การพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าเพื่อลดข้อผิดพลาด

นายมารุต บุญทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสยาม

Cable Production Design Program Development for Error Reduction

Mr. Maroot Boonsup

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Engineering Management

Graduate School

Siam University

2018

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ปริญญา

การจัดการงานวิศวกรรม (สาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย (คณะ)

เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานผลิตสายไฟฟ้าเพื่อลดข้อผิดพลาด

Cable Production Design Program Development for Error Reduction

ผู้แต่ง นายมารุต บุญทรัพย์

Mr. Maroot Boonsup

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ..... วันที่ 29 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2561

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ต่อศักดิ์ เลิศศรีสกุลรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสตรโยม)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทิงจิตร)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ ศันสนีย์ สุภาภา)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง : การพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าเพื่อลดข้อผิดพลาด

โดย : นายมารุต บุญทรัพย์

ชื่อปริญญานิพนธ์ : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขา : การจัดการงานวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสตรโยม)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี)

29/1/61

ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า พบปัญหาความผิดพลาดจากการใช้สูตรคำนวณและความรู้เกี่ยวกับความสามารถของเครื่องจักร ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการกระบวนการผลิตและคุณภาพของสินค้า การศึกษานี้จะเป็นการนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า

กระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิต คือ การรวบรวมสูตรคำนวณที่ใช้ในการออกแบบ ขีดความสามารถของเครื่องจักรภายในบริษัท และข้อกำหนดมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการผลิตสายไฟฟ้า เพื่อนำมากำหนดเป็นเงื่อนไขของการพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิต

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรมการออกแบบมาตรฐานการผลิต พบว่าเงื่อนไขและสูตรคำนวณของโปรแกรม มีความถูกต้องและแม่นยำสูง เป็นไปตามการผลิตจริง ผลของการนำโปรแกรมที่พัฒนามาใช้คือ สามารถลดความผิดพลาดแต่เดิมจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าที่ประมาณ 7-10 % ให้หมดไป

Abstract

Title : Cable Production Design Program Development for Error Reduction

By : Mr. Maroot Boonsup

Degree : Master of Engineering

Major Field : Engineering Management

Thesis Advisor : .....

(Asst. Prof. Dr. Arthit Sodeyome)

.....

(Asst. Prof. Dr. Chalermkiat Wongvanichtawee)

..... 29 ...../..... 1 ...../..... 18 .....

In electrical cable production standard design, the problems of design formula and the lack of knowledge about machine capability are exist in factories. Such problems affect the production and quality of product. The objective of this study is to develop a computer program to design the standard for cable production.

The process of developing this program is to compile the formula used in the cable design, capabilities of the machineries within the company and Standard Reference requirements for production. This information will be used to determine the conditions for the electrical cable production standard design program development.

From this study, it is revealed that the conditions and formulas of the developed program are more accurate and with higher precision, conforming with actual production. The use of the program can eliminate all the previous production standard design error of about 7-10%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสตรโยม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยามทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและติดตามทั้งในการศึกษา การทำงานวิจัยและการให้ความรู้ต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างสูงสุดมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณทางคณะผู้บริหาร หัวหน้าแผนกและพนักงานทุกท่านของบริษัทกรณีศึกษา ที่ได้มอบความช่วยเหลือ และสนับสนุนข้อมูลและอนุมัติการดำเนินงานวิจัย รวมถึงยังเป็นที่ปรึกษาในปัญหาต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและสามารถนำผลสำเร็จของงานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้จริง

มารุต บุญทรัพย์

พ.ศ. 2561

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1	ที่และความสำคัญของปัญหา	2
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	7
1.3	ขอบเขตของการศึกษา	7
1.4	ขั้นตอนการศึกษา	7
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.6	คำนิยามศัพท์เฉพาะ	8

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1	กระบวนการผลิตสายไฟฟ้า	10
	2.1.1 กระบวนการรีด (Drawing)	10
	2.1.2 การขึ้นรูปตัวนำตีเกลียว (Conductor Stranding)	12
	2.1.3 การหุ้ม (Extruding)	15
	2.1.4 การตีเกลียวแกน (Core Stranding)	18
2.2	มาตรฐานการออกแบบ	20
	2.2.1 ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60502-1	20
	2.2.2 ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60502-2	33
2.3	งานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	37
	2.3.1 เทคนิคในการออกแบบโปรแกรม	37
	2.3.2 การเขียนผังงาน	39
	2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 45

3.1 โครงสร้างของสายไฟฟ้า 46

3.2 ทบทวนสูตรคำนวณภายในบริษัท 47

3.3 การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรม 49

3.4 การกำหนดเงื่อนไขการคำนวณ 49

3.5 การทบทวนความถูกต้อง 49

3.6 สรุปผล

บทที่ 4 การออกแบบโครงสร้างโปรแกรม

4.1 รูปแบบโปรแกรม 50

4.2 รูปแบบการคำนวณ 52

4.2.1 การคำนวณโดยการดึงข้อมูล 52

4.2.2 การคำนวณโดยสูตร 52

4.3 โครงสร้างและการคำนวณ 54

4.3.1 ตัวนำ (Conductor) 54

4.3.2 ฉนวน (Insulation) 58

4.3.3 การตีเกลียวแกน (Core Stranding) 65

4.3.4 การพันเทป (Taping) 76

4.3.5 เปลือก (Sheath) 83

4.3.6 สายเกราะตีเกลียว (Armour wire) 88

4.3.7 ตัวนำกระจาย (Concentric Conducter & Cu. Wire Screen) 92

4.3.8 ตัวกั้นตัวนำและฉนวน (Conductor & Insualtion Screen) 99

บทที่ 5 รูปแบบโปรแกรมและการใช้งาน

5.1 รูปแบบฟังก์ชั่นใช้งาน 101

5.2 รูปแบบหน้าต่างใช้งาน 105

5.3 การใช้งานโปรแกรม 114

5.3.1 การ Login และขอบเขตการใช้งาน 114

5.3.2 การออกแบบมาตรฐานการผลิต 115

5.3.3 การแก้ไขข้อมูล 125

หน้าที่

บทที่ 5 รูปแบบโปรแกรมและการใช้งาน (ต่อ)

5.4 ปัญหาที่พบและการแก้ไข 126

5.5 สรุปผลทดสอบการทำงาน 130

บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงาน

6.1 ผลการดำนินงาน 131

6.2 สรุปผลการใช้งานโปรแกรม 141

6.3 ปัญหาและอุปสรรค 143

6.4 ข้อจำกัดของโปรแกรม 143

6.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา 143

บรรณานุกรม 145

ประวัติผู้วิจัย 147

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Pro_Design 148

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการผลิตสายไฟฟ้า 2

รูปที่ 1.2 จำนวนมาตรฐานการผลิตที่ใช้ในการผลิตจริง 4

รูปที่ 1.3 การวิเคราะห์ปัญหาการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าผิดพลาด โดย Cause and Effect Analysis 6

รูปที่ 2.1 ตัวนำ Aluminium wire rod 9.53 มม. 11

รูปที่ 2.2 ตัวนำ Copper wire rod 8.0 มม. 11

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการรีดลดขนาดตัวนำ 12

รูปที่ 2.4 ตัวนำแบบ Concentric แบบไม่อัดแน่น(Stranded) 13

รูปที่ 2.5 ตัวนำแบบ Concentric แบบกึ่งอัดแน่น(Compressed) 13

รูปที่ 2.6 ตัวนำแบบ Buncher 14

รูปที่ 2.7 ตัวนำแบบ Rope-lay 14

รูปที่ 2.8 ลักษณะของเครื่องตีเกลียว 14

รูปที่ 2.9 ลักษณะของเครื่อง Extruder M/C 15

รูปที่ 2.10 การหุ้มฉนวนสายไฟฟ้า แรงดันไม่เกิน 1 kV 16

รูปที่ 2.11 การหุ้มเปลือกสายไฟฟ้า 16

รูปที่ 2.12 การหุ้มฉนวนแบบ Concretion Method 16

รูปที่ 2.13 การหุ้มฉนวนแบบ Tubing Method 16

รูปที่ 2.14 การหุ้มฉนวนแบบ Semi-Tubing Method 17

รูปที่ 2.15 เครื่องหุ้มฉนวนสำหรับสายไฟฟ้าแรงดันระดับกลาง 17

รูปที่ 2.16 ท่ออบสายแบบไอน้ำ 18

รูปที่ 2.17 สายตีเกลียวที่ใส่ Filler 18

รูปที่ 2.18 P.S. Tape 19

รูปที่ 2.19 Spund bond Tape 19

รูปที่ 2.20 สายไฟที่มี Alumimium wire armour 19

รูปที่ 2.21 สายไฟที่มี Steel wire armour 19

รูปที่ 2.22 สายไฟที่มี Brass tape armour 20

รูปที่ 2.23 สายไฟที่มี Steel tape armour 20

หน้าที่

รูปที่ 2.24 สายไฟที่มี Copper tape 20
รูปที่ 2.25 สายไฟที่มี Copper wire screen 20
รูปที่ 2.26 การออกแบบโปรแกรมโดยวิธีสังเคราะห์ 38
รูปที่ 2.27 การออกแบบชนิด Iteration 39
รูปที่ 2.28 ตัวอย่างผังงาน 41
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างมาตรฐานการผลิต 48
รูปที่ 4.1 การแสดงรูปแบบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 50
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างมาตรฐานการผลิตที่จัดทำโดยโปรแกรม MS EXCEL 51
รูปที่ 4.3 รูปแบบการคำนวณ 52
รูปที่ 4.4 หน้าต่างข้อมูลตัวนำ (Conductor Name Master) 54
รูปที่ 4.5 หน้าต่างข้อมูลรายละเอียดของโครงสร้างตัวนำ 55
รูปที่ 4.6 หน้าต่างข้อมูลค่า S และ K ของตัวนำ 56
รูปที่ 4.7 หน้าต่างค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (P) 57
รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการคำนวณตัวนำ 58
รูปที่ 4.9 หน้าต่างค่าความหนาของฉนวน 59
รูปที่ 4.10 หน้าต่างค่าควบคุมความหนาของฉนวนและเปลือก 59
รูปที่ 4.11 หน้าต่างข้อมูลตัวคูณเกี่ยวกับเนื้อที่ที่แทรกในร่องเกลียว (A) 61
รูปที่ 4.12 หน้าต่างตารางวัตถุดิบของฉนวนและเปลือก 63
รูปที่ 4.13 การทำงานของโปรแกรมขั้นตอนฉนวน 64
รูปที่ 4.14 สาย 3 แกนมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น 66
รูปที่ 4.15 สาย 4 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น 67
รูปที่ 4.16 สาย 5 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น 68
รูปที่ 4.17 สาย 6 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น 68
รูปที่ 4.18 สาย 4 แกนซึ่งมี 2 แกนเล็กกว่าแกนอื่น 69
รูปที่ 4.19 สายหลายแกนที่ใช้ PP Calcium Filler ในการผลิต 70
รูปที่ 4.20 หน้าต่างข้อมูลการคำนวณ Fillers กรณีสายที่มีแกนเท่ากันทุกเส้น 70
รูปที่ 4.20 การใช้โครงสร้างร่วมกันของสายไฟฟ้า 72
รูปที่ 4.21 หน้าต่างข้อมูลขั้นตอนตีเกลียวแกนกรณีสายมี PE, N, GRD ในโปรแกรม Pro_Design 72
รูปที่ 4.22 ผังแสดงขั้นการตีเกลียวแกน 75
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างสายไฟฟ้าระดับแรงดัน Medium Voltage ที่มีการพัน Tape หลายชนิด 77
รูปที่ 4.24 ตัวอย่างสายไฟฟ้าที่มีการพัน Tape ทนไฟ 77

หน้าที่

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการพันเทปแบบ 1/5 Lap (Spun bond tape) 78
รูปที่ 4.26 ตัวอย่างการพันเทปแบบ 1/3 Gap (Copper Tape Shield) 78
รูปที่ 4.27 หน้าต่างข้อมูลเทปทนไฟ (Mica tape) 81
รูปที่ 4.28 ตัวอย่าง หน้าต่างข้อมูลเทปพันแบบซ้อนเหลื่อม และแบบมีช่องว่าง 82
รูปที่ 4.29 ตัวอย่าง หน้าต่างข้อมูลเทปพันแบบห่อตัวนำ 82
รูปที่ 4.30 ขั้นตอนการพัน Tape 83
รูปที่ 4.31 การหุ้มเปลือกแบบมีส่วนแทรก 85
รูปที่ 4.32 การคำนวณความหนาเปลือก 87
รูปที่ 4.33 การคำนวณสายเกราะตีเกลียว (Armor) 91
รูปที่ 4.34 หน้าต่างโปรแกรม Armor Wire Master 91
รูปที่ 3.35 สายไฟฟ้าที่มี Copper wire screen 92
รูปที่ 4.36 ขั้นตอนการคำนวณตัวนำกระจาย 99
รูปที่ 4.37 ตารางข้อมูลความหนาตัวกั้นตัวนำ (Conductor Screen) 100
รูปที่ 4.38 ตารางข้อมูลความหนาตัวกั้นฉนวน (Insulation Screen) 100
รูปที่ 5.1 การคำนวณความหนาของฉนวนและเปลือก 104
รูปที่ 5.2 ตารางความหนาพิเศษ (Fictitious) 105
รูปที่ 5.3 หน้าต่างสำหรับ Input ข้อมูล 106
รูปที่ 5.4 ชื่อสายไฟฟ้า และมาตรฐานอ้างอิง 107
รูปที่ 5.5 ส่วนที่ใช้กำหนดค่าควบคุมการผลิต (ส่วนบังคับ) 109
รูปที่ 5.6 ตารางแรงดัน (Rated voltage) ที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิต 109
รูปที่ 5.7 Kind of Cable Group 110
รูปที่ 5.8 แถบเครื่องมือ 1 111
รูปที่ 5.9 แถบเครื่องมือ 2 112
รูปที่ 5.10 แถบเครื่องมือ 3 112
รูปที่ 5.11 หน้าต่าง Login ของโปรแกรม 114
รูปที่ 5.12 การกำหนดสิทธิ์ใช้งาน 115
รูปที่ 5.13 การเลือก Process ของการออกแบบมาตรฐานการผลิต 116
รูปที่ 5.14 แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของแต่ละ Process 117
รูปที่ 5.15 แสดงการ Input ข้อมูลในส่วนการระบุแกนและ Size 117
รูปที่ 5.16 แสดงการใช้คำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิ๊กขวาของโปรแกรม Pro_Design 118
รูปที่ 5.17 แสดงค่าคำนวณโครงสร้างของโปรแกรม Pro_design 119

หน้าที่

รูปที่ 5.18 การคำนวณน้ำหนักของโปรแกรม Pro_Design 120
รูปที่ 5.19 แสดงการใช้งานและอัพเดทข้อมูลผ่าน Server ของโปรแกรม Pro_Design 121
รูปที่ 5.20 แสดงสถานะการบันทึกข้อมูลของโปแกรม Pro_Design 121
รูปที่ 5.21 การแสดงหน้าต่างข้อมูลในการเลือก Set ช่องข้อมูลก่อนแสดงผลของโปรแกรม Pro_Design 122
รูปที่ 5.22 การแสดงการตั้งค่าก่อนการ Print out ข้อมูลไปที่ MS EXCEL 123
รูปที่ 5.23 การแสดงข้อมูลของโปรแกรม Pro_Design 124
รูปที่ 5.24 แสดงการใช้งานการ Setup ข้อมูลของโปแกรม Pro_Design 125
รูปที่ 6.1 ข้อมูลจำนวนมาตรฐานการผลิตในเดือนสิงหาคม-กันยายน 2560 135
รูปที่ 6.2 การคำนวณ Process ของโปรแกรมคิดราคา 136
รูปที่ 6.3 การคำนวณน้ำหนักของโปรแกรมคิดราคา 136
รูปที่ 6.3 ขั้นตอนการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้ MS EXCEL 137
รูปที่ 6.4 ขั้นตอนการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้โปรแกรม Pro_Design 137

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 1.1 จำนวนปัญหาจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า 3
ตารางที่ 2.1 ความต้านทานแรงดึงของตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมกลมเส้นเดี่ยวและรูปทรงอื่นเส้นเดี่ยว 21
ตารางที่ 2.2 ความต้านทานแรงดึงของตัวนำไฟฟ้าอะลูมิเนียมกลมตีเกลียวและรูปทรงอื่นตีเกลียว 21
ตารางที่ 2.3 ตัวนำประเภท 1 ตัวนำไฟฟ้าเส้นเดี่ยวสำหรับสายไฟฟ้าแกนเดี่ยวและสายไฟฟ้าหลายแกน 22
ตารางที่ 2.4 ตัวนำประเภท 2 ตัวนำไฟฟ้าตีเกลียวสำหรับสายไฟฟ้าแกนเดี่ยวและสายไฟฟ้าหลายแกน 23
ตารางที่ 2.5 ตัวนำไฟฟ้าทองแดงอ่อนตัวได้สำหรับสายไฟฟ้าแกนเดี่ยวและสายไฟฟ้าหลายแกน 24
ตารางที่ 2.6 ชนิดของฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60502-1 26
ตารางที่ 2.7 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับฉนวนชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 26
ตารางที่ 2.8 ความหนาที่กำหนดของของฉนวนชนิด PVC / A ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 27
ตารางที่ 2.9 ความหนาที่กำหนดของของฉนวนชนิด XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 28
ตารางที่ 2.10 ความหนาที่กำหนดของยางเอทิลีนโพรพิลีน (EPR)และฉนวนยางฮาร์ดเอทิลีนโพรไพลีน (HEPR) ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 29
ตารางที่ 2.11 ความหนาของเปลือกชั้นใน ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 30
ตารางที่ 2.12 เส้นผ่าศูนย์กลางที่กำหนดของสายเกราะกลม ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 32
ตารางที่ 2.13 ความหนาที่กำหนดของเทปเกราะตามมาตรฐาน IEC 60502-1 32
ตารางที่ 2.14 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเปลือกนอก ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 33
ตารางที่ 2.15 ชนิดของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 34
ตารางที่ 2.16 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับฉนวนชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 34
ตารางที่ 2.17 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเปลือกนอก ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 35
ตารางที่ 2.18 ความหนาที่กำหนดของฉนวนชนิด PVC / B ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 35

หน้าที่

ตารางที่ 2.19 ความหนาที่กำหนดของฉนวนชนิด ครอสลิงค์โพลิเอททิลีน(XLPE) ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 35
ตารางที่ 2.20 ความหนาที่กำหนดของฉนวนยางเอทิลีนโพรพิลีน(EPR) และฮาร์ดเอทิลีนโพรพิลีน(HEPR)ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 36
ตารางที่ 2.21 สัญลักษณ์ผังงานและคำอธิบาย 39
ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 45
ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของสายไฟที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 45
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการคำนวณของขั้นตอนการคำนวณ 53
ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (P) 63
ตารางที่ 4.3 ตัวคูณของการตีเกลียวแกน (K_c) 66
ตารางที่ 4.4 การคำนวณจำนวนเส้น Fillers กรณีแกนเท่ากันทุกแกน 71
ตารางที่ 4.5 ตัวคูณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (α) 74
ตารางที่ 4.6 สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับร่องเกลียว (C) 86
ตารางที่ 4.7 ขนาดของสายเกราะตามมาตรฐาน IEC 88
ตารางที่ 4.8 ตารางการคำนวนจำนวนเส้นและน้ำหนักที่มีผลจากการปรับ Pitch สายเหล็ก 90
ตารางที่ 4.9 ขนาดของตัวนำกระจาย 93
ตารางที่ 5.1 คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 1 111
ตารางที่ 5.2 คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 2 112
ตารางที่ 5.3 คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 3 113
ตารางที่ 5.4 คำอธิบายคำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิ๊กขวา 118
ตารางที่ 5.5 ตารางลำดับโครงสร้างสำหรับการทดสอบโปรแกรม 126
ตารางที่ 5.6 รายละเอียดความผิดพลาดและวิธีแก้ไข 127
ตารางที่ 5.7 ตารางการตรวจสอบเงื่อนไขการคำนวณ 128
ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Pro_Design กับ MS EXCEL 132
ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบระกับความรู้ที่ใช้ในการทำงานระหว่างโปรแกรม Pro_Design กับ MS EXCEL 133
ตารางที่ 6.2 แสดงจำนวนมาตรฐานการผลิตที่ทำการออกแบบในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน 2560 และความผิดพลาดที่ตรวจพบ 138

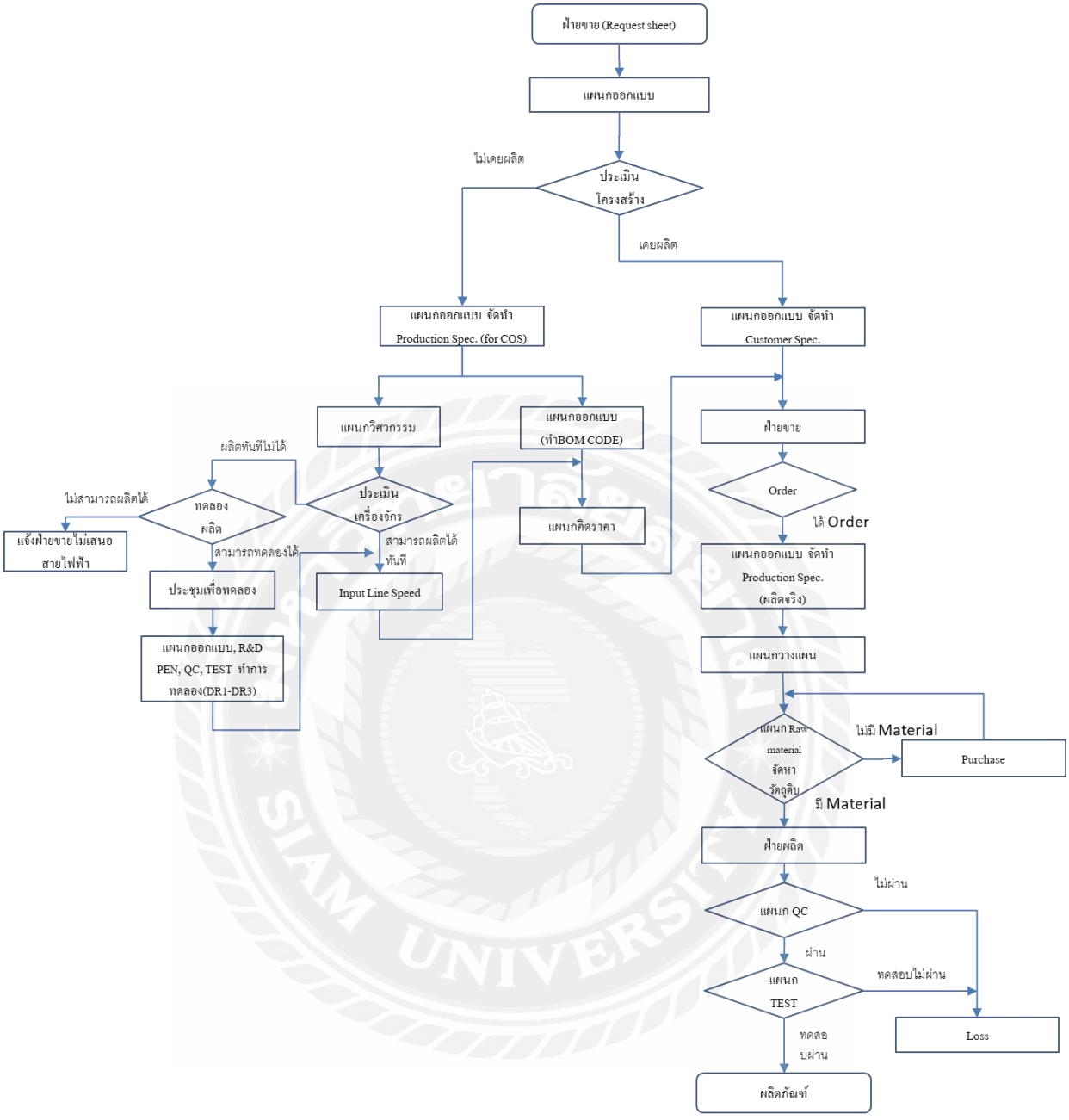
บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการขยายตัวของธุรกิจ สิ่งปลูกสร้าง และการปรับปรุงระบบไฟฟ้าของภาครัฐและเอกชนส่งผลให้ธุรกิจที่เกี่ยวข้องเกิดการแข่งขันในอัตราที่สูงขึ้น การแข่งขันดังกล่าวจะต้องอาศัยปัจจัยที่มาจาก คุณภาพ เวลา และการบริการซึ่งเป็นปัจจัยหลัก ๆ ในการตัดสินใจในการที่จะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

ธุรกิจผู้ผลิตสายไฟฟ้าจัดเป็นธุรกิจที่ได้รับผลจากการขยายตัวดังกล่าว ซึ่งในประเทศไทยธุรกิจสายไฟฟ้ามีการแข่งขันสูง ทั้งด้านคุณภาพ เทคโนโลยีการผลิต การส่งมอบและการบริการลูกค้า การแข่งขันดังกล่าวจะมีคู่แข่งจากภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งหลายบริษัทสามารถออกแบบสายไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการที่หลากหลายได้ เพื่อให้ได้กลุ่มลูกค้าในกลุ่มนั้น ๆ และการใช้ระยะเวลาส่งมอบที่รวดเร็วซึ่งอาจส่งผลต่อรายได้ในระยะยาว

บริษัทที่ทำการศึกษานี้เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสายไฟฟ้า ซึ่งจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ มีกำลังการผลิตที่สูงเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ ด้วยขีดความสามารถในการผลิตที่สามารถผลิตได้ทั้งตัวนำไฟฟ้าจนถึงสายสำเร็จ โดยเฉพาะการออกแบบสายไฟฟ้าที่ตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้า ความพร้อมของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต และประสบการณ์ของบริษัทจึงทำให้การผลิตสายไฟฟ้าในปัจจุบันมีคุณภาพ และได้รับความไว้วางใจจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน การวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาขั้นตอนในส่วนของการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า หรือเรียกว่าการออกแบบสายไฟฟ้า เพราะมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าในบริษัทที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ จะมีองค์ประกอบของโครงสร้าง วัตถุดิบที่ใช้ ขั้นตอนการผลิต ซึ่งสามารถเรียกว่าการออกแบบสายไฟฟ้าได้ การออกแบบมาตรฐานการผลิตนับเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่สุดในการผลิต เพราะเป็นขั้นตอนที่เป็นต้นทางการผลิตมีผลต่อคุณภาพของสินค้า สามารถอธิบายขั้นตอนการผลิตภายในบริษัทไว้ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการผลิตสายไฟฟ้า

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากโครงสร้างของระบบการผลิตภายในบริษัทในรูปที่ 1.1 มาตรฐานการผลิตจัดเป็นส่วนที่มีความสำคัญสูงสุดในการผลิต เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตว่าผ่านเกณฑ์หรือไม่ และสามารถสกัดกั้นไม่ให้เกิดเป็นสินค้าที่เป็น No Good ภายนอกบริษัททำให้เกิดผลต่อชื่อเสียง

บริษัทได้ แต่ถ้ามาตรฐานการผลิตที่เปรียบเสมือนเครื่องมือชี้วัดผลิตภัณฑ์นั้นเกิดข้อผิดพลาด ก็จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทั้งหมด จากการสำรวจแผนกออกแบบสายไฟฟ้าพบว่าจะมีการออกแบบมาตรฐานการผลิตใหม่เฉลี่ย 3-4 ฉบับต่อวัน โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel พบปัญหาเกิดความผิดพลาดจากสูตรคำนวณซึ่งส่งผลกระบวนการผลิต และกระบวนการคิดราคา ข้อมูลสถิติในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าตลอดปี 2016 พบจำนวนปัญหาจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าซึ่งพบความผิดพลาดตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนปัญหาจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า

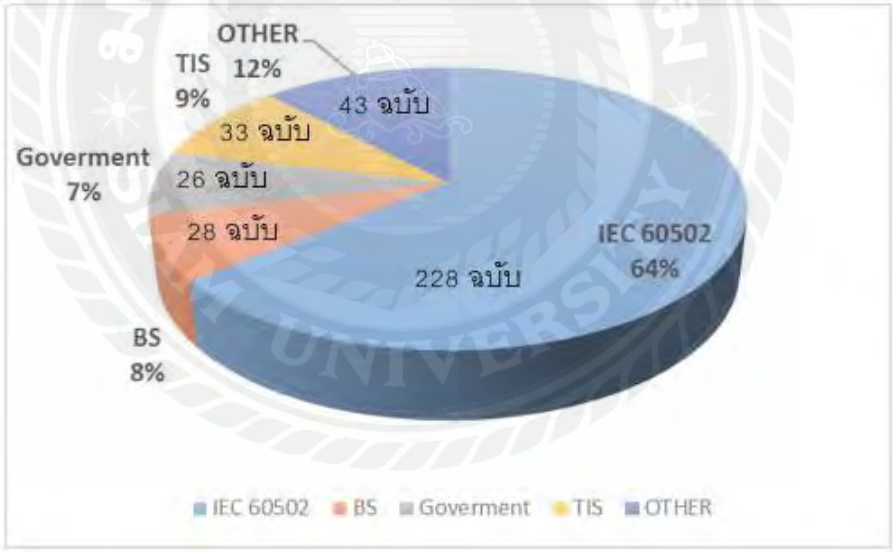
เดือน	จำนวนมาตรฐานที่ทำการออกแบบ/แก้ไข	แบ่งตามกลุ่มสาย											
		Building wire	ผิดพลาด	LV cable	ผิดพลาด	MV Cable	ผิดพลาด	HV Cable	ผิดพลาด	Control Cable	ผิดพลาด	Instrument Cable	ผิดพลาด
มกราคม	87	5	0	30	3	20	3	0	0	20	2	12	1
กุมภาพันธ์	95	0	0	42	7	30	4	2	0	13	1	8	1
มีนาคม	138	12	0	42	3	33	4	1	0	29	1	21	1
เมษายน	51	3	0	23	2	18	2	1	0	4	0	2	1
พฤษภาคม	97	8	0	36	0	22	0	1	0	15	0	15	0
มิถุนายน	98	7	0	37	0	21	1	3	0	22	1	8	0
กรกฎาคม	127	9	1	43	4	25	0	0	0	39	0	11	2
สิงหาคม	142	3	0	43	4	32	0	2	0	36	0	26	0
กันยายน	102	5	0	40	3	29	3	1	0	16	0	11	2
ตุลาคม	105	3	1	33	5	25	3	0	0	22	0	22	0
พฤศจิกายน	85	5	0	30	2	32	5	0	0	12	2	6	0
ธันวาคม	115	4	0	39	1	33	6	0	0	36	3	3	0
รวม		64	2	438	34	320	31	11	0	264	10	145	8
ความผิดพลาดร้อยละ		3.13		7.76		9.69		0.00		3.79		5.52	

ตารางที่ 1.1 แสดงการจำแนกกลุ่มสายออกเป็นทั้งหมด 6 กลุ่มที่เป็นสายไฟฟ้าชนิดหุ้มฉนวน โดยจำแนกจากระดับแรงดันและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยในปี 2016 ทางบริษัทได้มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาดเนื่องจากเกิดการเคลมของฝ่ายผลิตและฝ่ายคิดราคา ซึ่งทั้ง 6 กลุ่มมีเพียง 1 กลุ่มที่ไม่พบปัญหาคือ กลุ่ม HV Cable (High Voltage Power Cable) เนื่องจากสายไฟฟ้ากลุ่มดังกล่าวเป็นสายที่ออกแบบตามสเป็คของหน่วยงานราชการได้แก่ MEA, PEA, EGAT ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการแก้ไขโครงสร้าง หรือถ้ามีก็น้อยมากทำให้อัตราการเกิดความผิดพลาดต่ำกว่าสายไฟฟ้ากลุ่มอื่น

ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตแบ่งออกเป็น มาตรฐานการผลิตสำหรับคิดราคา, และมาตรฐานการผลิตสำหรับ Order ซึ่งการออกแบบทั้ง 2 ประเภทนี้จะไม่แตกต่างกันมาก มีเพียง

รายละเอียดบางส่วนซึ่งไม่เหมือนกัน เช่น สีของฉนวนและเปลือก, ข้อความบนสายไฟฟ้า เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อความรวดเร็วในการคิดราคา เพราะรายละเอียดดังกล่าวไม่มีผลต่อราคาของสายไฟฟ้า จึงต้องรอการสั่งซื้อของลูกค้าจากนั้นถึงทำการระบุรายละเอียดย่อย เพื่อออกเป็นมาตรฐานการผลิตสำหรับ Order ต่อไป

เมื่อพิจารณาถึงการผลิตจริงแล้วนั้น โดยการแบ่งย่อยออกเป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการผลิตพบว่าปริมาณ Order ในปี 2016 มีปริมาณการออกแบบสายไฟฟ้าที่มีการผลิตจริงมาจากมาตรฐาน IEC 60502 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 64 % ของปริมาณการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งมาตรฐานฉบับนี้ใช้ในการออกแบบสายไฟฟ้า 2 กลุ่มคือ LV Cable (Low-Voltage Power Cable) และ MV Cable (Medium Voltage Power Cable) โดยบริษัทที่ทำการศึกษาแห่งนี้นั้นใช้มาตรฐาน IEC 60502 ในการออกแบบผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าทั้ง 2 กลุ่มนี้ทั้งหมด



รูปที่ 1.2 จำนวนมาตรฐานการผลิตที่ใช้ในการผลิตจริง

จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้กำหนดเป้าหมายเพื่อที่จะลดความผิดพลาดจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้ากลุ่มดังกล่าวซึ่งมีความผิดพลาดเป็น 2 อันดับแรก เนื่องจากเป็นกลุ่มสายที่ใช้มาตรฐานอ้างอิงเดียวกันทั้งหมด แตกต่างจากสายไฟฟ้ากลุ่มอื่นซึ่งมีการประยุกต์นำหลายๆ มาตรฐานอ้างอิงมารวมกัน ทำให้การแก้ไขปัญหากลุ่มนี้ทำได้ยากและใช้เวลานาน และเมื่อ

เปรียบเทียบเชิงปริมาณ Order แล้วพบว่ามีจำนวนน้อยมาก ด้วยเหตุผลนี้จึงได้ทำการปรึกษากับแผนกออกแบบสายไฟฟ้าเพื่อหาแนวทางในการลดปัญหาความผิดพลาดจากสายไฟฟ้า ทั้ง 2 กลุ่ม โดยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดก่อนการดำเนินการแก้ไขมีดังนี้

1. กลุ่มสาย LV Cable (Low Voltage Power Cable) พบความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 7.76 %

2. กลุ่มสาย MV Cable (Medium Voltage Power Cable) พบความผิดพลาดร้อยละ 9.69%

สายไฟฟ้าทั้งสองกลุ่มมีการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้มาตรฐาน IEC 60502-1 สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 1kV ถึง 3kV และมาตรฐาน IEC 60502-2 สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 6kV ถึง 30kV ซึ่งมาตรฐานทั้ง 2 ฉบับไม่ใช่มาตรฐานบังคับมีข้อกำหนดเพียงบางโครงสร้างเท่านั้น โดยหลัก ๆ เป็นการกำหนดความหนาต่ำสุดของฉนวน (Insulation) ทำให้การออกแบบสายไฟฟ้าที่ใช้มาตรฐานดังกล่าวจะสามารถออกแบบได้หลากหลาย

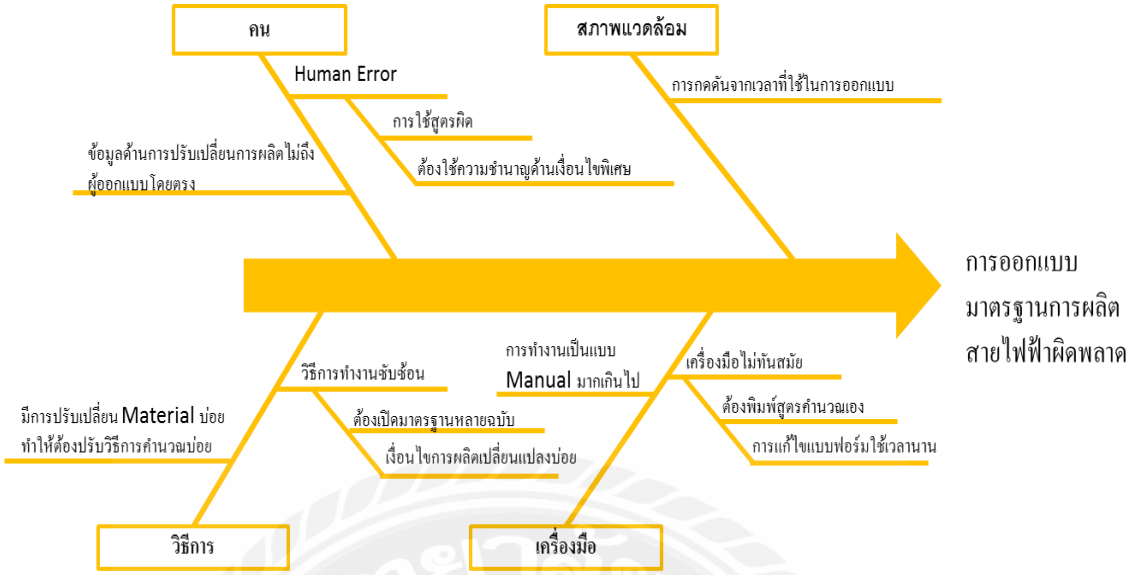
ผลของความผิดพลาดในการออกแบบมาตรฐานการผลิตที่กลุ่มสายแรงดันตั้งแต่ 0.6/1KV-18/30KV พบว่ามีการหลุดรอดไปถึงการผลิตทั้งหมด 3 ครั้งในปี 2016 โดยแยกออกเป็น

1. ส่งผลกระทบในระหว่างการผลิต 2 ครั้ง คิดเป็นจำนวนค่าความเสียหายประมาณ 450,000 บาท

2. ส่งผลกระทบไปถึงสินค้าสำเร็จ 1 ครั้ง คิดเป็นจำนวนค่าความเสียหายประมาณ 178,000 บาท

รวมค่าความเสียหายกว่า 628,000 บาท

จากผลกระทบดังกล่าวจึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาว่าปัญหาดังกล่าวมาจากสาเหตุใด เนื่องจากค่าความเสียหายต่อครั้งมีมูลค่าสูง และยังส่งผลกระทบต่อด้านความน่าเชื่อถือในการออกแบบมาตรฐานการผลิตของแผนกออกแบบสายไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Analysis เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาว่าเกิดจากอะไรดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การวิเคราะห์ปัญหาการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าผิดพลาด โดย Cause and Effect Analysis

จากรูปที่ 1.3 พบว่าปัญหาหลักที่ส่งผลต่อความผิดพลาดของการออกแบบมาตรฐานการผลิตผิดพลาดมาจาก ความไม่ทันสมัยของเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิต เนื่องจากในปัจจุบันการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้านั้น จะมีการใช้สูตรคำนวณซึ่งในแต่ละโครงสร้างของสายไฟฟ้าจะมีสูตรแตกต่างกัน และยังมีค่า Factor ที่มาจากเครื่องจักรมาเกี่ยวข้อง เมื่อการทำงานโดยใช้โปรแกรม MS EXCEL ต้องอาศัยการป้อนข้อมูลของสูตรคำนวณเองมากเกินไปจึงส่งผลต่อความผิดพลาดได้ โดยเฉพาะผู้ที่ไม่ชำนาญในการออกแบบที่เกิดจากความรู้ที่ต้องใช้ประสบการณ์ (Tacit Knowledge) อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดที่มาจาก Human Error รวมถึงการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจะต้องให้ผู้ที่ออกแบบมาตรฐานการผลิตทราบถึงการปรับเปลี่ยนเหล่านี้ด้วย

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการประชุมเพื่อหาทางออกกับแผนกออกแบบสายไฟฟ้า จะทำอย่างไรให้การออกแบบมาตรฐานการผลิตเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยต้องให้พนักงานที่มีประสบการณ์น้อยสามารถทำได้ จึงเกิดความคิดการทำมาตรฐานการผลิตในรูปแบบโปรแกรม และให้มีการใส่เงื่อนไขในการผลิตทั้งทางด้านสูตรคำนวณ, ค่า Factor ต่างๆ รวมถึง Material โดยพนักงานไม่ต้องกังวลในการทำงาน และทำให้สามารถลดเวลาในการตรวจสอบได้ จุดมุ่งหมายดังกล่าวเป็นการมุ่งเน้นในการลดความผิดพลาดในการออกแบบมาตรฐานการผลิตเพื่อส่งต่อไปยัง

ขั้นตอนการผลิตและคิดราคาให้มีความถูกต้อง โดยการพัฒนารูปแบบการทำงานให้เกิดความทันสมัยนั้นก็จะเป็นส่วนที่ช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจาก Human Error เนื่องจากเมื่อมีการปรับเปลี่ยน Factor หรือวัตถุดิบก็ทำการปรับเปลี่ยนในโปรแกรม ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง เป็นการช่วยลดความผิดพลาดที่ส่งผลมาจากการสื่อสารข้อมูลทางด้านเทคนิคที่มีการปรับเปลี่ยนที่อาจสื่อสารไม่ครอบคลุมผู้เกี่ยวข้องได้ทั้งหมดอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ ลดความผิดพลาดโดยวิธีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำมาตรฐานการผลิต (Production Standard) ให้มีความทันสมัย เป็นการเพิ่มศักยภาพเรื่องความถูกต้อง และลดเวลาในการออกแบบมาตรฐานการผลิต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าจะพิจารณาจากขั้นตอนการผลิตสายไฟฟ้าระดับแรงดัน 1-30kV ที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 โดยโครงสร้างของโปรแกรมที่ทำการพัฒนานั้นจะอ้างอิงตามโครงสร้างที่สามารถผลิตได้ในบริษัทที่ทำการศึกษาเท่านั้น การพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า จะเป็นการทำงานระหว่างผู้วิจัยและโปรแกรมเมอร์ที่บริษัทได้จัดจ้างจากภายนอก โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้กำหนดโครงสร้าง เงื่อนไขการผลิต รวมทั้งรูปลักษณ์ของโปรแกรมทั้งหมด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตภายในบริษัท
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยต่าง ๆ
3. ศึกษาวิเคราะห์ระบบของกระบวนการผลิต
4. รวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดโครงสร้างและการคำนวณของโปรแกรม

5. ทดสอบและประเมินผลโปรแกรม
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประสิทธิภาพในการออกแบบเพิ่มมากขึ้น
2. ลดเวลาในการออกแบบสายไฟฟ้า
3. ลดความผิดพลาดจากการใช้สูตรคำนวณผิด
4. สามารถใช้กับพนักงานที่ไม่ต้องมีประสบการณ์ได้

1.6 คำนิยามศัพท์

คำนิยามศัพท์มีดังต่อไปนี้

1. มาตรฐานการผลิต หมายถึง รูปแบบของขั้นตอนการผลิตในแต่ละขั้นตอนที่มีค่าควบคุม ในที่นี้หมายถึงผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า
2. Tacit Knowledge หมายถึง ความรู้ที่ฝังอยู่ในบุคคล ซึ่งมาจากประสบการณ์หรือ การใช้วิจารณญาณ
3. IEC หมายถึง คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electrotechnical Commission)
4. NG หมายถึง สินค้าที่ผลิตขึ้นแล้วมีตำหนิ มีปริมาณไม่แน่นอน จัดเป็นส่วนสูญเสียนอกสูตรการผลิต (No Good)
5. โปรแกรมเมอร์ หมายถึง นักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่สามารถสร้าง พัฒนา และแก้ไขปัญหา รวมถึงวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ และปรับปรุงให้ดีขึ้น ในที่นี้คือผู้ที่พัฒนาโปรแกรมร่วมกับผู้วิจัย
6. Low Voltage Power Cable หมายถึง สายไฟฟ้าแรงดันต่ำรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน 3 kV
7. Medium Voltage Power Cable หมายถึง สายไฟฟ้าแรงดันปานกลางรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 6kV ถึง 36kV

8. High Voltage Power Cable หมายถึง สายไฟฟ้าแรงดันสูงรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 69kV ขึ้นไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตสายไฟฟ้า และมาตรฐานในการผลิตที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบสายไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการออกแบบสายไฟฟ้าในกลุ่มของสาย Power แรงดันไม่เกิน 30kV ที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ซึ่งสายไฟฟ้ากลุ่มดังกล่าวสามารถออกแบบได้หลากหลายเนื่องจากมาตรฐานทั้งสองฉนับไม่ใช่มาตรฐานบังคับ เพียงแต่มีข้อกำหนดบางองค์ประกอบเท่านั้น โดยบทนี้จะเป็นกล่าวถึงข้อกำหนดเพื่อไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรมออกแบบสายไฟฟ้าในลำดับต่อไป

2.1 กระบวนการผลิตสายไฟฟ้า

ในกระบวนการผลิตสายไฟฟ้า ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานของสายไฟฟ้าแต่ละชนิดจะมีขั้นตอนและวิธีการที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยของเครื่องจักร การออกแบบวิธีการผลิต และโครงสร้างของสายไฟฟ้าชนิดนั้น หัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนของการผลิตสายไฟฟ้าของบริษัทที่ทำการวิจัย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิต

กระบวนการผลิตสายไฟฟ้ามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การรีด
2. การขึ้นรูปตัวนำตีเกลียว
3. การหุ้ม
4. การตีเกลียวแกน

2.1.1 กระบวนการรีด (Drawing)

กระบวนการรีด (Drawing) คือ การนำเอาตัวนำเข้าเครื่องรีด โดยผ่านลูก Die เพื่อลดขนาดสาย โดยเริ่มรีดจากขนาดใหญ่ และลดขนาดลงไปเรื่อยๆ จนได้ขนาดที่ต้องการเพื่อนำไปขึ้นรูปโดยการตี

เกลียว (Stranding) หรือใช้เป็นตัวนำเส้นเดี่ยว (Solid conductor) ในกระบวนการรีดตัวนำวัตถุดิบตั้งต้นมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. Copper wire rod ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 มิลลิเมตร
2. Aluminium wire rod จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.53 มิลลิเมตร

รูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงผลผลิตจากการรีดตัวนำวัตถุดิบตั้งต้นทั้งสองชนิด

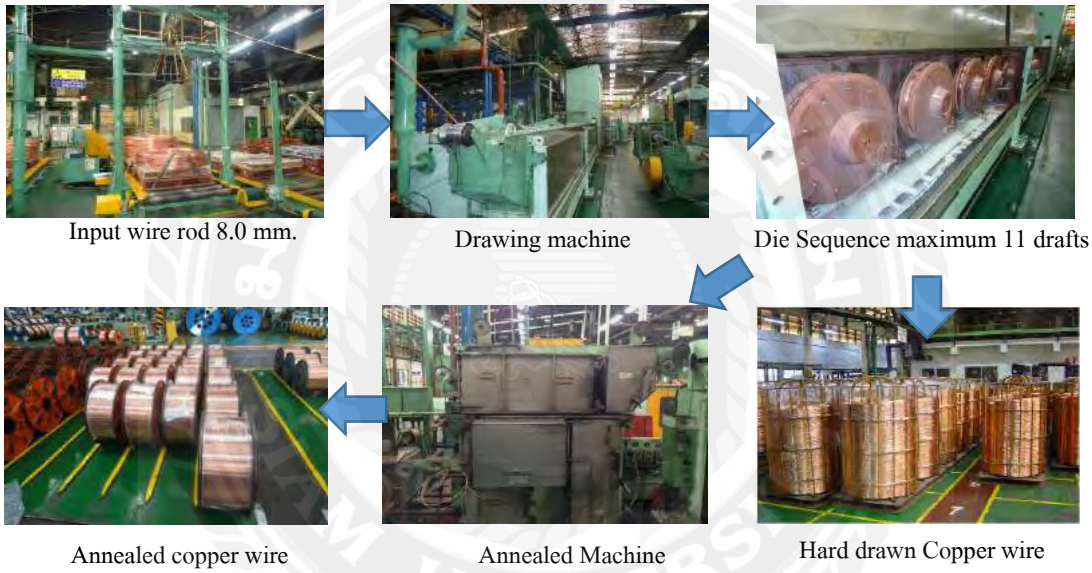
รูปที่ 2.1 ตัวนำ Aluminium wire rod 9.53 มม.

รูปที่ 2.2 ตัวนำ Copper wire rod 8.0 มม.

กระบวนการรีดตัวนำที่ใช้อยู่ในบริษัทแห่งนี้จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. การรีดแบบแข็ง (Hard drawn Conductor)
2. การรีดแบบผ่านไอน้ำ (Annealed Conductor) เฉพาะตัวนำทองแดง

โดยการรีด 2 ลักษณะนี้จะมีความแตกต่างในลักษณะของการนำไปใช้งาน ตัวนำอลูมิเนียมจะมีการรีดแบบแข็งเท่านั้น เนื่องจากอลูมิเนียมไม่มีคุณสมบัติของความยืดหยุ่นเหมือนกับตัวนำทองแดงจึงไม่นิยมนำไปทำตัวนำแบบอ่อนตัวได้ ส่วนตัวนำทองแดง จะมีการรีดทั้ง 2 ลักษณะ โดยเริ่มต้นจะรีด Copper wire rod ขนาด 8.0 มม.ให้ลดขนาดลงมาโดยการรีดแบบแข็ง (Hard drawn) จากนั้นถ้าจะนำไปใช้เป็นตัวนำแบบอบนิ่มก็จะนำตัวนำที่รีดได้ไปผ่านเครื่องอบนิ่มด้วยไอน้ำ (Annealing M/C) สำหรับตัวนำตีเกลียวอ่อนได้ หรือถ้าต้องการนำไปทำตัวนำตีเกลียวแบบแข็งก็ไม่ต้องผ่านกระบวนการอบนิ่มด้วยไอน้ำ โดยตัวนำที่รีดได้จะมีขนาดระหว่าง 0.15 - 4.98 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการรีดลดขนาดตัวนำ

2.1.2 การขึ้นรูปตัวนำตีเกลียว (Conductor Stranding)

การตีเกลียวตัวนำเป็นขั้นตอนหนึ่งในการผลิตตัวนำ เนื่องจากตัวนำไฟฟ้าจะต้องมีคุณสมบัติของค่าความต้านทานที่ 20°C ตามมาตรฐานที่กำหนด การตีเกลียวจะทำให้ความยาวของตัวนำมีความยาวจริงของตัวนำเพิ่มขึ้นโดยความยาวที่วัดได้จากที่วัดได้เท่าเดิม ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำลง และคุณสมบัติทางกล เช่นความยืดหยุ่นการรับแรงดึง และการดัดโค้ง จึงเป็นที่มาของการตีเกลียวตัวนำโดย

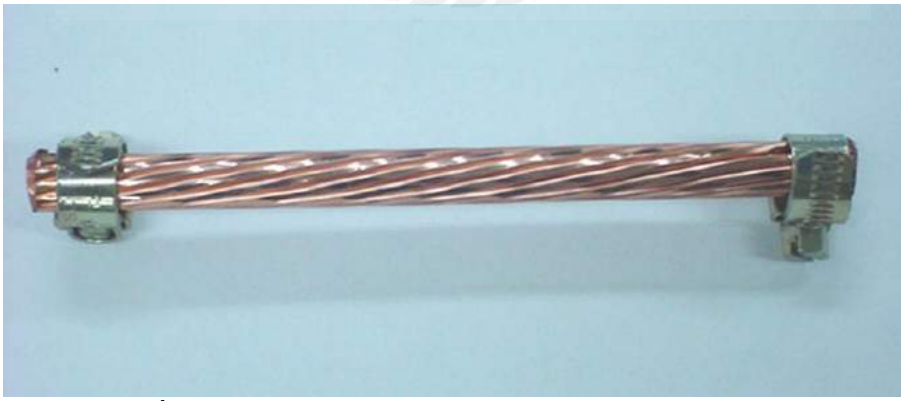
ในการผลิตปัจจุบัน ตัวนำไฟฟ้าขนาด 4 mm^2 เป็นต้นไปจะกำหนดเป็นตัวนำแบบตีเกลียวทั้งหมด ชนิดของตัวนำแบบตีเกลียวจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1. ตีเกลียวแบบ Concentric
2. ตีเกลียวแบบ Buncher
3. ตีเกลียวแบบ Rope-lay

2.1.2.1 ตีเกลียวแบบ Concentric

การตีเกลียวแบบ Concentric เป็นสายที่ตีเกลียวแบบมีตัวนำอยู่ที่ศูนย์กลางเส้นหนึ่งและมีเส้นอื่น ๆ ล้อมรอบเป็นชั้น ๆ ซึ่งแต่ละชั้นจะมีทองแดงเพิ่มขึ้น 6 เส้น มีจำนวนเส้นดังนี้ 7, 19, 37, 61, 91 และ127 เส้น จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบกึ่งอัดแน่น (Compressed) และไม่อัดแน่น (Stranded)

รูปที่ 2.4 ตัวนำแบบ Concentric แบบไม่อัดแน่น(Stranded)



รูปที่ 2.5 ตัวนำแบบ Concentric แบบกึ่งอัดแน่น(Compressed)

2.1.2.2 ตีเกลียวแบบ Buncher

ลักษณะการตีเกลียวแบบ Buncher เป็นการตีเกลียวสายฝอย ไม่มีเส้น Center ไม่มีการแบ่งชั้น

รูปที่ 2.6 ตัวนำแบบ Buncher

2.1.2.3 ตีเกลียวแบบ Rope-lay

ลักษณะการตีเกลียวแบบ Rope-lay คือ การนำ buncher หลาย ๆ กลุ่ม มาตีเกลียวรวมกันแบบ concentric เพื่อให้สายมีขนาดใหม่ เพิ่มความแข็งแรง และความอ่อนตัวเป็นพิเศษ

รูปที่ 2.7 ตัวนำแบบ Rope-lay

รูปที่ 2.8 ลักษณะของเครื่องตีเกลียว

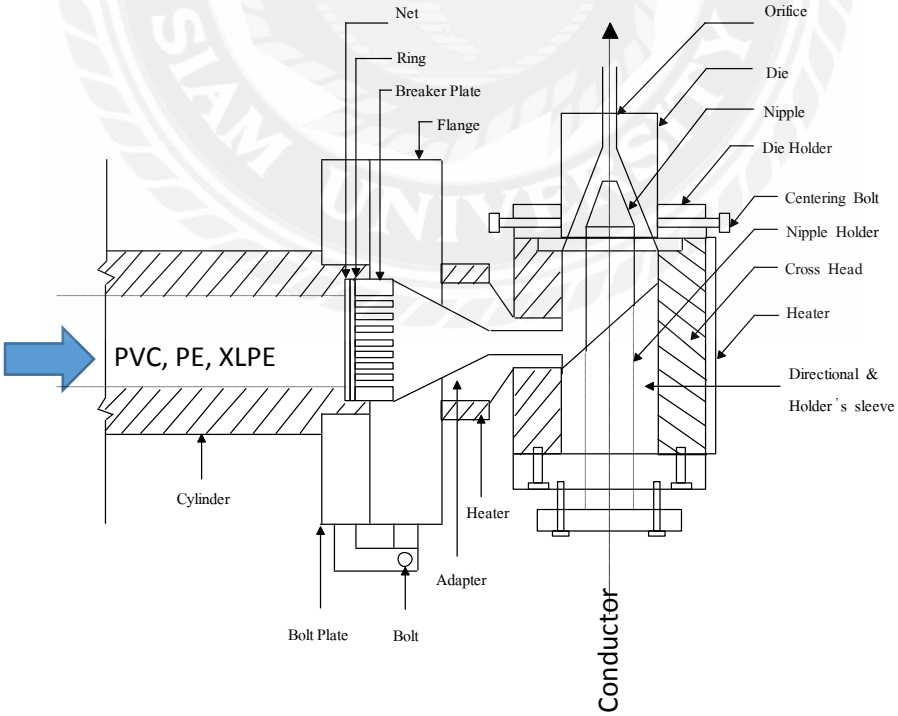
2.1.3 การหุ้ม (Extruding)

การหุ้มเป็นขั้นตอนการนำตัวนำไฟฟ้ามาทำการหุ้มฉนวนหรือเปลือกด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนทางไฟฟ้า และมีคุณสมบัติทนต่อสภาพแวดล้อมและสารเคมีได้ดี บริษัทแห่งนี้ใช้ PVC, PE, XLPE ที่เป็นเกรดที่ใช้สำหรับผลิตสายไฟฟ้าในการหุ้มฉนวนและเปลือก ในส่วนของการหุ้มจะมี 2 ลักษณะ โดยจะแยกตามประเภทของวิธีการหุ้มดังนี้

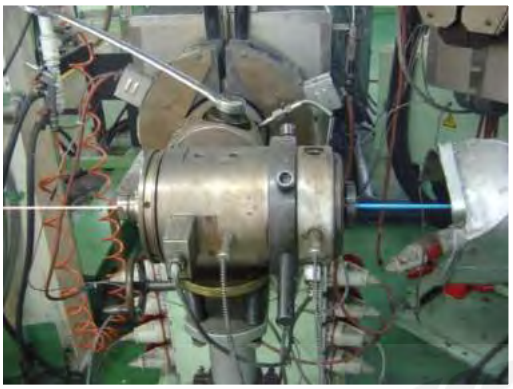
1. การหุ้มฉนวนแรงดันไม่เกิน 1 kV และเปลือกสายไฟฟ้า
2. การหุ้มฉนวนสำหรับสายไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 3-115 kV

2.1.3.1 การหุ้มฉนวนแรงดันไม่เกิน 1 kV และเปลือกสายไฟฟ้า

การหุ้มจะใช้เครื่องจักรกล เรียกว่า EXTRUDER M/C เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตยาง หรือ พลาสติก ซึ่งออกแบบให้เหมาะสมกับงานหุ้มฉนวนสายไฟฟ้าวัสดุที่ใช้คือ PVC, PE, XLPE Silane (มีคุณสมบัติการ Curing ได้เอง)



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเครื่อง Extruder M/C



รูปที่ 2.10 การหุ้มฉนวนสายไฟฟ้า แรงดันไม่เกิน 1 kV

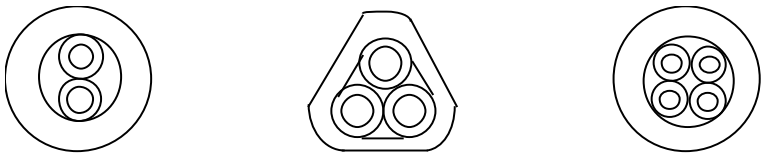
รูปที่ 2.11 การหุ้มเปลือกสายไฟฟ้า

การหุ้มฉนวนแรงดันไม่เกิน 1 kV และเปลือกสายไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้

1. หุ้มแน่น (Concretion Method) งานหุ้มฉนวนโดยทั่วไปจะใช้แบบนี้มากที่สุด ใช้ในการหุ้มที่ต้องการป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า หรือใช้เป็น Filler สำหรับใช้เป็นสาย Inner Wire หรือสายสำหรับใช้งานเดินสายไฟฟ้าทั่วไปเรียกว่า Insulated Wire งานหุ้มแบบนี้ผิวนอกจะเรียบสม่ำเสมอกัน

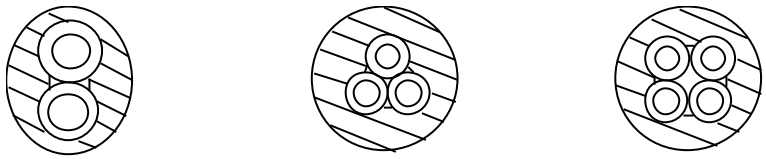
รูปที่ 2.12 การหุ้มฉนวนแบบ Concretion Method

2. หุ้มหลวม (Tubing Method) ใช้ในการหุ้มเปลือกนอก (Sheath) โดยรูปร่างจะขึ้นอยู่กับของสายที่นำมาหุ้ม



รูปที่ 2.13 การหุ้มฉนวนแบบ Tubing Method

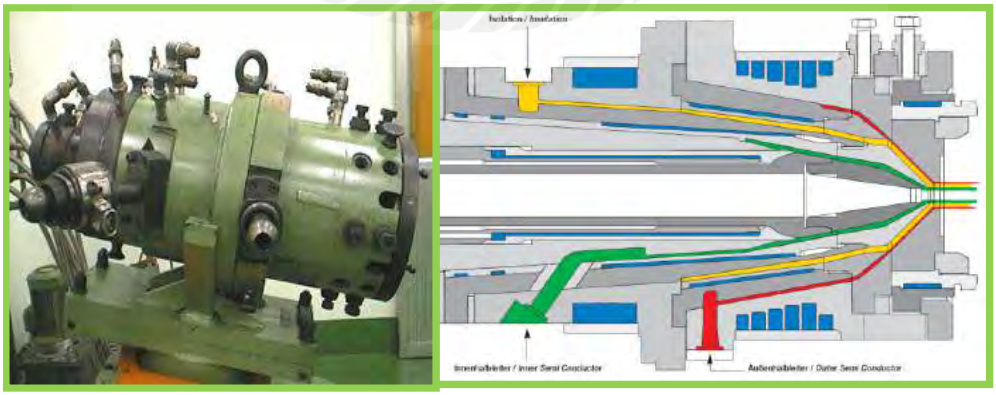
3. หุ้มกึ่งหลวม (Semi-Tubing Method) ใช้หุ้ม core Assembly เพื่อให้กลม ข้อเสีย ผิวจะเรียบไม่สม่ำเสมอ (ไม่นิยมใช้)



รูปที่ 2.14 การหุ้มฉนวนแบบ Semi-Tubing Method

2.1.3.2 การหุ้มฉนวนสำหรับสายไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 3-115 kV

ในการผลิตสายไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 3-115 kV นั้น ใน Line การผลิตจะต้องมีท่ออบสายโดยใช้ ไอน้ำ (Stream) หรือ Heater+ N2 และท่อ Cooling จะมีความยาวทั้งหมดประมาณ 100 เมตร เมื่อมีการหุ้มฉนวนโดยเครื่อง Extruder การหุ้มสายไฟจะต้องผ่านขบวนการอบสายในท่อ ถ้าเป็นแบบ Stream Curing จะใช้แรงดัน 19 Kg/cm^3 อุณหภูมิประมาณ 210 °C แต่ถ้าเป็นแบบ Dry Curing จะใช้แรงดันของไนโตรเจน 9 Kg/cm^3 อุณหภูมิประมาณ 400 – 500 °C ซึ่งในการอบสายนี้จะทำให้ฉนวน (XLPE) เกิดการ Crosslink นั้นหมายถึงเป็นการจัดเรียงโมเลกุลของ Carbon กับ Carbon ให้จับกันแน่นมีลักษณะเป็นลูกโซ่ และระยะเวลาในการอบสายจะขึ้นอยู่กับแรงดัน(Voltage) ซึ่งอยู่ระหว่าง 3 kV – 115 kV และขนาดของสายที่ทำการผลิต เมื่อผ่านขบวนการอบสายจนเสร็จสมบูรณ์แล้วจะผ่านขบวนการ Cooling ในท่อ โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิ 20 – 25 °C เพื่อทำให้สายไฟฟ้ารักษารูปทรงตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.15 เครื่องหุ้มฉนวนสำหรับสายไฟฟ้าแรงดันระดับกลาง

ในการหุ้มฉนวนของสายที่มีแรงดัน 3-115 kV จะมีการหุ้มพร้อมกัน 3 ขั้นตอนคือ Conductor screen, Insulation, Insulation screen ซึ่งทำให้ลดขั้นตอนการผลิตและไม่ทำให้เกิดการเจือปนเพราะ การหุ้มฉนวน XLPE ของสายไฟชนิดนี้จะต้องอยู่ในห้องที่มีการควบคุมฝุ่นละออง ไม่ให้ฝุ่นละอองเข้าไปผสมในเนื้อฉนวนเป็นสาเหตุของการ Breakdown ของฉนวนได้ การหุ้ม 3 โครงสร้างพร้อมกันจึงเป็นการออกแบบที่ดีที่สุดในการผลิตสายไฟฟ้าชนิดนี้

รูปที่ 2.16 ท่ออบสายแบบไอน้ำ

2.1.4 การตีเกลียวแกน (Core Stranding)

การตีเกลียวรวมกลุ่มกันของสายไฟที่ผ่านการหุ้มสายมาแล้วตั้งแต่ 2 แกนขึ้นไป ในการตีเกลียวสายหุ้มฉนวนจะมีองค์ประกอบดังนี้

1. วัสดุแทรกร่อง (Filler) เป็นองค์ประกอบที่ใช้เติมเต็มช่องว่างของสายหุ้มฉนวนที่เมื่อนำมาตีเกลียวแล้ว จะเกิดช่องว่างระหว่างแกน ทำให้เมื่อนำไปหุ้มผิวสายจะไม่เรียบทำให้ต้องมีการใช้ Filler เพื่อเติมช่องว่าง

รูปที่ 2.17 สายตีเกลียวที่ใส่ Filler

2. เทปรัด (Binder tape) เป็นเทปที่ใช้รัดเมื่อป้องกันการคลายตัวของสายหุ้มฉนวนเมื่อตีเกลียว หรือใช้รัดองค์ประกอบอื่น ๆ ของสายไฟฟ้าป้องกันไม่ให้หลุด เมื่อนำไปหุ้ม เช่น Armour, Copper wire screen, Copper tape, Steel tape เป็นต้น ในที่นี้จะมีใช้อยู่ 2 แบบคือ P.S. Tape และ Spund Tape

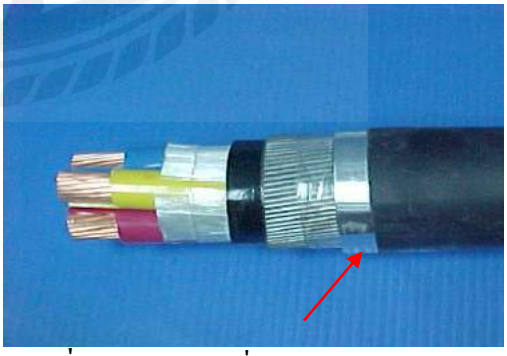
รูปที่ 2.18 P.S. Tape

รูปที่ 2.19 Spund bond Tape

3. ชั้นโลหะ (Metallic screen) มีลักษณะการใช้งานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก) เป็นการป้องกันทางกล คือเทปที่ทำหน้าที่ป้องกันสายไฟฟ้าจากแรงกด หรือสิ่งแหลมคมจากภายนอกไม่ให้ทะลุเข้าไปโดนฉนวนหรือตัวนำทำให้สายไฟฟ้าเสียหาย ได้แก่ Steel tape- armour, Brass -tape armour, Steel wire armour, Aluminium wire armour เป็นต้น

รูปที่ 2.20 สายไฟที่มี Alumimium wire Armour



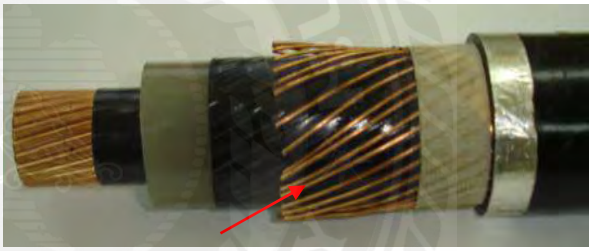
รูปที่ 2.21 สายไฟที่มี Steel wire Armour

รูปที่ 2.22 สายไฟที่มี Brass tape armour

รูปที่ 2.23 สายไฟที่มี Steel tape armour

ข) เป็นเกราะป้องกันสนามไฟฟ้า (Shield) ทำหน้าที่ช่วยป้องกันการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้า (induce) ระหว่างแกนกับแกนของสายที่มีหลายแกน และระหว่างสายไฟกับสายไฟในกรณีที่เป็นสายแกนเดียวต้องมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า วัสดุที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ Copper tape และ Copper wire screen

รูปที่ 2.24 สายไฟที่มี Copper tape



รูปที่ 2.25 สายไฟที่มี Copper wire screen

2.2 มาตรฐานการออกแบบ

สายไฟฟ้ากลุ่ม Power ตามมาตรฐาน IEC 60502 จะแบ่งออกเป็น

1. IEC 60502-1 สายไฟฟ้าแรงดัน 1 kV (Um=1.2 kV) และแรงดัน 3 kV (Um=3.6 kV)

2. IEC 60502-2 สายไฟฟ้าแรงดัน 6 kV (Um=7.2 kV) ถึงแรงดัน 30 kV (Um=36 kV)

โดยในการอธิบายมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 จะทำการอธิบายเนื้อหาในส่วนของการออกแบบเท่านั้น ซึ่งจะอธิบายถึงข้อบังคับในการผลิตสายไฟฟ้าตามมาตรฐานดังกล่าว โดยอ้างอิงเนื้อหาเฉพาะการผลิตในบริษัทที่ทำการศึกษาเท่านั้น

2.2.1 ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60502-1

สายไฟฟ้าแรงดัน1 kV (Um=1.2 kV) และ3 kV (Um=3.6 kV) จะมีข้อบังคับในการออกแบบดังนี้

1. ตัวนำ (Conductor) ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 จะอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60228 หรือ มอก.2427-2552 โดยจะใช้ตัวนำทั้งหมด 3 ประเภทดังนี้

1) ประเภท 1 คือ ตัวนำไฟฟ้าเส้นเดี่ยว (Solid Conductor)
2) ประเภท 2 คือ ตัวนำไฟฟ้าตีเกลียว (Strand Conductor)
3) ประเภท 5 คือ ตัวนำไฟฟ้าอ่อนตัวได้ (Flexible Conductor)

โดยตัวนำไฟฟ้าต้องประกอบด้วยวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้

- ทองแดงอ่อนที่ไม่เคลือบหรือเคลือบด้วยโลหะ
- อลูมิเนียมหรืออลูมิเนียมเจือ (จะมีข้อกำหนดพิเศษ*)

ข้อกำหนดสำหรับตัวนำอลูมิเนียมจะแบ่งตามประเภทของโครงสร้างดังนี้

ก) ตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมกลมเส้นเดี่ยวและรูปทรงอื่นเส้นเดี่ยว (Shaped) ต้องทำจากอลูมิเนียมที่มีความต้านทานแรงดึงของตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ ตามเกณฑ์กำหนดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความต้านทานแรงดึงของตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมกลมเส้นเดี่ยวและรูปทรงอื่นเส้นเดี่ยว

พื้นที่หน้าตัดระบุ mm^2	ความต้านทานแรงดึง N/mm^2
10 และ 25 และ 50 70 และมากกว่า	110 ถึง165 60 ถึง130 60 ถึง110 60 ถึง90

ข) ตัวนำไฟฟ้าอะลูมิเนียมกลมตีเกลียวและรูปทรงอื่นตีเกลียวต้องทำจากอะลูมิเนียมที่มีความต้านทานแรงดึงของลวดแต่ละเส้น ตามเกณฑ์กำหนดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานแรงดึงของตัวนำไฟฟ้าอะลูมิเนียมกลมตีเกลียวและรูปทรงอื่นตีเกลียว

พื้นที่หน้าตัดระบุ mm^2	ความต้านทานแรงดึง N/mm^2
10 16 และมากกว่า	ไม่มากกว่า 200 125 ถึง 205

ตารางที่ 2.3 ตัวนำประเภท 1 ตัวนำไฟฟ้าเส้นเดี่ยวสำหรับสายไฟฟ้าแกนเดี่ยวและสายไฟฟ้าลายแกน

พื้นที่หน้าตัดระบุ	*ความต้านทานไฟฟ้าสูงสุดที่20° C		
	ตัวนำไฟฟ้าทองแดงอบอ่อนกลม		ตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมและอลูมิเนียมเจือกลมหรือรูปทรงอื่น ๆ [ก]
	ไม่เคลือบโลหะ	เคลือบโลหะ	
mm^2	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0.5	36.0	36.7	-
0.75	24.5	24.8	-
1.0	18.1	18.2	-
1.5	12.1	12.2	-
2.5	7.41	7.56	-
4	4.61	4.70	-
6	3.08	3.11	-
10	1.83	1.84	3.08[ก]
16	1.15	1.16	1.91[ก]
25	0.727[ข]		1.20[ก]
35	0.524[ข]	-	0.868[ก]
50	0.387[ข]	-	0.641
70	0.268 ข	-	0.443
95	0.193[ข]	-	0.320[ง]
120	0.153[ข]	-	0.253[ง]
150	0.124[ข]	-	0.206[ง]
185	0.101[ข]	-	0.164[ง]
240	0.0775[ข]	-	0.125[ง]
300	0.0620[ข]	-	0.100[ง]
400	0.0465[ข]	-	0.0778
500	-	-	0.0605
630	-	-	0.0469
800	-	-	0.0367
1 000	-	-	0.0291

ก ตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมขนาด 10 ตารางมิลลิเมตร ถึง 35 ตารางมิลลิเมตร ต้องเป็นพื้นที่หน้าตัดกลมเท่านั้น

ข อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสองเส้นที่แตกต่างกัน ในตัวนำไฟฟ้าเดียวกันต้องไม่ต่ำกว่า

ค ความต้านทานไฟฟ้าของแต่ละตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต้องไม่มากกว่าค่าที่ระบุไว้

ง กรณีสายไฟฟ้าแกนเดี่ยว ตัวนำไฟฟ้าาสามเหลี่ยมฐานโครงสี่ส่วนอาจประกอบเป็นตัวนำไฟฟ้ากลมแกนเดี่ยว ค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงสุด ของตัวนำไฟฟ้าที่ประกอบแล้วต้อง มีค่าเป็นร้อยละ 25 ของตัวนำไฟฟ้าที่เป็น ส่วนประกอบของแต่ละตัว

*อ้างอิงข้อมูลเฉพาะพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 1000 mm^2 (เนื่องจากเป็นขนาดสูงสุดที่บริษัททำได้)

ตารางที่ 2.4 ตัวนำประเภท 2 ตัวนำไฟฟ้าตีเกลียวสำหรับสายไฟฟ้าแกนเดี่ยวและสายไฟฟ้าหลายแกน

พื้นที่หน้าตัดระบุ mm^2	จำนวนลวดต่ำสุดในตัวนำไฟฟ้า						*ความต้านทานไฟฟ้าสูงสุดที่ 20^oC		
	กลม		กลมอัด		รูปทรงอื่น		ตัวนำไฟฟ้าทองแดงอบอ่อน		ตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมและอลูมิเนียมเจือ[ก]
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	ไม่เคลือบโลหะ Ω/km	เคลือบโลหะ Ω/km	Ω/km
0.5	7	-	-	-	-	-	36.0	36.7	-
0.75	7	-	-	-	-	-	24.5	24.8	-
1.0	7	-	-	-	-	-	18.1	18.2	-
1.5	7	-	6	-	-	-	12.1	12.2	-
2.5	7	-	6	-	-	-	7.41	7.56	-
4	7	-	6	-	-	-	4.61	4.70	-
6	7	-	6	-	-	-	3.08	3.11	-
10	7	7	6	6	-	-	1.83	1.84	3.08
16	7	7	6	6	6	6	1.15	1.16	1.91
25	7	7	6	6	6	6	0.727	0.734	1.20
35	7	7	6	6	6	6	0.524	0.529	0.868
50	19	19	6	6			0.387	0.391	0.641
70	19	19	12	12	12	12	0.268	0.270	0.443
95	19	19	15	15	15	15	0.193	0.195	0.320
120	37	37	18	15	18	15	0.153	0.154	0.253
185	37	37	30	30	30	30	0.0991	0.100	0.164
240	37	37	34	30	34	30	0.0754	0.0762	0.125
300	61	61	34	30	34	30	0.0601	0.0607	0.100
500	61	61	53	53	53	53	0.0366	0.0369	0.0605
630	91	91	53	53	53	53	0.0283	0.0286	0.0469
800	91	91	53	53	-	-	0.0221	0.0224	0.0367
1 000	91	91	53	53	-	-	0.0176	0.0177	0.0291

ก สำหรับตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมเจือตีเกลียวที่มีพื้นที่หน้าตัดระบุเท่ากับตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียม ค่าความต้านทานไฟฟ้าควรเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ทำกับผู้ซื้อ

*อ้างอิงข้อมูลเฉพาะพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 1000 mm^2 (เนื่องจากเป็นขนาดสูงสุดที่บริษัททำได้)

ตารางที่ 2.5 ตัวนำไฟฟ้าทองแดงอ่อนตัวได้สำหรับสายไฟฟ้าแกนเดี่ยวและสายไฟฟ้าหลายแกน

พื้นที่หน้าตัดระบุ	เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของลวดในตัวนำไฟฟ้า	*ความต้านทานไฟฟ้าสูงสุดที่20^{o} C	
		ไม่เคลือบโลหะ	เคลือบโลหะ
		Ω/km	Ω/km
0.5	0.21	39.0	40.1
0.75	0.21	26.0	26.7
1.0	0.21	19.5	20.0
1.5	0.26	13.3	13.7
2.5	0.26	7.98	8.21
4	0.31	4.95	5.09
6	0.31	3.30	3.39
10	0.41	1.91	1.95
16	0.41	1.21	1.24
25	0.41	0.780	0.795
35	0.41	0.554	0.565
50	0.41	0.386	0.393
70	0.51	0.272	0.277
95	0.51	0.206	0.210
120	0.51	0.161	0.164
150	0.51	0.129	0.132
185	0.51	0.106	0.108
240	0.51	0.0801	0.0817
300	0.51	0.0641	0.0654
400	0.51	0.0486	0.0495
500	0.61	0.0384	0.0391
630	0.61	0.0287	0.0292

ค่าความต้านไฟฟ้าตัวนำที่ 20 องศาเซลเซียส การคำนวณจะเป็นการคำนวณความยาวของสายไฟฟ้าเสร็จสมบูรณ์ ไม่ใช่จากความยาวของแกนหรือลวดแต่ละเส้น

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L}$$

โดยที่

k_t คือ ตัวประกอบการปรับแก้อุณหภูมิ

R_{20} คือ ความต้านตัวนำไฟฟ้าที่ 20 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นโอห์มต่อกิโลเมตร

R_t คือ ความต้านทานตัวนำไฟฟ้าที่ได้จากการวัด มีหน่วยเป็นโอห์ม

L คือ ความยาวสายไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเมตร

สูตรสำหรับตัวประกอบการปรับแก้อุณหูมิ(k_t)

1. ตัวนำไฟฟ้าทองแดงอบอ่อน ไม่เคลือบผิวโลหะหรือเคลือบโลหะ

$$k_{t,Cu} = \frac{254.5}{234.5 + t} = \frac{1}{1 + 0.00393(t - 20)}$$

2. ตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียม

$$k_{t,Al} = \frac{248}{228 + t} = \frac{1}{1 + 0.00403(t - 20)}$$

<u>หมายเหตุ</u> กรณีตัวนำไฟฟ้าอะลูมิเนียมเจือเส้นเดี่ยวที่มีพื้นที่หน้าตัดระบุเท่ากับตัวนำไฟฟ้าอลูมิเนียมเส้นเดี่ยวค่าความต้านทานที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.3 ต้องคูณด้วยตัวประกอบ 1.162 เว้นแต่จะมีการตกลงกับผู้ขายเป็นอย่างอื่น

2. ฉนวน (Insulation) ชนิดของฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60502-1 สามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2.6 และอุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับฉนวนชนิดต่าง ๆ ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ชนิดของฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Insulating compound	Abbreviated designation
a) Thermoplastic	
Polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages U_0/U ≤1,8/3 kV	PVC/A*
b) Thermosetting:	
Ethylene propylene rubber or similar (EPM or EPDM) High modulus	EPR
or hard grade ethylene propylene rubber Cross-linked polyethylene	HEPR
	XLPE
* Insulating compound based on polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages U_0/U = 3,6/6 kV is designated PVC/8 in IEC 60502-2.	

ตารางที่ 2.7 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับฉนวนชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Insulating compound		Maximum conductor temperature °C	
		Normal operation	Short-circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride	(PVC/A)		
	Conductor cross-section ≤300 mm^2	70	160
	Conductor cross-section >300 mm^2	70	140
Cross-linked polyethylene	(XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber	(EPR and HEPR)	90	250

ความหนาของฉนวน ระบุไว้ในตารางที่ 2.8 ถึง 2.10 ความหนาของสิ่งอื่น เช่น เทป สารบรรจุแน่น และอื่น ๆ จะต้องไม่รวมอยู่ในความหนาของฉนวน

ตารางที่ 2.8 ความหนาที่กำหนดของของฉนวนชนิด PVC / A ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)	
	0,6/1 (1,2) kV	1,8/3 (3,6) kV
1.5 and 2.5	0.8	–
4 and 6	1,0	–
10 and 16	1,0	2,2
25 and 35	1,2	2,2
50 and 70	1,4	2,2
95 and 120	1.6	2.2
150	1.8	2.2
185	2,0	2,2
240	2,2	2,2
300	2,4	2,4
400	2,6	2,6
500 to 800	2,8	2,8
1 000	3,0	3,0
NOTE Any conductor cross-section smaller than those given in this table is not recommended.		

ตารางที่ 2.9 ความหนาที่กำหนดของของฉนวนชนิด XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)	
mm^2	0,6/1 (1,2) kV mm	1,8/3 (3,6) kV mm
1,5 and 2,5	0,7	–
4 and 6	0,7	–
10 and 16	0,7	2,0
25 and 35	0,9	2,0
50	1,0	2,0
70 and 95	1,1	2,0
120	1,2	2,0
150	1,4	2,0
185	1,6	2,0
240	1,7	2,0
300	1,8	2,0
400	2,0	2,0
500	2,2	2,2
630	2,4	2,4
800	2,6	2,6
1 000	2,8	2,8

ตารางที่ 2.10 ความหนาที่กำหนดของยางเอทิลีนโพรพิลีน (EPR)
และฉนวนยางฮาร์ดเอทิลีนโพรไพลีน (HEPR) ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)			
	0,6/1 (1,2) kV		1,8/3 (3,6) kV	
mm^2	EPR mm	HEPR mm	EPR mm	HEPR mm
1,5 and 2,5	1,0	0,7	–	–
4 and 6	1,0	0,7	–	–
10 and 16	1,0	0,7	2,2	2,0
25 and 35	1,2	0,9	2,2	2,0
50	1,4	1,0	2,2	2,0
70	1,4	1,1	2,2	2,0
95	1,6	1,1	2,4	2,0
120	1,6	1,2	2,4	2,0
150	1,8	1,4	2,4	2,0
185	2,0	1,6	2,4	2,0
240	2,2	1,7	2,4	2,0
300	2,4	1,8	2,4	2,0
400	2,6	2,0	2,6	2,0
500	2,8	2,2	2,8	2,2
630	2,8	2,4	2,8	2,4
	2,8	2,6	2,8	2,6
1 000	3,0	2,8	3,0	2,8
NOTE Any conductor cross-section smaller than those given in this table is not recommended.				

3. เปลือกชั้นใน (Inner Sheath) สายเคเบิ้ลที่มีโครงสร้างของเกราะโลหะ, เทปโลหะจะต้องมีส่วนประกอบของเปลือกชั้นใน (Inner Sheath) เนื่องจากอาจเกิดการกดทับของวัสดุที่เป็นโลหะกับเนื้อฉนวนได้ โดยวัสดุที่ใช้ต้องเหมาะกับอุณหภูมิในการทำงานของสายเคเบิล

ความหนาเปลือกชั้นใน ความหนาที่ระบุในรูปมิลลิเมตรจะคำนวณโดยใช้สูตร

$$T_s = 0.02\ D_u + 0.6$$

โดยที่ D_u คือเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนหุ้มเปลือกชั้นในค่าเริ่มต้นความหนาที่ 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งความหนา เปลือกชั้นในสามารถใช้ความหนาดัดแปลง (Ficticious) ได้โดยต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 1.2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.11 ความหนาของเปลือกชั้นใน ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Fictitious diameter over laid-up cores		Thickness of extruded inner covering (approximate values) mm
Above mm	Up to and including mm	
–	25	1,0
25	35	1,2
35	45	1,4
45	60	1,6
60	80	1,8
80	–	2,0

4. ชั้นโลหะสำหรับสายแกนเดี่ยวและสายหลายแกนประกอบด้วย

1) ตัวกั้นโลหะ (Metallic Screen) ต้องประกอบด้วยเทปอย่างน้อยหนึ่งหรือมากกว่า 1 ชนิด, สายถัก, ลวดตีเกลียวกระจาย, หรือรวมกันระหว่างลวดและเทป โดยจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการกัดกร่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่เพียงเพื่อความปลอดภัยทางกล แต่ยังรวมถึงความปลอดภัยทางไฟฟ้า และจะต้องสอดคล้องกับกฎระเบียบและ / หรือมาตรฐาน

2) ตัวนำกระจาย (Concentric Conductor) วัสดุของตัวนำกระจายจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการกัดกร่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่เพียงเพื่อความปลอดภัยทางกล แต่ยังรวมถึงความปลอดภัยทางไฟฟ้า โดยขนาดและคุณสมบัติทางกายภาพของตัวนำตัวนำกระจาย และความต้านทานไฟฟ้าจะต้องเป็นไปตามข้อบังคับ / หรือมาตรฐานสายเคเบิ้ลหลายแกนต้องหุ้มเปลือกชั้นในก่อนลงตัวนำกระจาย ส่วนในกรณีสายเคเบิ้ลเดี่ยวสามารถหุ้มบนฉนวนโดยตรงหรือหุ้มบนเปลือกชั้นในตามความเหมาะสม

3) เกราะโลหะ (Metallic Armour) ประเภทเกราะที่ครอบคลุมโดยมาตรฐานนี้มีดังนี้

ก. เกราะลวดแบน จะต้องเป็นเหล็กชุบสังกะสี, ทองแดง, ทองแดงชุบดีบุก, อลูมิเนียมหรืออลูมิเนียมเจือเทปจะต้องเป็นเหล็กกล้าชุบสังกะสีอลูมิเนียมหรืออลูมิเนียม

ข. เกราะลวดกลม จะต้องเป็นเหล็กชุบสังกะสี, ทองแดง, ทองแดงชุบดีบุก, อลูมิเนียมหรืออลูมิเนียมเจือเทปจะต้องเป็นเหล็กกล้าชุบสังกะสีอลูมิเนียมหรืออลูมิเนียม

ค. หุ้มเกราะเทปคู่ เทปเหล็กต้องเป็นเหล็กรีดร้อนหรือรีดเย็นที่มีคุณภาพในเชิงพาณิชย์ ในการเลือกวัสดุควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดการกัดกร่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับความปลอดภัยทางกล รวมถึงความปลอดภัยทางไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับสายแกนเดี่ยวแรงดันกระแสสลับ จะต้องประกอบด้วยวัสดุที่ไม่ใช่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก

ขนาดของสายเกราะและเทปเกราะขนาดระบุของสายเกราะและเทปเกราะควรประกอบด้วยค่าต่อไปนี้อย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

ก) สายเกราะกลม : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8, 1.25, 1.6, 2.0, 2.5 และ 3.15 มิลลิเมตร

ข) สายเกราะแบน : ความหนา 0.8มิลลิเมตร

ค) เทปเหล็ก : ความหนา 0.2, 0.5, 0.8 มิลลิเมตร

ง) เทปอะลูมิเนียมหรืออลูมิเนียมอัลลอย : ความหนา 0.5 - 0.8 มิลลิเมตร

<u>ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสายเคเบิลและขนาดเกราะ</u>

เส้นผ่าศูนย์กลางของสายเกราะทรงกลมและความหนาที่ระบุของเทปหุ้มเกราะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตาราง 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.12 เส้นผ่าศูนย์กลางที่กำหนดของสายเกราะกลม ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Fictitious diameter under the armour		Nominal diameter of armour wire
Above mm	Up to and including mm	mm
–	10	0,8
10	15	1,25
15	25	1,6
25	35	2,0
35	60	2,5
60	–	3,15

ตารางที่ 2.13 ความหนาที่กำหนดของเทปเกราะตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Fictitious diameter under the armour		Nominal thickness of tape	
Above mm	Up to and including mm	Steel or galvanized steel mm	Aluminium or aluminium alloy mm
–	30	0,2	0,5
30	70	0,5	0,5
70	–	0,8	0,8
NOTE This table does not apply to cables having metallic tapes applied directly over the assembled cores			

สำหรับสายเกราะแบนกรณีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใต้เกราะมากกว่า 15 มิลลิเมตร ความหนาที่ระบุของลวดเหล็กแบนจะเป็น 0.8 มม ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 มิลลิเมตรจะไม่หุ้มเกราะชนิดสายเกราะแบน

5. เปลือกนอก (Outer Sheath) ของสายทุกชนิดตามาตรฐาน IEC 60502 จะต้องมีเปลือกชั้นนอก (Outer Sheath) โดยสีที่ใช้โดยปกติจะเป็นสีดำเนื่องจากคุณสมบัติป้องกัน UV แต่ถ้าเป็นสีอื่นจะต้องชี้แจงรายละเอียดความเปลี่ยน แปลงของคุณสมบัติดังกล่าว วัสดุเปลือกนอกจะต้องใช้ให้ต้องเหมาะกับอุณหภูมิในการทำงานตามตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเปลือกนอก ตามมาตรฐาน IEC 60502-1

Sheathing compound	Abbreviated designation	Maximum conductor temperature in normal operation °C
a) *Thermoplastic:*		
Polyvinyl chloride (PVC)	ST_1	80
	ST_2	90
Polyethylene	ST_3	80
	ST_7	90
Halogen free	ST_8	90
b) *Elastomeric:*		
Polychloroprene, chlorosulfonated or similar polymers	SE_1	85

ความหนาเปลือกนอก ความหนาที่ระบุในรูปมิลลิเมตรจะคำนวณโดยใช้สูตร

$$Ts = 0.035\ D + 1.0$$

โดยที่ ค่าความหนาเริ่มต้นที่ 1.4 สำหรับสาย 1 แกน

ค่าความหนาเริ่มต้นที่ 1.8 สำหรับสาย 2 แกนขึ้นไป

โดยที่ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนหุ้มเปลือกนอก

2.2.2 ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60502-2

สายไฟฟ้าแรงดันสายไฟฟ้าแรงดัน 6 kV ($U_m = 7.2\ kV$) และ 30 Kv ($U_m = 36\ kV$) จะมีข้อกำหนดในการออกแบบที่ต่างจากมาตรฐาน IEC 60502-1 ดังนี้

1. ตัวนำ (Conductor) ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 จะอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60228 หรือ มอก.2427-2552 โดยจะใช้ตัวนำทั้งหมด 2 ประเภทดังนี้

- ประเภท 1 คือ ตัวนำไฟฟ้าเส้นเดี่ยว
- ประเภท 2 คือ ตัวนำไฟฟ้าตีเกลียว

2. ฉนวน (Insulation) ชนิดของฉนวนตามาตรฐาน IEC 60502-2 สามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 5 และอุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับฉนวนชนิดต่าง ๆ ในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ชนิดของฉนวน ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

Insulating compound	Abbreviated designation
a) Thermoplastic polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages U_0/U = 3,6/6 kV	PVC/B*
b) Thermosetting: ethylene propylene rubber or similar (EPM or EPDM) high modulus or hard grade ethylene propylene rubber	EPR HEPR
cross-linked polyethylene	XLPE
* Insulating compound based on polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages $U_0/U \leq 1,8/3$ kV is designated PVC/A in IEC 60502-1.	

ตารางที่ 2.16 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับฉนวนชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

Insulating compound		Maximum conductor temperature °C	
		Normal operation	Short-circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride	(PVC/B)		
	Conductor cross-section ≤300 mm^2	70	160
	Conductor cross-section >300 mm^2	70	140
Cross-linked polyethylene	(XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber	(EPR and HEPR)	90	250

* สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับอุณหภูมิลัดวงจรควรอ้างอิงไปที่ IEC 60986

ตารางที่ 2.17 อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้าสูงสุดสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเปลือกนอก ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

Sheathing compound	Abbreviated designation	Maximum conductor temperature in normal operation °C
a) *Thermoplastic:*		
polyvinyl chloride (PVC)	ST_1	80
	ST_2	90
polyethylene	ST_3	80
	ST_7	90
b) *Elastomeric:*		
polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers	SE_1	85

ตารางที่ 2.18 ความหนาที่กำหนดของฉนวนชนิด PVC / B ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

Nominal cross-sectional area of conductor mm^2	Nominal thickness of insulation at rated voltage 3,6/6 (7,2) kV mm
10 to 1 600	3,4

ตารางที่ 2.19 ความหนาที่กำหนดของฉนวนชนิด ครอสลิงค์โพลิเอททิลีน(XLPE)

ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

Nominal cross-sectional area of conductor mm^2	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)				
	3,6/6 (7,2) kV mm	6/10 (12) kV mm	8,7/15 (17,5) kV mm	12/20 (24) kV mm	18/30 (36) kV mm
10	2,5	–	–	–	–
16	2,5	3,4	–	–	–
25	2,5	3,4	4,5	–	–
35	2,5	3,4	4,5	5,5	–
50 to 185	2,5	3,4	4,5	5,5	8,0
240	2,6	3,4	4,5	5,5	8,0
300	2,8	3,4	4,5	5,5	8,0
400	3,0	3,4	4,5	5,5	8,0
500 to 1 600	3,2	3,4	4,5	5,5	8,0

ตารางที่ 2.20 ความหนาที่กำหนดของฉนวนยางเอทิลีนโพรพิลีน(EPR) และฮาร์ดเอทิลีนโพรพิลีน (HEPR) ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

Nominal cross-sectional area of conductor mm^2	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)					
	3,6/6 (7,2) kV		6/10 (12) kV	8,7/15 (17,5) kV	12/20 (24) kV	18/30 (36) kV
	Unscreened mm	Screened mm	mm	mm	mm	mm
10	3,0	2,5	–	–	–	–
16	3,0	2,5	3,4	–	–	–
25	3,0	2,5	3,4	4,5	–	–
35	3,0	2,5	3,4	4,5	5,5	–
50 to 185	3,0	2,5	3,4	4,5	5,5	8,0
240	3,0	2,6	3,4	4,5	5,5	8,0
300	3,0	2,8	3,4	4,5	5,5	8,0
400	3,0	3,0	3,4	4,5	5,5	8,0
500 to 1 600	3,2	3,2	3,4	4,5	5,5	8,0

จากตารางที่ 2.18-2.20ไม่แนะนำให้ใช้ตัวนำขนาดเล็กกว่าที่ระบุในตารางนี้ แต่ถ้าต้องการใช้พื้นที่หน้าตัดตัวนำเล็กกว่าที่กำหนดในตารางจะต้องทำการเพิ่ม Conductor Screen หรือเพิ่มความหนาของฉนวน สำหรับตัวนำที่มีขนาดใหญ่กว่า 1000 mm^2 ความหนาของฉนวนอาจเพิ่มขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายทางกลในระหว่างการติดตั้งและการบริการ

3. ส่วนกั้น (Screen) เนื่องจากระดับแรงดันตามมาตรฐาน IEC 60502-2 มีข้อกำหนดเกี่ยวกับส่วนกั้น(Screen)ซึ่งเป็นส่วนที่มีผลในการกระจายความเครียดของสนามไฟฟ้าโดยมีหัวข้อดังนี้

1) ส่วนกั้นโลหะ (Metallic Screen) โครงสร้างสายเคเบิ้ลทั้งหมดที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-2 จะต้องมีชั้นโลหะล้อมรอบแกนโดยที่เป็นแบบแยกกัน (individually) หรือรวมกัน (collectively) มีหน้าที่ป้องกันสนามไฟฟ้าไม่ให้เกิดอันตรายต่อบุคคลหรือสิ่งแวดล้อมและป้องกันไปรบกวนระบบอื่น ๆ และใช้เป็นสายดินต่อเข้ากับระบบสายดินของระบบไฟฟ้าโดยจะมีข้อกำหนดดังนี้

ก. ที่แรงดันไฟฟ้า 3.6 / 6 (7.2) kV สายเคเบิลที่หุ้มฉนวนหุ้มด้วย EPR และ HEPR อาจมีหรือไม่มีส่วนกั้นโลหะโดยให้อ้างอิงความหนาตามตารางที่ 2.20

ข. ที่แรงดันไฟฟ้า 3.6 / 6 (7.2) kV สายเคเบิ้ลที่หุ้มฉนวนด้วยพีวีซีจะไม่มีส่วนกั้นโลหะ

2) ตัวกั้นตัวนำ (Conductor Screen) ตัวกั้นตัวนำต้องไม่ใช่โลหะและต้องประกอบด้วยสารประกอบกึ่งตัวนำ (Semi-conducting) ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบที่ใช้หุ้มตัวนำ เพื่อทำให้ผิวนอกของฉนวนเรียบสม่ำเสมอ และทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนสม่ำเสมอทุกทิศทาง

3) ตัวกั้นฉนวน (Insulation Screen) ตัวกั้นฉนวน ต้องไม่ใช่โลหะและต้องประกอบ ด้วยสารประกอบกึ่งตัวนำ (Semi-conducting) ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบที่ใช้หุ้มเพื่อทำให้ผิวนอกของฉนวนเรียบสม่ำเสมอ และทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างฉนวนกับตัวกั้นโลหะสม่ำเสมอทุกทิศทางและช่วยลดความเครียดสนามไฟฟ้า

จากหัวข้อที่ 2.1 (ขั้นตอนการผลิตสายไฟฟ้า) และหัวข้อที่ 2.2 (มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง) ข้อมูลดังกล่าวจะนำไปใช้อ้างอิงในการออกแบบโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า โดยอาศัยความรู้จากกระบวนการผลิตและมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากการออกแบบสายไฟฟ้าที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502 -2 จะมีขั้นตอนการออกแบบที่หลากหลาย ซึ่งสังเกตุจากข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ไม่ได้มีการระบุบังคับในทุกขั้นตอน มีแต่เพียงบางโครงสร้างที่มีความจำเป็นที่มีการกำหนด เช่น Screen ของสายไฟฟ้าที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-2 และความหนาขั้นต่ำได้ระบุไว้โดยจำแนกตามแรงดัน ประเภทของฉนวน ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายของโครงสร้าง โดยโครงสร้างที่อ้างอิงในบทนี้ มิใช่โครงสร้างทั้งหมดที่มีแต่เป็นโครงสร้างที่บริษัทที่ทำการศึกษาอยู่สามารถผลิตได้เท่านั้น

2.3 งานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 เทคนิคในการออกแบบโปรแกรม

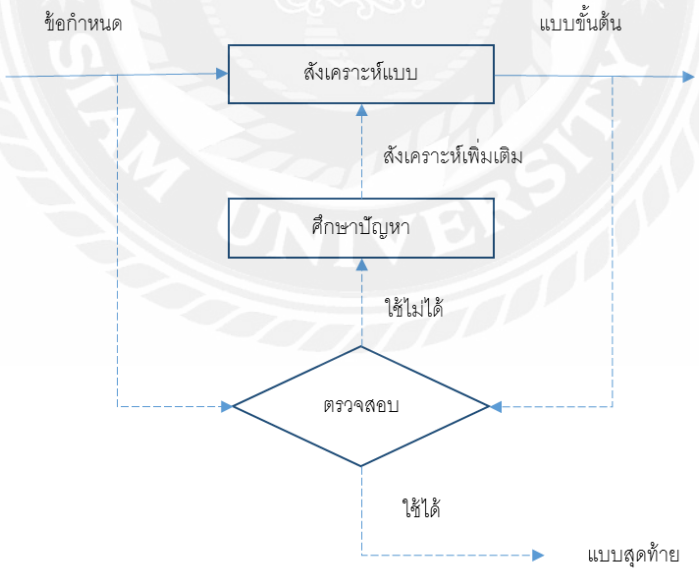
ดร.ครรชิต มาลัยวงศ์, วิชิต ปุณวัตช์ (2532) ได้กล่าวถึงการออกแบบโปรแกรมในทางวิศวกรรมไว้ว่า การเริ่มต้นในการออกแบบโปรแกรมขั้นต้น ในการทำเอกสารเกี่ยวกับการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในระหว่างการพัฒนาโปรแกรมนั้น จะต้องใช้เอกสารที่มีความรัดกุม กระชับ เพื่อให้ทุกคนสามารถเข้าใจตรงกันได้

ลักษณะของกระบวนการออกแบบ

ในการออกแบบโปรแกรม จำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ตลอดจนแรงบันดาลใจในการสร้างสรรค์ในขั้นต้นมาก่อน จะให้โปรแกรมไปในทิศทางใด เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้น โดยต้องใช้เทคนิคที่มีการยอมรับจากหน่วยงานนั้นๆ หรือสามารถใช้เทคนิคที่กว้างกว่านั้น โดยไม่นิยมออกแบบโปรแกรมโดยใช้เทคนิคเฉพาะตัวเพราะ อาจก่อให้เกิดความไม่เข้าใจของผู้อื่นและเกิดปัยหาตามมาทีหลังได้

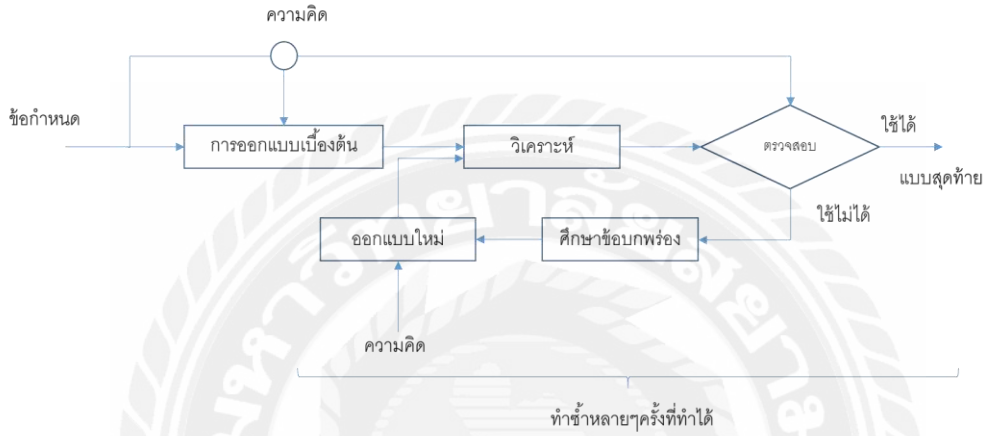
หลักการวิเคราะห์ สังเคราะห์ ลองผิดลองถูก

ในการออกแบบโปรแกรม เริ่มต้นจากข้อกำหนดหรือ Specification ซึ่งระบุว่า ต้องการให้โปรแกรมทำอะไรบ้าง และได้ผลอย่างไร และเมื่อทำการออกแบบโปรแกรมแล้วผลที่ได้จะต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในตอนแรกที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยกระบวนการที่นิยมใช้คือ การลองผิดลองถูกควบคู่กับการวิเคราะห์ ซึ่งต้องมีการพิจารณาย้อนกลับไปกลับมา เริ่มต้นโดยการพิจาณาข้อกำนด และทำการจำลองโครงสร้างแบบขั้นต้นขึ้นมาและทำการวิเคราะห์



รูปที่ 2.26 การออกแบบโปรแกรมโดยวิธีสังเคราะห์

ในกรณีส่วนใหญ่ในการคิดในการออกแบบโครงสร้างโปแกรมครั้งแรกอาจไม่ตรงกับข้อกำหนดในทุกๆ ข้อ ในการแก้ไขก็สามารถที่จะแก้ไขเพียงส่วนที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด จากนั้นก็เอาแบบที่คิดใหม่ไปทำการวิเคราะห์และตรวจสอบกับข้อกำหนดนั้นๆซ้ำอีก ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะตรงกับข้อกำหนดทุกข้อโดยเรียกกระบวนการนี้ว่า การออกแบบชนิด Iteration (Iteration Design) โดยมีขั้นตอนแสดงอยู่ในรูปที่ 2.27



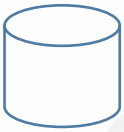
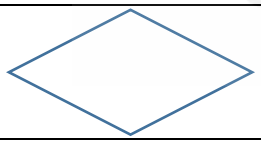
รูปที่ 2.27 การออกแบบชนิด Iteration

2.3.2 การเขียนผังงาน

ผศ.ศศลักษณ์ ทองขาว (2549) ได้อธิบายถึงการแสดงขั้นตอนการผังงาน (flowchart) เป็นขั้นตอนวิธีที่เขียนโดยใช้รูปสัญลักษณ์ มีเส้นเชื่อและหัวลูกศรบอกการทำงาน การเขียนอธิบายขั้นตอนของโปรแกรมโดยใช้ผังงาน ซึ่งการเขียนผังงานเป็นวิธีที่ทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายที่สุด เนื่องจากมีเส้นลากโยงและลูกศรอธิบายการทำงาน และสามารถตรวจสอบได้ง่าย โดยได้อธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนผังงานไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.21 สัญลักษณ์ผังงานและคำอธิบาย

สัญลักษณ์	ความหมาย
	แทนการเริ่มต้นหรือการหยุดชั่วขณะหรือการสิ้นสุดของขั้นตอนวิธี
	แทนการรับหรือแสดงข้อมูลโดยไม่ระบุชนิดของสื่อบันทึกข้อมูลที่ใช้

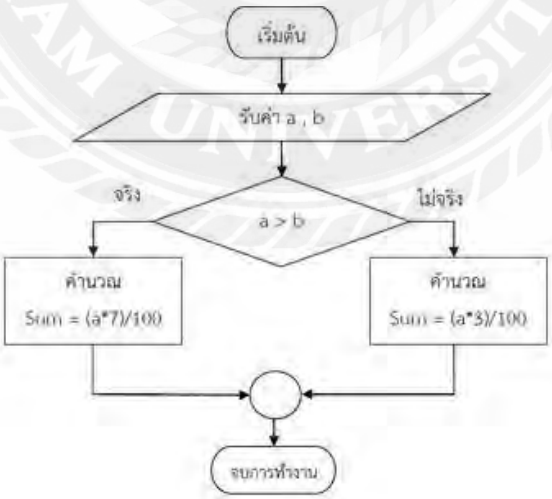
	แทนการับหรือแสดงข้อมูลทางบัตรเจาะรู
	แทนการรับหรือแสดงข้อมูลทางเทปกระดาษ
	แทนการรับหรือแสดงข้อมูลทางเทปแม่เหล็ก
	แทนการรับหรือแสดงข้อมูลทางจานแม่เหล็ก ชนิดแข็ง (Disk)
	แทนการรับข้อมูลทางแป้นพิมพ์
	แทนการแสดงข้อมูลทางเครื่องพิมพ์
	แทนการแสดงข้อมูลจอภาพ
	แทนการกำหนดค่ากรือการคำนวณค่า
	แทนการเปรียบเทียบตัดสินใจ
	แทนกลุ่มขั้นตอนวิธี (โปรแกรมย่อย)
	แทนจุดเชื่อมซึ่งอยู่ภายในหน้าเดียวกัน
	แทนจุดเชื่อมที่ไม่ได้อยู่ในหน้าเดียวกัน

	แทนเส้นทางการดำเนินงานตามปลายลูกศร

ผังงานเป็นการนำเสนอในรูปแบบของแผนภาพ ซึ่งประกอบด้วยสัญลักษณ์ตามตารางที่ 2.21 ซึ่งทำให้สามารถแสดงรายละเอียดได้ชัดเจนกว่าการอธิบายในลักษณะของคำพูด โดยผังงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) ผังงานระบบ (system flowchart) เป็นผังงานที่แสดงขั้นตอนการทำงานหลักๆในระบบมุ่งเน้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานหรือขั้นตอนต่างๆ ว่ามีกิจกรรมอะไรบ้างและเกี่ยวข้องกันอย่างไร แต่ไม่แสดงรายละเอียด

2) ผังโปรแกรม (program flowchart) เป็นการแสดงรายละเอียดของโปรแกรม แสดงขั้นตอนต่างๆอย่างละเอียด สามารถสื่อความหมายได้อย่างชัดเจน โดยผู้อ่านผังโปรแกรมแล้วจะสามารถเขียนโปรแกรมตามผังโปรแกรมได้ ซึ่งต้องมีรายละเอียดและมีเนื้อหาที่ยาว สามารถมีหลายหน้าได้



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างผังงาน

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประกิต ศรีพรหมมา (2544) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำฐานข้อมูลมาใช้ในการวางแผนงานตัดเหล็กเส้น โดยใช้การทำฐานข้อมูลโดยวิธี Structured System Analysis and Design (SSADM) เริ่มจากการศึกษาระบบงานเดิม นำมาทำการวิเคราะห์ รวบรวมปัญหา และขอบเขตของระบบการรวบรวมเอกสารและความสัมพันธ์ต่างๆ นำมาสร้างฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์แอกเซส 97 (Microsoft Access 97) ผลคือระบบฐานข้อมูลสามาถนำมาใช้คำนวณการวางแผนในการตัดเหล็กเส้นได้อย่างเหมาะสม ทำให้ลดจำนวนครั้งและเศษเหลือจากการตัดได้ และเสนอแนะให้มีการนำโปรแกรมที่มีความทันสมัยและง่ายต่อการใช้งานมาทำการพัฒนาต่อไป เช่น ไมโครซอฟท์วิชวลเบสิค (Microsoft Visual Basic) หรือ เดลไฟ (Delphi)

วรรษมา แสงปลั่ง (2545) ได้ศึกษาการวางแผนและควบคุมการผลิตแบบ ผสมผสานในโรงงานผลิตโซ่ เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนและจัดตารางการผลิต เพื่อปรับปรุงกระบวนการจัดตารางการผลิต โดยจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัด ตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบผสมผสาน (Hybrid Production) ที่ประกอบด้วยทั้งการผลิตแบบ ไม่ต่อเนื่อง (Job Shop) และแบบต่อเนื่อง (Flow Shop) ในส่วนของโปรแกรมการวางแผนการผลิต ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก การกำหนดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling) ซึ่งประกอบด้วยแผนการผลิต 2 แผน คือ แผนความต้องการประกอบและบรรจุ และแผนความต้องการชิ้นส่วน และส่วนที่สองเป็นแผนการ ผลิตย่อยรายวัน ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาจะนำวิธีการทางฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ ได้แก่ วิธี SPT, LPT, และ SLACK และแสดงผลการจัดลำดับงานออกมาในรูปแผนภูมิแกนต์ และวัดประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตโดยใช้ช่วงกว้างของการทางาน, เวลาการไหลของงาน ที่อยู่ในระบบเฉลี่ย, เวลางานล่าช้าเฉลี่ย และจานวนงานล่าช้าทั้งหมด และเปรียบเทียบผลกับการผลิตวิธีการเดิม เพื่อหาวิธีที่ให้ผลที่เหมาะสม ผลของการวิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโรงงานผลิตโซ่รถจักรยานยนต์ พบว่า วิธีการที่ให้ผลที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธี SPT และจากการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ดีที่สุดกับวิธีแบบเดิม พบว่า วิธีการจัดตารางการผลิตแบบ SPT (Shortest Processing Time) ช่วยให้ช่วงกว้างของการทำงาน, เวลางานอยู่ในระบบ เฉลี่ย, เวลางานล่าช้าเฉลี่ย และจำนวนงานล่าช้าทั้งหมดลดลง 4.45 %, 30.56 %, 50.39 % และ 55 % ตามลำดับ

ประจวบ กล่อมจิตร, ณชรพงศ์ บุญทา และกตัญชลี ธรรมสุนทร (2008) ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรม ระบบการวางแผนการผลิตในธุรกิจ SMEs กรณีศึกษาโรงงานทำแกนกระดาษ ซึ่งผลที่ได้สามารถลดขั้นตอนการดำนินงานรวมจาก 126 ขั้นตอน เหลือเพียง 104 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 17.46 และสามารถลดเวลาการใช้งานรวมจาก 40 นาที 25 วินาที เหลือเพียง 15 นาที 24 วินาที คิดเป็นร้อยละ 37.29 และจากการวิเคราะห์ความแตกต่างด้านเวลาก่อนและหลังใช้โปรแกรมเชิงสถิติ (T-Test) พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์อีกทั้งจากการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของโปรแกรมการวางแผนการผลิตและระบบการขายแบบออนไลน์นั้นพบว่าระดับความพึงพอใจของผู้ใช้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 4.28 คะแนน จาก 5 คะแนน

จากข้อมูลในการศึกษาข้อมูลของกระบวนการผลิต มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง และการศึกษาที่เกี่ยวข้องแล้วนั้น จะสามารถนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาทำการพัฒนาโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตได้ เนื่องจากองค์ความรู้เหล่านี้จะมีส่วนช่วยในการออกแบบเงื่อนไขโปรแกรม และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การออกแบบการผลิตโดยการใช้โปรแกรมเป็นตัวช่วยที่ดีที่ทำให้ลดความผิดพลาดในการผลิต และเป็นส่วนช่วยให้การทำงานนั้นง่ายขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการกำหนดขั้นตอนในการพัฒนารูปแบบโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และIEC 60501-2 จากนี้จะเรียกโปรแกรมนี้ว่า “Pro_Design” โปรแกรมนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากการประเมินความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสายไฟฟ้าและสูตรทางการออกแบบ นำมารวบรวมและออกแบบเป็นเงื่อนไขโปรแกรม ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการศึกษาเครื่องจักรและเงื่อนไขการผลิตภายในบริษัทเป็นอย่างดี เนื่องจากผลกระทบจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการออกแบบซึ่งอยู่นอกเหนือสูตรคำนวณและจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ ประสิทธิภาพในการออกแบบมาตรฐานการผลิตในปัจจุบันจึงมีข้อบกพร่องปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถรวบรวมเงื่อนไขที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดไว้ โดยให้มีการเลือกเงื่อนไขแบบอัตโนมัติ มุ่งเน้นให้เกิดความคล่องตัวในการทำงาน ลดความผิดพลาด และเพิ่มศักยภาพในการออกแบบ

ปัจจุบันข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า ในบริษัทที่ทำการศึกษานั้นจะอยู่ในรูปแบบของเอกสารมาตรฐานภายในและบางส่วนอยู่ในรูปของประสบการณ์ซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปแบบเอกสาร เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยน/แก้ไข เครื่องจักรและเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบบ่อยครั้งทำให้ข้อมูลจำนวนมากไม่ได้รับการอัพเดท จึงต้องทำเหมืองข้อมูล (Data mining)โดยนำข้อมูลของมาตรฐานการออกแบบภายในมารวบรวมจัดหมวดหมู่ และเรียบเรียงเพื่อให้อยู่ในรูปแบบเอกสารที่เข้าใจง่ายเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมต่อไป โดยดำเนินงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การศึกษาโครงสร้างของสายไฟฟ้า
- ทบทวนสูตรการออกแบบภายในบริษัท
- ออกแบบโครงสร้างโปรแกรม
- กำหนดเงื่อนไขการคำนวณ
- ทดสอบความถูกต้อง
- การสรุปผล

ในการพัฒนาโปรแกรม Pro_Design ตามขั้นตอนที่กล่าวมาจะใช้ระยะเวลาตามตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมเนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานนาน

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

หัวข้อ	การดำเนินงานวิจัย	สัปดาห์																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	การศึกษาโครงสร้างของสายไฟฟ้า	→	→	→																	
2	ทบทวนสูตรการออกแบบภายในบริษัท				→	→															
3	ออกแบบโครงสร้างโปรแกรม						→	→	→	→											
4	กำหนดเงื่อนไขการคำนวณ									→	→	→	→	→	→	→					
5	ทดสอบความถูกต้อง																→	→	→		
6	การสรุปผล																			→	→

3.1 โครงสร้างของสายไฟฟ้า

จากการรวบรวมข้อมูลโครงสร้างของสายไฟฟ้าที่สามารถทำการผลิตได้ ภายในบริษัทที่ทำการศึกษานั้น โดยพิจารณาโครงสร้างที่ความสามารถของเครื่องจักรสามารถทำการผลิตได้ในปัจจุบัน จะสามารถสรุปได้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของสายไฟที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2

Process	**IEC 60502-1**	**IEC 60502-2**
Conductor	Concentric (strand) Compressed Flexible	Concentric (strand) Compressed
Tape on conductor	Mica tape P.S. tape	P.S. tape Semi-conductive nylon tape
Conductor screen	-	XLPE
Insulation	XLPE, PVC	XLPE
Insulation screen	-	XLPE
Metallic screen	Copper wire screen Copper tape	Copper wire screen Copper tape
Filler	P.P. Calcium	P.P. Calcium

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของสายไฟที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 (ต่อ)

Process	IEC 60502-1	IEC 60502-2
Binder tape and Separator tape	Spunbond tape P.S. tape	Spunbond tape P.S. tape
Inner sheath	PVC, PE	PVC, PE
Armour	Aluminium wire Steel wire Steel tape Brass tape	Aluminium wire Steel wire Steel tape Brass tape
Outer sheath	PVC, PE	PVC, PE
Special Tape	Water blocking Tape Flame Retardant Tape	Water blocking Tape Flame Retardant Tape

จากตารางที่ 3.1 ทำให้ทราบถึงขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ซึ่งจะทำการศึกษาต่อในส่วนของเงื่อนไขในการผลิต เพื่อนำไปออกแบบเงื่อนไขของโปรแกรม Pro_Design โดยจะต้องทำการประชุมเพื่อรวบรวมข้อมูลจากฝ่ายที่เกี่ยวข้องต่อไป เนื่องจากปัจจุบันปัญหาการออกแบบมาตรฐานการผลิตมาจาก เงื่อนไขในการผลิตเปลี่ยนไปจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรของฝ่าย Production และการลดต้นทุนการผลิตของแผนก R&D จึงต้องทำการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขและกำหนดสูตรในการผลิตอย่างละเอียดต่อไป

3.2 ทบทวนสูตรคำนวณภายในบริษัท

ในการทบทวนสูตรคำนวณภายในบริษัทนั้น ทางผู้วิจัยจะทำการรวบรวมสูตรการคำนวณภายในบริษัทและหาจุดบกพร่องของสูตรคำนวณเพื่อทำการแก้ไขก่อนจะนำมาจัดทำเป็นสูตรคำนวณของโปรแกรม Pro_Design เนื่องจากการสำรวจพบว่าสูตคำนวณภายในบริษัทที่ทำการศึกษามีจุดบกพร่องและบางสูตรไม่สามารถใช้งานได้จริง จึงทำให้ผู้วิจัยต้องหาวิธีการรองรับว่าจะต้องทำอย่างไรให้สามารถนำสูตรคำนวณในการออกแบบมาตรฐานการผลิตมาใช้งานได้อย่าง

ถูกต้องมากที่สุด โดยจะต้องไม่เกิดความซับซ้อนของสูตรมากจนเกินไป ซึ่งสูตรคำนวณจะถูกแบ่งกลุ่มออกเป็น

1. ตัวนำ (conductor)
2. เทปบนตัวนำ (tape on conductor)
3. ตัวกั้นตัวนำ (conductor screen)
4. ฉนวน (insulation)
5. ตัวกั้นฉนวน (Insulation screen)
6. ชั้นโลหะ (Metallic screen)
7. ส่วนแทรกร่อง (Filler)
8. การตีเกลียวแกน (core straning)
9. เทป (tape)
10. ชั้นโลหะ (Metallic screen)
11. เปลือกชั้นในและเปลือกชั้นนอก (Inner and outer sheath)
12. เกราะ (Armour)

จากสูตรคำนวณทั้ง 12 หัวข้อ ทางผู้วิจัยจะดำเนินการรวบรวมเอกสารและทำการแก้ไข รวมถึงสร้างวิธีการที่ง่ายที่สุดในการคำนวณเพื่อลดความซับซ้อน โดยจะต้องรองรับความเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ เนื่องจากสูตรคำนวณสามารถปรับเปลี่ยนไปตามการลดต้นทุนการผลิต (Cose reduction) ภายในบริษัทได้

3.3 การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรม

ในการกำหนดรูปแบบโครงสร้างของโปรแกรม Pro_Design ทางผู้วิจัยได้ทำการนัดประชุมกับทางแผนกออกแบบสายไฟฟ้าเพื่อหาแนวทางในการออกแบบลักษณะของโปรแกรมเพื่อให้ใช้ง่ายและสะดวกที่สุด เริ่มต้นการสำรวจถึงปัญหาเดิมของการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า จากอดีตที่ผ่านมาการออกแบบมาตรฐานการผลิตจะใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการออกแบบ ซึ่งเป็นอุปสรรคในการทำงานของผู้ออกแบบที่จะต้องทำการแก้ไขช่องและสูตรคำนวณเอง เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างสายไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการแก้ไขดังกล่าว การหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาความผิดพลาดจากการแก้ไขสูตรคำนวณใน

การออกแบบมาตรฐานการผลิตแบบเดิมนั้น ทางผู้วิจัยเสนอความคิดต่อที่ประชุมว่า จะพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า โดยให้การคำนวณเป็นไปตามสูตร Excel แต่มีการเลือกเงื่อนไขแบบอัตโนมัติ และสามารถเพิ่ม/ลด ขั้นตอนการผลิตได้ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

		DEVIATION
PARAGRAPH 66	FD-0.6/1KV-CCV	
REF. STANDARD	IEC 60502-1 : 2004	* PE = Protection Earth
CUSTOMER	PJS-550-11-2013 , THAI OLEOCHEMICALS	

Conductor : Annealed Copper
*TYS 3104 P.1 : AC-A (Strand)
TYS 3104 P.4 : AC-D (Strand)

Insulation : XLPE 101B(A)+101B(B) (SIOPLAS) (S=0.923 g/cm³)
อัตราส่วนผสมของ 101B(A)+101B(B) คือ 95 : 5 โดยน้ำหนัก
Color 2C+PE : L , Br + G/Y(PE)
3C+PE : Br, B, Gy + G/Y(PE)

Core stranding :
Direction : S
Filler : P.P. (Calcium)

Spun bond tape : 1/5 Lap
Direction : Z
Thick. 0.23 mm. C = 0.25

Size	Conductor (mm.)			Insulation (mm.)						Core stranding (mm.)								Spun bond tape (mm.)					
	Consist	Pitch +2% -8%	Dia.	Thickness			Diameter			Center	Inner		Outer		Pitch +5% -5%	Diameter			Width	Lap	Diameter		
No.x mm²	No./mm.			Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.	#XS	#XS	Pos.	#XS	Pos.		Min.	Std.	Max.			Min.	Std.	Max.
2 x 4/4	7 / 0.85	38	2.55	0.7	0.725	0.8	4.0	4.0	4.2	-	-	-	3	3	158	8.8	8.8	9.2	32	6.4	9.3	9.3	9.7
PE	7 / 0.85	38	2.55	0.7	0.725	0.8	4.0	4.0	4.2														
2 x 6/6	* 7 / 1.04	46	3.12	0.7	0.725	0.8	4.6	4.6	4.8	-	-	-	4	3	181	10.1	10.1	10.5	32	6.4	10.6	10.6	11.0
PE	* 7 / 1.04	46	3.12	0.7	0.725	0.8	4.6	4.6	4.8														
3 x 1.5/1.5	7 / 0.53	23	1.59	0.7	0.725	0.8	3.0	3.1	3.2	1	-	-	1	4	136	7.4	7.6	7.8	25	5.0	7.9	8.1	8.3
PE	7 / 0.53	23	1.59	0.7	0.725	0.8	3.0	3.1	3.2														
3 x 2.5/2.5	7 / 0.67	30	2.01	0.7	0.725	0.8	3.5	3.5	3.7	1	-	-	2	4	154	8.6	8.6	9.1	32	6.4	9.1	9.1	9.6
PE	7 / 0.67	30	2.01	0.7	0.725	0.8	3.5	3.5	3.7														

TYS 3131/213 P.66	Description	Rev.	Date	Approver	Checker	Writer
Sheet No. 1/8	FD-0.6/1KV-CCV	1	23/1/2017			

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างมาตรฐานการผลิต

จากข้อสรุปที่กล่าวมา จึงได้แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม Pro_Design โดยให้ออกแบบขั้นตอนการผลิตให้แยกออกเป็นส่วนๆ ให้สามารถเพิ่มหรือลดขั้นตอนการผลิตได้ มุมมองเหมือนการวางซ้อนกัน(Strack)โดยให้มีการรับข้อมูลโปรแกรมเป็นชื่อ Process และ เส้นผ่านศูนย์กลาง เพื่อนำไปคำนวณในขั้นตอนต่อไป โดยมุมมองของการออกแบบสายไฟฟ้าจะมีลักษณะเหมือนท่อที่มีการหุ้มต่อเป็นชั้นๆ ซึ่งตัวแปรหลักของการคำนวณในขั้นต่อๆไปคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งจะเป็นทั้งข้อมูลขาเข้า (Input) และข้อมูลขาออก (Output) เพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป ส่วนชื่อ Process นั้นจะทำให้การกำหนดเงื่อนไขพิเศษต่างๆง่ายขึ้น สายไฟฟ้าทุกชนิดจะมีการเริ่มต้น Process เหมือนกันคือ Process ที่ 1 จะต้องเป็นตัวนำเสมอ

รูปแบบของโปรแกรมที่มีข้อบังคับที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC 60502-1, IEC 60502-2 ไว้นั้นจะต้องมี Function ในการเลือกมาตรฐานอ้างอิงเนื่องจากมาตรฐานทั้ง 2 มีค่ากำหนดบางส่วนที่แตกต่างกัน เช่น ความหนาของฉนวนและเปลือก และยังต้องคำนึงถึงการเพิ่มวัสดุชนิดใหม่ๆ เช่น

เทปต่างๆ หรือ วัตถุดิบของฉนวนและเปลือก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่มีการลดต้นทุนการผลิต หรือ ความต้องการของลูกค้า

3.4 การกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ

เนื่องจากปกติการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้ Microsoft Excel นั้นจะเป็นการคำนวณที่มีเงื่อนไขเฉพาะสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆ แต่ในการพัฒนาโปรแกรม Pro_Design เงื่อนไขการคำนวณจะต้องปรับเปลี่ยนไปตามโครงสร้างแบบอัตโนมัติ ซึ่งทางผู้วิจัยจะทำการศึกษาเงื่อไขในการผลิตต่อไป เพื่อนำมาเขียนเป็นเงื่อนไขโปรแกรมโดยใช้ผังโปรแกรม (Program flowchart) เพื่อที่จะทำการสื่อสารกับโปรแกรมเมอร์ในการพัฒนาโปรแกรมในลำดับต่อไป

3.5 การทบทวนความถูกต้อง

การทบทวนความถูกต้องของโปรแกรมเมื่อดำเนินการพัฒนาสำเร็จแล้วนั้น จะต้องมาทำการเปรียบเทียบค่าคำนวณในส่วนต่างๆกับการออกแบบมาตรฐานการผลิตแบบเดิม โดยให้ค่าความผิดพลาดของการคำนวณ (Error) มีค่าเป็น 0 เนื่องจากการคำนวณมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าไม่สามารถยอมให้เกิดความผิดพลาดได้ เพราะมีการนำไปใช้ในส่วนของการคิดราคา และการผลิต ซึ่งถ้าเกิดความผิดพลาด จะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตของบริษัทได้ ฉะนั้นผลสรุปของความถูกต้องจะต้องไม่พบความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้ Microsoft Excel

3.6 การสรุปผล

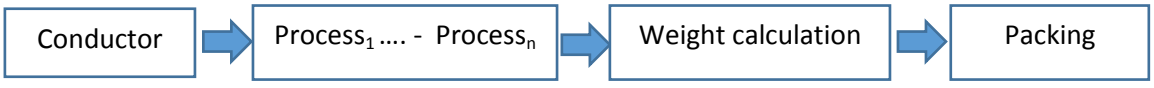
การสรุปผลของการนำโปรแกรม Pro_Design มาใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิต จะทำการเปรียบเทียบในส่วนของความสามารถ ความสะดวก และความรวดเร็วของโปรแกรม เนื่องจากความสำเร็จของการพัฒนาโปรแกรม Pro_Design นั้นจะขึ้นอยู่กับการที่พนักงานแผนกออกแบบสายไฟฟ้าภายในบริษัทที่ศึกษา สามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และลดความผิดพลาดของการออกแบบจากเดิม 7-10% ให้หมดไป

บทที่ 4
การออกแบบโครงสร้างโปรแกรม

ในบทนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมากำหนดเป็นเงื่อนไขของโปรแกรม Pro_Design โดยการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวนั้น จะต้องทำการรวบรวมข้อมูลจากส่วนงานอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง และรวบรวมความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสายไฟฟ้า เนื่องจากโปรแกรม Pro_Design นั้นเป็นโปรแกรมที่ออกแบบตามความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสายไฟฟ้าของบริษัทที่ทำการศึกษาเท่านั้น โดยนำมาประยุกต์กับเงื่อนไขของมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงการผลิตคือ IEC 60502-1, IEC 60502-2 เพื่อให้โปรแกรมนี้สามารถออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในการออกแบบโปรแกรม Pro_Design นั้นจะเริ่มดำเนินการโดยเริ่มต้นจาก

4.1 รูปแบบโปรแกรม

จากการศึกษาการออกแบบมาตรฐานการผลิตเดิม โดยใช้โปรแกรม MS EXCEL พบว่ารูปแบบของ Process ต่างๆจะมีการแบ่งแยกจากกัน และคำนวณโดยการรับ Input ซึ่งก็คือ Diameter ของ Process ก่อนหน้ามาทำการคำนวณต่อไปเรื่อยๆ จนครบขั้นตอนการผลิตของสายชนิดนั้นๆ โดยรูปแบบการคำนวณโครงสร้างสายไฟฟ้าจะเหมือนกับการวางซ้อนเป็นชั้นๆ (Strack) โดยเริ่มต้นจากขั้นตอนของตัวนำ (Conductor) เมื่อทำการคำนวณโครงสร้างแล้ว จากนั้นจะทำการคำนวณน้ำหนักและการขนาดการบรรจุ ซึ่งสายไฟฟ้าจะเป็นการบรรจุใส่ ล้อไม้ (Drum) ตามความยาวต่างๆ เป็นอันเสร็จกระบวนการออกแบบ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานโดยรวมได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 การแสดงรูปแบบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

THAI YAZAKI CODE		DEVIATION
PARAGRAPH 333	0.6/1KV-IV(1900)	
REF. STANDARD	IEC 60502-1 : 2004	
CUSTOMER	PJS-739-08-2016 , SIEMENS	

Conductor : Annealed Copper
*TYS 3105 P.1 : AB-A (Flexible)
TYS 3105 P.2 : AR-A (Rope-Lay)

Insulation : PVC C 3903 (S=1.37 g/cm³)
Color : Any Color
Marking :

15 Times

Size	Conductor (mm.)			Insulation (mm.)						Calculared weight (g/m)			Packing (m)	
	Consist	Pitch +2% -8%	Dia.	Thickness			Diameter			Cond.	Insu.	Total	Std.	Drum
mm²	No./mm.			Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.				Length	No.
1.5	* 30 / 0.25	48	1.6	0.8	0.85	0.95	3.2	3.3	3.5	13.4	9.0	22.4	500	3-1
300	61 x 25 / 0.50	B=87 R=315	24.30	2.4	2.50	2.70	29.1	29.3	29.7	2780.9	326.5	3107.4	500	9-3

TYS 3131/009 P.333	Description	Rev.	Date	Approver	Checker	Writer
Sheet No. 1/1	0.6/1KV-IV(1900)	1	22/7/2017			

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างมาตรฐานการผลิตที่จัดทำโดยโปรแกรม MS EXCEL

จากรูปแบบของเอกสารดังกล่าวส่งผลให้การออกแบบโปรแกรมนั้น ในส่วนของขั้นตอนต่างๆจะต้องสามารถเพิ่มหรือลดได้ เนื่องจากโครงสร้างของสายไฟฟ้านั้นมีองค์ประกอบที่จำเป็นต้องมีในสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนทุกชนิดคือ ตัวนำไฟฟ้าและฉนวน แต่องค์ประกอบอื่นๆนั้นสามารถเพิ่มเติมได้ตามมาตรฐานหรือตามที่มีการร้องขอจากลูกค้าโดยโครงสร้างของสายไฟฟ้าอ้างอิงจากโครงสร้างตามมาตรฐานIEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลเฉพาะขั้นตอน/วัตถุดิบที่มีการผลิตภายในโรงงานที่ทำการศึกษาเท่านั้น ซึ่งจะมีโครงสร้างหลักดังนี้

1. ตัวนำ (Conductor)
2. ฉนวน (Insulation)
3. การตีเกลียวแกน (Core stranding)
4. การพันเทป (Taping)
5. เปลือก (Sheath)
6. สายเกราะตีเกลียว (Armor wire)
7. ตัวนำกระจาย (Concentric Conducter & Cu. Wire Screen)
8. ตัวกันตัวนำและฉนวน (Conductor & Insualtion Screen)

เมื่อได้ทำการรวบรวมโครงสร้างทั้งหมดที่มีการผลิตแล้ว ก็จะทำการกำหนดรูปแบบการคำนวณของในแต่ละโครงสร้างโดยอ้างอิงจากมาตรฐานการคำนวณเดิมที่ใช้ภายในบริษัทที่ทำการศึกษา และกำหนดรูปแบบในส่วนของตารางที่ใช้ในการแก้ไขข้อมูลของเงื่อนไขโครงสร้างหรือวัตถุดิบเพื่อให้โปรแกรม Pro_Design สามารถรองรับเงื่อนไขการคำนวณใหม่ๆ และการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสายไฟฟ้าในอนาคต

4.2 รูปแบบการคำนวณ

ในการออกแบบการคำนวณของโปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

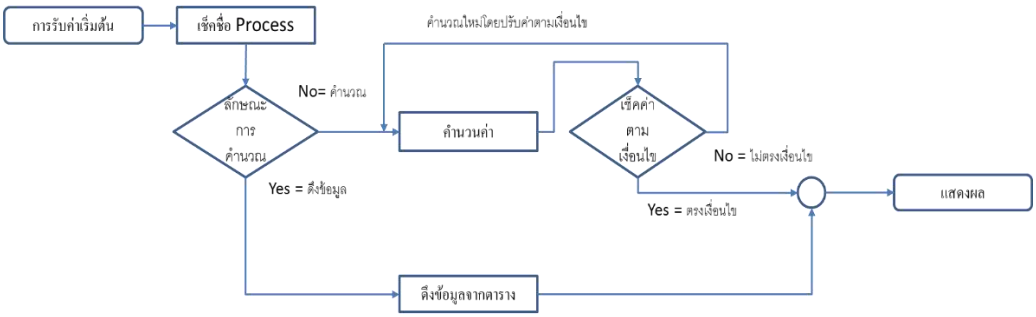
4.2.1 การคำนวณโดยการดึงข้อมูล

การคำนวณโดยดึงข้อมูลหมายถึง การกำหนดตารางข้อมูลของขั้นตอนๆ โดยเมื่อทำการเลือก Process จะทำการเช็คเงื่อนไขกับตารางข้อมูลเพื่อทำการดึงข้อมูลโดยไม่ต้องผ่านสูตรคำนวณ เช่น ตัวนำ, ความหนาของฉนวน, ความหนาเทป เป็นต้น เนื่องจากส่วนดังกล่าวเป็นข้อกำหนดของมาตรฐาน หรือ สเป็ควัตถุดิบจึงสามารถใช้ค่าจากตารางได้เลยไม่ต้องคำนวณแต่ใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเท่านั้น

4.2.2 การคำนวณโดยสูตร

การคำนวณโดยใช้สูตรจะเป็นการกำหนดสูตรของโปรแกรมใน Process ต่างๆ โดยอาจจะมีการดึงข้อมูลจาก Data ในส่วนที่อยู่ในตารางบางส่วนไปคำนวณและแสดงค่า เช่น การคำนวณน้ำหนักของวัตถุดิบ ที่ต้องมีการดึงค่าที่อาจมาจากค่าคงที่ต่างๆ หรือ ค่า Density ของวัตถุดิบนั้นมาทำการคำนวณก่อนแสดงผล หรือการคำนวณเพื่อหาจำนวน/ปริมาตร โดยใช้หลักการทางเรขาคณิต

<u>ลักษณะการคำนวณ</u>



รูปที่ 4.3 รูปแบบการคำนวณ

ลักษณะของการคำนวณตามรูปที่ 4.3 จะเป็นการอธิบายขั้นตอนของการคำนวณทั้ง 2 รูปแบบคือ การคำนวณค่าโดยดึงข้อมูลและการคำนวณโดยการใช้สูตรคำนวณ โปรแกรม Pro_Design จะใช้หลักการคำนวณทั้ง 2 แบบผสมกันกล่าวคือในการคำนวณในแต่ละ Process จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การคำนวณความหนา (Thickness)หรือจำนวนเส้น (No. of Wire) โดยวัสดุที่นำมาห่อหุ้มจะมีทั้งแบบที่เป็นแผ่นเช่น เทป หรือการหุ้มด้วยวัสดุต่างๆ และการใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นตีเกลียวรอบด้านนอก เช่น Armour, Copper wire- screen และ Filler เป็นต้น ส่วนถัดไปคือการคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (Outside Diameter) จึงจะเป็นอันเสร็จการคำนวณในหนึ่งขั้นตอนการผลิต ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะการคำนวณได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการคำนวณของขั้นตอนการคำนวณ

ลำดับ	ชื่อ Process	การคำนวณความหนา/จำนวนเส้น (Thickness/No.of wire)	การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลาง (Outside Diameter)	หมายเหตุ
1	Conductor	ดึงข้อมูล	ดึงข้อมูล	
2	Insulation	ดึงข้อมูล	คำนวณโดยสูตร	
3	Core stranding (Filler)	คำนวณโดยสูตร / ดึงข้อมูล	คำนวณโดยสูตร	
4	Tape	ดึงข้อมูล	คำนวณโดยสูตร	
5	Armour	คำนวณโดยสูตร	คำนวณโดยสูตร	มีการเช็คเงื่อนไขพิเศษ[1]
6	Wire screen	คำนวณโดยสูตร	คำนวณโดยสูตร	มีการเช็คเงื่อนไขพิเศษ[1]
7	Metallic screen	ดึงข้อมูล	คำนวณโดยสูตร	
8	Binder tape Seperator tape	ดึงข้อมูล	คำนวณโดยสูตร	มีการเช็คเงื่อนไขพิเศษ[1]
9	Inner sheath	คำนวณโดยสูตร	คำนวณโดยสูตร	
10	Outer sheath	คำนวณโดยสูตร	คำนวณโดยสูตร	
11	Special tape	ดึงข้อมูล	คำนวณโดยสูตร	มีการเช็คเงื่อนไขพิเศษ[1]

[1]การคำนวณที่มีการเช็คเงื่อนไขพิเศษนั้น เนื่องจากในการผลิตพบปัญหาที่มาจากการคำนวณโดยสูตรแล้วเครื่องจักรไม่สามารถผลิตได้ตามที่คำนวณเนื่องจากความสามารถของเครื่องจักรภายในบริษัทที่ทำการศึกษาไม่สามารถทำได้ในบางเงื่อนไข ซึ่งได้ตั้งค่าสูงสุดของProcess ที่มีปัญหาไว้และให้โปรแกรมทำการ Check เงื่อนไขและคำนวณใหม่โดยการปรับลดให้สอดคล้องกับการผลิตภายในบริษัทแห่งนี้

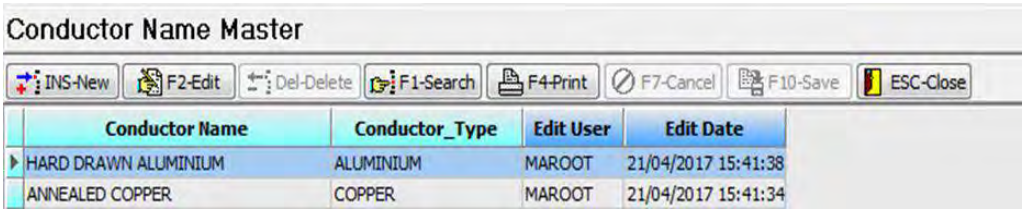
4.3 โครงสร้างและการคำนวณ

ต่อไปจะเป็นการอธิบายการคำนวณในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งได้ทำการรวบรวมสูตรและเงื่อนไขที่มาจากเครื่องจักรภายในบริษัทที่ทำการศึกษา โดยการอธิบายการคำนวณนั้นจะแยกกันในแต่ละโครงสร้าง และออกแบบในส่วนของรูปแบบหน้าต่างในการ Input ข้อมูลของโครงสร้าง/วัตถุดิบเพื่อให้โปรแกรมสามารถแก้ไขข้อมูลได้ เนื่องจากในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนวัตถุดิบหรือเงื่อนไขการคำนวณ

4.3.1 ตัวนำ (Conductor)

โครงสร้างตัวนำที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิต จะกำหนดให้โปรแกรมทำการดึงข้อมูลจากตารางที่กำหนดเนื่องจากตัวนำที่ใช้จะต้องใช้โครงสร้างที่ผ่านการทดลองแล้วเท่านั้น โดยได้กำหนดตารางออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1) ประเภทของตัวนำ ได้แก่ ตัวนำทองแดงและตัวนำอลูมิเนียม จะทำการกำหนดในรูปแบบของชนิดตัวนำเพื่อใช้ปีนหัวข้อหลักในการดึงรหัสตัวนำ เนื่องจากในบริษัทแห่งนี้จะมีรหัสตัวนำหลากหลายโดยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวนำ การเลือกชนิดของตัวนำเป็นการกรองข้อมูลให้น้อยลง ง่ายต่อการใช้งาน โดยได้กำหนดเป็นตารางดังรูปที่ 4.4

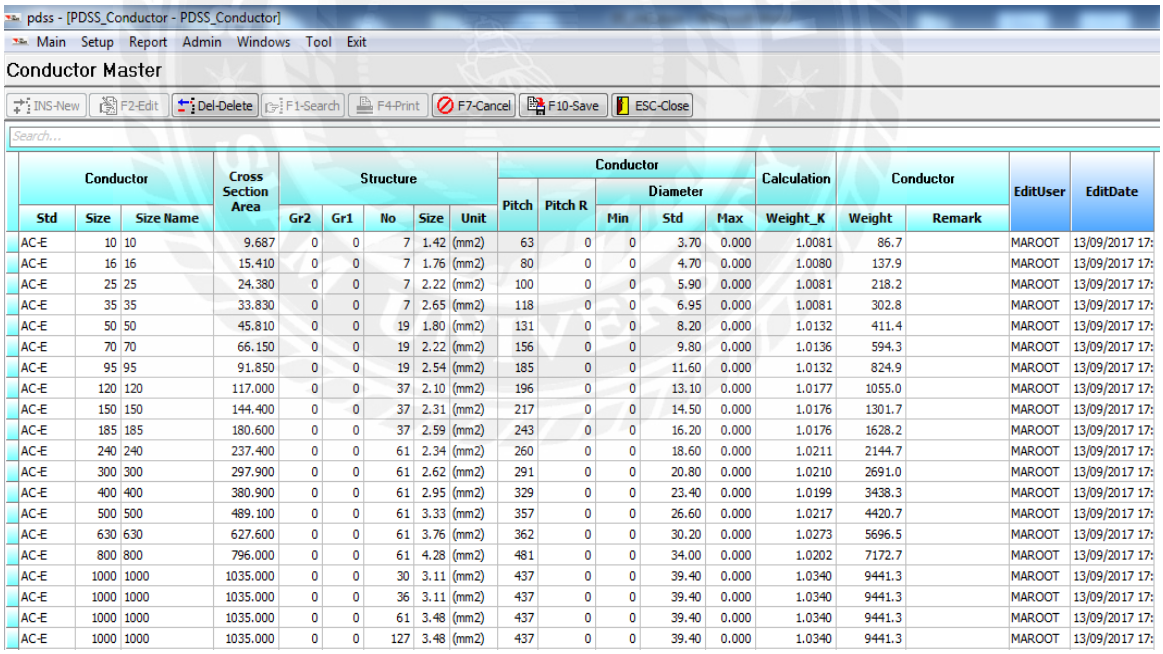


รูปที่ 4.4 หน้าต่างข้อมูลตัวนำ (Conductor Name Master)

2) ขนาดตัวนำและโครงสร้าง ส่วนดังกล่าวจะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของตาราง ซึ่งมีการระบุรายละเอียดดังนี้

- รหัสตัวนำ
- ขนาดตัวนำ
- พื้นที่หน้าตัด
- โครงสร้าง เช่น จำนวนเส้น, ความโตของตัวนำแต่ละเส้น, อัตราส่วนการตีเกลียว
- น้ำหนักและค่าตัวคูณการเพิ่มน้ำหนัก(กรณีตัวนำตีเกลียวอัดแน่น)

เมื่อทำการเลือกชนิด และ รหัส, หมายเลขมาตรฐานการผลิตและประเภทของตัวนำ ซึ่งได้สร้างหน้าต่างสำหรับให้โปรแกรมจะทำการดึงข้อมูลโครงสร้างตัวนำจากตารางโดยได้ทำการ Input ค่าชนิดของตัวนำและโครงสร้างซึ่งสามารถแก้ไขได้เมื่อมีการปรับโครงสร้างในอนาคตดังในรูปที่ 4.5



Conductor			Cross Section Area	Structure					Conductor					Calculation	Conductor		EditUser	EditDate
									Pitch	Pitch R	Diameter							
Std	Size	Size Name		Gr2	Gr1	No	Size	Unit			Min	Std	Max	Weight_K	Weight	Remark		
AC-E	10	10	9.687	0	0	7	1.42	(mm2)	63	0	0	3.70	0.000	1.0081	86.7		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	16	16	15.410	0	0	7	1.76	(mm2)	80	0	0	4.70	0.000	1.0080	137.9		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	25	25	24.380	0	0	7	2.22	(mm2)	100	0	0	5.90	0.000	1.0081	218.2		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	35	35	33.830	0	0	7	2.65	(mm2)	118	0	0	6.95	0.000	1.0081	302.8		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	50	50	45.810	0	0	19	1.80	(mm2)	131	0	0	8.20	0.000	1.0132	411.4		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	70	70	66.150	0	0	19	2.22	(mm2)	156	0	0	9.80	0.000	1.0136	594.3		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	95	95	91.850	0	0	19	2.54	(mm2)	185	0	0	11.60	0.000	1.0132	824.9		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	120	120	117.000	0	0	37	2.10	(mm2)	196	0	0	13.10	0.000	1.0177	1055.0		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	150	150	144.400	0	0	37	2.31	(mm2)	217	0	0	14.50	0.000	1.0176	1301.7		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	185	185	180.600	0	0	37	2.59	(mm2)	243	0	0	16.20	0.000	1.0176	1628.2		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	240	240	237.400	0	0	61	2.34	(mm2)	260	0	0	18.60	0.000	1.0211	2144.7		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	300	300	297.900	0	0	61	2.62	(mm2)	291	0	0	20.80	0.000	1.0210	2691.0		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	400	400	380.900	0	0	61	2.95	(mm2)	329	0	0	23.40	0.000	1.0199	3438.3		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	500	500	489.100	0	0	61	3.33	(mm2)	357	0	0	26.60	0.000	1.0217	4420.7		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	630	630	627.600	0	0	61	3.76	(mm2)	362	0	0	30.20	0.000	1.0273	5696.5		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	800	800	796.000	0	0	61	4.28	(mm2)	481	0	0	34.00	0.000	1.0202	7172.7		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	1000	1000	1035.000	0	0	30	3.11	(mm2)	437	0	0	39.40	0.000	1.0340	9441.3		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	1000	1000	1035.000	0	0	36	3.11	(mm2)	437	0	0	39.40	0.000	1.0340	9441.3		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	1000	1000	1035.000	0	0	61	3.48	(mm2)	437	0	0	39.40	0.000	1.0340	9441.3		MAROOT	13/09/2017 17:
AC-E	1000	1000	1035.000	0	0	127	3.48	(mm2)	437	0	0	39.40	0.000	1.0340	9441.3		MAROOT	13/09/2017 17:

รูปที่ 4.5 หน้าต่างข้อมูลรายละเอียดของโครงสร้างตัวนำ

การคำนวณน้ำหนักตัวนำ จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

ก) ตัวนำเส้นเดี่ยว (soild Conductor)

$$W_{con} = \left(\frac{S_{con} \times \pi \times d_{con}^{\ 2}}{4} \right) = K \times d_{con}^{\ 2} \qquad (4.1)$$

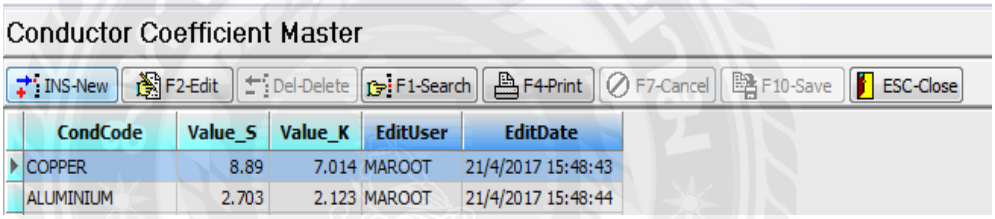
ในที่นี้

W_{con} = น้ำหนักตัวนำ (g/m)

S_{con} = ความหนาแน่น (g/cm^3)

d_{con} = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด (mm)

สำหรับค่า S และ K จะทำการสร้างตารางไว้เพื่อดึงข้อมูลตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน้าต่างข้อมูลค่า S และ K ของตัวนำ

ข) ตัวนำตีเกลียว (Non-compacted stranded conductor)

$$W_{con} = K \times d_{con}^{\ 2} \times N \times P \qquad (4.2)$$

ในที่นี้

W_{con} = น้ำหนักตัวนำ (g/m)

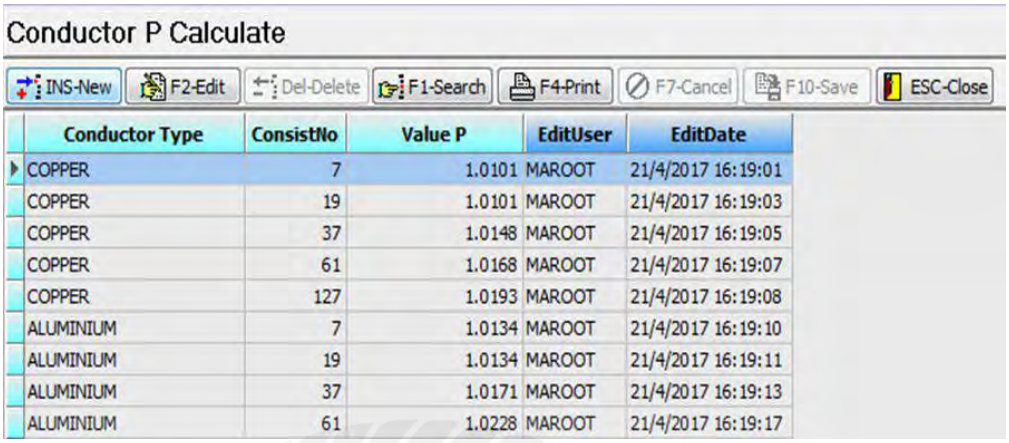
d_{con} = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด (mm)

N = จำนวนเส้นลวดที่ตีเกลียว

K = สัมประสิทธิ์ตัวคูณเฉลี่ยน้ำหนัก (รูปที่ 4.6)

P = สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว

สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (P) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการตีเกลียว และจำนวนชั้นของการตีเกลียวซึ่งเป็นค่าที่มาจากการทดลองโดยกำหนดไว้ในตารางที่ 3.7 ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขการดึงค่า P จากจำนวนเส้นตีเกลียวของตัวนำ


Conductor P Calculate

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F10-Save | ESC-Close

Conductor Type	ConsistNo	Value P	EditUser	EditDate
COPPER	7	1.0101	MAROOT	21/4/2017 16:19:01
COPPER	19	1.0101	MAROOT	21/4/2017 16:19:03
COPPER	37	1.0148	MAROOT	21/4/2017 16:19:05
COPPER	61	1.0168	MAROOT	21/4/2017 16:19:07
COPPER	127	1.0193	MAROOT	21/4/2017 16:19:08
ALUMINIUM	7	1.0134	MAROOT	21/4/2017 16:19:10
ALUMINIUM	19	1.0134	MAROOT	21/4/2017 16:19:11
ALUMINIUM	37	1.0171	MAROOT	21/4/2017 16:19:13
ALUMINIUM	61	1.0228	MAROOT	21/4/2017 16:19:17

รูปที่ 4.7 หน้าต่างค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (P)

ค) ตัวนำตีเกลียวอัดแน่น (Compacted stranded conductor)

$$W_{con} = S_{con} \times A_{con} \times K \qquad (4.3)$$

ในที่นี้

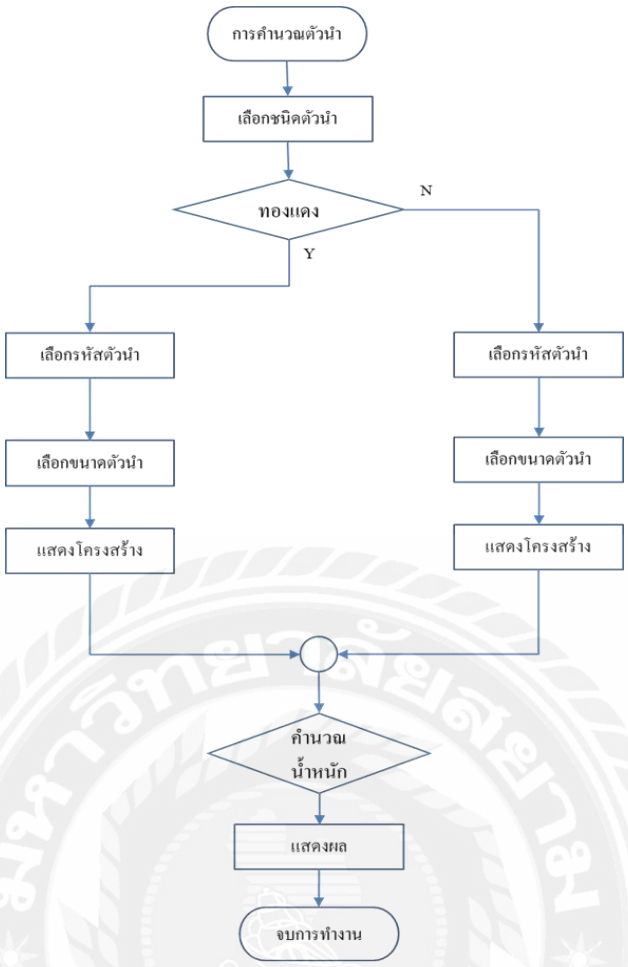
W_{con} = น้ำหนักตัวนำ (g/m)

A_{con} = พื้นที่หน้าตัดจริงของตัวนำ (mm^2)

K = สัมประสิทธิ์ตัวคูณเฉลี่ยน้ำหนักของตัวนำทุกชั้น[1]

S_{con} = ความหนาแน่น (รูปที่ 3.6) (g/cm^3)

[1]ค่า K นั้นจะเป็นค่าที่มาจากการทดลองซึ่งเป็นค่าเฉพาะของโครงสร้างตัวนำ ซึ่งแต่ละบริษัทจะใช้ค่านี้ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต และมาตรฐานการผลิตที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิตตัวนำไฟฟ้าดังกล่าวจากหัวข้อที่ 4.3.1 สามารถสรุปรูปแบบการคำนวณได้ดังรูปที่ 4.8

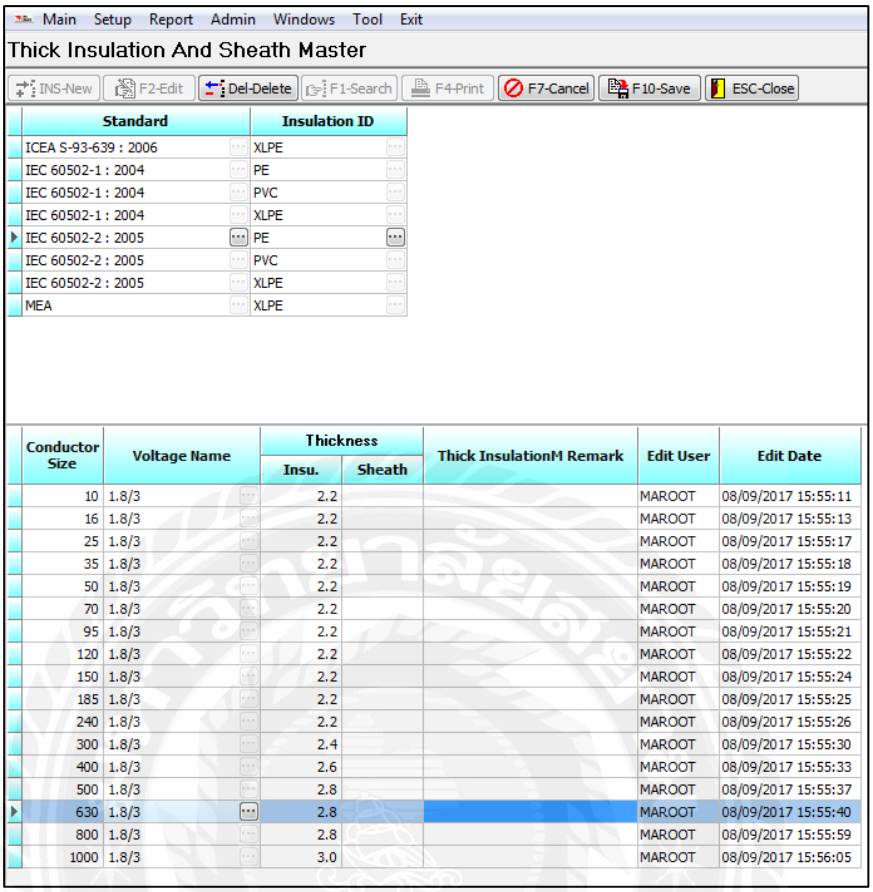


รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการคำนวณตัวนำ

4.3.2 ฉนวน (Insulation)

ความหนาฉนวน จะนำค่าที่กำหนดจากมาตรฐานจาก IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 มาทำการคำนวณโดยในมาตรฐานการผลิตที่ใช้จะมีการเผื่อความหนาในการผลิต เนื่องจากความหนาจากมาตรฐานดังกล่าวจะใช้เป็นค่า Min. ในการการผลิต โดยแบ่งออกเป็น

1. ความหนาที่ใช้ในการผลิตตามาตรฐาน IEC 60502-1 ได้แก่ ตารางที่ 2.8 - 2.10
2. ความหนาที่ใช้ในการผลิตตามาตรฐาน IEC 60502-2 ได้แก่ ตารางที่ 2.19 - 2.20



Standard	Insulation ID
ICEA S-93-639 : 2006	XLPE
IEC 60502-1 : 2004	PE
IEC 60502-1 : 2004	PVC
IEC 60502-1 : 2004	XLPE
IEC 60502-2 : 2005	PE
IEC 60502-2 : 2005	PVC
IEC 60502-2 : 2005	XLPE
MEA	XLPE

Conductor Size	Voltage Name	Thickness		Thick InsulationM Remark	Edit User	Edit Date
		Insu.	Sheath			
10	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:11
16	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:13
25	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:17
35	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:18
50	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:19
70	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:20
95	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:21
120	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:22
150	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:24
185	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:25
240	1.8/3	2.2			MAROOT	08/09/2017 15:55:26
300	1.8/3	2.4			MAROOT	08/09/2017 15:55:30
400	1.8/3	2.6			MAROOT	08/09/2017 15:55:33
500	1.8/3	2.8			MAROOT	08/09/2017 15:55:37
630	1.8/3	2.8			MAROOT	08/09/2017 15:55:40
800	1.8/3	2.8			MAROOT	08/09/2017 15:55:59
1000	1.8/3	3.0			MAROOT	08/09/2017 15:56:05

รูปที่ 4.9 หน้าต่างค่าความหนาของฉนวน

ในการดึงความหนาฉนวนจะดึงจากเงื่อนไขของแรงดัน, ชนิดของฉนวนและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงเพื่อที่จะสามารถระบุความหนาได้อย่างถูกต้องเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

Insulation Standrad	Thickness		Insulation			Sheath		
	From	To	Min	Std	Max	Min	Std	Max
IEC	0	0.44	0	0.0250	0.0500	0	0.03	0.05
IEC	0.45	0.74	0	0.0250	0.1000	0	0.03	0.1
IEC	0.75	0.94	0	0.0500	0.1500	0	0.05	0.15
IEC	0.95	1.44	0	0.0500	0.1500	0	0.05	0.15
IEC	1.45	1.94	0	0.1000	0.2500	0	0.1	0.25
IEC	1.95	2.94	0	0.1000	0.3000	0	0.1	0.3
IEC	2.95	3.94	0	0.1500	0.4000	0	0.15	0.4
IEC	3.95	99	0	0.2000	0.5000	0	0.2	0.5

รูปที่ 4.10 หน้าต่างค่าควบคุมความหนาของฉนวนและเปลือก

เมื่อโปรแกรมดึงค่าความหนาจากตารางความหนาในรูปที่ 4.10 มาแล้วจะทำการกำหนดค่าควบคุม 3 ค่า (min, standard, max) เป็นค่าที่กำหนดตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงส่วนค่า Standard และ Max มาจากค่าเผื่อในการผลิตซึ่งในการผลิตจริงจะต้องไม่ต่ำกว่า Min โดยค่าควบคุมนั้นจะขึ้นอยู่กับช่วงความหนาของฉนวนหรือเปลือกโดยค่ากำหนดมาจากเทคนิคการผลิตภายในบริษัท

<u>หมายเหตุ</u> ในทุกขั้นตอนการผลิตบริษัทจะออกแบบให้มีค่าควบคุมทั้งหมด 3 ค่า คือ Minimun, Standard, Maximum (ยกเว้นตัวนำจะใช้ค่า Strandard) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบโครงสร้างและเพื่อป้องกันการผลิตที่ต่ำกว่าเกณฑ์การผลิตสินค้านั้นจะยึดค่า Standard เป็นเกณฑ์การตัดสินใจว่าสินค้าผ่านมาตรฐานหรือไม่

การคิดเส้นผ่านศูนย์กลาง

$$D_i = D_{bf} + 2t_i \tag{4.4}$$

ในที่นี้

D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของสายหุ้มฉนวน	(mm)
D_{bf}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางขั้นตอนก่อนหน้า	(mm)
t_i	=	ความหนาของฉนวน	(mm)

การคำนวณน้ำหนักฉนวน แบ่งออกเป็น 5 กรณีดังนี้

1) ฉนวนหุ้มบนตัวนำเส้นเดี่ยว (Solid Conductor)

$$W_i = \frac{\pi}{4} \times S_i \times \left(D_i^{\,2} - D_{bf}^{\,2} \right) \tag{4.5}$$

ในที่นี้

W_i	=	น้ำหนักฉนวน	(g/m)
S_i	=	ความหนาแน่นของวัตถุดิบที่เป็นฉนวน	(g/cm^3)
D_{bf}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางขั้นตอนก่อนหน้า	(mm)
D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของสายหุ้มฉนวน	(mm)

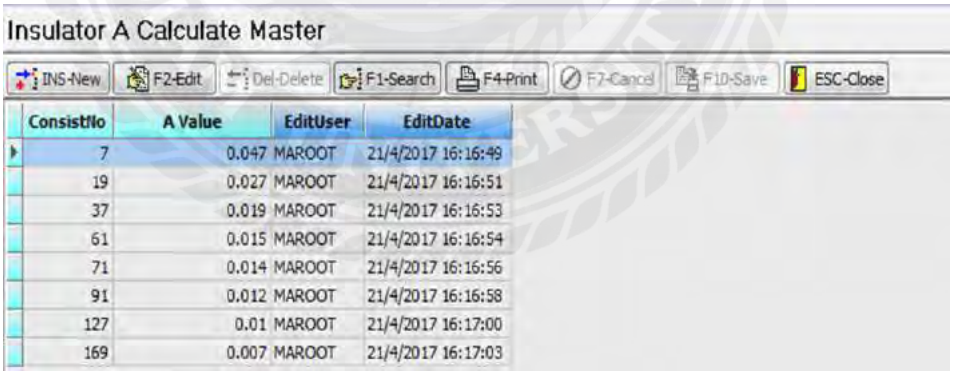
2) ฉนวนหุ้มบนตัวนำตีเกลียวแกนร่วม (Stranded Conductor)

$$W_i = \frac{\pi}{4} \times S_i \times \left({D_i}^2 - {D_{bf}}^2 \right) + A \times S_i \times \pi \times {D_{bf}}^2 \qquad (4.6)$$

ในที่นี้

W_i	=	น้ำหนักฉนวน	(g/m)
S_i	=	ความหนาแน่นของวัตถุดิบที่เป็นฉนวน	(g/cm^3)
D_{bf}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางขั้นตอนก่อนหน้า	(mm)
D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของสายหุ้มฉนวน	(mm)
A	=	ตัวคูณเกี่ยวกับเนื้อที่แทรกในร่องเกลียว	

ค่า A เป็นค่าที่ได้จากการทดลองโดยใช้โครงสร้างตัวนำที่บริษัทแห่งนี้ทำการผลิต ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ทางสูตรเรขาคณิต ในที่นี้จะให้ค่า A อยู่ในรูปตารางเพื่อที่สามารถแก้ไขได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในอนาคต โดยใช้เงื่อนไขของค่า A มาจากจำนวนเส้นของตัวนำตีเกลียว ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 หน้าต่างข้อมูลตัวคูณเกี่ยวกับเนื้อที่ที่แทรกในร่องเกลียว (A)

3) ฉนวนหุ้มบนตัวนำตีเกลียวจับกลุ่ม (Flexible)

การคำนวณน้ำหนักของฉนวนในหัวข้อนี้ให้ใช้สมการเดียวกับฉนวนหุ้มบนตัวนำเส้นเดี่ยว โดยถือว่าร่องเกลียวนั้นเล็กมาก

4) ฉนวนหุ้มบนตัวนำตีเกลียวจับกลุ่มร่วม (Rope-lay)

การคำนวณน้ำหนักของฉนวนใช้ตามสมการเดียวกับฉนวนหุ้มบนตัวนำตีเกลียวแกนร่วม โดยที่ค่า A ใช้ตามตารางที่ 3.10 จำนวนเส้นลวดในตารางก็คือจำนวนกลุ่ม

5) ฉนวนหุ้มบนตัวนำตีเกลียวอัดแน่น (Compact)

$$W_i = \frac{\pi}{4} \times S_i \times \left(D_i^{\,2} - D_{bf}^{\,2} \right) + B_i \qquad (4.7)$$

ในที่นี้

W_i	=	น้ำหนักฉนวน	(g/m)
D_{bf}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางขั้นตอนก่อนหน้า	(mm)
D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของสายหุ้มฉนวน	(mm)
B_i	=	เนื้อฉนวนที่แทรกเข้าไปในร่องเกลียว	

ค่า B สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

a) ตัวนำอัดแน่น 7 เส้น

$$B = \left[\left(\frac{\pi \times D_{bf}^{\,2}}{4} \right) - A \right] \times P \times S_i \qquad (4.8)$$

b) ตัวนำอัดแน่น 19 เส้นและมากกว่า

$$B = 0.5 \times \left[\left(\frac{\pi \times D_{bf}^{\,2}}{4} \right) - A \right] \times P \times S_i \qquad (4.9)$$

ในที่นี้

A	=	พื้นที่หน้าตัดจริงของตัวนำ	(mm^2)
P	=	สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (ตารางที่ 4.2)	
S	=	ความหนาแน่นของวัตถุดิบที่เป็นฉนวน	(g/cm^3)

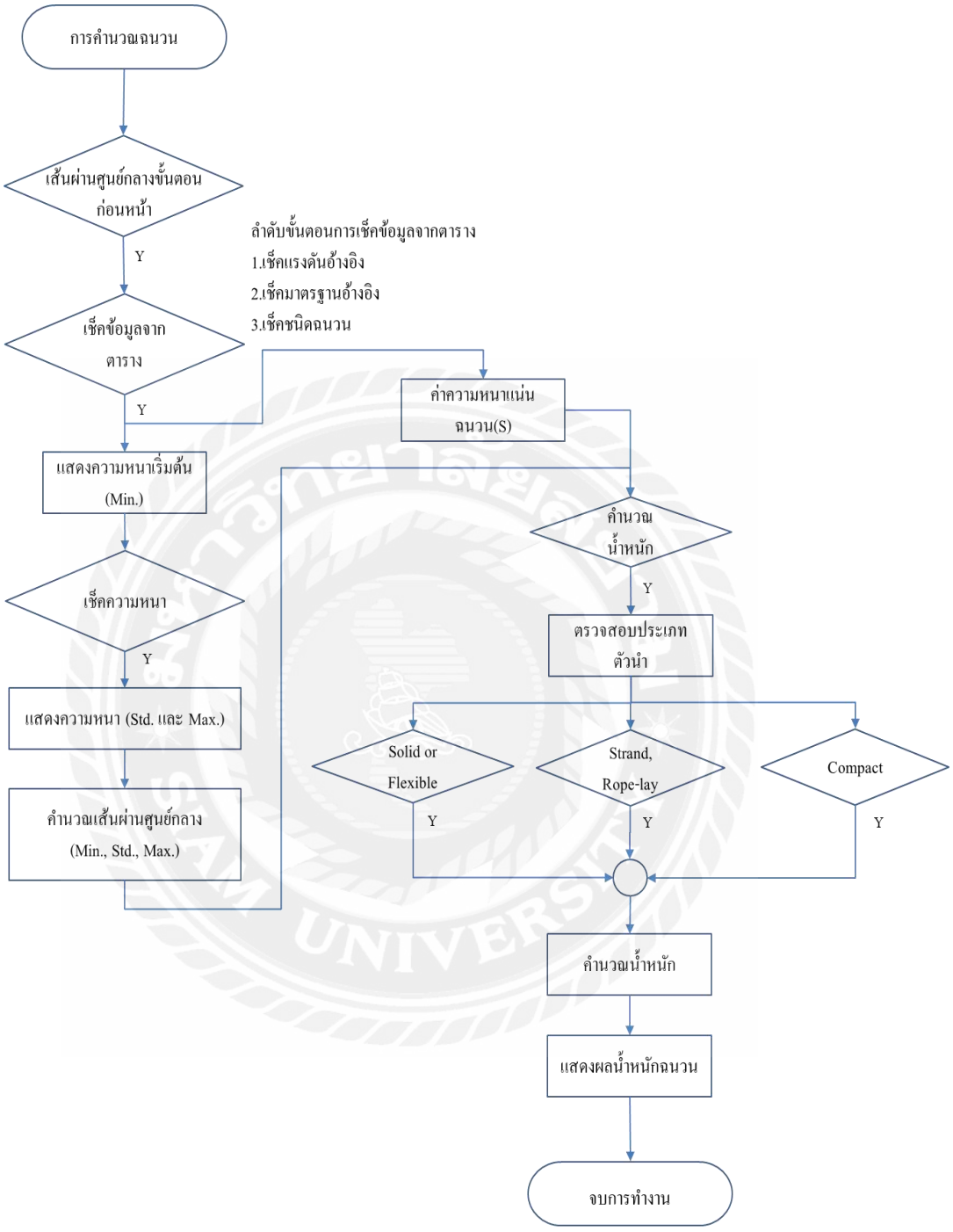
ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (P)

Size	10	16	25	35	50	70	95	120	150
ทองแดง	1.0081	1.0080	1.0081	1.0081	1.0132	1.0136	1.0132	1.0177	1.0176
อลูมิเนียม	1.0096	1.0095	1.0094	1.0094	1.0094	1.0152	1.0132	1.0150	1.0162

Size	185	240	300	400	500	630	800	1000	
ทองแดง	1.0175	1.0211	1.021	1.0199	1.0217	1.0273	1.0202	1.0261	
อลูมิเนียม	1.0251	1.0250	1.0249	1.0313	1.0314				

ค่า S จะได้จากวัตถุดิบที่ใช้กับฉนวนและเปลือก โดยกำหนดรูปแบบไว้ในรูปแบบของตารางเพื่อง่ายต่อการเพิ่ม/ลด ใช้วิธีการดึงข้อมูลจากวัถตุดิบที่เลือก

รูปที่ 4.12 หน้าต่างตารางวัตถุดิบของฉนวนและเปลือก



รูปที่ 4.13 การทำงานของโปรแกรมขั้นตอนฉนวน

4.3.3 การตีเกลียวแกน (Core Stranding)

เป็นขั้นตอนหนึ่งของการทำสายไฟที่ประกอบด้วยแกนมากกว่า 1 แกนขึ้นไปเพื่อที่จะให้แกนเหล่านั้นติดรวมอยู่ด้วยกันหรือเพื่อที่จะนำไปหุ้มต่อ ซึ่งสายไฟที่ได้จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นลักษณะกลมโดยจะมีการคำนวณแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1) เส้นผ่านศูนย์กลาง การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 5 กรณีดังนี้

1.1) กรณีที่แกนทุกแกนโตเท่ากัน

ในการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียวแกนเราจะหาตัวคูณเพื่อคูณเข้ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนซึ่งตัวคูณนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนแกนที่ตีเกลียวเข้าด้วยกันตัวคูณดังกล่าวหาได้โดยอาศัยความรู้ทางเรขาคณิตแต่ในการทำงานจริงๆเราคำนึงถึงแกนที่นำมาตีเกลียวนั้น ไม่ใช่รูปกลมแท้ตลอดจนการตีเกลียวอาจจะไม่แนบสนิทจริงๆ จึงมีการเพิ่มค่าของตัวคูณให้มากกว่าค่าที่คำนวณได้

สูตรการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียวแกน จะเป็นดังนี้

$$D_c = K_c \times D_{bc} \times A \qquad (4.10)$$

ในที่นี้

D_c	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียวแกน	(mm)
D_{bc}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของแกน	(mm)
K_c	=	ตัวคูณการทำงานของการตีเกลียวแกน (ดูตารางที่ 4.3)	
A	=	ค่าตัวคูณลดขนาด Outside Diameter	

โดย A = 1 สำหรับกลุ่มสาย Power Cable และ 0.98 สำหรับกลุ่มสาย Control Cable ฉนวนเป็น PVC เท่านั้นกรณีฉนวนเป็น XLPE ใช้ 1 ค่า A มาจากคุณสมบัติของฉนวนซึ่งการตีเกลียวแกนอาจส่งผลต่อการยุบตัวได้โดยการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ตัวคูณของการตีเกลียวแกน (K_c)

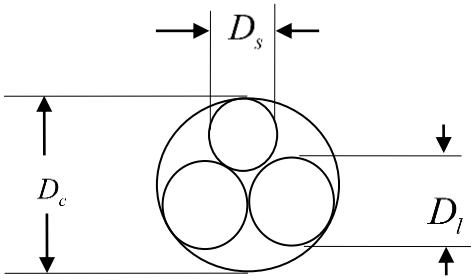
จำนวน	Kc		จำนวน	Kc	
แกน	XLPE	PVC	แกน	XLPE	PVC
2	2.02	2.02	17	5.03	5.03
3	2.18	2.155	18	5.03	5.03
4	2.44	2.414	19	5.03	5.03
5	2.73	2.73	20	5.18	5.18
6	3.03	3.03	21	5.34	5.34
7	3.03	3.03	22	5.66	5.66
8	3.34	3.34	23	5.66	5.66
9	3.66	3.66	24	6.00	6.00
10	4.00	4.00	25	6.00	6.00
11	4.00	4.00	26	6.00	6.00
12	4.18	4.18	27	6.18	6.18
13	4.44	4.44	28	6.44	6.44
14	4.44	4.44	29	6.44	6.44
15	4.62	4.62	30	6.44	6.44
16	4.73	4.73			

ตัวคูณของการตีเกลียวแกน สามารถอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502 ได้ แต่เนื่องจากค่าจากมาตรฐานดังกล่าวอาจไม่ตรงกับค่าจริงจึงต้องใช้ค่าจากตารางที่ 4.3 ซึ่งมีค่าต่างกันเล็กน้อย

1.2) กรณีที่มีวงแกนแตกต่างกันไป

กรณีในหัวข้อนี้หมายถึงสายไฟบางอย่างซึ่งจะมีแกนบางแกนเล็กกว่าแกนอื่นเช่น สายไฟที่มีสายดินหรือสาย นิวตรอน เป็นต้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะบางรูปแบบที่เห็นว่ามีความสำคัญเท่านั้น มีทั้งหมด 5 กรณีคือ

1.2.1) สาย 3 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น



รูปที่ 4.14 สาย 3 แกนมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น

D_l = เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนโต (mm)

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนเล็ก (mm)

D_c = เส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียวแกน (mm)

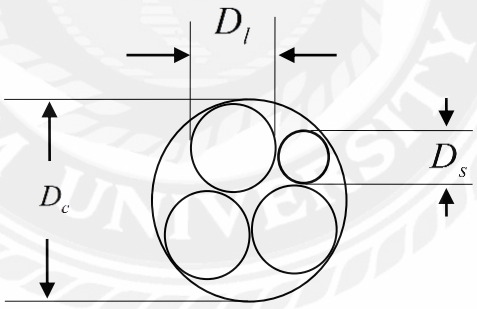
ก) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} \le 0.667$

$$D_c = 2.02 \times D_l \tag{4.11}$$

ข) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} > 0.667$

$$D_c = \frac{1.01 \times D_l \times \left(D_l + D_s + \sqrt{\left(2D_l \times D_s + {D_s}^2\right)}\right)}{D_l - D_s + \sqrt{\left(2D_l \times D_s + {D_s}^2\right)}} \tag{4.12}$$

1.2.2) สาย 4 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น



รูปที่ 4.15 สาย 4 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น

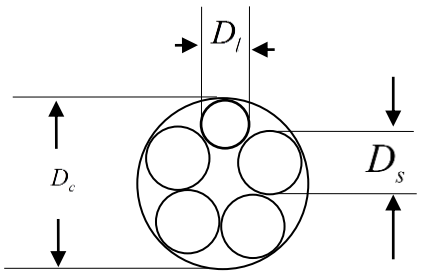
ก) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} \le 0.483$

$$D_c = 2.18 \times D_l \tag{4.13}$$

ข) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} > 0.483$

$$D_c = 1.01 \times D_l \tag{4.14}$$

1.2.3) สาย 5 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น



รูปที่ 4.16 สาย 5 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น

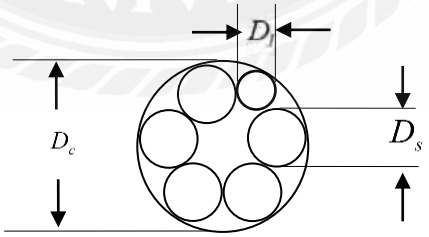
ก) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} \le 0.414$

$$D_c = 2.44 \times D_l \tag{4.15}$$

ข) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} > 0.414$

$$D_c = 2.73 \times \frac{1.03\left(4 \times D_l \times D_s\right)}{5} \tag{4.16}$$

1.2.4) สาย 6 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น



รูปที่ 4.17 สาย 6 แกนซึ่งมี 1 แกนเล็กกว่าแกนอื่น

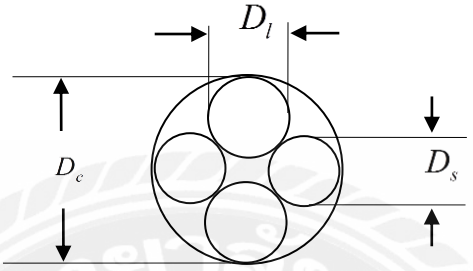
ก) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} \le 0.377$

$$D_c = 2.73 \times D_l \tag{4.17}$$

ข) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} > 0.377$

$$D_c = 3.03 \times \frac{1.03(5 \times D_l \times D_s)}{6} \quad (4.18)$$

1.2.5) สาย 4 แกนซึ่งมี 2 แกนเล็กกว่าแกนอื่น



รูปที่ 4.18 สาย 4 แกนซึ่งมี 2 แกนเล็กกว่าแกนอื่น

ก) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} \leq 0.667$

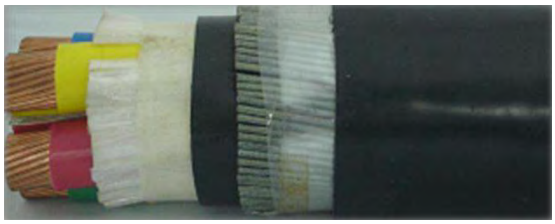
$$D_c = 2.02 \times D_l \quad (4.19)$$

ข) ถ้า $\frac{D_s}{D_l} > 0.667$

$$D_C = \frac{1.01 \times \left[(D_l + D_s) + \sqrt{\left((D_l + D_s)^2 + 4D_l \times D_s \right)} \right]}{2} \quad (4.20)$$

2.) การคำนวนส่วนเติมเต็ม (fillers)

Fillers เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของสายไฟฟ้าบางชนิดโดยเฉพาะสายไฟฟ้าที่มีแกนหลายแกนรวมเข้าด้วยกัน ในการตีเกลียวนั้นย่อมต้องเกิดช่องว่างระหว่างเกลียวหรือมีช่องว่างภายในซึ่งช่องว่างเหล่านี้ก่อให้เกิดการบิดเบี้ยวของสายไฟฟ้าเมื่อนำไปหุ้ม ดังนั้นเพื่อให้สายไฟกลมและการเรียงตัวของเกลียวมั่นคงขึ้นจึงต้องใช้ Fillers ในการแทรกร่องดังกล่าวเพื่อให้ขั้นตอนการตีเกลียวมีความกลม Fillers ที่ใช้ในบริษัทที่ทำการศึกษานี้คือ PP Calcium Filler ซึ่งมีคุณสมบัติเนื่องจากไม่ดูดความชื้นสามารถทนอุณภูมิได้สูงและไม่ยุบตัวเมื่อนำไปหุ้ม



รูปที่ 4.19 สายหลายแกนที่ใช้ PP Calcium Filler ในการผลิต

2.1) การคำนวณ Filler ในกรณีสายที่มีแกนเท่ากันทุกเส้น ลักษณะสูตรของโปรแกรมจะมีลักษณะอ้างอิงจากตารางที่ 4.4 โดยคำนวณตามสูตรสำเร็จที่บริษัทจัดทำขึ้น โดยในตารางที่ 4.4 นั้นจะใช้คำนวณในกรณีสายไฟฟ้าหลายแกนที่ทุกแกนเท่ากันเท่านั้น ส่วนกรณีสายที่มีแกนไม่เท่ากันจะใช้ค่าที่มาจากการผลิตจริงโดยทางบริษัทได้มีการเก็บข้อมูลของการใช้จำนวนเส้นของ Filler ของสายที่มีการตีเกลียวแบบแกนไม่เท่ากันไว้ทั้งหมดแล้วทางผู้จัดทำจึงเพียงแต่นำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมให้สามารถดึงข้อมูลมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง ความแตกต่างระหว่างการคำนวณการตีเกลียวกรณีแกนเท่าและแกนไม่เท่ามีข้อแตกต่างดังนี้

2.1.1) การคำนวณคำนวณ filler กรณีตีเกลียวแกนเท่า

ในการตีเกลียวสายไฟฟ้าที่มีแกนเท่ากันจะใช้สูตรตามสมการที่....ในการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนการคำนวรจำนวนเส้น Filler นั้นจะคำนวณโดยใช้ Diameter ของขั้นตอนก่อนหน้าโดยใช้ค่า Std. ในการคำนวณตามสูตรในตารางที่ 4.4 และทำการคำนวณอัตราส่วนการตีเกลียวตามสมการที่.... เป็นอันครบขั้นตอนการตีเกลียวแกน (Core Stranding) แบบแกนเก่า

Filler Master

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F10-Save | ESC-Close | Import

NumberOfCore	Filler Location	Filler Pos.
2	Outer	2
3	Center	1
3	Outer	3
4	Center	1
4	Outer	4
5	Center	1
5	Outer	5
6	Center	1
6	Outer	6

FillerNumber	FillerDia		Filler Line Calculation	Filler Square	Filler Value Number	Filler Of Calculation	Cal Value	Filler Remark	Edit User	Edit Date
	From	To								
36	8.10	29.10	0.022	2	0	0	1		MAROOT	21/04/2017 16:30:39
130	29.20	99.00	0.005	2	0	0	0.6		MAROOT	21/04/2017 16:31:04

รูปที่ 4.20 หน้าต่างข้อมูลการคำนวณ Fillers กรณีสายที่มีแกนเท่ากันทุกเส้น

ตารางที่ 4.4 การคำนวณจำนวนเส้น Fillers กรณีแกนเท่ากันทุกแกน

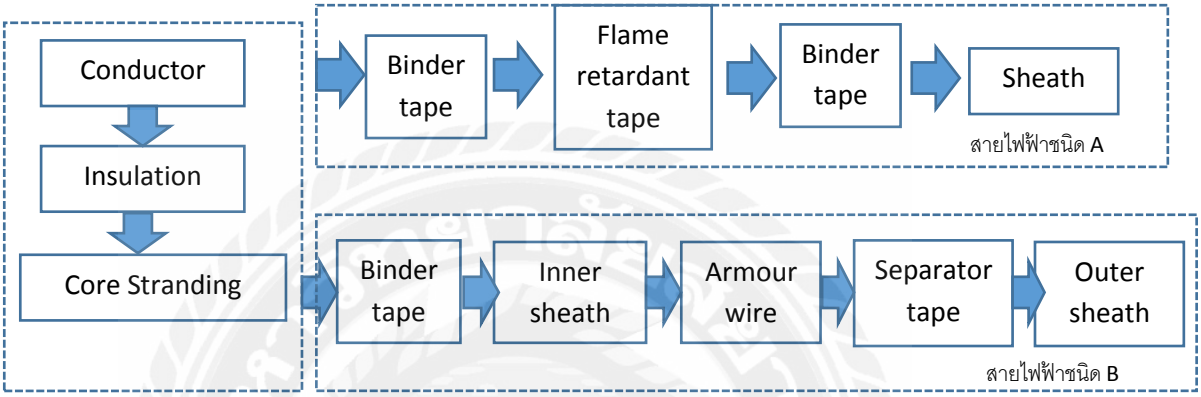
จำนวนแกน	Size Filler	Position					
		Center			Outer		
		D_{ac} (mm.)	จำนวนเส้น	แห่ง	D_{bc} (mm.)	จำนวนเส้น	แห่ง
2	#14				1.0-2.0	$1.1xD_{bc}^{2}$	2
	#36				2.1-7.3	$0.43xD_{bc}^{2}$	2
	#36				7.4-19.0	18	2
	#130					(0.11xd2)-5	2
	#130				19.1 ขึ้นไป	$0.099xD_{bc}^{2}$	2
3	#14				1.0-2.8	$0.59xD_{bc}^{2}$	3
	#36	8.1-29.1	$0.022xD_{bc}^{2}$	1	2.9-10.0	$0.23xD_{bc}^{2}$	3
	#36				10.1-24.5	18	3
	#130					$(0.058x\ xD_{bc}^{2})$-5	3
	#130	29.2 ขึ้นไป	$0.005xD_{bc}^{2}$	1	24.6 ขึ้นไป	$0.052xD_{bc}^{2}$	3
4	#14	1.7-2.5	$0.3xD_{bc}^{2}$	1	1.0-3.3	$0.44xD_{bc}^{2}$	4
	#36	2.6-14.4	$0.12xD_{bc}^{2}$	1	3.4-11.9	$0.17xD_{bc}^{2}$	4
	#36	14.5 ขึ้นไป	18	1	12.0-20.3	18	4
	#130		$(0.03xD_{bc}^{2})$-5	1	24.6 ขึ้นไป	$(0.042xD_{bc}^{2})$-5	4
	#130					$0.038xD_{bc}^{2}$	4
5	#14				1.0-3.5	$0.36xD_{bc}^{2}$	5
	#36	1.7-9.0	$0.3xD_{bc}^{2}$	1	3.6-7.8	$0.14xD_{bc}^{2}$	5
	#130	9.1 ขึ้นไป	$0.068xD_{bc}^{2}$	1	7.9 ขึ้นไป	$0.029xD_{bc}^{2}$	5
6	#36				1.0-3.9	$0.32xD_{bc}^{2}$	6
	#130	1.0-7.5	$0.43xD_{bc}^{2}$	1	4.0-7.9	$0.12xD_{bc}^{2}$	6
	#130	7.6 ขึ้นไป	$0.099xD_{bc}^{2}$	1	8.0 ขึ้นไป	$0.028xD_{bc}^{2}$	6

D_{bc} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีเกลียวแกน

2.1.2) การคำนวณขั้นตอนการตีเกลียวแบบมีแกนที่เล็กกว่า 1 แกน

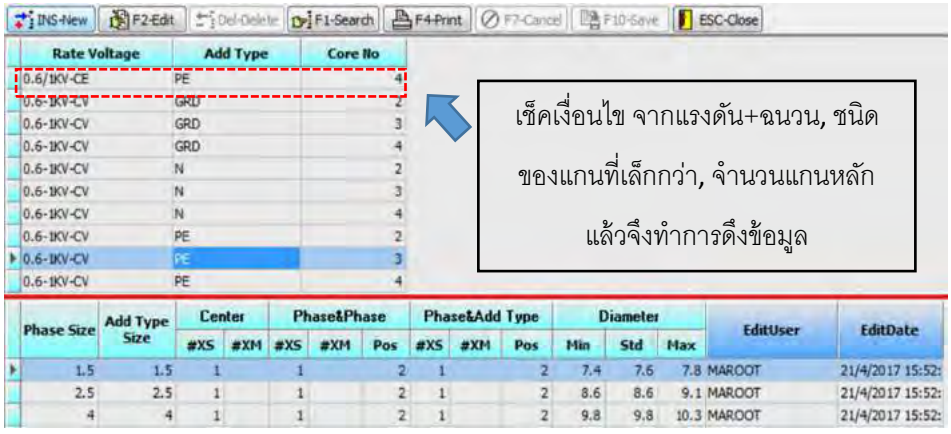
ในการคำนวณขั้นตอนการตีเกลียวแกนแบบมีแกนที่ไม่เท่า 1 แกนซึ่งในกลุ่มสาย Power ที่มีการตีเกลียวแกนแบบไม่เท่ากันแกนที่ไม่เท่าจะเป็นแกน PE (Protection earth), G (Ground), N (Nuatral) ซึ่งจะมีแกนที่เล็กกว่าขนาดแกนเฟสโดยใช้สูตรตามสมการที่ 4.11-4.20 แต่

ในการคำนวณFiller นั้นค่อนข้างมีปัญหาเนื่องจากความไม่สมมาตรของสายเมื่อทำการตีเกลียวซึ่งทำให้การคำนวณ Filler เป็นไปได้ยากทำให้ทางบริษัทได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวนเส้นของสายไฟฟ้าที่มีแกนไม่เท่าในขนาดพื้นที่หน้าตัด,จำนวนแกนเฟส, จำนวนแกน PE, N, G ซึ่งครบทุกขนาดโดยแยกประเภทตามฉนวนและแรงดัน เนื่องจากในการออกแบบสายไฟฟ้าจะมีโครงสร้างที่สามารถใช้ร่วมกันได้โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 4.20 การใช้โครงสร้างร่วมกันของสายไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.20 พบว่าในในการออกแบบสายไฟฟ้านั้นจะมีโครงสร้างที่สามารถใช้งานร่วมกันในสายคนละชนิดได้ซึ่งส่วนมากคือขั้นตอนตั้งแต่ ตัวนำ(Conductor) จนถึง การตีเกลียวแกน(Core stranding) ทำให้ในการพิจารณาในการออกแบบโปรแกรมในส่วนของขั้นตอนการสร้างรูปแบบการคำนวณการตีเกลียวแกนแบบแกนไม่เท่า จึงนำเรื่องของการใช้โครงสร้างร่วมกันมาประยุกต์กับข้อมูลที่ทางบริษัทได้รวบรวมไว้ในเรื่องของจำนวนเส้น Filler กรณีแกนไม่เท่านำมาสร้างตารางข้อมูลโดยใช้เงื่อนไขของแรงดันและฉนวนเป็นข้อกำหนดดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 หน้าต่างข้อมูลขั้นตอนตีเกลียวแกนกรณีสายมี PE, N, GRD ในโปรแกรม Pro_Design

2.3) การคิดความยาวพิทช์ของการตีเกลียวแกน

ความยาวพิทช์ = เส้นผ่านศูนย์กลางตีเกลียว x อัตราส่วนการตีเกลียว

อัตราส่วนตีเกลียวจะเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรและมาตรฐานการผลิตของแต่ละบริษัท ซึ่งเป็นเทคนิคการผลิตซึ่งส่งผลต่อราคาขาย และความยากง่ายในการผลิต ซึ่งโดยปกติถ้าอัตราส่วนการตีเกลียวน้อย สายจะเกิดการคลายตัวออกทำให้เมื่อนำไปหุ้มจะเกิดความเบี้ยวได้

อัตราส่วนการตีเกลียว

- 2 แกน = 16
- 3-5 แกน = 18
- มากกว่า 5 แกน = 15

น้ำหนักเพิ่มเนื่องจากการตีเกลียว ในการเอาแกนสายไฟมาตีเกลียวเข้าด้วยกันนั้น สมมติว่าสายที่ตีเกลียวออกมาแล้วได้ยาว 1 เมตร แต่สายไฟแต่ละแกนที่นำมาตีเกลียวต้องใช้ยาวมากกว่า 1 เมตรนั่นคือในการคิดน้ำหนักของสายไฟ ที่ตีเกลียวแล้วต้องมีตัวคูณตัวหนึ่งนำมาคูณเข้ากับน้ำหนักของแกนที่ยาว 1 หน่วยเพื่อให้ตีเกลียวออกมาแล้วได้สายตีเกลียวยาวหนึ่งหน่วย เขียนออกมาเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$W_{Core} = W_1 \times n \times \alpha \qquad (4.21)$$

ในที่นี้

W_{Core} = น้ำหนักของสายตีเกลียว (g/m)

W_1 = น้ำหนักของแกน 1 แกน (g/m)

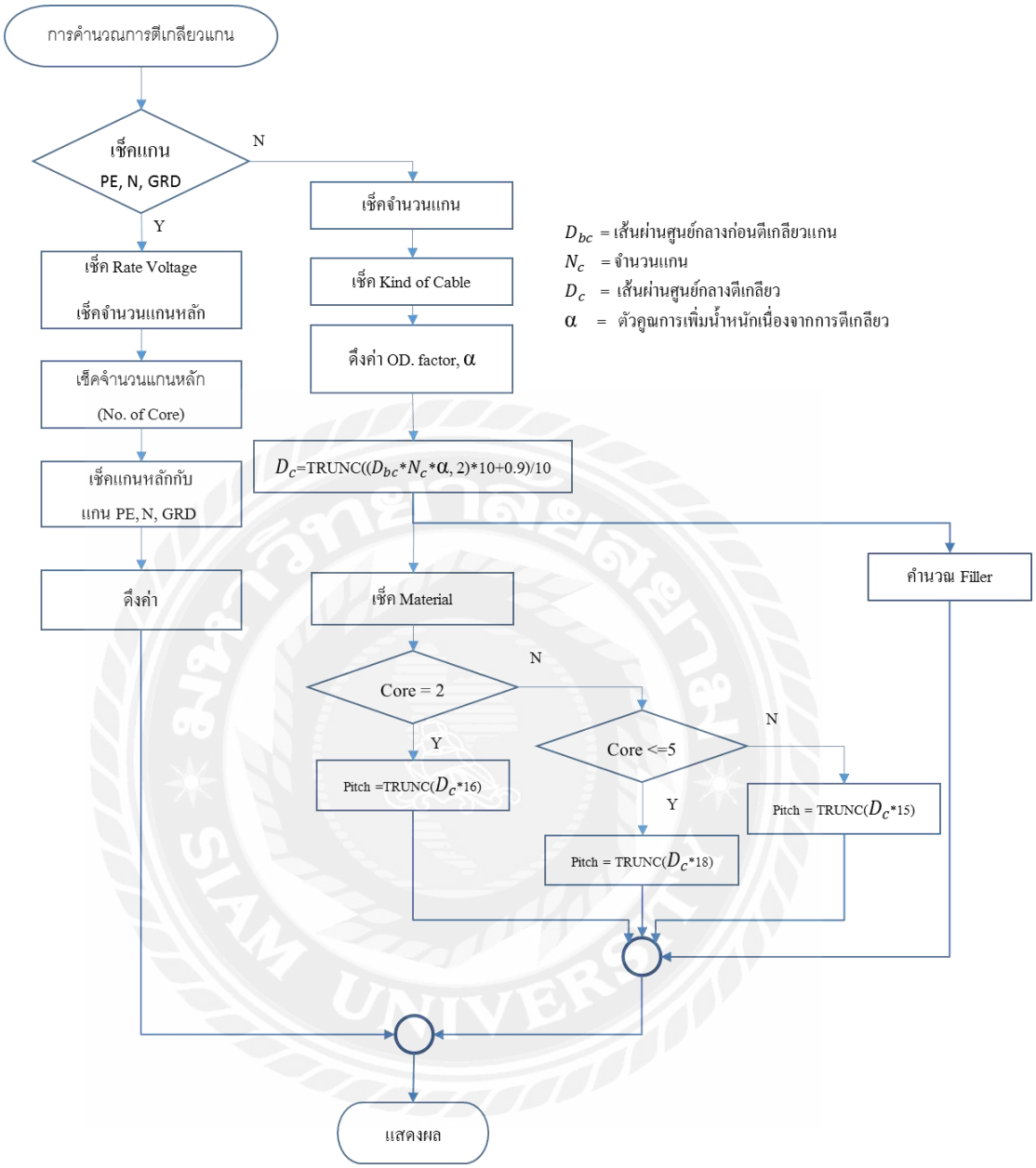
n = จำนวนแกนที่นำมาตีเกลียว

α = ตัวคูณการเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (ดูตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ตัวคูณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียว (α)

จำนวนแกน	α	จำนวนแกน	α
2	1.005	17	1.012
3	1.005	18	1.012
4	1.006	19	1.011
5	1.007	20	1.011
6	1.01	21	1.011
7	1.01	22	1.013
8	1.011	23	1.012
9	1.012	24	1.013
10	1.011	25	1.012
11	1.011	26	1.012
12	1.012	27	1.012
13	1.011	28	1.012
14	1.011	29	1.012
15	1.011	30	1.012
16	1.011		

*ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก α มาจากการทดลองภายในบริษัทที่ทำการศึกษาเท่านั้น



รูปที่ 4.22 ผังแสดงขั้นการตีเกลียวแกน

4.3.4 การพันเทป (Taping)

ในการผลิตสายไฟฟ้า การพันเทปนับเป็นอีกหนึ่ง Process ที่มีความบทบาทและความสำคัญในการผลิตเนื่องจากเทปที่ใช้พันในปัจจุบันมีหลายชนิด เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ที่หลากหลายโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) หน้าที่ของเทปในการผลิต

1.1) ใช้พันบนแกนที่ตีเกลียวรวมกัน เพื่อรัดมิให้แกนคลายเกลียวในระหว่างขั้นตอนการผลิตต่อไปรวมทั้งทำหน้าที่รัดปกปิดสารบรรจุแน่นที่ใส่ไว้เพื่อทำให้สายกลม

1.2) ใช้เป็นตัวแยก (Separator) ในกรณีไม่ต้องการให้สาร 2 ชนิด (หรือชนิดเดียวกัน) ที่หุ้มสายสัมผัสกันด้วยเหตุผลทางเทคนิคบางประการ

1.3) ใช้เป็น Shield ทั้ง Conductor Shield หรือ Insulation Shield

1.4) ทำหน้าที่เฉพาะอื่นๆ เช่น ใช้รัด Armor หรือ Concentric Conductor หรือทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มตัวนำ ในกรณีของสาย CV ซึ่งต้องผ่านไอน้ำแรงดันสูงป้องกันมิให้ไอน้ำผ่านเข้าไปในร่องเกลียวของตัวนำ ทำหน้าที่ป้องกันน้ำไม่ให้ซึมผ่านเข้าไปในสายไฟ เป็นต้น

2) ชนิดของเทปแบ่งออกตามลักษณะได้ดังต่อไปนี้

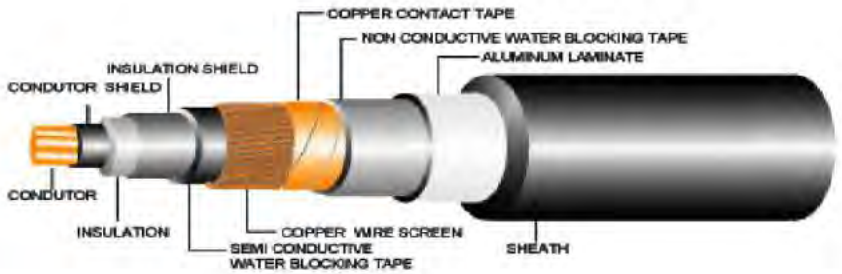
2.1) เทปผ้า ได้แก่ Spun Bond Tape ซึ่งเป็นประเภท Polyester Non-Woven Fabric Tape เทปพวกนี้ส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นตัวพันรัด (Binding) หรือเป็นตัวแยก (Separator)

2.2) เทปพลาสติก ได้แก่ PS. Tape (Polyester Tape), Nylon Tape เทปพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นตัวห่อหุ้มตัวนำ และแสดงสีจำแนกแกนนอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวรัด เช่น รัดสาย Armor เนื่องจากมีคุณสมบัติเหนียวกว่า Spun Bond Tape ทำให้ไม่ขาดง่าย

2.3) เทปกึ่งตัวนำ ได้แก่ Semi-Conducting Nylon Tape เทปพวกนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเฉลี่ย Electrical stress ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นบนตัวนำในกรณีของสายแรงดันสูง ตลอดจนช่วยกระจาย Leakage current ที่อาจจะเกิดขึ้นบนผิวฉนวนได้

2.4) เทปโลหะ ได้แก่ เทปอลูมิเนียม, เทปทองเหลือง, เทปเหล็ก และ เทปทองแดง เทปพวกนี้ส่วนใหญ่ใช้ทำหน้าที่เป็น Shield และเป็นArmor

2.5) เทปกั้นน้ำ ได้แก่ Non-Conductive Water Blocking Tape และ Semi-Conductive Water Blocking Tape ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันน้ำไม่ให้ซึมผ่านเข้าไปในสายไฟ



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างสายไฟฟ้าระดับแรงดัน Medium Voltage ที่มีการพัน Tape หลายชนิด

2.6) เทปทนไฟ ที่ใช้อยู่ขณะนี้คือ Glass Mica Tape ให้พันหรือห่อบนตัวนำ ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันตัวนำจากเปลวไฟในขณะเผาไหม้ใช้กับสายทนไฟ

รูปที่ 4.24 ตัวอย่างสายไฟฟ้าที่มีการพัน Tape ทนไฟ

3) ลักษณะของการลงเทป การลงเทปบนสายไฟ มีลักษณะการลงอยู่ 2 แบบคือ

3.1) การพัน การลงเทปของสายไฟส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะการพัน กรณีที่เป็นเทปโลหะ ห้ามพันเทปโลหะลงบนฉนวน โดยตรง ต้องมีเทปที่ไม่ใช่โลหะพันรัดบนฉนวนของสายไฟก่อน เช่น Spun Bond Tape, P.S. Tape เป็นต้น หรือมีชั้นวัสดุอื่นกั้นไว้ การพันเทปยังแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

3.1.1) การพันซ้อนเหลื่อม (Overlap) เป็นการพันเทปที่ปิดพื้นที่ผิวที่พันตลอดส่วนใหญ่ของการพันเทปทุกชนิด ยกเว้นเทปโลหะ จะเป็นการพันเทปแบบพันซ้อนเหลื่อมซึ่งใช้เป็นมาตรฐาน 2 อย่างด้วยกันคือ

ก) ซ้อนเหลื่อม 1/5 การพันในลักษณะนี้ ขอบเทปรอบต่อไปจะปิดทับขอบเทปของรอบก่อนหน้าเท่ากับ 1/5 ของความกว้างของเทปโดยประมาณเป็นการพันตามปกติที่ใช้กันอยู่ในโรงงาน

ข) ซ้อนเหลื่อม 1/2 มีลักษณะการพันเช่นเดียวกับข้อ ก) เพียงแต่ว่าขอบของเทปจะทับซ้อนกัน 1/2 ของความกว้างเทปโดยประมาณการพันตามข้อนี้ จะใช้ในกรณีของการพัน PS.

Tape บน Armor Wire ที่มีขนาดตั้งแต่ 2.5 mm. ขึ้นไป เนื่องจากการพันซ้อนเหลื่อม 1/5 ของ PS. Tape ที่พบในการผลิตขาดบ่อยขาดบ่อย

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการพันเทปแบบ 1/5 Lap (Spun bond tape)

3.1.2) การพันแบบมีช่องว่าง (Gap) เป็นการพันเทปที่ไม่ปิดพื้นที่ผิวที่พัน ช่องว่างของการพันเป็น 1/3 หมายถึงว่า ขอบเทปรอบถัดกันจะอยู่ห่างกันเกิดเป็นช่องว่างเท่ากับ 1/3 ของความกว้างของเทปโดยประมาณ การพันในลักษณะนี้จะมีแต่เทปโลหะ ซึ่งทำหน้าที่เป็น Shield สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันสูง ความดันไม่เกิน 6.6 KVตามมาตรฐานโรงงาน (ถ้าเกินกว่านี้ เทปโลหะจะพันแบบซ้อนเหลื่อม) ถ้าเป็นสายที่มี Concentric Conductor จะมีการพันเทปทองแดงในลักษณะแบบมีช่องว่าง แต่จะไม่มีการกำหนดขนาดช่องว่างแต่จะกำหนด Pitch มาให้ ซึ่งเทปที่มีการพันแบบนี้เรียกว่า Contact Tape

รูปที่ 4.26 ตัวอย่างการพันเทปแบบ 1/3 Gap (Copper Tape Shield)

3.2) การห่อ(Wrap) การลงเทปของสายไฟในลักษณะนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นการลงเทปที่ตัวนำ ซึ่งหลังจากห่อเทปแล้วก็หุ้มฉนวนทับได้ในขั้นตอนเดียวกันได้เลย

3.2.1) การเลือกความกว้างเทป

ก) ความกว้างเทปที่ใช้ห่อทั่วไป

$$w_t = \pi \times D_{bt} \times (1 + P_t) \quad (4.22)$$

โดยที่

w_t = ความกว้างเทป (mm)

D_{bt} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนห่อเทป (mm)

P_t = เปอร์เซ็นของเทปที่ซ้อนทับกัน

อลูมิเนียม = 50%

ข) ความกว้างของเทปอลูมิเนียมลามิเนต

$$W_{lm} = (\pi \times D_{bt} + 0.3) + 30 \quad (4.23)$$

4) การคำนวณน้ำหนักเทป

4.1) ลงเทปแบบพันซ้อนเหลื่อมและแบบมีช่องว่าง

$$W_{tg} = F \times (D_{bf} + t_1) \quad (4.24)$$

ในที่นี้

W_{tg} = น้ำหนักเทป (g/m.)

D_{bf} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนลงเทป

(mm.)

t_1 = ความหนาคำนวณของเทป (mm)

F = สัมประสิทธิ์การคำนวณน้ำหนักเทป

= $\pi \times t_2 \times S_t \times L$

โดยที่ว่า

t_2 = ความหนาจริงของเทป (mm)

S_t = ความหนาแน่นของเทป (g/cm^2)

L = ตัวคูณเกี่ยวกับลักษณะการพัน

= $1+\left(\frac{A}{B-A}\right)$ (กรณีพันแบบ Lap)

= $1+\left(\frac{A}{B+A}\right)$ (กรณีพันแบบ Gap)

โดยที่

A = จำนวนเศษ

B = จำนวนส่วน

4.2) ลงเทปแบบ Contact tape การคำนวณน้ำหนัก

$$W_{ct} = t_2 \times w_t \times S_t \times l \qquad (4.25)$$

ในที่นี้

W_{ct} = น้ำหนักเทป (g/m)

w_t = ความกว้างเทป (mm)

t_2 = ความหนาจริงของเทป (mm)

S_t = ความหนาแน่นของเทป (g/cm^2)

l = ความยาวของเทปที่พันจริง (mm)

$$= \sqrt{\left[\frac{\left(\pi \times D_{ct+t}\right)^2 + P_{ct}{}^2 \times \left(\frac{1000}{P_{ct}}\right)}{1000}\right]} \qquad (4.26)$$

โดยที่ว่า

D_{ct+t} = Dia. Concentric แล้ว + ความหนาเทป

P_{ct} = Pitch ของการพัน Contact tape (mm)

= Dia. ก่อน Wire Screen × 3 (ทศนิยมปัดทิ้งหมด)

* ความยาว Pitch มีค่าความคลาดเคลื่อน +2%, -8%

** ความยาว Pitch สูงสุดที่เครื่องจักรสามารถทำได้คือ 90 mm.

4.3) การคำนวณน้ำหนักเทปเหล็ก (เทปเหล็กจะต้องพัน 2 ชั้น)

$$W_{st} = 2t_s \times (D_{bt} + 3t_2) \qquad (4.27)$$

ในที่นี้

t_s = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาเทป โดยมีค่าดังนี้

ความหนาเทป

0.2 ; t_s = 4.082

0.5 ; t_s = 9.354

0.8 ; t_s = 14.457

D_{bt} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนพันเทป

t_2 = ความหนาเทปจริง (mm)

4.4) ลงเทปแบบห่อ (Wrap) การคำนวณน้ำหนัก

$$W_{tw} = w_t \times t_2 \times S_t \qquad (4.28)$$

ในที่นี้

W_{tw} = น้ำหนักเทป (g/m)

w_t = ความกว้างเทป (mm)

t_2 = ความหนาจริงของเทป (mm)

S_t = ความหนาแน่นของเทป (g/cm^3)

ในการคำนวณเทปของโปรแกรม โดยเทปจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ โดยแยกตามกลุ่มใหม่โดยจะเป็นการแสดงตัวอย่างของหน้าต่างข้อมูลที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการแยกประเภทดังนี้

1. เทปที่มีคุณสมบัติทนไฟใช้พันทับตัวนำ ได้แก่ Mica tape ดังรูปที่ 4.27

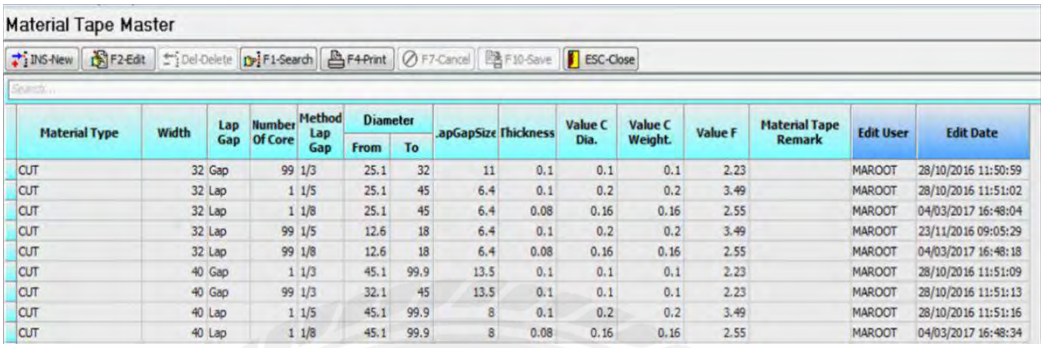
Glass Mica Tape Master

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F10-Save | ESC-Close | Import

Size Of Wire	Width	Lap	Value F	Value C	Thickness	GlassMicaTape M Remark	Edit User	Edit Date
1.5	8	4.0	1.48	0.3	0.15		MAROOT	21/04/2017 16:35:48
2.5	10	5.0	1.48	0.3	0.15		MAROOT	21/04/2017 16:35:55
4	10	5.0	1.48	0.3	0.15		MAROOT	21/04/2017 16:35:56
6	12	6.0	1.48	0.3	0.15		MAROOT	21/04/2017 16:35:57
10	12	6.0	1.48	0.3	0.15		MAROOT	21/04/2017 16:35:58

รูปที่ 4.27 หน้าต่างข้อมูลเทปทนไฟ (Mica tape)

2. เทปแบบพันแบบซ้อนเหลื่อม และแบบมีช่องว่าง ทั้งแบบโลหะและไม่ใช่โลหะ โดยจะรวม Armor Tape ไว้ด้วยเนื่องจากลักษณะการพันลักษณะเดียวกับเทป

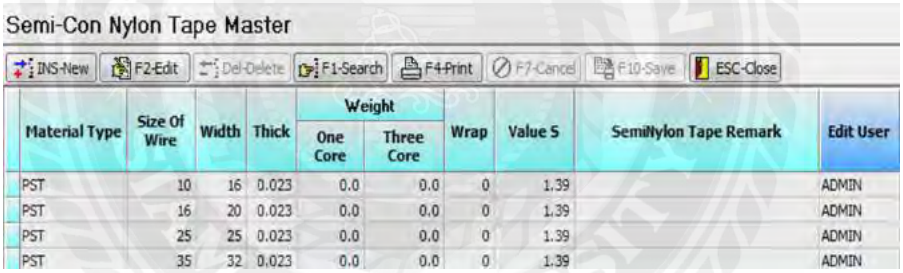

Material Tape Master

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F10-Save | ESC-Close

Material Type	Width	Lap Gap	Number Of Core	Method Lap Gap	Diameter From	Diameter To	LapGapSize	Thickness	Value C Dia.	Value C Weight.	Value F	Material Tape Remark	Edit User	Edit Date
CUT	32	Gap	99	1/3	25.1	32	11	0.1	0.1	0.1	2.23		MAROOT	28/10/2016 11:50:59
CUT	32	Lap	1	1/5	25.1	45	6.4	0.1	0.2	0.2	3.49		MAROOT	28/10/2016 11:51:02
CUT	32	Lap	1	1/8	25.1	45	6.4	0.08	0.16	0.16	2.55		MAROOT	04/03/2017 16:48:04
CUT	32	Lap	99	1/5	12.6	18	6.4	0.1	0.2	0.2	3.49		MAROOT	23/11/2016 09:05:29
CUT	32	Lap	99	1/8	12.6	18	6.4	0.08	0.16	0.16	2.55		MAROOT	04/03/2017 16:48:18
CUT	40	Gap	1	1/3	45.1	99.9	13.5	0.1	0.1	0.1	2.23		MAROOT	28/10/2016 11:51:09
CUT	40	Gap	99	1/3	32.1	45	13.5	0.1	0.1	0.1	2.23		MAROOT	28/10/2016 11:51:13
CUT	40	Lap	1	1/5	45.1	99.9	8	0.1	0.2	0.2	3.49		MAROOT	28/10/2016 11:51:16
CUT	40	Lap	1	1/8	45.1	99.9	8	0.08	0.16	0.16	2.55		MAROOT	04/03/2017 16:48:34

รูปที่ 4.28 ตัวอย่าง หน้าต่างข้อมูลเทปพันแบบซ้อนเหลื่อม และแบบมีช่องว่าง

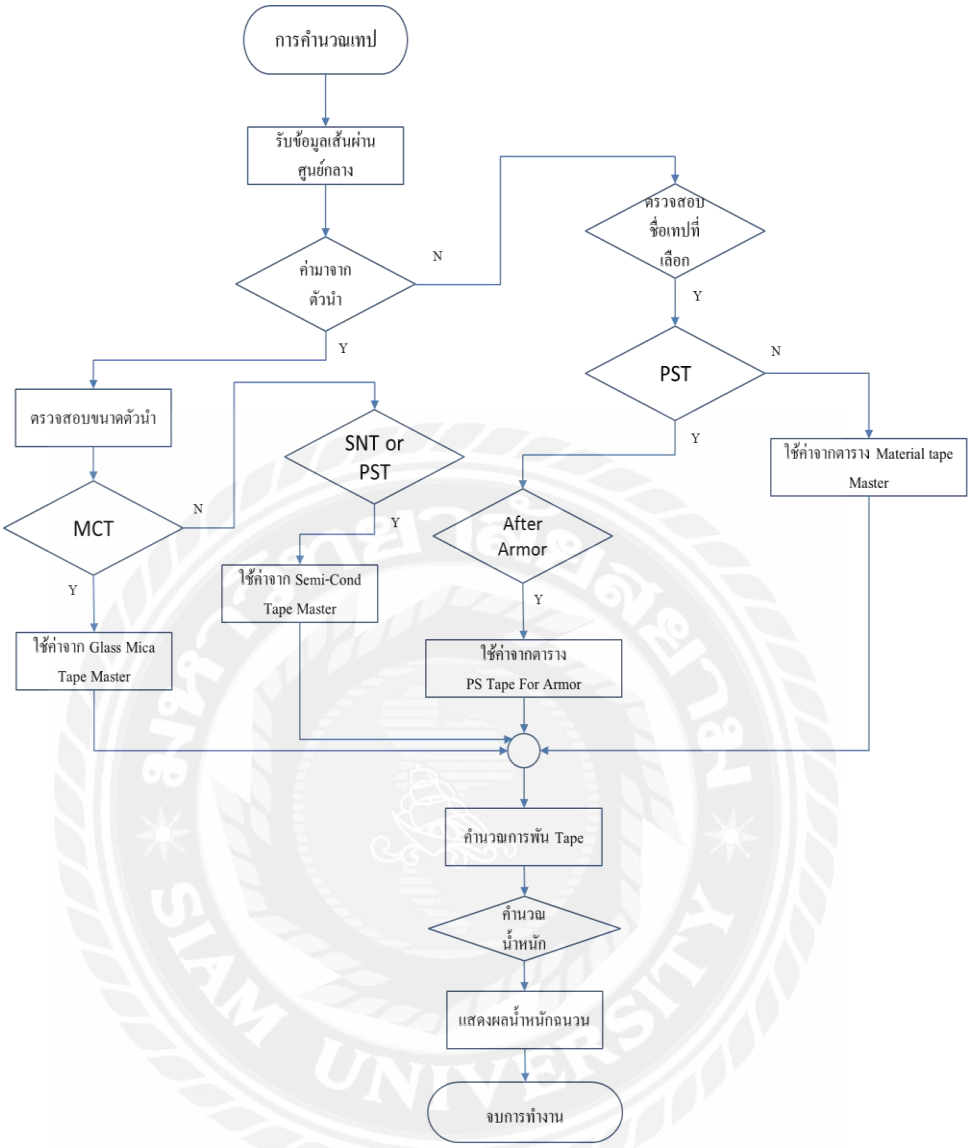
3. เทปแบบห่อตัวนำ จะเป็นเทปที่ใช้พันบนตัวนำโดยตรง โดยวัตถุประสงค์เพื่อลดความเครียดทางไฟฟ้า หรือป้องกันทองแดงดำในการผลิตสาย CV


Semi-Con Nylon Tape Master

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F10-Save | ESC-Close

Material Type	Size Of Wire	Width	Thick	Weight One Core	Weight Three Core	Wrap	Value S	SemiNylon Tape Remark	Edit User
PST	10	16	0.023	0.0	0.0	0	1.39		ADMIN
PST	16	20	0.023	0.0	0.0	0	1.39		ADMIN
PST	25	25	0.023	0.0	0.0	0	1.39		ADMIN
PST	35	32	0.023	0.0	0.0	0	1.39		ADMIN

รูปที่ 4.29 ตัวอย่าง หน้าต่างข้อมูลเทปพันแบบห่อตัวนำ



รูปที่ 4.30 ขั้นตอนการพัน Tape

4.3.5 เปลือก (Sheath)

เปลือก คือส่วนที่ห่อหุ้มนอกสุดของสายไฟ ในกรณีที่มีการหุ้ม 2 ชั้น จะเรียกชั้นที่อยู่ใต้เปลือกนอกว่า เปลือกนอกชั้นใน ชนิดของเปลือกที่ใช้อยู่ในโรงงานปัจจุบันนี้ แยกออกได้เป็น PVC (Polyvinyl- chloride) และ PE (Polyethylene)

1) การคำนวณความหนาเปลือก

ในการคำนวณความหนาเปลือกจะใช้สูตรการคำนวณความหนาเริ่มต้นโดยอ้างอิงจากสูตรตาม IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ซึ่งการหาความหนาของเปลือกนั้นจะแบ่งเป็น 3 กรณี คือ

1.1) การคำนวณควาหนาเปลือกชั้นใน (Inner Sheath)

$$t_{s-inner} = \left(0.02 \times D_{bs}\right) + 0.6 \qquad (4.29)$$

ในที่นี้

$t_{s-inner}$ = ความหนาเปลือกชั้นใน (mm)

D_{bs} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนหุ้มเปลือก (mm)

1.2) การคำนวณควาหนาเปลือกชั้นนอก (Outer Sheath)

$$t_{s-outer} = \left(0.035 \times D_{bs}\right) + 1 \qquad (4.30)$$

ในที่นี้

$t_{s-outer}$ = ความหนาเปลือกชั้นนอก (mm)

D_{bs} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนหุ้มเปลือก (mm)

; ค่าเริ่มต้นที่ 1.4 สำหรับสาย 1 แกน

; ค่าเริ่มต้นที่ 1.8 สำหรับสายมากกว่า 1 แกน

2) การคิดเส้นผ่านศูนย์กลางให้เป็นไปตามนี้

$$D_{sh} = D_{bs} + 2t_s \qquad (4.31)$$

ในที่นี้

D_{sh} = เส้นผ่านศูนย์กลางเปลือก (mm)

D_{bs} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนหุ้มเปลือก (mm)

t_s = ความหนาของเปลือก (mm)

3) การคำนวณน้ำหนักเปลือก

ในการคำนวณน้ำหนักของเปลือกนั้นจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ การหุ้มเปลือกแบบไม่แทรกร่อง และการหุ้มเปลือกแบบมีส่วนแทรกร่อง ลักษณะความแตกต่างมาจากในการผลิตสายไฟฟ้าที่มีหลายแกนกรณีที่มีการพันเทปหลังการตีเกลียวแกน (Core Stranding) นั้น ผิวของสายไฟจะกลมแต่

ถ้าในกรณีหลังการตีเกลียวแกนแล้วนั้นไม่มีการพันเทปแต่นำไปหุ้มเปลือกแทน ผลที่ตามมาคือจะมีส่วนที่แทรกร่องเข้าของเกลียวทำให้ต้องคำนวณน้ำหนักในส่วนนั้นด้วย

3.1) การคำนวณน้ำหนักเปลือกแบบไม่มีส่วนแทรกร่อง

$$W_{sh} = \left(\frac{\pi}{4} \times S_{sh}\right) \times \left(D_{sh}{}^{2} - D_{bs}{}^{2}\right) \qquad (4.32)$$

ในที่นี้

W_{sh} = น้ำหนักเปลือกนอก (g/m)

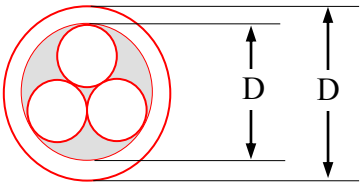
S_{sh} = ความหนาแน่นของสารที่ใช้หุ้มเปลือกนอก (g/cm^3)

D_{bs} = เส้นผ่านศูนย์กลางใต้เปลือกนอก (mm)

D_{sh} = เส้นผ่านศูนย์กลางหลังหุ้มเปลือกนอก (mm)

3.2) การคำนวณน้ำหนักเปลือกแบบมีส่วนแทรกร่อง

การหุ้มเปลือกนอกตามหัวข้อนี้ เป็นลักษณะการหุ้มแน่น เปลือกนอกที่หุ้มจะหุ้มทับลงไปบนแกนที่ตีเกลียวโดยไม่มีเทปคั่นดังนั้นเนื้อสารของเปลือกนอกจะแทรกเข้าไปในร่องเกลียว (ความหนาของเปลือกนอกจะไม่สม่ำเสมอ) การหุ้มเปลือกนอกชั้นใน (Inner Sheath) ส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะนี้ หลักการคำนวณน้ำหนักตามหัวข้อนี้ แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วนส่วนแรกเป็นน้ำหนักของเปลือกนอกที่มีความสม่ำเสมอ (เท่ากับค่าความหนาที่ใช้คำนวณ) ล้อมรอบแกนตีเกลียวอีกส่วนหนึ่งเป็นน้ำหนักส่วนที่แทรกเข้าไปในร่องเกลียว



รูปที่ 4.31 การหุ้มเปลือกแบบมีส่วนแทรก

$$W_{sh} = \left(\frac{\pi}{4} \times S_{sh}\right) \times \left(D_{sh}{}^{2} - D_{bs}{}^{2}\right) + S_{sh} \times C \times D_{bs}{}^{2} \qquad (4.33)$$

ในที่นี้

W_{sh} = น้ำหนักเปลือกนอก (g/m.)

S_{sh} = ความหนาแน่นของสารที่ใช้หุ้มเปลือกนอก(g/cm^3)

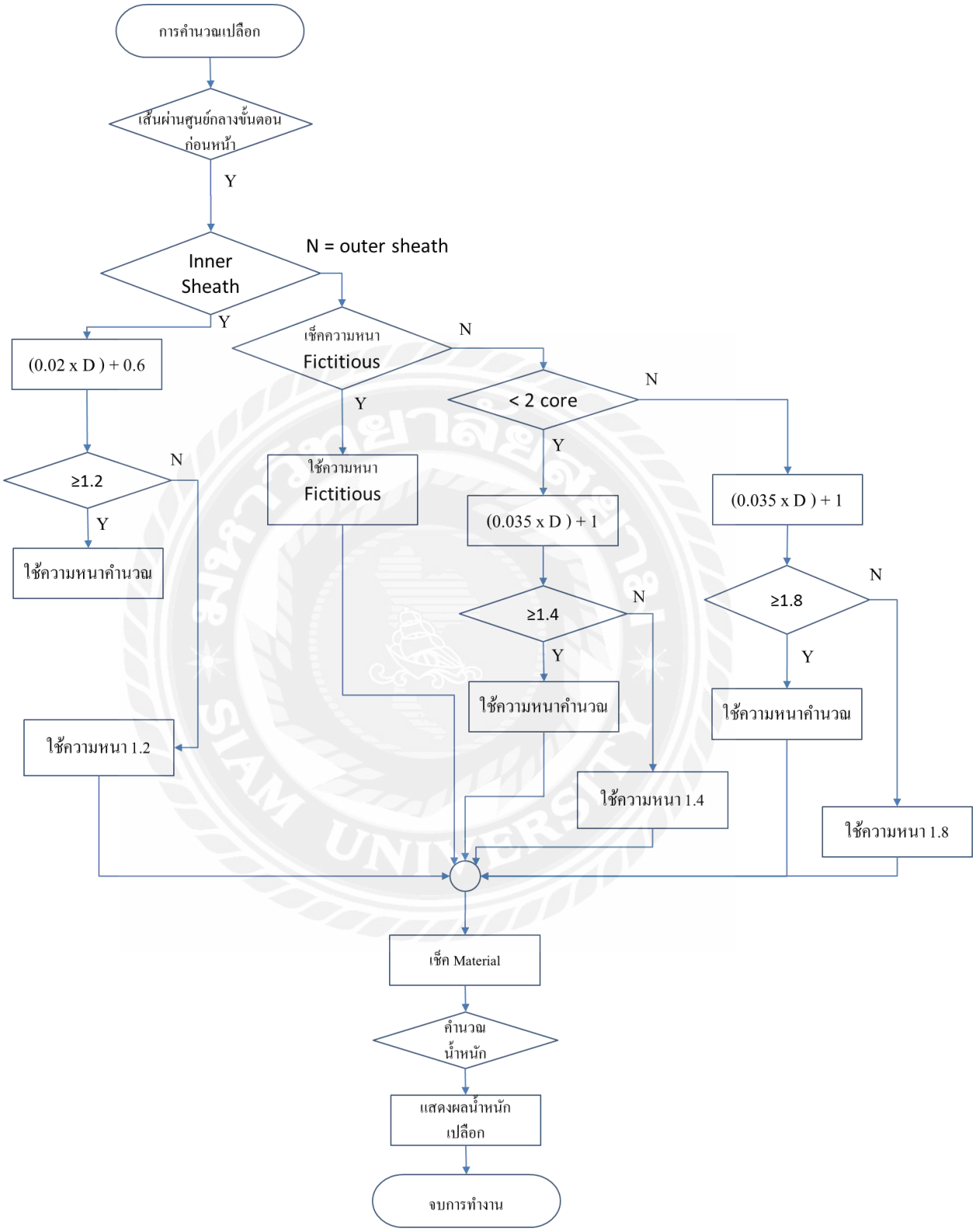
D_{bs} = เส้นผ่านศูนย์กลางใต้เปลือกนอก (mm)

D_{sh} = เส้นผ่านศูนย์กลางหลังหุ้มเปลือกนอก (mm)

C = สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับร่องเกลียว (ดูตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับร่องเกลียว (C)

จำนวนแกน	C	จำนวนแกน	C	จำนวนแกน	C
2	0.393	6 – 7	0.148	12 – 13	0.0994
3	0.268	8	0.126	14	0.0940
4	0.208	9 – 10	0.112	19	0.0743
5	0.172	11	0.0994	30	0.0552



รูปที่ 4.32 การคำนวณความหนาเปลือก

4.3.6 สายเกราะตีเกลียว (Armour wire)

Armour wire คือ สายเกราะตีเกลียวห่อหุ้มสายไฟ ทำหน้าที่เป็นเกราะ สายเกราะที่ใช้อยู่จะมีทั้งอลูมิเนียม (Aluminium Wire) และเหล็กกล้า (Steel Wire) สายเกราะที่ทำด้วยเหล็กกล้าจะชุบสังกะสี สายไฟที่ห่อหุ้มด้วยอลูมิเนียมจะต่อท้ายชื่อด้วย AWA ส่วนที่ห่อหุ้มด้วยสายเหล็กกล้าจะต่อท้ายชื่อด้วยอักษรย่อ SWA ในการตีเกลียวสายเกราะบนสายไฟนั้นจะตีเรียงสายเกราะให้ชิดติดกัน และปิดสายไฟมิดชิดเท่าที่จะทำได้ขนาดของสายเกราะตามมาตรฐาน IEC ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3.8 ค่าดังกล่างอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1, IEC 60502-2

ตารางที่ 4.7 ขนาดของสายเกราะตามมาตรฐาน IEC

เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟ (mm.)	ขนาดของสายเกราะ (mm.)
0 – 10.3	0.80
10.4 – 15.0	1.25
15.1 – 20.7	1.60
20.8 – 35.0	2.00
35.1 – 60.0	2.50
ตั้งแต่ 60.1 ขึ้นไป	3.15

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าเป็นสายอลูมิเนียมจะใช้ขนาดเล็กที่สุดคือ 1.25 mm.

1) การคำนวณหาจำนวนเส้นของสายเกราะ

$$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba} + d_a}{d_a} \right) \times \pi \times \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{D_{ba} + d_a}{P_a} \right) \times \pi \right] \qquad (4.34)$$

โดยที่

$$P_a = R_a \times D_{ba} \qquad (4.35)$$

จะได้

$$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba} + d_a}{d_a} \right) \times \pi \times \cos \left[\tan^{-1} \frac{\pi}{R} \right] \qquad (4.36)$$

ในที่นี้

N_{aw} = จำนวนเส้นสายเกราะ

D_{ba} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีสายเกราะ (mm)

d_a = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายเกราะ (mm)

R = จำนวนเท่าในการตีเกลียวปัจจุบันกำหนดให้เริ่มต้นเท่ากับ 12

P_a = Pitch ในการตีเกลียว

ข้อกำหนดของการผลิต

1. การคำนวณถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีสายเกราะ (D_{ba}) < 25 mm. จำนวนเส้นสูงสุดที่เครื่องทำได้ 42 เส้น

2. การคำนวณถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีสายเกราะ(D_{ba}) ≥ 25 mm. จำนวนเส้นสูงสุดที่เครื่องทำได้ 80 เส้น

3. การผลิตจริงจำนวนเส้นของสายเกราะสามารถเพิ่มหรือลดได้ ± 3 เส้น

2) อัตราการตีเกลียว (Pitch)

สำหรับการคำนวณ Pitch นั้น ให้เป็นไปตามนี้

$$Pitch = \left(D_{ba} + d_a\right) \times Pitch \cdot ratio \qquad (4.37)$$

ในที่นี้

D_{ba} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีสายเกราะ (mm)

d_a = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายเกราะ (mm)

โดยการคำนวณ Pitch ratio เริ่มต้นให้เท่ากับ 12

3) เส้นผ่านศูนย์กลางหลังลงสายเหล็ก

ในการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางหลังลงสายเหล็ก ให้เป็นไปตามนี้

$$D_a = D_{ba} + 2d_a \qquad (4.38)$$

ในที่นี้

D_a = เส้นผ่านศูนย์กลางหลังจากลงสายเหล็ก (mm)

D_{ba} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนลงสายเหล็ก (mm)

d_a = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายเหล็ก (mm)

4) การคำนวณน้ำหนักสายเกราะ

$$W_a = K_a \times d_a^{\,2} \times n_a \qquad (4.39)$$

ในที่นี้

W_a = น้ำหนักของสายเกราะ (g/m)

n_a = จำนวนเส้นของสายเหล็ก

d_a = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายเหล็ก (mm)

K_a = ค่าคงที่หาน้ำหนัก Armour

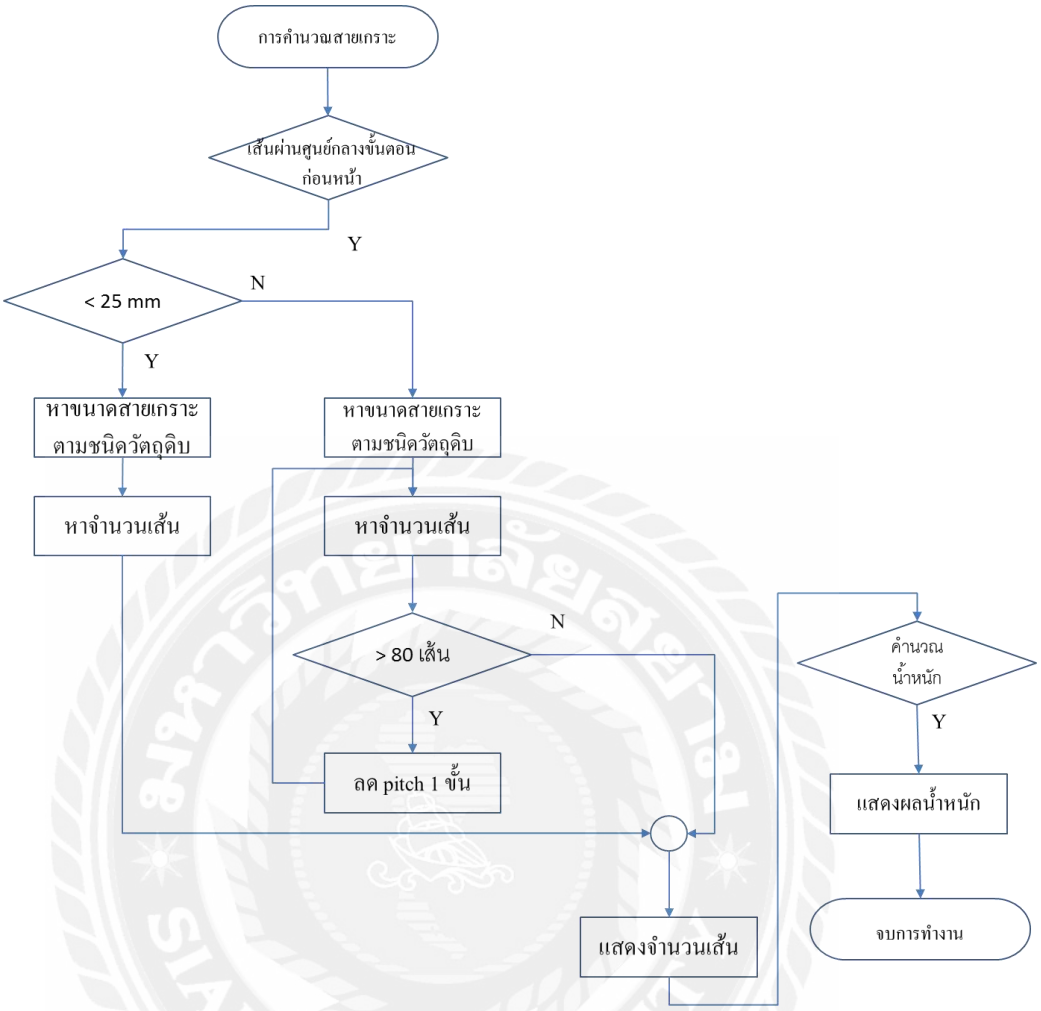
สายเหล็ก $K_a = 6.15 \times \sqrt{\left(\frac{1+9.8696}{Ptich.ratio}\right)}$

สายอลูมิเนียม $K_a =$ 2.195 (เนื่องจากการผลิตโดยปกติไม่เคยพบปัญหาการลด Pitch)

เนื่องจากเครื่องจักรในบริษัท ไม่สามารถตีเกลียวหุ้มเกิน 80 เส้นได้ซึ่งจะเป็นเฉพาะในกรณีสายเหล็ก จากผู้วิจัยจึงปรับการคำนวณให้ลด Pitch ลงเพื่อให้ได้จำนวนเส้นไม่เกิน 80 เส้นจึงทำการปรึกษาฝ่ายวิศวกรรมการผลิตเพื่อหาอัตรา Pitch ที่เหมาะสม โดยจะมีผลต่อค่า K_a และตัวคูณจำนวนเส้น

ตารางที่ 4.8 ตารางการคำนวนจำนวนเส้นและน้ำหนักที่มีผลจากการปรับ Pitch สายเหล็ก

จำนวนเท่าของ Pitch	จำนวนเส้นของสายเหล็ก	น้ำหนักสายเหล็ก
Pitch 4 time	$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba}+d_a}{d_a}\right) \times 2.47$	$W_a = 7.82 \times d_a^{\,2} \times n_a$
Pitch 5 time	$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba}+d_a}{d_a}\right) \times 2.66$	$W_a = 7.26 \times d_a^{\,2} \times n_a$
Pitch 6 time	$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba}+d_a}{d_a}\right) \times 2.78$	$W_a = 6.94 \times d_a^{\,2} \times n_a$
Pitch 10 time	$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba}+d_a}{d_a}\right) \times 3.00$	$W_a = 6.45 \times d_a^{\,2} \times n_a$
Pitch 11 time	$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba}+d_a}{d_a}\right) \times 3.02$	$W_a = 6.40 \times d_a^{\,2} \times n_a$
Pitch 12 time	$N_{aw} = \left(\frac{D_{ba}+d_a}{d_a}\right) \times 3.04$	$W_a = 6.36 \times d_a^{\,2} \times n_a$



รูปที่ 4.33 การคำนวณสายเกราะตีเกลียว (Armor)

Armor Wire Master

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F10-Save | ESC-Close

Material	ArmorDia		Armor Size Value	Pitch Times	Pitch Value	Value F	Armor Remark	Edit User	Edit Date
	From	To							
AWA	60.1	200.0	3.15	12	3.04	2.195		MAROOT	21/04/2017 15:38:04
AWA	0.1	10.3	0.80	6	2.78	2.195		MAROOT	24/02/2017 11:44:30
AWA	10.4	15.0	1.25	6	2.78	2.195		MAROOT	24/02/2017 11:44:31
AWA	15.1	20.7	1.60	6	2.78	2.195		MAROOT	24/02/2017 11:44:32
AWA	20.8	35.0	2.00	6	2.78	2.195		MAROOT	24/02/2017 11:44:33
AWA	35.1	60.0	2.50	6	2.78	2.195		MAROOT	24/02/2017 11:44:34
AWA	60.1	200.0	3.15	6	2.78	2.195		MAROOT	24/02/2017 11:44:36
SWA	0.1	10.3	0.80	12	3.04	6.36		MAROOT	21/04/2017 15:37:08
SWA	10.4	15.0	1.25	12	3.04	6.36		MAROOT	21/04/2017 15:37:11
SWA	15.1	20.7	1.60	12	3.04	6.36		MAROOT	21/04/2017 15:37:13
SWA	20.8	35.0	2.00	12	3.04	6.36		MAROOT	21/04/2017 15:37:18
SWA	35.1	60.0	2.50	12	3.04	6.36		MAROOT	21/04/2017 15:37:21
SWA	60.1	200.0	3.15	12	3.04	6.36		MAROOT	21/04/2017 15:37:24

รูปที่ 4.34 หน้าต่างโปรแกรม Armor Wire Master

จากรูปที่ 4.34 ผู้วิจัยได้จัดทำตารางของสายเกราะตีเกลียว โดยในส่วนของ Steel wire - armor ได้ใส่ค่า Pitch ที่มีการลดลงไปด้วยเพื่อให้โปรแกรมไม่ต้องคำนวณค่าตัวคูณจำนวนเส้น และค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักใหม่ใหม่ให้ใช้ค่าคำนวณจากตารางได้เลย

4.3.7 ตัวนำกระจาย (Concentric Conducter & Cu. Wire Screen)

Concentric Conductor และ Cu. Wire screen ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า "ตัวนำกระจาย" มีลักษณะเป็นเส้นลวดตัวนำหลายเส้นตีเกลียวสม่ำเสมออยู่โดยรอบ ส่วนที่หุ้มทับอยู่บนแกนของสายเฟสซึ่งตีเกลียวเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นจะพันเทปแล้วหุ้มเปลือกนอกอีกชั้นหนึ่ง Concentric Conductor และ Cu. Wire screen จะต่างกันตรงเทปที่พันหลังจากตีเกลียวตัวนำกระจายเท่านั้น ถ้าพันเทปด้วย Spun bond tape จะเรียกว่า Concentric Conductor แต่ถ้าพันเทปด้วย Contact Tape จะเรียกว่า Cu. Wire Screen ตัวนำกระจายโดยปกติจะมีพื้นที่หน้าตัดรวมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสายเฟสเส้นหนึ่งตัวนำกระจายนี้ทำหน้าที่เป็นสายศูนย์หรืออาจเป็นตัวนำคุ้มกันสายก็ได้ (Protective Conductor) ในเวลาเดียวกันตัวนำกระจายนี้อาจยังทำหน้าที่เป็น Shield ได้อีกด้วย ในปัจจุบันตัวนำกระจายที่นิยมใช้จะเป็น Cu. Wire screen เนื่องจากมี Copper contact tape เชื่อมต่อกันทำให้เมื่อช่วงใดช่วงหนึ่งขาดก็จะไม่ส่งผลต่อการทนกระแสกรณี Short Circuit ต่างจาก Concentric Conductor เมื่อเส้นใดเส้นหนึ่งขาดก็จะทำให้ความสามารถในการทนกระแสลดลง ในบริษัทแห่งนี้ปัจจุบันได้ยกเลิก Concentric Conductor มาใช้ Cu. Wire Screen แทน

รูปที่ 3.35 สายไฟฟ้าที่มี Copper wire screen

1) ขนาดของตัวนำกระจาย

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำกระจายได้พิจารณาขนาดที่มีใช้อยู่แล้วตามมาตรฐานมอก.11-2553 เพื่อให้สอดคล้องกับตัวนำที่ผลิตอยู่เป็นประจำสำหรับสายไฟที่ทำตามมาตรฐานดังกล่าว ขนาดของตัวนำให้เป็นไปตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ขนาดของตัวนำกระจาย

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)
0.5	1.38	2.14
0.6	1.53	2.25
0.67	1.7	2.52
0.8	1.78	2.76
1.04	1.83	2.85
1.13	2.03	3.57

2) หลักการคำนวณจำนวนเส้นและขนาด

การคำนวณเกี่ยวกับเรื่องตัวนำกระจายนี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ

2.1) จำนวนเส้นของเส้นลวดตัวนำ ซึ่งเมื่อตีเกลียวรอบพื้นที่ผิวรองรับแล้ว ระยะห่างระหว่างตัวนำที่ใกล้กัน 2 เส้นจะต้อง ไม่เกิดช่องว่างเกินกว่า 4 mm.

2.2) พื้นที่หน้าตัดรวมของตัวนำกระจาย จะต้องให้ตรงหรือใกล้เคียงกับพื้นที่หน้าตัดระบุของตัวนำกระจายนั้นๆ

ขั้นตอนการคำนวณตัวนำกระจาย

1) สูตรการคำนวณ

จากข้อกำหนดในข้อ 2.1) และ 2.2) จะสามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนเส้นของตัวนำกระจายได้ดังนี้

$$d_{cw} = \sqrt{\left(\frac{A_{cw}}{0.61685 \times D_{bcw}} \right)} \qquad (4.40)$$

$$n_{cw} = \frac{A_{cw}}{0.7854 \times d_{cw}^{\ 2}} \qquad (4.41)$$

ในที่นี้

d_{cw} = เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดของตัวนำกระจาย(mm)

n_{cw} = จำนวนเส้นลวดตัวนำกระจาย

A_{cw} = พื้นที่หน้าตัดระบุของตัวนำกระจาย (mm²)

D_{bcw} = เส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนตีเกลียวตัวนำกระจาย(mm)

การคำนวณให้เริ่มต้นคำนวณจากสมการ 4.40 เมื่อได้ค่า d_{cw} ออกมาแล้วให้นำค่านี้ไปตรวจสอบกับขนาดเส้นลวดตัวนำกระจายในตารางที่ 4.9 เลือกใช้ขนาดที่มีอยู่ในตารางซึ่งใกล้เคียงกับค่า d_{cw} ที่คำนวณมากที่สุด โดยไม่คำนึงถึงว่าจะเล็กหรือใหญ่กว่า จากนั้นใช่ค่า d_{cw} ซึ่งเลือกจากตารางที่ 4.9 แทนในสมการที่ 4.41 เมื่อคำนวณค่า n_{cw} ออกมาได้ ให้ปัดจุดทศนิยมทิ้งหมดค่า d_{cw} และ n_{cw} ที่ได้ตามข้อ 2.1) และ 2.2) นี้ยังไม่สรุปได้ว่าเป็นค่าที่ใช้ได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบตามต่อไปดังนี้

ก) จำนวนเส้นของตัวนำกระจาย ถ้าคำนวณค่า n_{cw} ได้มากกว่า 80 เส้น ถือว่าใช้ไม่ได้เนื่องจากว่าเกินความสามารถของเครื่องที่จะทำได้ให้เปลี่ยนค่า d_{cw} ใหญ่ขึ้นไปอีกขนาดหนึ่งตามตารางที่ 4.9 แล้วคำนวณหาค่า n_{cw} ตามสมการที่ 4.41 จากนั้นจึงย้อนกลับมาตรวจสอบตามหัวข้อตามหัวข้อ ข) นี้ต่อไปอีก

ข) พื้นที่หน้าตัดของตัวนำกระจายที่คำนวณได้

$$A_{cw1} = 0.7854 \times {d_{cw}}^2 \times n_{cw} \qquad (4.42)$$

ในที่นี้

A_{cw1}	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวนำกระจาย	(mm^2)
d_{cw}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำตัวนำ	(mm)
n_{cw}	=	จำนวนเส้นของตัวนำกระจาย	

ให้นำค่าพื้นที่หน้าตัดคำนวณนี้เทียบกับพื้นที่หน้าตัดระบุค่าที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 98% ตามข้อกำหนดของ ASTM B 231นั้นคือ

$$\frac{A_{cw1}}{A_{cw}} \geq 0.98 \qquad (4.42)$$

ในที่นี้

A_{cw1}	=	พื้นที่หน้าตัดคำนวณของตัวนำกระจาย	(mm^2)
A_n	=	พื้นที่หน้าตัดระบุของตัวนำกระจาย	(mm^2)

ถ้า $\frac{A_{cw1}}{A_{cw}} < 0.98$ ให้เพิ่มจำนวนเส้น (คือค่า n_{cw}) ขึ้นอีก 1 เส้น (แต่ไม่เกิน 80 เส้น)

จากสมการที่ 4.40 และ 4.41 ได้มาโดยวิธีการต่อไปนี้

การคำนวณนั้นคำนึงถึงตัวแปรค่า (Variable) พร้อมกัน 2 ตัว คือเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำกระจาย (d_{cw}) และจำนวนเส้นของตัวนำกระจาย (n_{cw}) ซึ่งจะตั้งสมการได้ 2 สมการ คือ

$$A_n = 0.7854 \times {d_{cw}}^2 \times n_{cw} \qquad (4.43)$$

$$n_{cw} = \frac{\pi \times (D_{bcw} + d_{cw})}{4 + d_{cw}} \qquad (4.44)$$

ในที่นี้

A_n	=	พื้นที่หน้าตัดระบุของตัวนำกระจาย	(mm^2)
n_{cw}	=	จำนวนเส้นของตัวนำกระจาย	
d_{cw}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำกระจาย	(mm)
D_{bcw}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนใส่ตัวนำกระจาย	(mm)

สมการที่ 4.43 เป็นการคิดพื้นที่หน้าตัดธรรมดา ส่วนสมการที่ 4.44 คิดจำนวนเส้นของตัวนำกระจาย โดยการคิดว่าให้ลวดตัวนำ 2 เส้นที่อยู่ถัดกันมีระยะห่างระหว่างผิวสูงสุด 4 mm. แทนค่า n_{cw} จากสมการ 4.44 ลงในสมการ 4.43

$$A_n = \frac{0.7854 \times {d_{cw}}^2 \times \pi \times (D_{bcw} + d_{cw})}{4 + d_{cw}} \qquad (4.45)$$

ในการแก้สมการ 4.45 เพื่อหาค่า d_{cw} ออกมา เป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะเป็นสมการกำลังที่ 3 อีกประการหนึ่งค่า d_{cw} ที่คำนวณออกมาได้เราต้องนำไปปรับค่าเทียบกับค่า d_{cw} ที่กำหนดไว้แล้วในตารางที่ 4.9 ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นจึงตัดค่า d_{cw} ในวงเล็บออก สมการ 4.43 ก็จะเป็น

$$A_n = \frac{0.7854 \times {d_{cw}}^2 \times \pi \times D_{bcw}}{4} \qquad (4.46)$$

จะได้

$$A_n = 0.61685 \times {d_{cw}}^2 \times D_{bcw} \qquad (4.47)$$

ดังนั้น $$d_{cw}{}^{2} = \sqrt{\left(\frac{A_n}{0.61685 \times D_{bcw}} \right)} \quad (4.48)$$

ซึ่งตรงกับสมการที่ 4.40 สำหรับอัตราส่วน $\frac{A_{cw1}}{A_{cw}} \geq 0.98\,\%$ ยึดถือตามข้อกำหนดของ ASTM B 231

ค) ระยะห่างระหว่างเส้นลวดของตัวนำกระจาย ให้คำนวณดังนี้

$$S = \left[\frac{(D_{bcw} + d_{cw})\pi}{n_{cw}} \right] - L \quad (4.46)$$

โดยที่

$$L = (D_{bcw} + d_{cw}) \times \sin^{-1}\left(\frac{d_{cw}}{d_{cw} + D_{bcw}} \right) \quad (4.47)$$

ในที่นี้

S = ระยะห่างระหว่างผิวของตัวนำ 2 เส้นที่อยู่ถัดกัน (mm)

D_{bcw} = เส้นผ่านศูนย์กลางสายไฟก่อนลงตัวนำกระจาย (mm)

d_{cw} = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำกระจาย (mm)

n_{cw} = จำนวนเส้นของตัวนำกระจาย

L = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวนำ 2 เส้นที่อยู่ถัดกัน (mm.)

ค่า S ที่คำนวณตามสมการ (4.46) ต้องไม่เกิน 4.0 ถ้าค่า S เกิน 4.0 mm. ต้องแก้ไขโดยการเปลี่ยนไปใช้ค่า d_{cw} ที่เล็กลงไปอีกชั้นหนึ่งตามตารางที่ 4.9 แล้วคำนวณค่า n_{cw} ออกมาตามสมการที่ 4.41 โดยใช้กฎเกณฑ์ในข้อ ข) จากนั้นจึงย้อนมาตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งตามหัวข้อ ค) นี้

3) การคำนวณความยาว Pitch ของตัวนำกระจายให้เป็นไปตามนี้

$$L_{pitch} = N_{cw} \times D_{cw} \quad (4.48)$$

ในที่นี้

L_{pitch} = ความยาว Pitch ของตัวนำกระจาย

D_{cw} = เส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียวตัวนำกระจาย (mm)

N_{cw} = จำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียว (N=8)

เส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียว คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ผ่านจุดศูนย์กลางของตัวนำกระจาย ซึ่งสามารถหาได้ตามความสัมพันธ์ข้างล่างนี้

$$D_{cw} = D_{bcw} + d_{cw} \quad (4.49)$$

D_{bcw} = เส้นผ่านศูนย์กลางสายไฟก่อนลงตัวนำกระจาย(mm)

d_{cw} = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำกระจาย (mm)

เส้นผ่านศูนย์กลางหลังใส่ตัวนำกระจาย ในการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางหลังใส่ตัวนำกระจาย ให้เป็นไปตามนี้

$$D_{acw} = D_{bcw} + 2d_{cw} \quad (4.50)$$

ในที่นี้

D_{acw} = เส้นผ่านศูนย์กลางหลังใส่ตัวนำกระจาย (mm)

D_{bcw} = เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนใส่ตัวนำกระจาย (mm)

d_{cw} = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำกระจาย (mm)

4) การคำนวณน้ำหนักของตัวนำกระจาย

$$W_{cw} = 7.014 \times n_{cw} \times {d_{cw}}^2 \times P_{cw} \quad (4.51)$$

ในที่นี้

W_{cw} = น้ำหนักของตัวนำกระจาย (g/m)

n_{cw} = จำนวนเส้นของตัวนำกระจาย

d_{cw} = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำกระจาย (mm)

P_{cw} = สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักจากการตีเกลียว (1.074)

Pitch และน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากการตีเกลียว ซึ่งกำหนดความยาว Pitch เป็น 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียว แทนที่จะเป็น 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีเกลียว (เส้นผ่านศูนย์กลางใต้เส้นลวดตัวนำกระจาย) เนื่องจากได้เกิดปัญหาขึ้นเกี่ยวกับการหาตัวคูณการ

เพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการตีเกลียวเพราะถ้าใช้ตัวคูณกับเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีเกลียว ตัวคูณน้ำหนักจะเพิ่มเนื่องจากการตีเกลียว จะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนตีเกลียวซึ่งทำให้กำหนดค่าแน่นอนลงไปไม่ได้ แต่ถ้ากำหนดความยาว Pitch เป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียว (Diameter of helical path of the wire) แล้วจะได้ค่า P เท่ากันหมดทุกขนาดของสายไฟ ถ้ากำหนดจำนวนเท่าของตัวคูณตอนหาความยาว Pitch เท่ากัน ทั้งนี้โดยพิจารณาจากสูตรที่ได้จาก ASTM B 231 คือ

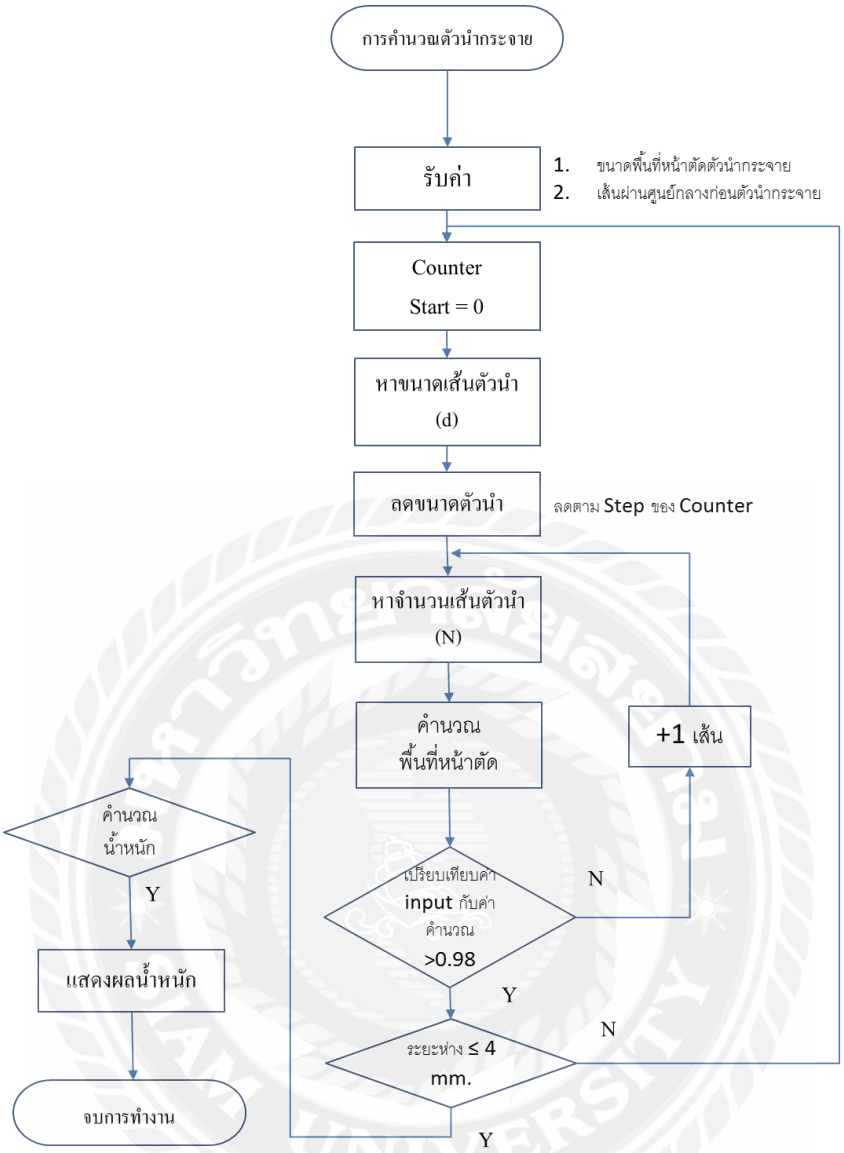
$$m = 1 + \frac{9.8696}{N_{cw}^{\ 2}} \qquad (4.52)$$

ซึ่งกำหนดว่า

m = ตัวคูณการเพิ่มความยาวเนื่องจากการตีเกลียว

N_{cw} = อัตราส่วนของความยาว Pitch ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของการตีเกลียว

เมื่อแทนค่า $N_{cw} = 8$ จะได้ค่า $m = 1.074$



รูปที่ 4.36 ขั้นตอนการคำนวณตัวนำกระจาย

4.3.8 ตัวกั้นตัวนำและฉนวน (Conductor & Insualtion Screen)

ตัวกั้นตัวนำและฉนวน ส่วนนี้เป็นส่วนประกอบของระดับแรงดันตั้งแต่ 3.6/6KV ขึ้นไปทำหน้าที่กระจายความเครียดของสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60502-2 โดยการคำนวณจะมีลักษณะเดียวกับการคำนวณของฉนวน (Insulation) แตกต่างกันเพียงวัตถุดิบที่ใช้ในการหุ้มเท่านั้นโดยทำการกำหนดเงื่อนไขให้ดึงข้อมูลความหนาที่ทำการหุ้มจากตารางของโปรแกรมดังรูปที่ 4.37 และ รูปที่ 4.38

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F7-Cancel | F1

Voltage Type	Diameter		Thick	EditUser	EditDate
	FromSize	ToSize			
3.6/6	10	400	0.5	MAROOT	21/4/2017 15:44:57
3.6/6	500	1000	0.7	MAROOT	21/4/2017 15:44:59
6/10	10	400	0.5	MAROOT	21/4/2017 15:45:02
6/10	500	1000	0.7	MAROOT	21/4/2017 15:45:05
8.7/15	25	400	0.5	MAROOT	21/4/2017 15:45:07
8.7/15	500	1000	0.7	MAROOT	21/4/2017 15:45:09
12/20	25	400	0.5	MAROOT	21/4/2017 15:45:11
12/20	500	1000	0.7	MAROOT	21/4/2017 15:45:12
18/30	25	400	0.5	MAROOT	21/4/2017 15:45:14
18/30	500	1000	0.7	MAROOT	21/4/2017 15:45:17

รูปที่ 4.37 ตารางข้อมูลความหนาตัวกั้นตัวนำ (Conductor Screen)

INS-New | F2-Edit | Del-Delete | F1-Search | F4-Print | F

Voltage Type	FromSize	ToSize	Thick	EditUser	EditDate
3.6/6	10	1000	0.5	MAROOT	22/9/2017 16:39:18
6/10	16	1000	0.5	MAROOT	22/9/2017 16:39:21
8.7/15	25	1000	0.5	MAROOT	21/4/2017 16:15:41
12/20	35	1000	0.5	MAROOT	22/9/2017 16:39:41
18/30	35	1000	0.5	MAROOT	22/9/2017 16:39:46

รูปที่ 4.38 ตารางข้อมูลความหนาตัวกั้นฉนวน (Insulation Screen)

จากการรวบรวมเงื่อนไขในการผลิตและสูตรคำนวณในการออกแบบสายไฟฟ้า พบว่าสูตรที่ได้ทำการรวบรวมสามารถครอบคลุมเงื่อนไขในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1, IEC 60502-2 ที่ทำการผลิตในปัจจุบันได้ทั้งหมด เนื่องจากได้มีการปรับปรุงรูปแบบการคำนวณให้ง่ายขึ้นและแก้ไขสูตรที่ผิดพลาด ซึ่งได้นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและทำการตรวจสอบความถูกต้องกับทางแผนกออกแบบสายไฟฟ้าแล้ว ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการออกแบบตามรูปแบบดังกล่าว ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลไปทำการกำหนดเงื่อนไขและวางรูปแบบของโปรแกรมให้กับโปรแกรมเมอร์ เพื่อทำการพัฒนาโปรแกรมต่อไป

บทที่ 5
รูปแบบโปรแกรมและการใช้งาน

จากการรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอนการผลิต และนำมากำหนดเป็นเงื่อนไขการคำนวณของโปรแกรมรวมทั้งได้กำหนดหน้าต่างข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ไขโปรแกรม Pro_Design ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลและออกแบบในส่วนดังกล่าวจนครบทุกขั้นตอนแล้ว ในบทนี้ผู้วิจัยจะทำการกำหนดรูปแบบในส่วนของการ Input ข้อมูลและการใช้งานของโปรแกรมโดยเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบโปรแกรม จุดประสงค์เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกันและทำการออกแบบรูปแบบของการใช้งานโดยให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงมากที่สุด เพื่อที่จะให้พนักงานในแผนกออกแบบสายไฟฟ้าในบริษัทที่ทำการศึกษาในครั้งนี้นั้นสามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้อย่างง่ายและไม่ยุ่งยากจนเกินไป

5.1 รูปแบบฟังก์ชั่นใช้งาน

จากการออกแบบการคำนวณและตารางการแก้ไขข้อมูลที่ได้ดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น ลักษณะของขั้นตอนต่างๆจะถูกแยกการคำนวณจากกันโดยใช้เพียงการรับ Input จากค่า Diameter ของ Process ก่อนหน้าและทำการคำนวณไปจนครบ Process ที่ได้ทำการเลือก จากการออกแบบขั้นตอนของ Process มีการแยกออกจากกันทำให้การใช้งานมีความสะดวกในการเพิ่มหรือลด Process ในกรณีที่ต้องมีการแก้ไขมาตรฐานการผลิต การกำหนดรูปแบบของหน้าต่างใช้งานในการรับ Input ข้อมูลจะถูกออกแบบตามหลักการใช้งานจริงโดยได้ทำการปรึกษาแผนกออกแบบสายไฟฟ้า ได้ความเห็นว่าควรจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ชื่อสายไฟฟ้า และมาตรฐานอ้างอิง

ในส่วนของชื่อสายไฟฟ้าและมาตรฐานอ้างอิงจะกล่าวถึง ชื่อของสายไฟฟ้า, หมายเลขมาตรฐานการผลิตภายใน, มาตรฐานภายนอกที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิต, ชื่อลูกค้า เป็นต้นโดยส่วนนี้จะไม่มีผลต่อการคำนวณใดๆ เป็นเพียงส่วนที่ใช้ในการอธิบายรายละเอียดเท่านั้น

2. ส่วนที่ใช้กำหนดค่าควบคุมการผลิต

ส่วนที่ใช้ในกำหนดค่าควบคุม เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดในการออกแบบโปรแกรม เนื่องจากส่วนนี้จะมีความเกี่ยวข้องในการเลือกแสดงค่าของโปรแกรม เช่น ความหนา, การพันเทปต่างๆ, ตัวคูณ

อัตราการตีเกลียวแกน เป็นต้น โดยแบ่งเป็นการเลือกระดับแรงดันไฟฟ้า และค่าควบคุมโครงสร้าง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 ระดับแรงดันไฟฟ้า (Rate Voltage)

เนื่องจากมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 รวมถึงมาตรฐานอื่นๆที่ใช้ในการอ้างอิงในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้านั้นจะใช้แรงดันเป็นตัวแปรในการอ้างอิงโครงสร้างต่างๆ เนื่องจากเป็นปัจจัยจากผลของแรงดันและความปลอดภัยในการนำไปใช้งานของสายไฟฟ้าแต่ละชนิด ทำให้เมื่อทำการเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าแล้วนั้นจะเป็นการเช็คเงื่อนไขของแต่ละ Process เนื่องจากแต่ละ Process นั้นจะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าในส่วนของตารางข้อมูลทั้งหมดในส่วนที่ความเกี่ยวข้องกับข้อกำหนดที่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าเป็นเงื่อนไขในการเลือก

2.2 ค่าควบคุมโครงสร้าง

ในส่วนค่าควบคุมโครงสร้างนี้ จะเป็นการเลือกที่ไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานสากลแต่เป็นข้อกำหนดภายในบริษัท ได้แก่ ค่าตัวคูณลดของการตีเกลียวแกนโดยแบ่งตามชนิดของฉนวนและกลุ่มสาย (Kind of cable group), ความหนาฉนวนที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานจากกรณีที่ลูกค้าขอมาเป็นพิเศษ (Fictitious) และฟังก์ชั่นพิเศษที่ใช้ในกรณีการพันเทปสายทนไฟแบบไม่มี Armor (Flame cable without armor) โดยทั้ง 3 ฟังก์ชั่นนี้เป็นตัวแปรที่ขาดไม่ได้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตของโรงงานที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ในปัจจุบัน

2.3 รายละเอียดโครงสร้างและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

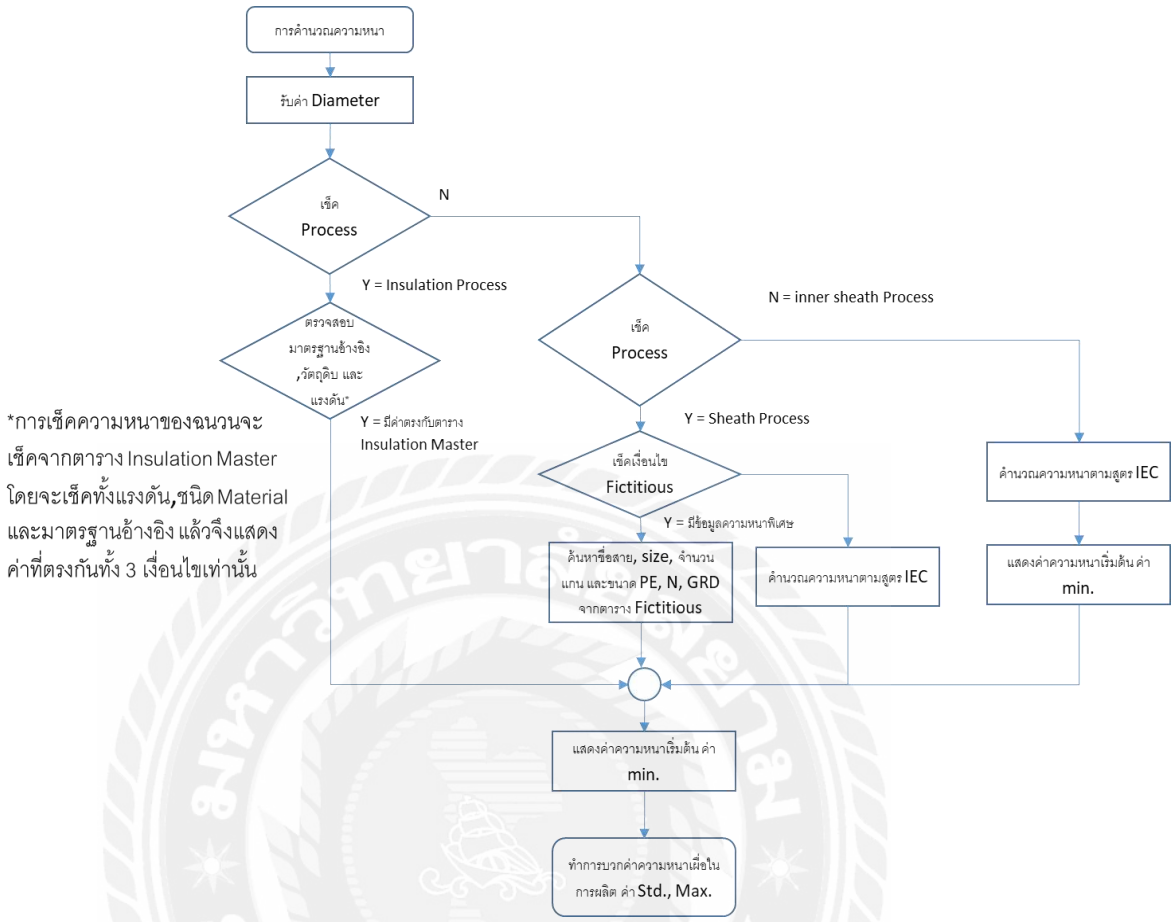
ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการ Input ข้อมูลในแต่ละ Process ที่ทำการเลือกในการผลิตมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆ โดยเป็นการเลือกรายละเอียดของโครงสร้างซึ่งจะถูกดึงข้อมูลจากตารางที่ทำการสร้างไว้แล้วในแต่ละ Process ในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.3 ทำให้ในขั้นตอนนี้จะ

เป็นการเลือกจากฐานข้อมูลของโปรแกรมซึ่งใน Process เดียวกันนั้นอาจมีวัตถุดิบหลายเกรด หรือลักษณะการผลิตต่างกัน เช่น ลักษณะการพันเทปต่างๆ, คุณสมบัติของฉนวนและเปลือก, ประเภทของตัวนำ, ชนิดของวัตถุดิบ เป็นต้น ทำให้จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนตามคุณสมบัติต่างๆตามมาตรฐานหรือตามที่ลูกค้าร้องขอ ส่วนมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงนั้นจะมีเฉพาะใน Process ของฉนวนและเปลือกเท่านั้นเนื่องจากเป็นข้อกำหนดในการออกแบบสายไฟฟ้า

ในการคำนวณความหนาของฉนวนและเปลือกจะเป็นส่วนที่ต้องมีการเช็คเงื่อนไขมากกว่า Process อื่นๆ เนื่องจากความหนาของฉนวนและเปลือกนั้นจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดซึ่งโปรแกรมจะทำการเช็คเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- เช็คแรงดันที่เลือก
- เช็คมาตรฐานที่เลือก
- เช็คความหนาพิเศษ (กรณีความหนาเปลือกพิเศษ)

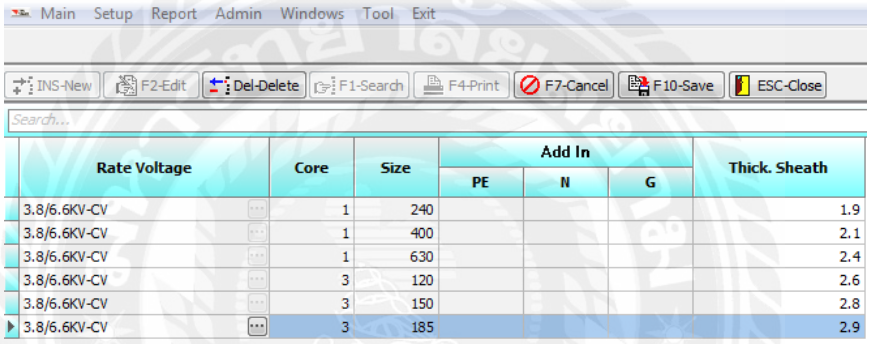
ซึ่งการออกแบบการเช็คเงื่อนไขในลักษณะนี้โปรแกรมจะสามารถรองรับการคำนวณค่าความหนาของฉนวนและเปลือกในมาตรฐานอื่นๆเพื่อใช้ในการคำนวณ Diameter ในอนาคตกรณีที่มีการเพิ่มมาตรฐานอื่นเข้าไปในโปรแกรม Pro_Design และสามารถคำนวณความหนาของฉนวนและเปลือกได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถอธิบายการคำนวณของฉนวนและเปลือกได้ดังนี้



รูปที่ 5.1 การคำนวณความหนาของฉนวนและเปลือก

จากรูปที่ 5.1 จะเป็นการอธิบายการทำงานของการคำนวณของฉนวนและเปลือก โปรแกรม Pro_Design จะทำการเช็คการคำนวณในขั้นตอนนี้เป็นพิเศษเนื่องจากในการคำนวณความหนาของฉนวนและเปลือกนั้นมีปัจจัยที่สำคัญหลายอย่างเช่น ในการคำนวณความหนาของฉนวนจะต้องทำการเช็คเงื่อนไขของ มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง, แรงดัน, และวัตถุดิบที่ใช้ (XLPE, PE, PVC) โดยดึงค่าจากตารางความหนาของฉนวน (รูปที่ 4.9) เนื่องจากความหนาของฉนวนนั้นมีข้อบังคับให้เป็นไปตามมาตรฐานเท่านั้นโดยห้ามต่ำกว่ามาตรฐานโดยเด็ดขาดเพราะเป็นส่วนที่ทนต่อแรงดันไฟฟ้าส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานและการเกิดลัดวงจรของสายไฟฟ้าได้ ส่วนการคำนวณความหนาของเปลือกจะแบ่งเป็นการคำนวณเปลือกชั้นใน (Inner sheath) และเปลือกชั้นนอก (Outer sheath) โดยเช็คจากชื่อ Process โดยจะมีฟังก์ชั่น Fictitious ในการคำนวณความหนาพิเศษ ซึ่งโปรแกรมจะทำการตั้งฟังก์ชั่น Fictitious เป็นฟังก์ชั่นเริ่มต้น (Default) เสมอถ้าเป็นกรณีการคำนวณ

เปลือกชั้นใน (Inner sheath) จะคำนวณตามสูตรในสมการที่ 4.28 แต่ถ้าเป็นการคำนวณเปลือกชั้นนอก (Outer sheath) จะทำการเช็คว่ามีข้อมูลความหนาในตาราง Fictitious หรือไม่ โดยปกติในส่วนของการ Input ข้อมูลในส่วนของระดับแรงดัน (Rate Voltage)นั้นจะมีการ Input ข้อมูลแค่แรงดันเช่น 0.6/1kV, 6/10kV, 12/20kV เป็นต้น แต่ในกรณีความหนาที่ผิดปกติที่อาจมาจากการขอความหนาพิเศษของลูกค้าซึ่งมีไม่มากจึงทำให้มีการอนุโลมโดยตกลงกับผู้ใช้งานในแผนกออกแบบสายไฟฟ้าว่าถ้ามีความหนาพิเศษในส่วนของตารางข้อมูล Rate Voltage ให้พิมพ์ชื่อสายแบบเต็มลงไปเพื่อใช้ชื่อสายดังกล่าวในการดึงข้อมูลในตาราง Fictitious ได้อย่างถูกต้องและไม่ให้เกิดความผิดพลาดจากการใช้ความหนาผิดโดยสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 5.2

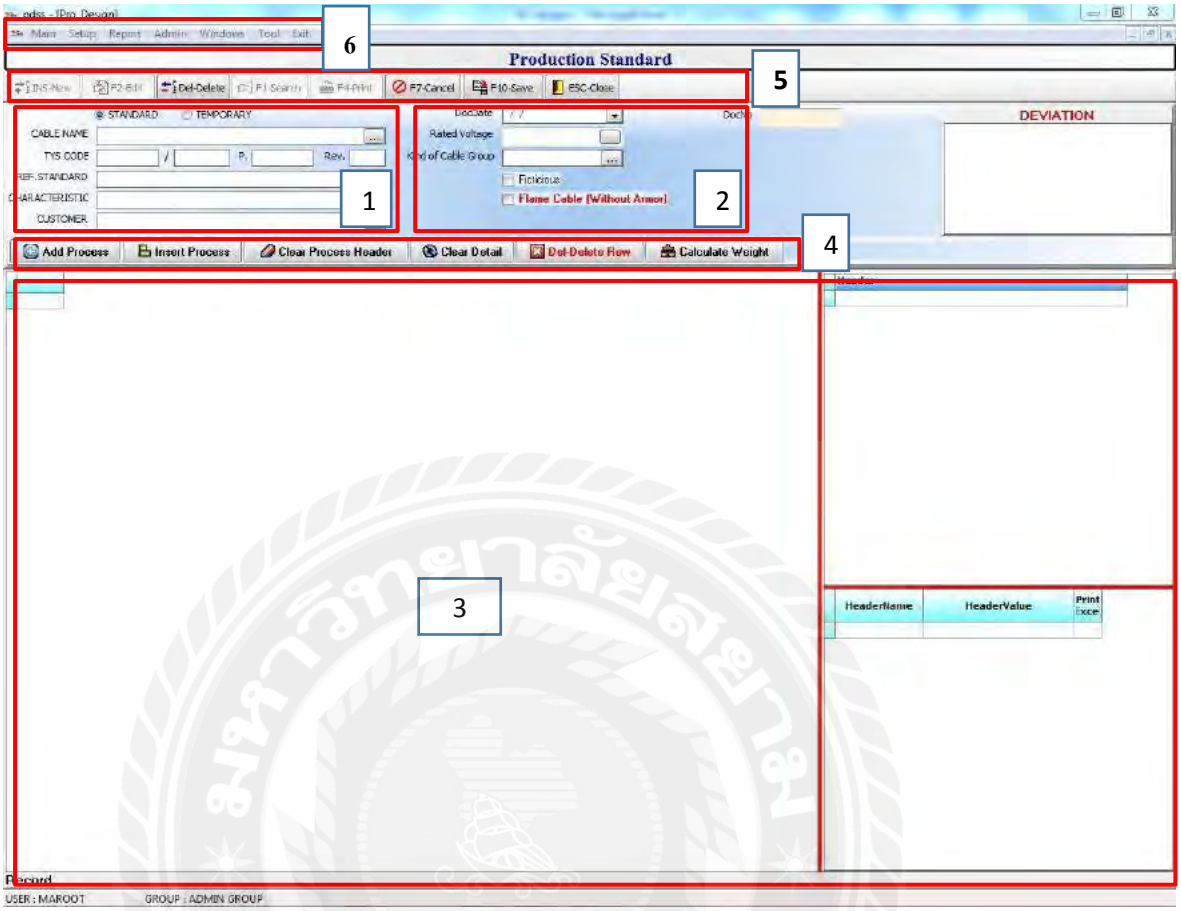


รูปที่ 5.2 ตารางความหนาพิเศษ (Fictitious)

5.2 รูปแบบหน้าต่างใช้งาน

จากหัวข้อที่ 5.1 เป็นการรวบรวมเกี่ยวกับคำสั่งและเงื่อนไขที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรม Pro_Design จึงได้นำความต้องการดังกล่าวนั้นมากำหนดเป็นรูปแบบของหน้าต่างโปรแกรม โดยมีการแยกข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน โดยสามารถนำมาสร้างเป็นหน้าต่างสำหรับใช้งานโปรแกรมได้ดังรูปที่ 5.3 โดยสามารถอธิบายตามหมายเลขได้ดังนี้

1. ชื่อสายไฟฟ้า และมาตรฐานอ้างอิง
2. ส่วนที่ใช้กำหนดค่าควบคุมการผลิต
3. ส่วนแสดงรายละเอียดและโครงสร้าง
4. แถบเครื่องมือ 1
5. แถบเครื่องมือ 2
6. แถบเครื่องมือ 3

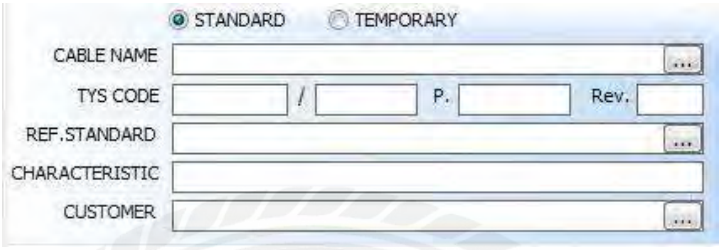


รูปที่ 5.3 หน้าต่างสำหรับ Input ข้อมูล

จากรูปที่ 5.3 คือหน้าต่างการใช้งานโดยได้รวบรวมหัวข้อต่างๆจากความต้องการของแผนกออกแบบสายไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตครบถ้วน และมีการแบ่ง Part ในการใช้งานอย่างชัดเจน โดยหน้าต่างนี้มีหน้าที่เป็น Interface ในการดึงข้อมูลของ Process และนำมาคำนวณโดยสูตรคำนวณในแต่ละหัวข้อแตกต่างกันไปตามรายละเอียดในบทที่ 4 โดย Process ต่างๆจะมีฐานข้อมูลอยู่ในระบบจากการ Input ข้อมูลในส่วนตารางข้อมูล เปรียบเสมือนโปรแกรมนี้เป็นการดึงข้อมูลจากเหมืองขั้นตอน (Process mining) ซึ่งในอนาคตโปรแกรมนี้จะสามารถพัฒนาต่อยอดได้ โดยอาจมีการเพิ่มมาตรฐานและโครงสร้างเพิ่มเติมโดยไม่กระทบต่อการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งสามารถอธิบายในส่วนของหน้าต่าง Interface ในรูปที่ 5.3 ได้ดังนี้

1. ชื่อสายไฟฟ้า และมาตรฐานอ้างอิง

โดยส่วนนี้ผู้วิจัยทำการกำหนดให้รูปแบบใกล้เคียงกับมาตรฐานการผลิตเดิมมากที่สุด โดยเรียงลำดับความสำคัญของข้อมูล โดยสามารถอธิบายจากรูปที่ 5.4 ได้ดังนี้



รูปที่ 5.4 ชื่อสายไฟฟ้า และมาตรฐานอ้างอิง

จากรูปที่ 5.4 เป็นส่วนที่เป็นหมายเลข 1 ในรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นส่วนของชื่อสายไฟฟ้าและมาตรฐานอ้างอิงโดยในส่วนนี้จะไม่มีผลในการคำนวณใดๆ เป็นเพียงการอธิบายรายละเอียดเท่านั้น โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1 Standard and Temporary

เนื่องจากในการออกแบบมาตรฐานการผลิตของแผนกออกแบบสายไฟฟ้า จะแบ่งออกเป็นฉบับมาตรฐาน (Standard) และฉบับชั่วคราว (Temporary) โดยปัจจัยที่มาจากความต้องการของลูกค้าโดยความแตกต่างของทั้ง 2 แบบ คือ

ก) มาตรฐานการผลิตฉบับมาตรฐาน (Standard) จะทำการออกแบบสายไฟฟ้าชนิดใดๆที่สามารถทำการผลิตได้ทุกจำนวนแกน และทุกขนาดพื้นที่หน้าตัดตามที่เครื่องจักรสามารถผลิตได้ ซึ่งจะทำการส่งประเมินการผลิตทั้งฉบับทำให้มาตรฐานการผลิตแบบฉบับมาตรฐานนี้ จะครอบคลุมการผลิตมากกว่าโดยโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่ค่อยมีการปรับเปลี่ยนมากนัก

ข) มาตรฐานการผลิตฉบับชั่วคราว (Temporary) มาตรฐานชนิดนี้จะใช้ในกรณีที่มีการออกแบบสายไฟฟ้าที่มาจากลูกค้าร้องขอพิเศษโดยออกแบบตามจำนวนแกน และ พื้นที่หน้าตัดที่ทำการร้องขอเท่านั้น โดยปกติแล้วมาตรฐานฉบับชั่วคราวนี้นั้นในอนาคตสามารถยุบรวมและออกเป็นมาตรฐานการผลิตฉบับมาตรฐานได้ถ้ามีความต้องการสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆมากขึ้น

ในการเลือกใช้งานจะมีส่วนต่างกันตรงที่ เมื่อทำการเลือกคำว่า Temporary แล้วช่อง Characteristic จะไม่สามารถพิมพ์ข้อความลงไปได้ เพราะในบริษัทแห่งนี้จะไม่พิมพ์รายละเอียด

เกี่ยวกับโครงสร้างในมาตรฐานฉบับชั่วคราว ส่วนช่องอื่นนั้นสามารถพิมพ์ข้อความหรือตัวเลขลงไปได้เหมือนกันทั้ง 2 แบบ

1.2 Cable Name

ช่องนี้จะเป็นการระบุชื่อของสายไฟฟ้าโดยเป็นชื่อที่ใช้ในการผลิตจริง ซึ่งในแต่ละบริษัทจะไม่เหมือนกันโดยสามารถตั้งตามวิธีการของแต่ละบริษัท

1.3 TYS Code

ส่วนนี้จะเป็นการระบุหมายเลขมาตรฐานการผลิตภายในบริษัทแห่งนี้ เช่น 3131/025 P.65 R.2
เป็นต้น เพื่อใช้ในการค้นหาเพื่อป้องกันข้อมูลซ้ำซ้อนกัน

1.4 Ref. Standard

ในส่วนนี้เป็นการมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ซึ่งไม่มีผลต่อการคำนวณเนื่องจากในส่วนไม่ได้มีผลในการเชื่อมต่อกับข้อมูลส่วนอื่น เป็นการระบุไว้เพียงข้อความเพื่อให้ฝ่ายผลิตทราบว่าสายไฟฟ้าที่ผลิตใช้มาตรฐานใดในการออกแบบมาตรฐานการผลิต

1.5 Characteristic

คือ การอธิบายคุณลักษณะของสายไฟฟ้าทางโครงสร้าง โดยอธิบายถึงแรงดันใช้งาน คุณลักษณะของฉนวนและเปลือก รวมถึงโครงสร้างอื่นๆ โดยในส่วนนี้จะสามารถพิมพ์ข้อความได้ในกรณีที่เป็นมาตรฐานการผลิตฉบับมาตรฐานเท่านั้น

1.6 Customer

ส่วนนี้จะเป็นการระบุชื่อลูกค้าในกรณีที่มีลูกค้าร้องขอสายไฟฟ้าที่ไม่เคยมีการผลิต โดยมักจะใส่ในกรณีที่เป็นมาตรฐานการผลิตฉบับชั่วคราว

2. ส่วนที่ใช้กำหนดค่าควบคุมการผลิต

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มีผลทางการคำนวณและการเลือกข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่บังคับ และส่วนที่ไม่บังคับการเลือก โดยความแตกต่างขอสองส่วนนี้คือส่วนที่บังคับการเลือกจะเป็นส่วนที่เป็น Factor ที่ใช้ในการควบคุมค่าในการผลิตหลักๆ ซึ่งต้องทำการเลือกทุกครั้งในการออกแบบ อีกส่วนนึงคือส่วนยที่ไม่บังคับการเลือก ส่วนนี้จะเป็นอยู่ใน Process ที่ทำการเลือกตามโครงสร้างของสายไฟฟ้า ซึ่งสามารถเพิ่มลดได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ทำ

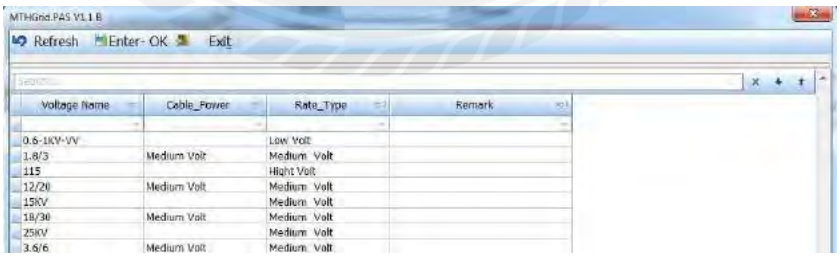
ให้ในส่วนนี้การเลือกค่าควบคุมต่างๆในแต่ละ Processก็จะไม่เท่ากันในสายไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งรูปแบบของส่วนนี้คือหมายเลข 2 ของรูปที่ 5.3

รูปที่ 5.5 ส่วนที่ใช้กำหนดค่าควบคุมการผลิต (ส่วนบังคับ)

จากรูปที่ 5.5 เป็นส่วนที่เป็นหมายเลข 2 ในรูปที่ 5.3 ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมค่าการผลิตที่ผู้ใช้งานจะต้องทำการเลือกทุกครั้งไม่ว่าจะมี Process มากน้อยเพียงใดก็ตามซึ่งมีองค์ประกอบและความสำคัญดังนี้

2.1 Rated Voltage

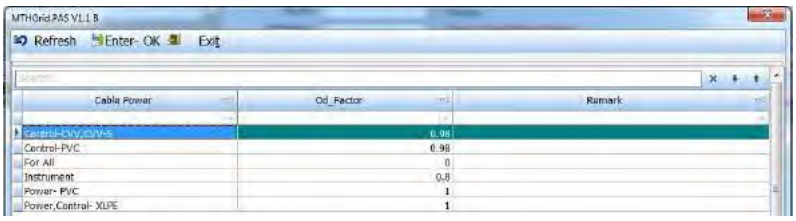
ในส่วนนี้จะเป็นการเลือกแรงดัน ซึ่งแรงดันจะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณของโปรแกรม เนื่องจากโปรแกรมจะทำการเช็คเงื่อนไขจากแรงดันในบางโครงสร้างเช่น ขั้นตอน Coductor screen, Insualtion, Insulation screen เป็นต้นซึ่งมีข้อกำหนดความหนาในการหุ้มตามแรงดันของสายไฟฟ้าทำให้ในส่วนนี้จึงอยู่ในส่วนที่เป็นการบังคับในการเลือกเป็นอันดับแรก



รูปที่ 5.6 ตารางแรงดัน (Rated voltage) ที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิต

2.2 Kind of Cable Group

หัวข้อนี้จะเป็นการเลือกกลุ่มสายและวัตถุดิบที่ใช้ โดยจะมีผลต่อ Factor ที่ใช้ในการคูณการตีเกลียวแกนและการคำนวณน้ำหนักของสายหลายแกน



รูปที่ 5.7 Kind of Cable Group

2.3 Fictitious

หัวข้อนี้จะเป็นการเลือกความหนาเปลือกพิเศษ ซึ่งไม่ได้มาจากสูตรคำนวณแต่มาจากการเพิ่มตามความต้องการของลูกค้าหรือการเพิ่มความหนาที่ไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยโปรแกรมทำการตั้งฟังก์ชั่นนี้เป็น Default เพื่อให้ทำการเช็คความหนาจากในตาราง Fictitios (รูปที่ 5.2)

2.4 Flame Cable (Without Armor)

ในส่วนนี้จะเป็นฟังก์ชั่นที้สำหรับเงื่อนไขการพันเทป ในกรณีการผลิตสายไฟฟ้าที่มีการพันเทปทนไฟ (Flame Retardant Tape) ชนิดที่ไม่มี Armor โดยเป็นเงื่อนไขพิเศษของการผลิตในโรงงานแห่งนี้

3. ส่วนแสดงรายละเอียดและโครงสร้าง

ในส่วนแสดงรายละเอียดและโครงสร้างคือ ส่วนที่บ่งบอกถึงลักษณะของโครงสร้างและ Process ต่างๆ ซึ่งลักษณะตามหมายเลข 3 รูปที่ 5.3 โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.1 Header ในส่วนนี้จะเป็นในส่วนของ Process ที่ทำการเลือกมาเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบของสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1.ชื่อโครงสร้าง

ชื่อโครงสร้างจะเป็นการบ่งบอกถึงชื่อของ Process ที่นำมาออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยในสายไฟฟ้าแต่ละชนิดนั้นจะมีจำนวนโครงสร้างแตกต่างกันไป โดยเมื่อทำการคลิ๊กไปที่ชื่อของ Process นั้นๆก็จะมีลักษณะของโครงสร้างเพื่อให้ผู้ออกแบบกำหนดรูปแบบของการผลิต

2.ลักษณะของโครงสร้าง

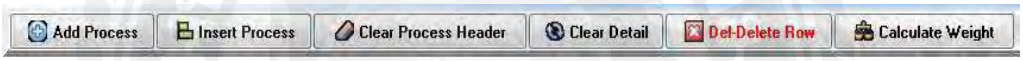
ลักษณะของโครงสร้างส่วนนี้เป็นการอธิบายถึงการกำหนดรูปแบบและวิธีการในการผลิตใน Process นั้นๆ ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบและลักษณะตามการผลิตได้ เช่น ลักษณะการพันเทป, ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำฉนวนและเปลือก เป็นต้น

3.2 ส่วนของการคำนวณ

ส่วนนี้เป็นการอธิบายรายละเอียดที่มาจากคำนวณของโปรแกรมโดย ส่วนนี้จะทำการคำนวณโดยโปรแกรมทั้งหมด แต่จำเป็นต้องมีการ Input ข้อมูลบางส่วนได้แก่ จำนวนแกน (Number of Core), ขนาดของพื้นที่หน้าตัด (Size) และส่วนแกนที่ไม่ใช่แกนเฟสอันได้แก่ Protection earth (PE), Nutral (N), Ground (G) โดยโปรแกรมจะทำการแยกโดยช่องของชนิดแกน (Type) เพื่อให้โปรแกรมสามารถแยกระหว่างแกนว่าเป็นแกนชนิดใดได้อย่างถูกต้อง

4. แถบเครื่องมือ 1

แถบเครื่องมือ 1 คือ คำสั่งที่ใช้ในการแก้ไขข้อมูลของ Process หรือข้อมูลของส่วนการคำนวณ ซึ่งลักษณะตามหมายเลข 4 รูปที่ 5.3 โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แถบเครื่องมือ 1

ตารางที่ 5.1 คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 1

ลำดับ	ชื่อคำสั่ง	คำอธิบาย
1	Add Process	คือ คำสั่งที่ใช้ในการเพิ่ม Process ในการเริ่มต้นโปรแกรม
2	Insert Process	คือ คำสั่งที่ใช้สำหรับการเพิ่ม/ลด Process ในกรณีที่มีการแก้ไขข้อมูลหรือการนำข้อมุลเก่ามาแก้ไขเพื่อนำมาใช้ใหม่
3	Clear Process Header	คือ คำสั่งที่ใช้สำหรับ Clear ข้อมูลของลักษณะของโครงสร้างที่ได้ตั้งค่าไว้ในแต่ละ Process โดยเมื่อกดคำสั่งจะทำการลบข้อมูลทั้งหมดในทุก Process
4	Clear Detail	คือ คำสั่งที่ใช้สำหรับ Clear ข้อมูลค่าที่คำนวณของโปรแกรมทั้งหมด
5	Del-Delete Row	คือ คำสั่งที่ใช้ในการลบแถวข้อมูลโดยลบทีละแถว
6	Calculate Weight	คือ คำสั่งที่ใช้ในการสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณน้ำหนักโครงสร้าง

5. แถบเครื่องมือ 2

แถบเครื่องมือ 2 คือ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการข้อมูล ซึ่งลักษณะตามหมายเลข 5 รูปที่ 5.3 โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9

รูปที่ 5.9 แถบเครื่องมือ 2

ตารางที่ 5.2 คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 2

ลำดับ	ชื่อคำสั่ง	คำอธิบาย
1	INS-NEW	เริ่มต้นการออกแบบใหม่
2	EDIT	แก้ไขค่าต่างๆหลังจากทำการ Save
3	Del-Delete	ลบข้อมูลทั้งหมดของรายการนั้น
4	Print	แสดงค่าในโปรแกรม MS EXCEL
5	Cancel	ยกเลิกรายการ
6	Save	บันทึกค่า
7	ESC-Close	ออกจากหน้าต่างข้อมูล

6. แถบเครื่องมือ 3

แถบเครื่องมือ 3 คือ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการฐานข้อมูล ซึ่งลักษณะตามหมายเลข 6 รูปที่ 5.3 โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10

รูปที่ 5.10 แถบเครื่องมือ 3

ตารางที่ 5.3 คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 3

ลำดับ	ชื่อคำสั่งหลัก	คำอธิบาย	ชื่อคำสั่งย่อย	คำอธิบาย
1	Main	เมนูหลัก	Production Design Specification	เริ่มต้นการออกแบบใหม่
			Approve	อนุมัติการใช้งานมาตรฐานการผลิต
2	Setup	การตั้งค่า	Rate Voltage	ตั้งค่าแรงดัน
			Process	แก้ไขข้อมูลการคำนวณขั้นตอนในการผลิตของเครื่องจักร
			Thickness	แก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับความหนาฉนวนและเปลือก
			Tape	การตั้งค่าและแก้ไขข้อมูลชนิดของเทป
			Coeficient	ตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ
			Material	การตั้งค่าและแก้ไขข้อมูลชนิดของวัตถุดิบ
			Strandard	แก้ไขมาตรฐานอ้างอิง
3	Report		Production Design Report	เรียกดูข้อมูลจำนวนมตรฐานการผลิต
4	Admin		Set user	ตั้งค่า ID ของผู้ใช้งาน
			Set Gruop user	ตั้งค่ากลุ่มผู้ใช้งาน
			Set Table Process	ตั้งค่าตารางข้อมูล
			Set Group Process	ตั้งค่ากลุ่มข้อมูล (ยังไม่เปิดใช้งาน)
			Set Header Process	ตั้งค่าข้อมูลในแต่ละ Process
5	Window	เรียกดูหน้าต่างข้อมูลที่เคยเปิด	-	-
6	Tool	เครื่องมือ	Change Password	เปลี่ยนรหัสผ่าน
			Log out	ออกจากโปรแกรม
			For Programmer	ส่วนของโปรแกรมเมอร์
7	Exit	ออกจากโปรแกรม	-	-

5.3 การใช้งานโปรแกรม

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบหน้าต่างใช้งานหรือ Interface ของโปรแกรมแล้วหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึงวิธีการใช้งานของโปรแกรม Pro_Design จากการเริ่มต้นใช้งานของโปรแกรมไปจนถึงวิธีการแก้ไขข้อมูลต่างๆของโปรแกรม โดยเริ่มต้นจาก

1. การ Login และขอบเขตการใช้งาน
2. การใช้งานโปรแกรมในการออกแบบมาตรฐานการผลิต
3. การแก้ไขตารางข้อมูล

5.3.1 การ Login และขอบเขตการใช้งาน

เนื่องจากโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนที่ความสำคัญมากที่สุดในโรงงานแห่งนี้เพราะถ้าการออกแบบมาตรฐานการผลิตเกิดความผิดพลาดจะส่งผลเสียระบบการผลิต ระบบการคิดราคา และระยะเวลาในการส่งมอบ ทำให้ผู้ที่ใช้งานโปรแกรม Pro_Design ต้องเป็นผู้ที่ได้รับอนุญาตให้เข้าถึงข้อมูลของโปรแกรม ถ้าไม่มีการขออนุญาตผู้ที่ไม่มีความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบมาตรฐานการผลิต อาจทำการแก้ไขส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของโปรแกรมได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการกำหนดหน้าต่าง Login ของโปแกรมขึ้นมาเพื่อจำแนกประเภทการใช้งานและป้องกันความเสียหายของข้อมูลภายในโปรแกรม

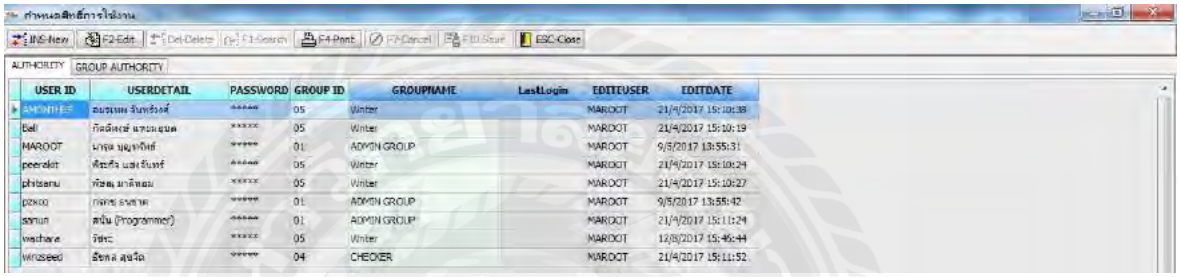
รูปที่ 5.11 หน้าต่าง Login ของโปรแกรม

จากรูปที่ 5.8 เป็นหน้าต่างที่ใช้ในการ Login โดยจะมีส่วนของ User และ Password ซึ่งจากการปรึกษากับทางแผนกออกแบบสายไฟฟ้าให้ข้อเสนอว่า ต้องมีการแบ่งการเข้าถึงออกเป็น 3 ลักษณะคือ

- Wirter สามารถใช้งานโปรแกรมได้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถแก้ไขข้อมูลได้
- Admin group สามารถใช้งานโปรแกรมและแก้ไขข้อมูลได้

- Checker ไม่สามารถใช้โปรแกมได้ เพียงแต่ตรวจสอบข้อมูลเท่านั้น

ทั้ง 3 ลักษณะการใช้งานนี้จะทำให้การใช้งานของโปรแกรมถูกแบ่งหน้าที่ออกโดยชัดเจน ทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดจากการแก้ไขโดยผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องได้และทำให้รู้ว่า User ใดที่ทำการแก้ไขข้อมูลเพราะจะมีการบันทึกไว้ในช่อง Edit user ของหน้าต่างข้อมูลทุก Process อนาคตโปรแกรมสามารถทำการ
เพิ่ม/ลด จำนวน User ID ของโปรแกรมได้ทำให้ลดความเสียงจากความผิดพลาดได้



รูปที่ 5.12 การกำหนดสิทธิ์ใช้งาน

5.3.2 การออกแบบมาตรฐานการผลิต

ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตนั้น จะเริ่มต้นจากการศึกษาโครงสร้างที่มาจากความต้องการของลูกค้าก่อนและนำข้อมูลนั้นมาทำการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างสายไฟฟ้าและจึงทำการออกแบบ Process การทำสายไฟฟ้า โดยในที่นี้โปรแกรม Pro_Design เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบสายกลุ่ม Power ไม่เกิน 5 แกนตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ซึ่งเป็นกลุ่มสายไฟฟ้าที่เป็น Order หลักในการผลิตสายไฟฟ้าในโรงงานแห่งนี้

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาโครงสร้างและมาตรฐานการผลิตแล้วก็จะเริ่มเข้าสู่การออกแบบของโปรแกม Pro_Design เริ่มต้นจากการเข้าคำสั่ง Main > Production specification standard โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าต่างเริ่มต้นโปแกรมดังรูปที่ 5.10

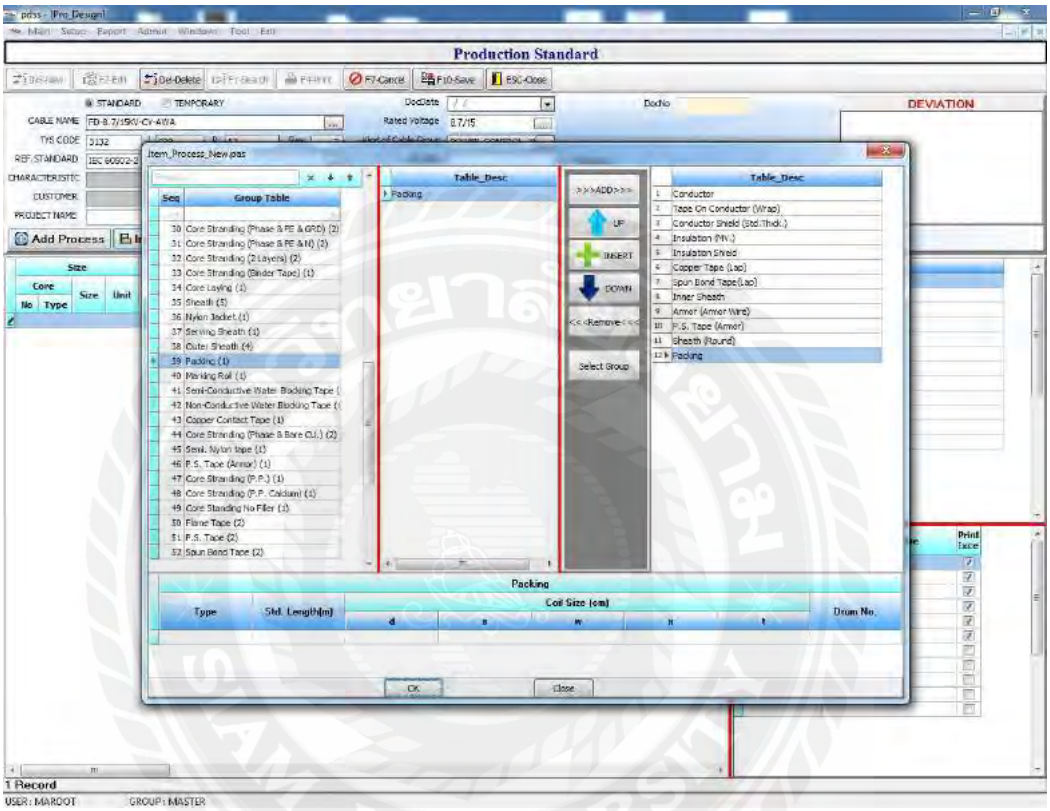
การ Input ข้อมูลสำหรับการออกแบบสามารถทำได้ดังนี้

1. ทำการ Input รายละเอียด ในส่วนที่ 1 ตามหัวข้อที่ 5.2

2. ทำการ Input รายละเอียด ในส่วนที่ 2 ตามหัวข้อที่ 5.2 ซึ่งในส่วนนี้จะต้องดูแรงดันที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิตโดยทำการคลิ๊กเลือกที่ช่อง Rate Voltage

3. ทำการเลือกประเภทของสายไฟฟ้าโดยทำการคลิ๊กเลือกที่ช่อง Kind of Cable Group จะมีข้อมูลในแต่ละชนิดของสายไฟฟ้าแยกตามประเภทและฉนวน ดังรูปที่ 5.7

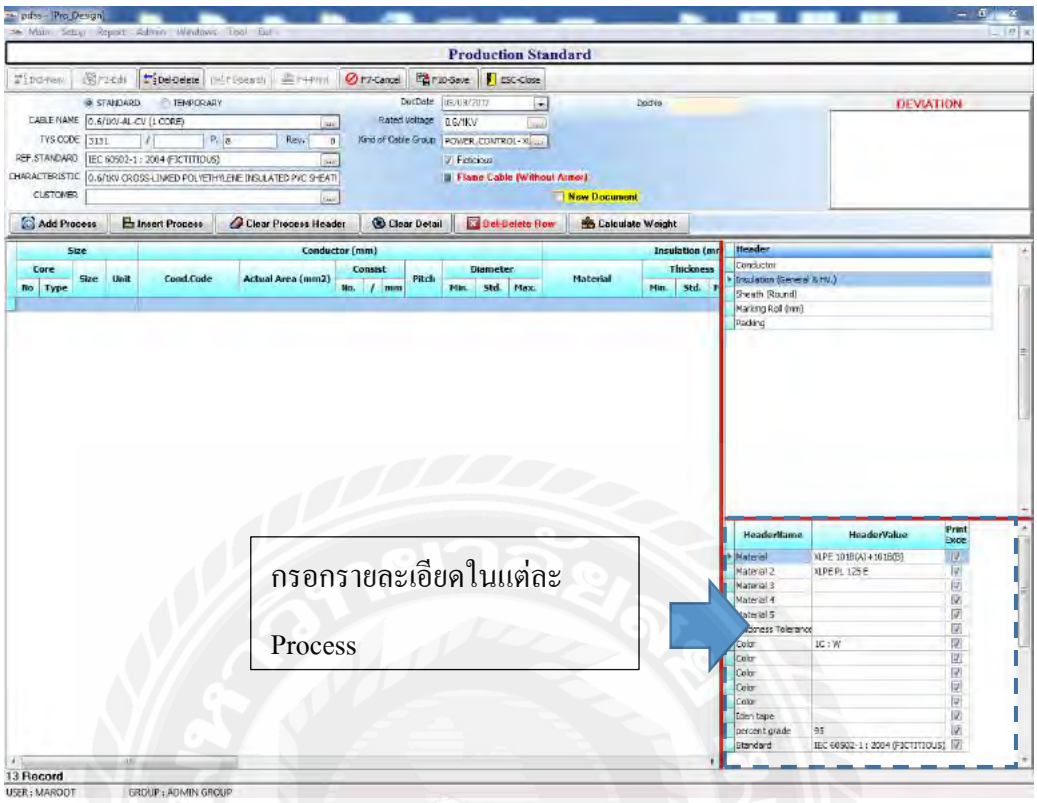
4. เลือกคำสั่ง Add Process โปรแกรมจะแสดงตารางข้อมูลดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การเลือก Process ของการออกแบบมาตรฐานการผลิต

เมื่อหน้าต่าง Process แสดงขึ้นมาแล้วให้ทำการเลือก Process ทางช่อง Group Table เมื่อเลือกแล้วจะแสดงตัวอย่างด้านล่าง ส่วนในกรณีที่มี Process ย่อยจะแสดง Process ย่อยในช่อง Table_Desc ในช่องกลางของหน้าต่าง จากนั้นทำการกด ปุ่ม ADD ถ้าไม่ต้องการให้กด Remove ออกจากนั้นกดปุ่ม OK

5. ทำการกรอกรายละเอียดในแต่ละ Process โดยการคลิ๊กที่ Header แล้วทำการเลือกข้อมูลในแต่ละ Process ทำจนครบทุก Process ดังรูปที่ 5.14

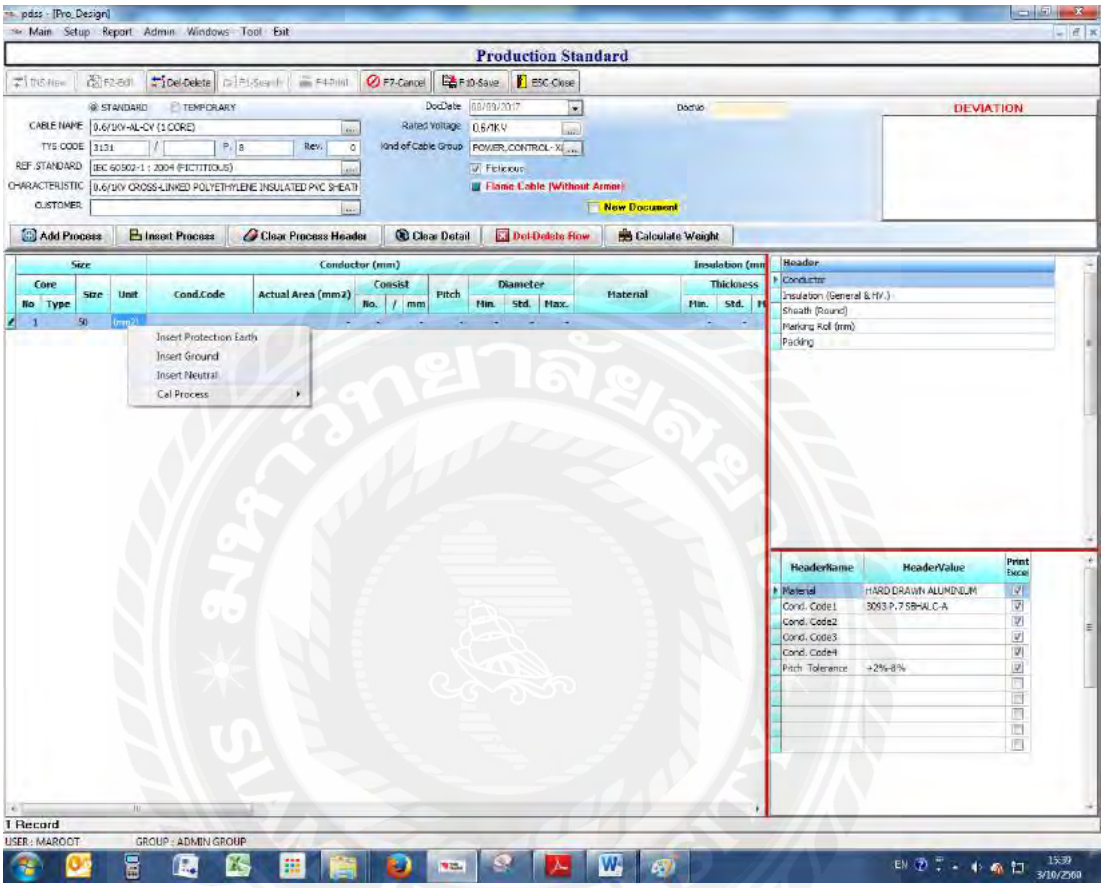


รูปที่ 5.14 แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของแต่ละ Process

6. ทำการ Input ค่าในส่วนของจำนวนแกนในช่อง Core No. และ ขนาดพื้นที่หน้าตัดตัวนำ (Size) ในกรณีเป็นแกนแบบปกติ ถ้ามีแกนพิเศษเช่น Protection Earth (PE), Ground (G), Neutral (N) ที่มีจำนวนแกนไม่เท่ากับแกนหลัก (Phase) ให้ทำการใส่ค่าในบรรทัดที่ 2 พร้อมกับการใส่ชนิดลงในช่อง Type เช่น PE กรณีแกนที่เพิ่มเป็น Protection Earth โดยแสดงไว้ดังรูปที่ 5.15

รูปที่ 5.15 แสดงการ Input ข้อมูลในส่วนการระบุแกนและ Size

7. หลังจากที่ทำการ Input ข้อมูลครบแล้ว จากนั้นจะเป็นส่วนของการคำนวณ โดยทำการคลิ๊กขวาดังรูปที่ 5.16



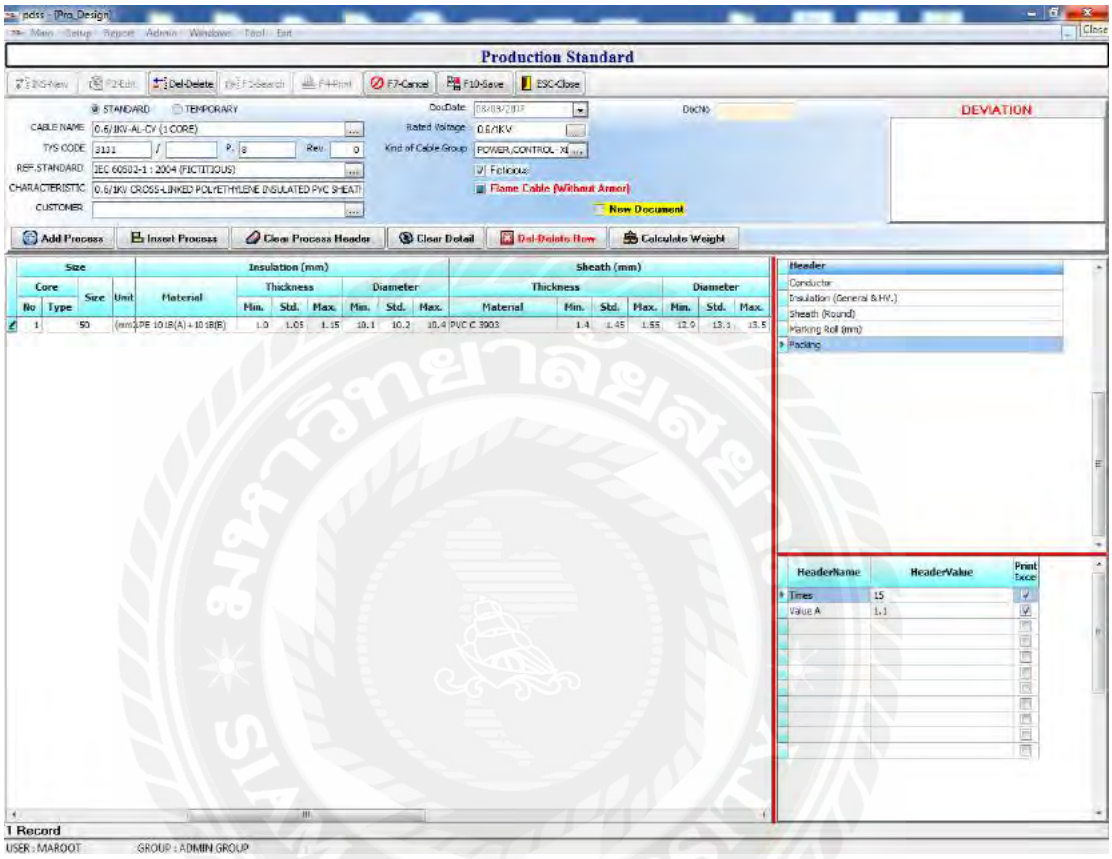
รูปที่ 5.16 แสดงการใช้คำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิ๊กขวาของโปรแกรม Pro_Design

จากรูปที่ 5.16 จะมีคำสั่งที่แสดงทั้งหมดจำนวน 4 คำสั่งซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามการใช้งานโดยสามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 คำอธิบายคำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิ๊กขวา

ลำดับ	คำสั่ง	คำอธิบาย
1	Insert Protection Earth	เพิ่มแกน Protection Earth (PE)
2	Insert Ground	เพิ่มแกน Ground (G)
3	Insert Neutral	เพิ่มแกน Neutral (N)
4	Cal Process	คำนวณข้อมูลทุก Process

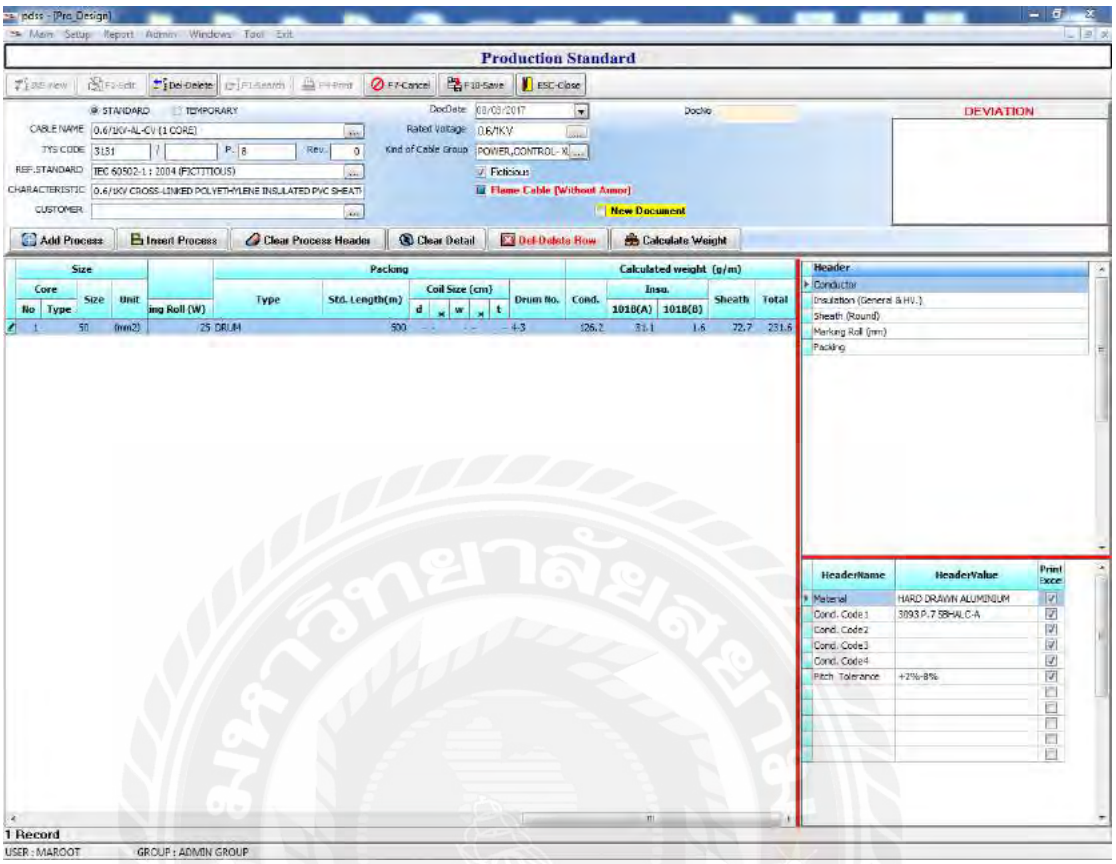
8.ทำการเลือกคำสั่ง Cal Process โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าตั้งแต่ขั้นตอนตัวนำไปจนถึง Process สุดท้าย โดยการคำนวณจะเป็นไปตามหัวข้อที่ 4.3



รูปที่ 5.17 แสดงค่าคำนวณโครงสร้างของโปรแกรม Pro_design

จากรูปที่ 5.17 โปรแกรม Pro_design ทำการคำนวณตามเงื่อนไขที่ได้ทำการกำหนดไว้ในแต่ละ Process แต่ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตนั้นจะต้องมีน้ำหนักของแต่ละโครงสร้างด้วย เนื่องจากต้องใช้ในการคิดราคาของสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ทำให้จำเป็นต้องทำการคำนวณน้ำหนักและการบรรจุหลังจากที่โปรแกรมทำการคำนวณโครงสร้างเสร็จ

9. ทำการคำนวณน้ำหนักโดยคลิ๊กที่คำสั่ง Calculate Weight โปแกรมจะทำการคำนวณน้ำหนักแต่ละ Process และทำให้มีผลต่อการคำนวณการบรรจุด้วย เนื่องจากในการคำนวณการบรรจุของสายไฟฟ้าโดยปกติจะเป็นล้อไม้ (Drum) ซึ่งต้องใช้น้ำหนักและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าในการคำนวณ จึงทำให้การคำนวณการบรรจุเป็นอันจบการทำงานในส่วนการคำนวณดังรูปที่ 5.18

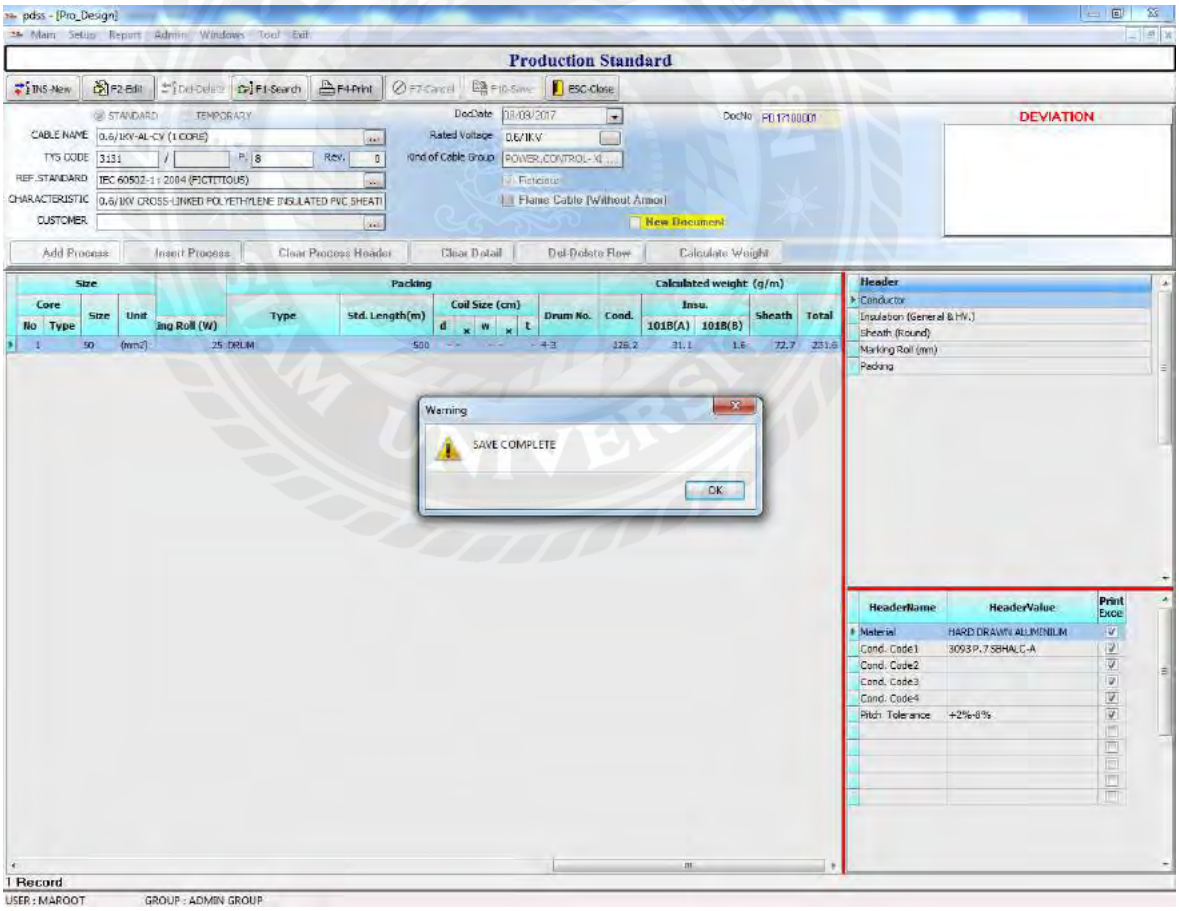


รูปที่ 5.18 การคำนวณน้ำหนักของโปรแกรม Pro_Design

เมื่อทำการคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้วส่วนต่อไปคือการนำมาตรฐานการผลิตออกไปใช้งาน โดยหลังจากการพัฒนาโปรแกรม Pro_Design จนสามารถคำนวณได้ตามมาตรฐานแล้วทางผู้วิจัยได้ปรึกษากับทางแผนกออกแบบสายไฟฟ้าว่าจะหาวิธีการใดในการที่จะสามารถนำมาตรฐานการผลิตไปใช้ได้ โดยได้ข้อสรุปว่าจะทำการส่งข้อมูลผ่าน MS EXCEL เป็นโปรแกรมแสดงค่า เนื่องจากสามารถแก้ไขข้อมูล หรือเพิ่มข้อความในส่วนต่างๆได้ง่ายกว่าการสั่ง Print out จากโปรแกรมโดยตรงโดยยึดรูปแบบการแสดงค่าให้เป็นเหมือนในโปรแกรม

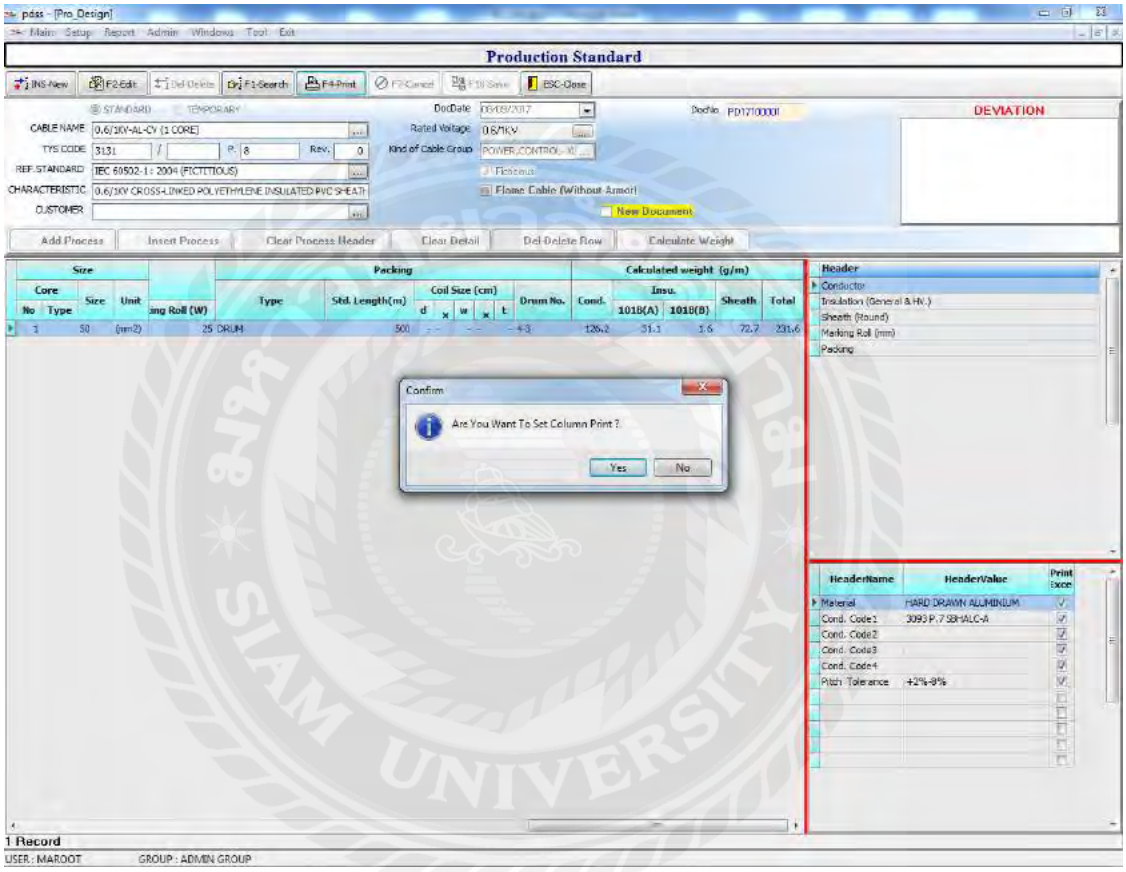
10. ทำการเลือกคำสั่ง Save หรือ กด F10 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่านจากเครื่องลงไปที่ Server ของระบบภายในบริษัทเพื่อให้ User อื่นๆสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้และทำให้การแก้ไขโปรแกรมในแต่ละครั้งสามารถทำได้ในครั้งเดียว เนื่องจากกำหนดให้เมื่อเครื่องใดเครื่องหนึ่งทำการอัพเดทข้อมูลก็จะส่งข้อมูลนั้นผ่านไปที่ Server เมื่อผู้ใช้อื่นเปิดโปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อและ อัพเดทข้อมูลอัตโนมัติ

รูปที่ 5.19 แสดงการใช้งานและอัพเดทข้อมูลผ่าน Server ของโปรแกรม Pro_Design



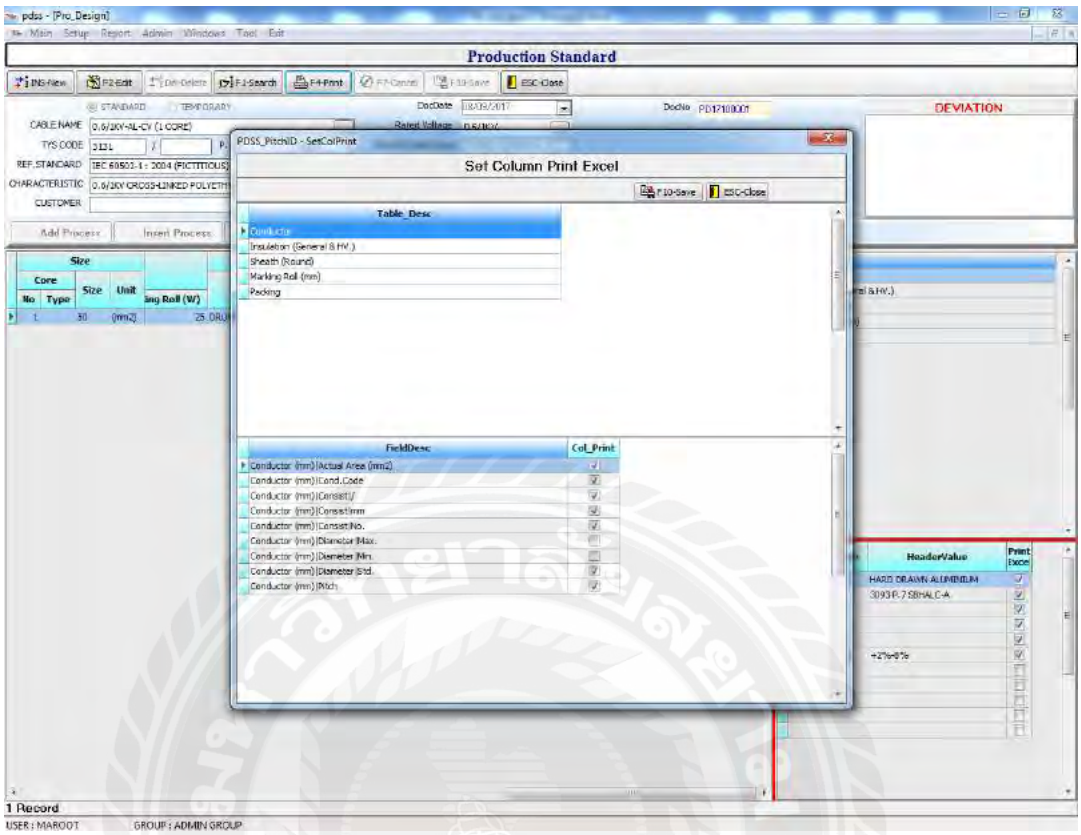
รูปที่ 5.20 แสดงสถานะการบันทึกข้อมูลของโปแกรม Pro_Design

11. ทำการเลือกคำสั่ง Print หรือ กด F4 โปรแกรมจะมีคำสั่ง “Are You Want to set Column Print” ถ้าต้องการให้เลือก Yes ถ้าไม่ต้องการให้เลือก No เนื่องจากบางครั้งผู้ใช้งานโปรแกรมไม่ต้องการแสดงข้อมูลบางช่อง ทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดฟังก์ชั่นนี้มาเพื่อให้สามารถนำช่องของข้อมูลที่ไม่ต้องการออกก่อนที่จะส่งผ่านข้อมูลไปที่ MS EXCEL เพื่อแสดงผลดังรูปที่ 5.21



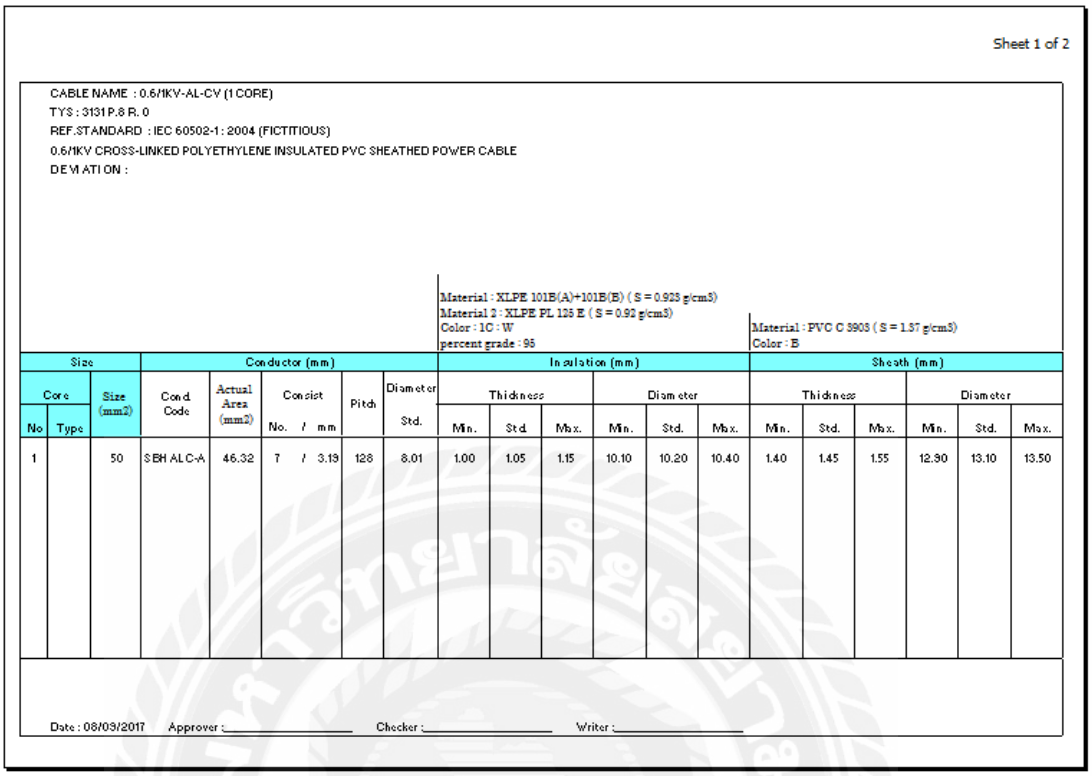
รูปที่ 5.21 การแสดงหน้าต่างข้อมูลในการเลือก Set ช่องข้อมูลก่อนแสดงผลของโปรแกรม

เมื่อทำการเลือก Yes โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 5.22 เป็นช่องของข้อมูลในแต่ละ Process ตามที่โปรแกรมทำการแสดงค่า โดยสามารถเลือกแสดงค่าของข้อมูลได้โดยการเลือกที่ช่อง Col_Print จะมีช่องให้ทำการคลิ๊กเลือกว่าจะให้แสดงค่าข้อมูลใดบ้าง เมื่อทำการเลือกข้อมูลเสร็จแล้วให้ทำการกดปุ่ม Save หรือ F10 โปแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปยังโปแกรม MS EXCEL เพื่อแสดงข้อมูล



รูปที่ 5.22 การแสดงการตั้งค่าก่อนการ Print out ข้อมูลไปที่ MS EXCEL

หลังจากกด Save แล้วโปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปยัง MS EXCEL โดยสั่งเปิดโปรแกรมอัตโนมัติหลังจากแปลงข้อมูลเสร็จ โดยผู้ใช้งานสามารถใส่รายละเอียดเพิ่มเติมจากขั้นตอนนี้ได้ และสามารถใส่รูปตัวอย่างของสายไฟฟ้าในขั้นตอนต่างๆลงไปได้ หรือการอธิบายขั้นตอนที่ต้องมีการเน้นย้ำลงไป เพื่อให้เกิดการผลิตพลาดในการผลิต ดังรูปที่ 5.23



Sheet 1 of 2

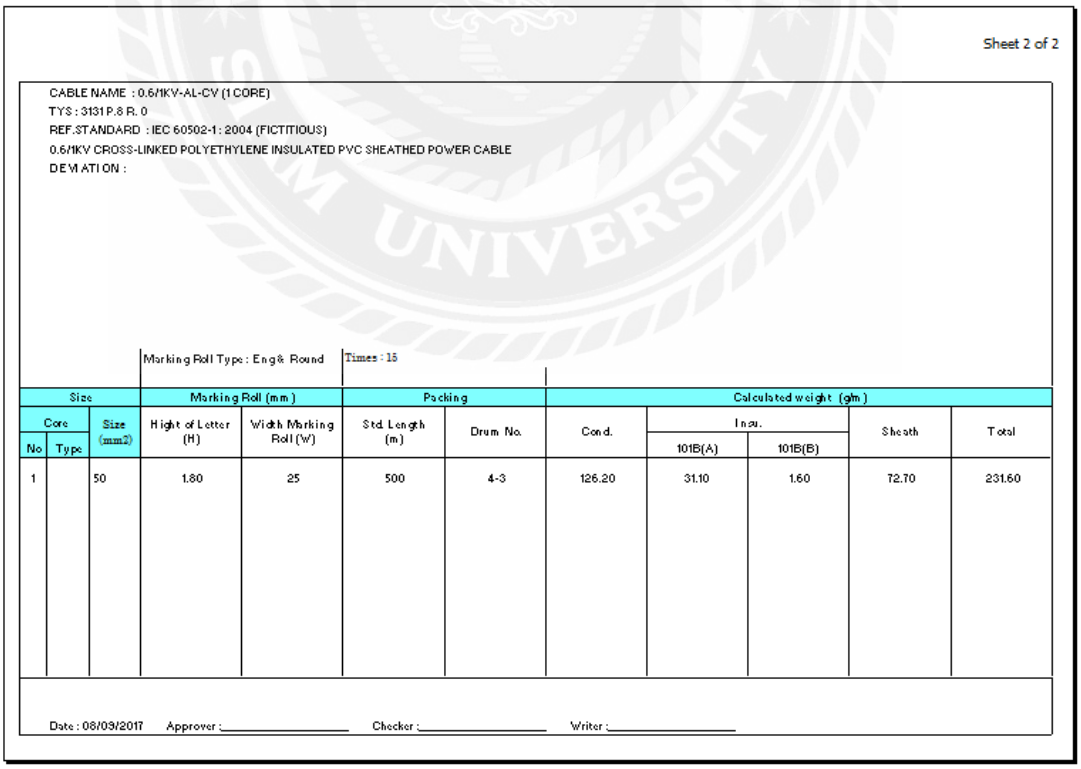
CABLE NAME : 0.6/1KV-AL-CV (1 CORE)
TYS : 3131 P.8 R. 0
REF.STANDARD : IEC 60502-1 : 2004 (FICTITIOUS)
0.6/1KV CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATED PVC SHEATHED POWER CABLE
DEVIATION :

Material : XLPE 101B(A)+101B(B) (S = 0.923 g/cm3)
Material 2 : XLPE PL 126 E (S = 0.92 g/cm3)
Color : 1C : W
percent grade : 95

Material : PVC C 3903 (S = 1.57 g/cm3)
Color : B

Size			Conductor (mm)					Insulation (mm)						Sheath (mm)					
Core		Size (mm2)	Cond. Code	Actual Area (mm2)	Consist No. / mm	Pitch	Diameter Std.	Thickness			Diameter			Thickness			Diameter		
No	Type							Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.
1		50	SBH ALC-A	46.32	7 / 3.19	128	8.01	1.00	1.05	1.15	10.10	10.20	10.40	1.40	1.45	1.55	12.90	13.10	13.50

Date : 08/03/2017 Approver :_____ Checker :_____ Writer :_____



Sheet 2 of 2

CABLE NAME : 0.6/1KV-AL-CV (1 CORE)
TYS : 3131 P.8 R. 0
REF.STANDARD : IEC 60502-1 : 2004 (FICTITIOUS)
0.6/1KV CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATED PVC SHEATHED POWER CABLE
DEVIATION :

Marking Roll Type : Eng & Round
Times : 15

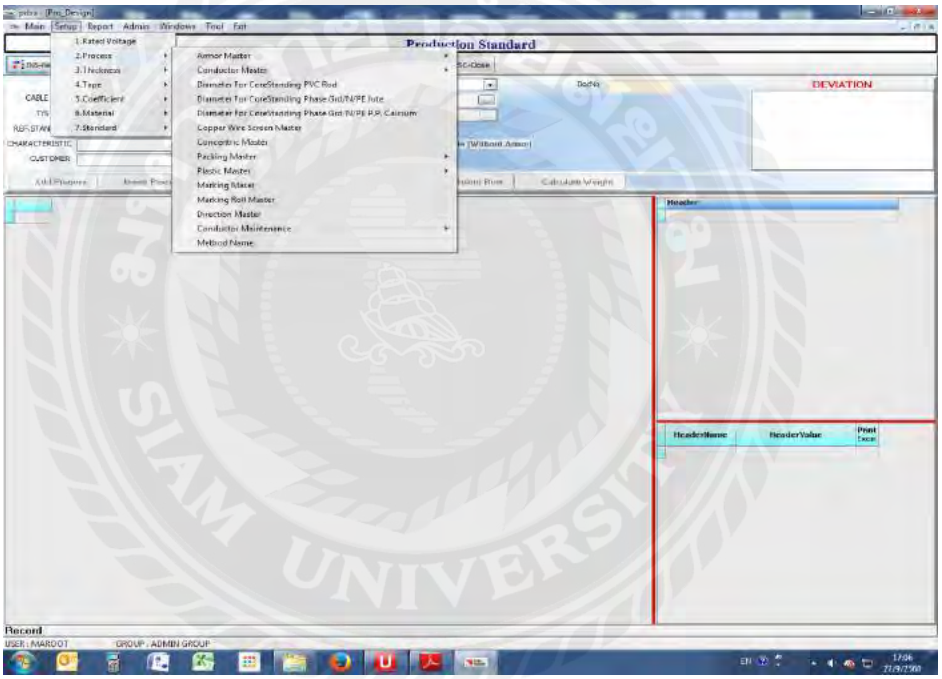
Size			Marking Roll (mm)		Packing		Calculated weight (g/m)				
Core		Size (mm2)	Hight of Letter (H)	Width Marking Roll (W)	Std. Length (m)	Drum No.	Cond.	Insu.		Sheath	Total
No	Type							101B(A)	101B(B)		
1		50	1.80	25	500	4-3	126.20	31.10	1.60	72.70	231.60

Date : 08/03/2017 Approver :_____ Checker :_____ Writer :_____

รูปที่ 5.23 การแสดงข้อมูลของโปรแกรม Pro_Design

5.3.3 การแก้ไขข้อมูล

การใช้งานโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า (Pro_Design) สิ่งที่ขาดไม่ได้และนับเป็นส่วนที่ความสำคัญต่อโปรแกรมมากที่สุดคือ ตารางข้อมูลของโปรแกรม เนื่องจากในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้ามักมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบอยู่ตลอดเวลา ทั้งวัตถุดิบ รูปแบบของกระบวนการต่างๆรวมถึงการปรับเปลี่ยนของมาตรฐานการผลิตภายในโรงงานและมาตรฐานการผลิตสากลที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิต จากหัวข้อที่ 4.3 จะเป็นการอธิบายขั้นตอนและเงื่อนไขการคำนวณ รวมทั้งตารางข้อมูลของโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้วนั้น ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการใช้งานในส่วนดังกล่าวดังนี้



รูปที่ 5.24 แสดงการใช้งานการ Setup ข้อมูลของโปแกรม Pro_Design

การแก้ไขข้อมูลและเงื่อนไขในการผลิตของโปรแกรม Pro_Design สามารถทำได้โดยการเข้าไปที่คำสั่ง Setup ในแถบเครื่องมือที่3 ตามหัวข้อที่ 5.2 โดยการแก้ไขข้อมูลนั้นจะมีเงื่อนไขของผู้ที่ใช้งานตามการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามหัวข้อที่ 5.3.1 โดยต้องเป็น Admin Group เท่านั้น เนื่องจากส่วนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากจึงอนุญาติให้มีการเข้าถึงเป็นรายบุคคล โดยเมื่อเข้าไปที่คำสั่ง Setup โปรแกรมก็จะแสดงหมวดย่อยของข้อมูล ซึ่งการแก้ไขในแต่ละครั้งผู้ดำเนินการจะนำข้อมูลจากการปรับเปลี่ยนมาตรฐานภายในมาอ้างอิงในการแก้ไขนั้นด้วย เนื่องจากโปแกรมนี้เป็น

การนำมาตรฐานการออกแบบสายไฟฟ้าภายในและมาตรฐานสากลมารวมเข้าไว้ด้วยกัน จึงจำเป็นต้องใช้เงื่อนไขเพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

5.4 ปัญหาที่พบและการแก้ไข

หลังจากที่ทำการออกแบบรูปแบบและการใช้งานของโปรแกรม Pro_Design เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในส่วนต่อไปคือการทดสอบการใช้งานของโปรแกรมโดยเริ่มต้นจากการใช้งานในชนิดของสายไฟฟ้าที่มีโครงสร้างอย่างง่ายไปจนถึงสายไฟโครงสร้างที่มีความซับซ้อน เพื่อให้ครอบคลุมการออกแบบจริงและเพื่อให้สามารถเจอข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้ โดยทางผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการตรวจสอบโปแกรมไว้ดังตารางที่ 5.5 เป็นการทดสอบการใช้งานของโปรแกรมโดยให้มีโครงสร้างแตกต่างกันไปจำนวน 16 รูปแบบเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรม

ตารางที่ 5.5 ตารางลำดับโครงสร้างสำหรับการทดสอบโปรแกรม

หัวข้อ		Condition															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Conductor		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tape on conductor			X								X	X	X	X	X	X	X
Conductor shield														X	X	X	X
Insulation		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Insulation shield														X	X	X	X
Core stranding					X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Binder or Separator tape						X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Armour	wire						X	X	X	X	X	X		X			
	Tape							X					X		X	X	X
Screen	Wire								X				X	X	X		
	Metallic											X				X	X
Inner sheath							X	X		X	X	X	X	X	X		X
Sheath or Outer sheath				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X = โครงสร้างที่เลือกเพื่อทดสอบ

จากตารางที่ 5.5 จะเป็นการทดสอบโปรแกรม Pro_Design โดยให้มีจำนวนโครงสร้างแตกต่างกันไปโดยเริ่มจากโครงสร้างอย่างง่าย จนไปถึงโครงสร้างที่มีความซับซ้อน ทั้งนี้เพื่อเป็น

การตรวจสอบข้อผิดพลาดของโปรแกรมว่ามีจุดบกพร่องจุดใดบ้าง โดยจากการทดสอบพบว่ามีจำนวนคงามผิดพลาดในช่วงทดสอบพอสมควรโดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 รายละเอียดความผิดพลาดและวิธีแก้ไข

หัวข้อ		ความผิดพลาด	สาเหตุ	การแก้ไข
Conductor		-	-	-
Tape on conductor		-	-	-
Conductor shield		-	-	-
Insulation		-	-	-
Insulation shield		-	-	-
Core stranding		- การคำนวณ Filler มีทศนิยม	- ไม่ได้ใส่เงื่อนไขการปัดทศนิยม	- แก้ไขการปัดเลขไม่ให้มีทศนิยม เนื่องจาก Filler ต้องเป็นจำนวนเส้นเต็ม ปัดทศนิยมทิ้งทั้งหมด
		- ทศนิยมในช่อง Diameter ผิด	- ไม่ได้ใส่เงื่อนไขการปัดทศนิยม	- ทำการแก้ไขการปัดทศนิยม
		- ค่า Pitch ผิด	- โรงงานมีการปรับค่า Pitch ในกลุ่มสายแต่ละประเภทใหม่	- ปรับค่า Pitch ในตารางค่า Pitch ให้ตรงกับการผลิตปัจจุบัน
			- โปรแกรมไม่นับจำนวนแกน PE, N, GRD รวมกับแกนหลัก (Core)	- ปรับให้โปรแกรมนำจำนวนแกนหลัก (Core) บวกกับแกน PE, N, G ก่อนแล้วจึงเลือกค่า อัตราส่วนการตีเกลียวแกน (Pitch)
Binder or Separator tape		- ดึงความกว้างเทปผิด	- ช่วงระยะกำหนดการพันมีช่องว่างของค่าตัวเลข	- ใส่ตัวเลขช่วงการพันให้ต่อเนื่องกัน โดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
Armour	wire	-	-	-
	Tape	-	-	-
Screen	Wire	- คำนวณน้ำหนักผิด	- ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มน้ำหนักผิด	- ปรับค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มน้ำหนักให้ตรงกับการใช้งานจริง
	Metallic	- ดึงความกว้างเทปผิด - ค่า Diameter ผิด	- ช่วงระยะกำหนดการพันมีช่องว่างของค่าตัวเลข - เทปโลหะมี 2 ความหนาแต่โปรแกรมยังไม่ได้ปรับเปลี่ยน	- ใส่ตัวเลขช่วงการพันให้ต่อเนื่องกัน โดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง - ปรับแก้ให้มีความหนา 2 แบบโดยตั้งชื่อระบุแยกออกจากกัน
Inner sheath		-	-	-
Sheath or Outer sheath		- คำนวณ Material แบบ 3 เกรดผสมกันไม่ได้	- เนื่องจากเงื่อนไขใหม่ของบริษัทโปรแกรมยังไม่ได้กำหนด	- ทำการออกแบบเงื่อนไขการคำนวณ Material แบบ 3 เกรดผสมกัน

จากการทดสอบพบว่าความผิดพลาดของโปรแกรมนั้น พบปัญหาค่อนข้างมากตามรายละเอียดในตารางที่ 5.6 ซึ่งได้ทำการแก้ไขจนครบทุกหัวข้อ และได้ทำการย้อนกลับไปเช็ค

Process อื่นๆของโปรแกรมที่ไม่ได้ผิดพลาดด้วย เนื่องจากนะระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยนั้น อาจมีตัวอย่างไม่เพียงพอซึ่งอาจส่งผลต่อการหลุดรอดในอนาคตได้ เพราะการใช้โปรแกม Pro_Design ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้านั้น จะไม่สามารถตรวจสอบสูตรคำนวณเหมือนการเช็คในโปรแกรม MS EXCEL ได้ทางผู้วิจัยจึงทำการเช็คเงื่อนไขใหม่ทั้งหมดทุก Process โดยทำงานร่วมกับ Programer โดยกำหนดเงื่อนไขการเช็คใหม่ดังนี้

ตารางที่ 5.7 ตารางการตรวจสอบเงื่อนไขการคำนวณ

ลำดับ	Process	หัวข้อตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
			ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
1	Conductor	ค่า Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
2	Tape on conductor	เงื่อนไขการดึงค่าความหนา	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
3	Conductor Shield	เงื่อนไขการดึงค่าความหนา	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
4	Insulation	เงื่อนไขการดึงค่าความหนา	✓		
		ความหนาในตารางข้อมูลกับมาตรฐานอ้างอิง	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
5	Insulation shield	เงื่อนไขการดึงค่าความหนา	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
6	Core stranding	การคำนวณ Filler	✓		
		การคำนวณ Pitch	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		

ตารางที่ 5.7 ตารางการตรวจสอบเงื่อนไขการคำนวณ (ต่อ)

ลำดับ	Process	หัวข้อตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
			ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
7	Binder or Separator tape	เงื่อนไขการดึงค่าความกว้างเทป	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
8	Armor wire	การคำนวณจำนวนเส้น	✓		
		การคำนวณ Pitch	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
9	Armor Tape	เงื่อนไขการดึงค่าความกว้างเทป	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
10	Wire screen	การคำนวณจำนวนเส้น	✓		
		การคำนวณ Pitch	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
11	Metallic screen	เงื่อนไขการดึงค่าความกว้างเทป	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
12	Inner sheath	การคำนวณความหนา	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		
13	Sheath or Outer Sheath	การคำนวณความหนา	✓		
		ค่าเผื่อความหนา (Min, Std, Max)	✓		
		การคำนวณ Diameter	✓		
		การคำนวณน้ำหนัก	✓		

จากการตรวจสอบซ้ำในทุกขั้นตอนไม่พบความผิดพลาดในเงื่อนไขที่ทำการกำหนดไว้ ทำให้สามารถแก้ปัญหาข้อผิดพลาดของโปแกรมในปัจจุบันได้ทั้งหมด โดยยึดหลักตามการคำนวณเดิมทั้งหมดถ้ามีการปรับเปลี่ยนสูตรคำนวณ หรือเงื่อนไขอื่นๆ จะต้องทำการแก้ไขใหม่ต่อไปในอนาคต

5.5 สรุปผลการทดสอบการทำงาน

จากการรวบรวมและปรับปรุงสูตรคำนวณและนำมาออกแบบเป็นโปรแกรม Pro_Design พบว่าโปรแกรมนี้ มีเงื่อนไขที่ครอบคลุมการผลิตภายสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2ในบริษัทที่ทำการศึกษาแห่งนี้ ในการทดสอบพบว่าการคำนวณเป็นไปตามเงื่อนไขเดิมทั้งหมดและเป็นรูปแบบที่ทางแผนกออกแบบสายไฟฟ้าต้องการและยอมรับในการกำหนดรูปแบบการใช้งานต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรึกษากับแผนกออกแบบสายไฟฟ้ามาโดยตลอดในระยะเวลาการดำเนินการในการออกแบบโปรแกรม โดยจากนี้ทางผู้วิจัยจะนำโปรแกรม Pro_Design ไปใช้แทนการออกแบบเดิมเพื่อเปรียบเทียบ ความถูกต้องของข้อมูล, ความยากง่าย และเวลาในการดำเนินงานต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม Pro_Design โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้พนักงานแผนกออกแบบสายไฟฟ้าในบริษัทที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ได้นำไปใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า จากปัญหาที่พบจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตที่มีความผิดพลาดและทำให้เกิดความเสียหายด้านต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการแก้ไขและดำเนินงานในกระบวนการทั้งหมดใหม่ ในระยะเวลาที่ผ่านมาทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและทดสอบโปรแกรม Pro_Design มาตลอด เนื่องจากเป็นโปรแกรมการออกแบบมาตรฐานสายไฟฟ้าโปแกรมแรกในบริษัท ครอบคลุมการออกแบบกลุ่มสาย Power ตามมารตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ซึ่งเป็น Order หลักขององค์กรที่ต้องมีการออกแบบใหม่อยู่เสมอ โดยปัจจัยของความต้องการที่หลากหลายจนไปถึงการปรับเปลี่ยนโครงสร้างหรือวัตถุดิบภายในบริษัทจากผลของราคาวัตถุดิบที่สูงขึ้น จึงต้องมีการทดแทนโดยวัตถุดิบอื่นหรือเปลี่ยนโครงสร้างบางส่วนเพื่อปรับราคาให้สามารถดำเนินธุรกิจได้อย่างต่อเนื่อง

ในบทนี้ทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงการนำโปรแกรม Pro_Design ไปใช้งานในการออกแบบมาตรฐานการผลิตภายในบริษัทที่ทำการศึกษา โดยวัตถุประสงค์เพื่อลดความผิดพลาดในสายกลุ่ม Power ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 ให้ความผิดพลาดเป็นศูนย์ โดยสามารถอธิบายขั้นตอนในการดำเนินงานได้ดังนี้

6.1 ผลการดำนินงาน

ในการดำเนินงานการใช้โปรแกรม Pro_Design ในการออกแบบมาตรฐานการผลิต แทนการใช้ MS EXCEL ผลของการทดลองใช้งานเป็นไปได้อย่างถูกต้อง โดยใช้เวลาในการดำเนินงานในการทดสอบระเวลา 2 เดือนเพื่อทดสอบในแต่ละ Process เพื่อหาจุดบกพร่องของโปรแกรมโดยในระยะเวลาการทดสอบโปรแกรมช่วงแรกมีปัญหาในเรื่องของการปัดตัวเลขในหลักทศนิยม เนื่องจากมาตรฐานการผลิตจะมีส่วนของน้ำหนักซึ่งส่วนนี้จะถูกนำไปคิดราคา ทำให้ในการคำนวณโครงสร้างต่างๆต้องถูกต้องทั้งหมดโดยคิดค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์ถึงจะสามารถนำไปใช้ในการ

ออกแบบมาตรฐานการผลิตภายในบริษัทแห่งนี้ได้ โดยได้ทำการแก้ไขให้การปัดตัวเลขเป็นไปตามวิธีการปัดตัวเลขของทางบริษัท จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับการออกแบบเดิมโดยใช้ MS EXCEL โดยทำการเปรียบเทียบดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Pro_Design กับ MS EXCEL

ลำดับ	หัวข้อ	Pro_Design	MS EXCEL
1	การใช้งานเริ่มต้น (ทำใหม่ทั้งหมด)	ใช้งานได้ง่าย โดยทำการเลือกขั้นตอนแต่ละ Process	ดำเนินการได้ยากเนื่องจากต้องทำการพิมพ์สูตรคำนวณในทุกช่อง
2	การแทรก Process	สามารถทำได้ทันที	เมื่อแทรก Process จะต้องทำการเพิ่มสูตรคำนวณเข้าไปด้วย
3	การคำนวณ	ใส่เพียงจำนวนแกน, พื้นที่หน้าตัด และกดคำนวณ	ต้องลงค่าข้อมูลตั้งแต่ Conductor ถึงความหนา Insualtion ก่อน
4	การตรวจสอบข้อมูล	ไม่ต้องตรวจสอบ	ต้องเช็คข้อมูลทีละบรรทัด เพราะ อาจมีผลจาก Human Error
5	ความผิดพลาด	ไม่พบข้อผิดพลาด[1]	พบข้อผิดพลาดจากการใช้สูตรคำนวณผิด[1]
6	การปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการคำนวณ	ปรับเปลี่ยนจากตารางข้อมูลในฟังก์ชั่น Setup	แก้ไขทีละบรรทัด
7	การนำมาตรฐานเก่ามาแก้ไข	สามารถทำได้	สามารถทำได้

[1]การเปรียบเทียบนี้เป็นการเปรียบเทียบโดยการทำทุกขั้นตอนใหม่ทั้งหมด

จากการเปรียบเทียบในเชิงลักษณะการทำงานตามตารางที่ 6.1 แล้วนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการสำรวจระดับความรู้ที่ใช้ เพื่อเปรียบเทียบในการที่ผู้ออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยโปรแกรม Pro_Design นั้นว่า สามารถลดการใช้ประสบการณ์ในการทำงานได้หรือไม่ เนื่องจากแต่เดิมการเกิดความผิดพลาดจาก Human Error นั้นเกิดจากการใช้ทักษะความชำนาญซึ่ง เมื่อมีการปรับเปลี่ยนบุคลากรนั้น ทำให้บุคลากรใหม่ไม่รู้ถึงเงื่อนไขเฉพาะที่ต้องอาศัยประสบการณ์เหล่านั้น ทำให้เกิดความผิดพลาด และลดการเปิดมาตรฐานหลายๆ ฉบับเพื่ออ้างอิงโครงสร้างซึ่งเป็นการลดกรรมวิธีที่ยุ่งยากและส่งผลต่อระยะเวลาในการดำเนินงานอีกด้วย โดยได้ทำการเก็บข้อมูลจากบุคลากรแผนก

ออกแบบสายไฟฟ้าที่ดำเนินงานในจุดนี้จำนวน 5 ท่านเพื่อสำรวจข้อมูลในการใช้งานโปรแกรม Pro_Design เปรียบเทียบกับการดำเนินงานโดยใช้โปรแกรม MS EXCEL ว่ามีความแตกต่างกันในระดับความรู้ที่ใช้อย่างไรโดยหัวข้อสำรวจทั้งหมด 5 ข้อโดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบระดับความรู้ที่ใช้ในการทำงานระหว่างโปรแกรม Pro_Design กับ MS EXCEL

ผู้ประเมิน	ตำแหน่ง	สูตรคำนวณ		เงื่อนไขของเครื่องจักร		มาตรฐานอ้างอิง		โครงสร้างของสายไฟฟ้า		เงื่อนไขพิเศษเฉพาะ	
		MS EXCEL	Pro_Design	MS EXCEL	Pro_Design	MS EXCEL	Pro_Design	MS EXCEL	Pro_Design	MS EXCEL	Pro_Design
คนที่ 1	Engineer	3	1	3	1	3	2	3	3	3	1
คนที่ 2	Worker	3	2	3	2	3	2	3	3	3	1
คนที่ 3	Worker	3	2	3	1	3	2	3	3	3	1
คนที่ 4	Chief	3	1	3	1	3	2	3	3	3	1
คนที่ 5	Section Manager	3	2	3	1	3	2	3	3	3	2
ค่าเฉลี่ย		3	1.6	3	1.2	3	2	3	3	3	1.2
		3	2	3	1	3	2	3	3	3	1

Remark: 3 = Good Level, 2 = Fair Level, 1 = Poor Level

จากการประเมินทั้ง 5 หัวข้อสามารถสรุปได้ว่า โปรแกรม Pro_Design นั้นสามารถช่วยลดระดับความรู้ที่ใช้ในการทำงานได้ 4 ข้อ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สูตรคำนวณ

ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้โปรแกรม Pro_Design นั้นสามารถลดการใช้ทักษะด้านสูตรคำนวณลงได้ เนื่องจากโปรแกรมจะทำการคำนวณตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ภายในโปรแกรมแบบอัตโนมัติ ทั้งการเลือกเงื่อนไขต่างๆ รวมถึงการใช้ค่า Factor ที่มาจากเงื่อนไขของการผลิตภายในบริษัท ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม MS EXCEL นั้นซึ่งต้องมีความรู้ความเข้าใจในสูตรคำนวณอย่างดี แต่ก็อาจเกิดความผิดพลาดจากการเขียนสูตรคำนวณผิด ในลักษณะของการปัดตัวเลข ซึ่งส่งผลต่อความผิดพลาดได้เช่นกัน

2. เงื่อนไขเครื่องจักร

โปรแกรมนี้สามารถลดการใช้ความชำนาญในเงื่อนไขเครื่องจักรได้ เนื่องจากได้รวบรวมไว้ในฟังก์ชันของโปรแกรมทั้งหมดแล้ว ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องคอยระวังในเรื่องของการออกแบบที่

ไม่ตรงกับการผลิตจริง ซึ่งแตกต่างกับกรณีการใช้ MS EXCEL ที่ผู้ออกแบบต้องรู้ถึงขีดความสามารถของเครื่องจักรเป็นพิเศษ

3. มาตรฐานอ้างอิง

การใช้มาตรฐานอ้างอิงในการออกแบบมาตรฐานการผลิตนั้น เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากมาตรฐานนั้นเป็นสิ่งชี้วัดคุณภาพของสินค้า ซึ่งถ้ามีการอ้างอิงผิดก็จะส่งผลต่อการผลิต ทำให้เกิดสินค้าที่เป็น No Good อีกด้วย จากการพัฒนาโปรแกรมฯ ผู้ออกแบบเพียงว่าส่วนของดครงสร้างใด อ้างอิงมาตรฐานอะไร ก็สามารถที่จะดำเนินการออกแบบได้ถูกต้อง เช่น ความหนาของฉนวน, ความหนาของเปลือก เป็นต้น โดยโปรแกรมฯ จะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นตามมาตรบานที่ทำการเลือกไว้ แตกต่างจากการออกแบบโดย MS EXCEL ที่ต้องป้อนค่าเริ่มต้นเอง ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

4. โครงสร้างของสายไฟฟ้า

กรณีความรู้ที่ใช้เกี่ยวกับโครงสร้างสายไฟฟ้านั้น ทั้งการดำเนินงานโดยใช้ MS EXCEL และการใช้โปรแกรมฯ ในการออกแบบนั้น ผู้ออกแบบมาตรฐานการผลิตมีความจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงโครงสร้างทั้งหมด เนื่องจากความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย ทำให้มีการออกแบบสายไฟฟ้าชนิดใหม่ๆ อยู่ตลอดเวลาทำให้ผู้ที่ออกแบบต้องรู้ถึงโครงสร้างที่จะนำมาออกแบบ โดยในส่วนนี้ทางบริษัทฯ ได้มีการอบรมพนักงานในส่วนนี้อยู่แล้ว โดยต้องศึกษากรับวนการผลิตว่ากระบวนการผลิตสายไฟฟ้าเป็นอย่างไร เพื่อที่จะวางโครงสร้างสายไฟฟ้าได้ถูกต้อง

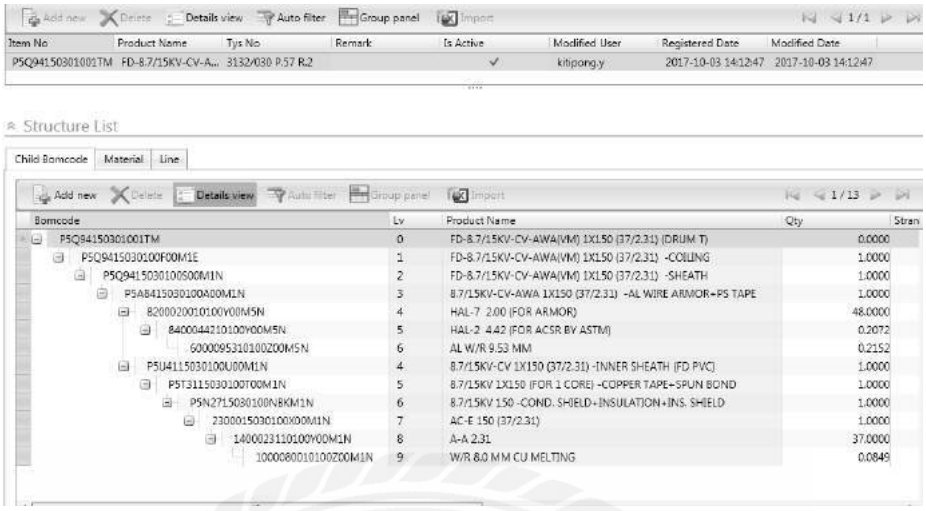
5. เงื่อนไขพิเศษเฉพาะ

เงื่อนไขพิเศษเฉพาะเป็นเงื่อนไขที่ถูกกำหนดพิเศษจากการออกแบบตามมาตรฐานปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากการทดสอบบางหัวข้อ ทำให้ต้องมีการปรับบางโครงสร้างตามความเหมาะสมซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะถูกออกแบบเป็นฟังก์ชั่นพิเศษให้ทำการเลือกเพื่อไม่ให้การคำนวณผิดเพี้ยนแตกต่างจากการใช้ MS EXCEL ซึ่งต้องปรับแก้ไขค่าดังกล่าวเองส่งผลต่อความผิดพลาดบ่อยครั้ง

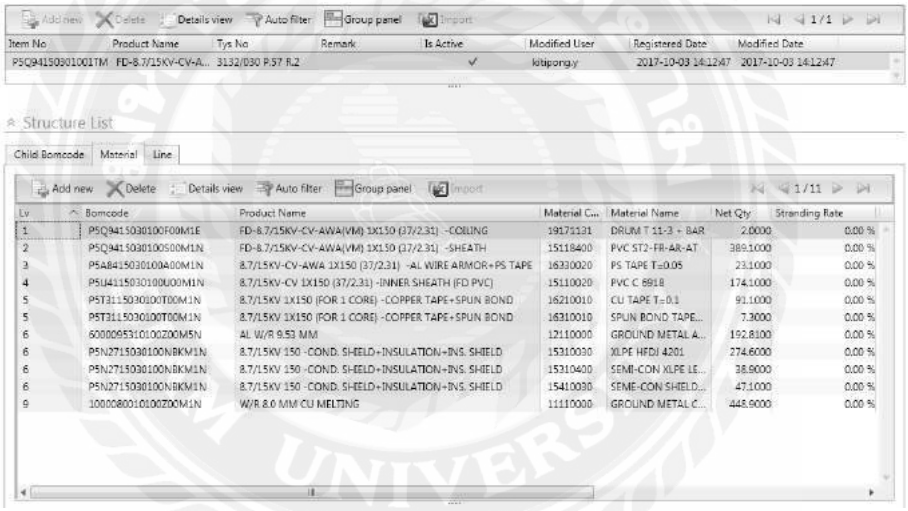
ตลอดการดำเนินงานโดยใช้โปรแกรม Pro_Design เทียบกับการใช้ MS EXCEL โดยในช่วงการดำเนินงานวิจัยจะเป็นการจัดทำมาตรฐานการผลิตแบบคู่ขนานกันเพื่อจะได้เห็นถึงส่วนต่างของความผิดพลาด โดยข้อมูลดังกล่าวใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งสิ้น 2 เดือนโดยมีจำนวนมาตรฐานการผลิตแยกตามมาตรฐานอ้างอิงได้ในตารางที่ 6.1

รูปที่ 6.1 ข้อมูลจำนวนมาตรฐานการผลิตในเดือนสิงหาคม-กันยายน 2560

จากรูปที่ 6.1 เป็นกราฟแสดงจำนวนมาตรฐานการผลิตที่ได้ดำเนินการจัดทำขึ้นจากความความต้องการของลูกค้าโดยทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบมาตรฐานการผลิตดังกล่าวโดยโปรแกรม Pro_Design ควบคู่ไปกับการจัดทำมาตรฐานการผลิตโดย MS EXCEL เพื่อเป็นการ Cross check ซึ่งกันและกันโดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาดเป็น 0 เพื่อไม่ให้กระทบต่อโปรแกรมที่ใช้ในการคิดราคา เนื่องจากโปรแกรมคิดราคาที่ใช้ในบริษัทแห่งนี้จะเป็นลักษณะของการคำนวณ Process แบบใช้ Bomcode ดังรูปที่ 6.2 จากนั้นจะทำการคำนวณน้ำหนักดังรูปที่ 6.3 ซึ่งในกรณีมีการมีโครงสร้างที่เหมือนกันโปแกรมจะทำการดึงทั้ง Bom code และน้ำหนัก จึงเป็นที่มาของการออกแบบโปแกรม Pro_Design เพื่อลดความผิดพลาดให้เป็นศูนย์ เพราะถ้าเกิดความผิดพลาดจะส่งผลกระทบต่อส่วนการคิดราคาของสายไฟฟ้าที่ใช้ Bomcode ร่วมกันได้



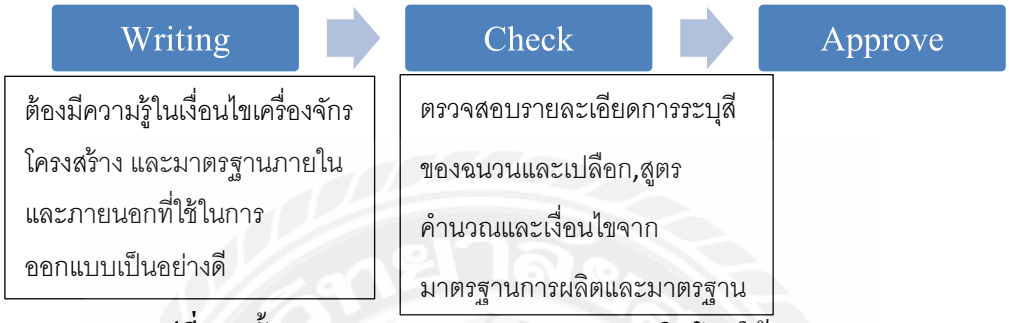
รูปที่ 6.2 การคำนวณ Process ของโปรแกรมคิดราคา



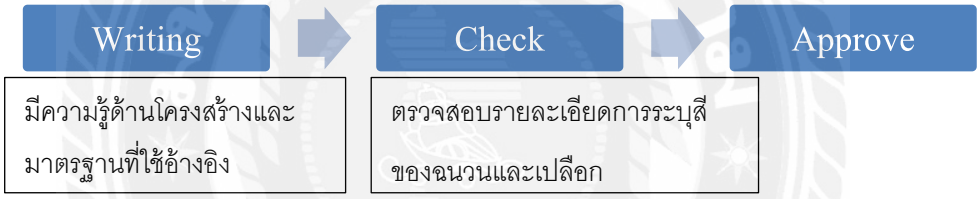
รูปที่ 6.3 การคำนวณน้ำหนักของโปรแกรมคิดราคา

จากที่กล่าวมาในตลอดระยะเวลา 2 เดือนที่ใช้โปแกรม Pro_Design ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตจำนวน 46 รายการพบว่าไม่เกิดความผิดพลาดใดๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ ทำให้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าระดับแรงดันตั้งแต่ 0.6/1KV- 18/30 KV ที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 นั้นสามารถใช้โปรแกรม Pro_Design ในการทดแทนการออกแบบโดยใช้ MS EXCEL ได้ทำให้และยังช่วยลดเวลาในการตรวจสอบได้อีกด้วย จากการทำงานรูปแบบเดิมที่ต้องใช้พนักงานในการตรวจสอบรายละเอียดย่อย เช่น การระบุสีของฉนวนและเปลือก , สูตรคำนวณต่างๆ และเงื่อนไขการผลิต ซึ่งถ้ามาตรฐานการผลิตฉบับนั้นๆ มีจำนวน

รายการที่มากขึ้น จะส่งผลให้การตรวจสอบนั้นยิ่งใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานนาน ส่งผลให้การผลิตล่าช้า และอาจมีการหลุดรอดของความผิดพลาด โดยหลังจากการใช้โปรแกรม Pro_Design พบว่าช่วยลดเวลาในส่วนดังกล่าวออกไป โดยเหลือการตรวจสอบแค่เพียงการระบุสีของฉนวนและเปลือกเท่านั้นหลังจากออกแบบมาตรฐานการผลิต ดังรูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.4 ขั้นตอนการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้ MS EXCEL



รูปที่ 6.5 ขั้นตอนการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้โปรแกรม Pro_Design

ตารางที่ 6.2 แสดงจำนวนมาตรฐานการผลิตที่ทำการออกแบบ

ในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน 2560 และความผิดพลาดที่ตรวจพบ

No	หมายเลขมาตรฐานการผลิต	ชื่อสายไฟฟ้า	มาตรฐานอ้างอิง	ความผิดพลาด*		เวลาที่ใช้งาน (นาที)		เวลาที่ลดลง (นาที)
				EXCEL	Pro_Design	EXCEL	Pro_Design	
1	3131-001-P350-R1	0.6-1KV-IV (ABC)	IEC 60502-1			30	15	15
2	3131-002-P141-R2	FD-0.6-1KV-AL-CV-GRD (0010)	IEC 60502-1			38	15	23
3	3131-003-P314-R0	FD-0.6-1KV-AL-CV-S	IEC 60502-1			41	20	21
4	3131-006-P276-R0	FD-0.6-1KV-CV-GRD-S-SWA	IEC 60502-1	1		50	17	33
5	3131-007-P276-R0	FD-0.6-1KV-CV-GRD-S-SWA (VM)	IEC 60502-1			55	30	25
6	3131-011-P85-R1	FD-0.6-1KV-AL-CV-STA	IEC 60502-1			37	20	17
7	3131-012-P229-R2	FDLH-0.6-1KV-CE-S-SWA	IEC 60502-1			35	25	10
8	3131-038-P173-R2	FDLH-0.6-1KV-CE-AWA (VM)	IEC 60502-1			40	22	18
9	3131-050-P54-R1	FD-0.6-1KV-AL-CV (0010)	IEC 60502-1			35	15	20
10	3131-055-P74-R3	FD-0.6-1KV-CV-CWS	IEC 60502-1			32	26	6
11	3131-059-P74-R1	FD-0.6-1KV-CV-CWS (VM)(0050)	IEC 60502-1			28	23	5
12	3131-062-P7-R2	FD-0.6-1KV-CV-GRD-SWA (0005)	IEC 60502-1			34	30	4
13	3131-158-P170-R3	FS-FDLH-0.6-1KV-CE (VM)(6600)	IEC 60502-1			29	22	7
14	3131-159-P170-R4	FS-FDLH-0.6-1KV-CE (6610)	IEC 60502-1			30	15	15
15	3131-667-P37-R3	FD-0.6-1KV-CV-SWA (VM)	IEC 60502-1	3		25	15	10
16	3131-848-P18-R3	FD-0.6-1KV-CV	IEC 60502-1			23	10	13
17	3131-877-P18-R5	FD-0.6-1KV-CV	IEC 60502-1			22	10	12

ตารางที่ 6.2 แสดงจำนวนมาตรฐานการผลิตที่ทำการออกแบบ

ในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน 2560 และความผิดพลาดที่ตรวจพบ (ต่อ)

No	หมายเลขมาตรฐานการผลิต	ชื่อสายไฟฟ้า	มาตรฐานอ้างอิง	ความผิดพลาด*		เวลาที่ใช้งาน (นาที)		เวลาที่ลดลง (นาที)
				EXCEL	Pro_Design	EXCEL	Pro_Design	
18	3132-001-P372-R0	FD-6-10KV-AL-CE-CWS(TAC)	IEC 60502-2			40	30	10
19	3132-001-P373-R0	12-20KV-CE-CWS (PAC)	IEC 60502-2			35	30	5
20	3132-004-P78-R1	8.7-15KV-AL-CV	IEC 60502-2			29	18	11
21	3132-004-P143-R1	FD-1.8-3KV-CE-SWA (3505)	IEC 60502-2	5		39	22	17
22	3132-005-P77-R0	FD-12-20KV-AL-CV-STA (0010)	IEC 60502-2			33	16	17
23	3132-005-P78-R1	8.7-15KV-AL-CV (0010)	IEC 60502-2			35	25	10
24	3132-012-P16-R3	FD-12-20KV-CE-AWA (VM)(3500)	IEC 60502-2			20	16	4
25	3132-012-P88-R2	3.6-6KV-AL-CV	IEC 60502-2	6		16	10	6
26	3132-014-P269-R0	FD-12-20KV-CE-CWS-AWA (VM) (9910)	IEC 60502-2			40	29	11
27	3132-026-P66-R2	FD-8.7-15KV-CV (VM)	IEC 60502-2			19	12	7
28	3132-078-P28-R0	FD-12-20KV-CE-CWS (VM) (9910)	IEC 60502-2			32	20	12
29	3131-002-P351-R0	FDLH-0.6-1KV-AL-CE-SWA (0011)	IEC 60502-1			28	15	13
30	3131-003-P145-R1	0.6-1KV-AL-CE (0010)	IEC 60502-1			25	15	10
31	3131-003-P351-R0	FDLH-0.6-1KV-AL-CE-SWA (0011)	IEC 60502-1			29	20	9
32	3131-010-P331-R2	0.6-1KV-AL-IC	IEC 60502-1			15	8	7
33	3131-013-P229-R0	FDLH-0.6-1KV-CE-S-SWA (0010)	IEC 60502-1			25	20	5
34	3131-061-P74-R0	FD-0.6-1KV-CV-CWS (VM) (4010)	IEC 60502-1			40	20	20

ตารางที่ 6.2 แสดงจำนวนมาตรฐานการผลิตที่ทำการออกแบบ

ในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน 2560 และความผิดพลาดที่ตรวจพบ (ต่อ)

No	หมายเลขมาตรฐานการผลิต	ชื่อสายไฟฟ้า	มาตรฐานอ้างอิง	ความผิดพลาด[1]		เวลาที่ใช้งาน (นาที)		เวลาที่ลดลง (นาที)
				EXCEL	Pro_Design	EXCEL	Pro_Design	
35	3131-123-P95-R2	FD-0.6-1KV-CV-GRD (0063)	IEC 60502-1			42	23	19
36	3132-001-P369-R1	8KV-CV	IEC 60502-2			38	22	16
37	3132-001-P374-R0	FD-3.6-6KV-CE-CWS-AWA (VM) (3560)	IEC 60502-2	4		45	30	15
38	3132-001-P375-R0	24KV-CU-OC	IEC 60502-2			43	30	13
39	3132-001-P376-R0	FD-3.6-6KV-CE-AWA (VM) (3560)	IEC 60502-2			40	29	11
40	3132-001-P377-R0	36-60KV-CE (9940)	IEC 60502-2			45	27	18
41	3132-002-P331-R0	6-10KV-AL-CE	IEC 60502-2			25	15	10
42	3132-009-P133-R0	FD-8.7-15KV-CE (6710)	IEC 60502-2			30	20	10
43	3132-015-P269-R1	FD-12-20KV-CE-CWS-AWA (VM) (9910)	IEC 60502-2	4		40	25	15
44	3132-020-P184-R2	FD-18-30KV-CV(VM)	IEC 60502-2			31	20	11
45	3115-001-P135-R1	0.6-1KV-AL-VV-S	IEC 60502-1			30	15	15
46	3131-021-P273-R0	FDLH-0.6-1KV-CCE-S-SWA	IEC 60502-1			40	20	20
รวม				6 ครั้ง	0 ครั้ง	1533 นาที	932 นาที	601 นาที
เฉลี่ย						33.33 นาที	20.26 นาที	13.07 นาที

[1]คำอธิบายความผิดพลาด

1. ความผิดพลาดที่เกิดจากที่เกิดจากการระบุสีฉนวนหรือเปลือก
2. ความผิดพลาดจาการใช้ค่า Coefficient ผิดพลาด
3. การใช้ความหนาของฉนวนและเปลือกผิด

4. การคำนวณโครงสร้างผิด เช่น ความกว้างเทป, จำนวนเส้น Armor, จำนวนเส้น Filler และอื่นๆ
5. ใช้ Material ผิดชนิด
6. คำนวณน้ำหนักผิด

จากตารางที่ 6.2 พบว่าในการออกแบบมาตรฐานโดยการทำแบบคู่ขนานเพื่อทำการ Corss cheak ระหว่างการจัดทำโดยใช้ MS EXCEL กับโปรแกรม Pro_Design โดยในการจัดทำมาตรฐานการผลิตนั้นจะทำการออกแบบใหม่ทุกขั้นตอน เนื่องจากในการใช้งานปกตินั้นผู้ที่ใช้ MS EXCEL ในการออกแบบจะนำมาตรฐานฉบับเก่ามาแก้ไข เช่น เพิ่มโครงสร้าง, เปลี่ยนวัตถุดิบ, เปลี่ยนสี ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบเชิงเวลาการทดสอบได้ ทางผู้วิจัยจึงทำการออกแบบโดยใช้ MS EXCEL และ Pro_Design โดยทำการออกแบบใหม่ทุกขั้นตอนโดยไม่ให้ใช้แบบฟอร์มเก่ามาทำการแก้ไข ซึ่งในช่วงระยะเวลา 2 เดือนมีผลของความผิดพลาดจากการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้ MS EXCEL จำนวน 6 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 13.04% และไม่พบความผิดพลาดจากโปแกรม Pro_Design

ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตนั้นจากตารางที่ 6.2 โดยทำการเปรียบเทียบโดยนำเวลาที่ใช้ในการออกแบบโดยโปรแกรม MS EXCEL เทียบกับ Pro_Design พบว่าเวลาที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้โปรแกรม Pro_Design มีระยะเวลาที่ลดลงโดยเฉลี่ยที่ 13.07 นาที/ฉบับ ซึ่งเวลาที่ลดลงนั้นในแต่ละฉบับจะมีความแตกต่างกันตามโครงสร้างของสายไฟฟ้า ซึ่งในการเก็บข้อมูลนั้นจะใช้ผู้ที่จัดทำมาตรฐานการผลิตคนเดียวกันทั้ง MS EXCEL และใช้โปรแกรม Pro_Design เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง โดยเวลาที่ลดลงนั้นเป็นผลดีที่มาจากการออกแบบโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ง่ายและไม่ต้องใช้เวลาในการเปิดมาตรฐานในการออกแบบจึงทำให้ลดเวลาในส่วนนี้ไปได้

6.2 สรุปผลการใช้งานโปรแกรม

จากการดำเนินงานโดยใช้โปรแกรม Pro_Design ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตและทำการทดสอบหาข้อผิดพลาดตลอดระยะเวลา 2 เดือนพบว่า โปรแกรม Pro_Design สามารถใช้งานแทนการใช้ MS EXCEL ได้เป็นอย่างดี โดยอ้างอิงผลการทดสอบในการออกแบบเปรียบเทียบ

ระหว่างการการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้โปรแกรม Pro_Design และการออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยใช้ MS EXCEL ซึ่งมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยการออกแบบโดยใช้ MS EXCEL นั้นในทุกๆขั้นตอนจะเป็นการทำงานแบบ Manual โดยจะต้องทำการเปิดมาตรฐานการผลิตภายในและมาตรฐานสากลที่ใช้อ้างอิงเพื่อใช้ค่าอ้างอิงในการออกแบบมาตรฐานการผลิต ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงานและสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดซึ่งความผิดพลาดสามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะคือ ความผิดพลาดที่กระทบต่อการผลิตที่ส่งผลต่อสินค้า (No Goods) และการส่งผลต่อระยะเวลาในการดำเนินงานของการผลิต ซึ่งหลังจากการนำโปรแกรม Pro_Design มาใช้งานในการออกแบบมาตรฐานการผลิตพบว่า ลดการใช้เอกสารอ้างอิงและเวลาการตรวจสอบ รวมถึงทำให้การทำงานง่ายขึ้นส่งผลให้พนักงานที่ทำการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์เกี่ยวกับเงื่อนไขการผลิตของเครื่องจักรภายในโรงงาน ทำให้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผนกออกแบบสายไฟฟ้าได้

โดยในการทำงานของแผนกออกแบบสายไฟฟ้าพบว่า ผู้ที่ทำหน้าที่ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้านั้น จะต้องเรียนรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขเครื่องจักร มาตรฐานภายในและภายนอกที่ใช้ในการอ้างอิงในการดำเนินงาน ทำให้เมื่อมีพนักงานใหม่เข้ามาทำงานก็จะไม่สามารถออกแบบมาตรฐานการผลิตที่มีความแม่นยำได้ หรือผู้ทำเป็นประจำก็อาจเกิดความผิดพลาดได้เช่นกัน และเมื่อทำการส่งต่อไปยังผู้ตรวจสอบ (Checker) ก็จะต้องทำการเช็คโดยการกดสูตรคำนวณและตรวจสอบรายละเอียดใหม่ทั้งหมดจึงใช้เวลาในการดำเนินงานเทียบเท่าการออกแบบมาตรฐานฐานการผลิต จึงทำให้เกิดการเสียเวลาในการดำเนินงานอย่างมากโดยโปรแกรม Pro_Design นั้นสามารถแก้ไขปัญหาในจุดนี้ได้ เนื่องจากในการดำเนินการจัดทำมาตรฐานการผลิตนั้นผู้ที่ใช้งานโปแกรมเพียงแต่รู้ถึงโครงสร้าง และมาตรฐานอ้างอิง ก็สามารถที่จะทำการออกแบบได้ ซึ่งจากระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโปรแกรม Pro_Design สามารถตอบโจทย์การออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้ากลุ่ม Power cable แรงดันตั้งแต่ 0.6/1kV – 18/30kV ที่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502-1 และ IEC 60502-2 แทนการใช้ MS EXCEL ได้และทำให้ความผิดพลาดเป็น 0 โดยยึดถือโครงสร้างตามบริษัทที่ทำการศึกษาแห่งนี้เท่านั้น

6.3 ปัญหาและอุปสรรค

จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านตลอดตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนการออกแบบโปรแกรมแล้วเสร็จ พบว่าปัญหาหลักของการออกแบบโปรแกรมคือ การปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการผลิตอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากผลของการลดต้นทุนการผลิต และการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรเพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิต ทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องคำนึงถึงเงื่อนไขของโปรแกรมให้สามารถแก้ไขโดยผู้ใช้งาน (User) ได้ และอีกปัญหานึงคือ ความไม่เข้าใจของพนักงานฝ่ายออกแบบสายไฟฟ้า ที่ไม่มีความรู้ด้านมาตรฐานการผลิตโดยส่วนมากจะใช้วิธีทำงานลักษณะเชิงเลียนแบบการทำงานเดิม ทำให้เกิดความผิดพลาดในทางการสื่อสารข้อมูลให้กับผู้วิจัย ส่งผลต่อระยะเวลาในการออกแบบเงื่อนไขการคำนวณ และระยะเวลาในการติดต่อกับโปแกรมเมอร์ ค่อนข้างมีเวลาจำกัดทำให้ต้องรวบรวมปัญหาหลายๆปัญหาเพื่อทำการแก้ไข ส่งผลให้เกิดความผิดพลาด (Bug) ของโปรแกรมในช่วงการทดสอบค่อนข้างมาก

6.4 ข้อจำกัดของโปรแกรม

โปรแกรม Pro_Design เป็นโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อให้ใช้งานในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าในบริษัทที่ทำการศึกษาเท่านั้น เนื่องจากเงื่อนไขของเครื่องจักร, สูตรคำนวณและค่าควบคุมต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตนั้นในแต่ละบริษัทจะมีความแตกต่างกัน ทำให้จึงไม่สามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตกับบริษัทอื่นได้ และโปรแกรมนี้ถูกออกแบบให้สามารถออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้าประเภทสาย Power Cable ที่มีแรงดันตั้งแต่ 0.6/1kV-18/30kV เท่านั้น ซึ่งยังคงไม่สามารถปรับเปลี่ยนโดยการนำโปแกรม Pro_Design ไปใช้งานทดแทนการใช้ MS EXCEL ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตสายทุกประเภทในบริษัทที่ทำการศึกษาได้ทั้งหมด ซึ่งต้องนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนาต่อยอดต่อไปในอนาคต

6.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำการออกแบบมาตรฐานการผลิต ให้ครอบคลุมกลุ่มสายทั้งหมดนั้น สามารถทำได้โดยการรวมรวมโครงสร้างและเงื่อนไขการคำนวณในแต่ละ Process และดำเนินการออกแบบเช่นเดียวกับการออกแบบ Pro_Design ซึ่งในการพัฒนาต่อควรเป็นการแยก

โปรแกรมออกเป็นส่วนๆ ตามประเภทของสายไฟฟ้า เพื่อป้องกันการทับซ้อนของเงื่อนไขคำนวณ และทำให้การแก้ไขนั้นง่ายขึ้น และในปัจจุบันบริษัทที่ทำการศึกษาในครั้งนี้นั้น เป็นบริษัทที่เป็นผู้ผลิตสายไฟฟ้าขนาดใหญ่อันดับต้นๆของประเทศ โดยสิ่งหนึ่งที่ทางบริษัทแห่งนี้จะต้อง Support ข้อมูลให้กับลูกค้าคือ ค่า Parameter ของสายไฟฟ้า ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากต่อการออกแบบการติดตั้งในการใช้งาน โดยผู้วิจัยเห็นในการคำนวณ Parameter ของสายไฟฟ้านั้นยังคงเป็นการคำนวณโดย MS EXCEL โดยในปัจจุบันได้มีการประยุกต์โดยใช้ Visual Basic เพื่อให้ทำงานง่ายขึ้นแล้ว แต่ก็ยังคงต้องรอค่าจากองค์ประกอบในส่วนต่างๆของสายไฟฟ้า ที่มาจากมาตรฐานการผลิตอีก ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าควรนำสูตรการคำนวณค่า Parameter ของสายไฟฟ้ามาประยุกต์รวมกับโปรแกรม Pro_Design จะทำให้เมื่อทำการออกแบบมาตรฐานการผลิตก็จะได้ค่า Paramter และโครงสร้างของสายไฟฟ้า และสามารถรวมเป็น Technical Data ในการทำงานเพียงครั้งเดียวได้

บรรณานุกรม

[1] International Electrotechnical Commission. 2004, IEC 60502-1 (Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) Part 1 : Cables for rated voltages of 1 kV ((Um = 1,2 kV) and 3 kV (Um = 3,6 kV)). Switzerland : IEC Central Office

[2] International Electrotechnical Commission. 2014, IEC 60502-2 (Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) Part 2 : Cables for rated voltages from 6 kV (Um = 7,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV)). Switzerland : IEC Central Office

[3] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม .2009, มอก. 2427-2552 (ตัวนำของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน). ประเทศไทย : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

[4] ประกิต ศรีพรหมมา, 2544, การวางแผนงานตัดเหล็กโดยคอมพิวเตอร์, โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[5] ครรชิต มาลัยวงศ์ และ วิชิต ปุณวัตช์, 2532, เทคนิคการออกแบบโปรแกรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพ, หจก.เอชเอ็น การพิมพ์, หน้าที่ 19-22

[6] ศศลักษณ์ ทองขาว, 2549, การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และอัลกอลิทึ่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพ, หจก.ภาพพิมพ์, หน้าที่ 32-35

[7] วรรษมา แสงปลั่ง, 2545, การวางแผนและควบคุมการผลิตแบบผสมผสานในโรงงานผลิตโซ่รถจักรยานยนต์, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[8] ประจวบ กล่อมจิตร, ณชรพงศ์ บุญทา, กตัญชลี ธรรมสุนทร, การพัฒนาโปรแกรม ระบบการวางแผนการผลิตในธุรกิจ SMEs กรณีศึกษาโรงงานทาแกนกระดาษ. การประชุมวิชาการประจำปีด้านการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติก ครั้งที่ 8, (2551),หน้าที่ 169-179.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายมารุต บุญทรัพย์
วัน เดือน ปี เกิด	14 กันยายน 2532
ภูมิลำเนา	1271/32 ซ.กาญจนาภิเษก 008 แขวงบางแค เขตบางแค กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
	คณะวิศวกรรมไฟฟ้า
	มหาวิทยาลัยสยาม
	ปีการศึกษา 2556
ประวัติการทำงาน	บริษัท เจริญชัย อินเตอร์เทรด จำกัด
	ตำแหน่ง วิศวกร / วิทยากร
	บริษัท สายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด
	ตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายออกแบบ

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Pro_Design

CDS คู่มือใช้งานโปรแกรมออกแบบมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า

User Guide and Maintenance

การเริ่มต้นใช้งาน

Icon สำหรับเข้าโปรแกรม ทำการ Double click เข้าโปรแกรม

ทำการกรอก User และ Password

หลังจากเข้าสู่โปรแกรมแล้วจะเจอแถบคำสั่งเมนูหลักดังรูป

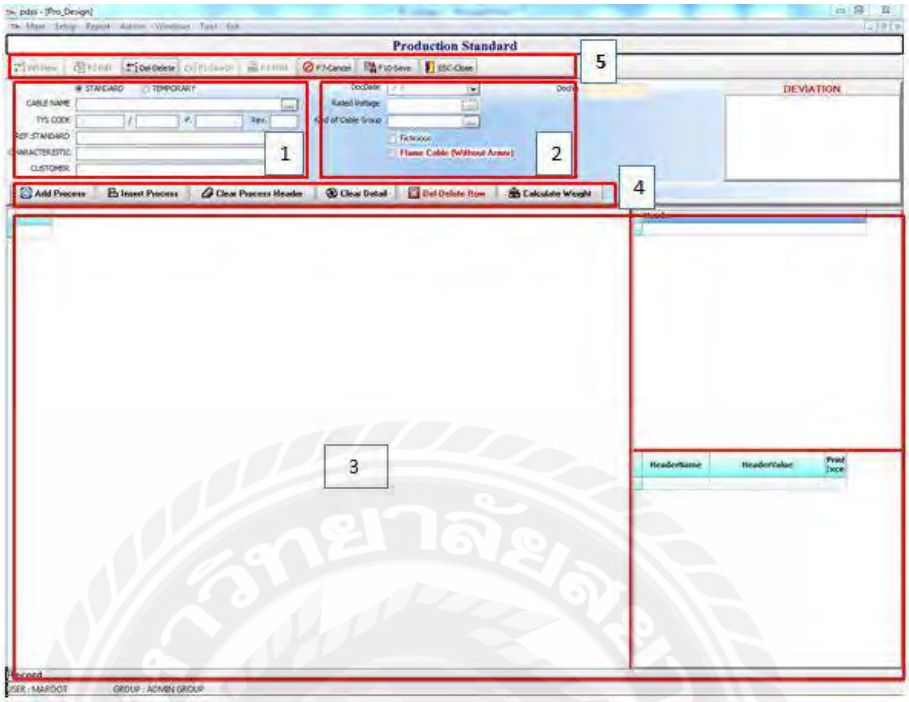
คำอธิบายคำสั่งใน แถบเมนูหลัก

ลำดับ	ชื่อคำสั่ง	คำอธิบาย
1	Main	เป็นคำสั่งหลักในการเข้าโปรแกรม
2	Setup	แก้ไขค่าต่างๆของโปรแกรม
3	Report	แสดงรายงานการออกแบบมาตรฐานการผลิต
4	Admin	ใช้ในการสร้าง ID ผู้ใช้งานและกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล
5	Window	ย้อนดูหน้าต่างที่เคยเข้าใช้งาน
6	Tool	ใช้ในการเปลี่ยน Password ของผู้ใช้งาน
7	Exit	ออกจากโปรแกรม

1. Main หน้าหลักในการออกแบบ Spec. Design ซึ่งประกอบด้วย

- Production Design Specification Standard ใช้ออกแบบ Spec. Design
- Approve ใช้ในการตรวจสอบ Spec. Design

1.1 Production Design Specification Standard (หน้าต่างออกแบบมาตรฐานการผลิต)



1) คำอธิบายการใช้งาน ส่วนที่ 1

เป็นส่วนของชื่อสายไฟฟ้าและมาตรฐานอ้างอิงโดยในส่วนนี้จะไม่มีผลในการคำนวณใดๆ เป็นเพียงการอธิบายรายละเอียดเท่านั้นโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) มาตรฐานการผลิตฉบับมาตรฐาน (Standard) จะทำการออกแบบสายไฟฟ้าชนิดใดๆที่สามารถทำการผลิตได้ทุกจำนวนแกน และทุกขนาดพื้นที่หน้าตัดตามที่เครื่องจักรสามารถผลิตได้

2) มาตรฐานการผลิตฉบับชั่วคราว (Temporary) มาตรฐานชนิดนี้จะใช้ในกรณีที่มีการออกแบบสายไฟฟ้าที่มาจากลูกค้าร้องขอพิเศษโดยออกแบบตามจำนวนแกน และ พื้นที่หน้าตัดที่ทำการร้องขอเท่านั้น

Cable Name

ช่องนี้จะเป็นการระบุชื่อของสายไฟฟ้าโดยเป็นชื่อที่ใช้ในการผลิตจริง ซึ่งในแต่ละบริษัทจะไม่เหมือนกันโดยสามารถตั้งตามวิธีการของแต่ละบริษัท

TYS Code

ส่วนนี้จะเป็นการระบุหมายเลขมาตรฐานการผลิตภายในบริษัทแห่งนี้ เพื่อใช้ในการค้นหาเพื่อป้องกันข้อมูลซ้ำซ้อนกัน

Ref. Standard

ในส่วนนี้เป็นการมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ซึ่งไม่มีผลต่อการคำนวณเนื่องจากในส่วนไม่ได้มีผลในการเชื่อมต่อกับข้อมูลส่วนอื่น เป็นการระบุไว้เพียงข้อความเพื่อให้ฝ่ายผลิตทราบว่าสายไฟฟ้าที่ผลิตใช้มาตรฐานใดในการออกแบบมาตรฐานการผลิต

Characteristic

คือ การอธิบายคุณลักษณะของสายไฟฟ้าทางโครงสร้าง โดยอธิบายถึงแรงดันใช้งาน คุณลักษณะของฉนวนและเปลือก รวมถึงโครงสร้างอื่นๆ โดยในส่วนนี้จะสามารถพิมพ์ข้อความได้ในกรณีที่เป็นมาตรฐานการผลิตฉบับมาตรฐานเท่านั้น

Customer

ส่วนนี้จะเป็นการระบุชื่อลูกค้าในกรณีที่มีลูกค้าร้องขอสายไฟฟ้าที่ไม่เคยมีการผลิต โดยมักจะใส่ในกรณีที่เป็นมาตรฐานการผลิตฉบับชั่วคราว

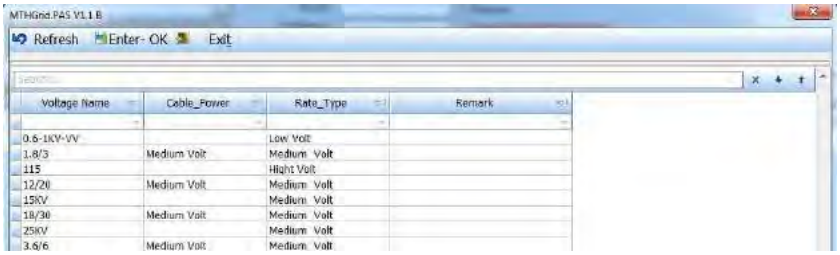
2) คำอธิบายการใช้งาน ส่วนที่ 2

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มีผลทางการคำนวณและการเลือกข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่บังคับ และส่วนที่ไม่บังคับการเลือก โดยความแตกต่างขอสองส่วนนี้คือส่วนที่บังคับการเลือกจะเป็นส่วนที่เป็น Factor ที่ใช้ในการควบคุมค่าในการผลิตหลักๆ ซึ่งต้องทำการเลือกทุกครั้งในการออกแบบ อีกส่วนนึงคือส่วนที่ไม่บังคับการเลือก ส่วนนี้จะเป็นอยู่ใน Process ที่ทำการเลือกตามโครงสร้างของสายไฟฟ้า ซึ่งสามารถเพิ่มลดได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ทำให้ในส่วนนี้การเลือกค่าควบคุมต่างๆในแต่ละ Processก็จะไม่เท่ากันในสายไฟฟ้าแต่ละชนิด

Rated Voltage

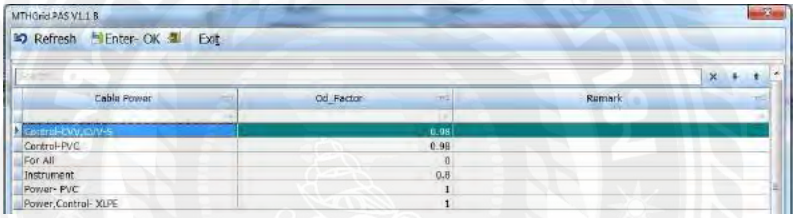
ในส่วนนี้จะเป็นการเลือกแรงดัน ซึ่งแรงดันจะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณของโปรแกรม เนื่องจากโปรแกรมจะทำการเช็คเงื่อนไขจากแรงดันในบางโครงสร้างเช่น ขั้นตอน

Coductor screen, Insualtion, Insulation screen เป็นต้นซึ่งมีข้อกำหนดความหนาในการหุ้มตามแรงดันของสายไฟฟ้าทำให้ในส่วนนี้จึงอยู่ในส่วนที่เป็นการบังคับในการเลือกเป็นอันดับแรก



Kind of Cable Group

หัวข้อนี้จะเป็นการเลือกกลุ่มสายและวัตถุดิบที่ใช้ โดยจะมีผลต่อ Factor ที่ใช้ในการคูณการตีเกลียวแกนและการคำนวณน้ำหนักของสายหลายแกน



Fictitious

หัวข้อนี้จะเป็นการเลือกความหนาเปลือกพิเศษ ซึ่งไม่ได้มาจากสูตรคำนวณแต่มาจากการเพิ่มตามความต้องการของลูกค้าหรือการเพิ่มความหนาที่ไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยโปรแกรมทำการตั้งฟังก์ชั่นนี้เป็น Default เพื่อให้ทำการเช็คความหนาจากในตาราง Fictitios

Flame Cable (Without Armor)

ในส่วนนี้จะเป็นฟังก์ชั่นที่สำหรับเงื่อนไขการพันเทป ในกรณีการผลิตสายไฟฟ้าที่มีการพันเทปทนไฟ (Flame Retardant Tape) ชนิดที่ไม่มี Armor โดยเป็นเงื่อนไขพิเศษของการผลิตในโรงงานแห่งนี้

3) คำอธิบายการใช้งาน ส่วนที่ 3

ในส่วนแสดงรายละเอียดและโครงสร้างคือ ส่วนที่บ่งบอกถึงลักษณะของโครงสร้างและ Process ต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

3.1) Header

ในส่วนนี้จะเป็นในส่วนของ Process ที่ทำการเลือกมาเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบของสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1.ชื่อโครงสร้าง เป็นการบ่งบอกถึงชื่อของ Process ที่นำมาออกแบบมาตรฐานการผลิตโดยในสายไฟฟ้าแต่ละชนิดนั้นจะมีจำนวนโครงสร้างแตกต่างกันไป โดยเมื่อทำการคลิ๊กไปที่ชื่อของ Process นั้นๆก็จะมีลักษณะของโครงสร้างเพื่อให้ผู้ออกแบบกำหนดรูปแบบของการผลิต

2.ลักษณะของโครงสร้าง ลักษณะของโครงสร้างส่วนนี้เป็นการอธิบายถึงการกำหนดรูปแบบและวิธีการในการผลิตใน Process นั้นๆ ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบและลักษณะตามการผลิตได้ เช่น ลักษณะการพันเทป, ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำฉนวนและเปลือก เป็นต้น

3.2) ส่วนของการคำนวณ

ส่วนนี้เป็นการอธิบายรายละเอียดที่มาจากคำนวณของโปรแกรมโดย ส่วนนี้จะทำการคำนวณโดยโปรแกรมทั้งหมด แต่จำเป็นต้องมีการ Input ข้อมูลบางส่วนได้แก่ จำนวนแกน (Number of Core), ขนาดของพื้นที่หน้าตัด (Size) และส่วนแกนที่ไม่ใช่แกนเฟสอันได้แก่ Protection earth (PE), Nutral (N), Ground (G) โดยโปรแกรมจะทำการแยกโดยช่องของชนิดแกน (Type) เพื่อให้โปรแกรมสามารถแยกระหว่างแกนว่าเป็นแกนชนิดใดได้อย่างถูกต้อง

4) คำอธิบายการใช้งาน ส่วนที่ 4

แถบเครื่องมือ 1 คือ คำสั่งที่ใช้ในการแก้ไขข้อมูลของ Process หรือข้อมูลของส่วนการคำนวณ

คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 1

ลำดับ	ชื่อคำสั่ง	คำอธิบาย
1	Add Process	คือ คำสั่งที่ใช้ในการเพิ่ม Process ในการเริ่มต้นโปรแกรม
2	Insert Process	คือ คำสั่งที่ใช้สำหรับการเพิ่ม/ลด Process ในกรณีที่มีการแก้ไขข้อมูลหรือการนำข้อมุลเก่ามาแก้ไขเพื่อนำมาใช้ใหม่
3	Clear Process Header	คือ คำสั่งที่ใช้สำหรับ Clear ข้อมูลของลักษณะของโครงสร้างที่ได้ตั้งค่าไว้ในแต่ละ Process โดยเมื่อกดคำสั่งจะทำการลบข้อมูลทั้งหมดในทุก Process
4	Clear Detail	คือ คำสั่งที่ใช้สำหรับ Clear ข้อมูลค่าที่คำนวณของโปรแกรมทั้งหมด
5	Del-Delete Row	คือ คำสั่งที่ใช้ในการลบแถวข้อมูลโดยลบทีละแถว
6	Calculate Weight	คือ คำสั่งที่ใช้ในการสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณน้ำหนักโครงสร้าง

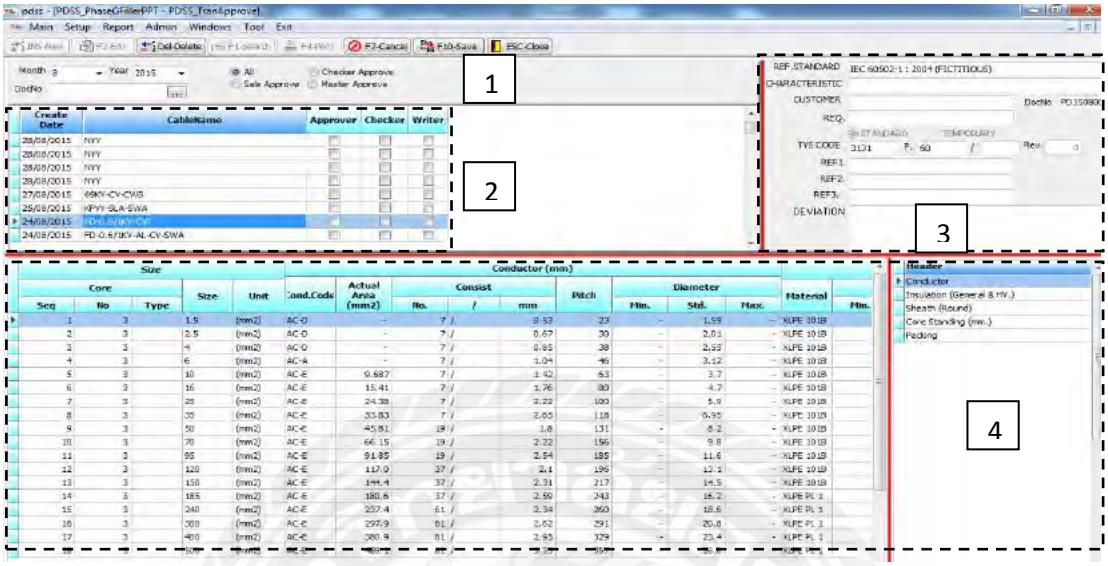
5) คำอธิบายการใช้งาน ส่วนที่ 5

แถบเครื่องมือ 2 คือ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการข้อมูล

คำอธิบายคำสั่งในแถบเครื่องมือ 2

ลำดับ	ชื่อคำสั่ง	คำอธิบาย
1	INS-NEW	เริ่มต้นการออกแบบใหม่
2	EDIT	แก้ไขค่าต่างๆหลังจากทำการ Save
3	Del-Delete	ลบข้อมูลทั้งหมดของรายการนั้น
4	Print	แสดงค่าในโปรแกรม MS EXCEL
5	Cancel	ยกเลิกรายการ
6	Save	บันทึกค่า
7	ESC-Close	ออกจากหน้าต่างข้อมูล

1.2 Approve เป็นหน้าที่ไว้ใช้ตรวจมาตรฐาน ความถูกต้องซึ่งจะมีหัวข้อดังนี้



1. ช่องค้นหา สามารถค้นหาได้จาก Month, Year, Doc No. โดยสามารถเลือกดูการ Approve ได้โดย All, Check Approve, Sale Approve, Master Approve

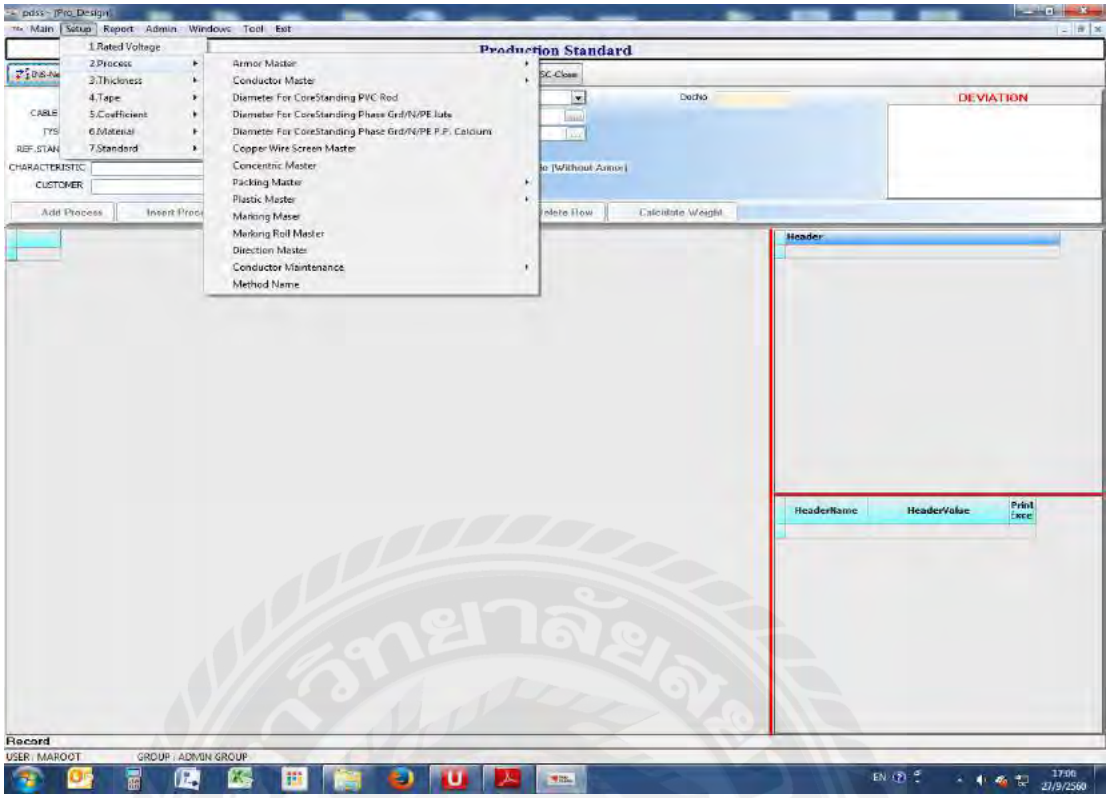
2.ช่องแสดงรายการ จะระบุ วัน/เดือน/ปี, Cable Name, Approve Checker, Writer

3.ช่องแสดงค่าคำนวณ จะเป็นหน้าต่างเดียวกับตอนทำ Design

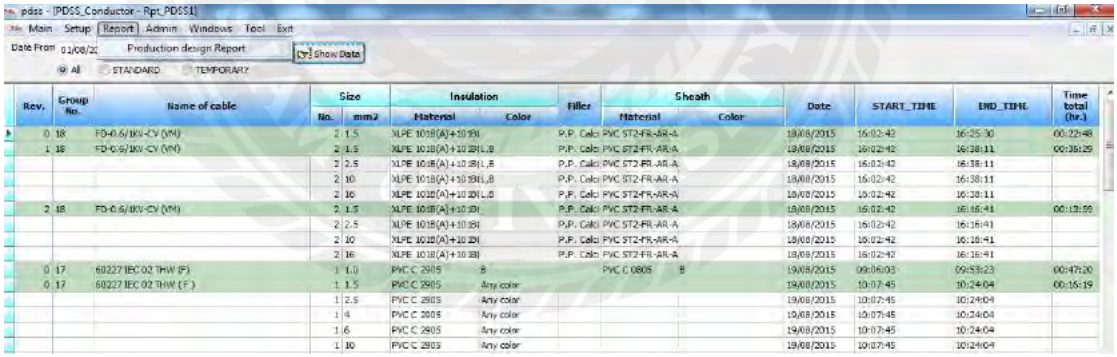
4.ช่องแสดงรายละเอียด จะบอกถึง มาตรฐาน, รายละเอียดสาย, ข้อมูลลูกค้า, TYS CODE

2. Setup (การตั้งค่า)

คือ ส่วนที่แก้ไขเงื่อนไขต่าง รวมถึงค่าต่างๆที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยแบ่งออกเป็นการแก้ไขข้อมูลและเงื่อนไขในการผลิตของโปรแกรม Pro_Design สามารถทำได้โดยการเข้าไปที่คำสั่ง Setup โดยการแก้ไขข้อมูลนั้นจะมีเงื่อนไขของผู้ที่ใช้งานตามการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล โดยต้องเป็น Admin Group เท่านั้นเนื่องจากส่วนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากจึงอนุญาติให้มีการเข้าถึงเป็นรายบุคคล โดยเมื่อเข้าไปที่คำสั่ง Setup โปรแกรมก็จะแสดงหมวดย่อยของข้อมูล ซึ่งการแก้ไขในแต่ละครั้งผู้ดำเนินการจะนำข้อมูลจากการปรับเปลี่ยนมาตรฐานภายในมาอ้างอิงในการแก้ไขนั้นด้วย เนื่องจากโปแกรมนี้เป็นการนำมาตรฐานการออกแบบสายไฟฟ้าภายในและมาตรฐานสากลมารวมเข้าไว้ด้วยกัน จึงจำเป็นต้องใช้เงื่อนไขเพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้



3. Report (รายงานการออกแบบมาตรฐานการผลิต)

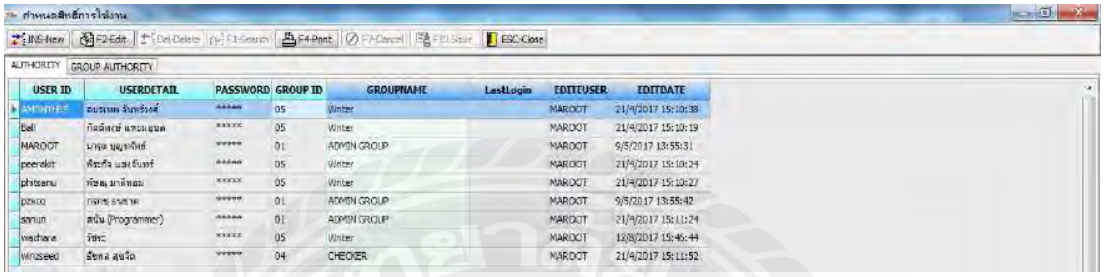


จะเป็นการย้อนดู Spec Design ที่เคยทำไว้โดยสามารถกำหนดช่วงเวลา Date From …/…../….. To…/…../….. ได้โดยสามารถเลือกหาได้จาก Standard , Temporary , หรือ All เลือกเสร็จแล้วกด Show Detail

4. Admin (การตั้งค่ากลุ่มผู้ใช้งานของระบบโปรแกรม)

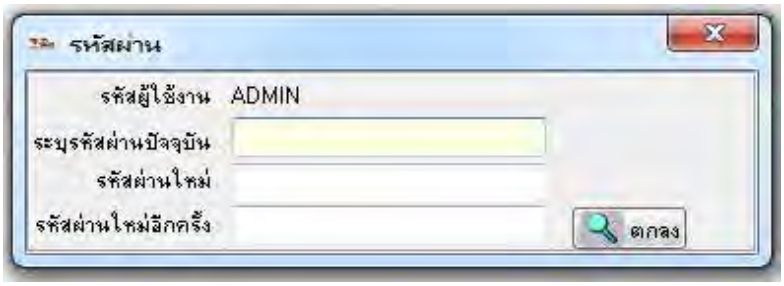
- Wirter สามารถใช้งานโปรแกรมได้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถแก้ไขข้อมูลได้
- Admin group สามารถใช้งานโปรแกรมและแก้ไขข้อมูลได้
- Checker ไม่สามารถใช้โปรแกมได้ เพียงแต่ตรวจสอบข้อมูลเท่านั้น

ทั้ง 3 ลักษณะการใช้งานนี้จะทำให้การใช้งานของโปปรแกรมถูกแบ่งหน้าที่ออกโดยชัดเจน ทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดจากการแก้ไขโดยผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องได้และทำให้รู้ว่า User ใดที่ทำการแก้ไขข้อมูลเพราะจะมีการบันทึกไว้ในช่อง Edit user ของหน้าต่างข้อมูลทุก Process อนาคตโปรแกรมสามารถทำการเพิ่ม/ลด จำนวน User ID ของโปรแกรมได้ทำให้ลดความเสียงจากความผิดพลาดได้



5. Window (ย้อนดูหน้าต่างที่เคยเข้าใช้งาน)

6. Tool (การเปลี่ยน Password)



7. Exit (ออกจากโปรแกรม)

การออกแบบมาตรฐานการผลิต

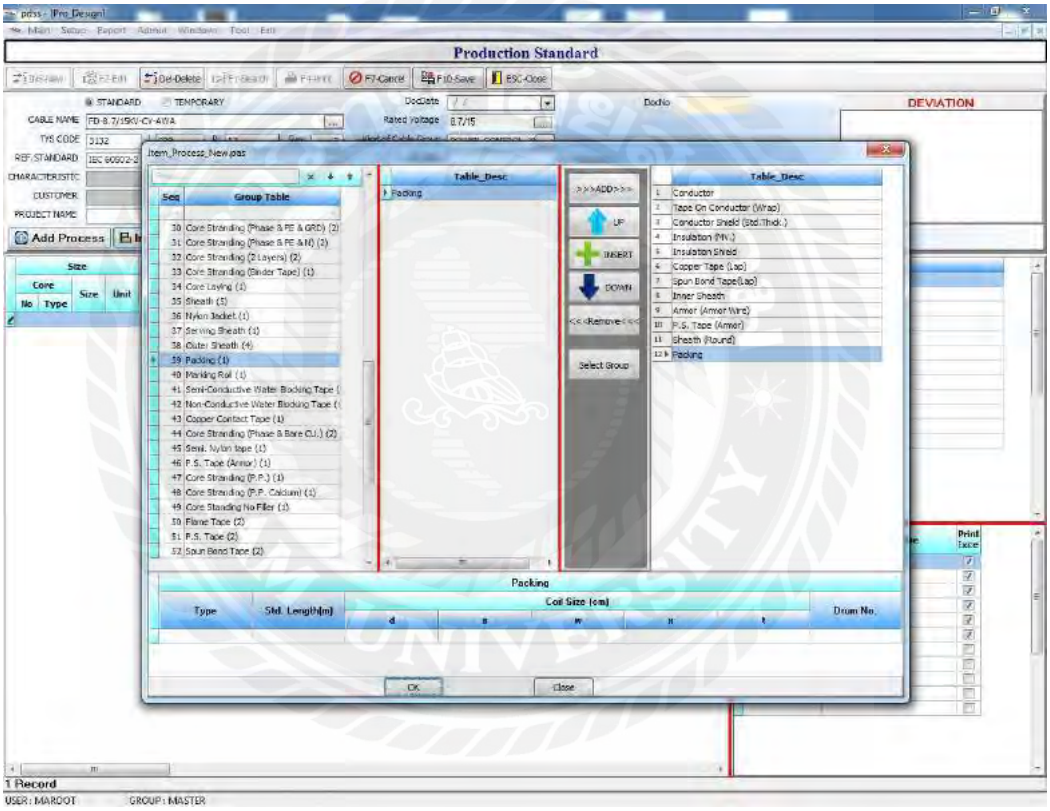
การ Input ข้อมูลสำหรับการออกแบบสามารถทำได้ดังนี้

1. ทำการ Input รายละเอียด ในส่วนที่ 1 ตามหัวข้อ 1.1

2. ทำการ Input รายละเอียด ในส่วนที่ 2 ตามหัวข้อ 1.1 ซึ่งในส่วนนี้จะต้องดูแรงดันที่ใช้ในการอ้างอิงการผลิตโดยทำการคลิ๊กเลือกที่ช่อง Rate Voltage

3. ทำการเลือกประเภทของสายไฟฟ้าโดยทำการคลิ๊กเลือกที่ช่อง Kind of Cable Group จะมีข้อมูลในแต่ละชนิดของสายไฟฟ้าแยกตามประเภทและฉนวน

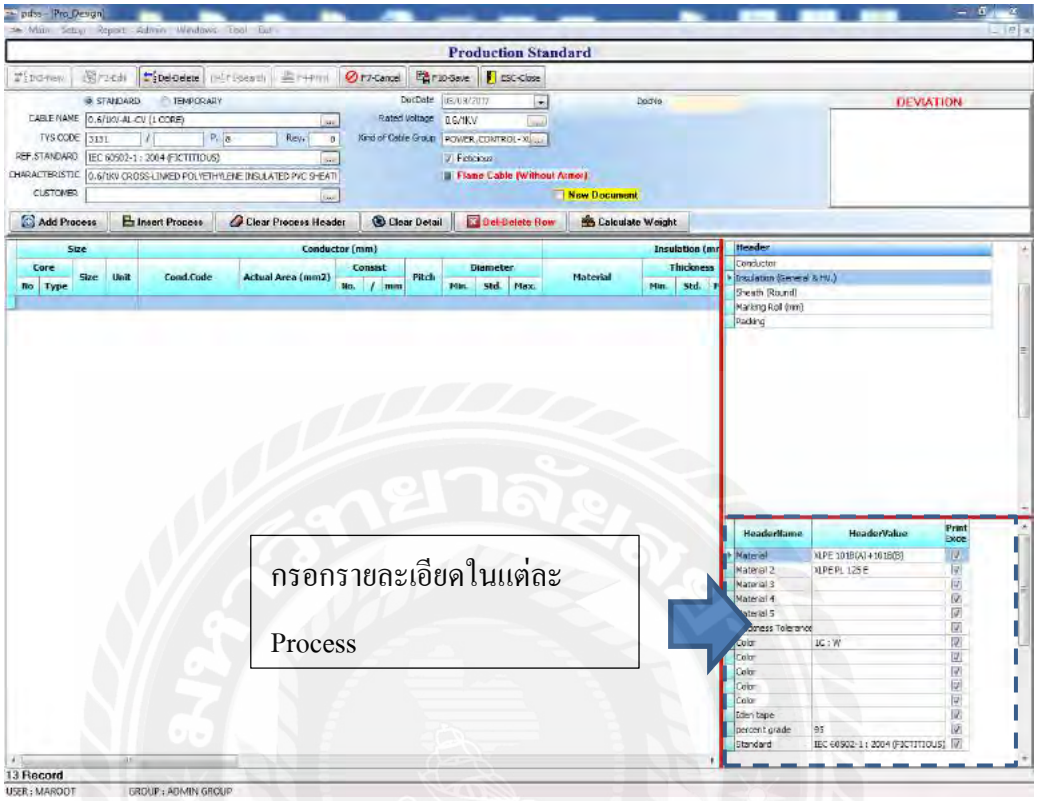
4. เลือกคำสั่ง Add Process โปรแกรมจะแสดงตารางข้อมูล



การเลือก Process ของการออกแบบมาตรฐานการผลิต

เมื่อหน้าต่าง Process แสดงขึ้นมาแล้วให้ทำการเลือก Process ทางช่อง Group Table เมื่อเลือกแล้วจะแสดงตัวอย่างด้านล่าง ส่วนในกรณีที่มี Process ย่อยจะแสดง Process ย่อยในช่อง Table_Desc ในช่องกลางของหน้าต่าง จากนั้นทำการกด ปุ่ม ADD ถ้าไม่ต้องการให้กด Remove ออกจากนั้นกดปุ่ม OK

5. ทำการกรอกรายละเอียดในแต่ละ Process โดยการคลิ๊กที่ Header แล้วทำการเลือกข้อมูลในแต่ละ Process ทำจนครบทุก Process

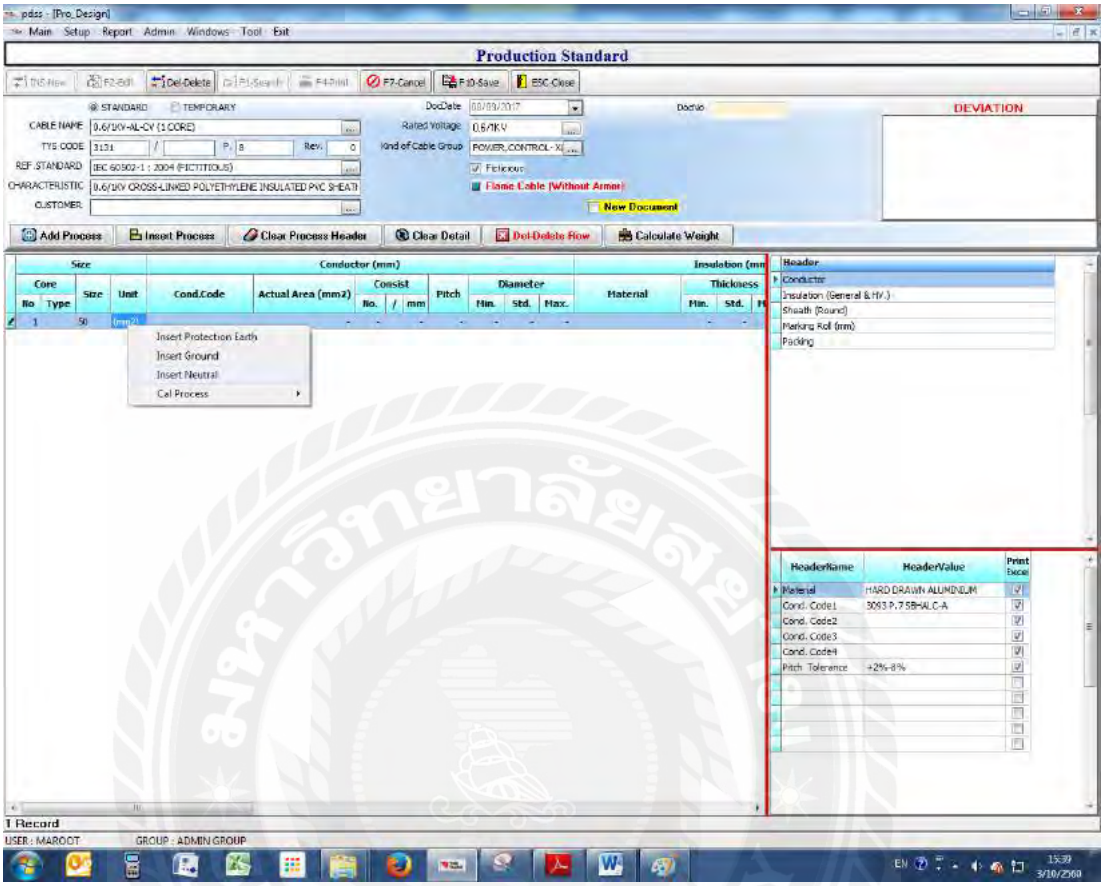


แสดงการกรอกข้อมูลในส่วนของแต่ละ Process

6. ทำการ Input ค่าในส่วนของจำนวนแกนในช่อง Core No. และ ขนาดพื้นที่หน้าตัดตัวนำ (Size) ในกรณีเป็นแกนแบบปกติ ถ้ามีแกนพิเศษเช่น Protection Earth (PE), Ground (G), Neutral (N) ที่มีจำนวนแกนไม่เท่ากับแกนหลัก (Phase) ให้ทำการใส่ค่าในบรรทัดที่ 2 พร้อมกับการใส่ชนิดลงในช่อง Tye เช่น PE กรณีแกนที่เพิ่มเป็น Protection Earth

แสดงการ Input ข้อมูลในส่วนการระบุแกนและ Size

7. หลังจากที่ทำการ Input ข้อมูลครบแล้ว จากนั้นจะเป็นส่วนของการคำนวณโดยทำการคลิ๊กขวา



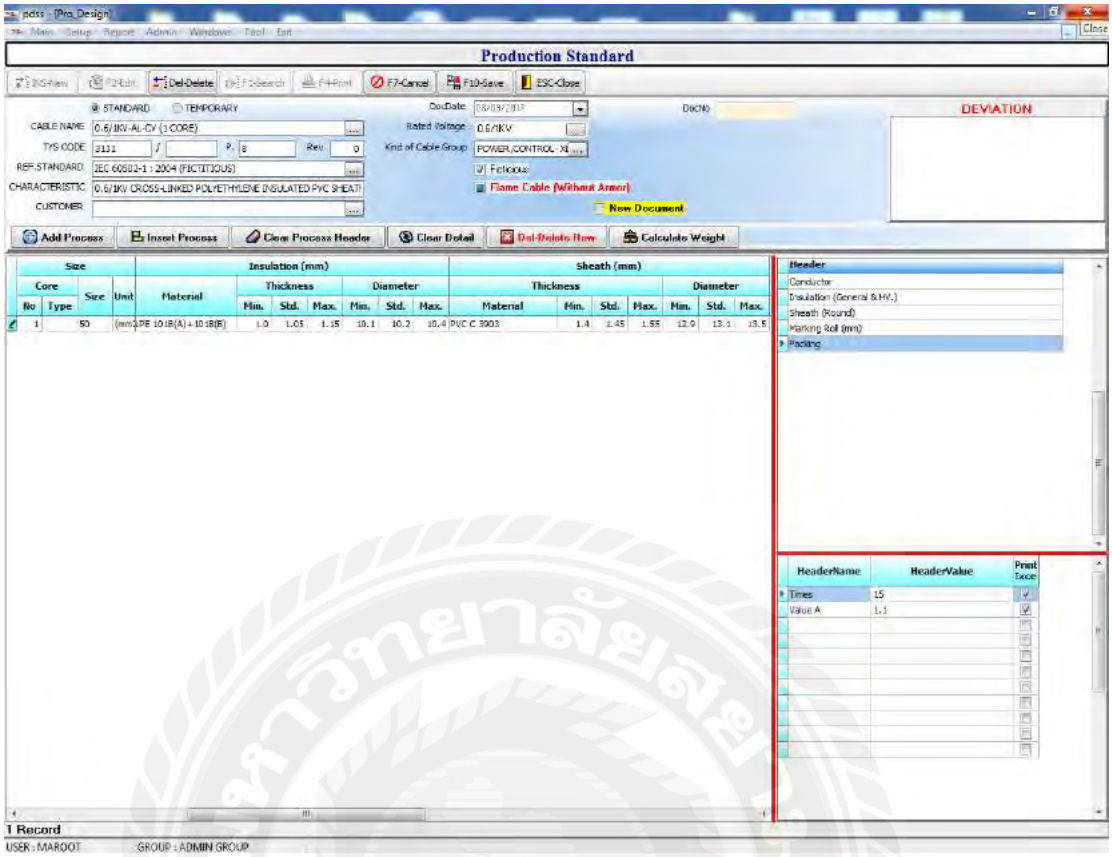
แสดงการใช้คำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิ๊กขวาของโปรแกรม Pro_Design

จากรูป จะมีคำสั่งที่แสดงทั้งหมดจำนวน 4 คำสั่งซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามการใช้งาน โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

คำอธิบายคำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิ๊กขวา

ลำดับ	คำสั่ง	คำอธิบาย
1	Insert Protection Earth	เพิ่มแกน Protection Earth (PE)
2	Insert Ground	เพิ่มแกน Ground (G)
3	Insert Neutral	เพิ่มแกน Neutral (N)
4	Cal Process	คำนวณข้อมูลทุก Process

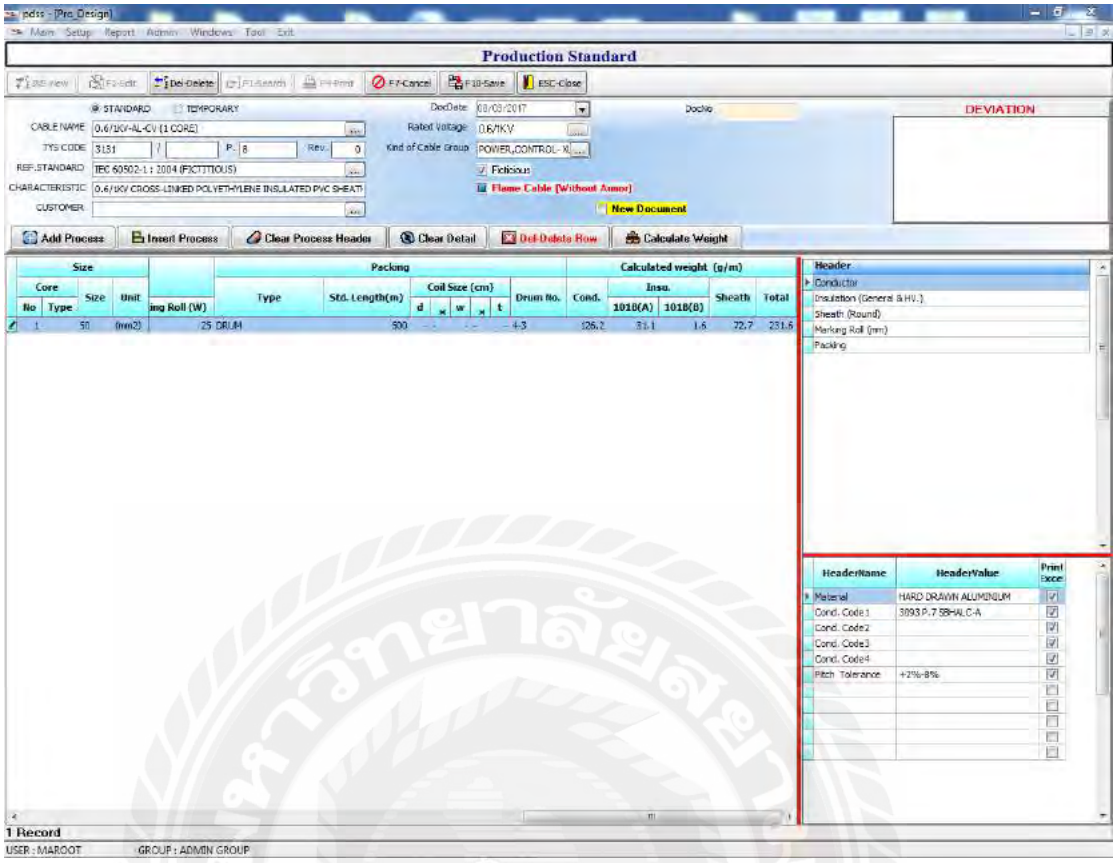
8.ทำการเลือกคำสั่ง Cal Process โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าตั้งแต่ขั้นตอนตัวนำไปจนถึง Process สุดท้าย



แสดงค่าคำนวณโครงสร้างของโปรแกรม Pro_design

โปรแกรม Pro_design ทำการคำนวณตามเงื่อนไขที่ได้ทำการกำหนดไว้ในแต่ละ Process แต่ในการออกแบบมาตรฐานการผลิตนั้นจะต้องมีน้ำหนักของแต่ละโครงสร้างด้วย เนื่องจากต้องใช้ในการคิดราคาของสายไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ทำให้จำเป็นต้องทำการคำนวณน้ำหนักและการบรรจุหลังจากที่โปรแกรมทำการคำนวณโครงสร้างเสร็จ

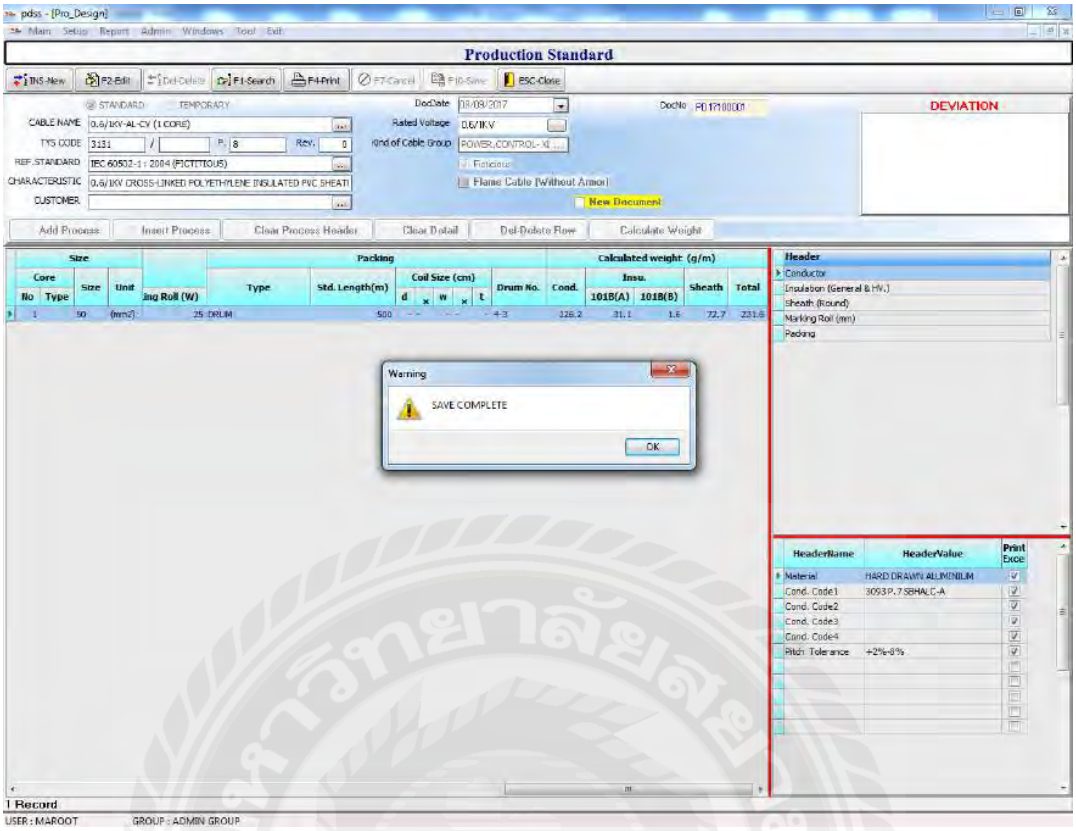
9. ทำการคำนวณน้ำหนักโดยคลิ๊กที่คำสั่ง Calculate Weight โปแกรมจะทำการคำนวณน้ำหนักแต่ละ Process และทำให้มีผลต่อการคำนวณการบรรจุด้วย เนื่องจากในการคำนวณการบรรจุของสายไฟฟ้าโดยปกติจะเป็นล้อไม้ (Drum) ซึ่งต้องใช้น้ำหนักและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าในการคำนวณ จึงทำให้การคำนวณการบรรจุเป็นอันจบการทำงานในส่วนการคำนวณ



การคำนวณน้ำหนักของโปรแกรม Pro_Design

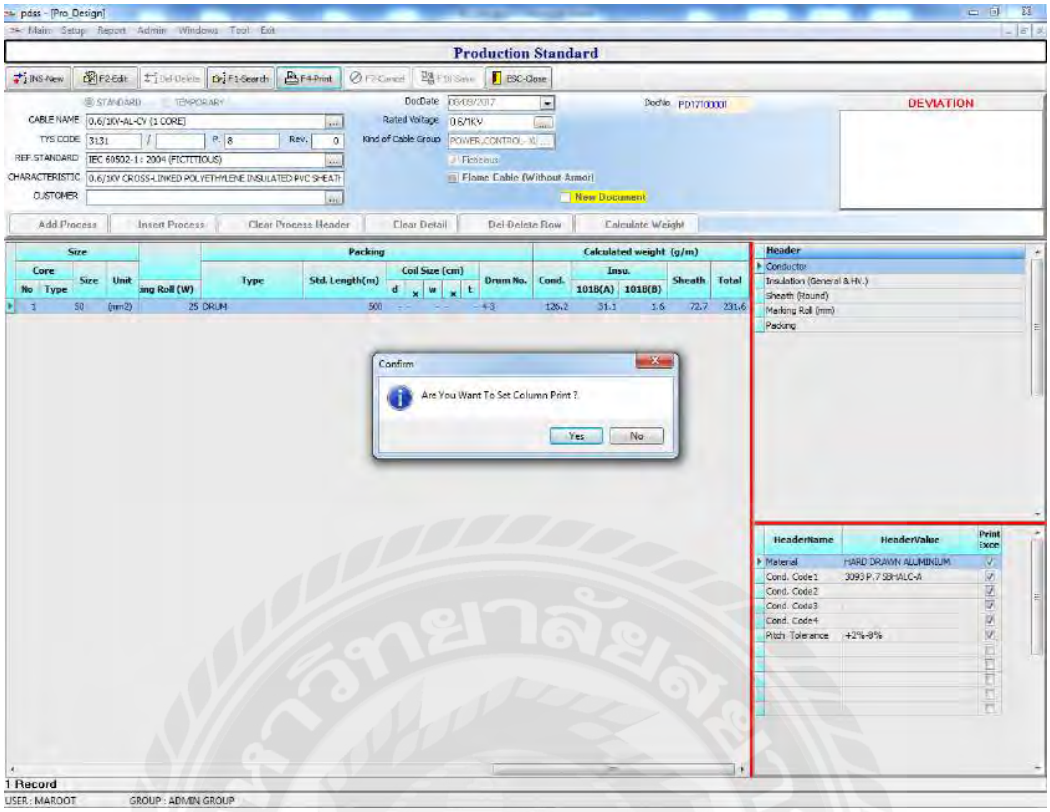
เมื่อทำการคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้วส่วนต่อไปคือการนำมาตรฐานการผลิตออกไปใช้งาน จะทำการส่งข้อมูลผ่าน MS EXCEL เป็นโปรแกรมแสดงค่าเนื่องจากสามารถแก้ไขข้อมูล หรือเพิ่มข้อความในส่วนต่างๆได้ง่ายกว่าการสั่ง Print out จากโปรแกรมโดยตรงโดยยึดรูปแบบการแสดงค่าให้เป็นเหมือนในโปรแกรม

10. ทำการเลือกคำสั่ง Save หรือ กด F10 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่านจากเครื่องลงไปที่ Server ของระบบภายในบริษัทเพื่อให้ User อื่นๆสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้และทำให้ในการแก้ไขโปรแกรมในแต่ละครั้งสามารถทำได้ในครั้งเดียว เนื่องจากกำหนดให้เมื่อเครื่องใดเครื่องหนึ่งทำการอัพเดทข้อมูลก็จะส่งข้อมูลนั้นผ่านไปที่ Server เมื่อผู้ใช้อื่นเปิดโปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อและอัพเดทข้อมูลอัตโนมัติ



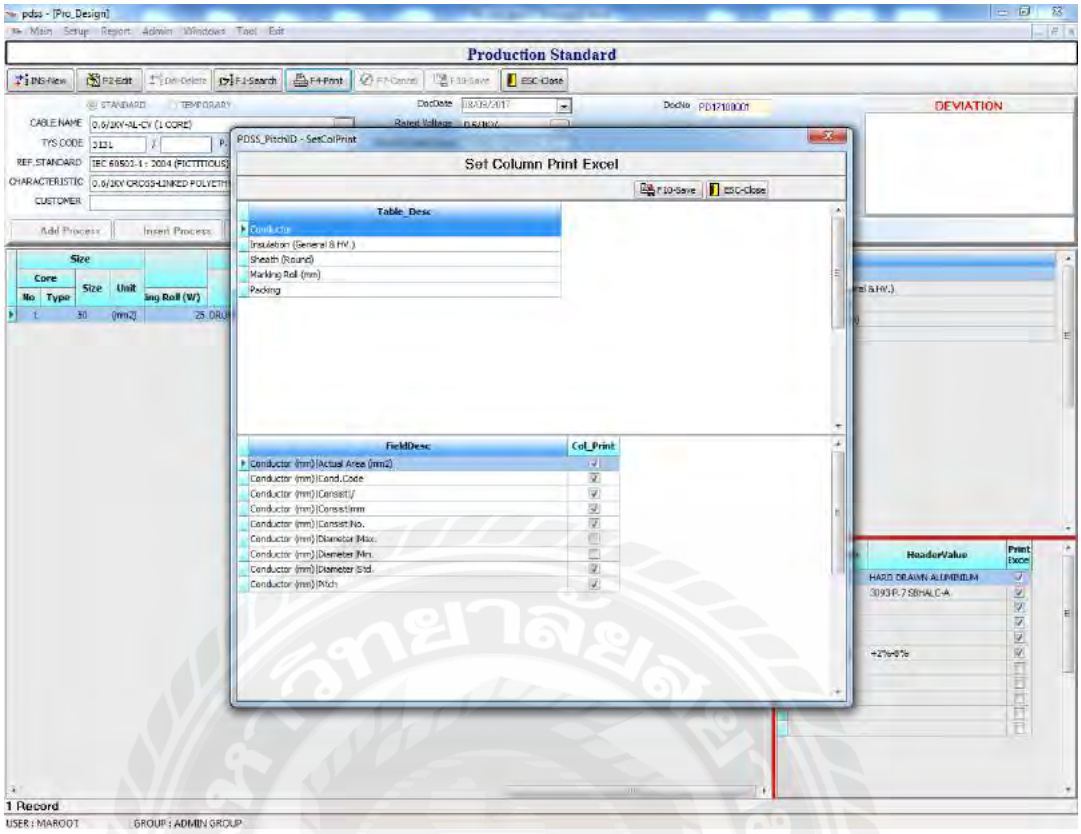
แสดงสถานะการบันทึกข้อมูลของโปแกรม Pro_Design

11. ทำการเลือกคำสั่ง Print หรือ กด F4 โปรแกรมจะมีคำสั่ง “Are You Want to set Column Print” ถ้าต้องการให้เลือก Yes ถ้าไม่ต้องการให้เลือก No เพื่อให้สามารถนำช่องของข้อมูลที่ไม่ต้องการออกก่อนที่จะส่งผ่านข้อมูลไปที่ MS EXCEL เพื่อแสดงผล



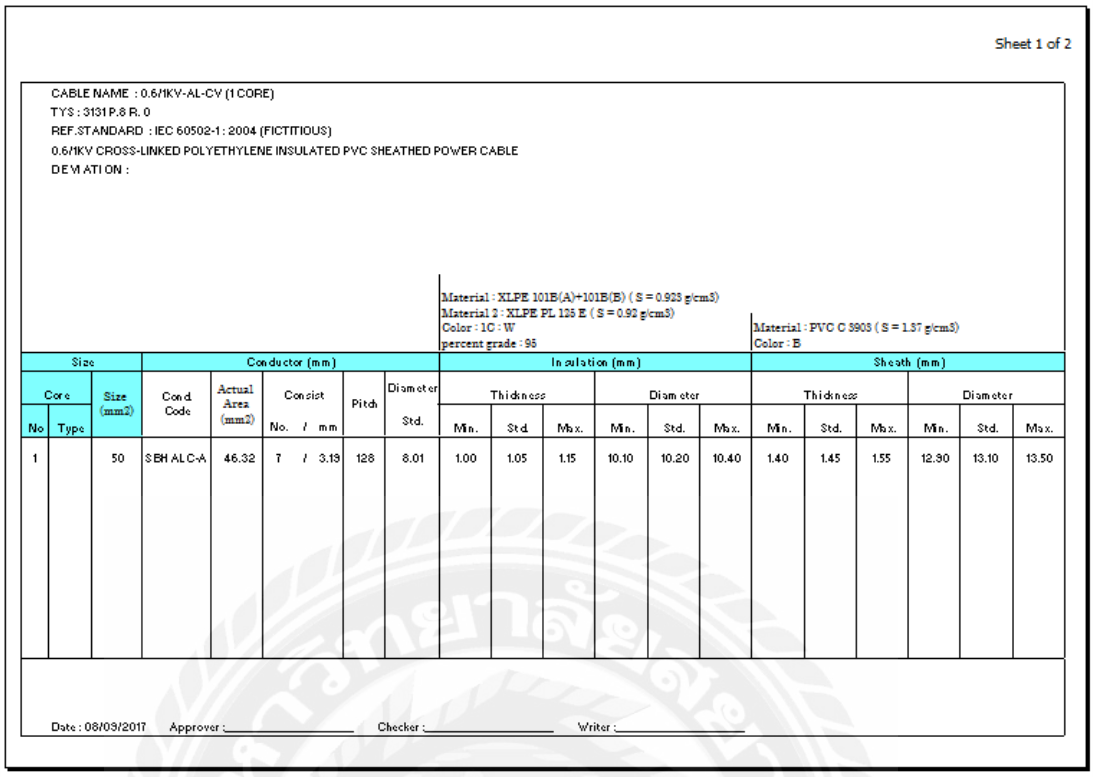
การแสดงหน้าต่างข้อมูลในการเลือก Set ช่องข้อมูลก่อนแสดงผลของโปรแกรม

เมื่อทำการเลือก Yes โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง เป็นช่องของข้อมูลในแต่ละ Process ตามที่โปรแกรมทำการแสดงค่า โดยสามารถเลือกแสดงค่าของข้อมูลได้โดยการเลือกที่ช่อง Col_Print จะมีช่องให้ทำการคลิ๊กเลือกว่าจะให้แสดงค่าข้อมูลใดบ้าง เมื่อทำการเลือกข้อมูลเสร็จแล้วให้ทำการกดปุ่ม Save หรือ F10 โปแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปยังโปแกรม MS EXCEL เพื่อแสดงข้อมูล



การแสดงการตั้งค่าก่อนการ Print out ข้อมูลไปที่ MS EXCEL

หลังจากกด Save แล้วโปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปยัง MS EXCEL โดยสั่งเปิดโปแกรมอัตโนมัติหลังจากแปลงข้อมูลเสร็จ โดยผู้ใช้งานสามารถใส่รายละเอียดเพิ่มเติมจากขั้นตอนนี้ได้ และสามารถใส่รูปตัวอย่างของสายไฟฟ้าในขั้นตอนต่างๆลงไปได้ หรือการอธิบายขั้นตอนที่ต้องมีการเน้นย้ำลงไป เพื่อให้เกิดการผลิตพลาดในการผลิต



Sheet 1 of 2

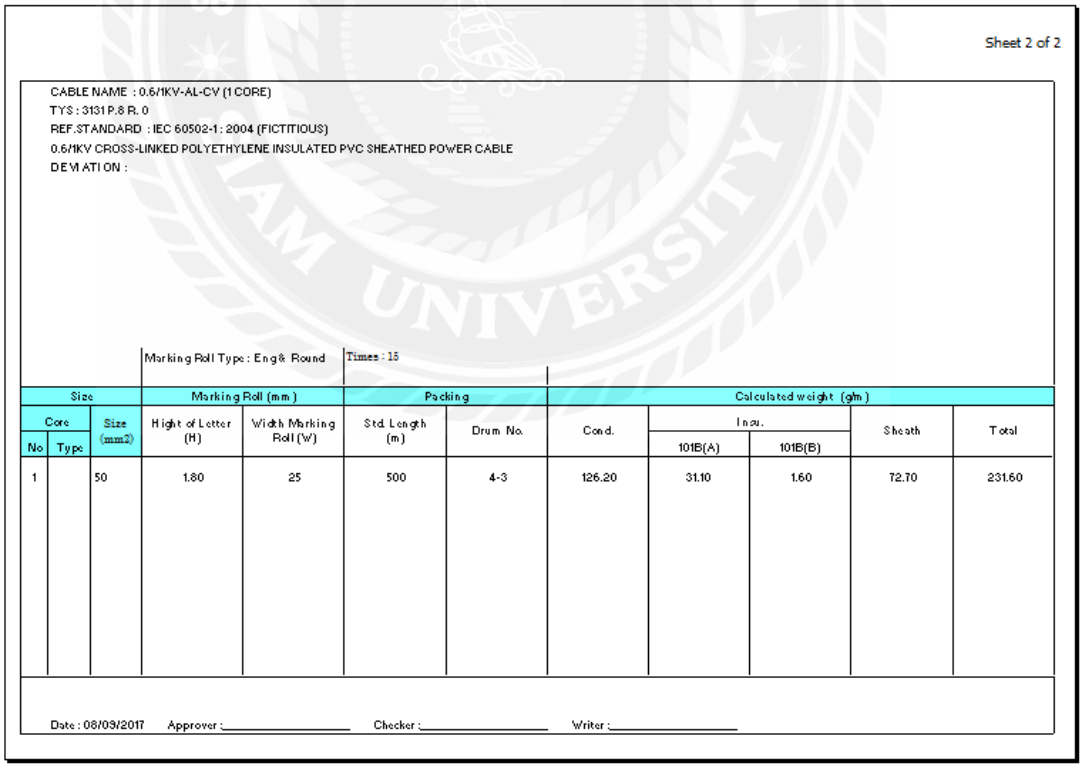
CABLE NAME : 0.6/1KV-AL-CV (1 CORE)
TYS : 3131 P.8 R. 0
REF.STANDARD : IEC 60502-1 : 2004 (FICTITIOUS)
0.6/1KV CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATED PVC SHEATHED POWER CABLE
DEVIATION :

Material : XLPE 101B(A)+101B(B) (S = 0.923 g/cm3)
Material 2 : XLPE PL 125 E (S = 0.92 g/cm3)
Color : 1C : W
percent grade : 95

Material : PVC C 5903 (S = 1.37 g/cm3)
Color : B

Size			Conductor (mm)					Insulation (mm)						Sheath (mm)					
Core		Size (mm2)	Cond. Code	Actual Area (mm2)	Consist	Pitch	Diameter	Thickness			Diameter			Thickness			Diameter		
No	Type				No. / mm		Std.	Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.	Min.	Std.	Max.
1		50	SBH ALC-A	46.32	7 / 3.13	128	8.01	1.00	1.05	1.15	10.10	10.20	10.40	1.40	1.45	1.55	12.90	13.10	13.50

Date : 08/03/2017 Approver :_____ Checker :_____ Writer :_____



Sheet 2 of 2

CABLE NAME : 0.6/1KV-AL-CV (1 CORE)
TYS : 3131 P.8 R. 0
REF.STANDARD : IEC 60502-1 : 2004 (FICTITIOUS)
0.6/1KV CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATED PVC SHEATHED POWER CABLE
DEVIATION :

Marking Roll Type : Eng& Round
Times : 15

Size			Marking Roll (mm)		Packing		Calculated weight (g/m)				
Core		Size (mm2)	Hight of Letter (H)	Width Marking Roll (W)	Std. Length (m)	Drum No.	Cond.	Insu.		Sheath	Total
No	Type							101B(A)	101B(B)		
1		50	1.80	25	500	4-3	126.20	31.10	1.60	72.70	231.60

Date : 08/03/2017 Approver :_____ Checker :_____ Writer :_____

การแสดงข้อมูลของโปรแกรม Pro_Design

APPENDIX

หัวข้อ Maintenance	มาตรฐานที่ใช้ในการแก้ไข TYS (THAI-YAZAKI STANDARD)
Conductor	3010 มาตรฐานการออกแบบ(ตัวนำ)
Thick insulation master	3010(A) มาตรฐานการออกแบบ(ฉนวน)
Pitch ID master	3010(B) มาตรฐานการออกแบบ(การตีเกลียวแกน)
Value K Master	3010(C) มาตรฐานการออกแบบ(สหแกน)
Filler Master	3010(D) มาตรฐานการออกแบบ(สารบรรจุแน่น)
Material, Tape Master	3010(E) มาตรฐานการออกแบบ(เทป)
Thick Sheath master	3010(F) มาตรฐานการออกแบบ(เปลือกนอก)
Armor Master	3010(G) มาตรฐานการออกแบบ(สายเกราะตีเกลียวห่อหุ้มสายไฟ)
Copper wire screen master	3010(H) มาตรฐานการออกแบบ(ตัวนำกระจาย)
Packing Master	3010(J) มาตรฐานการออกแบบ(การบรรจุ)