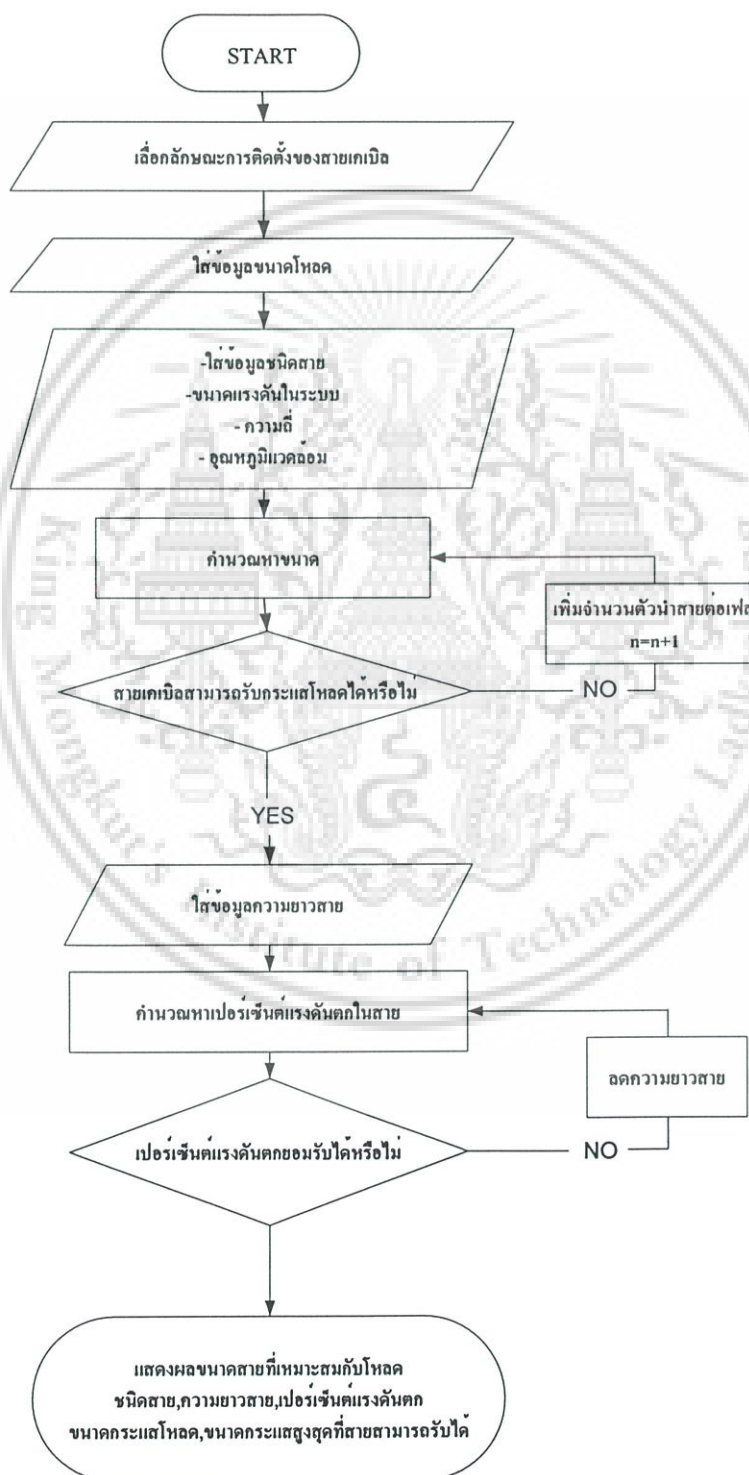
สายเคเบิลยาว 1500 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 4.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณหาพิคตกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและ แรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้งแรงดันตกในสาย

### 5.2.1 หลักการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดัง Flowchart ต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 5.1 Flowchart โปรแกรมคำนวณหาพิคตกระแสและขนาดของสายเคเบิล ทั้งในระบบ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและ แรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง และแรงดันตกในสาย โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ป้อนข้อมูลขนาดโหลด(kVA)
2. เลือกลักษณะการติดตั้ง
3. เลือกชนิดสายเคเบิล , ป้อนข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อม, ป้อนข้อมูลค่าความยาวสาย,

ป้อนข้อมูลค่า Power Factor

4. โปรแกรมจะทำการคำนวณขนาดสายเคเบิลที่เหมาะสมกับขนาดโหลด ตามมาตรฐานที่ผู้ใช้เลือก

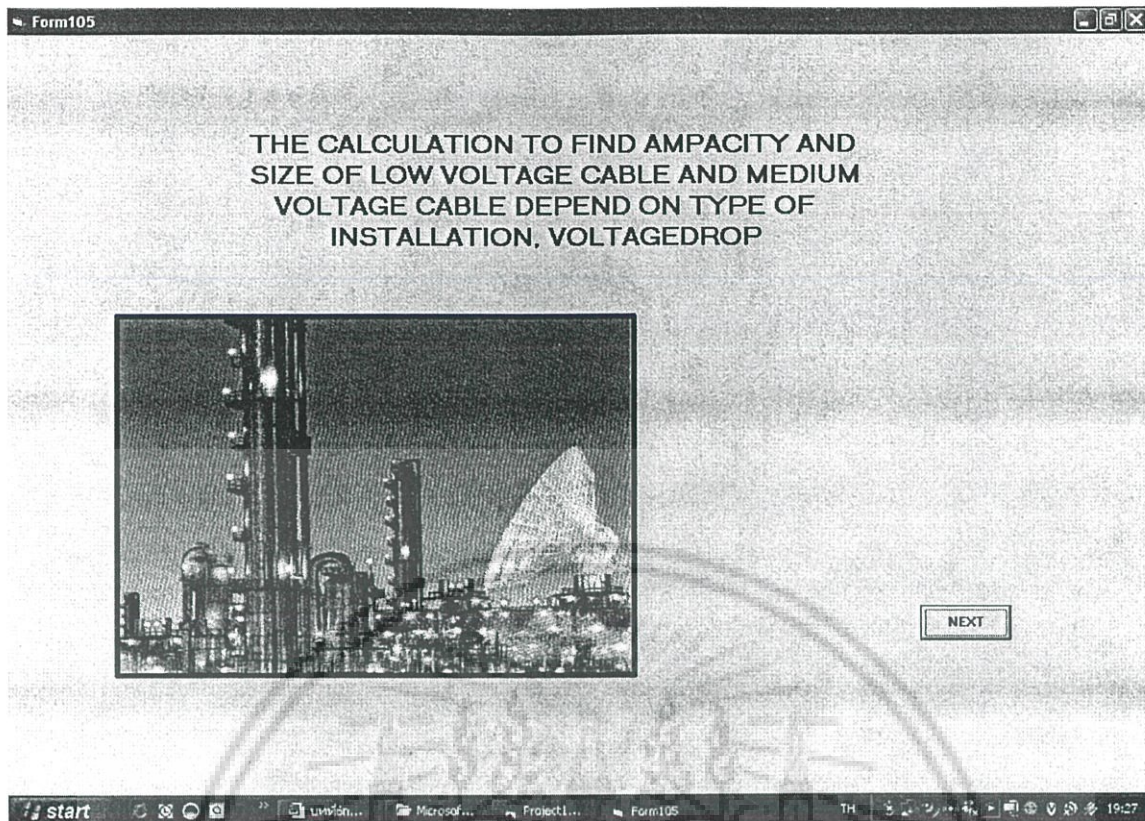
โดยผู้ใช้สามารถเลือกอ้างอิงได้ 3 มาตรฐาน คือ

- 1) มาตรฐาน IEC 287
- 2) มาตรฐาน Neher – McGrath
- 3) มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี 2545

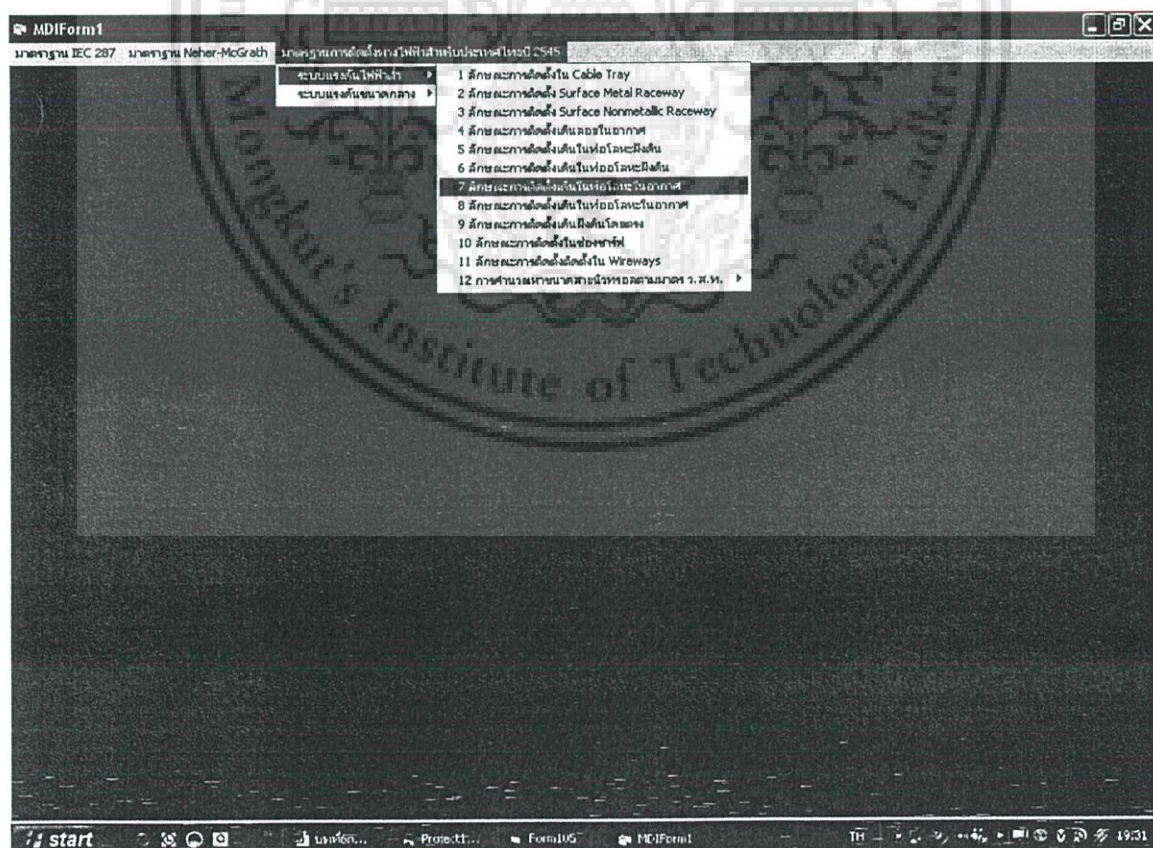
ในกรณีที่กระแสโหลดมีค่าเกินค่ากระแสที่สายเคเบิลขนาดใหญ่ที่สุดสามารถรับได้ โปรแกรมจะแสดงข้อความ ให้ผู้ใช้ทำการแก้ไข โดยการเพิ่มสายคู่ควบ

### 5.2.2 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ ตัวอย่างที่การใช้โปรแกรมในการคำนวณ

จากโจทย์ข้อเดิมตัวอย่างที่ 1.1 ต้องการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสายเคเบิล ไปยังโหลดขนาด 110 kVA 3 เฟส 3 สาย ความยาวของสายจากแหล่งจ่ายไฟถึงโหลด 200 m. เป็นสาย thw แกนเดี่ยวเดินในท่อโลหะร้อยสายติดบนกำแพง อุณหภูมิรอบข้าง 40°C จงหาขนาดของสายเคเบิลที่ทำให้แรงดันตกไม่เกิน 3% เมื่อใช้สายเคเบิลมีฉนวนเป็น PVC อุณหภูมิตัวนำ 70°C



รูปที่ 5.2 เริ่มเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม กด next เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลัก



รูปที่ 5.3 เมื่อเข้าสู่หน้าจอหลักผู้ใช้สามารถเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ 3 มาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ดั้งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 ในแต่ละมาตรฐานผู้ใช้สามารถเลือกพิกัดแรงดันไฟฟ้าได้ 2 แบบ คือพิกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำและพิกัดแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง ซึ่งในพิกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำสามารถเลือกลักษณะการติดตั้งได้ 11 ลักษณะการติดตั้ง คือ

1. ลักษณะการติดตั้งใน Cable Tray
2. ลักษณะการติดตั้งใน Surface Metal Raceway
3. ลักษณะการติดตั้งใน Surface Nonmetallic Raceway
4. ลักษณะการติดตั้งเดินลอยในอากาศ
5. ลักษณะการติดตั้งเดินในท่อโลหะฝังดิน
6. ลักษณะการติดตั้งเดินในท่อโลหะฝังดิน
7. ลักษณะการติดตั้งเดินในท่อโลหะในอากาศ
8. ลักษณะการติดตั้งเดินในท่อโลหะในอากาศ
9. ลักษณะการติดตั้งฝังดิน โดยตรง
10. ลักษณะการติดตั้งในช่องชาร์ฟ
11. ลักษณะการติดตั้งเดินใน Wireways

และในระบบพิกัดแรงดันไฟฟ้าขนาดกลางสามารถเลือกลักษณะการติดตั้งได้ 5 ลักษณะการติดตั้ง คือ

1. ลักษณะการติดตั้งใน Duck Bank
2. ลักษณะการติดตั้งเดินในท่อโลหะในอากาศ
3. ลักษณะการติดตั้งฝังดิน โดยตรง
4. ลักษณะการติดตั้งในท่อโลหะฝังดิน
5. ลักษณะการติดตั้งในท่อโลหะฝังดิน

Form2

วิธีการติดตั้ง ชนิด สายเคเบิลร้อยท่อ โลหะติดตั้งบนกำแพง

เลือกชนิดสาย lhw ความถี่ (Hz) 50

เลือกขนาดสาย (sq.mm) 95

อุณหภูมิรอบข้าง (°C) 40

จำนวนหาพิการณของสาย 187

Project3

ไม่ระบุชนิดสาย (THW/AlNY)

OK

Cancel

lhw

ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล

PlotGraph

ส่วนแสดงผล

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

ขนาดสายก่อนทำการตรวจสอบแรงดัน (sq.mm)

ขนาดโหลด (KVA)

กระแสโหลด (AMP)

1/ไม่ใช้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยเพิ่มขนาดสายและความยาวสาย

ความยาวหลังทำการแก้ไข (เมตร)

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq.mm)

2/ไม่ใช้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยการค้นสายแบบคววชานาน

จำนวนวงจรหรือเคเบิลหลายแกน

ความยาวหลังทำการแก้ไข (เมตร)

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq.mm)

เลือกชนิดสาย

ขนาดโหลด (KVA)

กระแสโหลด (AMP)

ขนาดสาย (sq.mm)

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

อุณหภูมิสายสูงสุด (องศาเซลเซียส)

ขนาดท่อ (ท่อ) (mm)

สายเคเบิลสามารถรับกระแสได้เพียง (Amp)

พิกัด Derating ของสายเคเบิล

ความถี่ (Hz)

Harmonic Oder

Per Unit(ln/I1)

PlotGraph

รูปที่ 5.4 เมื่อผู้ใช้เลือกลักษณะการติดตั้งชนิดร้อยท่อโลหะติดตั้งบนกำแพง และป้อนข้อมูล ชนิดสาย ,ขนาด โหลด,อุณหภูมิแวดล้อม,ความยาวสาย,ค่า POWER FACTOR

ส่วนแสดงผล

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส) 40

ชนิดสาย lhw

ความยาวสาย (เมตร) 200

ขนาดสายก่อนทำการตรวจสอบแรงดัน (sq.mm) 95

P.F. 0.8

ขนาดโหลด (KVA) 110

กระแสโหลด (AMP) 167

ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล

3.6972

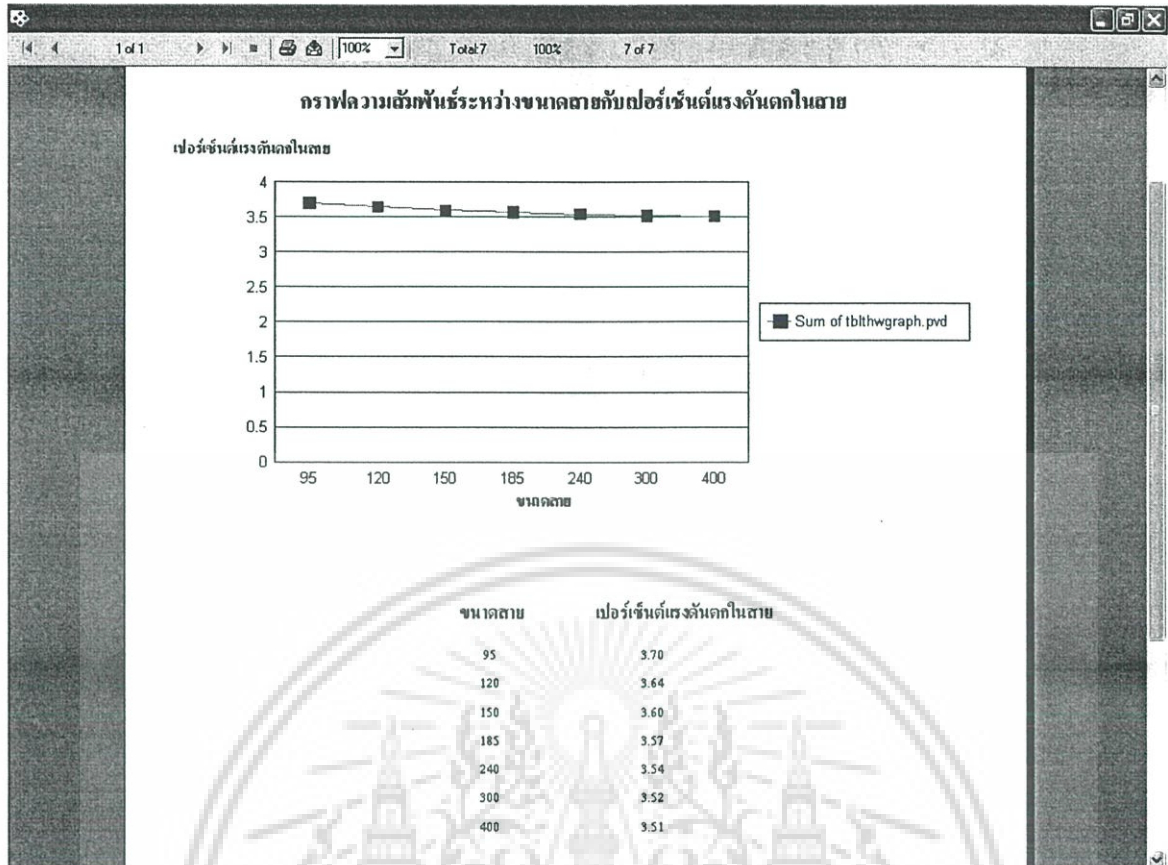
%

Graph

รูปที่ 5.5 โปรแกรมแสดงผลเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย

จากรูปที่ 5.5 เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลจนครบเรียบร้อย และคลิกที่ปุ่มตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล โปรแกรมจะแสดงผล ขนาดสายที่เหมาะสมกับโหลด และเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลตามความยาวสายที่ผู้ใช้กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกกับขนาดสาย

จากรูปที่ 5.6 เมื่อผู้ใช้ต้องการดูความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกกับขนาดสายที่ใหญ่ขึ้น สามารถคลิกที่ปุ่มกราฟ โปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงผลในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ สรุปผลการคำนวณจากโปรแกรมตามตัวอย่างที่ 1.1 คือ

ใช้สายเคเบิล thw คำนวณทองแดงขนาด  $95 \text{ mm}^2$

สายเคเบิลยาว 200 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 3.69%

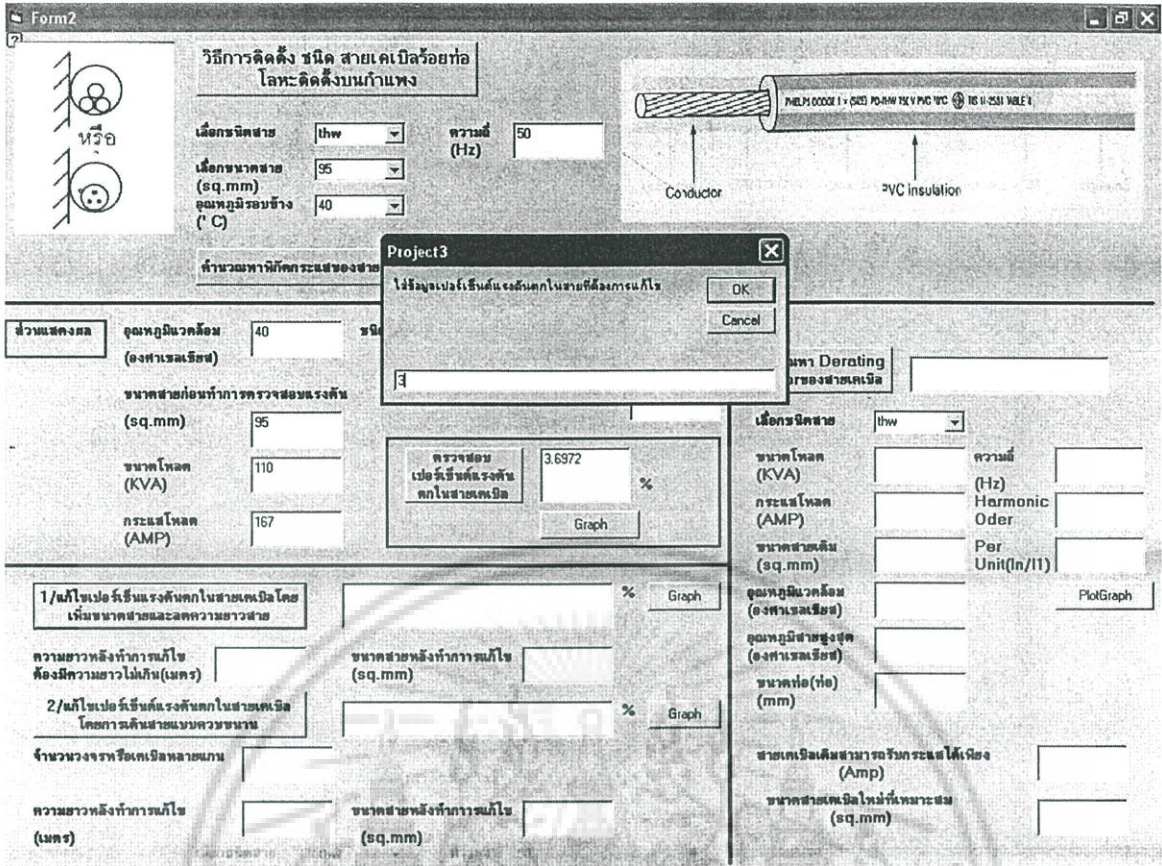
จะเห็นได้ว่าจากตัวอย่างที่ 1.1 กำหนดให้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายไม่เกิน 3 % ดังนั้นจะต้องทำการแก้ไข ซึ่งในกรณีที่เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเกินกว่าที่กำหนดสามารถทำการแก้ไข โดย

1. ลดความยาวสาย
2. เพิ่มขนาดสายหรือเพิ่มสายคู่ควบ

ในส่วนของโปรแกรมผู้ใช้สามารถเลือกแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายได้ 2 แบบ คือ

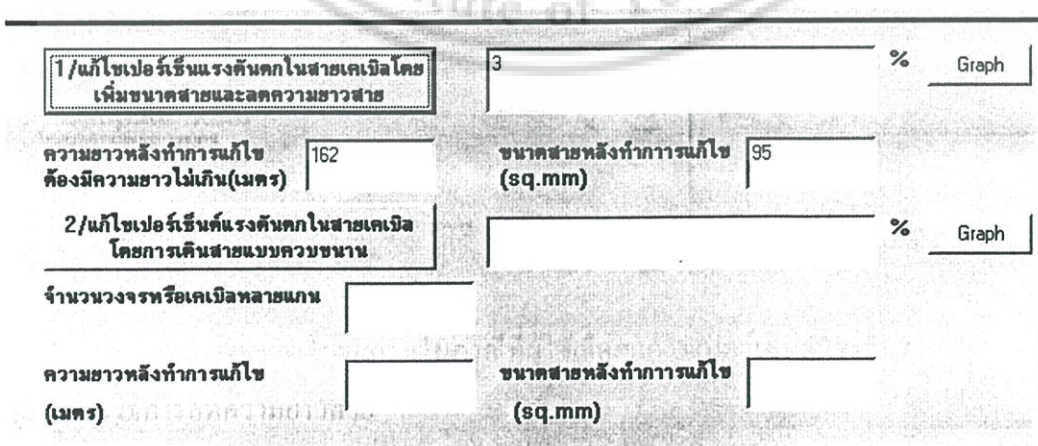
1. แบบลดความยาวสาย
2. แบบเพิ่มจำนวนสายคู่ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



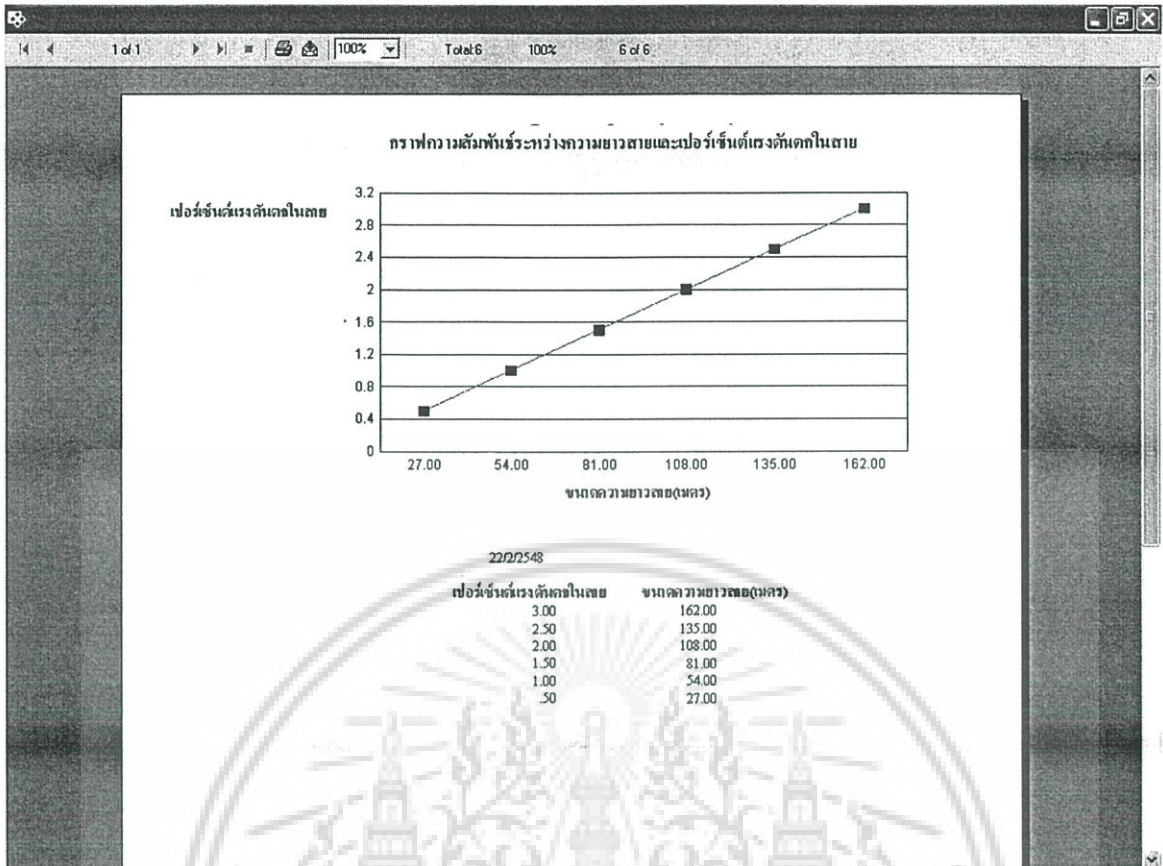
รูปที่ 5.7 แสดงการทำงานของโปรแกรมในกรณีที่ผู้ใช้เลือกแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย โดยวิธีการลดความยาวสาย

จากรูปที่ 5.7 ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกวิธีการแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย โดยวิธีลดความยาวสาย โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายที่ต้องการ (ในที่นี้คือ 3%) หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณความยาวสายที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 โปรแกรมแสดงค่าความยาวสายที่ทำการแก้ไข นั่นก็คือ ที่เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย 3% จะต้องมีความยาวสายไม่เกิน 162 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงคั่นตงในสายกับความยาวสาย

จากรูปที่ 5.9 ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการดูความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงคั่นตงในสายและความยาวสาย สามารถคลิกที่ปุ่มกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ดังกล่าวได้  
สรุปผลในการแก้ไขในแบบที่ 1 โดยวิธีการลดความยาวสาย

ใช้สายเคเบิล thw ตัวนำทองแดงขนาด  $95 \text{ mm}^2$

สายเคเบิลยาวไม่เกิน 162 m

เปอร์เซ็นต์แรงคั่นตง 3.0%

ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่สามารถลดความยาวของสายได้เนื่องจากลักษณะการติดตั้ง ดังนั้นจะต้องเลือกการแก้ไขในแบบที่ 2 คือไม่สามารถลดความยาวของสายเคเบิลได้ จึงต้องทำการแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนสายคู่ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form2

วิธีการติดตั้ง ชนิด สายเคเบิลร้อยท่อ โลหะติดตั้งบนกำแพง

เลือกชนิดสาย 1hw ความถี่ (Hz) 50

เลือกขนาดสาย (sq. mm) 95 อุณหภูมิรอบข้าง (°C) 40

จำนวนสายคู่ควบ

Project3

ใส่จำนวนสายคู่ควบบนาน(ไม่เกิน20วงจร)

จำนวนสายคู่ควบ 2

ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล 3.6972 %

จำนวนวงจรหรือเคเบิลหลายแกน

1/แก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยเพิ่มขนาดสายและลดความยาวสาย

ความยาวหลังทำการแก้ไข ต้องมีความยาวไม่เกิน(เมตร)

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq. mm)

2/แก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล โดยการเดินสายแบบควบขนาน

จำนวนวงจรหรือเคเบิลหลายแกน

ความยาวหลังทำการแก้ไข (เมตร)

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq. mm)

เลือกชนิดสาย

ขนาดโหลด (KVA)

กระแสโหลด (AMP)

ขนาดสายเดิม (sq. mm)

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

อุณหภูมิสายสูงสุด (องศาเซลเซียส)

ขนาดท่อ (dia) (mm)

สายเคเบิลเดิมสามารถรับกระแสได้เพียง (Amp)

ขนาดสายเคเบิลใหม่ที่เหมาะสม (sq. mm)

ความถี่ (Hz)

Harmonic Order

Per Unit(ln/11)

PlotGraph

รูปที่ 5.10 แสดงการทำงานของ โปรแกรมในกรณีที่ผู้ใช้เลือกแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย โดยวิธีเพิ่มจำนวนสายคู่ควบ

จากรูปที่ 5.10 ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกแก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย โดยวิธีเพิ่มจำนวนสายคู่ควบ โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลขนาดสายใหม่ที่ต้องการ จำนวนสายคู่ควบ และความยาวสายที่ต้องการจากนั้น โปรแกรมจะแสดงผลดังรูปที่ 5.11

1/แก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยเพิ่มขนาดสายและลดความยาวสาย

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq. mm)

2/แก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยการเดินสายแบบควบขนาน

จำนวนวงจรหรือเคเบิลหลายแกน 2

ความยาวหลังทำการแก้ไข (เมตร) 200

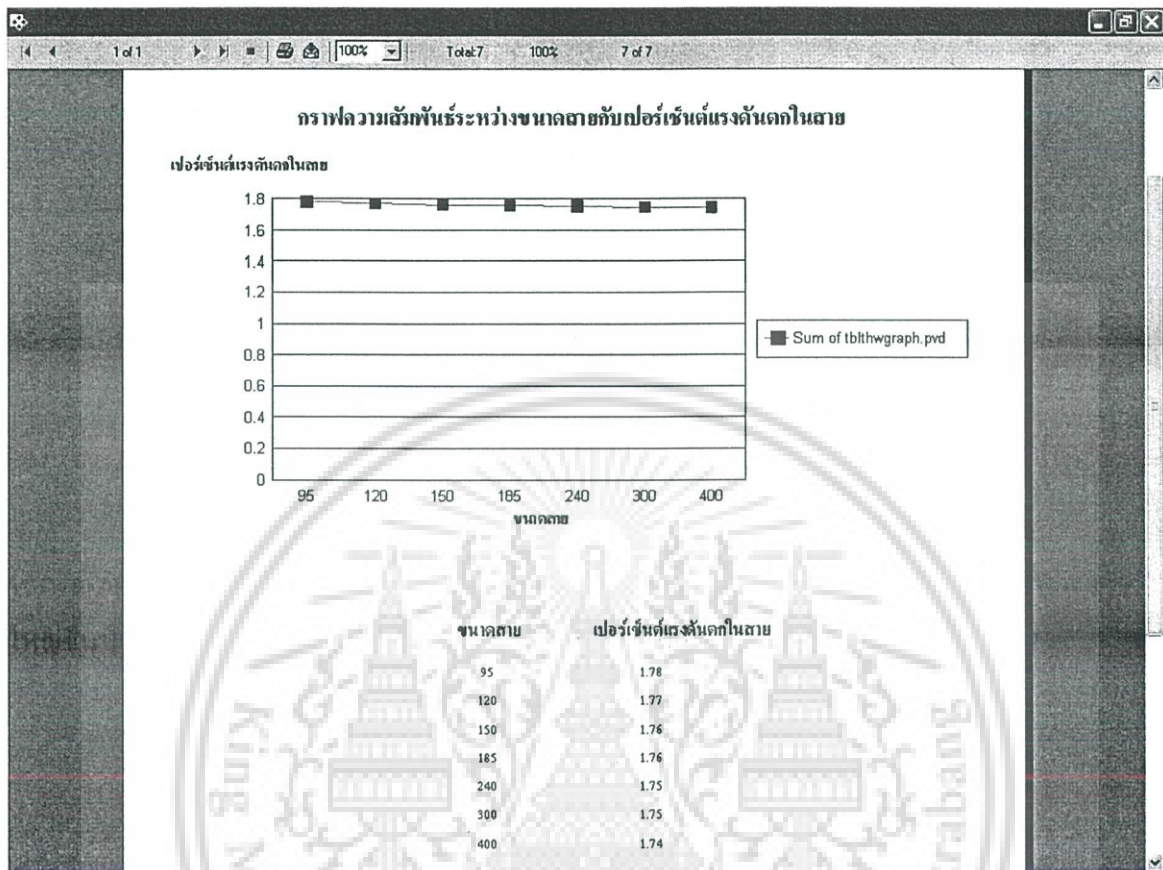
ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq. mm) 95

1.7807 % Graph

% Graph

รูปที่ 5.11 โปรแกรมแสดงผลค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกเมื่อทำการแก้ไข โดยการเพิ่มสายคู่ควบแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการดูกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายและขนาดสายที่ใหญ่ขึ้น ในกรณีที่เพิ่มสายคู่ควบ ผู้ใช้สามารถคลิกปุ่มกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกกับขนาดสายเมื่อทำการเพิ่มสายคู่ควบ

สรุปผลในการแก้ไขในแบบที่ 2 โดยวิธีการเพิ่มสายคู่ควบ

ใช้สายเคเบิล thw ขนาด 95 mm<sup>2</sup>

สายเคเบิลยาว 200 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 1.78%

### 5.2.3 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง

#### ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

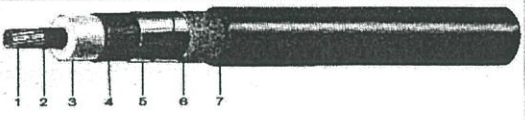
จากโจทย์เดิมตัวอย่างที่ 2.1 ต้องการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลไปยังโหลดขนาด 630 kVA 3 เฟส 3 สาย แรงดันขนาด 3.3 kV ความยาวของสายจากแหล่งจ่ายไฟถึงโหลด 1500 m. เป็นสาย XLPE เดินในท่อโลหะเดินในอากาศ อุณหภูมิรอบข้าง 40°C อุณหภูมิตัวนำ 90°C จงหาขนาดของสายเคเบิลที่ทำให้แรงดันตกไม่เกิน 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form12

วิธีการติดตั้ง ชนิด สายXLPE เติน  
ในท่อโลหะในอากาศ

เลือกขนาดสาย (sq.mm)  ความถี่ (Hz)

อุณหภูมิรอบข้าง (°C)  แสดงลักษณะสาย 

จำนวนพาหุกระแสของสาย

REFERENCES

1. Conductor
2. Insulation
3. Separation Tape
4. Copper Shield Tape
5. Copper Shield Tape
6. Separator Tape
7. PVC Jacket

ส่วนแสดงผล

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)  ชนิดสาย

ขนาดสายก่อนทำการตรวจสอบแรงดัน (sq.mm)

ขนาดโหลด (KVA)  ขนาดแรงดันที่แหล่งจ่าย (V)  3300

กระแสโหลด (AMP)

Project3

ป้อนปริมาณโหลด(KVA)  630

OK Cancel

ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล  %

plotgraph

1/เมื่อใช้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยเพิ่มขนาดสายและลดความยาวสาย  % Graph

ความยาวหลังทำการแก้ไข ต้องมีความยาวไม่เกิน(เมตร)

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq.mm)

2/เมื่อใช้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิลโดยการลดจำนวนพาหุกระแส  % Graph

จำนวนวงจรหรือเคเบิลหลายแกน

ความยาวหลังทำการแก้ไข (เมตร)

ขนาดสายหลังทำการแก้ไข (sq.mm)

รูปที่ 5.13 แสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณขนาดสายที่เหมาะสมกับ โหลด และ เปอร์เซนต์แรงดันตกในสาย

ส่วนแสดงผล

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)  40

ชนิดสาย  xlpe

ความยาวสาย (เมตร)  1500

ขนาดสายก่อนทำการตรวจสอบแรงดัน (sq.mm)  35

P.F.  0.8

ขนาดโหลด (KVA)  630

ขนาดแรงดันที่แหล่งจ่าย (V)  3300

กระแสโหลด (AMP)  110

ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล  4.7121 %

plotgraph

รูปที่ 5.14 โปรแกรมแสดงผลข้อมูลเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย

สรุป: ใช้สายเคเบิล XLPE ตัวนำทองแดงขนาด 35 mm<sup>2</sup>

สายเคเบิลยาว 1500 m

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก 4.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ตารางแสดงผลลัพธ์เปรียบเทียบทั้ง 3 มาตรฐาน

#### 5.3.1 ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลและเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 24 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1600 kVA สาย XLPE ติดตั้งใน DUCK BANK 1 วงจร ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 800 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกใน สาย (%)
Neher-McGrath	35	38	180	0.11
E.I.T	35	38	175	0.11
IEC	35	38	176	0.11

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1500 kVA สาย XLPE เดินในท่อโลหะในอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 700 m สามารถแสดงได้ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกใน สาย(%)
Neher-McGrath	95	262	273	2.36
E.I.T	95	262	265	2.36
IEC	95	262	268	2.36

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1500 kVA สาย XLPE เดินฝังดินโดยตรง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 700 m สามารถแสดงได้ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกใน สาย (%)
Neher-McGrath	70	262	311	2.95
E.I.T	70	262	302	2.95
IEC	70	262	303	2.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1600 kVA สาย XLPE เดินในท่อโลหะฝังดิน ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 1500 m สามารถแสดงได้ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	35	42	181	0.24
E.I.T	35	42	176	0.24
IEC	35	42	177	0.24

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1600 kVA สาย XLPE เดินในท่อโลหะฝังดิน ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 1500 m สามารถแสดงได้ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	35	42	153	0.25
E.I.T	35	42	149	0.25
IEC	35	42	151	0.25

### 5.3.2 ในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งใน Cable Tray ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	50	76	113	2.05
E.I.T	50	76	110	2.05
IEC	50	76	111	2.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V  
 จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งใน Surface Metal Raceway ที่อุณหภูมิ  
 แวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	25	76	80	3.9
E.I.T	25	76	77	3.9
IEC	25	76	79	3.9

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V  
 จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งใน Surface Nonmetallic Raceway ที่  
 อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	25	76	76	3.9
E.I.T	35	76	91	2.8
IEC	35	76	93	2.8

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V  
 จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย THW ติดตั้งเดินในอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C  
 อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	16	76	84	6.0
E.I.T	16	76	81	6.0
IEC	16	76	83	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์ฟลักกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งเดินในท่อโลหะฝังดิน ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	ฟลักกระแสโหลด (A)	ฟลักกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	16	76	80	6.04
E.I.T	16	76	77	6.04
IEC	16	76	79	6.04

ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ฟลักกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งเดินในท่อโลหะฝังดิน ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	ฟลักกระแสโหลด (A)	ฟลักกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	25	76	90	3.8
E.I.T	25	76	87	3.8
IEC	25	76	88	3.8

ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ฟลักกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย THW ติดตั้งเดินร้อยท่อโลหะในอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	ฟลักกระแสโหลด (A)	ฟลักกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	25	76	80	3.9
E.I.T	25	76	77	3.9
IEC	25	76	79	3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ฟลักกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย THW ติดตั้งเดินท่อบนโลหะในอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	ฟลักกระแสโหลด (A)	ฟลักกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	25	76	76	3.9
E.I.T	35	76	91	2.8
IEC	35	76	93	2.8

ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์ฟลักกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งฝังดินโดยตรง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	ฟลักกระแสโหลด (A)	ฟลักกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	10	76	77	5.9
E.I.T	16	76	97	5.7
IEC	10	76	76	5.9

ตารางที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์ฟลักกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งในช่องชาร์ฟ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	ฟลักกระแสโหลด (A)	ฟลักกระแสของ สาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	50	76	174	2.0
E.I.T	50	76	169	2.0
IEC	50	76	170	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งใน Wireways ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70 °C ระยะ 150 m สามารถแสดงได้ ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของ สาย(A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	25	76	80	3.9
E.I.T	25	76	77	3.9
IEC	25	76	78	3.9

#### 5.4 ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิกในสาย

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 เป็นการหาขนาดกระแสของสายนิวทรัลของหม้อแปลงกำลังพิกัด 250 kVA (ระบบ 3 เฟส, 4 สาย) โดยคำนวณออกมาในรูปตัวคูณลดกระแส (Neutral Harmonics Derating Factor) ใช้สาย NYY 1 แกนขนาด 300 mm<sup>2</sup> จำนวน 4 เส้น วางในท่อร้อยสายขนาด 5 นิ้ว สายนิวทรัลมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 56% ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน

วิธีทำ

คำนวณตัวประกอบปรากฏการณ์ทางผิวที่ความถี่มูลฐาน  $f = 50$  Hz

$$\beta = 1 - \frac{d_i}{d_c} = 1$$

$$m^2 = \frac{2\pi\mu_r\mu_0 f}{\rho}$$

$$= \frac{8\pi^2 \times 50 \times 10^{-7}}{1.7241 \times 10^{-8} [1 + 0.00393(70 - 20)]} = 19153$$

$$Z = 0.25m^2 K_s (d_c - d_i)^2$$

$$= 0.25 \times 19153 \times 122.68 \times 10^{-3} = 2.463$$

$0 < Z \leq 5$

$$a(Z) = \frac{7Z^2}{315 + 3Z^2} = 0.127$$

$$b(Z) = \frac{56}{211 + Z^2} = 0.258$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณตัวประกอบปรากฏการณ์ความใกล้เคียงที่ความถี่มาตรฐาน  $f = 50 \text{ Hz}$

$$x_p = \sqrt{\frac{8\pi f}{R_{dc}} \times 10^{-7}}$$

$$= \sqrt{\frac{8\pi \times 50 \times 10^{-7} \times 0.8}{6.01 \times 10^{-5} (1 + 0.00393 \times 50)}} = 1.1826$$

$$y = \frac{dc}{s}$$

$$0 < x_p \leq 2.8$$

$$G(x) = \frac{11x^4_p}{704 + 20x^4_p} = 0.029$$

$$H(x_p) = \frac{1}{3} \times \left( \frac{1 + 0.0283x^4_p}{1 + 0.0042x^4_p} \right) = 0.349$$

$$Y_p = \frac{3y^2 G(x_p)}{2 - \frac{5}{12} y^2 H(x_p)} = 0.019$$

ความต้านทานกระแสไฟสลับที่ความถี่มาตรฐาน  $f = 50 \text{ Hz}$

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) = 0.0601 \times 10^{-3} (1 + 0.00393(50))(1 + 0.03 + 0.019)$$

$$= 0.754 \times 10^{-4} \Omega/m$$

คำนวณตัวประกอบปรากฏการณ์ทางผิวที่ความถี่  $f = 150 \text{ Hz}$

$$m^2 = \frac{2\pi \mu_r \mu_0 f}{\rho}$$

$$= \frac{8\pi^2 \times 150 \times 10^{-7}}{1.7241 \times 10^{-8} [1 + 0.00393(50 - 20)]} = 57459$$

$$Z = 0.25 m^2 K_s (d_c - d_i)^2$$

$$= 0.25 \times 57459 \times (22.68 \times 10^{-3})^2 = 7.389$$

$$5 < z \leq 30$$

$$a(z) = 0.19701 - 0.154295z + 0.073796z^2 - 9.02854 \cdot 10^{-3} z^3$$

$$+ 6.27032 \cdot 10^{-4} z^4 - 2.69028 \cdot 10^{-5} z^5 + 7.0647 \cdot 10^{-7} z^6 - 1.4301 \cdot 10^{-8} z^7 + 6.62315 \cdot 10^{-11} z^8 = 0.8165$$

$$b(z) = 0.5356 - 0.21030734z + 6.495563 \cdot 10^{-2} z^2 - 1.089373 \cdot 10^{-2} z^3$$

$$+ 1.03728739 \cdot 10^{-3} z^4 - 5.8238557 \cdot 10^{-5} z^5 + 1.91099645 \cdot 10^{-6} z^6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_s = a(z) \left[ 1 - \frac{\beta}{2} - \beta^2 b(z) \right] = 0.2329$$

คำนวณตัวประกอบปรากฏการณ์ความถี่เสียงที่ความถี่  $f = 150 \text{ Hz}$

$$\begin{aligned} x_p &= \sqrt{\frac{8\pi f}{R_{dc}} \cdot 10^{-7} K_p} \\ &= \sqrt{\frac{8\pi \times 150 \times 10^{-7} \times 0.8}{6.01 \times 10^{-5} (1 + (0.0039 \times 50))}} = 2.0483 \end{aligned}$$

$$0 < x_p \leq 2.8$$

$$G(x) = \frac{11x^4_p}{704 + 20x^4_p} = 0.183$$

$$H(x_p) = \frac{1 + 0.0283x^4_p}{3 + 0.0042x^4_p} = 0.465$$

$$Y_s = \frac{3y^2 G(x_p)}{2 - \frac{5}{12} y^2 H(x_p)} = 0.12$$

คำนวณตัวประกอบความสูญเสียของท่อร้อยสายที่ความถี่  $f = 150 \text{ Hz}$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \left( \frac{f}{60} \right)^{1.5} \left( \frac{0.00794 \cdot s + 0.00039 \cdot d_d}{R} \right) 10^{-5} \\ &= \left( \frac{150}{60} \right)^{1.5} \left( \frac{0.00794 \times 35 + 0.00039 \times 128.19}{0.754 \times 10^{-4}} \right) 10^{-5} = 0.172 \end{aligned}$$

ความต้านทานกระแสไฟสลับที่ความถี่มูลฐาน  $f = 150 \text{ Hz}$

$$\begin{aligned} R_{ac(3)} &= R_{dc} (1 + Y_s(3) + Y_p(3)) (1 + \lambda_1(3) + \lambda_2(3)) \\ &= 0.0601 \times 10^{-3} (1 + 0.00393(50)) (1 + 0.233 + 0.12) (1 + 0.172) \end{aligned}$$

$$= 1.13 \times 10^{-4} \Omega/m^2$$

$$\beta(n) = \frac{\left( \frac{R_{ac}}{R_{dc}} \right)_n}{\left( \frac{R_{ac}}{R_{dc}} \right)_{fund}}$$

$$\beta(3) = \frac{1.13 \times 10^{-4}}{0.754 \times 10^{-4}} = 1.49$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha(3)=0.56$$

$$\begin{aligned} \text{NHDF} &= \sqrt{\frac{1}{1+\alpha^2(3)\beta(3)}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{1+(0.56)^2 \times 1.49}} \end{aligned}$$

กระแสที่พิกัดที่หม้อแปลงกำลังสามารถจ่ายได้เท่ากับ

$$= \frac{250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380} = 380 \text{ A}$$

สรุป

สาย NYY 1 แกนขนาด 300 mm<sup>2</sup> วางในท่อร้อยสายจะรับกระแสได้ 400 A ตามตารางที่ 5-11 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 ดังนั้น เมื่อรวมผลกระทบจากฮาร์มอนิกที่ 3 แล้วสายเคเบิลจะรับกระแสได้เพียง 400 x 0.83 = 332 A ดังนั้น จะเห็นถ้าเกิดมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 โหลดในสายนิวทรอลปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน สายนิวทรอลจะไม่สามารถรับกระแสโหลดขนาด 380 A ได้

จะต้องทำการแก้ไขโดยใช้สาย NYY 1 แกน ขนาด 400 mm<sup>2</sup> ตามตารางที่ 5-11 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 จะรับกระแสได้ 474 A ดังนั้น เมื่อรวมผลกระทบจากฮาร์มอนิกที่ 3 แล้วสายเคเบิลจะรับกระแสได้ 474 x 0.83 = 393 A ดังนั้น จะเห็นว่าถ้าเกิดมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 โหลดในสายนิวทรอลปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน ขนาดสายนิวทรอลสามารถรับกระแสโหลดขนาด 380 A ได้

## 5.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิก ในสาย

### 5.5.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาพิกัดกระแสของสายเคเบิล เมื่อคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์มอนิกในงานศึกษานี้ ได้แสดงดังรูปที่ 5.15 โดยมีลำดับขั้นตอนเริ่มจากการป้อนข้อมูลต่าง ๆ จากนั้น โปรแกรมจะคำนวณโดยอาศัยข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนรวมทั้งข้อมูลพื้นฐานที่เก็บเอาไว้ในหน่วยความจำ และแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นค่า Derating Factor กระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้เมื่อคำนวณผลกระทบจากกระแสฮาร์มอนิก ขนาดและชนิดของสายเคเบิล วิธีการติดตั้งสายเคเบิล นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถเลือกให้โปรแกรมแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสายนิวทรอลในรูปต่อหน่วย หรือ Derating Factor กับเปอร์เซ็นต์ของฮาร์มอนิกที่ 3 ได้ สรุปขั้นตอนการคำนวณเริ่มจาก

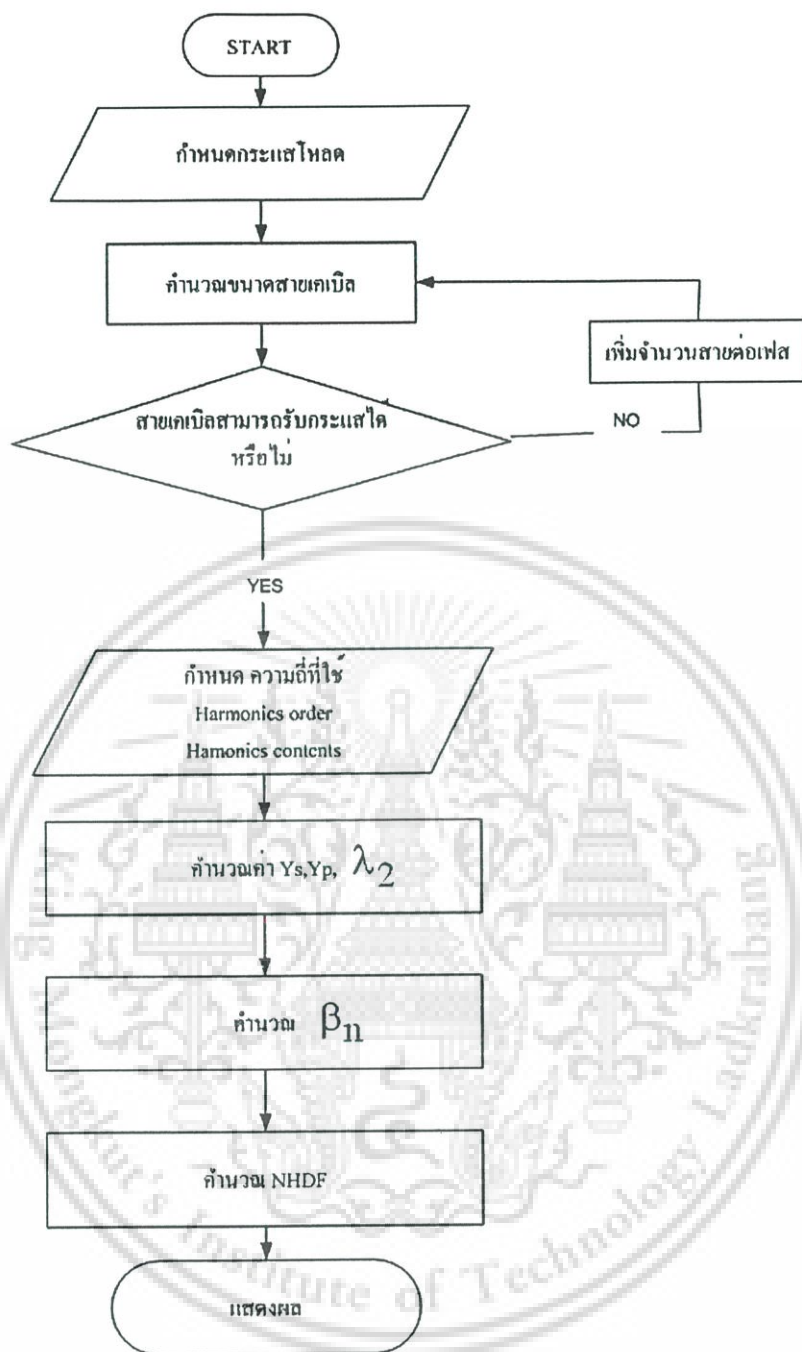
1. ป้อนขนาดโหลด (kVA)
2. เลือกลักษณะการติดตั้ง และชนิดสาย
3. โปรแกรมทำการคำนวณขนาดสายเคเบิล และขนาดท่อร้อยสายที่เหมาะสมตามขนาดกระแสโหลดและชนิดสายเคเบิล และลักษณะการวางสายสอดคล้องกับตารางของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 กรณีถ้ากระแสโหลดมีขนาดมากกว่าขนาดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้นั้น โปรแกรมจะแสดงข้อความถามผู้ใช้งานว่าจะเพิ่มจำนวนสายต่อเฟสหรือไม่ ผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนสายเคเบิลต่อเฟสได้ โดยโปรแกรมจะคำนวณขนาดสายเคเบิลที่เหมาะสม
4. เลือกความถี่ที่ใช้งาน 50 Hz หรือ 60 Hz
5. กำหนดลำดับของกระแสฮาร์มอนิก (n) และอัตราส่วนของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n

ต่อกระแสมูลฐาน

6. โปรแกรมทำการคำนวณว่า Derating factor ของสายนิวทรอล (NHDF)
7. แสดงผลการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงแผนผังการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างการคำนวณโดยโปรแกรม

จากโจทย์เดิมตัวอย่างที่ 1 เป็นการหาขนาดกระแสของสายนิวทรัลของหม้อแปลงกำลังพิกัด 250 kVA (ระบบ 3 เฟส, 4 สาย) โดยคำนวณออกมาในรูปตัวคูณลดกระแส (Neutral Harmonics Derating Factor) ใช้สาย NYY 1 แกนขนาด 300 mm<sup>2</sup> จำนวน 4 เส้น วางในท่อร้อยสายขนาด 5 นิ้ว สายนิวทรัลมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 56% ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน

The screenshot displays a software application window titled 'Form2' used for calculating cable derating factors. The main interface includes several input fields and calculation results:

- Input Fields:**
  - เลือกชนิดสาย (Cable Type): nyy
  - ความถี่ (Hz) (Frequency): [Blank]
  - เลือกขนาดสาย (sq. mm) (Cable Size): [Blank]
  - อุณหภูมิรอบข้าง (°C) (Ambient Temperature): [Blank]
- Diagram:** A cross-section of a cable is shown with labels: Conductor, PVC insulation, and PVC sheath. The cable is identified as 'PVC DOUBLE 1 x 300 PVC NY 70 PVC 70°C NS I 250 TABLE 6'.
- Project3 Dialog Box:**
  - ปริมาณขนาดโหลด (KVA) (Load Capacity): 250
  - Buttons: OK, Cancel
- Calculation Results and Graphs:**
  - ส่วนแสดงผล (Results Section):
    - อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส) (Ambient Temperature): [Blank]
    - ขนาดสายก่อนทำการตรวจสอบแรงดัน (sq. mm) (Cable Size before voltage check): [Blank]
    - ขนาดโหลด (KVA) (Load Capacity): [Blank]
    - กระแสโหลด (AMP) (Load Current): [Blank]
  - 1/แก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล โดยเพิ่มขนาดสายและลดความยาวสาย (Adjust cable voltage drop percentage by increasing cable size and reducing length): [Blank] % Graph
  - ความยาวหลังจากการแก้ไข (ความยาวไม่เกิน(เมตร)) (Length after correction (maximum length in meters)): [Blank]
  - ขนาดสายหลังจากการแก้ไข (sq. mm) (Cable size after correction): [Blank]
  - 2/แก้ไขเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเคเบิล โดยการเดินสายแบบทวนขนาน (Adjust cable voltage drop percentage by parallel wiring): [Blank] % Graph
  - จำนวนวงจรหรือเคเบิลหลายแกน (Number of circuits or multi-core cables): [Blank]
  - ความยาวหลังจากการแก้ไข (เมตร) (Length after correction (meters)): [Blank]
  - ขนาดสายหลังจากการแก้ไข (sq. mm) (Cable size after correction): [Blank]
- Right Panel:**
  - เลือกชนิดสาย (Cable Type): nyy
  - ขนาดโหลด (KVA) (Load Capacity): [Blank]
  - กระแสโหลด (AMP) (Load Current): [Blank]
  - ขนาดสายเดิม (sq. mm) (Original cable size): [Blank]
  - อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส) (Ambient Temperature): [Blank]
  - อุณหภูมิสายสูงสุด (องศาเซลเซียส) (Maximum cable temperature): [Blank]
  - ขนาดท่อ (ท่อ) (mm) (Pipe size (mm)): [Blank]
  - สายเคเบิลเดิมสามารถรับกระแสได้เพียง (Amp) (Original cable can only accept current): [Blank]
  - ขนาดสายเคเบิลใหม่ที่เหมาะสม (sq. mm) (Appropriate new cable size): [Blank]
  - พหุ Derating ของสายเคเบิล (Cable Derating Factor): [Blank]
  - ความถี่ (Hz) (Frequency): [Blank]
  - Harmonic Order: [Blank]
  - Per Unit (In/Il): [Blank]
  - Plot Graph: [Blank]

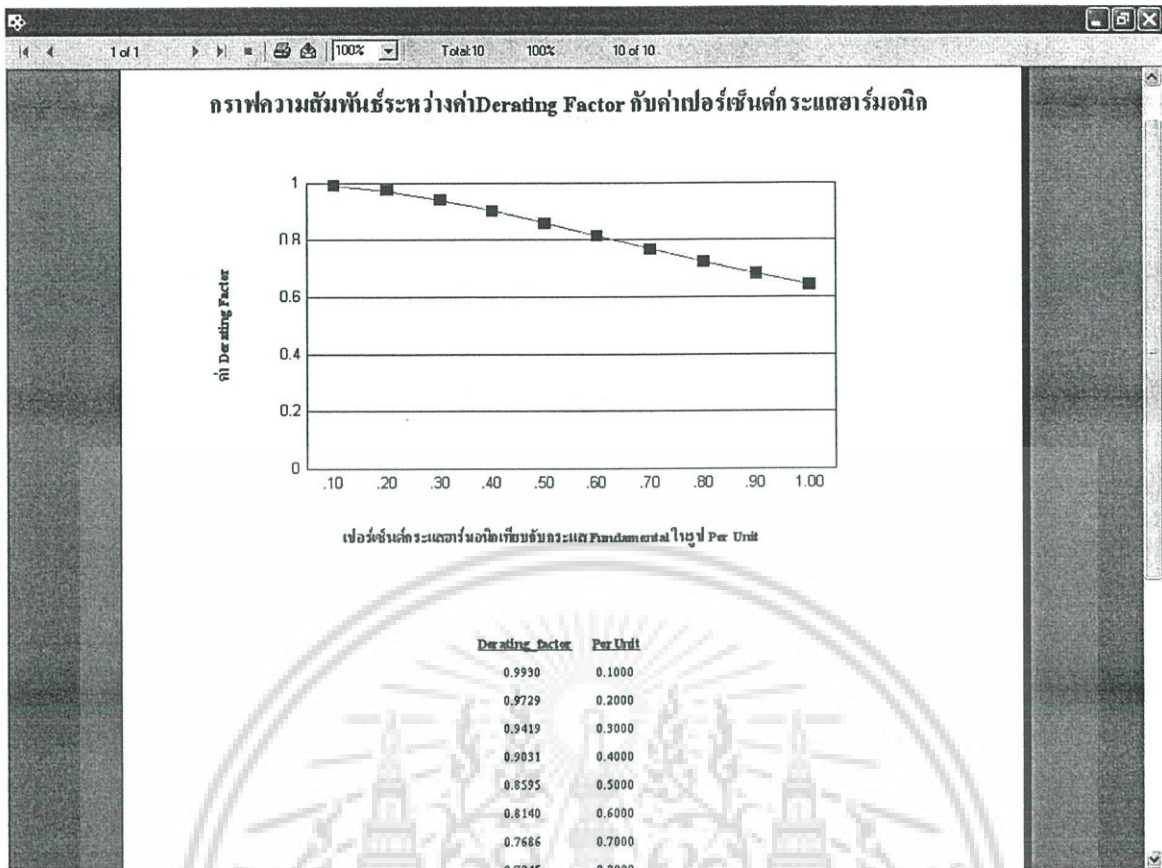
รูปที่ 5.16 ป้อนข้อมูลขนาดโหลด , ขนาดความถี่ , Harmonic order , เปอร์เซ็นต์กระแสฮาร์มอนิกในสาย, อุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>คำนวณหา Derating factor ของสายเคเบิล</b>		8323	
เลือกชนิดสาย	nyy		
ขนาดโหลด (KVA)	250	ความถี่ (Hz)	50
กระแสโหลด (AMP)	380	Harmonic Oder	3
ขนาดสายเดิม (sq.mm)	300	Per Unit(ln/l1)	0.56
อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)	40	PlotGraph	
อุณหภูมิสายสูงสุด (องศาเซลเซียส)	70		
ขนาดท่อ (ท่อ) (mm)	128		
สายเคเบิลเดิมสามารถรับกระแสได้เพียง (Amp)	333		
ขนาดสายเคเบิลใหม่ที่เหมาะสม (sq.mm)	400		

รูปที่ 5.17 โปรแกรมแสดงผลค่า Derating factor ในรูปตัวคูณลดกระแส และแสดงค่าขนาดสายใหม่ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Derating factor กับค่าเปอร์เซ็นต์กระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในสาย

### สรุป

โปรแกรมแสดงค่า Derating factor คือ 0.83 ดังนั้นสาย NYY 1 แกนขนาด 300 mm<sup>2</sup> วางในท่อร้อยสายจะรับกระแสได้ 400 A ตามตารางที่ 5-11 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 ดังนั้น เมื่อรวมผลกระทบจาก ฮาร์มอนิกที่ 3 แล้วสายเคเบิลจะรับกระแสได้เพียง  $400 \times 0.83 = 332$  A ดังนั้น จะเห็นถ้าเกิดมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 โหลดในสายนิวทรอลปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน สายนิวทรอลจะไม่สามารถรับกระแสโหลดขนาด 380 A ได้

โปรแกรมทำการแก้ไขโดยใช้สาย NYY 1 แกน ขนาด 400 mm<sup>2</sup> ตามตารางที่ 5-11 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 จะรับกระแสได้ 474 A ดังนั้น เมื่อรวมผลกระทบจากฮาร์มอนิกที่ 3 แล้วสายเคเบิลจะรับกระแสได้  $474 \times 0.83 = 393$  A ดังนั้น จะเห็นถ้าเกิดมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 โหลดในสายนิวทรอลปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน ขนาดสายนิวทรอลที่ทำการแก้ไขสามารถรับกระแสโหลดขนาด 380 A ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5.2 เปรียบเทียบค่า Derating Factor กับมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545

ตารางที่ 5.17 แสดงผลลัพธ์ค่า Derating Factor ที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545(E.I.T) และเปรียบเทียบขนาดสายเคเบิลเก่าและผลลัพธ์ขนาดสายที่แก้ไขใหม่ที่%Third Harmonic ขนาดต่างๆ

%Third Harmonic	ขนาดสายเคเบิลเดิม(mm <sup>2</sup> )	ขนาดสายเคเบิลแก้ไขใหม่(mm <sup>2</sup> )	Derating factor due to effect of zero sequence in neutral		Derating factor for 4 cable in conduit
			NHDF	E.I.T	E.I.T
0.2	300	300	0.974	1	0.82
0.4	300	400	0.907	1	0.82
0.6	300	400	0.815	1	0.82
0.8	300	500	0.725	1	0.82

เมื่อเปรียบเทียบค่า Derating Factor ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ กับค่า Derating Factor ตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 ดังตารางที่ 5.17 จะพบว่าเมื่อสายเคเบิลมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 เพิ่มขึ้น ค่า Derating Factor ของขนาดกระแสที่นิวทรอลสามารถรับได้ (NHDF) จากคำนวณ จะมีค่าลดลงหรือกล่าวได้ว่าสายนิวทรอลจะรับกระแสได้น้อยลง ส่วนค่า Derating Factor ของขนาดกระแสที่สายนิวทรอลสามารถรับได้ตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี 2545 จะเท่ากับ 1 และตามข้อกำหนดของสายนิวทรอลตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 หัวข้อที่ 5.18.1.7 เราจะนับสายนิวทรอลตามหัวข้อที่ 5.18.1.7.1 ด้วยในระบบ 3 เฟส ซึ่งโหลดส่วนใหญ่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกในสายนิวทรอล ดังนั้นถ้ามีสายในท่อร้อยสายเดียวกันมากกว่า 3 เส้น จะต้องใช้ตัวคูณเพื่อลดค่าขนาดกระแสสำหรับตารางที่ 5-10 ตามมาตรฐานของการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545 ถ้ามีสายเคเบิลในท่อร้อยสายจำนวน 4-6 เส้น จะใช้ตัวคูณลดเท่ากับ 0.82

## 5.5.3 เปรียบเทียบค่า Derating Factor ที่ได้จากการศึกษานี้และวิธีของ Ajit Hiranandani[6]

พิจารณาสายเคเบิลระบบ 3 เฟส 4 สาย เมื่อใช้สาย NYY 1 แกน ขนาด 240 mm<sup>2</sup> จำนวน 4 เส้นวางในท่อร้อยสายขนาด 4 นิ้ว คำนวณค่า Derating Factor ของสายนิวทรอล(NHDF) เมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 โหลดผ่าน โดยเปรียบเทียบกับค่า Derating Factor ที่คำนวณได้จากการนำเสนอตามวิธีของ Ajit Hiranandani ในวารสาร IEEE ดังข้อมูลในตารางที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบค่า Derating Factor ที่ได้จากการศึกษาและวิธีของ Ajit Hiranandani

%3 <sup>rd</sup> Harmonic in Neutral	NHDF	
	ผลการคำนวณที่ได้จาก การศึกษา	Ajit Model
0.2	0.975	0.981
0.4	0.91	0.917
0.6	0.825	0.832
0.8	0.738	0.747

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Derating Factor จากวิธีทั้งสอง จะพบว่าค่า Derating Factor ที่ได้จากการศึกษานี้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่า Derating Factor ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการนำเสนอ โดย Ajit Hiranandani



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ในการวิเคราะห์หลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดของสายเคเบิล ตัวแปรที่มีผลต่อการกำหนดขนาดของสายเคเบิลที่เหมาะสมนั้นมีหลายประการ เช่น อุณหภูมิรอบข้าง ค่าความต้านทานความร้อน การสูญเสียที่ตัวนำและส่วนประกอบที่เป็นโลหะเนื่องจากกระแสไฟฟ้า การสูญเสียที่ฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านฉนวนไฟฟ้า แรงดันตก เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวแปรที่กำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิล ในอดีตที่ผ่านมาการคำนวณหาขนาดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสายเคเบิล หรือระบบจะกำหนดจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าว ซึ่งเป็นยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นผู้ออกแบบระบบไฟฟ้ามักจะไม่ได้พิจารณาตัวแปรที่กำหนดค่าความสามารถในการรับกระแสของสายเคเบิลครบทุกองค์ประกอบ จึงทำให้การคำนวณผิดพลาดไปจากความเป็นจริง ซึ่งเป็นต้นเหตุซึ่งทำให้คำนวณขนาดสายเคเบิลที่ไม่เหมาะสมและนำมาซึ่งความเสียหายในระบบไฟฟ้าในอนาคต และในปัจจุบันนี้มีการใช้อุปกรณ์ประเภทที่ส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไม่เป็นเชิงเส้นในงานอุตสาหกรรมมากมาย อุปกรณ์เหล่านี้จะก่อให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้น ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่เกิดจากผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อสายเคเบิล ได้แก่ ความสูญเสียในรูปความร้อน ซึ่งก่อให้เกิดจากผลตามมา คือการเพิ่มอุณหภูมิตัวนำ เปลือกโลหะเกราะป้องกันสายและส่วนประกอบโลหะอื่นๆในระบบของสายเคเบิลนั้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขีดความสามารถในการรับปริมาณกระแสของสายเคเบิลลดลง

ในงานศึกษาฉบับนี้ ได้นำเสนอถึงขั้นตอน รายละเอียดและวิธีการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้งที่แตกต่างกันและแรงดันตกในสาย ในระบบพิกัดแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำและขนาดกลาง และการคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล โดยคำนึงถึงผลกระทบจากฮาร์มอนิก ในระบบพิกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าลดขั้นตอนในการคำนวณที่ยุ่งยาก ซับซ้อน และนำผลการคำนวณจากงานศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาใช้อ้างอิงและช่วยในการออกแบบสายเคเบิลให้เหมาะสมกับโหลด โดยในงานศึกษานี้ได้อ้างอิง 3 มาตรฐาน คือ มาตรฐาน Nether McGrath มาตรฐาน IEC และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 หลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นที่ได้นำเสนอในงานศึกษาครั้งนี้ สามารถนำมาเป็นหลักการเบื้องต้นในการคัดเลือกขนาดของสายเคเบิลที่จะนำมาใช้ในระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งจะนำมาสู่ความปลอดภัยของผู้เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบรวมทั้งเป็นความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของระบบมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์หลักเกณฑ์ในการกำหนดขนาดของสายเคเบิล มีการคำนึงถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องที่ไม่ครบสมบูรณ์จึงทำให้การกำหนดขนาดของสายเคเบิลไม่เหมาะสม และในอดีตที่ผ่านมา ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์โมนิก ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการกำหนดขนาดของสายเคเบิล และในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ประเภทที่ส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไม่เป็นเชิงเส้นในอาคารสูงและอุตสาหกรรมมากขึ้น ดังนั้นในการออกแบบและกำหนดขนาดกระแสที่เหมาะสมของสายเคเบิล จึงควรพิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องและผลกระทบของฮาร์โมนิกที่กำเนิดจากโหลดที่ต่ออยู่ในระบบ โดยในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณขนาดกระแสที่สายเคเบิลสามารถรับได้โดยพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อขนาดกระแสของสายเคเบิลทั้งหมดเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับการติดตั้ง และออกแบบระบบไฟฟ้าสามารถคำนวณหาขนาดและพิกัดกระแสของสายเคเบิลในระบบไฟฟ้าได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสายเคเบิลตามองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้ได้ขนาดสายที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลโดยตรงในด้านความปลอดภัยในระบบไฟฟ้าและในปัจจุบันในการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าไม่ได้คำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยเพียงอย่างเดียวยังต้องพิจารณาเรื่องต้นทุนในการติดตั้งระบบไฟฟ้าด้วย ซึ่งการกำหนดขนาดของสายเคเบิลก็มีผลโดยตรงต่อต้นทุนในการติดตั้งระบบไฟฟ้า ดังนั้นในการกำหนดขนาดสายเคเบิลที่เหมาะสมโดยไม่ต้องเผื่อขนาดสายเคเบิลจะช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งระบบไฟฟ้า จากทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิล โดยคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นที่ยังไม่ได้กล่าวถึงต่อไป เพื่อให้ครอบคลุมทุกอย่างองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิลให้มากที่สุด ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านความปลอดภัยและต้นทุนในการติดตั้งระบบไฟฟ้า

## เอกสารอ้างอิง

- [1] P.Pollak, "Nerher-McGrath Calculation for Insulation Power Cable," IEEE Trans. Ind. App. Vol.Ia-21, No.5, Sep/Oct, 1985.
- [2] J.H.Nerher and M.N. McGrath, " The calculation of the temperature ruse and load capability of Cable system," AIEE Trans. Power App. Syst., Pt. III, Vol 76,pp.753, Oct., 1957
- [3] J. Hegyi and A.Y. Klistoff, " Current-Garrying Capabillity for Industrial Underground Cable Installations" IEEE Trans. Ind. App., Vol.24, No 1, Jan./Feb., 1988
- [4] IEC Publication No. 287-1-1 .Calculation of The Continuus Current Ration of Cable(100% Load-Factor). Second Edition., 1995
- [5] มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2545
- [6] A.jit Hiranandam "Calculation of Cable Ampacities Including the Effects of Hamonics" IEEE Industry Application Magazine, March/April 1998
- [7] Thai Yasaki Technical Information and Specification for Electric Wire and Cable First Edition October 1991
- [8] Phelps Dodge Thailand Limited Design Manual on Electrical Conductor for Interior Wiring
- [9] IEEE Standard 519-1992 " IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power System"
- [10] Meliopoulos A.P.S.,and Martin M.A.,Jr," Calculation of Secondary Cable Losses and Ampacity in the Presence of Harmonic,"IEEE Trans .Power Delivery, Vol.7,No.2, April 1992,pp.451-459
- [11] Gruz T.M., " A survey of Neutral Currents in Three Phase Computer System, "IEEE Transactions on Industry Application, Vol.26,No.4,July 1990,pp.719-725.
- [12] ศุติ บรรจงจิตร์ "หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า" ซีเอ็ดดูเคชั่น 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ  
ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยปี 2545

ตารางที่ ก.1 ขนาดกระแสน้ำของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน พีวีซี ตาม มอก. 11-2531  
อุณหภูมิตัวนำ 70 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดัน 300 หรือ 750 โวลต์ อุณหภูมิ  
โดยรอบ 40 องศาเซลเซียส (สำหรับวิธีการเดินสาย ก-ค) และ 30 องศาเซลเซียส  
(สำหรับวิธีการเดินสาย ง และ จ)

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมป์)						
	วิธีการเดินสาย (หมายเหตุ 2)						
	ก	ข	ค		ง		จ
ท่อโลหะ			ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ		
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	599	455	552
500	818	-	541	469	684	516	623

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

#### หมายเหตุ

- 1) D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า
- 2) ชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้งเป็นไปดังนี้

วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้ง
ก		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดี่ยวหุ้มฉนวนเดินในอากาศ</li> </ul>
ข		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแบนหุ้มฉนวนมีเปลือกเดินเกาะผนัง</li> </ul>
ค		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดี่ยวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อในอากาศในท่อฝังในผนังปูนฉาบ หรือในท่อในฝ้าเพดาน</li> </ul>
ง		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดี่ยวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อฝังดิน</li> </ul>
จ		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดี่ยวหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน ฝังดินโดยตรง</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

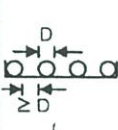

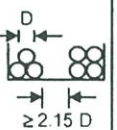
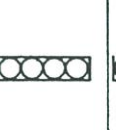
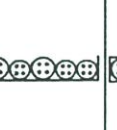
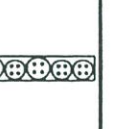
ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

- 3) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 องศาเซลเซียส (สำหรับวิธีการเดินสาย ก-ค) หรือ 30 องศาเซลเซียส (สำหรับวิธีการเดินสาย ง และ จ) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	ตัวคูณ	
	วิธีเดินสาย ก-ค (หมายเหตุ 1)	วิธีเดินสาย ง และ จ (หมายเหตุ 1)
21-25	-	1.06
26-30	-	1
31-35	1.08	0.94
36-40	1	0.87
41-45	0.91	0.79
46-50	0.82	0.71
51-55	0.71	-
56-60	0.58	-

- 4) ในที่ซึ่งมีการเดินสายผลระหว่างการเดินสายในอากาศหรือเกาะผนัง (วิธีการเดินสาย ก หรือ ข) และการเดินสายในท่อ (วิธีการเดินสาย ค) หากความยาวสายที่เดินในท่อไม่เกินครึ่งหนึ่งของความยาวสายทั้งหมด และสายที่เดินในท่อยาวไม่เกิน 6 เมตร อนุญาตให้ใช้ค่าขนาดกระแสตามวิธีการเดินสายในอากาศหรือเกาะผนังได้

ตารางที่ ก.2 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน พีวีซี ตาม มอก. 11-2531  
 อุณหภูมิตัวนำ 70 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดัน 300 หรือ 750 โวลต์ อุณหภูมิ  
 โดยรอบ 40 องศาเซลเซียส วางบนรางเคเบิล (Cable Tray)

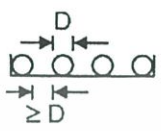

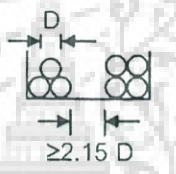



ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)					
	วิธีการเดินสาย (หมายเหตุ 1)					
						
ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	
1	-	-	-	-	11	10
1.5	-	-	-	-	14	13
2.5	-	-	-	-	18	17
4	-	-	-	-	24	23
6	-	-	-	-	31	29
10	-	-	-	-	43	41
16	-	-	-	-	56	53
25	-	-	-	-	77	73
35	-	-	-	-	95	90
50	169	110	143	101	119	113
70	217	141	183	130	148	140
95	271	176	230	163	187	178
120	316	205	267	190	214	203
150	364	237	308	218	251	238
185	424	276	360	254	287	273
240	509	331	432	305	344	327
300	592	444	504	414	400	393
400	696	522	593	487	-	-
500	818	613	699	572	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

หมายเหตุ

- 1)  $D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า
- 2) ชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้งเป็นไปดังนี้

วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ชนิดของตัวนำและอุปกรณ์การติดตั้ง
ก		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดียวตามข้อ 5.15.1 วางเรียงกันชั้นเดียว บนรางเคเบิล มีระยะห่างระหว่างสายไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเส้นโตที่อยู่ใกล้กัน</li> </ul>
ข		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดียวตามข้อ 5.15.1 วางบนรางเคเบิล ไม่มีระยะห่างระหว่างสายวางเรียงกันหรือซ้อนกันตามข้อ 5.15.5</li> </ul>
ค		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดียวตามข้อ 5.15.1 วางซ้อนกันเป็นสามเหลี่ยมบนรางเคเบิล มีระยะห่างระหว่างกลุ่มสายไม่น้อยกว่า 2.15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายแต่ละเส้น</li> </ul>
ง		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายแกนเดียวตามข้อ 5.15.1 วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด ที่ไม่มีระยะห่างระหว่างสายวางเรียงกันหรือซ้อนกันตามข้อ 5.15.5</li> </ul>
จ		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายหลายแกนตามข้อ 5.15.1 วางบนรางเคเบิล วางเรียงกันหรือซ้อนกันตามข้อ 5.15.4</li> </ul>
ฉ		<ul style="list-style-type: none"> <li>สายหลายแกนตามข้อ 5.15.1 วางบนรางเคเบิลมีฝาปิดที่บยาวเกิน 1.80 เมตร วางเรียงกันหรือซ้อนกันตามข้อ 5.15.4</li> </ul>

- 3) อุดหนุนมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 องศาเซลเซียส ให้ลดค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณ เช่นเดียวกับหมายเหตุ 3) ตารางที่ ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงก์โพลีเอทิลีน อุณหภูมิ  
ตัวนำ 90 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดัน 600 โวลต์ อุณหภูมิโดยรอบ 40 องศาเซลเซียส  
(สำหรับการเดินสายในอากาศ) และ 30 องศาเซลเซียส สำหรับการเดินสายใต้ดิน

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
	วิธีการเดินสาย				
	ก	ข	ค		ง
	สายแกน เดียวเดิน ในอากาศ $4^{\text{b}}$	สายแกนเดียว 3 เส้น หรือสายหลายแกน ไม่เกิน 3 แกน เดิน ในท่อโลหะในอากาศ	สายแกนเดียว 3 เส้น เดินในท่อฝังดิน		สายแกนเดียวไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหลาย แกนไม่เกิน 3 แกน ฝังดินโดยตรง
ท่อโลหะ			ท่อโลหะ		
2.5	36	25	31	28	44
4	47	33	41	36	57
6	60	42	52	46	71
10	82	56	70	61	94
16	110	76	93	81	122
25	148	100	123	107	156
35	184	123	151	130	187
50	224	153	184	156	221
70	286	191	230	197	270
95	356	239	285	241	325
120	417	275	329	277	368
150	481	322	380	318	413
185	559	368	436	363	466
240	672	440	518	430	539
300	782	510	615	501	607
400	921	604	734	586	687
500	1080	686	855	685	773

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

#### หมายเหตุ

อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 องศาเซลเซียส (สำหรับการเดินสายในอากาศ) หรือ 30 องศาเซลเซียส (สำหรับการเดินสายใต้ดิน) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	ตัวคูณ	
	การเดินสายในอากาศ	การเดินสายใต้ดิน
21-25	-	1.04
26-30	-	1
31-35	1.05	0.96
36-40	1	0.91
41-45	0.95	0.87
46-50	0.89	0.82
51-55	0.84	-
56-60	0.78	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงก์โพลีเอทิลีน อุณหภูมิ  
ตัวนำ 90 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดัน 11 ถึง 33 เควี อุณหภูมิโคจรรอบ 40 องศาเซลเซียส  
(สำหรับการเดินสายในอากาศ) และ 30 องศาเซลเซียส สำหรับการเดินสายใต้ดิน

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)			
	วิธีการเดินสาย			
	สายแกนเดี่ยว 3 เส้น เดินในท่อ โลหะในอากาศ	สายแกนเดี่ยว 3 เส้น เดินในท่อฝังดิน		สายแกนเดี่ยว 1 วงจร ฝังดินโดยตรง
ท่อโลหะ		ท่อโลหะ		
35	148	176	149	209
50	175	209	178	247
70	215	258	218	302
95	265	315	265	361
120	303	361	303	410
150	348	413	341	460
185	396	469	386	519
240	478	563	454	601
300	551	650	521	679
400	636	751	607	772
500	730	869	706	878

หมายเหตุ

อุณหภูมิโคจรรอบที่แตกต่างจาก 40 องศาเซลเซียส (สำหรับการเดินสายในอากาศ) หรือ 30 องศาเซลเซียส  
(สำหรับการเดินสายใต้ดิน) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณเช่นเดียวกับหมายเหตุของตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.5 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงก์โพลีเอทิลีน มีชีลด์ อุณหภูมิ  
ตัวนำ 90 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดัน 11 ถึง 33 เควี อุณหภูมิโดยรอบ 30 องศาเซลเซียส  
เดินใน Duck Bank ไม่เกิน 8 ท่อ

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแสต่อ 1 วงจร (แอมแปร์)							
	จำนวนวงจรทั้งหมด							
	1	2	3	4	5	6	7	8
35	175	160	147	137	130	122	116	110
50	210	191	175	162	153	144	136	130
70	251	228	208	193	182	171	161	154
95	313	282	256	236	222	208	196	187
120	357	322	292	270	254	238	224	213
150	405	362	327	300	282	263	248	235
185	461	410	369	339	318	296	278	264
240	535	475	427	392	367	342	321	305
300	611	539	481	440	411	382	358	339
400	694	619	553	507	473	440	412	391
500	797	695	616	560	522	483	451	427

หมายเหตุ

- 1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 30 องศาเซลเซียส ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณเช่นเดียวกับหมายเหตุของตารางที่ ก.3
- 2) การคำนวณอิงจากมาตรฐาน IEC 287-1982 ตามสภาพเงื่อนไขดังต่อไปนี้
  - โหลดแฟกเตอร์ 100%
  - Soil thermal resistivity = 1.0 K-m/W
  - Concrete thermal resistivity = 1.0 K-m/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ที่หมาย ดิษสุธรรม ศุภี บรรจงจิตร ประภาพรรณ เคลือบวรรณรัตน์ บุญเลิศ สือเฉย สิริวิช ทัดสวน  
 “ การคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลแรงดันไฟฟ้าต่ำ และแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง  
 โดยคำนึงถึงลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย และผลกระทบจากฮาร์โมนิก ”  
 วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 22 , ฉบับที่ 1 , เดือน มีนาคม 2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การคำนวณหาพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล แรงดันไฟฟ้าต่ำ และแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง โดยคำนึงถึง ลักษณะการติดตั้ง แรงดันตกในสาย และผลกระทบจากฮาร์ มอนิก

The Calculation to Find Ampacity and Size of Low  
Voltage Cable and Medium Voltage Cable Depend on  
Type of Installation, Voltage drop and the Impact of  
Harmonic

ศิมายุ คิษสุวรรณ สุทธิ บรรจงจิตร

คณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประภาพรรณ เคลือบวรรณรัตน์ บุญเลิศ สือเฉย สิริวิษ ทัดสวน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

## บทคัดย่อ

ในงานวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยความรวดเร็วและความถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ ซึ่งการออกแบบหรือวางแผนนั้น ขนาดของสาย ตลอดจนอุณหภูมิแวดล้อม แรงดันไฟฟ้าตกและวิธีการของการเดินสาย เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของงาน ดังนั้นในงานวิจัยที่นำเสนอฉบับนี้ จะเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาคำนวณ โดยในรายละเอียดของงานจะประกอบไปด้วย การหาขนาดกระแสที่ติดตั้งลักษณะต่างๆ ทั้งแรงดันน้อยกว่าและมากกว่า 1 kV ซึ่งการคำนวณที่นำเสนอในงานวิจัยได้มีการเปรียบเทียบกัน 2 วิธีการ คือ ของ IEC และ Neher McGrath ตลอดจนนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของขนาดกระแสตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้า ของ ว.ส.ท. อีกด้วย นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำเสนอผลกระทบจากกระแสฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงผลในรูปของขนาดของสายนิว- ทรอล

## Abstract

Rapidity and accuracy are the most important factors in planning and designing an electricity system . Thus, a computer is used to facilitate the designing process. The size of cables thermal ambient, voltage drop and method of installation are factors to be considered when planning and designing . This proposed research shows computation with the aid of a computer. The research consists of finding the ampacity of the installation with a voltage of less or more than 1 kV. The proposed computation in the research is the comparison between IEC standards with Neher McGrath's. The result is then compared with the result of ampacity based on the installation standard of E.I.T Standard . The research shows the impact of harmonics shown in the size of neutral lines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

การคำนวณพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลที่ติดตั้งในอากาศและฝังดิน โดยหลักการในการพิจารณานิยมนำมาจากบทความวิจัยที่เผยแพร่ และมาตรฐานสากล ในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล โดยจะพิจารณาถึงลักษณะการติดตั้ง อุณหภูมิแวดล้อม แรงดันตกในสายเคเบิลและผลกระทบของฮาร์มอนิกในสายเคเบิล อีกทั้งยังแสดงองค์ประกอบอื่นๆที่มีผลต่อการเลือกขนาดสายเคเบิล เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจในการเลือกขนาดสายเคเบิลที่เหมาะสมและถูกต้องตามมาตรฐานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

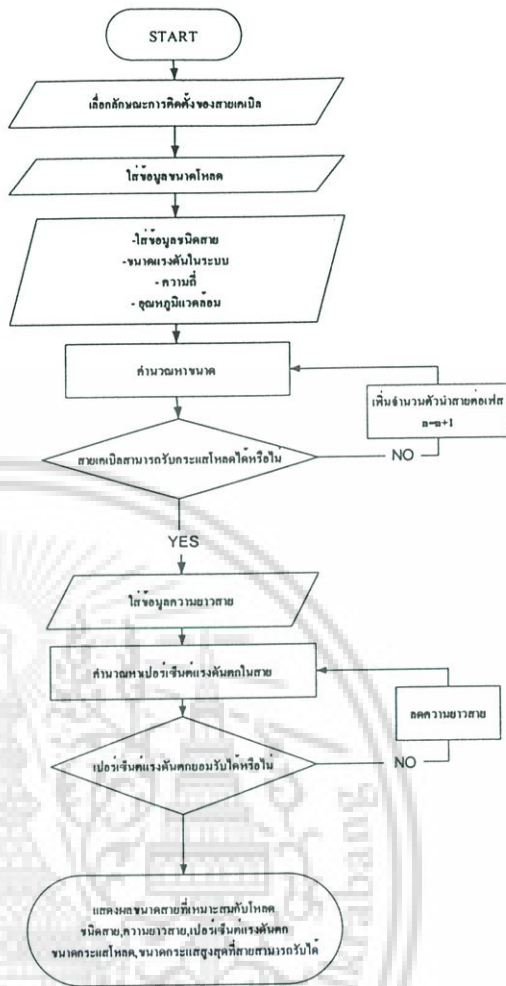
2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ในบทความนี้จะใช้หลักการของ Neher-McGrath[1-2] และมาตรฐาน IEC Publication 287[4] และ มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 [5] เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการคำนวณพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล โดยจะพิจารณาถึงลักษณะการติดตั้ง อุณหภูมิแวดล้อม แรงดันตกในสายเคเบิล และผลกระทบของฮาร์มอนิกในสายเคเบิล [6]

2.2 หลักการทำงานในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงเป็น Flowchart ได้ดังนี้ ส่วนที่ 1 โปรแกรมการหาขนาดสายที่เหมาะสมกับโหลดโดยผู้ใช้สามารถเลือกอ้างอิงได้ 3 มาตรฐาน คือ

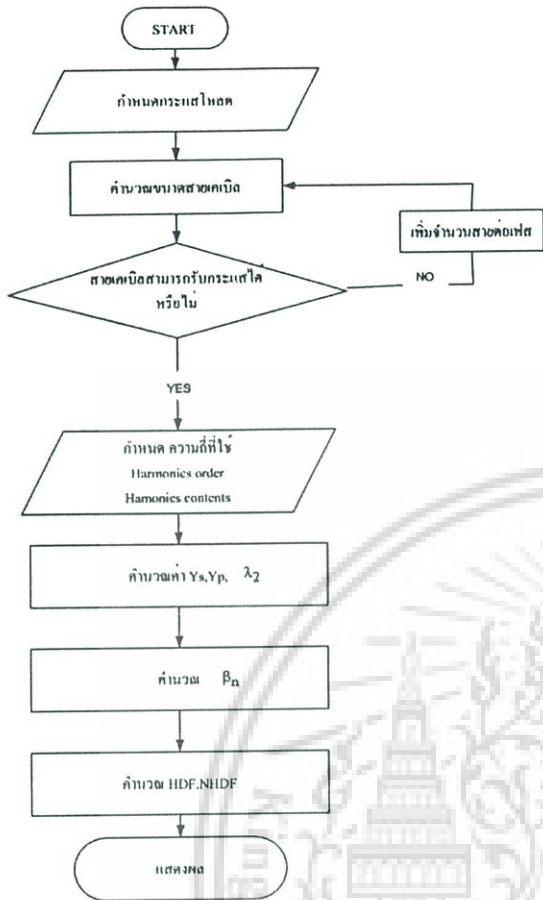
- มาตรฐาน IEC 287
- มาตรฐาน Neher- McGrath
- มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี 2545(E.I.T Standard)

มีรูปแบบการทำงานดัง Flow Chart รูปที่ 1



รูปที่ 1 Flow Chart การหาขนาดสายที่เหมาะสมกับโหลด

ในการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ 1 นี้ จะคำนวณหาค่าขนาดสายที่เหมาะสมกับโหลด โดยคำนึงถึงองค์ประกอบดังนี้ คือ ลักษณะการติดตั้ง, ชนิดสายเคเบิล, อุณหภูมิแวดล้อมและเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย ส่วนที่ 2 โปรแกรมการคำนวณพิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลโดยคำนึงถึงผลกระทบจากฮาร์มอนิก



รูปที่ 2 Flow Chart การคำนวณหาพิคกระแสดและขนาดของสายเคเบิล โดยคำนึงถึงผลกระทบจากฮาร์โมนิก

ในส่วนนี้จะเป็โปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์ในกรณีทีโหลคเป็น Power Electronic แล้วมีปัญหาคือเกิดกระแสฮาร์โมนิกที่3ขึ้นในสาย โดยจะเป็นการคำนวณหาขนาดสายทีเหมาะสมโดยคำนึงถึงผลกระทบจากกระแสฮาร์โมนิกที่3ทีเกิดในสาย โดยมีลักษณะการทำงานของโปรแกรมดัง Flow Chartรูปที่ 2

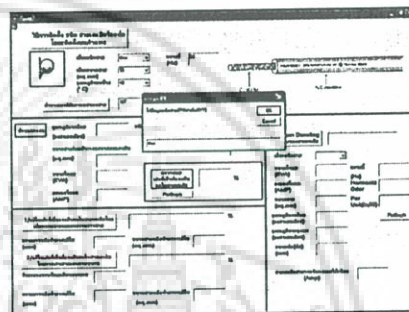
3.ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลอง จะเป็นการนำเสนอการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ โดยได้แบ่งโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

3.1 ส่วนที่ 1 โปรแกรมการหาขนาดสายทีเหมาะสมกับโหลคโดยผู้ใช้งานสามารถเลือกอ้างอิงได้ 3 มาตรฐาน คือ

- มาตรฐาน IEC 287
- มาตรฐาน Neher- McGrath
- มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ปี 2545(E.I.T Standard)

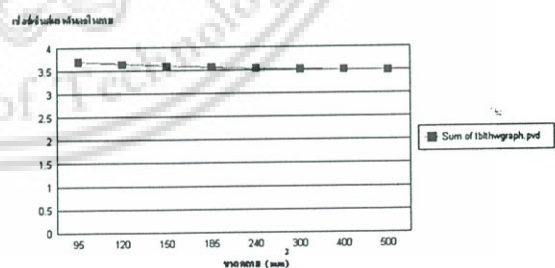
3.1.1 แสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 ต้องการจ่ายกระแสไปโหลคขนาด 110 kVA 3 เฟส 4 สาย ความยาวสาย 200 เมตร ชนิด THW เดินร้อยท่อโลหะบนกำแพง อุณหภูมิรอบข้าง 40°C จงหาขนาดสายเคเบิลทีเหมาะสมกับโหลคโดยให้แรงดันตกไม่เกิน 3%



รูปที่ 3 ภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ 1

ผลจากการทดลองตัวอย่างที่ 1 ได้ว่าขนาดสายทีเหมาะสมกับโหลคขนาด 110 kVA คือ 95 mm<sup>2</sup> และเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย คือ 3.6% และโปรแกรมจะแสดงกราฟความสั้พันซ์ดังนี้

กราฟความสั้พันซ์ระหว่างขนาดสายกับเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย

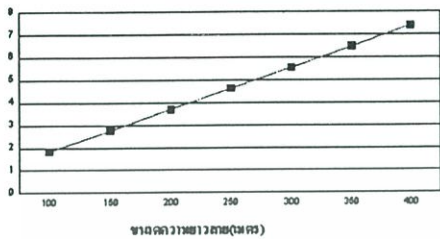


เอกสารนี้เป็นเอกสารทีสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายกับขนาดสาย

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายและเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย

เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย



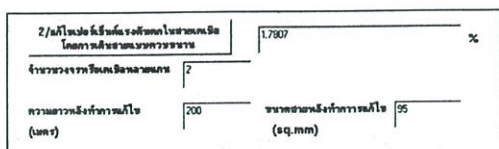
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายกับความยาวสาย

จากผลการคำนวณของโปรแกรมจากตัวอย่างที่ 1 ทำให้ทราบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายมีค่าเกินค่าที่มีมาตรฐานกำหนด(ในที่นี้กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 3%) ดังนั้นจึงต้องทำการแก้ไขค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายซึ่งมีทางเลือก 2 แนวทาง คือ

1. เพิ่มขนาดสายหรือเพิ่มสายคู่ควบ
2. ลดความยาวสาย

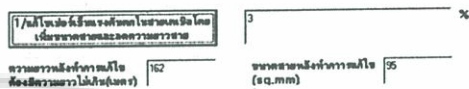
ซึ่งผู้ใช้สามารถนำกราฟความสัมพันธ์ทั้งสองมาช่วยพิจารณาประกอบในการตัดสินใจเลือกวิธีการแก้ไขได้รวดเร็วยิ่งขึ้นกล่าวคือ

1. ถ้าเลือกวิธีเพิ่มขนาดสายเมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะเพิ่มขนาดสายจนถึงค่าสูงสุด(ในที่นี้คือ 500 mm<sup>2</sup>)ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ดังนั้นถ้าจะเลือกวิธีการนี้ต้องเปลี่ยนวิธีการโดยการใช้ขนาดสายเท่าเดิมคือ 95 mm<sup>2</sup>และเพิ่มสายคู่ควบอีกหนึ่งวงจร ความยาวสายเท่าเดิม คือ 200 m โปรแกรมจะคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ตกในสายได้ 1.7%ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6

2. ถ้าเลือกวิธีการลดความยาวสายเมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 5 โปรแกรมจะคำนวณค่าความยาวสายเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายไม่เกิน 3% จะต้องให้ความยาวสายไม่เกิน 162 m ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7

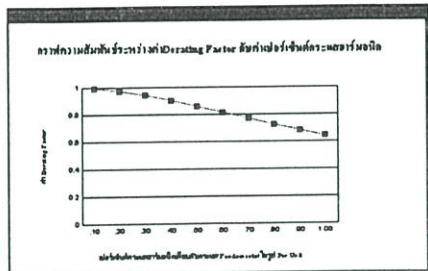
3.2 ส่วนที่ 2 การคำนวณพิกัดกระแสและขนาดสายโดยคำนึงถึงผลกระทบจากฮาร์มอนิก

ในส่วนนี้จะเน้นโปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์ในกรณีทีโหลดเป็น Power Electronic แล้วมีปัญหาเกิดกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 ขึ้นในสาย ซึ่งในการคำนวณหาขนาดสาย โดยทั่วไปไม่ได้คำนึงถึงปัญหานี้ จึงทำให้คำนวณได้ขนาดสายที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจนำมาซึ่งความเสียหายของสายได้ ผลการทดลองโปรแกรมในส่วนที่ 2 มีดังนี้ ตัวอย่างที่ 2 เป็นการหาขนาดกระแสของสายนิวทรัลของหม้อแปลงขนาด 250 kVA (ระบบ 3 เฟส 4 สาย) โดยใช้สาย NYY 1 แกน ขนาด 300 mm<sup>2</sup> จำนวน 4 เส้น วางในท่อ โดยสายนิวทรัลมีกระแสฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 60% ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน

Factor Derating factor (ตามข้อ 5)	0.52		
เนื้องาน	Kv		
ขนาดโหลด (KVA)	250	ความถี่ (Hz)	50
กระแสโหลด (AMP)	300	Harmonic Order	3
ขนาดสายเดิม (sq.mm)	300	Per Unit (n/11)	0.6
อุณหภูมิขดลวด (อุณหภูมิสาย)	40	PolGraph	
อุณหภูมิสายสูง (อุณหภูมิสาย)	70		
ขนาดท่อ (mm)	22		
ขนาดเส้นลวดสายนำกระแสได้ (Amp)	326		
ขนาดสายเดิม ในท่อ (ตามข้อ 5) (sq.mm)	400		

รูปที่ 8 รูปการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 รูปการแสดงผลลัพธ์ของ โปรแกรมในลักษณะกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Third Harmonic กับค่า Derating Factor ที่คำนวณได้

%Third Harmonic	ขนาดสายเคเบิลเดิม (mm <sup>2</sup> )	ขนาดสายเคเบิลแก้ไขใหม่(mm <sup>2</sup> )	Derating factor	
			NHDF	E.I.T
0.2	300	300	0.974	1
0.4	300	400	0.907	1
0.6	300	400	0.815	1
0.8	300	500	0.725	1

ตารางที่ 1 แสดงผลลัพธ์ค่า Derating Factor ที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานมาตรฐาน E.I.T. Standrad และเปรียบเทียบขนาดสายเคเบิลเก่าและผลลัพธ์ขนาดสายที่แก้ไขใหม่ ที่ % Third Harmonic ขนาดต่างๆ

สรุปผลของโปรแกรมจากตัวอย่างที่ 2 คือ หม้อแปลงขนาด 250 kVA มีกระแสไหล 380 A ติดตั้งสายขนาด 300 mm<sup>2</sup> ซึ่งตามมาตรฐาน E.I.T. จะสามารถรับกระแสได้ 400 A จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ไม่พิจารณาผลกระทบจากฮาร์โมนิกที่กักกระแสของสายนิวทรัลสามารถรองรับกระแสไหลที่เกิดขึ้นในสายได้ (กระแสไหลคือ 380A) แต่ถ้าพิจารณาในกรณีที่สายนิวทรัลมีกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 เท่ากับ 60% ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน โปรแกรมจะคำนวณค่า Derating factor เท่ากับ 0.815(ในรูปตัวคูณลดกระแส) ฉะนั้น กระแสที่สายนิวทรัลสามารถรับได้จริงเพียง 400A X 0.815 = 326A ซึ่งไม่สามารถรับกระแสไหลได้ โปรแกรมจะทำการแก้ไขโดยแสดงขนาดสายใหม่คือ 400 mm<sup>2</sup> สายนิวทรัลจึงจะสามารถรับกระแสไหลได้ (สายขนาด 400 mm<sup>2</sup> ตามมาตรฐาน E.I.T สามารถรับกระแสได้ 474 A เมื่อคูณค่า Derating

factor เท่ากับ 0.815 จะรับกระแสได้เพียง 474A X 0.815 = 386 A)

3.3 ตารางแสดงผลลัพธ์เปรียบเทียบทั้ง 3 มาตรฐาน

- ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิลและเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 24 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1600 kVA สาย XLPE ติดตั้งใน DUCK BANK 1 วงจร ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 800 m สามารถแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสไหล (A)	พิกัดกระแสของสาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	35	38	180	0.11
E.I.T	35	38	175	0.11
IEC	35	38	177	0.11

ตารางที่ 2

- ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 kV ขนาดกำลังไฟฟ้า 1500 kVA สาย XLPE เดินในท่อโลหะในอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 90°C ระยะ 700 m สามารถแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสไหล (A)	พิกัดกระแสของสาย (A)	แรงดันตกในสาย (%)
Neher-McGrath	95	262	270	2.36
E.I.T	95	262	265	2.36
IEC	95	262	268	2.36

ตารางที่ 3

- ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งใน Cable Tray ที่

อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของสาย (A)	แรงดันตกในสาย(%)
Neher-McGrath	35	76	95	2.8
E.I.T	35	76	90	2.8
IEC	35	76	93	2.8

ตารางที่ 4

- ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์พิกัดกระแสและขนาดของสายเคเบิล ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 380/220V จ่ายให้โหลดขนาด 50 kW สาย NYY ติดตั้งใน Surface Metal Raceway ที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C อุณหภูมิตัวนำ 70°C ระยะ 150 m สามารถแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

มาตรฐาน	ขนาดสาย (mm <sup>2</sup> )	พิกัดกระแสโหลด (A)	พิกัดกระแสของสาย (A)	แรงดันตกในสาย(%)
Neher-McGrath	25	76	80	3.9
E.I.T	25	76	77	3.9
IEC	25	76	78	3.9

ตารางที่ 5

### 3.สรุป

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสรุปได้ว่า โปรแกรมการหาขนาดสายที่เหมาะสมกับโหลด โดยคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถช่วยให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า เพื่อให้ได้วิธีการติดตั้ง ขนาดสาย เปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสาย และความยาวสายที่เหมาะสม หรือหาขนาดสายนิรอลที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงผลกระทบจากฮาร์โมนิก ให้ได้ค่าที่ถูกต้องตามมาตรฐาน และรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบกราฟและค่าความสัมพันธ์ต่างๆเพื่อให้ผู้ใช้ประกอบการพิจารณา

ในการวางแผนและออกแบบระบบไฟฟ้า อีกทั้งผู้ใช้สามารถเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์จากมาตรฐานต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วประกอบการพิจารณาได้อีกด้วย

### 4.เอกสารอ้างอิง

- [1] P.Pollak, "Nerher-McGrath Calculation for Insulation Power Cable," IEEE Trans. Ind. App. Vol.Ia-21, No.5, Sep/Oct, 1985.
- [2] J.H.Nerher and M.N. Mcgrath, " The calculation of the temperature ruse and load capability of Cable system," AIEE Trans. Power App. Syst., Pt. III, Vol 76,pp.753, Oct., 1957
- [3] J. Hegyi and A.Y. Klistoff, " Current-Garrying Capability for Industrial Underground Cable Installations" IEEE Trans. Ind. App., Vol.24, No 1, Jan./Feb., 1988
- [4] IEC Publication No. 287-1-1 .Calculation of The Continuous Current Ration of Cable(100% Load Factor). Second Edition., 1995
- [5] มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2545
- [6] A.jit Hiranandam "Calculation of CableAmpacities Including the Effects of Hamonics" IEEE Industry Application Magazine, March/April 1998
- [7] Thai Yasaki Technical Information and Specification for Electric Wire and Cable First Edition October 1991
- [8] Phelps Dodge Thailand Limited Design Manual on Electrical Conductor for Interior Wiring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นาย ทิมาวุ ดิษสุธรรม เกิดวันที่ 25 เมษายน พ.ศ.2515 สถานที่เกิด จังหวัดระยอง จบการศึกษา อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต(สาขาไฟฟ้ากำลัง) จากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปีการศึกษา 2536 ปัจจุบันรับราชการเป็น อาจารย์ 1 ระดับ 5 วิทยาลัยเทคนิคระยอง สังกัดกระทรวงศึกษาธิการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้