ประมาณการจำนวนอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

EQUIPMENT ESTIMATING FOR 24 KV DISTRIBUTION SYSTEM USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

วณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประมาณการจำนวนอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

วณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประมาณการจำนวนอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Equipment Estimating for 24 kV Distribution System Using Artificial Neural Networks
ชื่อ-นามสกุล	นายวณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย หิรัญวโรดม, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ทรัพย์สิงห์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์, D.Eng)

.....กรรมการ
(อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประมาณการจำนวนอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
ชื่อ-นามสกุล	นายวณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

กระบวนการก่อสร้างระบบจำหน่ายตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง จะต้องมีการออกแบบและประมาณการ รวมถึงถอดแบบหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย ด้วยผู้ชำนาญการ ต้องใช้เวลาการถอดแบบเป็นเวลา 45-60 นาทีต่อแบบทำให้งานถอดแบบหาอุปกรณ์ระบบจำหน่ายล่าช้า ซึ่งมีผลทำให้การก่อสร้างระบบจำหน่ายช้าไปด้วย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 24 kV เพื่อหาข้อมูลและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในในการก่อสร้างระบบจำหน่ายโดยการนำข้อมูลการออกแบบที่ถอดแบบจากผู้ชำนาญการมาทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่มีด้านเข้า 4 อินพุต ประกอบด้วย ระยะทางการก่อสร้าง จำนวนจุดเลี้ยวของตัวนำขนาดองศาเลี้ยวที่ 1 และ ขนาดองศาเลี้ยวที่ 2 โดยให้เอาท์พุตคำตอบเป็นชนิดและจำนวนของอุปกรณ์ระบบจำหน่าย เช่น เสาคอนกรีต กับดักฟ้าผ่า สายตัวนำ เป็นต้น

ผลการวิจัยพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้คำตอบของจำนวนอุปกรณ์ระบบจำหน่ายได้ถูกต้อง และลดระยะเวลาในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย ทั้ง 14 ชนิด โดยนำโปรแกรมที่นำเสนอให้ผู้ชำนาญการในการออกแบบร่วมทดลองใช้และประเมินผลพบว่าสามารถให้คำตอบได้รวดเร็วและถูกต้อง

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับ มาตรฐานการออกแบบติดตั้งระบบจำหน่าย อุปกรณ์ระบบจำหน่าย

Thesis Title	Equipment Estimating for 24 kV Distribution System Using Artificial Neural Networks
Name-Surname	Mr. Wanattapong Chaiyanon
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Mr.Chatchai Suppitaksakul,.Ph.D.
Academic Year	2013

ABSTRACT

In electrical distribution system construction process following the MEA Standard, it hasto do the designing estimating and determining types and number of equipment of the system.Generally, the estimating process by an experienced engineer would take time approximately 45-60 minutes/designed work. It would take more time in case that there are a lot of designed works and it will cause the construction delay.

This thesis presents an application of Artificial Neural Networks (ANNs) to support in equipment estimating process of 24kV distribution system. Types and number of equipment that use in the distribution system is provided from the proposed program based ANNs. The information which was obtained from the estimating by the experienced engineer is used for training the feed forward back-propagation neural networks (BPPNNs).Four parameters consist of distance, the number of turning point, the degrees of the 1^{st} and 2^{nd} turning are used as inputs. The types and the number of equipment such as the concrete poles, lightning arresters, and conductors are given from the output of the program.

As the results, it is found that the proposed method and program based ANNs provided accurate results which the time consuming for14 types equipment determiningis also decreased. Besides, the proposed program was also introduced to the experienced engineers for trial. Then they were asked for opinions after using the proposed program as the evaluation. The same results were provided.

Keywords: feed forward back-propagation neural networks, distribution system design standard, equipment distribution system

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สุกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย หิรัญวโรดม ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ทรัพย์สิงห์ กรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากรแผนกออกแบบและประมาณราคาของการไฟฟ้านครหลวงสนับสนุนข้อมูลมาตรฐานและการออกแบบประมาณราคา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อชินพัฒน์ แม่สุทิน ไชยานนท์ ผู้ที่มอบชีวิตการศึกษาอนาคตที่ดีรวมทั้งครูบาอาจารย์ที่ให้วิชาความรู้อบรมสั่งสอนคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
บทที่1 บทนำ	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	12
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	13
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	13
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	14
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	14
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา	14
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 การออกแบบระบบจำหน่าย	16
2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)	32
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
2.4 สรุป	41
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	42
3.1 วิธีการออกแบบระบบจำหน่าย	42
3.2 การออกแบบระบบจำหน่ายโดยบุคคล	43
3.3 การนำข้อมูลที่ออกแบบโดยบุคคลมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม	58
3.4 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียม	59
3.5 การกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอน	59
3.6 การจัดทำข้อมูลในการฝึกสอน	59

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.7 จำนวนของเซลล์ประสาทเทียมในแต่ละชั้นและเงื่อนไขการฝึกสอน..... 60

3.8 การฝึกสอน..... 60

3.9 การทดลอง..... 62

3.10 การทำ Pre-Processing..... 64

3.11 การเขียนโปรแกรม Graphical User Interface..... 65

3.12 สรุป..... 65

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 66

4.1 ข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย..... 66

4.2 ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร..... 68

4.3 ข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 71

4.4 ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 74

4.5 ทดสอบข้อมูลนอกขอบเขตที่กำหนด..... 78

4.6 การทดลองป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม Graphical User Interface..... 80

4.7 การประเมินผลโดยผู้ชำนาญการออกแบบและผู้ก่อสร้างระบบจำหน่าย..... 81

4.8 สรุป..... 82

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 83

5.1 สรุป..... 83

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 84

รายการอ้างอิง..... 85

ภาคผนวก..... 86

ภาคผนวก ก.ผลประเมินประสิทธิภาพประมาณการจำนวนอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม..... 87

ภาคผนวก ข. มาตรฐานการติดตั้งสายอากาศระบบ 24 kV 95

ภาคผนวก ค. ผลงานการตีพิมพ์หรือเผยแพร่..... 106

ประวัติผู้เขียน..... 122

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 สรุปจำนวนอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิดในระยะ 2000 เมตรทุกกรณี..... 57

ตารางที่ 3.2 กำหนดค่าอินพุต..... 61

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าอินพุต..... 61

ตารางที่ 3.4 ค่าเป้าหมายที่ได้จากออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งการไฟฟ้านครหลวง..... 62

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ..... 63

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลที่ทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียม..... 64

ตารางที่ 4.1 การทดสอบประเภทข้อมูลตรงกับเป้าหมาย..... 66

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย..... 68

ตารางที่ 4.3 การทดสอบข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 68

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร..... 71

ตารางที่ 4.5 การทดสอบข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 72

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 73

ตารางที่ 4.7 ทดสอบข้อมูลระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 74

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 76

ตารางที่ 4.9 สรุปข้อมูลทั้งหมดที่ทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียม..... 77

ตารางที่ 4.10 ทดสอบข้อมูลนอกขอบเขตที่กำหนด..... 78

ตารางที่ 4.11 ทดสอบข้อมูลเฉพาะข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต..... 78

ตารางที่ 4.12 ทดสอบข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขต..... 79

ตารางที่ 4.13 ทดสอบข้อมูลระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขต..... 79

ตารางที่ 4.14 ผลการประเมิน..... 82

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบจำหน่าย 24 kV…… 16
รูปที่ 2.2 สายตัวนำ 25 kV หุ้มฉนวนสองชั้น (Space Aerial Cable)…….. 17
รูปที่ 2.3 Steel Bayonet……. 17
รูปที่ 2.4 เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตัน-เมตร…… 18
รูปที่ 2.5 เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตัน-เมตร…… 19
รูปที่ 2.6 โครงสร้างหัวเสาในแนวทางตรง…… 20
รูปที่ 2.7 Angle support bracket…… 21
รูปที่ 2.8 ลูกถ้วย Pin post…….. 22
รูปที่ 2.9 โครงสร้างหัวเสา Angle support ทางโค้ง 0 – 30 องศา…… 22
รูปที่ 2.10 โครงสร้างหัวเสา Angle support ทางโค้ง 30 – 60 องศา…… 23
รูปที่ 2.11 โครงสร้างหัวเสาแบบ Buck Arm (Top View)…… 24
รูปที่ 2.12 โครงสร้างหัวเสาแบบ Buck Arm (Side View)…… 24
รูปที่ 2.13 ลูกถ้วย Suspension…… 25
รูปที่ 2.14 คอนเหล็กชนิด Line Arm Steel…… 25
รูปที่ 2.15 Preformed Dead End For Spaced Aerial Cable…… 26
รูปที่ 2.16 โครงสร้างหัวเสา Dead End…….. 26
รูปที่ 2.17 Lightning Arrester 21kV……. 27
รูปที่ 2.18 การติดตั้ง Down Guy…… 28
รูปที่ 2.19 Double Dead End (Top View)…… 28
รูปที่ 2.20 Double Dead End (Side View)…… 29
รูปที่ 2.21 ชุด Tap แยกจากสายป้อนหลัก…… 30
รูปที่ 2.22 Drop fuse cut out…….. 31
รูปที่ 2.23 โครงข่ายประสาทชีวภาพ……. 33
รูปที่ 2.24 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม 1 อินพุต…….. 33
รูปที่ 2.25 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุต……. 34
รูปที่ 2.26 ฟังก์ชันแบบเชิงเส้น (Linear)…… 35

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.27 ฟังก์ชันแบบลอกซิกมอยด์ (Log-sigmoid)..... 35
รูปที่ 2.28 ฟังก์ชันแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid)..... 36
รูปที่ 2.29 โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าชั้นเดียว (Single Layer Feed-Forward Network)..... 36
รูปที่ 2.30 โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multilayer Feed-Forward Network)..... 37
รูปที่ 2.31 การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน..... 38
รูปที่ 2.32 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน..... 38
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะ 2000 เมตรทางตรง..... 44
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะ 2000 เมตรจุดโค้งของตัวนำ 1จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศา..... 45
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 30 องศา..... 47
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา..... 48
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศา..... 49
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา..... 51
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา..... 52
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา..... 53
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา..... 55
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา..... 56
รูปที่ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกสอน..... 59

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.12 ลักษณะการจัดข้อมูลสอนโครงข่ายประสาทเทียม..... 60
รูปที่ 3.13 หน้าต่าง Graphical User Interface ที่เขียนขึ้น..... 65
รูปที่ 4.1 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย..... 67
รูปที่ 4.2 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับ
เป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร..... 70
รูปที่ 4.3 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลขนาดของขนาดของมุมหัก
เลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 73
รูปที่ 4.4 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมาย
และขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย..... 75
รูปที่ 4.5 การทดสอบการป้อนข้อมูลอินพุตเข้า Graphical User Interface..... 80
รูปที่ 4.6 คำตอบอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิดของโปรแกรม Graphical User Interface..... 80
รูปที่ 4.7 ทดสอบป้อนข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต..... 81
รูปที่ 4.8 ผลของโปรแกรม Graphical User Interface เมื่อป้อนข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต..... 81

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและยิ่งมีความต้องการใช้ที่มากขึ้นในทุกวันจึงต้องสรรหาทรัพยากรเพื่อมาผลิตไฟฟ้าตามความต้องการภายในประเทศการจะนำพลังงานไฟฟ้าไปถึงผู้ใช้นั้นต้องมีระบบส่งพลังงานไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบส่งมีแรงดัน 230 kV 115 kV 69 kV ระบบจำหน่ายมีแรงดัน 12 kV 24 kV การไฟฟ้านครหลวง และ 22 kV 33 kV การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้เป็นระบบจำหน่ายซึ่งจะจ่ายไปตามถนนและซอยต่างๆไปถึงยังผู้ใช้ ซึ่งจะต้องมีการก่อสร้างโครงสร้างที่จะนำตัวนำไฟฟ้าไปจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดเป้าหมายได้อย่างมั่นคงปลอดภัยจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนและออกแบบระบบจำหน่ายการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้า 24 kV มีเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรีและสมุทรปราการเท่านั้น เป็นหน้าที่ของการไฟฟ้านครหลวงเป็นผู้ดำเนินการการออกแบบปักเสาพาดสายในพื้นที่ดังกล่าวจึงใช้มาตรฐานการออกแบบของการไฟฟ้านครหลวงทั้งสิ้น[1] อดีตได้ทำการออกแบบโดยการวาดด้วยมือจากสถานที่จริงแล้วนำไปทำแบบ ถอดแบบหาจำนวนอุปกรณ์โดยบุคคลและประมาณค่าใช้จ่าย ซึ่งการที่จะทำแบบประมาณการขึ้นมาหนึ่งโครงการนั้นใช้เวลาในการออกแบบนาน ทำให้งานปักเสาพาดสายมีความล่าช้ามาก กว่าที่จะออกแบบและ ประมาณราคาเสร็จต่อมาในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีแผนที่เป็นโปรแกรมที่ถูกสำรวจและเขียนขึ้นจากฝ่ายเทคโนโลยีภูมิศาสตร์และสารสนเทศ การไฟฟ้านครหลวง มาใช้ในการออกแบบทำให้ช่วยในการวาดแบบได้แม่นยำและเร็วขึ้น ในส่วนของการประมาณราคาได้มีโปรแกรม SAP เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทำประมาณราคา ทำให้การประมาณราคาถูกต้องรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการถอดแบบเพื่อใช้ข้อมูลในการประมาณราคานั้นยังใช้ระบบเดิมอยู่ ผู้ออกแบบต้องดูว่าการออกแบบปักเสาพาดสายต้องใช้อุปกรณ์ใดบ้าง เพื่อป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรม SAP ทำประมาณราคา ทำให้เสียเวลาในช่วงถอดแบบนี้มาก อีกทั้งยังมีโอกาสผิดพลาดจากการถอดแบบด้วย หลังจากที่ได้ทำการออกแบบเสร็จสิ้น งานสนามในการก่อสร้างระบบจำหน่ายจะทำการเบิกอุปกรณ์ไปใช้ในการก่อสร้างจากการสืบค้นพบว่ายังไม่มีการใช้โปรแกรมในการช่วยถอดแบบในการก่อสร้างระบบจำหน่าย 24 kV มีเพียงการออกแบบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแต่นำไปใช้กับอาคารชุดซึ่งทำในส่วนของห้องชุดและอาคารชุดใช้เลือกขนาดสายไฟ ระยะสายไฟ อุปกรณ์ป้องกัน ขนาดมิเตอร์ kW.hour (เอาท์พุต) ให้สัมพันธ์กับโหลดตามพื้นที่

ห้อง ประเภทของอาคารชุด ระบบทำความเย็น ชนิดระบบไฟฟ้า (อินพุต) ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ชนิด Multilayer Perceptron Network วิธีการฝึกสอนชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ กฎการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt ในงานวิจัยนี้ได้มีการเปรียบเทียบความถูกต้องกับการคำนวณด้วยมือ รวมถึงมีการทดสอบโครงข่ายและให้ความคิดเห็นจากวิศวกรออกแบบว่ามีความรวดเร็วให้คำตอบที่ถูกต้อง [2]จึงได้เสนอแนวคิดในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีคุณสมบัติในการแยกแยะข้อมูล เรียนรู้จดจำ จากการฝึกสอนในแบบต่างๆ สอนให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้า 24 kV ช่วยลดระยะเวลาในส่วนของการถอดประมาณการหาว่าต้องใช้อุปกรณ์ใดบ้างในการก่อสร้างระบบจำหน่าย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

ในการหาอุปกรณ์เพื่อใช้ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายนั้นต้องใช้ผู้ชำนาญการ และใช้เวลามากพอสมควร อีกทั้งหากปริมาณงานก่อสร้างระบบจำหน่ายมีมาก ทำให้มีความล่าช้าของงานก่อสร้างประกอบกับยังไม่มีโปรแกรมในการช่วยหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย จึงมีแนวคิดในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย เพื่อให้สามารถหาอุปกรณ์ระบบจำหน่ายได้อย่างรวดเร็ว และ ถูกต้อง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาโดยการนำประสบการณ์จากผู้ชำนาญการออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV มาจัดทำข้อมูลในการถอดหาอุปกรณ์ระบบจำหน่ายทั้งหมด 14 ชนิด โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการหาคำตอบของอุปกรณ์ระบบจำหน่าย ทั้ง 14 อินพุตที่ได้จากการสำรวจทั้งหมด 4 อินพุต 1)ระยะทางในการปักเสาพาดสาย 2)จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ 3)ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 4)ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง และมีข้อมูลอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิดได้มาจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบ จากความสัมพันธ์ข้างต้นได้นำข้อมูลมาฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ใช้กฎการเรียนรู้โดยมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) เพื่อให้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ รวดเร็ว

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV ตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

1.4.2 ฝึกสอนข้อมูลที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งการไฟฟ้านครหลวงจากผู้เชี่ยวชาญ ระยะไม่เกิน 2000 เมตร จำนวนจุดโค้งของตัวนำไม่เกิน 2 จุดโค้งโดยใช้ Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB

1.4.3 ประเมินผลโปรแกรมถอดแบบอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 24 kV โดยให้ผู้มีความชำนาญในการออกแบบประเมินผล

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1ศึกษาการออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV ตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งการไฟฟ้านครหลวง

1.5.2 ศึกษารูปแบบและวิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.3 กำหนดตัวแปรอินพุตสำหรับการถอดแบบระบบจำหน่าย และเป้าหมายของเอาท์พุตที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งการไฟฟ้านครหลวง

1.5.4 ศึกษาการใช้งาน Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB

1.5.5 นำข้อมูลจากอินพุต และเป้าหมายของเอาท์พุตไปฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นทำการทดสอบ

1.5.6 แสดงผลคำตอบที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม และนำไปให้ผู้ออกแบบระบบจำหน่ายทดลองใช้เปรียบเทียบความถูกต้องกับการคำนวณ

1.5.7 วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการถอดแบบระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย โดยใช้ข้อมูลป้อนเข้าได้แก่ ระยะทางการก่อสร้าง (ไม่เกิน 2000 เมตร),จำนวนจุดโค้งของตัวนำ(ไม่เกิน 2 จุด),ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 1,ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 2 ส่วนคำตอบที่ต้องการได้แก่ 1)เสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร 5 ตันเมตร 2)เสาคอนกรีตขนาด 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 3)หัวเสา Angle Support 4)หัวเสา Double Angle Support 5)เสาคอนกรีต Stub 6)หัวเสา Buck Arm 7)หัวเสา Dead End 8)หัวเสา Double Dead End 9)ชุดแท็ปแยก 10)Down Guy

11)Lightning Arrester 12)ความยาวสาย ASC 70mm^2 13)ความยาวสาย Over Head Ground Wire 14)เสาติดตั้ง Over Head Ground Wire โดยวิทยานิพนธ์แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วกว่าการถอดแบบโดยใช้ผู้มีชำนาญ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV รวดเร็วกว่าระยะเวลาปกติมาก

1.7.2 สามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้กับการถอดแบบอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

1.7.3 สามารถพัฒนาสร้างเป็นโปรแกรมถอดแบบระบบจำหน่าย 24 kV

บทที่ 2

ทฤษฎีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

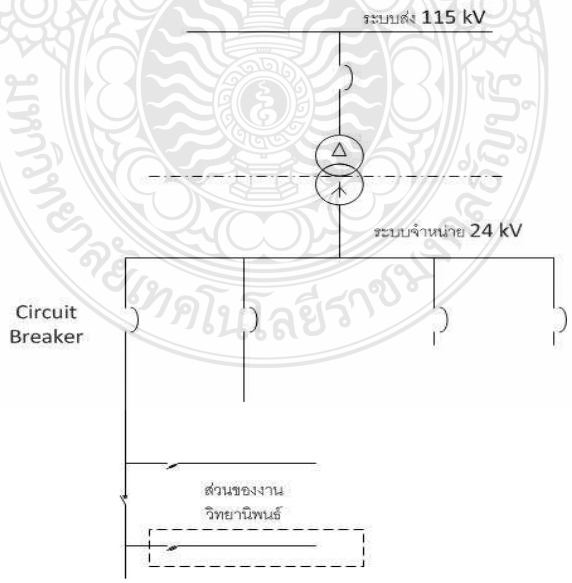
ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีนำมาประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ การออกแบบและมาตรฐานระบบจำหน่าย,โครงข่ายประสาทเทียม

2.1 การออกแบบระบบจำหน่าย

การออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV ซึ่งมีในพื้นที่ 3 จังหวัด กรุงเทพ นนทบุรี สมุทรปราการ ซึ่งผู้ออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV เป็นพื้นที่รับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง การออกแบบระบบจำหน่ายนั้นจะออกแบบตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงเท่านั้น

2.1.1 รูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่าย

การจ่ายไฟของระบบจำหน่ายจะรับไฟจากสายส่งขนาด 115 kV เข้าสู่สถานีย่อยผ่านหม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือเพียง 24 kV และแบ่งจ่ายออกเป็น Feeder ออกไปจ่ายโหลดตามธุรกิจอุตสาหกรรม และยังเป็นแหล่งจ่ายให้กับหม้อแปลงระบบจำหน่ายโดยรับแรงดันระดับ 24 kV มีการเรียงลำดับเฟสเป็น R,Y,B แปลงเป็น 230/416V 3 เฟส 4 สาย จ่ายให้กับอาคารบ้านเรือนเป็นรูปแบบการจ่ายไฟดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบจำหน่าย 24 kV

2.1.2 โครงสร้างระบบจำหน่าย

ประกอบด้วย สายตัวนำเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ในขณะที่มีตัวนำไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 24 kV ซึ่งเป็นระดับแรงดันปานกลาง ตัวนำจะต้องมีฉนวน(ลูกถ้วย)เพื่อป้องกันการเกิดลัดวงจรระบบจำหน่ายจึงต้องมีโครงสร้างของเสาเพื่อรองรับตัวนำระบบจำหน่าย และจ่ายกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันกลางได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นจำเป็นต้องมีโครงสร้างหัวเสาที่รับตัวนำในลักษณะต่างๆ ให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน โครงสร้างที่นำมาใช้มีดังนี้

2.1.3 สายตัวนำระบบจำหน่าย

ใช้ตัวนำชนิด Space Aerial Cable ลักษณะเป็นตัวนำหุ้มฉนวนสองชั้นไม่เต็มพิกัด ขนาด 70 mm^2สำหรับสายป้อนที่เป็นแท็ปแยก และ ขนาด 185 mm^2 สำหรับสายป้อนหลักในงานวิจัยฉบับนี้ใช้สายตัวนำขนาด 70 mm^2

รูปที่ 2.2 สายตัวนำ 25 kV หุ้มฉนวนสองชั้น (Space Aerial Cable)[2]

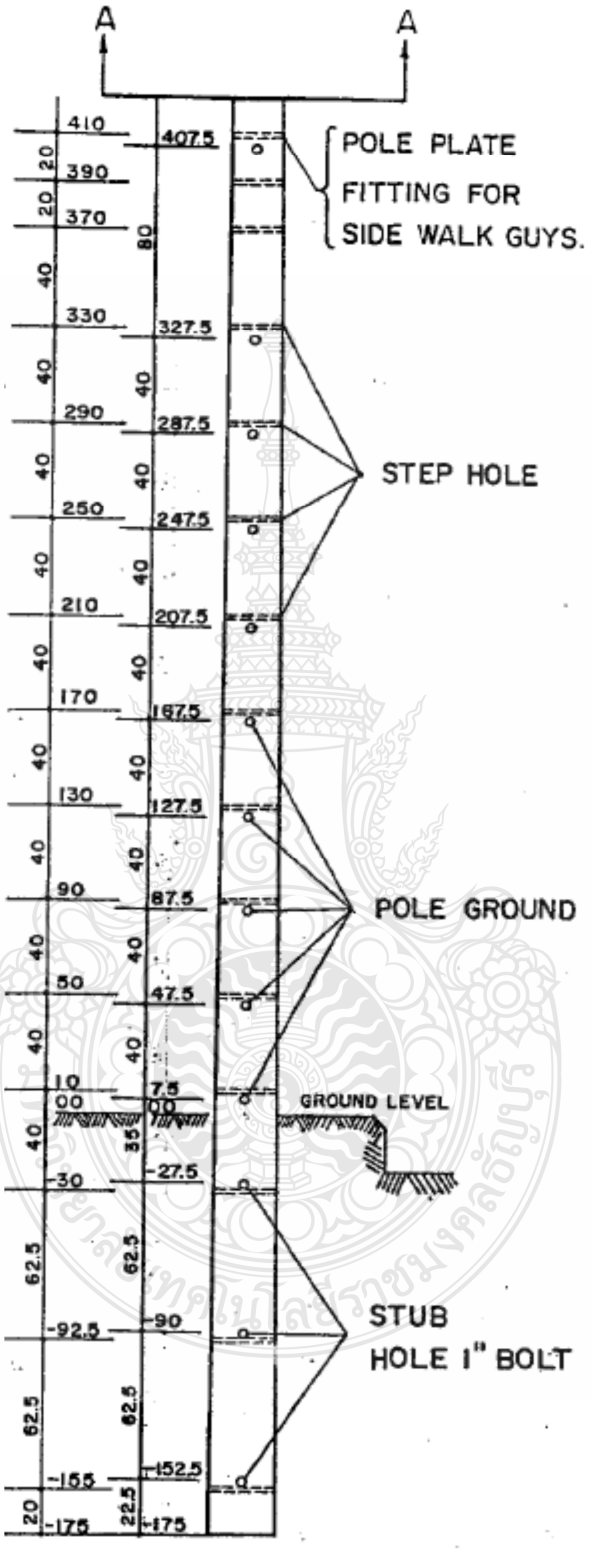
2.1.4 สาย Over Head Ground Wire

เป็นสายป้องกันฟ้าผ่าลงสู่ระบบจำหน่ายโดยตรงโดยมีระยะสูงจากสายตัวนำระบบจำหน่ายประมาณ 1.7 เมตรโดยมีเสา Steel Bayonet ในการจับยึด ขนาดของสาย Over Head Ground Wire มีขนาด 5/16 นิ้ว

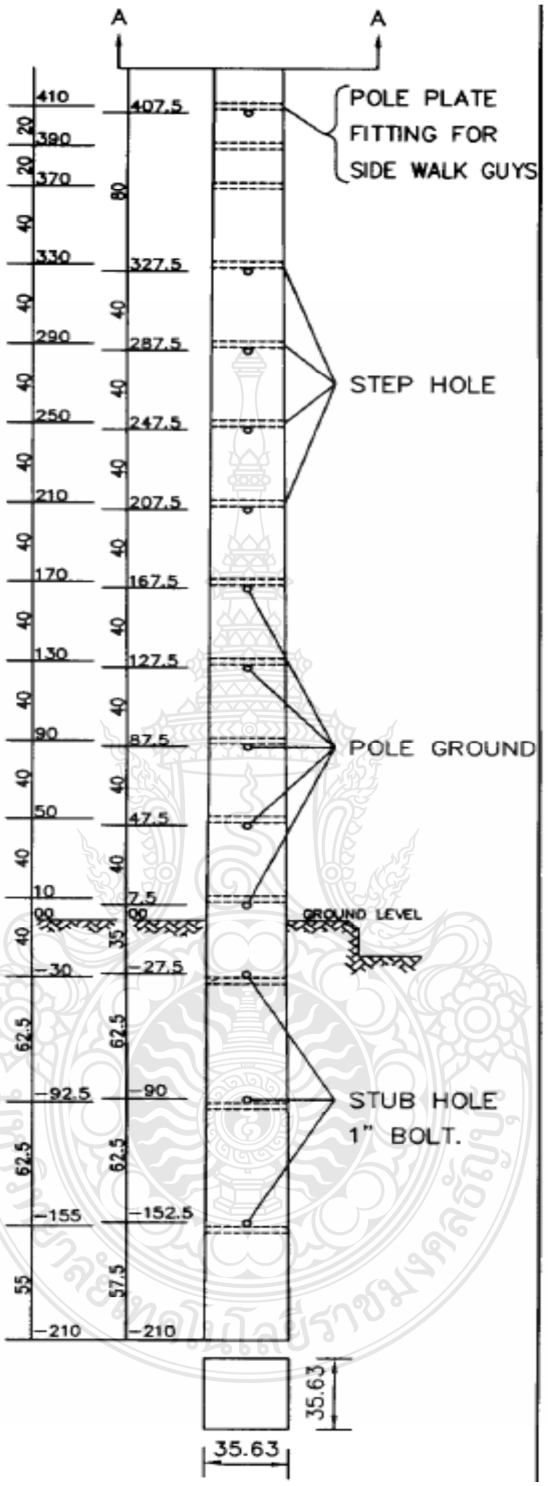
รูปที่ 2.3 Steel Bayonet[2]

2.1.5 เสาคอนกรีต

เสาคอนกรีตที่ใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงมีขนาดดังนี้ 1)เสาคอนกรีต 12 เมตร 3.5 ตันเมตร 2)เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร 3.เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตัน



รูปที่ 2.4 เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตัน-เมตร[1]



รูปที่ 2.5 เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตัน-เมตร[1]

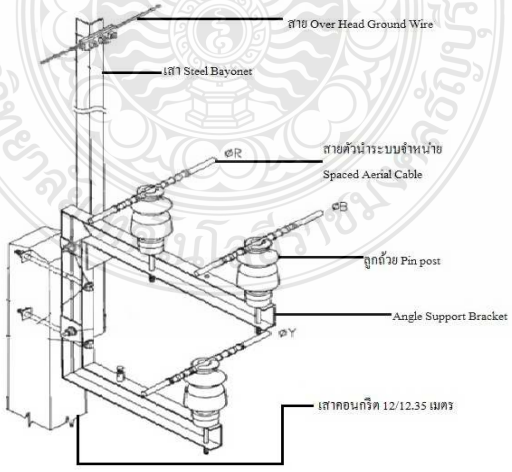
เมตร 4)เสาคอนกรีต 14 เมตร 4.15 ตันเมตร ลักษณะการใช้งานของเสาแต่ละประเภทมีดังนี้ เสาคอนกรีต 12 เมตร 3.5 ตันเมตร ใช้ในพื้นที่มีสิ่งปลูกสร้างไม่มีลมพายุพัดผ่าน เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร ใช้ในพื้นที่โล่งมีลมกรรโชกแรง เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร ใช้ในกรณีเป็นเสารับแรงดึงในกรณีเป็นต้นสุดท้าย Double Dead End หรือ เป็นต้นมุมหักโค้ง ส่วนเสา 14 เมตร 4.15 ตันเมตรใช้ในกรณียกข้ามสะพานลอย หรือ หรือ ข้ามแม่น้ำ

2.1.6 โครงสร้างหัวเสา

เป็นส่วนที่ใช้ติดลูกถ้วยเพื่อรับสายตัวนำให้ติดกับเสาคอนกรีตลักษณะของหัวเสาที่ใช้ในปัจจุบันคือ Angle Support , Dead End, Double Dead End, Buck Arm, Over Head Ground Wire หัวเสาแต่ละชนิดมีการใช้งานต่างกัน Angle Support ใช้รับสายทางตรงไม่รับแรงดึง หัวเสาแบบ Dead End ใช้เป็นหัวเสาต้นสุดท้ายซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของสายรับแรงดึงของสาย หัวเสาแบบ Double Dead End ใช้หัวเสาจุดต่อสายกลางสายระบบจำหน่ายสามารถรับแรงดึงทั้งสองด้านของสายระบบจำหน่าย หัวเสาชนิด Buck arm ใช้เป็นหัวเสาของระบบจำหน่ายในกรณีเป็นจุดหักเลี้ยวของสายตัวนำที่มากกว่า 60 องศา Over Head Ground Wire เป็นเสาโลหะใช้รับสาย Over Head Ground Wire ซึ่งเป็นส่วนป้องกันฟ้าผ่า

- โครงสร้างหัวเสาแนวทางตรง Angle Support (AG1)

ใช้กับงานที่รองรับสายตัวนำในช่วงเป็นทางตรงไม่มีการรับแรงดึงใช้เพียงรับน้ำหนักสายเท่านั้นหัวเสาประเภทนี้มีอยู่มากที่สุดในหัวเสาทุกแบบเพราะหัวเสาประเภทนี้ใช้รับน้ำหนักสายในทุกช่วงเสา



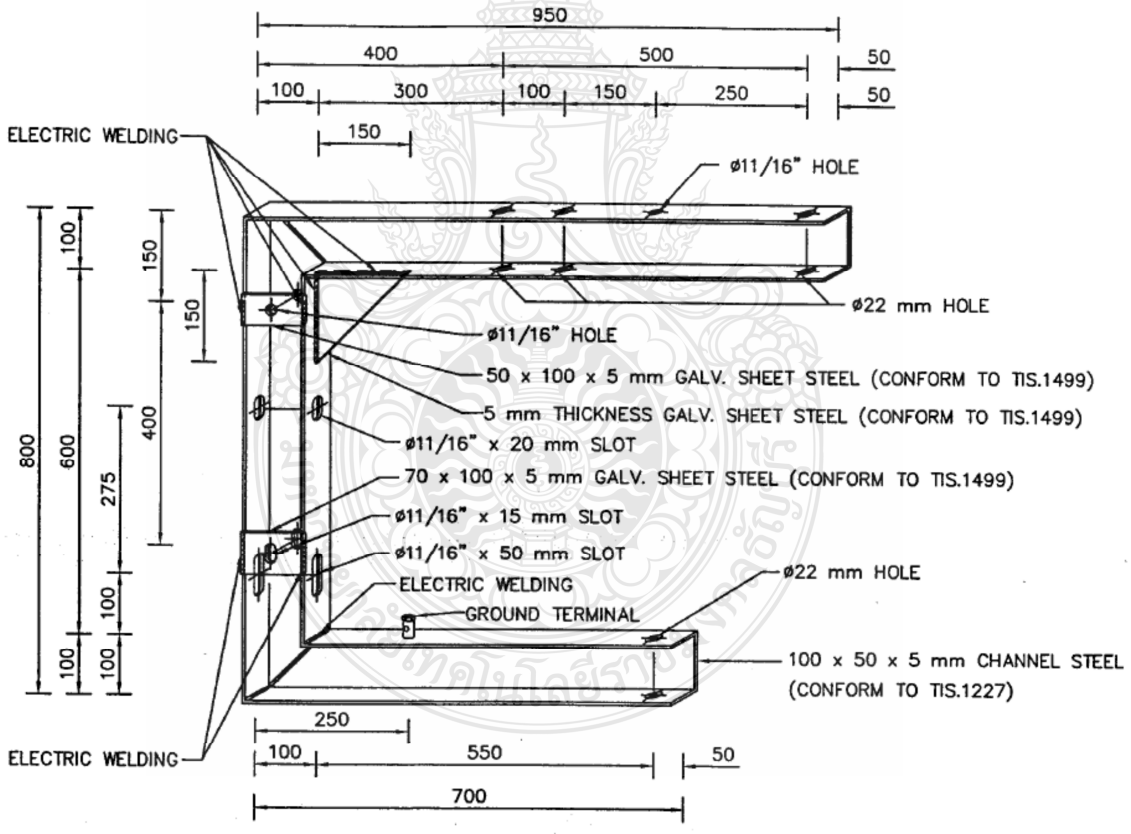
รูปที่ 2.6 โครงสร้างหัวเสาในแนวทางตรง[1]

โครงสร้างหัวเสาในแนวทางตรงประกอบด้วย

- เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตรหรือเสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร
- Angle Support Bracket
- ลูกถ้วย Pin Post 3 ชุด
- เสา Over Head Ground Wire
- สาย Over Head Ground Wire

- Angle Support Bracket

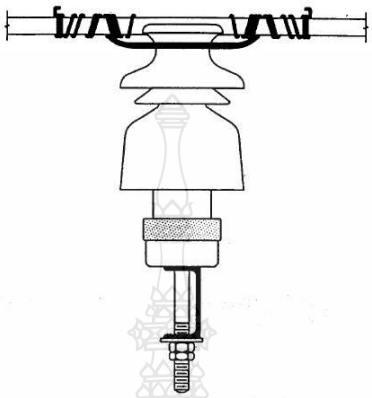
เป็นโครงสร้างหัวเสาที่ใช้พื้นที่น้อยเหมาะสำหรับพื้นที่เป็นซอยแคบทำให้สายระบบจำหน่ายไม่ไปล้ำเข้าที่ส่วนบุคคลโครงสร้างเป็นโลหะไว้รองรับลูกถ้วยฉนวนโดยมีลูกถ้วยรองรับตัวนำอยู่เพราะโครงสร้างไม่สามารถรับตัวนำได้โดยตรงเพราะอาจเกิดลัดวงจรได้



รูปที่ 2.7 Angle Support Bracket[1]

- ลูกถ้วย Pin Post

อุปกรณ์ลูกถ้วย Pin Post ใช้รองรับตัวนำระบบจำหน่ายไม่ให้แตะกับโครงสร้างหัวเสา โดยตรงเพื่อไม่ทำให้เกิดการลัดวงจร วัสดุลูกถ้วยทำจากพอสเลนผิวของลูกถ้วยมีความเรียบและมันเพิ่มความเป็นฉนวน

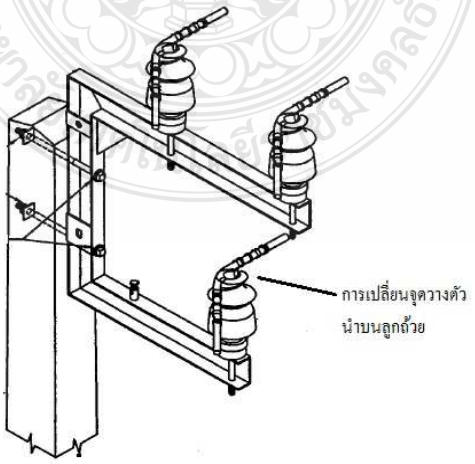


รูปที่ 2.8 ลูกถ้วย Pin Post [1]

- โครงสร้างหัวเสารับช่วงโค้ง

เป็นโครงสร้างที่รับช่วงโค้งทั้งหมด 3 แบบ จะมีรับช่วงโค้ง 0-30 องศา, 30-60 องศา,60 องศาขึ้นไป โดยช่วง 0-30 องศา นั้นสามารถใช้โครงสร้างเสาเดียวกันกับโครงสร้างเสาแบบแนวทางตรงเพียงแต่เปลี่ยนวิธีการวางสายตัวนำ ในช่วง 30-60 องศา จะต้องเพิ่ม Angle Support Bracket อีก 1 ตัวร่วมถึงย้าย Angle Support Bracket ไปติดด้านข้างเสาและเพิ่มลูกถ้วยอีก 3 ชุด ในช่วงมุม 60 องศาขึ้นไปจะใช้หัวเสาแบบ Buck Arm

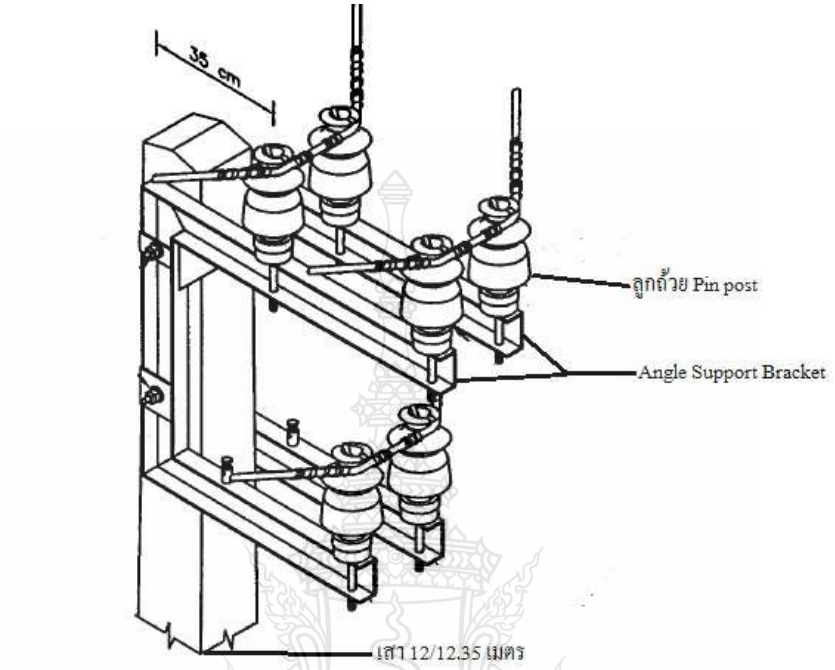
โครงสร้างรับโค้ง 0-30 องศา (AS2)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างหัวเสา Angle Support ทางโค้ง 0 –30 องศา[1]

- โครงสร้างรับโค้ง 30-60 องศา (MA1)

จะมีอุปกรณ์เพิ่มคือ Angle Support Bracket อีก 1 ชุด และ ลูกถ้วยเพิ่มอีก 3 ชุด



รูปที่ 2.10 โครงสร้างหัวเสา Angle Support ทางโค้ง 30 –60 องศา[1]

โครงสร้างหัวเสารับโค้ง 60 องศาประกอบไปด้วย

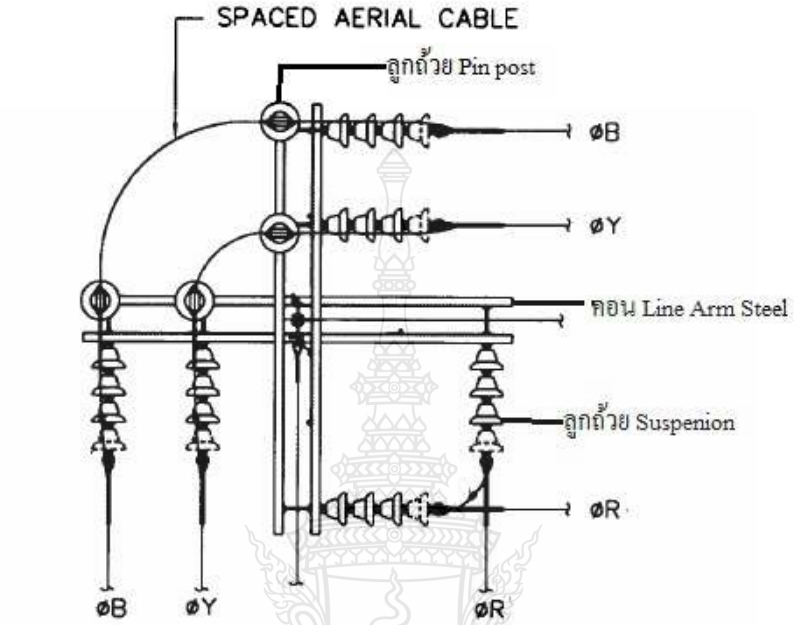
- เสา 12 เมตร 5 ตันเมตร หรือ เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร
- Angle Support Bracket 2 ชุด
- ลูกถ้วย Pin Post 6 ชุด
- เสา Over Head Ground Wire
- สาย Over Head Ground Wire

- โครงสร้างรับโค้งมากว่า 60 องศา (Buck Arm)

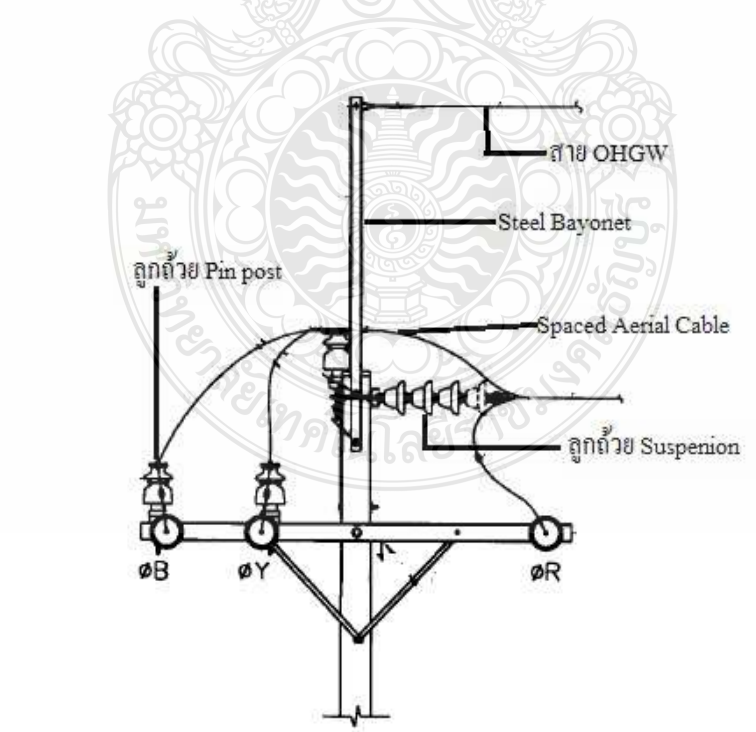
เรียกอีกอย่างว่า Buck Arm (BDG1)ใช้ในกรณีที่มีโค้งมากกว่า 60 องศาขึ้นไปและ ในกรณีที่เป็นเสาบริเวณโค้งหักศอกที่รับแรงดึง ชุด Buck Arm ประกอบด้วย

- เสา 12 เมตร 5 ตันเมตร หรือ เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร
- Line Arm Steel 4 ชุด
- ลูกถ้วย Pin Post Insulator 4 ชุด

- ลูกถ้วย Suspension 6 ชุด
- สาย Over Head Ground Wire
- Steel Bayonet



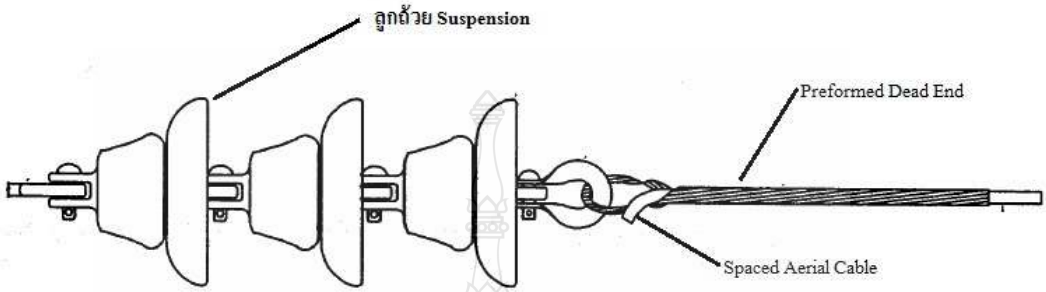
รูปที่ 2.11 โครงสร้างหัวเสาแบบ Buck Arm (Top View)[1]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างหัวเสาแบบ Buck Arm (Side View)[1]

- ลูกถ้วย Suspension

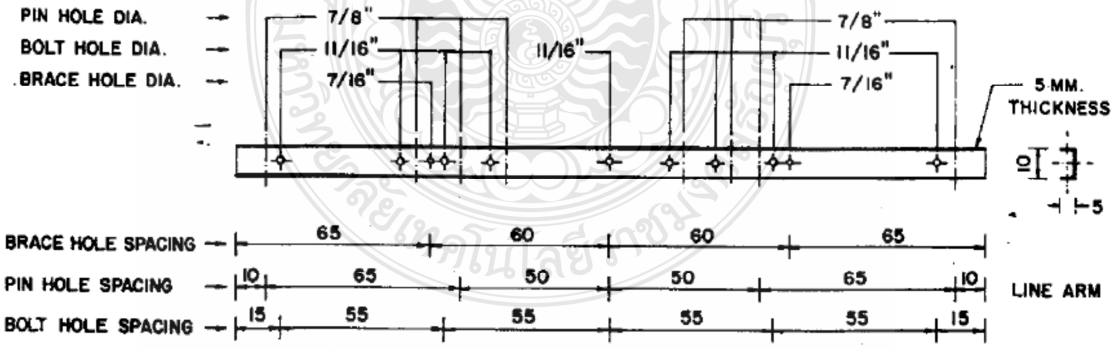
เป็นลูกถ้วยสำหรับรับแรงดึงในกรณีใช้กับ Buck Arm และ Dead End จะใช้ 3 ชั้นจะใช้ 4 ชั้นก็ต่อเมื่อมีมลภาวะหรือบริเวณที่มีไอเกลือสูงหรือสายตัวนำมีขนาด 185 mm^2



รูปที่ 2.13 ลูกถ้วย Suspension[1]

- คอนเหล็กชนิด Line Arm Steel

เป็นโครงสร้างโลหะแท่งตรงยาวใช้กับลูกถ้วยชนิด Pin Post ในลักษณะรับสายตัวนำกลาง Span หรือใช้ในกรณีเป็น Dead End เป็นตัวยึดลูกถ้วยชนิด Suspension



รูปที่ 2.14 คอนเหล็กชนิด Line Arm Steel[1]

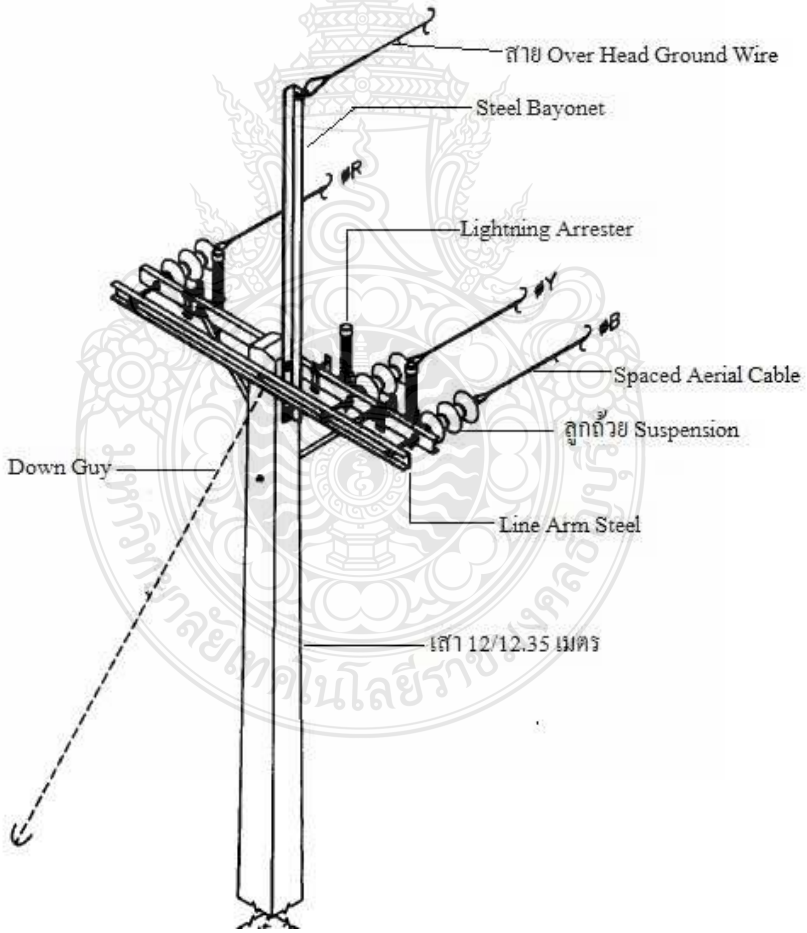
- ตัวจับยึดชนิด Preformed Dead End

เป็นตัวจับยึดสายตัวนำระบบจำหน่ายในกรณีมีการรับแรงดึงโดยหัวโครงสร้างที่ใช้ Preformed Dead End ได้แก่ Dead End , Double Dead End ,Buck Arm

รูปที่ 2.15 Preformed Dead End For Spaced Aerial Cable[2]

- โครงสร้าง Dead End (DE)

เป็นโครงสร้างหัวเสาที่ใช้ในกรณีที่เป็นเสาระบบจำหน่ายที่เป็นต้นสุดท้ายจุดสิ้นสุดสายตัวนำระบบจำหน่ายมีลักษณะที่ช่วยรับแรงดึงของสายตัวนำระบบจำหน่าย



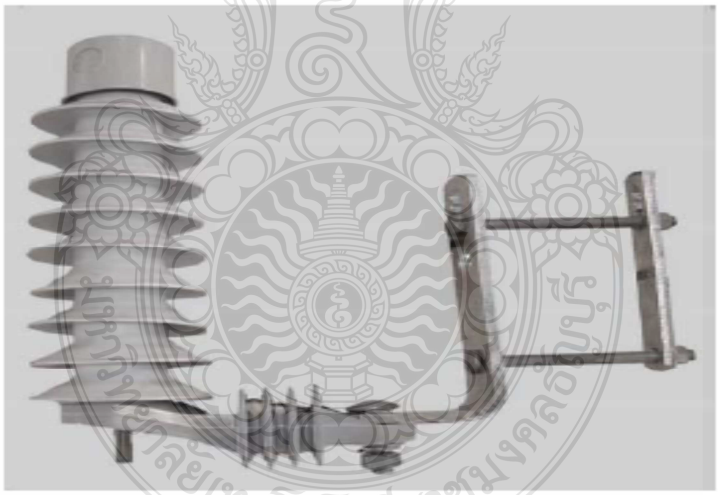
รูปที่ 2.16 โครงสร้างหัวเสา Dead End[1]

โครงสร้างหัวเสาแบบ Dead End ประกอบไปด้วย

- เสา 12 เมตร 5 ตันเมตร หรือ เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร
- Line Arm Steel 2 ชุด
- ลูกถ้วย Suspension 3 ชุด
- สาย Over Head Ground Wire
- Steel Bayonet 2 ชุด
- Down Guy
- Lightning Arrester 3 ชุด

- Lightning Arrester (LA)

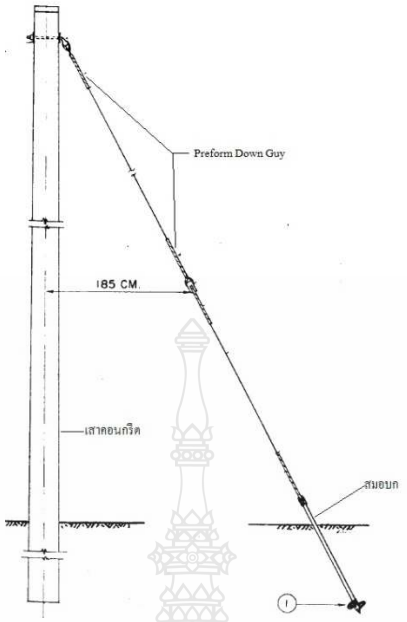
กับดักฟ้าผ่าใช้ระบายกระแสฟ้าผ่าให้ไหลลงสู่ดินเพื่อไม่ให้คลื่นฟ้าผ่าไปทำให้อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายเสียหายโดยปกติ LA จะติดตั้งที่เสา Dead End หรือเสา Double Dead End และติดตั้งในกรณีที่ตัวนำที่ต่างชนิดกันในบริเวณที่เป็นจุดต่อ เช่น สายใต้ดิน กับ สาย Spaced Aerial Cable



รูปที่ 2.17 Lightning Arrester 21 kV[2]

- Down Guy

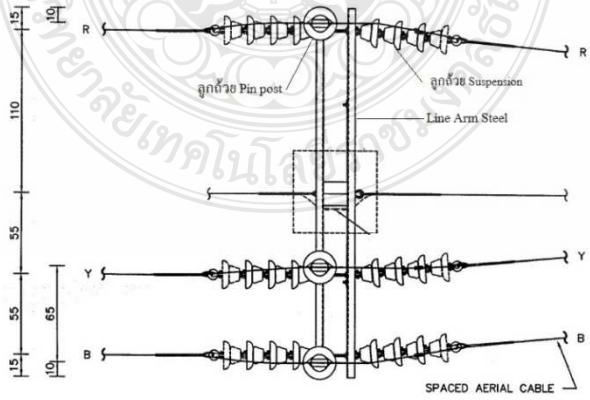
เป็นอุปกรณ์ที่ยึดโยงไม่ไม่ให้เสาคอนกรีตเอน หรือ อาจโค่นไปตามแรงดึงของสานตัวนำที่ระยะทางไกล ในชุดจะมีสมอบกเพื่อยึด สลิง Down Guy กับดิน



รูปที่ 2.18 การติดตั้ง Down Guy[1]

- โครงสร้าง Double Dead End

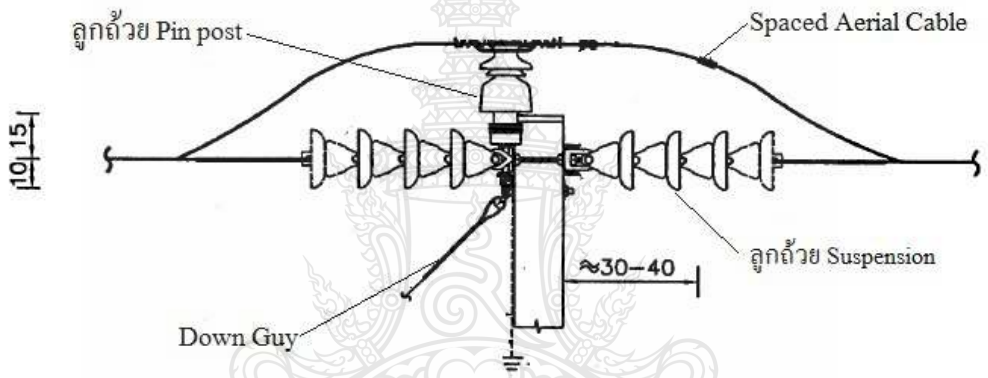
เป็นโครงสร้างที่ใช้ในกรณีเป็นชุดต่อจากโครงสร้างแบบ Dead End ในกรณีที่มีการก่อสร้างขยายระบบจำหน่ายจากจุดสิ้นสุดเดิม และ ใช้ในกรณีรับแรงดึงในกรณีที่ระยะทางของระบบจำหน่ายยาวเพื่อป้องกันการโค่นล้มของเสาระบบจำหน่าย ทำให้ไม่ดึงเสาล้มไปทั้งหมด คือ ป้องกันไม่ให้เสาโค่นเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.19 Double Dead End (Top View)[1]

โครงสร้างหัวเสา Double Dead End ประกอบด้วย

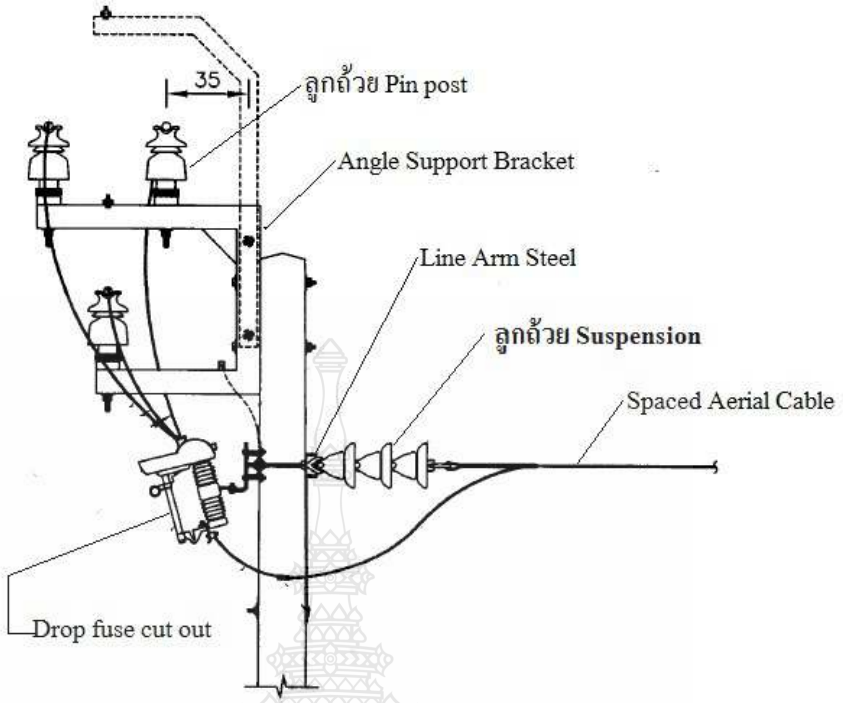
- เสา 12 เมตร 5 ตันเมตร หรือ เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร
- Line Arm Steel 2 ชุด
- ลูกถ้วย Suspension 6 ชุด
- สาย Over Head Ground Wire
- Steel Bayonet 1 ชุด
- Down Guy
- ลูกถ้วย Pin Post 3 ชุด



รูปที่ 2.20 Double Dead End (Side View)[1]

2.1.7 ชุด Tap แยกจากสายป้อนหลัก

ชุด Tap แยกจากสายป้อนหลักจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Drop Fuse Cut Out อยู่ด้วย เพื่อเป็นการตัดวงจรย่อยของสายระบบจำหน่ายออกกรณีเกิดลัดวงจร



รูปที่ 2.21 ชุด Tap แยกจากสายป้อนหลัก[1]

ชุด Tap แยกจากสายป้อนหลักประกอบด้วย

- Line Arm Steel 2 ชุด
- ลูกถ้วย Suspension 3 ชุด
- Preformed Dead End 3 ตัว
- Drop Fuse Cut Out 3 ชุด

- Drop Fuse Cut Out

เป็น Fuse ระดับแรงดันกลางมีขนาดให้เลือกหลายขนาดคุณสมบัติคือ ขาดเมื่อเกิดลัดวงจร Fuse ที่นำมาใช้เป็น Type K

รูปที่ 2.22 Drop Fuse Cut Out[2]

2.1.8 ระยะห่างระหว่างเสาคอนกรีต (SPAN)

ระยะห่างระหว่าง SPAN ใช้ระยะสูงสุด 40 เมตร ระยะที่เหมาะสมเท่ากับ 35 เมตร

2.1.9 การถอดแบบหาจำนวนอุปกรณ์

- การหาจำนวนเสาคอนกรีต

เพื่อปักรับสายตัวนำระบบจำหน่ายทำโดยการวัดระยะทางที่ต้องการก่อสร้างระบบจำหน่าย จากนั้นกำหนดระยะ SPAN เพื่อหาจำนวนเสาคอนกรีตดังนี้

จำนวนเสาคอนกรีต = ระยะทางในการก่อสร้างระบบจำหน่าย/ระยะ Span ของเสา (2.1)

- ความยาวของสายตัวนำ

ความยาวของสายตัวนำในระบบจำหน่ายจะต้องเผื่อจากระยะก่อสร้าง 5% เนื่องจากลักษณะหัวเสาที่มีการจับยึดบางชนิดใช้ระยะของสายตัวนำมาก ถ้าหากระยะที่ทำการก่อสร้างสั้นมาก มีผลทำให้การเผื่อสาย 5% มีค่าน้อยกว่า 2 เมตร ให้บวกเพิ่มไปเป็น 2 เมตร

- การหาจำนวนอุปกรณ์หัวเสาแต่ละชนิด

จำนวนอุปกรณ์หัวเสาขึ้นอยู่กับจำนวนเสาและลักษณะแนวทางการปักเสาหากเป็นทางตรงจะใช้หัวเสาประเภท AG1 ซึ่งประกอบด้วย Angle Support ,Steel Bayonet หากเป็นทางโค้งไม่เกิน 30 องศา จะใช้หัวเสาประเภท AS1 ซึ่งใช้อุปกรณ์เหมือนกับ AG1 ต่างกันเพียงวิธีการวางตัวนำและการพันมัดตัวนำยึดกับลูกถ้วย หากโค้ง 30 – 60 องศา ใช้หัวเสาแบบ MA1 ซึ่งประกอบไปด้วย Angle

Support 2 ชุด ถ้าเป็นจุดโค้งมากว่า 60 องศา จะใช้หัวเสาประเภท Buck Arm โดยจะประกอบด้วย Dead End สองชุดอยู่บนเสาเดียวกัน

- การหาจำนวนเสาและสาย Over Head Ground Wire

เสา Bayonet ที่ใช้ติดตั้ง Over Head Ground Wire มีจำนวนเท่ากับจำนวนเสาคอนกรีต เพราะมีการติดตั้งบนยอดเสาคอนกรีต ส่วนสาย Over Head Ground Wire ใช้ความยาวเท่ากับระยะทางตัวนำระบบจำหน่าย

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

เป็นการศึกษาแบบจำลองของโครงข่ายประสาทชีวภาพในสมอง มาจำลองเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์และโมเดลทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งโครงข่ายประสาทมีความเหมือนกันในแง่ การร่วมกลุ่มของแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย แต่ส่วนของโครงข่ายในสมองมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากกว่าโครงข่ายประสาทเทียม อย่างไรก็ตามโครงข่ายประสาทเทียมได้นำมาประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายด้านเช่น การประมวลผลภาพ การจดจำใบหน้า การจำแนกลายนิ้วมือ ใช้ในระบบควบคุม

2.2.1 โครงข่ายประสาททางชีวภาพ

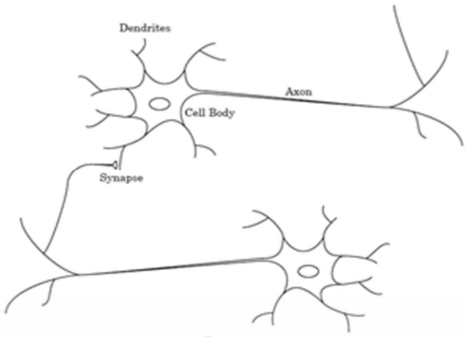
เซลล์ประสาทในสมองมีจำนวนมากประมาณ 100 ล้านล้านเซลล์ ซึ่งในหนึ่งเซลล์ประสาทประกอบกัน 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นตัวเซลล์ (Cell Body) มีองค์ประกอบคือ มีนิวเคลียส ลอยอยู่ในไซโทพลาสซึมและมีออแกเนลล์

ส่วนที่ 2 เดนไดรท์ (Dendrites) เป็นระยางค์ของเซลล์ประสาท ซึ่งแตกแขนงออกมาจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่รับสัญญาณประสาทจากเซลล์ประสาทอื่นๆเข้าไปสู่เซลล์ประสาท และส่งต่อไปยังแอกซอน เพื่อถ่ายทอดสัญญาณประสาทต่อไป

ส่วนที่ 3 แอกซอน (Axon) ลักษณะเป็นแขนงยาวออกจากตัวเซลล์ ถ่ายทอดเซลล์ประสาทไปยังเซลล์อื่น

นอกจากนี้ยังมีจุดเชื่อมต่อระหว่าง เดนไดรท์ กับ แอกซอน ซึ่งมีได้มากกว่า 1 จุดในแต่ละเซลล์ซึ่งเรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse)



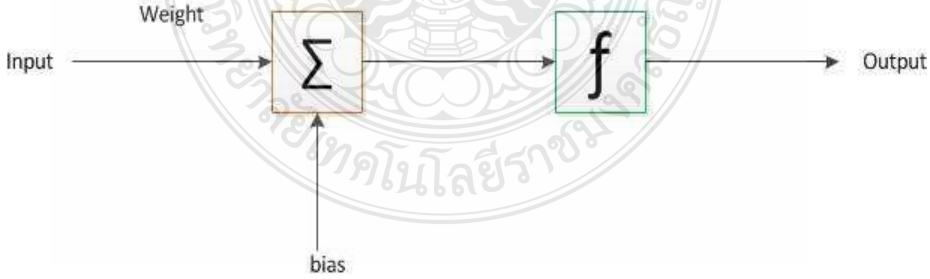
รูปที่ 2.23 โครงข่ายประสาทชีวภาพ[3]

2.2.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากโครงข่ายชีวภาพ

โครงข่ายประสาทเทียมที่จำลองมาจากโครงข่ายประสาทชีวภาพองค์ประกอบสำคัญพื้นฐานเลียนแบบมาจากโครงข่ายชีวภาพ เพื่อจำลองออกมาในรูปคณิตศาสตร์

เซลล์ประสาทชีวภาพ	เซลล์ประสาทเทียม
ตัวเซลล์ (Ccll Body)	หนึ่งเซลล์ประสาทเทียม
เดนไดรท์ (Dendrites)	ค่าอินพุต (Input Layer)
แอกซอน (Axon)	ค่าเอาท์พุต (Output Layer)
ไซแนปส์ (Synapse)	ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Value)

- แบบจำลองประสาทเทียม 1 เซลล์



รูปที่ 2.24 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม 1 อินพุต

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประสาทเทียมมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2 [3]

$$y = f(wx + b) \tag{2.2}$$

โดยที่ x คือ ค่าอินพุต (Input)

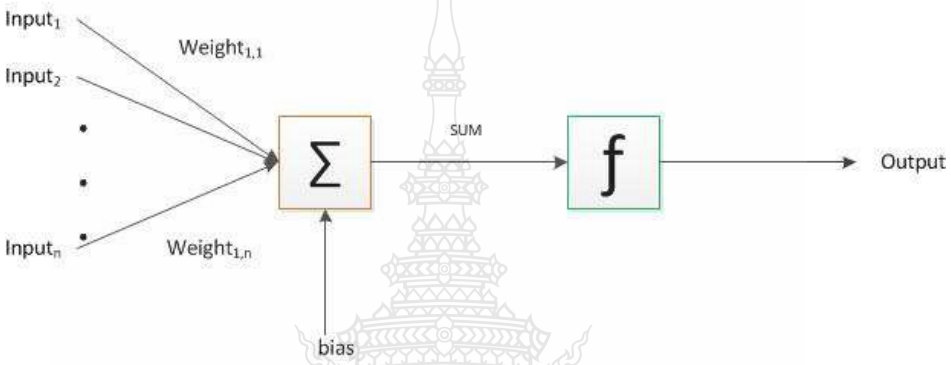
w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight)

y คือ ค่าเอาท์พุต (Output)

b คือ ค่าไบอัส (Bias)

f คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

- แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุต



รูปที่ 2.25 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุต

ค่าอินพุตแต่ละค่า($Input_1$,$Input_2$,…,$Input_n$)จะถูกนำมาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละอินพุต (Weight1,1,Weight1,2,….,Weight1,n) และถูกรวมเข้ากันเป็น ผลรวม (SUM) ก่อนเข้า Transfer function เขียนได้ดังสมการที่ 2.3 [3]

$$SUM= weight_{1,1}Input_1+ weight_{1,2}Input_2 + \ldots\ldots+weight_{1,n}Input_n + b \qquad (2.3)$$

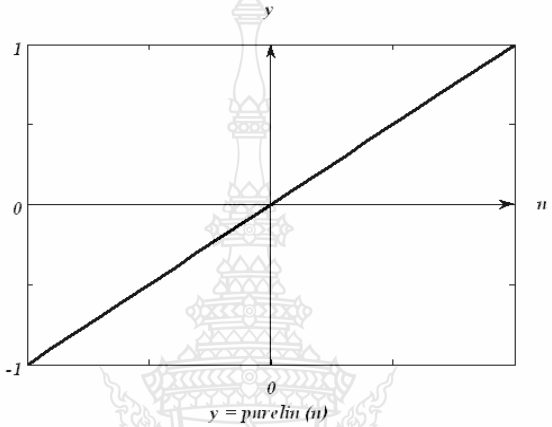
จะได้เอาท์พุตของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมดังสมการ 2.4

$$y = f(\sum weight_{1,i}Input_i + b) \qquad (2.4)$$

2.2.3 ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function)

เป็นตัวกำหนดคำตอบหรือค่าเอาท์พุตว่ามีลักษณะเอาท์พุตเป็นอย่างไร แบบที่นิยมใช้กันมีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะคำตอบเช่น แบบเชิงเส้น (Linear),แบบลอกซิกมอยด์ (Log-sigmoid),แบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid)

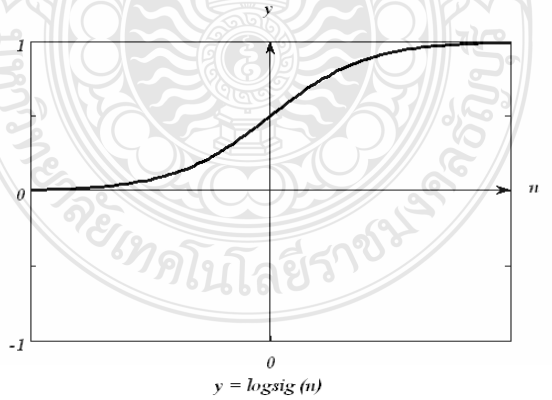
ฟังก์ชันแบบเชิงเส้น มีค่าของเอาท์พุตเป็นเชิงเส้น มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 มีค่าเป็นเชิงเส้นตามรูป 2.26 มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.5 [3]



รูปที่ 2.26 ฟังก์ชันแบบเชิงเส้น (Linear)[3]

$$purelin\ (n) = n \tag{2.5}$$

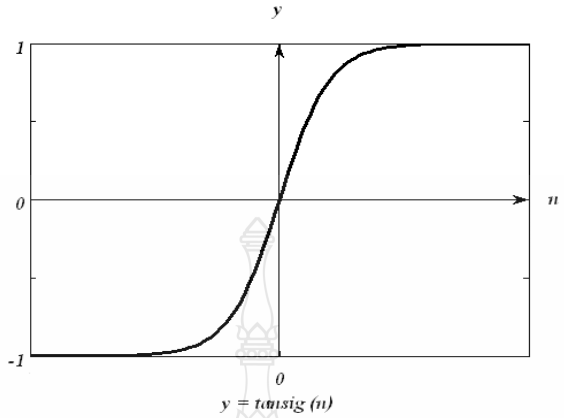
ฟังก์ชันแบบลอกซิกมอยด์ (Log-sigmoid) มีค่าเอาท์พุตอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 มีกราฟมีลักษณะเป็นกราฟ ลอกกาลิทึ่มและมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.6 [3]



รูปที่ 2.27 ฟังก์ชันแบบลอกซิกมอยด์ (Log-sigmoid)[3]

$$logsig\ (n) = \frac{1}{1+e^{(-n)}} \tag{2.6}$$

ฟังก์ชันแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid) มีค่าเอาท์พุตอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.7 [3]



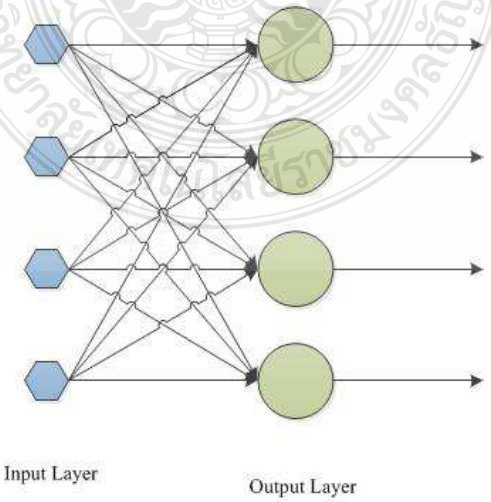
รูปที่ 2.28 ฟังก์ชันแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid)[3]

$$tansig\ (n) = \frac{1 - e^{(-n)}}{1 + e^{(-n)}} \tag{2.7}$$

2.2.4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (Architectures of Neural Network)

โครงข่ายประสาทแบ่งออกเป็น 2 ประเภท 1.โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าชั้นเดียว (Single Layer Feed-Forward Network) 2.โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multilayer Feed-Forward Network)

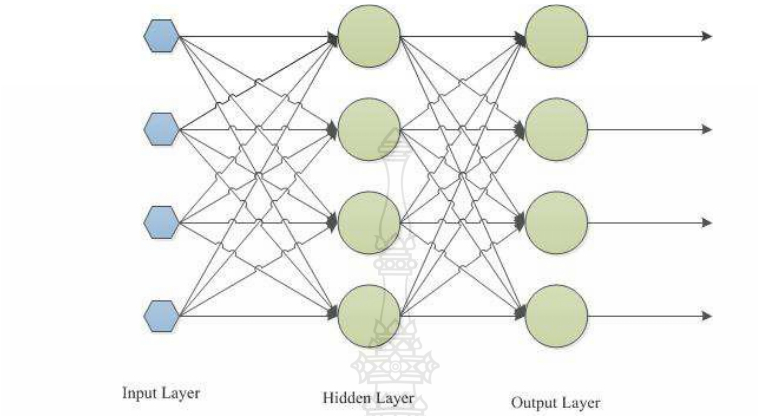
- โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าชั้นเดียว (Single Layer Feed-Forward Network)



รูปที่ 2.29 โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าชั้นเดียว (Single Layer Feed-Forward Network)

โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าชั้นเดียว ในชั้นแรกจะเป็นข้อมูลเข้าส่วนในชั้นถัดไปเป็นชั้นนิวรอนข้อมูลออก โดยข้อมูลเข้าจะเป็นข้อมูลเดียวกับข้อมูลชั้นแรก

- โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multilayer Feed-Forward Network)

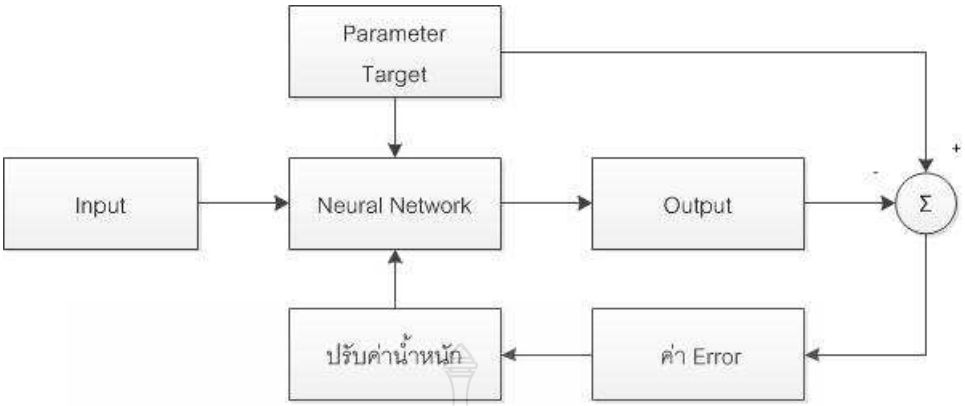


รูปที่ 2.30 โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multilayer Feed-Forward Network)

โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นเป็นการนำโครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าชั้นเดียวมาแทรกชั้นตรงกลางระหว่าง Input Layer กับ Output Layer เรียกโครงข่ายในชั้นนี้ว่าชั้นซ่อน (Hidden Layer)โดยข้อมูลใน Input Layer จะถูกป้อนเป็นค่าอินพุตของ Hidden Layer และข้อมูลเอาท์พุตของ Hidden Layer จะถูกป้อนเป็นค่าอินพุตของ Output Layerจำนวนของชั้นซ่อนอาจมีมากกว่า 1 ชั้น

2.2.5 กระบวนการเรียนรู้ (Learning process)

- การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน จะมีค่าเป้าหมายที่ผู้ฝึกสอนกำหนดคู่กับค่าอินพุตเพื่อให้ได้ค่าคำตอบที่ต้องการ โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการฝึกสอนโดยมีการปรับค่าน้ำหนักให้เหมาะสม และนำค่าเอาท์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายหาค่าผิดพลาดแล้วทำการนำค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นป้อนกลับเข้าไปปรับค่าน้ำหนักเพื่อให้ค่าเอาท์พุตสอดคล้องกับค่าเป้าหมายจนกระทั่งค่าผิดพลาดน้อยลงจนเป็นที่ยอมรับได้โดยค่าที่ยอมรับได้จะถูกกำหนดไว้หากค่าผิดพลาดน้อยกว่าที่กำหนด การฝึกสอนก็จะบรรลุตามเป้าหมายและใช้ค่าน้ำหนักนี้ในการประมวลผลหาคำตอบหลังจากฝึกสอนเสร็จ จะมีการทดสอบโดยการป้อนค่าอินพุตเพื่อดูค่าเอาท์พุตว่ามีค่าเอาท์พุตตรงกับเป้าหมายหรือไม่งานที่เหมาะกับการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนได้แก่ งานประเภทการควบคุม



รูปที่ 2.31 การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน

- การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน (Unsupervised Learning)โดยการเรียนรู้แบบนี้จะเป็นการป้อนข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม ภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการจำแนกกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะที่เหมือนกัน เมื่อป้อนข้อมูลอินพุตโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการคำนวณความสัมพันธ์ของข้อมูลจากค่าน้ำหนัก และทำการจัดกลุ่มของข้อมูลเองโดยผู้ใช้ไม่สามารถกำหนดค่าเอาท์พุตของข้อมูลได้ ซึ่งแตกต่างจากการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนสามารถกำหนดค่า Output ให้เป็นไปตามเป้าหมายได้ โครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้นิยมใช้กับการแยกแยะชนิดของข้อมูลและการหาค่าที่เหมาะสม

รูปที่ 2.32 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน

2.2.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Backpropagation)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับเป็นโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต (Input Layer) , ชั้นซ่อน (Hidden Layer),ชั้นเอาท์พุต (Output Layer) โดยที่มีการเชื่อมโยงในแต่ละชั้นถึงกันหมด ส่วนที่เรียกกว่ากระบวนการแบบแพร่ย้อนกลับเนื่องจากหลังจากป้อนค่าอินพุตผ่านโครงข่ายประสาทคูณด้วยค่าน้ำหนักออกมาเป็นค่าเอาท์พุต นำค่าเอาท์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายผลที่ได้จะเป็นค่าผิดพลาด จากนั้นนำค่าผิดพลาดมาคำนวณและปรับแก้ค่า

น้ำหนัก และทำการป้อนค่าอินพุตใหม่จนถึงกระบวนการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดและปรับค่าถ่วงน้ำหนักทำเช่นนี้จนกระทั้งค่าผิดพลาดน้อยเป็นที่ยอมรับได้ โครงข่ายแบบแพร่แบบย้อนกลับ นั้นมีหลายกฎการเรียนรู้แต่ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้กฎการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt ตามที่ระบุใน Neural Network Toolbox User's Guide [4] เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงสุดโดยมีลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสตามสมการที่ 2.8 [4,5]

$$X_{k+1} = X_k - \left[J^T J + \mu I \right]^{-1} J^T e \tag{2.8}$$

$$g = J^T \cdot e \tag{2.9}$$

โดยที่ X คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) และค่าไบอัส (b)

J คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian Matrix) ของอนุพันธ์ของค่าผิดพลาด (แต่ละค่า) ต่อค่า X (แต่ละค่า)

g คือ Performance Gradient

J^T คือ Transpose Matrix ของ J

e คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด (Error) ระหว่างคำตอบ (Target, t) กับค่าที่โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณได้ (Answer, y)

μ คือ ค่าคงที่

I คือ Identity Matrix

- จาโคเบียนเมตริกซ์ของ (w)

$$J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,S^1}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \cdots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,S^1}} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial e_{S^2}}{\partial w_{S^2,1}} & \frac{\partial e_{S^2}}{\partial w_{S^2,1}} & \cdots & \frac{\partial e_{S^2}}{\partial w_{S^2,S^1}} \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

- จาโคเบียนเมตริกซ์ของค่า (b)

$$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{S^2}}{\partial b_{S^2}} \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

- เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{S^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1^2 - y_1^2 \\ t_2^2 - y_2^2 \\ \vdots \\ t_{S^2}^2 - y_{S^2}^2 \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าในประเทศไทยโดยคุณบัณฑิต ฤทธิ์ทอง[6] ได้วิจัยเรื่องการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารชุด ศึกษาการออกแบบอาคารชุดโดยมีข้อมูลอินพุต เป็น พื้นที่ห้อง,ประเภทอาคาร,ระบบทำความเย็น,ระบบไฟฟ้า (1เฟส,3เฟส) และมีข้อมูลเอาท์พุต เป็น ขนาดเครื่องวัด,ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์,ขนาดสายเมน,ขนาดสายดิน,ท่อโลหะ,ระยะที่ทำให้แรงดันตก และ คุณเรืองรัตน์ ประเสริฐไทย [7] ได้วิจัยเรื่อง การวางแผนการจ่ายโหลดสำหรับอาคารชุดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นำเสนอการวางแผนการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนจากภาษา Visual Basic 6 โดยพิจารณาในการเลือกจำนวนชุดของสายป้อนหนึ่งชุดจ่ายภาระไฟฟ้าแยก

แต่ละชั้นและสายป้อนหนึ่งชุดจ่ายกลุ่มภาระไฟฟ้าหลายชั้น โดยดูมูลค่าการลงทุนต่ำสุดและพิจารณาความแตกต่างระยะทางการเดินสาย ราคาอุปกรณ์ พิกัดอุปกรณ์แรงดันตก คุณฉัตรชัย สานติสุขรัตน์ การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม [8] แต่งานวิจัยฉบับนี้ทำเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าแรงกลาง ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นเป็นการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในส่วนของผู้ใช้แต่ยังไม่มีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้า 24 kV จึงได้นำเสนอการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ช่วยในการออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV เพื่อช่วยลดระยะเวลาการออกแบบ

2.4 สรุป

การนำเสนอข้างต้นเป็นมาตรฐานการก่อสร้างระบบจำหน่ายและลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของระบบจำหน่ายรวมถึงส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองต่างๆ สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม บอกถึงส่วนประกอบที่สำคัญเพื่อนำมาใช้ในการทำงานวิจัยฉบับนี้ ส่วนในการนำทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้กับการออกแบบระบบจำหน่ายตามมาตรฐานนั้นจะกล่าวถึงวิธีการทำวิจัยในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

การออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV ในปัจจุบันได้มีการนำระบบแผนที่มาใช้เพื่อให้กระบวนการในการออกแบบรวดเร็วขึ้น แต่ยังขาดในส่วนของการถอดแบบหาอุปกรณ์ การใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยถอดแบบ แต่ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องใช้ความชำนาญและความสามารถในเขียนโปรแกรมที่ซับซ้อนและยุ่งยาก และหากมีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานก็ต้องเขียนโปรแกรมแก้ไขใช้เวลานานกว่าจะดำเนินการเสร็จ จึงเกิดแนวคิดนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการช่วยออกแบบระบบจำหน่าย เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถเรียนรู้จดจำ แยกแยะได้หากมีการเปลี่ยนมาตรฐานก็สามารถนำตัวอย่างการเรียนรู้ ค่าป้อนเข้า และค่าเป้าหมาย นำมาฝึกสอนและนำไปใช้ได้ทันที่ไม่ต้องนำมาแก้ไข อัลกอลิทึมเหมือนการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป

3.1 วิธีการออกแบบระบบจำหน่าย

การออกแบบระบบจำหน่ายในปัจจุบันใช้คนในการออกแบบโดยข้อที่ใช้ในการพิจารณาในการกำหนดจำนวนอุปกรณ์การวางตำแหน่งอุปกรณ์โดยจะพิจารณาถึงระยะ Span ขนาดของเสาคอนกรีต โครงสร้างหัวเสาให้เหมาะสม ร่วมถึงอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย เพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน

– ระยะ Span ที่เหมาะสม

หมายถึงระยะห่างระหว่างเสาคอนกรีตสองต้นซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการรับน้ำหนักของสายตัวนำรวมถึงทนต่อแรงลม และไม่ทำให้สายตัวนำตกท้องช้างจนเกินไป การพิจารณาระยะ Span จากค่าโมเมนการดัดของเสาคอนกรีต โดยปกติเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร 5 ตันเมตร จะใช้ระยะ Span 35 ถึง 40 เมตร แต่หากเป็นเสาต้นที่รับแรงดึงหรือพื้นที่โล่งรับลมพายุ ก็จะใช้เสาคอนกรีตที่มีค่าโมเมนการดัดมากขึ้น แต่ไม่นิยมให้ระยะ Span มากกว่า 40 เมตร เพราะนอกจากสายจะตกท้องช้างมากเกินไปแล้วยังมีโอกาสทำให้สายตัวนำแตะกันอีกด้วย

– โครงสร้างหัวเสากับพื้นที่

โครงสร้างหัวเสาใช้สำหรับรองรับสายตัวนำระบบจำหน่ายจึงต้องเลือกหัวเสาให้เหมาะสมกับพื้นที่ ในกรณีที่เป็นพื้นที่ในเมืองผ่านอาคารสูงลักษณะหัวเสาจะติดตั้งเสาแบบ Angle Support (AX1) หากเป็นพื้นที่โล่งแจ้งก็จะใช้หัวเสาแบบ Angle Support (AG1) เมื่อถึงจุดสิ้นสุดของสายจะต้องใช้หัวเสา Dead End (DE) เพื่อรับแรงดึง และเมื่อจะต่อสายก็สามารถทำเป็น Double Dead End (DDE)เพื่อไม่ให้จุดต่อรับแรงดึงเพราะอาจทำให้สายขาด

– การเลือกเสาคอนกรีต

การพิจารณาเลือกใช้เสาคอนกรีตเสาคอนกรีตที่นำมาใช้ในระบบจำหน่าย 24 kV มี 4 ชนิด 1)เสา 12 เมตร 3.5 ตันเมตร 2)เสา 12 เมตร 5 ตันเมตร 3)เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 4)เสา 14 เมตร แต่ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ 2 ชนิด เสา 12 เมตร 5 ตันเมตร และ เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร โดยทางตรงปกติจะใช้เสา 12 เมตร 5 ตัน-เมตร ในการก่อสร้างหากเป็นต้นหัวมุมจุดโค้งของสายตัวนำที่รับแรงดึงมากจะใช้เสา 12 เมตร 6.5 ตัน-เมตร หรือในกรณีที่เป็นทางตรงยาวรับแรงดึงมากต้นที่เป็นต้นต่อสายจะเป็น Double Dead End จะใช้เสา 12 เมตร 6.5 ตัน-เมตรเพื่อรับแรงดึง

– การกำหนดจำนวน Down Guy

จำนวน Down Guy ขึ้นอยู่กับเสาต้นที่รับแรงดึงโดยจะเป็นต้น Dead End หรือ Double Dead End หากเป็น Double Dead Endช่วงกลางสายป้อนก็จะใช้ Down Guy สองชุดโดยดึงทั้งสองข้าง

– การกำหนด Lightning Arrester

การติดกับดักฟ้าผ่าจะทำการติดทุก 500 เมตร

– การกำหนดความยาวของสายตัวนำและ สาย Over Head Ground Wire

จากระยะทางของการก่อสร้างระบบจำหน่ายจะทำการบวกเพิ่มระยะทางอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นการเผื่อสายในกรณีเป็นโค้งหรือทำเป็น Double Dead End

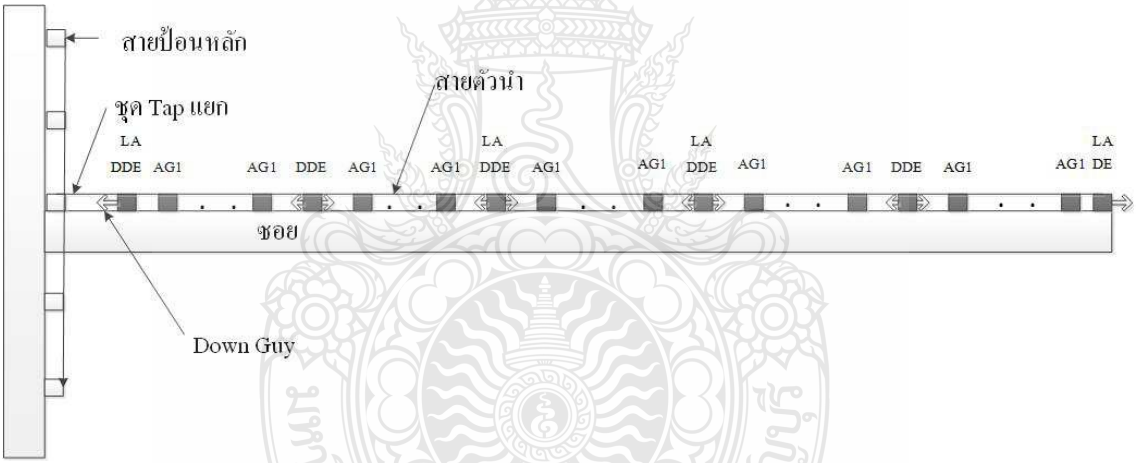
3.2 การออกแบบระบบจำหน่ายโดยบุคคล

การออกแบบโดยบุคคลนั้นทำโดยการออกสำรวจบริเวณพื้นที่ที่ทำการปักเสาว่ามีระยะในการพาดสายตัวนำยาวเท่าไรจากนั้นดูว่าจะต้องปักเสาคอนกรีตจำนวนกี่ต้น ทำการวาดแบบเบื้องต้นและทำการกำหนดขนาดเสาในต้นที่สำคัญ และดูว่าลักษณะพื้นที่ควรใช้หัวเสาแบบได้ เก็บ

รายละเอียดให้ได้มากที่สุด จากนั้นกลับเข้า สำนักงานเพื่อทำการออกแบบโดยใช้แบบที่ทำการวาดเบื้องต้นนำมาลงรายละเอียดในแบบจริง ทำการกำหนดหัวเสาและเสาคอนกรีตที่เหลือ บอกระยะ Span ทุกช่วง ติดอุปกรณ์ โดยการออกแบบโดยบุคคลแสดงดังตัวอย่าง

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรเป็นทางตรง

เริ่มแรกจะต้องดูว่าจะต้องทำการปักเสาคอนกรีตทั้งหมดกี่ต้นหาได้จากระยะทางหารด้วยระยะ Span ดังนั้น ใช้เสาคอนกรีต 2000/35 = 57 ต้น เลือกขนาดเสาในกรณีก่อสร้างเป็นทางตรงใช้เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 6 ต้น โดยเป็นเสาต้นแรก,เสาต้นสุดท้าย,เสาต้นระหว่างกลาง 4 ต้นห่างเท่าๆกัน ที่ต้องมีต้นกลางเนื่องจากสาย จะช่วยลดแรงดึงเป็นช่วงทำให้แรงดึงไม่มากเกินไป ที่เหลืออีก 51 ต้น เป็นเสา 12 เมตร 5 ตันเมตร ต่อไปเป็นการกำหนดหัวเสาโดยเป็น หัวเสา Double Dead End 5 ชุด Dead End 1 ชุด ที่เหลืออีก 51 ชุดเป็น Angle Support (AG1)



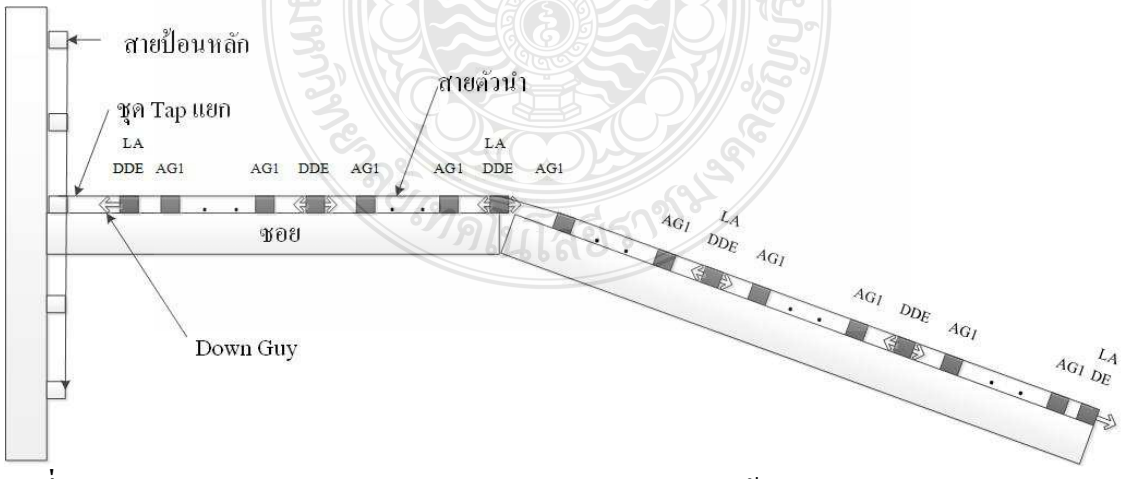
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะ **2000** เมตรทางตรง

หลังจากกำหนดจุดปักเสาและขนาดเสาคอนกรีตก็จะทำการหาความยาวของสายโดยหาได้จากระยะในการปักเสาบวกกับ 5 เปอร์เซ็นต์ของระยะปักเสา ความยาวของสาย 2000 เมตร ระยะสาย 5 เปอร์เซ็นต์ 2000 x 0.05 = 100 เมตร ดังนั้นความยาวสายตัวนำ 2100 เมตร โดยตัวนำมีสามเฟส 2100 x 3 = 6300 เมตร จากการคำนวณระยะเผื่อของสายตัวนำข้างต้นก็จะได้ความยาวของสาย Over Head Ground Wire ด้วย เป็นความยาว 2100 เมตร ส่วนจำนวนเสา Over Head Ground Wire จะมีจำนวนเท่ากับ จำนวนเสาคอนกรีตทั้งหมด ในการติดตั้ง Down Guy จะต้องคำนึงถึงการรับแรงดึงของเสาคอนกรีตและทิศทางของแรงดึงโดยในแบบตัวอย่างนี้จะใช้ Down Guy 10 ชุดในการรับแรงดึง

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรทางตรง

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	51	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	6	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	51	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	0	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	6	ชุด
หัวเสา Buck Arm	0	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สายSpaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศา



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะ 2000 เมตรจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศา

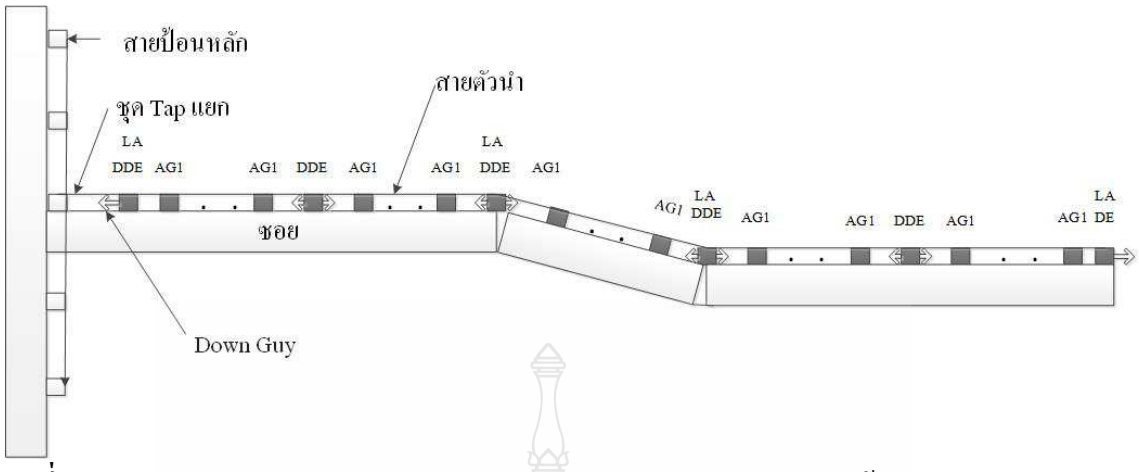
ทำการคำนวณหาจำนวนอุปกรณ์คล้ายกับตัวอย่างระยะทางตรงเนื่องจากขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศามีผลต่ออุปกรณ์หัวเสาน้อยมากจึงทำให้อุปกรณ์ที่หาออกมามีใกล้เคียงกันต่างกับทางตรงเพียงแค่มีเสาคอนกรีต Stub เพิ่มขึ้นมาอีกต้นที่ตรงจุดโค้งของตัวนำ

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	51	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	6	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	51	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	0	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	7	ชุด
หัวเสา Buck Arm	0	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สายSpaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 30 องศา

ทำการคำนวณหาจำนวนอุปกรณ์คล้ายกับตัวอย่างระยะทางตรงเนื่องจากขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศามีผลต่ออุปกรณ์หัวเสาน้อยมากจึงทำให้อุปกรณ์ที่หาออกมามีใกล้เคียงกันต่างกับทางตรงเพียงแค่มีเสาคอนกรีต Stub เพิ่มขึ้นมาอีก 2 ต้นที่ตรงจุดโค้งของตัวนำทั้งสองจุด

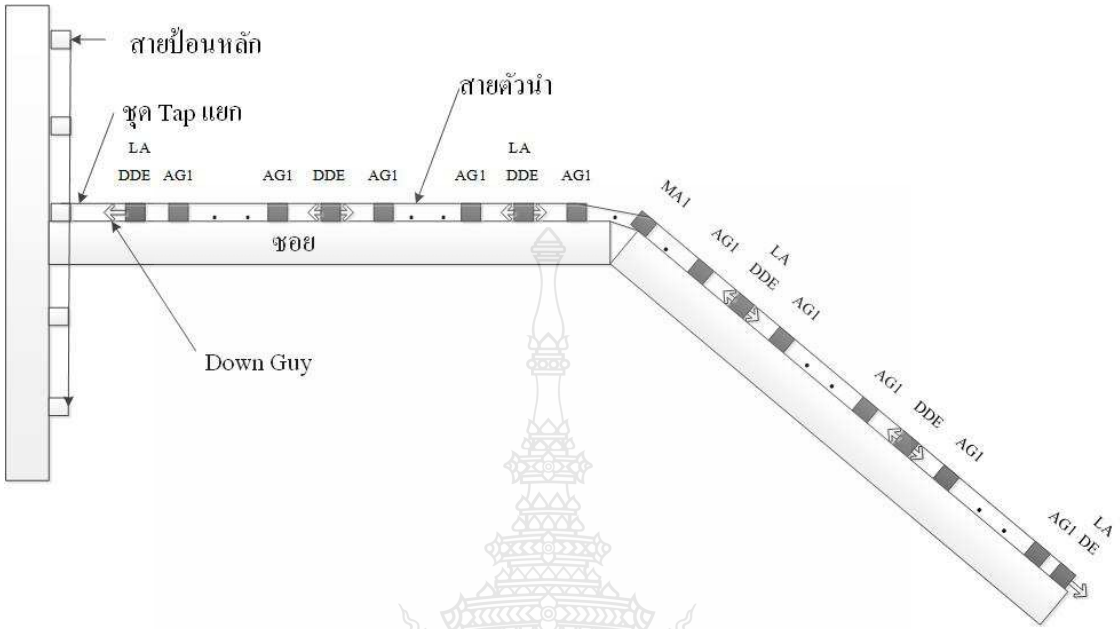


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 30 องศา

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 30 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	51	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	6	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	51	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	0	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	8	ชุด
หัวเสา Buck Arm	0	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สายSpaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศา



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา

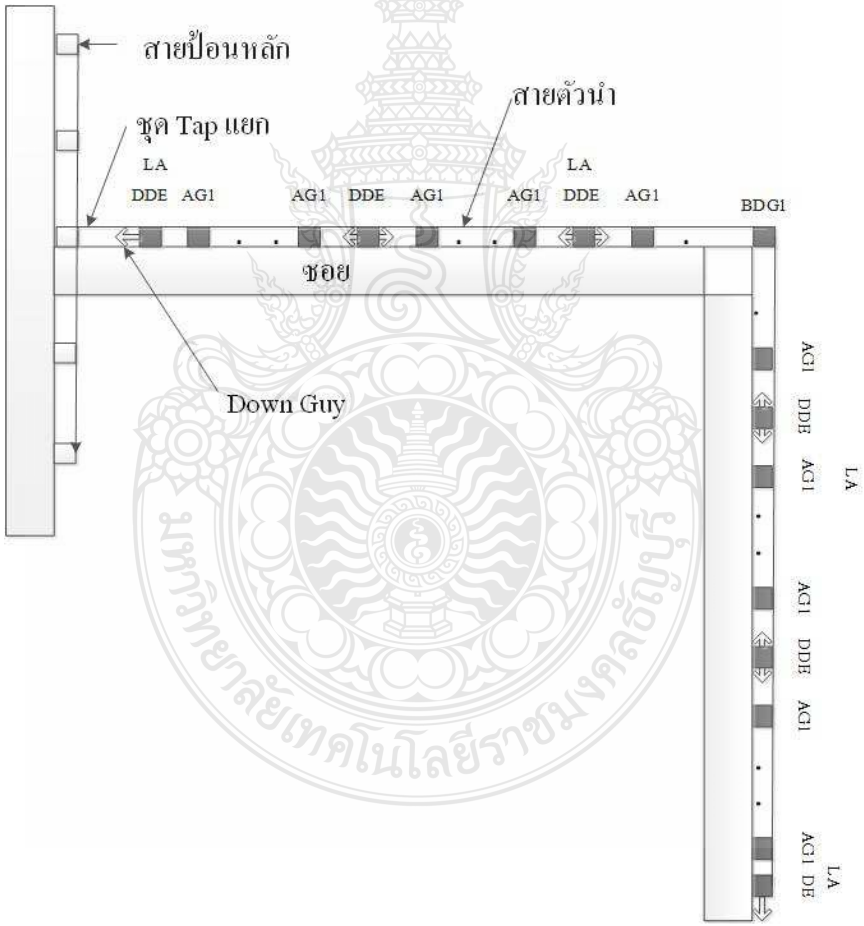
ทำการออกแบบคล้ายกับทางตรงเพียงแต่ใช้เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร แทนเสา 12 เมตร 5 ตันเมตร 1 ต้นที่จุดโค้งของตัวนำ และใช้หัวเสา Double Angle Support แทนหัวเสา Angle Support ที่จุดโค้งของตัวนำ รวมถึงเพิ่มเสาคอนกรีต Stub ที่จุดโค้งของตัวนำ

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	50	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	7	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	50	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	1	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	7	ชุด
หัวเสา Buck Arm	0	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด

หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สายSpaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 90 องศา



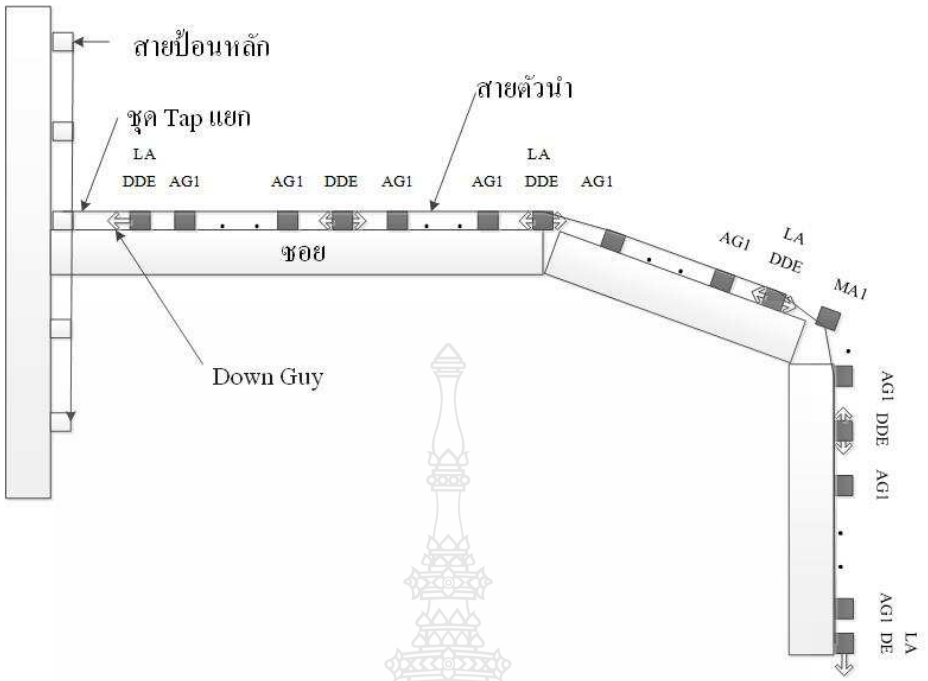
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศา

วิธีการออกแบบจะคล้ายกันกับตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศาแต่จะต่างกันตรงที่จุดโค้งของตัวนำ จะใช้หัวเสาประเภท Buck Arm แทน Double Angle Support เนื่องจากขนาดของมุมหักเลี้ยวเป็น 90 องศา

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	50	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	7	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	50	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	0	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	7	ชุด
หัวเสา Buck Arm	1	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา

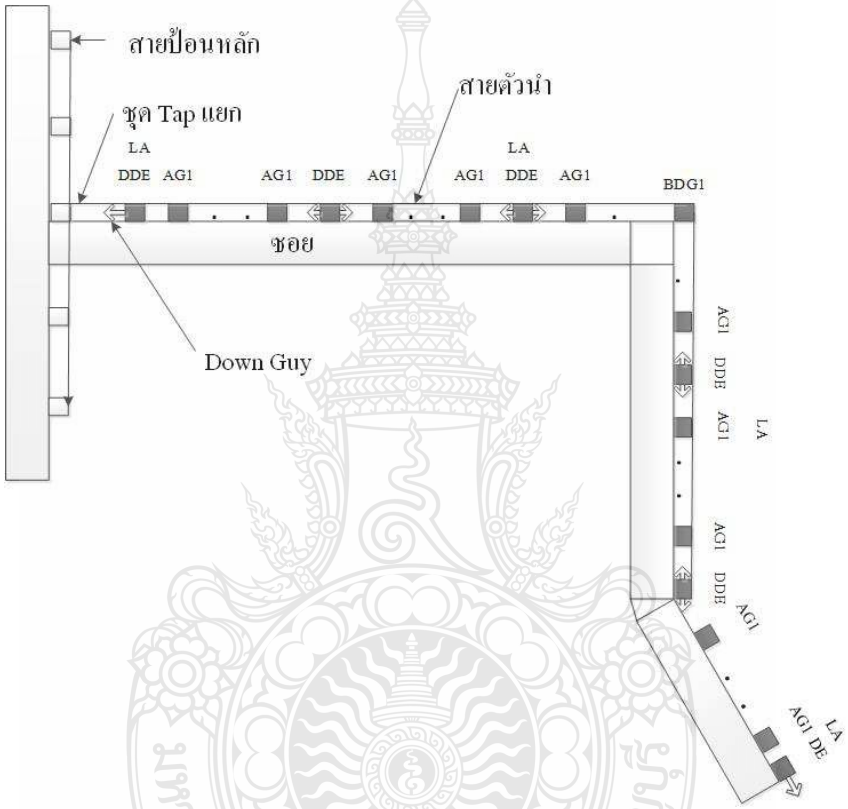
วิธีการออกแบบจะคล้ายกันกับตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศา แต่จะเพิ่มเสาคอนกรีต Stub ที่จุดโค้งของตัวนำที่มีขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศาอีก 1 ต้น

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	50	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	7	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	50	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	1	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	8	ชุด
หัวเสา Buck Arm	0	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด

Lightning Arrester	4	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา

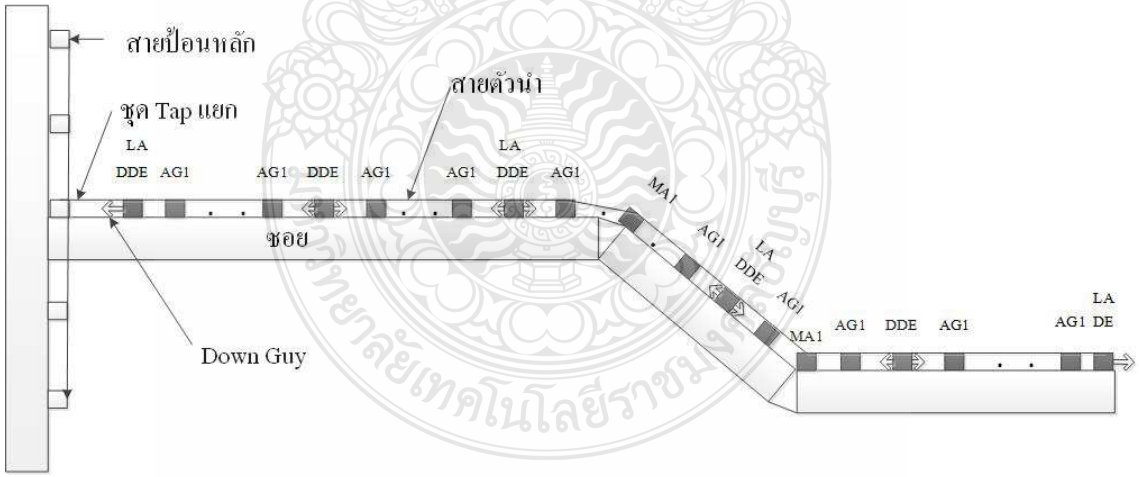
วิธีการออกแบบจะคล้ายกันกับตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 1 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยว 90 องศา แต่จะเพิ่มเสาคอนกรีต Stub ที่จุดโค้งของตัวนำที่มีขนาดของมุมหักเลี้ยว 30 องศาอีก 1 ต้น

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	50	ต้น

เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	7	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	50	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	0	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	8	ชุด
หัวเสา Buck Arm	1	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา



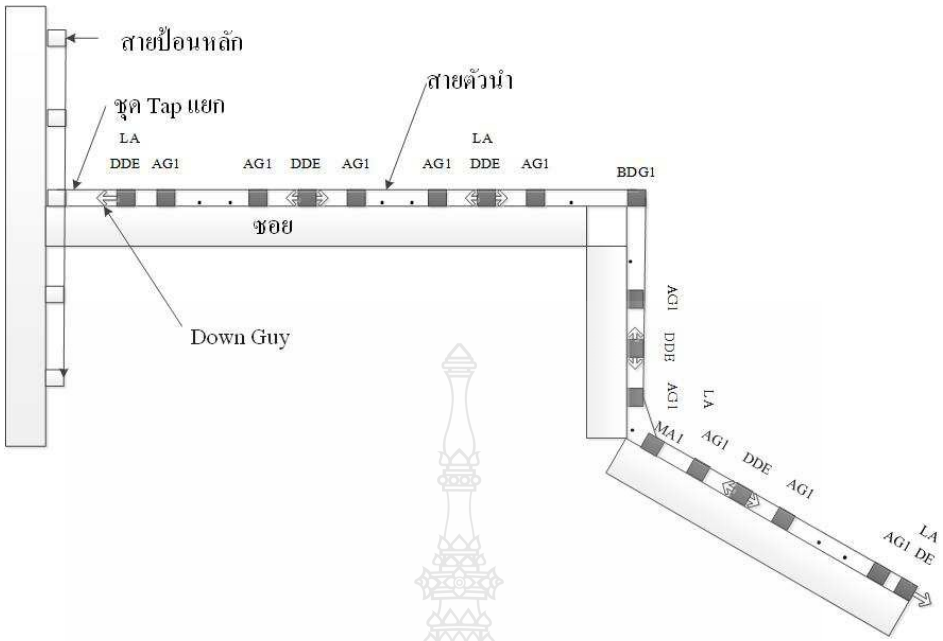
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา

วิธีการออกแบบจะคล้ายกันกับตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 30 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศาแต่จะใช้เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตรแทนเสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตรที่จุดโค้งของตัวนำ 1 ต้นและใช้หัวเสา Double Angle Support(MA1) แทน Angle Support (AG1) หนึ่งชุดที่ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศา

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 60 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	49	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	8	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	49	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	2	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	8	ชุด
หัวเสา Buck Arm	0	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา

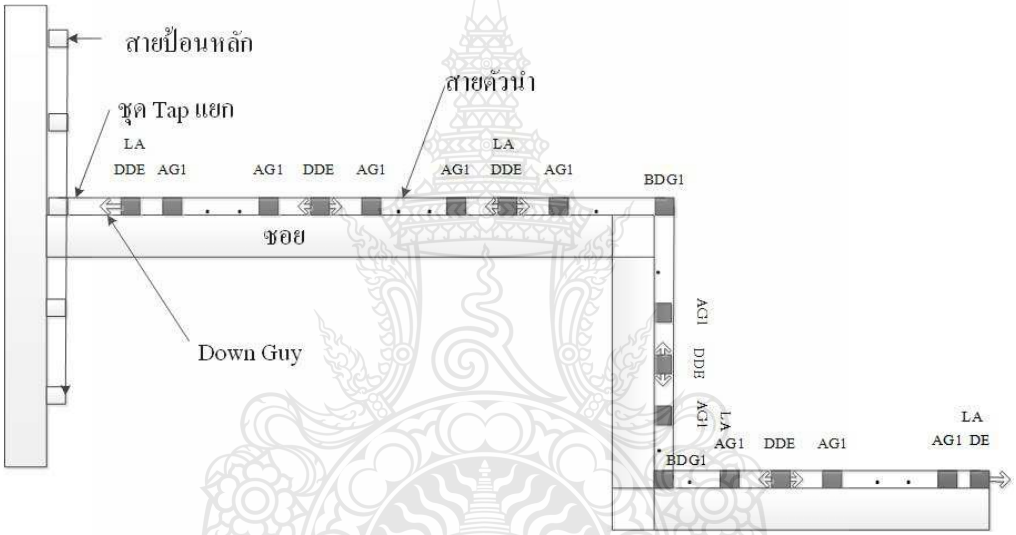
วิธีการออกแบบจะคล้ายกันกับตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศาแต่จะใช้หัวเสาชนิด Buck Arm แทน หัวเสาแบบ Double Angle Support (MA1) 1 ชุดที่บริเวณจุดโค้งของตัวนำขนาดของมุมหักเลี้ยว 90 องศา

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	49	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	8	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	49	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	1	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	8	ชุด
หัวเสา Buck Arm	1	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด

ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการออกแบบระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตร โดยมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา

วิธีการออกแบบจะคล้ายกันกับตัวอย่างการออกแบบด้วยบุคคลระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 60 องศา ขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศาแต่จะใช้หัวเสาชนิด Buck Arm แทน หัวเสาแบบ Double Angle Support (MA1) 2 ชุดที่บริเวณจุดโค้งของตัวนำขนาดของมุมหักเลี้ยว 90 องศาทั้งสองจุด

สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายระยะทาง 2000 เมตรมีจุดโค้งของตัวนำ 2 จุด ขนาดของมุมหักเลี้ยวหนึ่ง 90 องศาขนาดของมุมหักเลี้ยวสอง 90 องศา

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	49	ต้น

เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	8	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	49	ชุด
หัวเสา Double Angle Support (MA1)	0	ชุด
เสาคอนกรีต Stub	8	ชุด
หัวเสา Buck Arm	2	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	5	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	10	ชุด
Lightning Arrester	4	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	6300	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	2100	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	57	ต้น

ตารางที่ 3.1 สรุปจำนวนอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิดในระยะ 2000 เมตรทุกกรณี

	ออกแบบด้วยบุคคล									
จำนวนจุดเลี้ยว	0	1	2	1	1	2	2	2	2	2
องศาเลี้ยวที่ 1	0	30	30	60	90	30	30	60	60	90
องศาเลี้ยวที่ 2	0	0	30	0	0	60	90	60	90	90
อุปกรณ์/index	394	788	1970	1182	1576	2364	2758	3152	3546	3940
เสา 12 5T-M	51	51	51	50	50	50	50	49	49	49
เสา 12 6.5T-M	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8
Angle support	51	51	51	50	50	50	50	49	49	49
double angle	0	0	0	1	0	1	0	2	1	0
เสาคอนกรีต Stub	6	7	8	7	7	8	8	8	8	8
buck arm	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2
Dead End	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Double Dead End	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ชุด TAP แยก	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Down guy	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Lightning Arrester	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
สาย ASC 70	6300	6300	6300	6300	6300	6300	6300	6300	6300	6300
สาย OHGW	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
เสา OHGW	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

จะเห็นได้ว่าที่ระยะ 2000 เมตรในทุกกรณีจะมีอุปกรณ์ 8 ชนิดที่มีค่าเท่ากันได้แก่ หัวเสาประเภท Double Dead Endหัวเสา Dead End ชุด Tap แยก Down Guy Lightning Arrester สาย ASC 70 สาย Over Head Ground Wire เสา Over Head Ground Wire ในส่วนของเสาคอนกรีต Stub จะมีจำนวนเท่ากับหัวเสา Dead End และเสา Double Dead End ในทางตรงแต่หากกรณีมีจุดโค้งก็จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนจุดโค้ง จำนวนหัวเสา Buck Arm จะขึ้นอยู่กับ จุดโค้งของตัวนำที่มีขนาดของมุมหักเลี้ยว 90 องศา จำนวนหัวเสา Double Angle Support จะขึ้นอยู่กับ จุดโค้งของตัวนำที่มีขนาดของมุมหักเลี้ยว 60 องศา จำนวนเสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร จะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดโค้งตัวของตัวนำที่มีขนาดของมุมหักเลี้ยวที่มากกว่า 60 องศา ขึ้นไป จำนวนเสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตรจะเพิ่มตามจำนวนจุดโค้งของตัวนำที่เพิ่มขึ้น

จากข้อมูลดังกล่าวข้อมูลที่นำมาใช้ในการออกแบบจะมีข้อมูลระยะทาง เป็นหลักในการใช้ออกแบบหากเป็นทางโค้งก็จะมีข้อมูลจำนวนจุดโค้งและมุมองศาของโค้ง เพื่อใช้หาจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้าง จากการออกแบบด้วยบุคคลทำให้เกิดแนวคิดในการนำข้อมูลของการออกแบบถอดจำนวนอุปกรณ์มาใช้เป็นข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อช่วยในการออกแบบระบบจำหน่ายได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยข้อมูลที่นำมาใช้ฝึกสอนเป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบโดยบุคคลซึ่งเป็นการออกแบบตามมาตรฐาน การประยุกต์นำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาออกแบบระบบจำหน่ายนั้นมีประโยชน์ในเรื่องการประหยัดเวลาเนื่องจากใช้เวลาในการถอดแบบน้อยมากจากขั้นต่ำที่ออกแบบด้วยบุคคลต้องใช้เวลาประมาณ 20 นาที ในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบได้ไม่ถึง 1 นาที นอกจากนี้หากมีการทำแบบ 10 แบบ เป็นแบบอย่างง่ายใช้เวลา 20 นาที ต่อแบบ ทำ 10 แบบใช้เวลา 3 ชั่วโมง 20 นาที หากใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถป้อนข้อมูลการออกแบบทั้ง 10 แบบจะสามารถให้คำตอบของจำนวนอุปกรณ์ ทั้ง 10 แบบได้พร้อมๆกันทำให้ประหยัดเวลาไปได้มากนอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในด้านการช่วยในการตรวจสอบแบบหากมีจำนวนอุปกรณ์ผิดปกติกว่าความเป็นจริงจำนวนมากก็จะสามารถตรวจสอบได้ และข้อดีของการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้อีกข้อหนึ่งคือหากเป็นการออกแบบที่มีปัญหาการแก้ไขปัญหาก็จะสามารถเพิ่มข้อมูลในการออกแบบที่แก้ปัญหาแล้วเข้าให้โครงข่ายประสาทในการฝึกสอนได้กล่าวได้ว่าสามารถเรียนรู้เพิ่มเติมจากข้อมูลเดิมได้

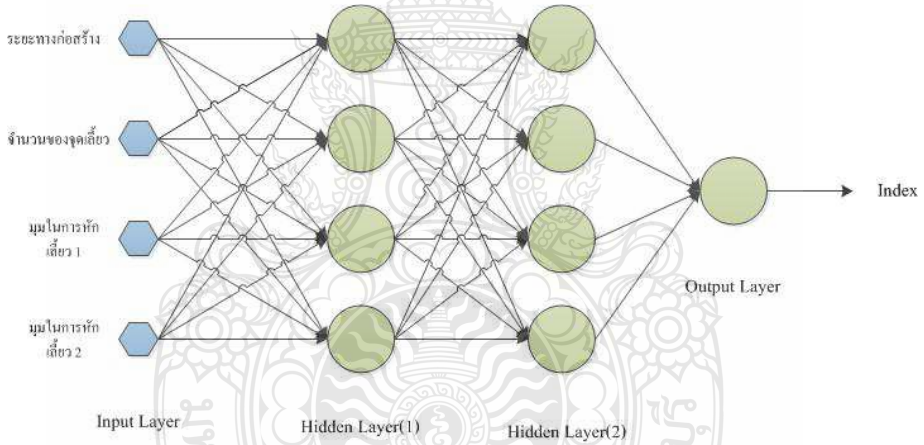
3.3 การนำข้อมูลที่ออกแบบโดยบุคคลมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม

เนื่องจากการออกแบบระบบจำหน่ายบางอย่างต้องใช้ประสบการณ์ในการช่วยในการออกแบบฉะนั้นการคำนวณอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จึงต้องมีประสบการณ์ของผู้ออกแบบร่วมกับการคำนวณด้วย ข้อมูลที่นำมาใช้จึงได้จากการคำนวณตามมาตรฐานร่วมกับประสบการณ์การ

ออกแบบของผู้ชำนาญในการออกแบบซึ่งนำมากำหนดเป็นข้อมูลเอาท์พุตของอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่าย โดยมีข้อมูลอินพุตเป็นระยะทางในการก่อสร้าง จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำและขนาดของมุมหักเลี้ยวโดยมีชุดข้อมูลทั้งสิ้น 3940 ชุด รายละเอียดของข้อมูลจะกล่าวในหัวข้อการฝึกสอน

3.4 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบระบบจำหน่ายที่มากำหนดเป็นตัวแปรอินพุตและเอาท์พุตเป็นข้อมูลชนิดฟังชั่นต่อเนื่องแบบไม่เป็นเชิงเส้นจึงเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียบแบบหลายชั้นแบบป้อนไปข้างหน้า (Multiple-Layer Feedforward Network) การฝึกสอนจะใช้การฝึกสอนแบบแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation) เนื่องจากมีการตรวจสอบค่าผิดพลาดเพื่อคำนวณใหม่มีผลทำให้คำตอบมีค่าแม่นยำที่สุด โดยมีโครงสร้างโครงข่ายประสาทตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.7 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกสอน

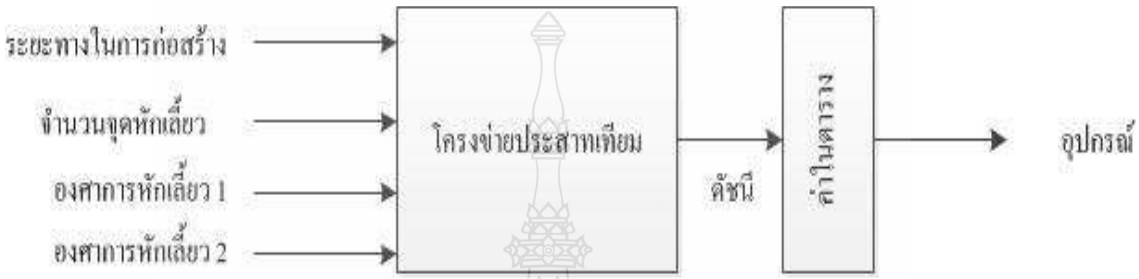
3.5 การกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอน

งานวิจัยฉบับนี้ใช้ฟังชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนทั้งสองชั้นเป็น Tansigmoid ในชั้น Output เป็น Purelinear เนื่องจากข้อมูลเอาท์พุตมีข้อมูลมากจึงต้องใช้ค่าเอาท์พุตเป็นเลขดัชนีไปชี้ค่าคำตอบของเอาท์พุต

3.6 การจัดทำข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอนได้มาจากการออกแบบระบบจำหน่ายตามมาตรฐานในแต่ละระยะว่าต้องใช้อุปกรณ์ในแต่ละชนิดเท่าไรเป็นค่าอินพุต 4 ข้อมูล คือ ระยะทางก่อสร้าง,จำนวนจุด

โค้งของสายตัวนำ,องศาในการหักเลี้ยว 1,องศาในการหักเลี้ยว 2 และ มีค่าเอาท์พุตเป็นดัชนีเพื่อไปชี้ตารางค่าของคำตอบเอาท์พุตจำนวนอุปกรณ์ 13 ชนิด การได้มาซึ่งข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 13 ชนิด ได้มาจากการออกแบบของผู้ออกแบบซึ่งออกแบบตามมาตรฐานโดยไม่มีการประยุกต์หรือแก้ไขใดๆ โดยในข้อมูลอินพุตมีข้อมูลทั้งหมด (4x3940) ชุดข้อมูล และมีค่าดัชนีเอาท์พุต 3940 ชุดข้อมูล เพื่อไปชี้ค่าอุปกรณ์ (14x3940) ชุดข้อมูล ลักษณะการจัดข้อมูลสอนโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.8 ลักษณะการจัดข้อมูลสอนโครงข่ายประสาทเทียม

3.7 จำนวนของเซลล์ประสาทเทียมในแต่ละชั้นและเงื่อนไขการฝึกสอน

จำนวนของเซลล์ประสาทเทียมแต่ละชั้นจากที่ได้ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับ โดยใช้กฎการเรียนรู้ชนิด เรียนรู้ Levenberg-Marquardt ตามที่ระบุใน Neural Network Toolbox User's Guide [4] เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงสุด เริ่มต้นจาก 1 ชั้นซ่อนใช้จำนวนนิวรอน 2 ตัวขึ้นไป พบว่าไม่สามารถแก้ปัญหาของข้อมูลได้ จึงได้จำทำชั้นซ่อนที่ 2 ขึ้น จากการฝึกสอนพบว่าหากต้องการค่าผิดพลาดเพียง $1e^{-5}$ จะใช้จำนวนเซลล์ชั้นซ่อนในชั้นแรกเท่ากับ 14 เซลล์ และในชั้นซ่อนที่ 2 เท่ากับ 7 เซลล์ แต่หากต้อการค่าผิดพลาด $1e^{-10}$ จะต้องใช้จำนวนเซลล์ในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 28 เซลล์ ชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 14 เซลล์ โดยใช้จำนวนรอบในการฝึกสอนเพียง 1000 รอบเท่านั้น เนื่องจากการป้อนข้อมูลของมุมองศาหักเลี้ยวอาจทำให้มีข้อผิดพลาดมากเนื่องจากหากทำข้อมูลองศาหักเลี้ยวจนครบจะมีข้อมูลจำนวนมากอีกทั้งยังต้องใช้เซลล์ประสาทเทียมจำนวนมากในการแก้ไขปัญหาจึงได้เลือกใช้เซลล์ในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 28 เซลล์ ชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 14 เซลล์ เพื่อให้มีค่าผิดพลาดน้อยมาก

3.8 การฝึกสอน

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยค่าอินพุตและค่าเป้าหมายโดยค่าอินพุตที่ใช้ในการออกแบบมี 3 อินพุต 1)ระยะทางในการก่อสร้างระบบจำหน่าย 2)จำนวนจุดโค้งของสายตัว

นำในการก่อสร้างระบบจำหน่าย 3)ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1 4)ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2 ซึ่งป้อนเป็นค่าอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 กำหนดค่าอินพุต

อินพุต	ค่าที่ใช้ในการฝึกสอน
ระยะทางการก่อสร้าง	35 – 2000 เมตร
จำนวนจุดโค้ง ของสายตัวนำ	0 : ทางตรง
	1 : มีจุดโค้งของสายตัวนำ 1 จุด
	2 : มีจุดโค้งของสายตัวนำ 2 จุด
ขนาดของมุมหักเลี้ยว1	30 : 0 – 30 องศา
	60 : 31 – 60 องศา
	90 : 61 – 90 องศา
ขนาดของมุมหักเลี้ยว2	30 : 0 – 30 องศา
	60 : 31 – 60 องศา
	90 : 61 – 90 องศา

จากการคำนวณการออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV เพื่อไปกำหนดเป็นตัวอินพุตมีจำนวนทั้งหมด 3940 ชุดตามตาราง 3.2

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าอินพุต

ชุดที่	ระยะการก่อสร้าง(m)	จำนวนจุดโค้ง ของสายตัวนำ	ขนาดของมุม หักเลี้ยว1	ขนาดของมุม หักเลี้ยว2
1	35	0	0	0
2	40	0	0	0
3	45	0	0	0
3938	1990	2	90	90
3939	1995	2	90	90
3940	2000	2	90	90

ค่าเป้าหมายได้แก่ 1)เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร 2)เสาคอนกรีต 12 เมตร 6.5 ตันเมตร 3)หัวเสา Angle support 4)หัวเสา Double Angle support 5)หัวเสา Buck Arm 6)Dead End 7)Double

Dead End 8)ชุดแท็ปแยก 9)Down guy 10)Lightning Arrester 11)สาย ASC 185 mm^2 12)สาย Over Head Ground Wire 13)เสาติดตั้ง Over Head Ground Wire ที่ได้จากการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งการไฟฟ้านครหลวง โดยมีชุดคำตอบเท่ากับอินพุต (3940 ชุด) ใช้การ Look up Table ในการชี้คำตอบ

ตารางที่ 3.4 ค่าเป้าหมายที่ได้จากออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งการไฟฟ้านครหลวง

Look up table						
อุปกรณ์/index	1	2	3	3938	3939	3940
เสา 12 5T-M	1	1	1	49	49	49
เสา 12 6.5T-M	0	0	0	8	8	8
Angle support	0	0	0	49	49	49
double angle	0	0	0	0	0	0
buck arm	0	0	0	2	2	2
Dead End	1	1	1	1	1	1
Double Dead End	0	0	0	5	5	5
ชุด TAP แยก	1	1	1	1	1	1
Down guy	1	1	1	10	10	10
Lightning Arrester	1	1	1	4	4	4
สาย ASC 70	111	126	142	6269	6285	6300
สาย OHGW	37	42	48	2090	2095	2100
เสา OHGW	1	1	1	57	57	57

3.9 การทดลอง

จะทำการป้อนข้อมูลตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบโดยมีตัวอย่างการทดสอบ 20 ชุดข้อมูล แบ่งเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง 5 ชุดข้อมูล , ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร 5 ชุดข้อมูล , ข้อมูลมุมจุดโค้งของสายตัวนำไม่ตรงกับเป้าหมาย 5 ข้อมูล , ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายรวมถึงขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย 5 ข้อมูล รวมทั้งสิ้น 20 ข้อมูล

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีชี้ค่าตาราง
120	0	0	0	18
510	1	30	0	490
1280	1	90	0	1432
885	2	30	60	2141
1135	2	90	90	3767
121	0	0	0	18
513	1	30	0	490
1278	1	90	0	1432
887	2	30	60	2141
1133	2	90	90	3767
120	0	0	0	18
510	1	29	0	490
1280	1	93	0	1432
885	2	29	57	2141
1135	2	86	88	3767
121	0	0	0	18
513	1	29	0	490
1278	1	93	0	1432
887	2	29	57	2141
1133	2	86	88	3767

หลังจากการทดสอบพบว่าชุดข้อมูลระยะทางหากอยู่ในระยะ 2000 เมตร ค่าดัชนีจะไม่คลาดเคลื่อนแต่หากเป็นมุมหักเลี้ยวคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ดัชนีคลาดเคลื่อนไปมากเห็นได้จากตารางที่ทดสอบ

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลที่ทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียม

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีชี้เป้าหมาย	ดัชนีที่ได้จากการทดสอบ
120	0	0	0	18	18
510	1	30	0	490	490
1280	1	90	0	1432	1432
885	2	30	60	2141	2141
1135	2	90	90	3767	3767
121	0	0	0	18	18.2
513	1	30	0	491	490.6
1278	1	90	0	1432	1431.6
887	2	30	60	2141	2141.4
1133	2	90	90	3767	3766.6
120	0	0	0	18	18
510	1	29	0	490	474.8
1280	1	93	0	1432	1467.8
885	2	29	57	2141	2095.4
1135	2	86	88	3767	3699.3
121	0	0	0	18	18.2
513	1	29	0	491	475.4
1278	1	93	0	1432	1467.4
887	2	29	57	2141	2095.8
1133	2	86	88	3767	3698.9

จากการทดสอบดังกล่าวทำให้เห็นว่าการป้อนข้อมูลองศาจุดโค้งของสายตัวนำผิดจากเป้าหมายจะทำให้ค่าดัชนีในการเลือกอุปกรณ์นั้นมีค่าผิดพลาดไปมากดังนั้นจะได้ทำการเขียนอัลกอลิทึ่มในการคัดกรองมุมองศาหักเลี้ยวให้อยู่ในค่าที่กำหนดเพื่อลดข้อผิดพลาดจากการชี้ค่าอุปกรณ์

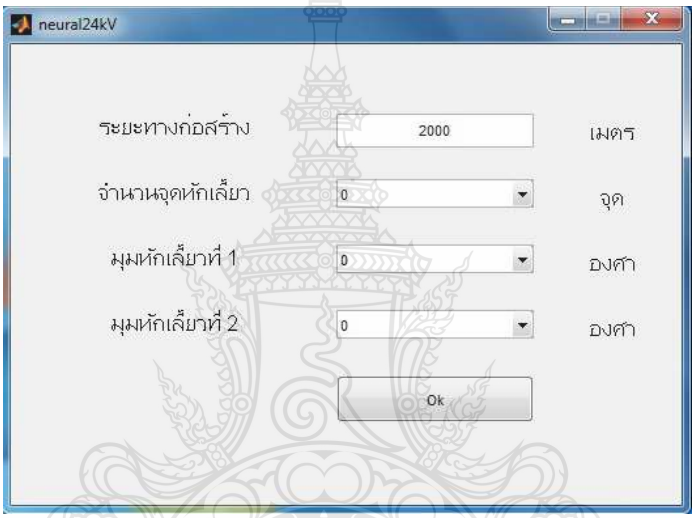
3.10 การทำ Pre-Processing

การทำ Pre-Processing ทำเพื่อแก้ข้อผิดพลาดจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าข้อมูลอินพุตที่ป้อนเข้ามาที่เป็นข้อมูลขนาดมุมหักเลี้ยวหากมีค่าคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าของดัชนีคำตอบผิดพลาดได้จึงได้มีการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการดักข้อมูลดังกล่าวเพื่อเตือนผู้ป้อน แต่ต่อมาได้ทำเป็นโปรแกรม Graphical User Interfaceโดยใช้การป้อนข้อมูลเป็น Drop Down จะช่วยลดปัญหาของการป้อนข้อมูลออกไป ในส่วนของข้อมูลระยะทางที่ป้อนเกินขอบเขต ได้ทำการเขียนโปรแกรม

ตรวจสอบข้อมูลว่าเกินขอบเขตหรือไม่ ถ้าเกินโปรแกรมจะทำการแจ้งเตือนแต่หากป้อนถูกต้องโปรแกรมจะนำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป

3.11 การเขียนโปรแกรม Graphical User Interface

จากการฝึกสอนข้อมูลของโครงข่ายประสาทเทียมได้นำมาเขียน Graphical User Interface เพื่อให้การใช้งานของโปรแกรมง่ายขึ้นโดยมีหน้าต่างให้กรอกข้อมูลอินพุตทั้ง 4 ตัวดังนี้ 1)ข้อมูลระยะทางรับข้อมูลเป็น Text box 2)ข้อมูลจำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ ป้อนข้อมูลแบบ Drop Down 3) ขนาดของมุมหักเลี้ยว1 ป้อนข้อมูลแบบ Drop Down 4)ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2 ป้อนข้อมูลแบบ Drop Down



รูปที่ 3.9 หน้าต่าง **G**raphical **U**ser **I**nterfaceที่เขียนขึ้น

3.12 สรุป

ในบทที่ 3 แสดงวิธีการในการออกแบบว่าจะต้องใช้มาตรฐานแบบไหนมีกฎเกณฑ์อย่างไรต่อมาเป็นการออกแบบโดยบุคคลด้วยระยะทาง 2000 เมตรในทุกกรณี ซึ่งมีสิบตัวอย่างจากนั้นทำการรวบรวมประสบการณ์การออกแบบทั้งหมดในระยะ 2000 เมตรเพื่อจัดทำเป็นข้อมูลมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยมีอินพุต 4 อินพุต มีชุดข้อมูลอินพุตทั้งหมด 3940 ข้อมูล และมีค่าเป้าหมายเป็นอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิด แล้วฝึกสอนโดยมีจำนวนโครงข่าย ในชั้นซ่อนที่หนึ่ง 28 เซลล์ และในชั้นซ่อนที่สอง 14 เซลล์ ในส่วนของการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำการฝึกสอนจะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทนี้เป็นผลการทดลองจากการสุ่มตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ 20 ตัวอย่างแบ่งเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง 5 ชุดข้อมูล , ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร 5ชุดข้อมูล , ข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย 5 ข้อมูล , ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายรวมถึงขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย 5 ข้อมูล รวมทั้งสิ้น 20 ข้อมูลตามที่กล่าวในบทที่ 3 โดยป้อนอินพุตและนำผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบกับการออกแบบด้วยบุคคล และทำการทดสอบข้อมูลที่อยู่นอกขอบเขตของข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย

การทดสอบข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายมีจำนวน 5 ชุดข้อมูลสุ่มจากข้อมูลเป้าหมายดังนี้

ตารางที่ 4.1 การทดสอบประเภทข้อมูลตรงกับเป้าหมาย

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2
120	0	0	0
510	1	30	0
1280	1	90	0
885	2	30	60
1135	2	90	90

ตัวอย่างการถอดแบบหาอุปกรณ์ด้วยบุคคล

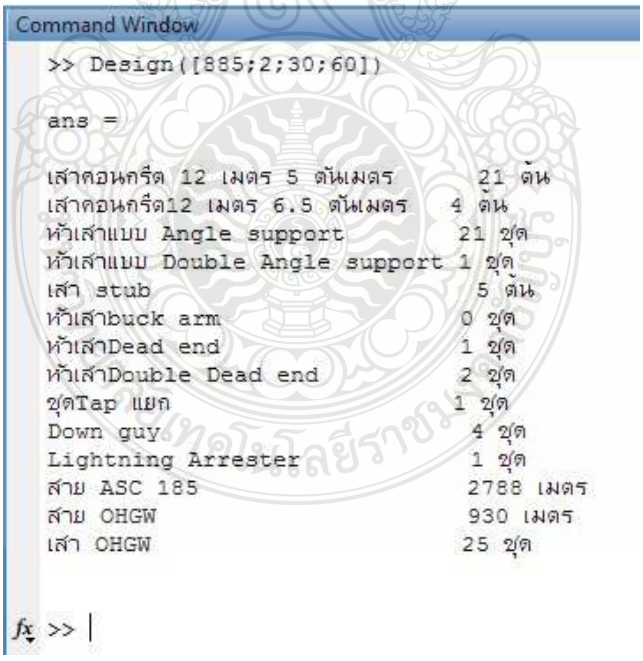
- ระยะทางก่อสร้าง = 885
- จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ = 2
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว1 = 30
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว2 = 60

ผลของการออกแบบด้วยบุคคล

- เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร 21 ต้น

- เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 4 ต้น
- หัวเสา Angle Support 21 ชุด
- หัวเสา Double Angle Support 1 ชุด
- เสาคอนกรีตสตับ 5 ชุด
- หัวเสา Buck Arm 0 ชุด
- หัวเสา Dead End 1 ชุด
- หัวเสา Double Dead End 2 ชุด
- ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย 1 ชุด
- Down Guy 4 ชุด
- Lightning Arrester 1 ชุด
- สาย Spaced Aerial Cable 2788 เมตร
- สาย Over Head Ground Wire 930 เมตร
- เสา Over Head Ground Wire 25 ต้น

ผลของการถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 4.1 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการคำนวณกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย

	ออกแบบด้วยบุคคล					ออกแบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม				
ระยะทางก่อสร้าง	120	510	1280	885	1135	120	510	1280	885	1135
จำนวนจุดเลี้ยว	0	1	1	2	2	0	1	1	2	2
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 1	0	30	90	30	90	0	30	90	30	90
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 2	0	0	0	60	90	0	0	0	60	90
อุปกรณ์/index	18	490	1432	2141	3767	18	490	1432	2141	3767
เสา 12 5T-M	3	12	32	21	27	3	12	32	21	27
เสา 12 6.5T-M	1	3	5	4	6	1	3	5	4	6
Angle support	3	12	32	21	27	3	12	32	21	27
double angle	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
เสาคอนกรีต Stub	0	4	5	5	6	0	4	5	5	6
buck arm	0	0	1	0	2	0	0	1	0	2
Dead End	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Double Dead End	0	2	3	2	3	0	2	3	2	3
ชุด TAP แยก	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Down guy	1	2	6	4	6	1	2	6	4	6
Lightning Arrester	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2
สาย ASC 70	378	1607	4032	2788	3576	378	1607	4032	2788	3576
สาย OHGW	126	536	1344	930	1192	126	536	1344	930	1192
เสา OHGW	4	15	37	25	33	4	15	37	25	33

จากผลการทดสอบข้อมูลที่ถูกต้องตามเป้าหมายโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้คำตอบที่ถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์

4.2 ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร

การทดลองข้อมูลที่ไม่ตรงกับเป้าหมายเฉพาะข้อมูลระยะทางโดยการป้อนข้อมูลที่ไม่ตรงกับเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

ตารางที่ 4.3 การทดสอบข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมาย

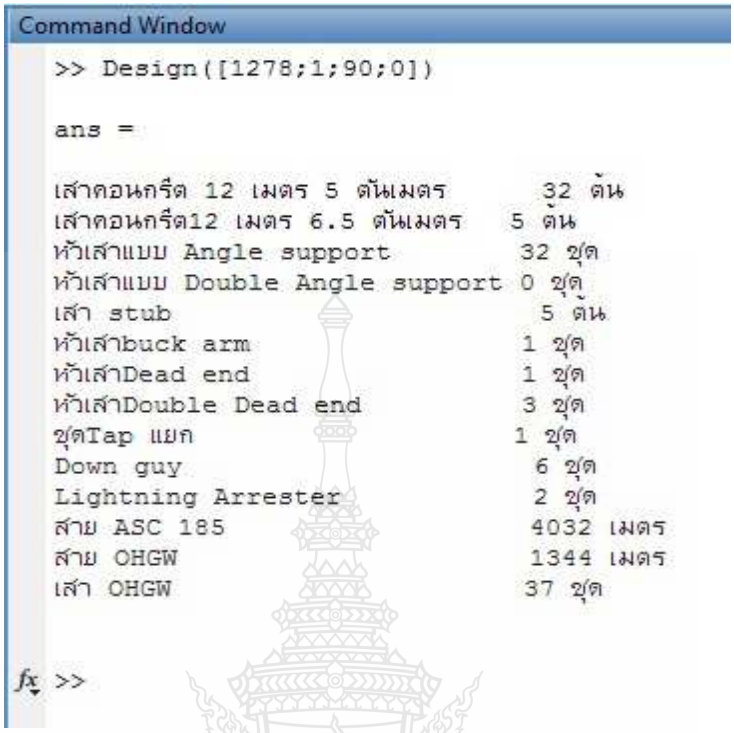
ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2
121	0	0	0
513	1	30	0
1278	1	90	0
887	2	30	60
1133	2	90	90

ตัวอย่างการถอดแบบหาอุปกรณ์ด้วยบุคคล

- ระยะทางก่อสร้าง = 1280
- จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ = 1
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว1 = 90
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว2 = 0

ผลของการออกแบบด้วยบุคคล

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	32	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	5	ต้น
หัวเสา Angle Support	32	ชุด
หัวเสา Double Angle Support	0	ชุด
เสาคอนกรีตสตับ	5	ชุด
หัวเสา Buck Arm	1	ชุด
หัวเสา Dead End	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End	3	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	6	ชุด
Lightning Arrester	2	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	4032	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	1344	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	37	ต้น



รูปที่ 4.2 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร

	ออกแบบด้วยบุคคล					ออกแบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม				
ระยะทางก่อสร้าง	120	510	1280	885	1135	121	513	1278	887	1133
จำนวนจุดเลี้ยว	0	1	1	2	2	0	1	1	2	2
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 1	0	30	90	30	90	0	30	90	30	90
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 2	0	0	0	60	90	0	0	0	60	90
อุปกรณ์/index	18	490	1432	2141	3767	18	490	1432	2141	3767
เสา 12 5T-M	3	12	32	21	27	3	12	32	21	27
เสา 12 6.5T-M	1	3	5	4	6	1	3	5	4	6
Angle support	3	12	32	21	27	3	12	32	21	27
double angle	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
เสาคอนกรีต Stub	0	4	5	5	6	0	4	5	5	6
buck arm	0	0	1	0	2	0	0	1	0	2
Dead End	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Double Dead End	0	2	3	2	3	0	2	3	2	3
ชุด TAP แยก	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Down guy	1	2	6	4	6	1	2	6	4	6
Lightning Arrester	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2
สาย ASC 70	378	1607	4032	2788	3576	378	1607	4032	2788	3576
สาย OHGW	126	536	1344	930	1192	126	536	1344	930	1192
เสา OHGW	4	15	37	25	33	4	15	37	25	33

จากผลการทดสอบข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายโครงข่ายประสาทเทียมก็ยังสามารถให้คำตอบที่ถูกต้อง

4.3 ข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

การทดสอบข้อมูลที่ไม่ตรงกับเป้าหมายเฉพาะขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย โดยการป้อนข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ไม่ตรงกับเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

ตารางที่ 4.5 การทดสอบข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

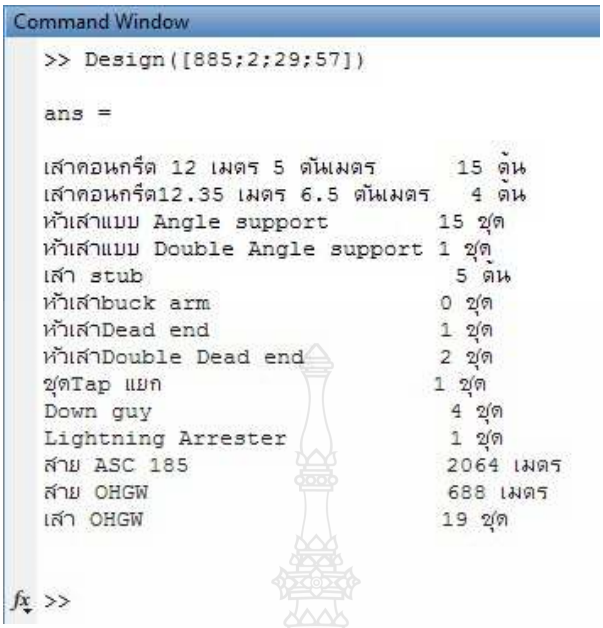
ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2
120	0	0	0
510	1	29	0
1280	1	93	0
885	2	29	57
1135	2	86	88

ตัวอย่างการถอดแบบหาอุปกรณ์ด้วยบุคคล

- ระยะทางก่อสร้าง = 885
- จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ = 2
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว1 = 30
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว2 = 60

ผลของการออกแบบด้วยบุคคล

- เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร 21 ต้น
- เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 4 ต้น
- หัวเสา Angle Support 21 ชุด
- หัวเสา Double Angle Support 1 ชุด
- เสาคอนกรีตสตับ 5 ชุด
- หัวเสา Buck Arm 0 ชุด
- หัวเสา Dead End 1 ชุด
- หัวเสา Double Dead End 2 ชุด
- ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย 1 ชุด
- Down Guy 4 ชุด
- Lightning Arrester 1 ชุด
- สาย Spaced Aerial Cable 2788 เมตร
- สาย Over Head Ground Wire 930 เมตร
- เสา Over Head Ground Wire 25 ต้น



รูปที่ 4.3 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

	ออกแบบด้วยบุคคล					ออกแบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม				
ระยะทางก่อสร้าง	120	510	1280	885	1135	120	510	1280	885	1135
จำนวนจุดเลี้ยว	0	1	1	2	2	0	1	1	2	2
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 1	0	30	90	30	90	0	29	93	29	86
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 2	0	0	0	60	90	0	0	0	57	88
อุปกรณ์/index	18	490	1432	2141	3767	18	475	1468	2095	3699
เสา 12 5T-M	3	12	32	21	27	3	10	36	15	18
เสา 12 6.5T-M	1	3	5	4	6	1	3	6	4	5
Angle support	3	12	32	21	27	3	10	36	15	18
double angle	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
เสาคอนกรีต Stub	0	4	5	5	6	0	4	6	5	5
buck arm	0	0	1	0	2	0	0	1	0	2
Dead End	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Double Dead End	0	2	3	2	3	0	2	4	2	2
ชุด TAP แยก	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Down guy	1	2	6	4	6	1	2	6	4	4
Lightning Arrester	1	1	2	1	2	1	1	3	1	1
สาย ASC 70	378	1607	4032	2788	3576	378	1371	4599	2064	2505
สาย OHGW	126	536	1344	930	1192	126	457	1533	688	835
เสา OHGW	4	15	37	25	33	4	13	42	19	23

4.4 ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

การทดสอบข้อมูลระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมายโดยการป้อนข้อมูลที่ระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

ตารางที่ 4.7 ทดสอบข้อมูลระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2
121	0	0	0
513	1	29	0
1278	1	93	0
887	2	29	57
1133	2	86	88

ตัวอย่างการถอดแบบหาอุปกรณ์ด้วยบุคคล

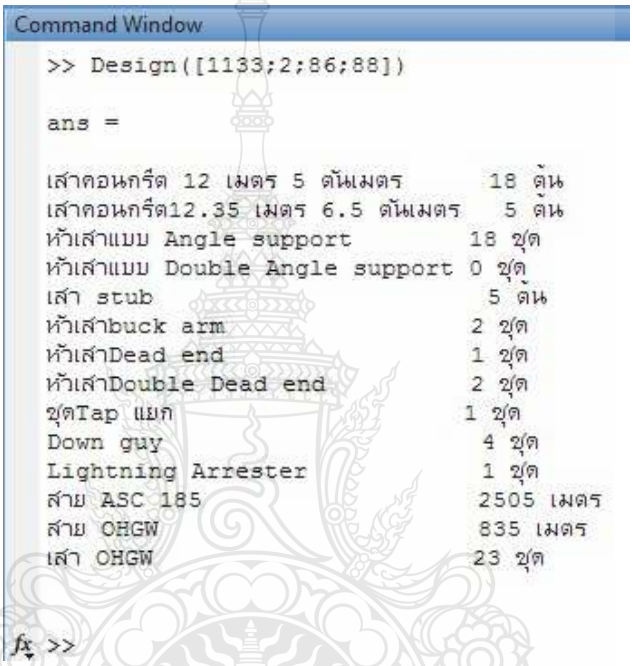
- ระยะทางก่อสร้าง = 1135
- จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ = 2
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว1 = 90
- ขนาดของมุมหักเลี้ยว2 = 90

ผลของการออกแบบด้วยบุคคล

- เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร 27 ต้น
- เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 6 ต้น
- หัวเสา Angle Support 27 ชุด
- หัวเสา Double Angle Support 0 ชุด
- เสาคอนกรีตสตับ 6 ชุด
- หัวเสา Buck Arm 2 ชุด
- หัวเสา Dead End 1 ชุด
- หัวเสา Double Dead End 3 ชุด
- ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย 1 ชุด
- Down Guy 6 ชุด

- Lightning Arrester 2 ชุด
- สาย Spaced Aerial Cable 3576 เมตร
- สาย Over Head Ground Wire 1192 เมตร
- เสา Over Head Ground Wire 33 ต้น

ผลของการถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 4.4 การถอดแบบอุปกรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยมือกับโครงข่ายประสาทเทียมข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย

	ออกแบบด้วยบุคคล					ออกแบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม				
ระยะทางก่อสร้าง	120	510	1280	885	1135	121	513	1278	887	1133
จำนวนจุดเลี้ยว	0	1	1	2	2	0	1	1	2	2
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 1	0	30	90	30	90	0	29	93	29	86
ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 2	0	0	0	60	90	0	0	0	57	88
อุปกรณ์/index	18	490	1432	2141	3767	18	475	1467	2096	3699
เสา 12 5T-M	3	12	32	21	27	3	10	36	15	18
เสา 12 6.5T-M	1	3	5	4	6	1	3	6	4	5
Angle support	3	12	32	21	27	3	10	36	15	18
double angle	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
เสาคอนกรีต Stub	0	4	5	5	6	0	4	6	5	5
buck arm	0	0	1	0	2	0	0	1	0	2
Dead End	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Double Dead End	0	2	3	2	3	0	2	4	2	2
ชุด TAP แยก	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Down guy	1	2	6	4	6	1	2	6	4	4
Lightning Arrester	1	1	2	1	2	1	1	3	1	1
สาย ASC 70	378	1607	4032	2788	3576	378	1371	4584	2079	2505
สาย OHGW	126	536	1344	930	1192	126	457	1528	693	835
เสา OHGW	4	15	37	25	33	4	13	42	19	23

ตารางที่ 4.9 สรุปข้อมูลทั้งหมดที่ทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียม

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีชี้เป้าหมาย	ดัชนีที่ได้จากการทดสอบ
120	0	0	0	18	18
510	1	30	0	490	490
1280	1	90	0	1432	1432
885	2	30	60	2141	2141
1135	2	90	90	3767	3767
121	0	0	0	18	18.2
513	1	30	0	491	490.6
1278	1	90	0	1432	1431.6
887	2	30	60	2141	2141.4
1133	2	90	90	3767	3766.6
120	0	0	0	18	18
510	1	29	0	490	474.8
1280	1	93	0	1432	1467.8
885	2	29	57	2141	2095.4
1135	2	86	88	3767	3699.3
121	0	0	0	18	18.2
513	1	29	0	491	475.4
1278	1	93	0	1432	1467.4
887	2	29	57	2141	2095.8
1133	2	86	88	3767	3698.9

จากการทดสอบดังกล่าวทำให้เห็นว่าการป้อนข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวผิดจากเป้าหมายจะทำให้ค่าดัชนีในการเลือกอุปกรณ์นั้นมีค่าผิดพลาดไปมากดังนั้นจะได้ทำการเขียนอัลกอริทึมในการคัดกรองมุมขนาดของมุมหักเลี้ยวให้อยู่ในค่าที่กำหนดเพื่อลดข้อผิดพลาดจากการชี้ค่าอุปกรณ์

4.5 ทดสอบข้อมูลนอกขอบเขตที่กำหนด

ตารางที่ 4.10 ทดสอบข้อมูลนอกขอบเขตที่กำหนด

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีที่ได้จากการทดสอบ
2100	0	0	0	414
3245	1	30	0	983
4650	1	90	0	2045
5752	2	30	60	3464
8546	2	60	90	4243
120	0	0	0	18
510	1	120	0	1615
1280	1	240	0	2594
885	2	500	700	3556
1135	2	750	840	4204
2100	0	0	0	414
3245	1	120	0	2164
4650	1	240	0	3156
5752	2	500	700	3548
8546	2	750	840	4204

4.5.1 ทดสอบเฉพาะข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต

ตารางที่ 4.11 ทดสอบข้อมูลเฉพาะข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีที่ได้จากการทดสอบ
2100	0	0	0	414
3245	1	30	0	983
4650	1	90	0	2045
5752	2	30	60	3464
8546	2	60	90	4243

จากการทดสอบข้อมูลดัชนีในการชี้ค่าอุปกรณ์มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 3940 โดยมีการทดสอบป้อนข้อมูลระยะทางดังตารางพบว่าหากป้อนข้อมูลระยะทางเกินขอบเขตจะสามารถให้ดัชนีที่อยู่ในช่วง 1

ถึง 3940 ได้แต่ค่าที่ได้ไม่ถูกต้องแต่หากป้อนข้อมูลระยะทาง 8546 จะทำให้ได้ค่าดัชนีเกิน 3940 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4243 หลังจากค่านี้ได้มีการทดสอบป้อนค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าหากป้อนมากขึ้นเท่าไรก็ตามคำตอบของดัชนีจะมีค่าเท่ากับ 4187

4.5.2 ทดสอบเฉพาะข้อมูลมุมขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขต

ตารางที่ 4.12 ทดสอบข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขต

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีที่ได้จากการทดสอบ
120	0	0	0	18
510	1	120	0	1615
1280	1	240	0	2594
885	2	500	700	3556
1135	2	750	840	4204

จาการทดลองในการป้อนข้อมูลมุมขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขตที่กำหนดพบว่าหากป้อนข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวนอกขอบเขตจะยังให้ค่าดัชนีอยู่ในช่วง 1 ถึง 3940 แต่ค่าที่ได้ไม่ถูกต้อง เมื่อป้อนค่าขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 750 จะให้ค่าดัชนีเกิน 3940 เป็น 4204 และทดลองป้อนค่าสูงขึ้น ค่าดัชนีที่ออกมาจะเท่ากันคือ 4204

4.5.3 ทดสอบป้อนข้อมูลระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขต

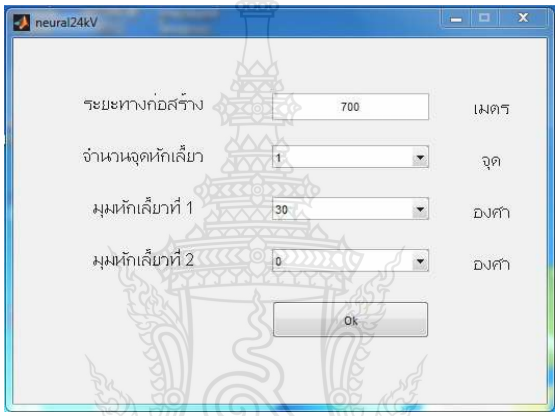
ตารางที่ 4.13 ทดสอบข้อมูลระยะทางและขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขต

ระยะทางก่อสร้าง	จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 1	ขนาดของมุมหักเลี้ยว 2	ดัชนีที่ได้จากการทดสอบ
2100	0	0	0	414
3245	1	120	0	2164
4650	1	240	0	3156
5752	2	500	700	3548
8546	2	750	840	4204

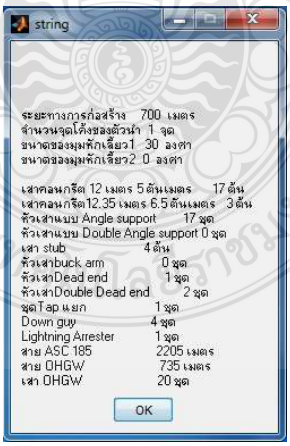
จากการทดลองในการป้อนข้อมูลระยะทางและมุมขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขตที่กำหนดพบว่าดัชนีที่ได้ใกล้เคียงกับการป้อนเฉพาะข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวเกินขอบเขตและหากป้อนมากขึ้นเรื่อยๆดัชนีจะให้คำตอบเท่ากับ 4204 ซึ่งจะไม่สูงกว่านี้

4.6 การทดลองป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม Graphical User Interface

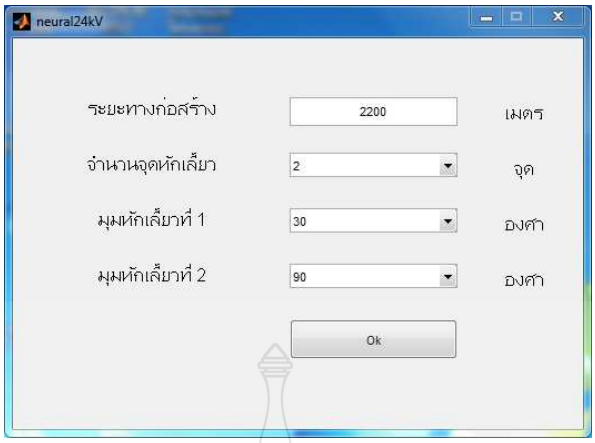
ทดสอบป้อนข้อมูลอินพุตลงในโปรแกรม Graphical User Interface โปรแกรมสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วและหากป้อนข้อมูลเกินขอบเขตโปรแกรมจะทำการเตือน



รูปที่ 4.5 การทดสอบการป้อนข้อมูลอินพุตเข้า Graphical User Interface



รูปที่ 4.6 คำตอบอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิดของโปรแกรม Graphical User Interface



รูปที่ 4.7 ทดสอบป้อนข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต

รูปที่ 4.8 ผลของโปรแกรม Graphical User Interface เมื่อป้อนข้อมูลระยะทางเกินขอบเขต

4.7 การประเมินผลโดยผู้ชำนาญการออกแบบและผู้ก่อสร้างระบบจำหน่าย

จากแบบประเมินมีผู้รวมประเมิน 7 คน โดยเป็นผู้ชำนาญด้านการออกแบบและประมาณราคามีหัวข้อในการประเมินดังนี้

- เคยใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย (เคย/ไม่เคย)
- ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ(ถูกต้อง/ไม่ถูกต้อง)
- ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย(รวดเร็ว/ไม่รวดเร็ว)
- มีความชำนาญในการเขียนโปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย (ชำนาญ/ไม่ชำนาญ)
- คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 4.14 ผลการประเมิน

หัวข้อประเมิน	เคย	ไม่เคย
1.เคยใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย	-	7
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
2.ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ	7	-
	รวดเร็ว	ไม่รวดเร็ว
3.ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย	7	-
	ชำนาญ	ไม่ชำนาญ
4.มีความชำนาญในการเขียนโปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย	-	7

4.8 สรุป

ในบทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมว่าสามารถให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่โดยแบ่งข้อมูลเป็นสองประเภท 1)ข้อมูลที่อยู่ในขอบเขต 2)ข้อมูลที่เกินขอบเขต ประเภทแรกข้อมูลที่อยู่ในขอบเขตจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ชุด 1)ข้อมูลที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมาย 2)ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายแต่อยู่ในระยะ 2000 เมตร 3)ข้อมูลขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย 4)ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมายและขนาดของมุมหักเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย ผลที่ได้ข้อมูลชุดที่ 3 และ 4 ให้ค่าดัชนีที่ผิดเพี้ยนได้แก้ไขโดยการทำ Pre-Processing ของข้อมูลอินพุต ต่อไปเป็นการทดสอบข้อมูลนอกขอบเขต เพื่อหาค่าดัชนีสูงสุดที่เป็นไปได้ผลที่ได้คือ 4204 ซึ่งไม่ว่าจะป้อนค่ามากเท่าไรคำตอบจะเป็น 4204 ทำการทดสอบโปรแกรม Graphical User Interfaceและทำการประเมินโดยผู้ชำนาญการ 7 ท่านให้ความเห็นว่าให้คำตอบได้รวดเร็วและถูกต้อง และไม่จำเป็นต้องมีความรู้และประสบการณ์ในการออกแบบก็สามารถหาอุปกรณ์ระบบจำหน่ายได้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยในการประมาณการอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบจำหน่าย ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาการคำนวณออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในประมาณการอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 24 kV ให้สามารถได้ค่าคำตอบที่ถูกต้องไม่มีค่าผิดพลาดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุป

5.1.1 กำหนดตัวแปรอินพุตที่ต้องการประมาณการอุปกรณ์ระบบจำหน่ายพิจารณาจาก 4 ตัวแปรดังนี้

1) ระยะทางการก่อสร้าง
2) จำนวนจุดโค้งของสายตัวนำ
3) ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 1
4) ขนาดของมุมหักเลี้ยวที่ 2

จากการคำนวณจำนวนข้อมูลที่นำไปกำหนดค่าตัวแปรอินพุตที่ต้องการออกแบบต้องผ่านการปรับข้อมูลอินพุตที่ได้จากกำหนดค่าตัวแปรอินพุต (Pre-Processing) ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Normalization) โดยโปรแกรม MATLAB

5.1.2 กำหนดค่าตัวแปรเอาท์พุตที่ได้จากการออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV เป็นคำตอบที่ต้องการทราบเป็นอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 14 ชนิด ซึ่งได้แก่ เสาคอนกรีต , หัวเสาชนิดต่าง,Down Guy, Lightning Arrester,สายตัวนำ, สาย Over Head Ground wire ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลแสดงผลใน Look-up Table

5.1.3 จากข้อมูลอินพุตของ 4 อินพุต และ 1 เอาท์พุตจะถูกนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุตตรงกับอินพุตที่ป้อนเข้าไปผลลัพธ์ที่ได้เอาท์พุตเป็นเลขดัชนี 1ถึง 3940 โดยจะนำไปชี้ค่า Look-up Table

5.1.4 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multilayer Perceptron Network โดยวิธีการฝึกสอนชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network) กฎการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt เนื่องจากมีเสถียรภาพมีอัตราการฝึกสอนที่สั้นและใช้เวลาการฝึกสอนน้อย

5.1.5 จากผลการทดลองที่ได้นำเสนอแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multilayer Perceptron Network สามารถหาคำตอบและช่วยในการออกแบบได้ อีกทั้งยังลดระยะเวลาในหาอุปกรณ์ระบบจำหน่ายได้มากมีความถูกต้องส่วนของกระบวนการฝึกสอนและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแสดงให้เห็นว่าถ้าทำการฝึกสอนข้อมูลทุกชุดจะได้คำตอบที่มีความถูกต้องไม่มีค่าความผิดพลาด

5.1.6 ในส่วนการประเมินประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอได้นำไปให้วิศวกรผู้ออกแบบระบบจำหน่ายและผู้ก่อสร้างระบบจำหน่าย ทดลองใช้ตรวจสอบเทียบความถูกต้องกับการคำนวณแบบที่ใช้อยู่จากความเห็นของผู้ทดลองใช้ปรากฏว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้คำตอบได้ถูกต้องและรวดเร็วควรพัฒนารูปแบบของการใช้งานโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 รูปแบบในการออกแบบที่ซับซ้อนให้มากขึ้น

5.2.2 ทำการพัฒนาโปรแกรมให้ใช้ง่ายมากขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง, มาตรฐานการติดตั้งสายอากาศ

[2] การไฟฟ้านครหลวง, ภาพวัสดุอุปกรณ์การไฟฟ้านครหลวง

[3] M.T. Hagan, H.B. Demuth and M. Beale., Neural Network Design. Boston: PWS Publishing Company., 1996

[4] H. Demuth and M. Beale., Neural Network Toolbox User's Guide. The Mathworks Inc., January 1998.

[5] M. T. Hagan, "Training Feedforward Networks with Marquardt Algorithm," IEEE Trans. on Neural Networks, No.6, 1994.pp 989-993.

[6] บัณฑิต ฤทธิ์ทอง, การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.

[7] เรืองรัตน์ ประเสริฐไทย, การวางแผนการจ่ายโหลดและสายป้อนสำหรับอาคารชุดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (อาคารชุดประเภทอาคารสำนักงาน หรือประเภทที่อยู่อาศัย), วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

[8] ฉัตรชัย สานติสุขรัตน์, การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลประเมินประสิทธิภาพประมาณการจำนวนอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

โปรแกรมทำได้ดีและประมาณการได้ใกล้เคียงกับของจริงมากขึ้น ทำให้อาจต้องการออกแบบที่ใกล้เคียงมากขึ้นขึ้น

(กิตติพงศ์ เอี่ยมฟัก)

ตำแหน่ง วศ.ด. 4 แผนกออกแบบหม้อแปลง

องค์กร กฟน. ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

โปรแกรมใหม่ๆ ก็ยังมีข้อผิดพลาดบ้าง ไม่สมบูรณ์ 100%

ไม่แน่ใจว่าโปรแกรมสามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ ระยะแปลงของบ้านแต่ละหลังไม่เท่ากัน

(นายอัครพร สินธุ)

ตำแหน่ง ครูชำนาญการ

องค์กร การไฟฟ้านครหลวง เขตสันเขา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

ทำรูปแบบหน้าจอในการใส่ข้อมูลให้ง่ายกว่านี้ เพื่อความสะดวกและใช้งานง่ายในการออกแบบ

(นายไพรัตน์ ปัทมโรจน์)

ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า 4

องค์กร การไฟฟ้านครหลวงเขตธนบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย (แก้ไขเป็น เพียน)

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

- ยังมีข้อจำกัดของข้อมูลที่จะใส่ลงไป (ขอเรื่องของจำนวน และหลักเกณฑ์ข้อมูลที่เกี่ยวกับสิ่งที่ผู้ใช้)
- ต้องหน้าต่างของโปรแกรมจะต่างๆ เป็นของให้กลมใช้งานดูดี และสวยงาม

วิภา

(น.ส.วิไลลักษณ์ พุ่มหอม)

ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า 4

องค์กร กฟน. เขตมีนบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

- ควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานง่ายและรวดเร็ว
- พัฒนาโปรแกรมให้รองรับข้อมูลระบบที่มีจำนวนมากกว่า 2 สาย
-
-
-

(นายนัฐวุฒิ อินทเจริญศานต์)

ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า 4 (ชำนาญการพิเศษ)

องค์กร การไฟฟ้านครหลวง เขตตลาดขวัญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองใช้โปรแกรม ทำให้ทำเป็นประโยชน์ต่อการคิดคำนวณหาอุปกรณ์ในการทำงานต่างๆได้สะดวก รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

(ว่าที่ ร.ท.ชนพงษ์ หิรัญมาตุ)

ตำแหน่ง ช่างเทคนิคสนามชำนาญการ 3 (ปักธงชัย)

องค์กร การไฟฟ้านครหลวงเขต-ภาคกลาง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบประเมินประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

1) การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ เคย ☑ ไม่เคย

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจเทียบกับการคำนวณ

☑ ถูกต้อง ☐ ไม่ถูกต้อง

3) ความรวดเร็วในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☑ รวดเร็ว ☐ ไม่รวดเร็ว

4) ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในการหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

☐ ชำนาญ ☑ ไม่ชำนาญ

5) คำวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

ในกรณีที่ต้องการปรับเปลี่ยน ราย. เปลี่ยนชื่อ
ต้องใช้เวลาในการศึกษา และใช้ผู้ชำนาญ.

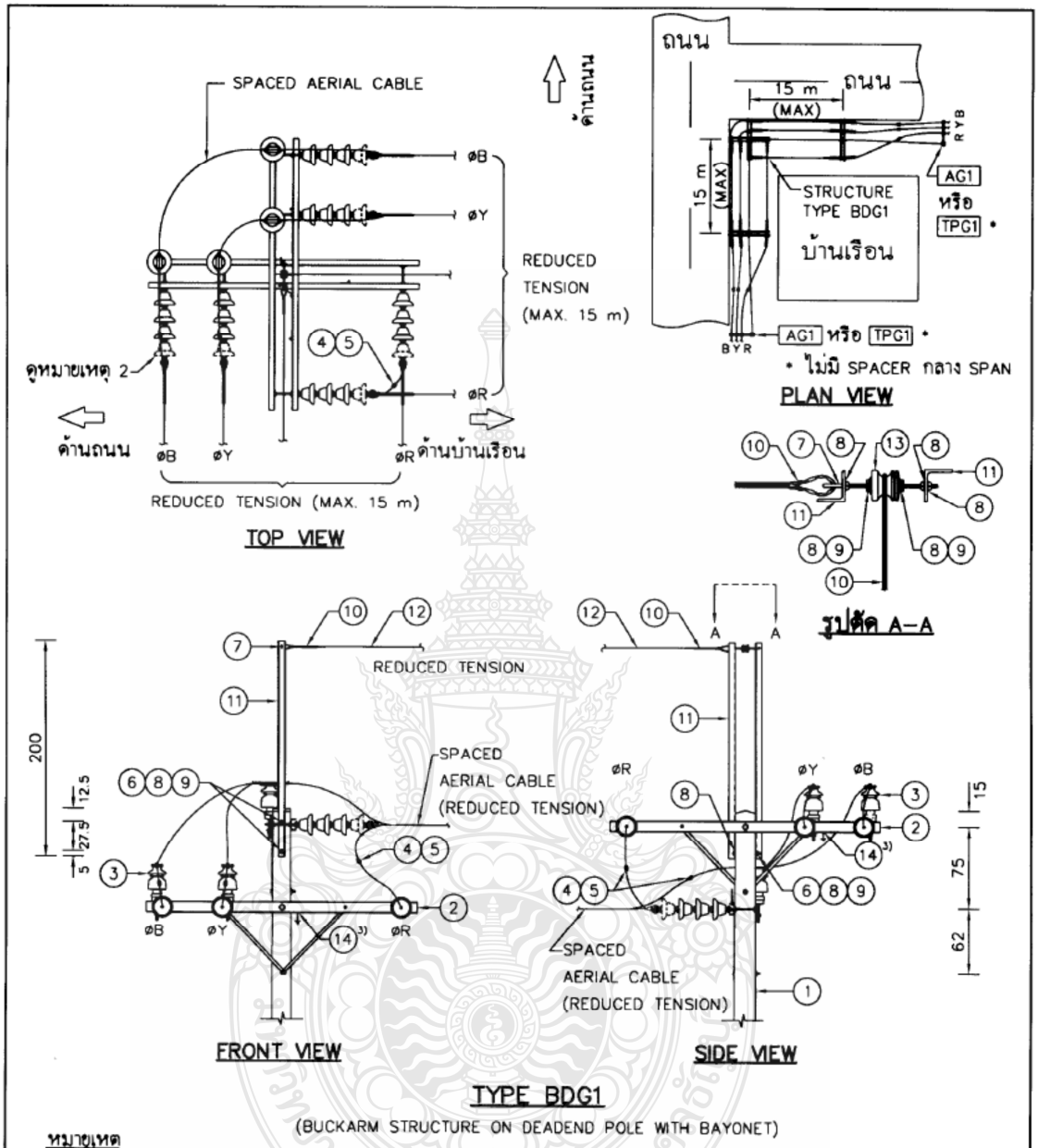
(.....)

ตำแหน่ง .....

องค์กร .....

ภาคผนวก ข

มาตรฐานการติดตั้งสายอากาศระบบ 24 kV



TYPE BDG1

(BUCKARM STRUCTURE ON DEADEND POLE WITH BAYONET)

หมายเหตุ

1. มิติมีหน่วยเป็นเซนติเมตร
2. สภาพปกติให้ใช้ลูกถ้วยแขวน (SUSPENSION INSULATOR) จำนวน 3 ลูกต่อชุด ยกเว้น ให้เพิ่มลูกถ้วยแขวนเป็น 4 ลูก ในกรณีใช้กับสาย ASC 185 mm² หรือกรณีอยู่ในบริเวณที่มีสภาวะแวดล้อมสกปรก หรือมีไอเกลือสูง เช่น บริเวณโรงงานอุตสาหกรรม บริเวณชายทะเล (ห่างจากฝั่ง 1 กม.) เป็นต้น
3. ให้ต่อคอนสายเหล็กลงดินที่ GROUND PAD เสาไฟฟ้า

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE

DR. Nattaphong CHK. Pongsan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE	NONE
DIR.DIV.	12/24 kV BUCKARM INSTALLATION ON DEADEND CONSTRUCTION	SUPERSEDING	
DIR.DEPT.		SH.NO. 1 OF 4	
DEP.GOV.		DWG. NO.	10A4–0631
DATE 19/9/2551			

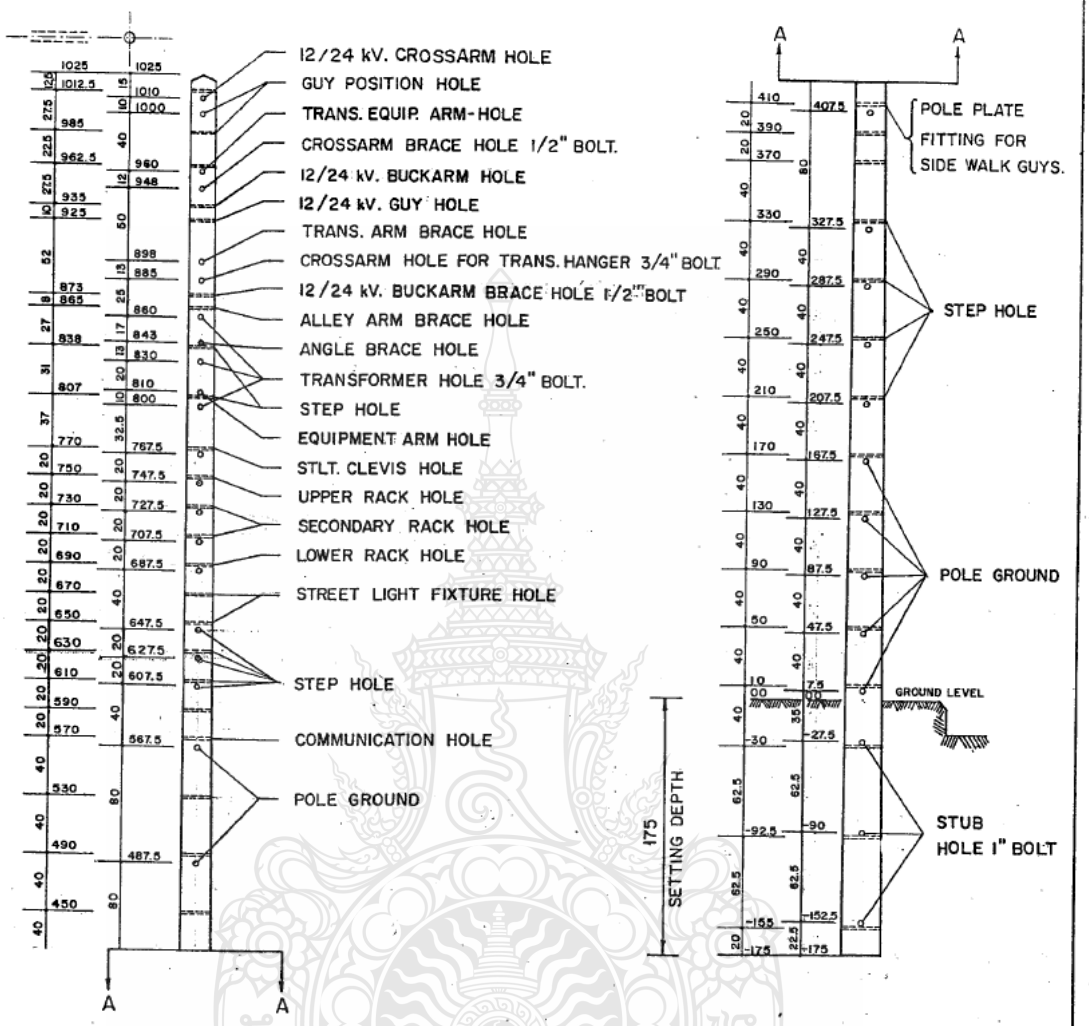
BILL OF MATERIAL					
ITEM NO.	CODE NO.	REQ'D FOR			DESCRIPTION
		DBG1	DBX1	DBX2	
1	5625-668-12500	1	1	1	POLE, CONCRETE, 12.00 m 5.0 t·m
2	–	2	2	2	DOUBLE CROSSARM SINGLE DEADEND ASSEMBLY (DWG.NO.318 SH.NO.2 FIG.B)
3	–	4	4	3	INSULATOR ASSEMBLY, PIN-POST TYPE, (DWG.NO.308 SH.NO.1)
4	–	3	3	3	CONNECTOR, COMPRESSION TYPE (SEE TABLE)
5	–	AS REQ'D			TAPPED CONNECTION ASSEMBLY FOR ASC (DWG.NO. 614)
6	5605-005-51000	2	–	–	BOLT, MACHINE 5/8" x 10"
7	5605-011-51200	1	–	–	BOLT, DOUBLE ARMING OVAL EYE 5/8" x 12"
8	5605-025-50000	9	–	–	WASHER, ROUND FOR 5/8" BOLT
9	5605-024-50000	4	–	–	NUT, MF LOCK FOR 5/8" BOLT
10	6145-138-25000	2	–	–	PREFORMED GUY GRIP DEADEND FOR 5/16" GUY WIRE
11	5615-047-20000	2	–	–	BAYONET, GALV. STEEL, 2.0 m
12	4010-303-25000	AS REQ'D			GUY WIRE 5/16" OD. 7-STRANDED
13	6155-158-53200	1	–	–	INSULATOR, SPOOL CLASS 53-2
14	–	2			GROUND ASSEMBLY, FOR STEEL CROSSARM (DWG.NO.1707 SH.NO.1 FIG.A)

TABLE

SPACE AERIAL CABLE (AL.)	SIZE 35 mm^2	SIZE 70 mm^2	SIZE 185 mm^2
CONNECTOR COMPRESSION TYPE (H-FRAME) (ITEM NO.4)	SIZE 35-70 mm^2 RUN 16-35 mm^2 TAP (CODE NO. 6145-074-14300)	SIZE 70 mm^2 RUN & TAP (CODE NO. 6145-074-14400)	SIZE 185 mm^2 RUN & TAP (CODE NO. 6145-074-16600)

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE

DR. Nattaphong	CHK. Pongsak	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE
DIR.DIV.		12/24 kV BUCKARM INSTALLATION ON DEADEND CONSTRUCTION	SUPERSEDING
DIR.DEPT.			SH.NO. 4 OF 4
DEP.GOV.			DWG. NO. 10A4-0631
DATE 19/9/2551			



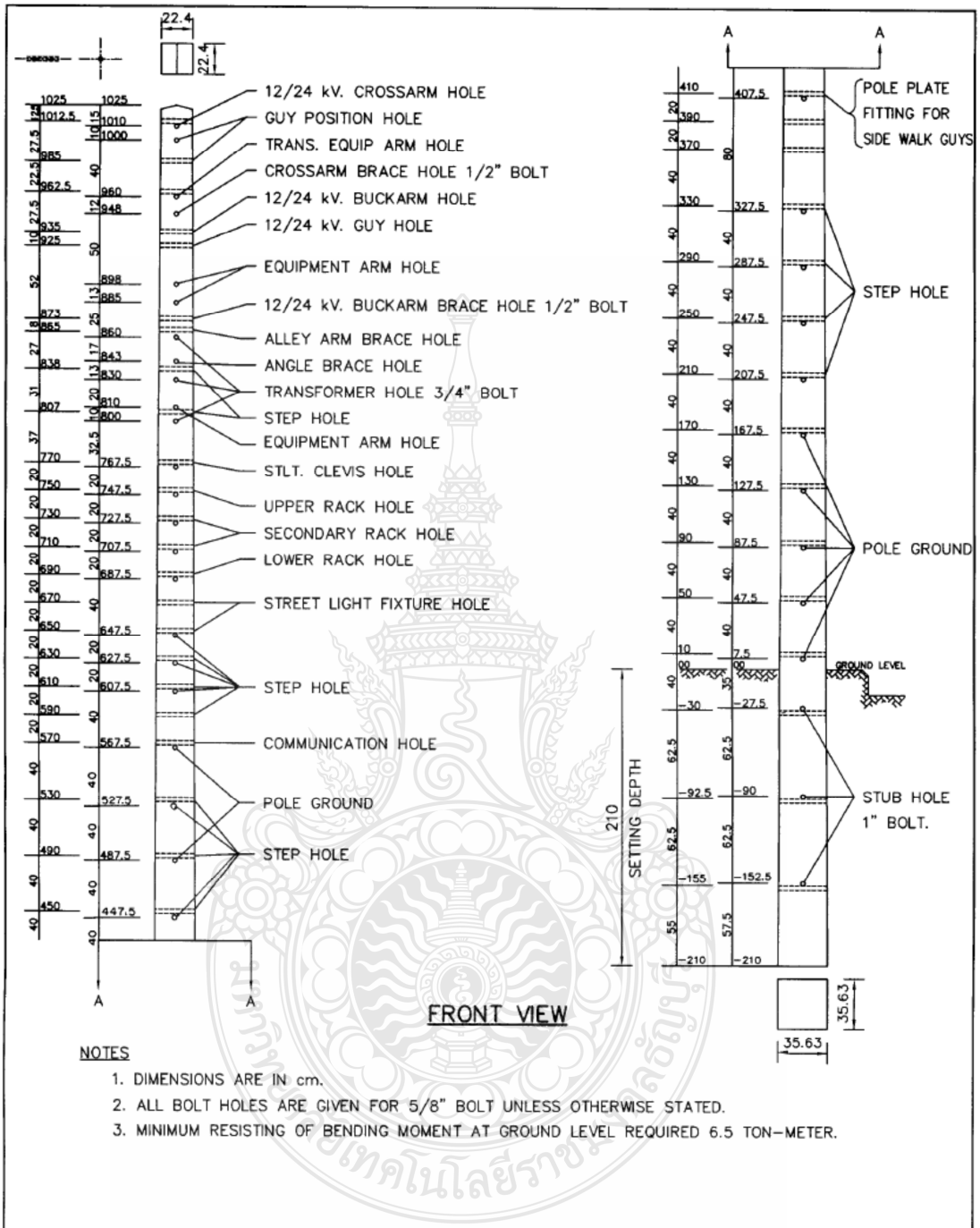
FRONT VIEW

NOTES :

1. ALL BOLT HOLES ARE GIVEN FOR 5/8" BOLT UNLESS OTHERWISE STATED.
2. REQUIRE RESISTING MOMENT 3.5 & 5.0 TON-METER AT GROUND LEVEL.
3. DIMENSIONS ARE IN cm.

REV. NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE
3	ADDED FRAMING DETAILS OF 5.0 TON-METER CONCRETE POLE & REVISED NOTES	Pongsan	22/3/47
2	ADDED POLE STEP HOLES AT ELEVATION 627.5 AND 630	Pongsak	30/11/37
1	ADDED POLE STEP HOLE AT ELEVATION 607.5	Sugan	7/9/26

DR. Apichat	CHK. Sugan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE 1 : 40
DIV. CHIEF			SUPERSEDING
EXC. MGR.		12 m CONCRETE POLE FRAMING DETAILS	SH. NO. 1 OF 3
DTY. GEN. MGR.			DWG. NO. 105
DATE 10/11/2517			



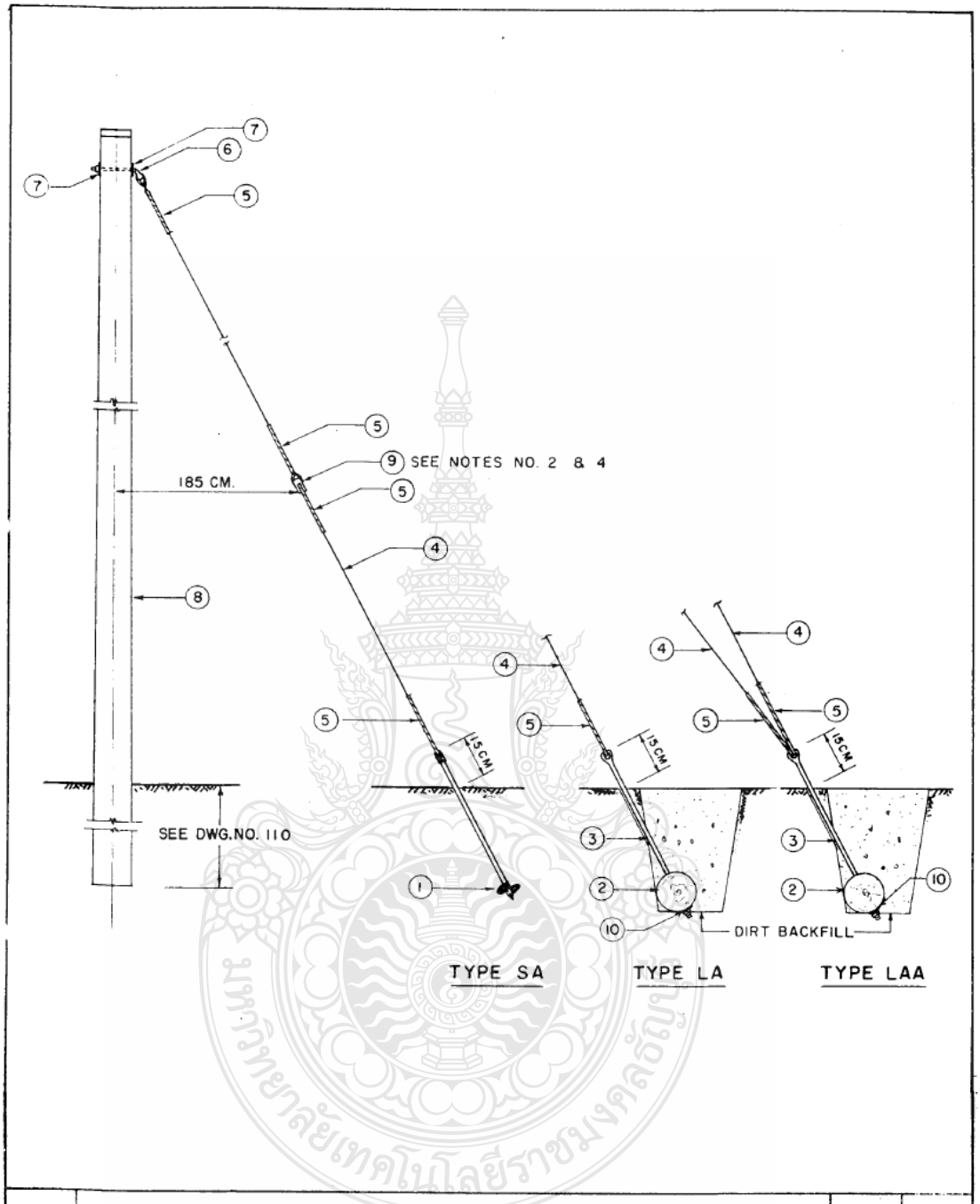
FRONT VIEW

NOTES

1. DIMENSIONS ARE IN cm.
2. ALL BOLT HOLES ARE GIVEN FOR 5/8" BOLT UNLESS OTHERWISE STATED.
3. MINIMUM RESISTING OF BENDING MOMENT AT GROUND LEVEL REQUIRED 6.5 TON-METER.

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE
1	ADD POLE STEP HOLES AT ELEVATION 447.5 AND 527.5	Pongsan	13/7/50

DR. Worapot	CHK. Pongsan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE
DIR.DIV. R Thorn		12.35 m CONCRETE POLE (BM 6.5 t-m)	SUPERSEDING 10A4-0452
DIR.DEPT. A. Maawan			SH.NO. 1 OF 1
DEP.GOV.		FRAMING DETAILS	DWG. NO. 106A
DATE 19/3/2547			



REV. NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE

DR.	CHK.	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE
DIV. CHIEF			SUPERSEDING DWG NO. 201 26/12/2507
EXC. MGR.		STANDARD DOWN GUY	SH. NO. 1 OF 2
DTY. GEN. MGR.			DWG. NO. 201
DATE 9/11/2517			

BILL OF MATERIAL

ITEM NO	CODE NO	REQUIRED						DESCRIPTION OF MATERIAL
		TYPE SA		TYPE LA		TYPE LAA		
		1/4"GUY	5/16"GUY	1/4"GUY	3/8"GUY	2-5/16"GUY	2-3/8"GUY	
1	001-901	1	1	–	–	–	–	ANCHOR, SWAMP TYPE 15" W/3 EYE
2	001-915	–	–	1	1	1	1	ANCHOR, LOG TYPE 12"x 150 CM
3	001-508	–	–	1	1	1	–	ANCHOR, ROD 5/8"x 240 CM.
	001-608	–	–	–	–	–	1	ANCHOR, ROD 3/4"x 240 CM.
4	303-200	1	–	1	–	–	–	GUY WIRE, 1/4" O.D. LGT. AS REQUIRE
	303-250	–	1	–	–	2	–	GUY WIRE, 5/16"O.D. LGT AS REQUIRE
	303-300	–	–	–	1	–	2	GUY WIRE, 3/8" O.D. LGT AS REQUIRE
5	138-200	4	–	4	–	–	–	PREFORMED GUY GRIP FOR 1/4" GUY STRAND
	138-250	–	4	–	–	8	–	PREFORMED GUY GRIP FOR 5/16" GUY STD.
	138-300	–	–	–	4	–	8	PREFORMED GUY GRIP FOR 3/8" GUY STD.
6	013-___	1	1	1	1	2	2	BOLT, THIMBLE EYE ANGLE 5/8"LGT. AS REQUIRE
7	027-522	2	2	2	2	4	4	WASHER, SQUARE FLAT FOR 5/8" BOLT
8	668-___	1	11	1	1	1	1	POLE, CONCRETE LGT. AS REQUIRE
9	159-542	1	1	1	1	2	2	INSULATOR, STRAIN TYPE
10	026-533	–	–	1	1	1	–	WASHER, SQUARE CURVE FOR 5/8" BOLT
	026-633	–	–	–	–	–	1	WASHER, SQUARE CURVE FOR 3/4" BOLT

NOTES :

1. See Dwg. No. 205 for anchor installation details.
2. See Dwg. No. 208 for the position of typical strain insulator installation details.
3. Guy guard shall be installed on the top down guy of group anchoring or each single down guy. See Dwg. No. 206 for Standard Guy Guard Installation Details.
4. See Dwg. No. 110 for the standard embedment of pole.

REV. NO	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE
1	REVISED NOTES AND ADDED CODE NO. IN ITEM NO. 2	Supan	8/7/24

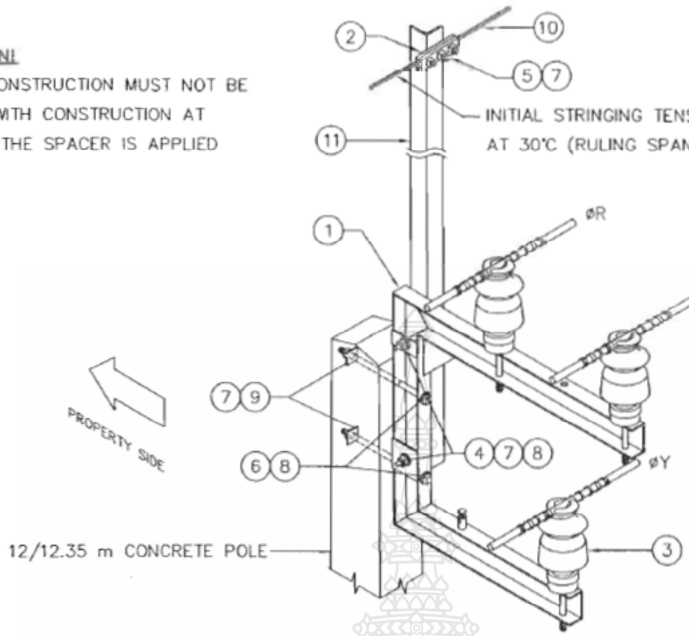
DR. Sppt. CHK. Sup
DIV.CHIEF. Sup
EXC.MGR. Chr
DTY.GEN.MGR. Lua
DATE 10/11/2517

METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY

STANDARD DOWN GUY

SCALE NONE
SUPERSEDING
SH.NO. 2 OF 2
DWG. NO. 201

CAUTION!
THIS CONSTRUCTION MUST NOT BE USED WITH CONSTRUCTION AT WHICH THE SPACER IS APPLIED



MAXIMUM LINE DEFLECTION ANGLE IS 5 DEGREES FOR ASC 185 mm² (MAX.)

TYPE AG1

(ANGLE SUPPORT BRACKET WITH BAYONET ATTACHMENTS)

BILL OF MATERIAL

ITEM NO.	CODE NO.	REQ'D	DESCRIPTION
1	5615-040-00200	1	BRACKET, ANGLE SUPPORT
2	6145-096-40000	1	GUY CLAMP, 3-BOLT, FOR 5/16"-1/2" GROUND WIRE
3	–	3	INSULATOR ASSEMBLY, PIN-POST TYPE (DWG.NO.308 SH.NO.1)
4	5605-005-50400	2	BOLT, MACHINE 5/8" x 4"
5	5605-005-50200	1	BOLT, HEX HEAD 5/8" x 2"
6	5605-005-51400	2	BOLT, MACHINE 5/8" x 14"[1)2)]
7	5605-024-50000	5	NUT, MF LOCK FOR 5/8" BOLT
8	5605-025-50000	6	WASHER, ROUND FOR 5/8" BOLT
9	5605-027-52200	2	WASHER, SQUARE FLAT FOR 5/8" BOLT
10	4010-303-25000	AS REQ'D	GROUND WIRE (GUY WIRE) 5/16" OD 7-STRANDED
11	5615-047-20000	1	STEEL BAYONET 2.00 m. (DWG.NO.10A4-0254)

NOTES.

1. FOR 12 m BM 5.0 t-m & 12.35 m BM 6.5 t-m CONCRETE POLE, ITEM NO.6 MUST BE CHANGED TO MACHINE BOLT 5/8" x 16" (CODE NO. 5605-005-51600)
2. FOR 20 m OR 22 m CONCRETE POLE, ITEM NO.6 MUST BE CHANGED TO MACHINE BOLT 5/8" x 20" (CODE NO. 5605-005-52000)

FOR CONSTRUCTION REFERENCE ONLY

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE
1	CHANGED LENGTH OF MACHINE BOLT FROM 6" TO BE 4"	Pongsan	2/10/49

DR. Chaochart	CHK. Pongsan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE
DIR.DIV. R Thasi			SUPERSEDING
DIR.DEPT. A. Maman		SPACED AERIAL CABLE INSTALLATION	SH.NO. 3 OF 16
DEP.GOV.			DWG. NO. 402
DATE 19/3/2547			

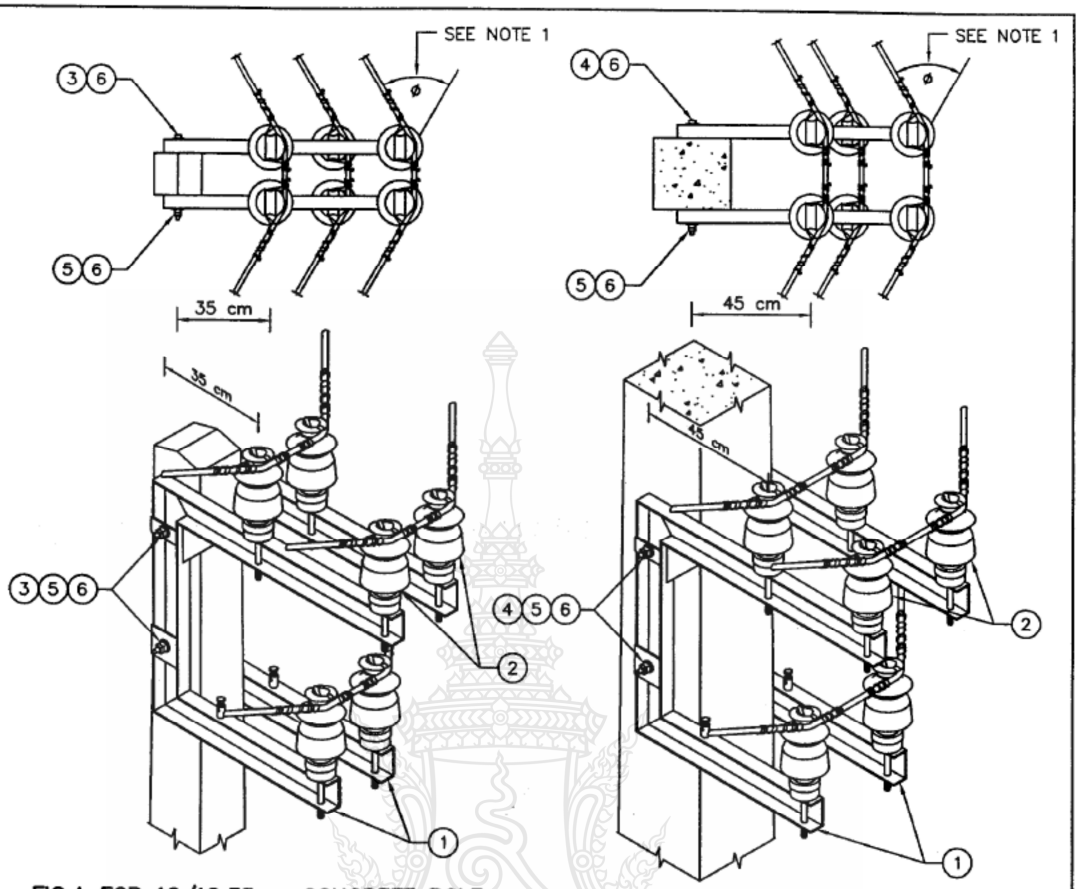


FIG.A FOR 12/12.35 m CONCRETE POLE

FIG.B FOR 20/22 m CONCRETE POLE

MEDIUM ANGLE STRUCTURE, TYPE MA1

BILL OF MATERIAL

ITEM NO.	CODE NO.	REQ'D FIG.A	REQ'D FIG.B	DESCRIPTION
1	5615-040-00200	2	2	BRACKET, ANGLE SUPPORT
2	–	6	6	INSULATOR ASSEMBLY, PIN-POST TYPE (DWG.NO.308 SH.NO.1)
3	5605-005-51400	2	–	BOLT, MACHINE 5/8" x 14" [3]
4	5605-005-52000	–	2	BOLT, MACHINE 5/8" x 20"
5	5605-024-50000	2	2	NUT, MF LOCK FOR 5/8" BOLT
6	5605-025-50000	4	4	WASHER, ROUND FOR 5/8" BOLT

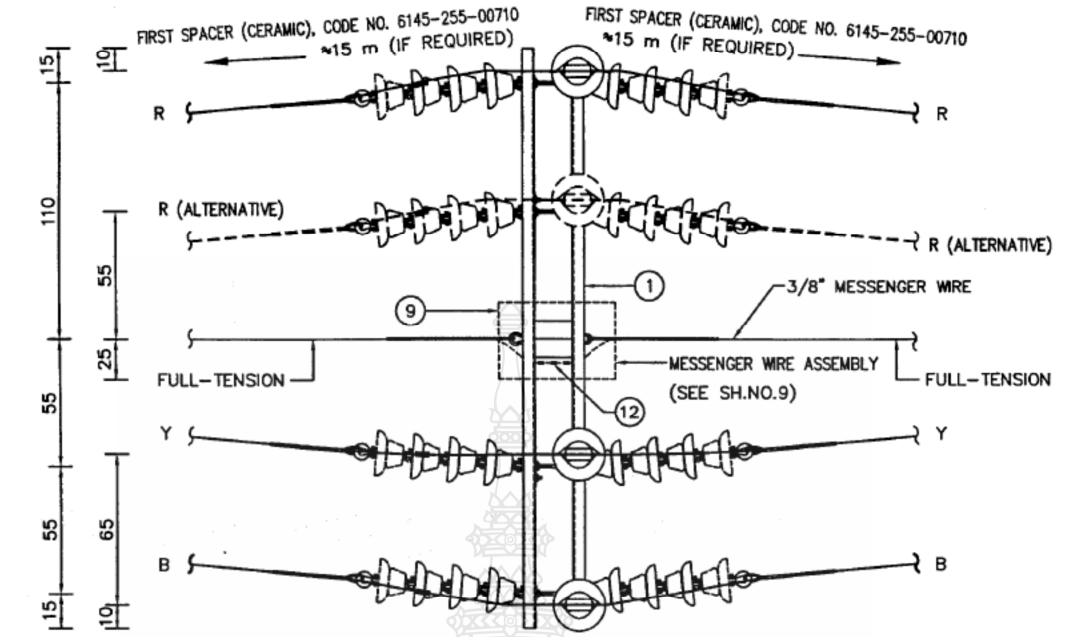
FOR CONSTRUCTION REFERENCE ONLY

NOTES.

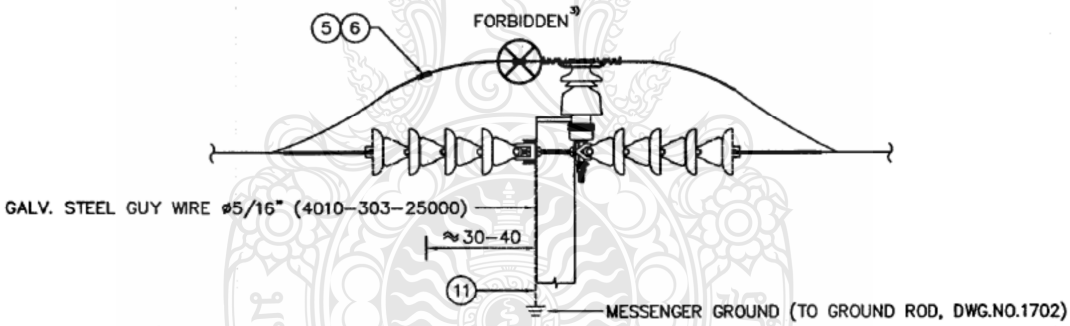
1. LINE DEFLECTION ANGLE(ø) OF MEDIUM ANGLE STRUCTURE IS FROM 30° TO 60°
2. **CAUTION !** : BEFORE MAKING MEDIUM ANGLE STRUCTURE, MAKE SURE THE CONDUCTOR IS REDUCED TENSION AND MAXIMUM SLACK SPAN LENGTH IS 15 m.
3. FOR 12 m BM 5.0 t-m & 12.35 m BM 6.5 t-m CONCRETE POLE, ITEM NO.3 MUST BE CHANGED TO MACHINE BOLT 5/8" x 16" (CODE NO. 5605-005-51600)

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE

DR. Meechai	CHK. Pongsan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE
DIR.DIV.			SUPERSEDING
DIR.DEPT.		SPACED AERIAL CABLE INSTALLATION	SH.NO. 13 OF 16
DEP.GOV.			DWG. NO. 402
DATE 19/3/2547			



TOP VIEW



FRONT VIEW

FIG.C LINE ARM DOUBLE DEADEND DOUBLE MESSENGER/GROUND WIRE CONSTRUCTION, TYPE LDD-DG1

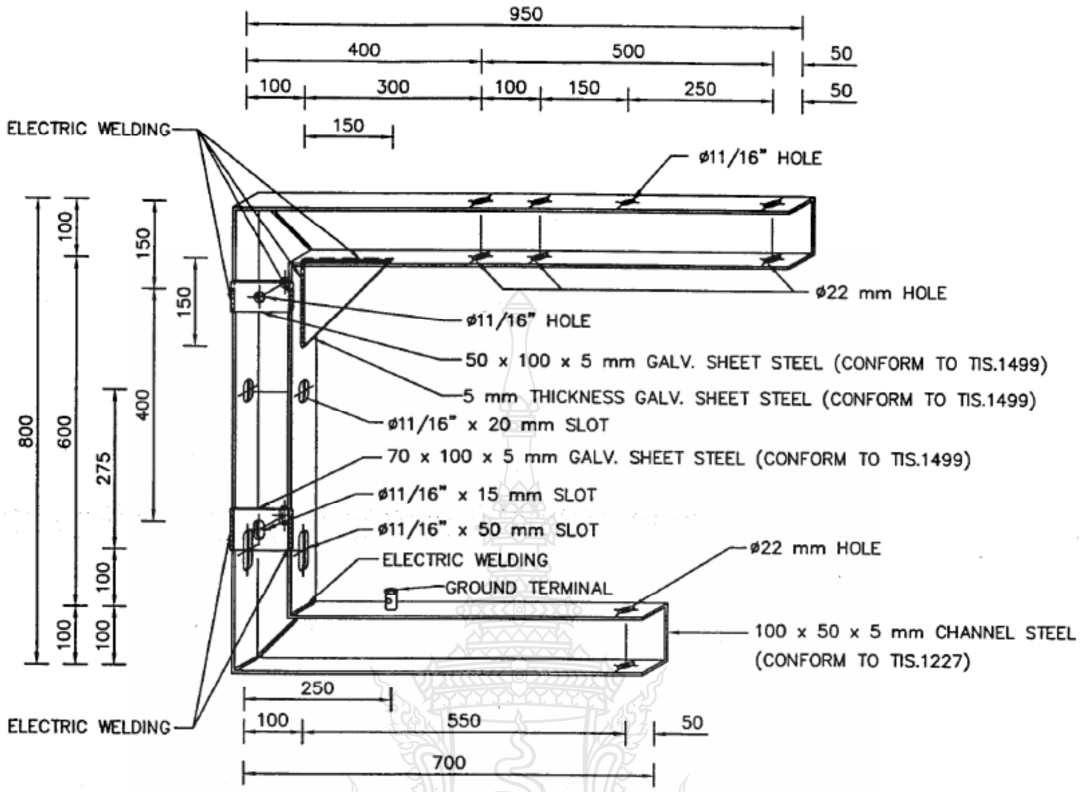
NOTES

1. DIMENSIONS ARE IN cm
2. ADD 1-UNIT OF SUSPENSION INSULATOR TO BE 4-UNIT WHEN APPLY WITH ASC 185 mm² ONLY.
3. KEEP SEPARATION OF SPLICE CONNECTION 30-40 cm FROM SURFACE OF POLE SO AS TO PREVENT FROM ENDANGERING OF BIRDS THAT CAUSE LINE-TO-GROUND FAULT.
4. SEE BILL OF MATERIALS ON SH.NO.9 & 10

FOR CONSTRUCTION REFERENCE ONLY

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE

DR. Meechai	CHK. Pongsan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE
DIR.DIV.			SUPERSEDING
DIR.DEPT.		MAIN LINE & LATERAL DEADEND CONSTRUCTION	SH.NO. 5 OF 10
DEP.GOV.		SPACED AERIAL CABLE (ASC) 1-CIRCUIT	DWG. NO. 403
DATE 19/5/2547			



ANGLE SUPPORT BRACKET

(CODE NO. 5615-040-00200)

NOTES

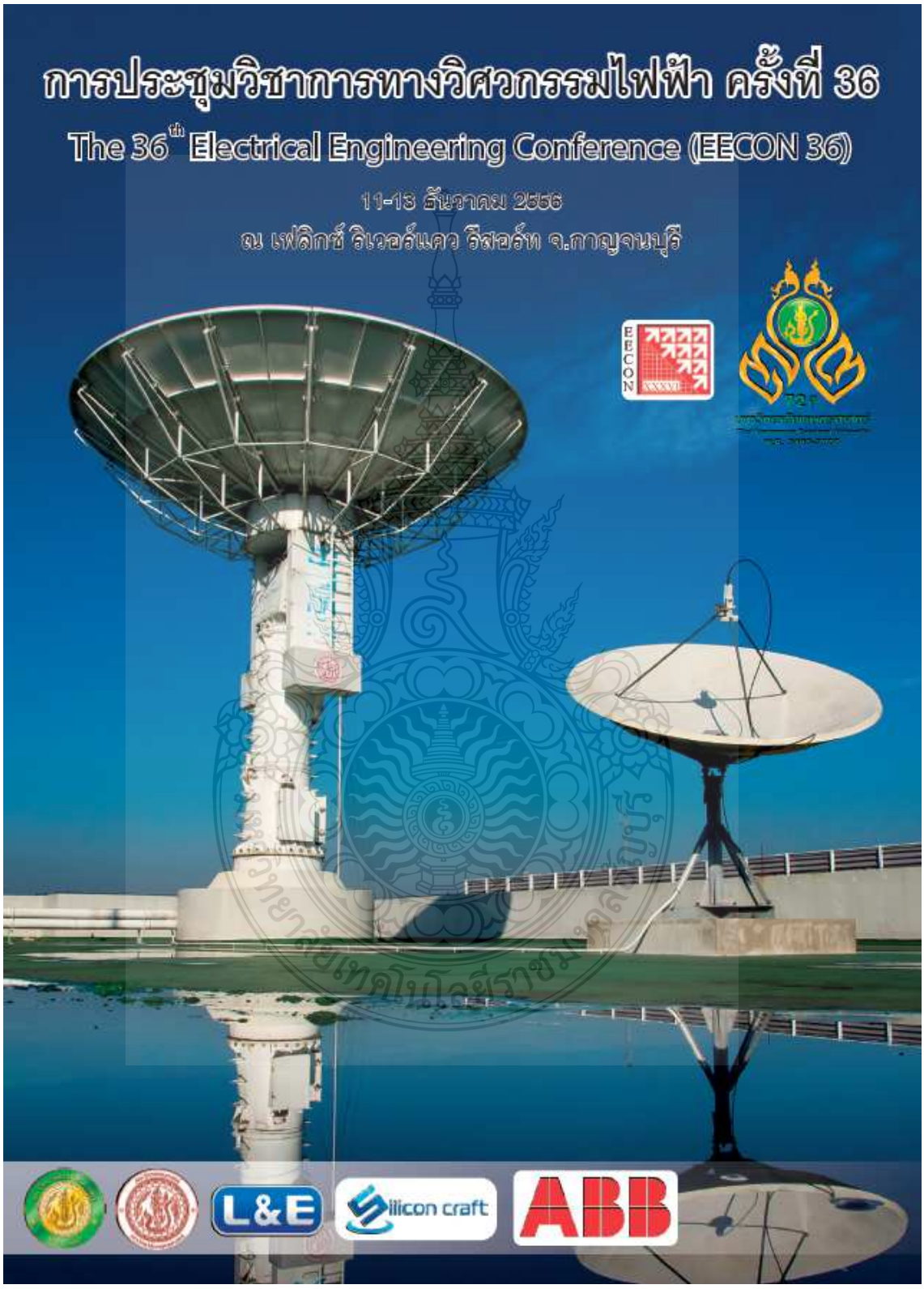
1. DIMENSIONS ARE IN mm UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
2. AFTER FABRICATION THE BRACKET SHALL BE GALVANIZED BY HOT-DIP PROCESS. SEE MEA'S SPECIFICATION FOR MORE DETAILS.

FOR CONSTRUCTION REFERENCE ONLY

REV.NO.	DESCRIPTION OF REVISIONS	BY	DATE

DR. Worapot CHK. Pongsan	METROPOLITAN ELECTRICITY AUTHORITY	SCALE NONE	
DIR.DIV.		SUPERSEDING	
DIR.DEPT.	ANGLE SUPPORT BRACKET	SH.NO. 2 OF 7	
DEP.GOV.		DWG. NO. 404	
DATE 19/3/2547			

ภาคผนวก ค
ผลงานที่ตีพิมพ์หรือเผยแพร่


การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36
The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)
11-13 ธันวาคม 2556
ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี
EECON
L&E
Silicon craft
ABB

Reviewer	Organization
Amnart Suksri	Khon Kaen University
Amnoiy Ruengwaree	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Amorn Jiraseree-amornkun	Mahanakorn University of Technology
Anon Namin	Rajamangala University of Technology Lanna
Anupap Meesomboon	Khon Kaen University
Anuree Lorsawatsiri	Mahanakorn University of Technology
Anuwat Jangwanitlert	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Aphibal Pruksanubal	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Apichai Bhatranand	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Apirada Namsang	Civil Aviation Training Center Thailand
Apiwat Lek-uthai	Chulalongkorn University
Arkhom Moungkhaodaeng	Srinakharinwirot University
Arkorn Kaewrawang	Khon Kaen University
Arnon Isaramongkolrak	Mahanakorn University of Technology
Arporn Teeramongkonrasmee	Chulalongkorn University
Arthit Sode-Yome	Siam University
Atthapol Ngaopitakkul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Benjamas Panomruttanarug	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bongkarn Homnan	Dhurakij Pundit University
Bongkoj Sookananta	Uboniratchathani University
Boonchuay Supmonchai	Chulalongkorn University
Boonlert Suechoey	South-East Asia University
Boonruk Chipipop	Rangsit University
Boonsri Kaewkham-ai	Chiang Mai University
Boonyang Plangklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Budhapon Sawetsakulanond	Mahanakorn University of Technology
Bundit Thipakorn	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chainarong Klinnanee	Srinakharinwirot University
Chaiwut Chat-uthai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chaiyan Jettanasen	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chaiyaporn Lothongkam	Mahanakorn University of Technology
Chaiyo Thammarat	South-East Asia University
Chaiyut Sumpavakup	Mahanakorn University of Technology
Chanchai Dechthummarong	Rajamangala University of Technology Lanna
Chanchana Tangwongsan	Chulalongkorn University

Reviewer	Organization
Channarong Banmongkol	Chulalongkorn University
Chanwit Boonchuay	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Chamchai Pluempitiwiriyawej	Chulalongkorn University
Chatchai Suppitaksakul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chawasak Rakpenthai	University of Phayao
Chiranut Sa-ngiamsak	Khon Kaen University
Chirasak Sinsukudomchai	South-East Asia University
Chirawat Wattanapanich	Walailak University
Chirdpong Deelertpaiboon	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chowarit Mitsantisuk	Kasetsart University
Chutham Sawigun	Mahanakorn University of Technology
Danucha Prasertsom	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Decha Wilairat	Mahidol University
Denchai Worasawate	Kasetsart University
Duang-arthit Srimoon	Rangsit University
Dulpichet Rerkpreedapong	Kasetsart University
Dusit Thanapatay	Kasetsart University
Ekapon Siwapornsathain	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Jakkree Srinonchat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Jeerasuda Koseeyaporn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Jirasak Chanwutitum	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Jitkomut Songsiri	Chulalongkorn University
Jonglak Pahasa	University of Phayao
Jukkrit Kluabwang	Rajamangala University of Technology Lanna
Jukkrit Tagapanij	Mahanakorn University of Technology
Kamon Jirasereeamornkul	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Kanadit Chetpattananondh	Prince of Songkla University
Kanchana Silawarawet	Siam University
Kanjanapan Sukvichai	Kasetsart University
Keerati Chayakulkheeree	Sripatum University
Khanittha Kaewdang	Ubonratchathani University
Kiatiyuth Kveeyarn	Kasetsart University
Kiattisin Kanjanawanishkul	Mahasarakham University
Kittisak Tripipatpornchai	Rangsit University
Kittiwann Nimkerdphol	Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Reviewer	Organization
Kobchai Dejhan	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Komsan Hongesombut	Kasetsart University
Komson Daroj	Ubonratchathani University
Krischonme Bhumkittipich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Krissada Asavaskulkiet	Mahidol University
Krit Angkeaw	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Kulyos Audomvongseree	Chulalongkorn University
Kunnthphong Srisathit	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Kusumal Chalermyanont	Prince of Songkla University
Kwanchai Eurviriyanukul	Rajamangala University of Technology Lanna
Mana Sriyudthsak	Chulalongkorn University
Manop Aorpimai	Mahanakorn University of Technology
Miti Ruchanurucks	Kasetsart University
Mongkol Konghirun	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Mongkol Raksapatcharawong	Kasetsart University
Monthon Nawong	Dhurakij Pundit University
Montree Siripruchyanun	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Montri Kamjanadecha	Prince of Songkla University
Montri Somdunyakanok	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Naebboon Hoonchareon	Chulalongkorn University
Nalin Sidahao	Mahanakorn University of Technology
Napat Sra-ium	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Nararat Ruangchaijatupon	Khon Kaen University
Narong Buabthong	Thammasat University
Narong Yoothanom	Sripatum University
Nathabhat Phankong	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nattachote Rugthaicharoencheep	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattapong Phanthuna	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattavut Chayavanich	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Nattaya Klairuang	Kasetsart Universit
Nattha Jindapetch	Prince of Songkla University
Natthaphob Nimpitiwan	Bangkok University
Nimit Boonpirom	Sripatum University
Nisachon Tangsangiumvisai	Chulalongkorn University
Nophadon Wiwatcharagoses	King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Reviewer	Organization
Nuntiya Chaiyabut	Bangkok University
Ong-Art Sadmai	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Opas Chutatape	Rangsit University
Pairote Thongprasri	Kasetsart University
Paisarn Sonthikorn	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Paitoon Rakluea	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pakorn Kaewtrakulpong	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Panich Intra	Rajamangala University of Technology Lanna
Parnjit Damrongkulkamjorn	Kasetsart University
Pasist Suwanapingkarl	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Patamaporn Sripadungtham	Kasetsart University
Peerapol Yuvapoositanon	Mahanakorn University of Technology
Peerayot Sanposh	Udon Thani Rajabhat University
Pennapa Pairodamonchai	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Petch Nantivatana	Sripatum University
Phaisan Ngamjanyaporn	Rangsit University
Phumin Kirawanich	Mahidol University
Phunsak Thiennviboon	Kasetsart University
Pichai Aree	Thammasat University
Pichet Wisartpong	Mahanakorn University of Technology
Pinit Jitjing	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pinit Thepsatorn	Srinakharinwirot University
Pipat Prommee	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Pisit Liutanakul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Pisit Vanichchanunt	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Pisit Wisutmetheekorn	Mahanakorn University of Technology
Piya Warabuntaweesuk	Bangkok University
Poonlap Lamsrichan	Kasetsart University
Pornchai Phukpattaranont	Prince of Songkla University
Pracha Yeunyongkul	Rajamangala University of Technology Lanna
Prajuab Pawarangkoon	Mahanakorn University of Technology
Pramin Artrit	Khon Kaen University
Pranchalee Samanpiboon	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prasopchok Hothongkham	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Prayoot Akkaraekthalin	King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Reviewer	Organization
Preecha Kocharoen	Sripatum University
Punyaphat Phumiphak	Mahanakorn University of Technology
Rardchawadee Silapunt	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Raungrong Suleesathira	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rawid Banchuin	Siam University
Rungsimant Sitdhikorn	Mahanakorn University of Technology
Sakchai Thipchaksurat	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sakorn Po-Ngam	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Salilitip Sinthusonthishat	Mahanakorn University of Technoloogy
Samphan Phrompichai	Mahanakorn University of Technoloogy
Samroeng Hintamai	Sripatum University
Sanchai Dechanupaprittha	Kasetsart University
Santitham Prom-on	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sanun Srisuk	Nakhon Phanom University
Sarawan Wongsa	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sarawuth Chaimool	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Sarinee Ouitrakul	Kasetsart University
Sawat Bunnjaweht	Mahanakorn University of Technology
Seangrawee Buakaew	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sermsak Uatrongjit	Chiang Mai University
Sirichai Dangeam	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sirichai Wattanasophon	Kasetsart University
Siriroj Sirisukprasert	Kasetsart University
Sirivat Poonvasin	Kasetsart University
Sirivit Taechajedcadarungsri	Khon Kaen University
Siriwich Tadsuan	South-East Asia University
Siwapon Srisonphan	Kasetsart University
Somboon Nuchprayoon	Chiang Mai University
Somboon Sooksatra	Rangsit University
Somchai Hiranvarodom	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Somchat Jiriwibhakorn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sommart Sang-ngern	Mahanakorn University of Technology
Sompob Polmai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Somporn Sirisumrannukul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Songkran Kantawong	Bangkok University

Reviewer	Organization
Songphol Kanjanachuchai	Chulalongkorn University
Songrit Maneewongvatana	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sorawat Chivapreecha	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Srijidtra Charoenlarpnopparut	Kasetsart University
Srisakdi Jangjit	Kasetsart University
Suchart Yammen	Naresuan University
Suchin Trirongjitmoah	Ubonratchathani University
Sudchai Boonto	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sumate Naetiladdanon	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Suneat Pranonsatit	Kasetsart University
Supakit Kawdungta	Rajamangala University of Technology Lanna
Supalak Sathiracheewin	Kasetsart University
Supatana Auethavekiat	Chulalongkorn University
Supattana Nirukkanaporn	Rangsit University
Surachai Chaitusaney	Chulalongkorn University
Surachoke Thanapitak	Mahidol University
Surapan Airphaiboon	King Mongkut's Institute of technology Ladkrabang
Surapong Suwankawin	Chulalongkorn University
Suree Pumrin	Chulalongkorn University
Suthathip Maneewongvatana	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Suwat Pattaramalai	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Tanet Wonghong	Bangkok University
Tanin Duangjan	Srinakharinwirot University
Tasanee Chayavanich	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Teerasak Somsak	Rajamangala University of Technology Lanna
Teerasit Kasetkasem	Kasetsart University
Terdpun Choogorn	Nakhon Sawan Rajabhat University
Thamvarit Singhavilai	Mahidol University
Thanadol Pritranan	Mahidol University
Thanakorn Khongdeach	Kasetsart University
Thanapong Thanasaksiri	Chiang Mai University
Theerayod Wiangtong	Mahanakorn University of Technology
Thidarat Tawsook	Bangkok University
Thong Lantharthong	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Thumronngrat Amornraksa	King Mongkut's University of Technology Thonburi

Reviewer	Organization
Titipong Lertwiriyaprapa	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Toempong Phetchakul	King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang
Trin Saengsuwan	Kasetsart University
Ukrit Mankong	Chiang Mai University
Umarin Sangpanich	Kasetsart University
Upady Hatthasin	Rajamangala University of Technology Lanna
Uthane Supatti	Kasetsart University
Uthen Kamnam	Rajamangala University of Technology Lanna
Veerachai Malyavej	Mahanakorn University of Technology
Viboon Chunkag	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vichai Saelee	South-East Asia University
Vijit Kinnares	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Vinai Silaruam	Mahanakorn University of Technology
Virote Pirajnanchai	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Vishnu Thonglek	Rajamangala University of Technology Lanna
Vorapong Silaphan	Mahanakorn University of Technology
Vuttipon Tarateeraseth	Srinakharinwirot University
Wachira Chongburee	Kasetsart University
Walisa Romsaiyud	Siam University
Wanchai Chankaipol	Sripatum University
Wanchai Chimchavee	University of the Thai Chamber of Commerce
Wanchai Khamsen	Rajamangala University of Technology Lanna
Wanchai Pijitrojana	Thammasat University
Wanchai Subsingha	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Wanchak Lenwari	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wannarat Suntiamorntut	Prince of Songkla University
Wanwisa Thaiwirot	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Warakorn Srichavengsup	Thai-Nichi Institute of Technology
Warayut Kampeerawat	Khon Kaen University
Warut Suampun	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Wason Tanjaroen	Kasetsart University
Watcharee Veerakachen	Kasetsart University
Wattanapong Kurdthongmee	Walailak University
Wekin Piyarat	Srinakharinwirot University
Werapon Chiracharit	King Mongkut's University of Technology Thonburi

Reviewer	Organization
Wibool Piyawattanametha	National Electronics and Computer Technology Center
Wijittra Petchakit	Walailak University
Wiklorn Teerapabkajorndet	Prince of Songkla University
Wilaiporn Lee	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Witoon Prommee	Rajamangala University of Technology Lanna
Witthawas Pongyart	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Worakarn Wongsaichua	Ubonratchathani University
Worapol Pongpech	Dhurakij Pundit University
Worawat Nakawiro	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Wuthiporn Loetwassana	Mahanakorn University of Technology
Wuttipong Kumwilaisak	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yan Zhao	Chulalongkorn University
Yongyuth Naras	Siam University
Yongyuth Permpoontanalarp	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yutana Chongjarearn	Dhurakij Pundit University
Yuttana Kumsuwan	Chiang Mai University
Yuttapong Jiraraksopakun	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yutthana Kanthaphayao	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

สารบัญ

PW042	A Rating Minimization Technique for Battery Energy Storage System Utilized with Photovoltaic Distributed Generations	24
PW043	Using Artificial Neural Networks to Support in Equipment Estimating for 24kV Distribution System	24
PW044	การศึกษาผลของ Auxiliary Grounding System ของสถานีจำหน่ายไฟฟ้าย่อยในระบบจำหน่ายของ กฟน.	25
PW045	การจำลองพิกัดเครื่องกำเนิดโอโซนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในโรงพยาบาล	26
PW046	Pseudo-Measurement Uncertainty for State Estimation of Electrical Power System	27
PW047	การออกแบบและสร้างชุดตรวจจับมุมเฟสของแรงดันด้วยวิธีการเฟสล็อกลูปบนแกนอ้างอิงหมุนซิงโครนัส	27
PW048	A Study of Power System Grounding for Mitigation of Voltage Sag Originated from Single Line to Ground Fault	28
PW049	Impact of Increased Single-Phase Rooftop PV Installations on Voltage Unbalance in Low Voltage Distribution Networks	28
PW050	การประเมินผลกระทบที่มีต่อคุณภาพไฟฟ้าเมื่อทำการติดตั้งทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่ในระบบสายส่ง 115 kV และข้อเสนอแนะเพื่อลดผลกระทบคุณภาพไฟฟ้า	29
PW051	Spatial Load Forecasting on Application of Geographic Information (GIS) and Multiplicative Exponential Smoothing	30
PW052	การศึกษาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสต่อแบบสตาร์เมื่อมีและไม่มีสายนิวทรอลเข้าสู่ระบบในสภาวะแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสมดุล และไม่สมดุล	30
PW053	การควบคุมประสานกันของมุมใบพัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมและการประจุแบตเตอรีรถไฟฟ้าโดยใช้ MPCs เพื่อควบคุมความถี่โหลดในระบบไมโครกริด	31
PW054	Efficiency Estimation of Three-phase Induction Motor Operating Under Unbalanced Voltage Supply without Neutral Using PSO	31
PW055	ผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแบบมัลติเฟส	32
PW056	แบบจำลองอับดับสองของโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ	33
PW057	Real-time Monitoring System of Induction Motor Misalignment	33
PW058	A Speed Measurement of Induction Motor Using MCSA Techniques Coupling with Labview Program	34
PW059	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตามมาตรฐาน IEEE 112-2004 ระหว่างวิธีแบบ B, E1 และ F1	34
PW060	Starting Thrust of Linear Induction Motor with Saturation	34
PW061	การประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	35

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่าย 24 kV

Using Artificial Neural Networks to Support in Equipment Estimating for 24kV Distribution System

วณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์ และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2310-2823
E-mail: nut10446@hotmail.com , chatchai.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการช่วยประมาณการอุปกรณ์สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 24 kV เพื่อหาข้อมูลและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง ในกระบวนการประมาณการด้วยผู้ชำนาญต้องใช้เวลาการถอดแบบ 1 แบบอย่างน้อย 45-60 นาที ในกรณีที่มีแบบที่ต้องประมาณการมากจะทำให้งานล่าช้า ซึ่งมีผลทำให้การก่อสร้างระบบจำหน่ายช้าไปด้วย ด้วยเหตุผลนี้จึงได้นำเสนอการวิธีการและโปรแกรมประมาณการอุปกรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการประมาณการ ด้วยการนำข้อมูลการออกแบบที่ถอดแบบจากผู้ชำนาญการมาทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่มีอินพุต 4 อินพุต ประกอบด้วย ระยะทาง จำนวนจุดเลี้ยว องศาเลี้ยวที่ 1 และ องศาเลี้ยวที่ 2 โดยให้เอาท์พุตคำตอบเป็นชนิดและจำนวนของอุปกรณ์ เช่น เสาคอนกรีต กับดักฟ้าผ่า สายตัวนำ เป็นต้น ผลการทดสอบจากข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้คำตอบที่ถูกต้องและรวดเร็ว

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับ , มาตรฐานการออกแบบติดตั้งระบบจำหน่าย

Abstract

This paper presents an application of Artificial Neural Networks (ANNs) in equipments estimating of 24kV electrical distribution system design in order to determine types and number of equipments following the MEA Standard. Generally, the estimating process by an experienced engineer would take time approximately 45-60 minutes/designed work. It would take more time in case that there are a lot of designed works and it will cause of the construction delay. Thus, the estimating program using ANNs is proposed in order to increase the efficiency of estimation. The information which was obtained from the estimating by the experienced engineer is used for training the feed forward back-propagation neural networks (BPPNNs). Four parameters consist of distance, the number of turning points, the degrees of the 1st and 2nd turning are used as inputs. The types and the number of equipments such as the concrete poles, lightning arresters, and conductors are given from the output of the program. The testing outcomes using the testing set, it is found that the proposed method and program provide fast and accurate results.

Keyword: feed forward back-propagation neural networks, distribution system design standard,

1.บทนำ

การไฟฟ้านครหลวงมีหน้าที่รับผิดชอบในการส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจและครัวเรือนในพื้นที่กรุงเทพฯ นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยการออกแบบและก่อสร้างระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 12kV และ 24kV การไฟฟ้านครหลวงจะเป็นผู้ดำเนินการทั้งหมด ซึ่งการออกแบบเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง[1] โดยขั้นตอนการออกแบบเริ่มจากการออกไปสำรวจเพื่อทำแบบถอดแบบหาอุปกรณ์ที่ใช้ก่อสร้าง จากนั้นนำข้อมูลอุปกรณ์มาประมาณการ ซึ่งจะใช้เวลาในการประมาณการเฉลี่ย 45-60 นาทีต่อแบบ ในกรณีที่มีแบบที่ต้องประมาณการมาก โดยเฉพาะในเขตพื้นที่มีการขยายตัวที่อยู่อาศัยและภาคอุตสาหกรรมบริเวณชานเมืองจะทำให้การประมาณการล่าช้า และมีผลทำให้การก่อสร้างระบบจำหน่ายล่าช้าไปด้วย

ในการถอดแบบและประมาณการอุปกรณ์ ผู้ถอดแบบต้องมีความเข้าใจมาตรฐานการติดตั้งรวมถึงมีความชำนาญในการออกแบบและถอดแบบ จากการสืบค้นข้อมูลยังไม่พบว่ามีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการถอดแบบหาจำนวนอุปกรณ์ ซึ่งการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น ต้องใช้ความรู้ทั้งการถอดแบบและการเขียนโปรแกรมร่วมด้วย ถึงแม้ว่าผู้ทำการถอดแบบมีความรู้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นการยากที่จะเขียนโปรแกรมออกมาได้ง่าย เนื่องจากมีเงื่อนไขการออกแบบ ข้อมูลอุปกรณ์จำนวนมากและซับซ้อน ดังนั้นเพื่อช่วยให้งานด้านการประมาณการอุปกรณ์ของระบบจำหน่ายมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น บทความนี้นำเสนอการวิธีการและโปรแกรมประมาณการอุปกรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยเพิ่ม

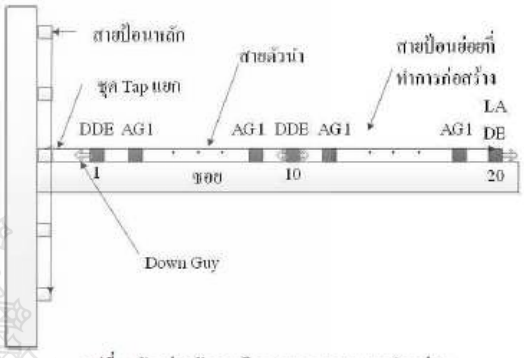
ประสิทธิภาพการประมาณการ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมมีคุณสมบัติในการจำแนกแยกแยะ โดยการเรียนรู้จดจำ อีกทั้งเป็นวิธีการคำนวณแบบขนานทำให้ได้คำตอบรวดเร็ว หากมีข้อมูลเปลี่ยนแปลงสามารถสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เรียนรู้ได้ จากการสืบค้นพบว่ามีงานวิจัยของบัณฑิต ฤทธิ์ทอง [2] นำใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบห้องชุดและอาคารชุด ซึ่งเอาท์พุตของโปรแกรมให้ ขนาดสายไฟ ระยะสายไฟ อุปกรณ์ป้องกัน ขนาดมิเตอร์ kW/hour ที่สัมพันธ์กับโหลดตามพื้นที่ห้อง ประเภทของอาคารชุด ระบบทำความเย็น จึงมีแนวคิดนำความรู้ความชำนาญในการถอดแบบและประมาณการระบบจำหน่ายของผู้ชำนาญการ [3] มาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม และนำไปช่วยในการถอดแบบประมาณการให้มีประสิทธิภาพ ถูกต้องรวดเร็ว

2 การออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 24kV

การออกแบบระบบจำหน่าย 24 kV ในปัจจุบันได้มีการนำระบบแผนที่มาใช้เพื่อให้กระบวนการในการออกแบบรวดเร็วขึ้น โดยผู้ออกแบบจะออกไปสำรวจบริเวณก่อสร้างปักเสาพาดสายหลังจากนั้นทำการวัดระยะทาง และกำหนดจุดปักเสาลงในแผนที่จากนั้นทำการกำหนดหัวเสาแล้วทำการวาดแบบถอดจำนวนอุปกรณ์จากนั้นนำจำนวนอุปกรณ์มาทำประมาณราคาหลังจากนั้นส่งให้แผนกก่อสร้างทำการปักเสาพาดสายต่อไป

2.1 การออกแบบและถอดแบบระบบจำหน่าย

การออกแบบโดยบุคคลนั้นทำโดยการออกสำรวจบริเวณพื้นที่ก่อสร้างว่ามีระยะในการพาดสายตัวนำยาวเท่าไรจากนั้นดูว่าจะต้องปักเสาคอนกรีตจำนวนกี่ต้น ทำการวาดแบบเบื้องต้น และทำการกำหนดขนาดเสาในต้นที่สำคัญ และดูว่าลักษณะพื้นที่ควรใช้หัวเสาแบบใด เก็บรายละเอียดให้ได้มากที่สุด จากนั้นทำการออกแบบโดยใช้แบบที่ทำการวาดเบื้องต้นนำมาลงรายละเอียดในแบบจริง ทำการกำหนดหัวเสา เมื่อทำการออกแบบเสร็จนำแบบมาถอดหาจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่าย ตัวอย่างเช่นการออกแบบและถอดแบบสายป้อนย่อยเข้าซอยระยะทาง 700 เมตรเริ่มแรกจะต้องหาจำนวนเสาที่จะทำการปักเสาคอนกรีตทั้งหมดจากระยะทางหารด้วยระยะ Span ที่เหมาะสมดังนั้น ใช้เสาคอนกรีต 700/35 = 20 ต้น เลือกขนาดเสาในกรณีก่อสร้างเป็นทางตรงใช้เสา 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร 3 ต้น โดยเป็นเสาต้นแรก,เสาต้นสุดท้าย ,เสาต้นกลาง จะช่วยลดแรงดึงทำให้แรงดึงไม่มากเกินไป ที่เหลือเป็นเสา 12 เมตร 5 ตันเมตร จากนั้นกำหนดหัวเสาโดยเป็น หัวเสา Double Dead End(DDE) 2 ชุด Dead End(DE) 1 ชุด ที่เหลือเป็น Angle Support (AG1)หลังจากกำหนดจุดปักเสาและขนาดเสาคอนกรีตจะทำการหาความยาวของสายโดยหาได้จากระยะในการปักเสาบวกกับ 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 35 เมตร ดังนั้นความยาวสายตัวนำ 735 เมตร โดยตัวนำมีสามเฟส 735 x 3 = 2205 เมตร ความยาวของสาย Over Head Ground Wire มีความยาว 735 เมตรเท่ากับตัวนำ ในการติดตั้ง Down Guy จะต้องคำนึงถึงการรับแรงดึงของเสาคอนกรีตและทิศทางของแรงดึงโดยในแบบตัวอย่างนี้จะใช้ Down Guy 4 ชุดในการรับแรงดึง ระยะห่างระหว่างเสา และการกำหนดอุปกรณ์ทุกชิ้นนั้นมาจากคู่มือการออกแบบประมาณราคา[3] คู่มือนี้ได้มาจากประสบการณ์ของผู้ชำนาญการในการออกแบบหลายท่านจัดทำขึ้นเป็นข้อแนะนำในการออกแบบและถอดแบบหาอุปกรณ์ จากการก่อสร้างสายป้อนย่อย 700 เมตร สรุปจำนวนอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบจำหน่ายได้ดังนี้



รูปที่ 1 ตัวอย่างผังการปักเสาพาดสายระบบจำหน่าย

เสาคอนกรีต 12 เมตร 5 ตันเมตร	17	ต้น
เสาคอนกรีต 12.35 เมตร 6.5 ตันเมตร	3	ต้น
หัวเสา Angle Support (AG1)	17	ชุด
หัวเสา Dead End (DE)	1	ชุด
หัวเสา Double Dead End (DDE)	2	ชุด
ชุด Tap แยกสายป้อนย่อย	1	ชุด
Down Guy	4	ชุด
Lightning Arrester	1	ชุด
สาย Spaced Aerial Cable	2205	เมตร
สาย Over Head Ground Wire	735	เมตร
เสา Over Head Ground Wire	20	ต้น

จากข้อมูลดังกล่าวข้อมูลที่นำมาใช้ในการหาจำนวนอุปกรณ์จะมีข้อมูลระยะทางเป็นหลัก หากเป็นทางโค้งจะมีข้อมูลจำนวนจุดโค้งและมุมของสายของโค้ง จากการออกแบบและถอดแบบข้างต้นจึงได้นำข้อมูลของการออกแบบถอดจำนวนอุปกรณ์มาใช้เป็นข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อช่วยในการออกแบบระบบจำหน่ายโดยข้อมูลที่นำมาใช้ฝึกสอนเป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบโดยบุคคลซึ่งเป็นการออกแบบตามมาตรฐาน การประยุกต์นำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาออกแบบระบบจำหน่ายนั้นมีประโยชน์ในเรื่องการประหยัดเวลาเนื่องจากใช้เวลาในการถอดแบบน้อยและให้คำตอบรวดเร็ว นอกจากนี้หากมีการทำแบบ 10 แบบ โดยใช้บุคคลจะต้องทำทีละแบบ ซึ่งใช้เวลา

มาก แต่หากใช้โครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาช่วยในการถอดแบบสามารถป้อนข้อมูลการออกแบบทั้ง 10 แบบ จะสามารถให้คำตอบของจำนวนอุปกรณ์ ทั้ง 10 แบบได้พร้อมกันทำให้ประหยัดเวลาไปได้มากเพราะปริมาณงานถอดแบบอุปกรณ์มีมาก

3 การนำข้อมูลที่ถอดแบบมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม

การรวบรวมข้อมูลที่ไปสำรวจเพื่อใช้ในการออกแบบมี 4 ข้อมูล 1.ระยะทางในการก่อสร้างสายระบบจำหน่าย 2.จำนวนจุดเลี้ยวของการออกแบบ ไม่เกิน 2 จุด 3.องศาการหักเลี้ยวโค้งที่ 1 และ 4.องศาการหักเลี้ยวโค้งที่ 2 ข้อมูลข้างต้นเป็นข้อมูลอินพุต และมีข้อมูลอุปกรณ์ที่ได้การถอดแบบจากข้อมูลที่ไปสำรวจโดยบุคคลเป็นเอาท์พุตเป้าหมาย

3.1 ข้อมูลอินพุตและค่าเป้าหมายในการฝึกสอน

ข้อมูลอินพุตนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมได้จากการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างระบบจำหน่ายและทำการเก็บข้อมูลระยะทาง จุดหักเลี้ยว องศาการหักเลี้ยว เพื่อออกแบบและถอดแบบจำนวนอุปกรณ์ในระยะทาง 2 กิโลเมตร จากการเก็บข้อมูลได้ข้อมูลอินพุตตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 สามารถสร้างกรณีของข้อมูลอินพุตได้ 3940 ข้อมูล หลังจากได้ค่าอินพุตทั้งหมด 3940 ข้อมูลได้จัดทำค่าเป้าหมายซึ่งได้จากการถอดแบบด้วยบุคคล โดยถอดแบบจากข้อมูลอินพุตที่ได้มาตามคำแนะนำของคู่มือการออกแบบจะได้ค่าเป้าหมาย 3940 ชุดดังตารางที่ 2 โดยแต่ละชุดจะมีค่าเป้าหมาย 14 ค่า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ระบบจำหน่ายว่าต้องใช้อุปกรณ์แต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใดหลังจากได้ข้อมูลเป้าหมายครบทั้งหมด จึงทำการจัดข้อมูลทำการฝึกสอนส่วนการฝึกสอนจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 1 ตารางค่าอินพุตที่นำไปฝึกสอน

อินพุต	ค่าที่ใช้ในการฝึกสอน
ระยะทางการก่อสร้าง	35-2000 เมตร
จำนวนจุดหักเลี้ยว	0, 1, 2 จุด
องศาการหักเลี้ยว 1	0, 30, 60, 90 องศา
องศาการหักเลี้ยว 2	0, 30, 60, 90 องศา

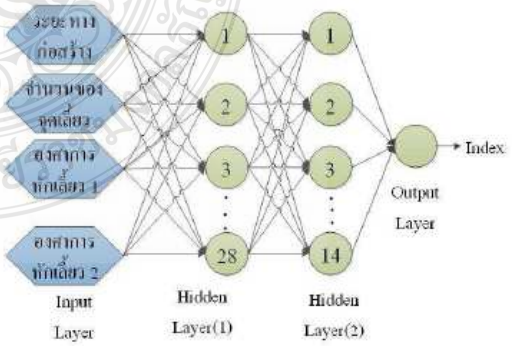
รูปที่ 2 ลักษณะการจัดข้อมูลสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่2 ค่าดัชนีเป้าหมายที่ใช้ชี้ค่าอุปกรณ์

Look up table							
อุปกรณ์/ดัชนี	1	2	3		3938	3939	3940
เสา 12 5T-M	1	1	1		49	49	49
เสา 12.35 5T-M	0	0	0		8	8	8
Angle support	0	0	0		49	49	49
Double Angle	0	0	0		0	0	0
เสา Stub	0	0	0		8	8	8
Buck arm	0	0	0		2	2	2
DE	1	1	1		1	1	1
DDE	0	0	0		5	5	5
ชุดแท็ปแยก	1	1	1		1	1	1
Down Guy	1	1	1		10	10	10
กับดักฟ้าผ่า	1	1	1		4	4	4
สาย ASC	111	126	142		6269	6285	6300
สาย OHGW	37	42	48		2090	2095	2100
เสา OHGW	1	1	1		57	57	57

3.2 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

บทความนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบป้อนไปข้างหน้า(Multiple-Layer Feedforward Network) ฝึกสอนแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-propagation) กฎการเรียนรู้ชนิด Levemberg-Marquardt เนื่องจากเหมาะกับการจดจำรูปแบบที่มีค่าเป้าหมาย ส่วนกฎการเรียนรู้แบบ Levemberg-Marquardt นั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด[4]ใช้จำนวนเซลล์ในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 28 เซลล์ ชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 14 เซลล์ เนื่องจากต้องการค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดค่าผิดพลาดน้อยกว่าทศนิยม10 ตำแหน่งฟังก์ชั่นในชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ tansigmoid ส่วนในชั้นเอาท์พุตใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ purelinear



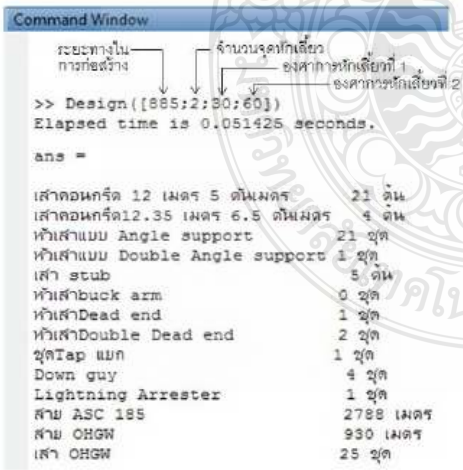
รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

3.3 การทำ Pre-Processing ของข้อมูลอินพุต

เนื่องจากการใส่ข้อมูลอินพุตที่ไม่ถูกต้องมีส่วนทำให้คำตอบของเอาท์พุตผิดพลาดดังนั้นจึงมีการทำ pre-processing ของข้อมูลอินพุต โดยจะแยกเป็นสองกรณี กรณีแรกข้อมูลอินพุตที่เกินขอบเขตที่กำหนด โปรแกรมจะแจ้งว่ามีการป้อนข้อมูลผิดพลาด กรณีที่สองข้อมูลอยู่ในขอบเขตแต่หากป้อนค่าเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมแล้วทำให้มีคำตอบผิดเพี้ยนจากค่าเป้าหมาย กรณีนี้โปรแกรมจะตรวจสอบข้อมูลอินพุตแล้วกรองข้อมูลว่าอินพุตมีค่าเป็นเท่าไรจึงเหมาะสมแล้วทำการกำหนดค่าเพื่อป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมโดยโปรแกรมจะกรองเฉพาะองศาการหักเลี้ยวในส่วนระยะทางโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพิจารณาได้

4.การทดลอง

การทดลองตัวอย่างในรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างการทดสอบโดยการป้อนอินพุตเข้าสู่โปรแกรม ข้อมูลแรกคือระยะทางการก่อสร้าง 885 เมตร ข้อมูลที่สองคือจำนวนจุดหักเลี้ยว 2 จุด ข้อมูลที่สามคือองศาการหักเลี้ยว1 30 องศา ข้อมูลที่สี่คือองศาการหักเลี้ยว2 60 องศา ข้อมูลทั้งสี่จะถูกป้อนเข้าโปรแกรมที่อยู่ในฟังก์ชัน Design โดยผลลัพธ์ของโปรแกรมจะให้คำตอบเป็นจำนวนอุปกรณ์การก่อสร้างระบบจำหน่าย 14 ชนิดจากตัวอย่างการทดสอบ โปรแกรมให้คำตอบที่ถูกต้องและใช้เวลา 0.05 วินาที จากการทดลองตัวอย่างอื่นๆที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด โปรแกรมสามารถคัดกรองข้อมูลและให้คำตอบที่ถูกต้องได้ เช่น จากรูปที่ 4 หากป้อนข้อมูลองศาการหักเลี้ยวที่ 2 เป็น 58 องศา โปรแกรมสามารถคัดกรองข้อมูลองศาการหักเลี้ยวที่ 2 ว่าควรจะมีค่าเป็น 60 องศา ผลของคำตอบจะให้ผลลัพธ์เดียวกันกับการป้อนข้อมูลองศาการหักเลี้ยวที่ 2 เป็น 60 องศา และอินพุตอีกสามตัวแปรโปรแกรมสามารถคัดกรองได้เช่นกัน



รูปที่ 4 ผลการทดสอบที่ได้จากการประมาณการของโปรแกรมที่นำเสนอ

หากป้อนข้อมูลอินพุตที่อยู่นอกขอบเขตที่กำหนดโปรแกรมจะแจ้งเตือนว่าข้อมูลที่ป้อนผิดพลาด ข้อมูลที่ทำการทดสอบมี 4 ประเภท 1.ข้อมูลตรงตามเป้าหมาย 2.ข้อมูลระยะทางไม่ตรงกับเป้าหมาย 3.มุมองศาเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย 4.ข้อมูลระยะทางและมุมองศาเลี้ยวไม่ตรงกับเป้าหมาย ผลคือหากใส่ค่ามุมองศาเลี้ยวไม่ตรงเป้าหมายจะทำให้คำตอบไม่ถูกต้องแก้ไขโดยใช้โปรแกรมกรองข้อมูลองศาเลี้ยวก่อน

5.สรุป

การนำความรู้ในการถอดแบบหาอุปกรณ์ระบบจำหน่าย 24 kV มาฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อช่วยในการหาจำนวนอุปกรณ์ทำให้การถอดแบบหาจำนวนอุปกรณ์ทำได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถถอดแบบได้หลายแบบในเวลาเดียวกัน เนื่องจากการคำนวณเป็นแบบขนาน ช่วยในการแก้ปัญหาการถอดแบบที่มีแบบจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วหรือแบบที่มีระยะทางไกลเพราะแบบจะมีอุปกรณ์ที่ใช้จำนวนมากจึงใช้เวลาในการถอดแบบนานนอกจากจะรวดเร็วแล้วยังมีความถูกต้องแม่นยำอีกด้วย โดยผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำตรงกับค่าเป้าหมาย จากบทความสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ช่วยถอดแบบหาจำนวนอุปกรณ์ รวมถึงหากกรณีที่แบบซับซ้อนมากขึ้น สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมมาฝึกสอนให้โครงข่ายมีความสามารถแก้ปัญหาได้มากขึ้น นอกจากถอดแบบหาอุปกรณ์แล้วยังสามารถใช้ตรวจสอบการถอดแบบโดยบุคคลว่ามีการเบิกอุปกรณ์ถูกต้องหรือไม่ และหากมีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานสามารถนำข้อมูลเข้ามาฝึกสอนเพิ่มเติมได้ ในอนาคตมีการเขียนโปรแกรม GUI เพื่อให้ใช้งานง่ายบุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้านครหลวงที่ได้สนับสนุนข้อมูลมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบจำหน่ายและ คู่มือการออกแบบประมาณราคา เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง, มาตรฐานการติดตั้ง สายอากาศ

[2] บัณฑิต ฤทธิ์ทอง, การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.

[3] คณะผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐานติดตั้งสายใน/สายนอกและความปลอดภัย การไฟฟ้านครหลวง, คู่มือการออกแบบประมาณราคา

[4] H. Demuth and M. Beale., Neural Network Toolbox User's Guide. The Mathworks Inc., January 1998.

ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON-36)

วันที่ 11-13 ธันวาคม พ.ศ. 2556

ขอมอบใบรับรองการนำเสนอผลงาน

ให้แก่

Mr.Wanattapong Chaiyanon

เรื่อง Using Artificial Neural Networks to Support in Equipment Estimating for 24kV Distribution System

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุรุพัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายวณัฏฐพงศ์ ไชยานนท์
วัน เดือน ปี	28 เมษายน 2529
ที่อยู่	35/386 หมู่ 1 ถนนเลียบคลองสาม ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12120
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2551	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2552 - 2553	ตำแหน่ง Hardware Engineer บริษัท Precise System and Project
พ.ศ. 2553 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า 5 แผนกบำรุงรักษาระบบจำหน่าย การไฟฟ้านครหลวงเขตลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์	0925825465
Email	nut10446@hotmail.com