

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
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 Conductor & Cu. Wire Screen)	92
4.3.8 ตัวกั้นตัวนำและฉนวน (Conductor & Insulation Screen)	99
บทที่ 5 รูปแบบโปรแกรมและการใช้งาน	
5.1 รูปแบบฟังก์ชันใช้งาน	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

บทที่ 5 รูปแบบโปรแกรมและการใช้งาน (ต่อ)

5.4	ปัญหาที่พบและการแก้ไข	126
5.5	สรุปผลทดสอบการทำงาน	130

บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงาน

6.1	ผลการดำเนินงาน	131
6.2	สรุปผลการใช้งาน โปรแกรม	141
6.3	ปัญหาและอุปสรรค	143
6.4	ข้อจำกัดของ โปรแกรม	143
6.5	ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	143

	บรรณานุกรม	145
--	------------	-----

	ประวัติผู้วิจัย	147
--	-----------------	-----

ภาคผนวก

	คู่มือการใช้งาน โปรแกรม 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

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 ใน โปรแกรม Pro_Design	72
รูปที่ 4.22 ผังแสดงขั้นตอนการตีเกลียวแกน	75
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างสายไฟฟ้าระดับแรงดัน Medium Voltage ที่มีการพัน Tape หลายชนิด	77
รูปที่ 4.24 ตัวอย่างสายไฟฟ้าที่มีการพัน Tape ทนไฟ	77

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 การคำนวณสายเกราะดีเกิลียว (Armor)	91
รูปที่ 4.34 หน้าต่าง โปรแกรม 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 แลบเครื่องมือ 1	111
รูปที่ 5.9 แลบเครื่องมือ 2	112
รูปที่ 5.10 แลบเครื่องมือ 3	112
รูปที่ 5.11 หน้าต่าง Login ของ โปรแกรม	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 แสดงการใช้คำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิกขวาของ โปรแกรม Pro_Design	118
รูปที่ 5.17 แสดงค่าคำนวณโครงสร้างของ โปรแกรม Pro_design	119

รูปที่ 5.18 การคำนวณน้ำหนักของโปรแกรม Pro_Design	120
รูปที่ 5.19 แสดงการใช้งานและอัปเดตข้อมูลผ่าน Server ของโปรแกรม Pro_Design	121
รูปที่ 5.20 แสดงสถานะการบันทึกข้อมูลของโปรแกรม 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 ข้อมูลของโปรแกรม 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 ความต้านทานแรงดึงของตัวนำไฟฟ้าอะลูมิเนียมกลมเส้นเดี่ยวและรูปทรงอื่นเส้นเดี่ยว	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 ความหนาที่กำหนดของฉนวนชนิด PVC / A ตามมาตรฐาน IEC 60502-1	27
ตารางที่ 2.9 ความหนาที่กำหนดของฉนวนชนิด XLPE ตามมาตรฐาน IEC 60502-1	28
ตารางที่ 2.10 ความหนาที่กำหนดของยางเอทิลีน โพรพิลีน (EPR) และฉนวนยางฮาร์ดเอทิลีน โพรพิลีน (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 ครอสลิงค์โพลีเอทิลีน(XLPE) ตามมาตรฐาน IEC 60502-2	35
ตารางที่ 2.20 ความหนาที่กำหนดของฉนวนยางเอทิลีน โพรพิลีน(EPR) และฮาร์ดเอทิลีน โพรพิลีน(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 สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการดีเกลือ (P)	63
ตารางที่ 4.3 ตัวคูณของการดีเกลือแกน (K_c)	66
ตารางที่ 4.4 การคำนวณจำนวนเส้น Fillers กรณีแกนเท่ากับทุกแกน	71
ตารางที่ 4.5 ตัวคูณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื่องจากการดีเกลือ (α)	74
ตารางที่ 4.6 สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับร่องเกลือ (C)	86
ตารางที่ 4.7 ขนาดของสายเกราะตามมาตรฐาน IEC	88
ตารางที่ 4.8 ตารางการคำนวณจำนวนเส้นและน้ำหนักที่มีผลจากการปรับ 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 คำอธิบายคำสั่งเมื่อกดปุ่มคลิกขวา	118
ตารางที่ 5.5 ตารางลำดับ โครงสร้างสำหรับการทดสอบโปรแกรม	126
ตารางที่ 5.6 รายละเอียดความผิดพลาดและวิธีแก้ไข	127
ตารางที่ 5.7 ตารางการตรวจสอบเงื่อนไขการคำนวณ	128
ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Pro_Design กับ MS EXCEL	132
ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบระดับความรู้ที่ไซในการทำงานระหว่าง โปรแกรม Pro_Design กับ MS EXCEL	133
ตารางที่ 6.2 แสดงจำนวนมาตรฐานการผลิตที่ทำการออกแบบในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน 2560 และความผิดพลาดที่ตรวจพบ	138