สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉาดกระบัง

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายโดยใช้ระบบจำหน่ายใต้ดิน

STUDY OF RELIABILITY IMPROVEMENT USING UNDERGROUND DISTRIBUTION

โดย

1. นายภูธเรศ สุวรรณวิโก
2. นายมุนินทร์ สุวรรณโพธิ์ศรี
3. นายรวิชญ ศรีน้อย
4. นายสมศักดิ์ ถนอมกิตติ

ปช.
ภ541ก
2550

เลขหมู่.....
ทะเบียน 82941
วัน,เดือน,ปี 29 ก.ค. 2551

b 11956720
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายโดยใช้ระบบจำหน่ายใต้ดิน

STUDY OF RELIABILITY IMPROVEMENT USING UNDERGROUND DISTRIBUTION

โดย

1. นายภูธเรศ สุวรรณวิโก
2. นายมุนินทร์ สุวรรณโพธิ์ศรี
3. นายรวิชญ ศรีน้อย
4. นายสมศักดิ์ ถนอมกิตติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ชายชาญ โพธิสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายโดยใช้ระบบจำหน่ายใต้ดิน

ผู้จัดทำ

1. นายภูธเรศ สุวรรณวิโก
2. นายมุนินทร์ สุวรรณโพธิ์ศรี
3. นายรวิชญ ศรีน้อย
4. นายสมศักดิ์ ถนอมกิตติ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ชวชาญ โพธิสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายโดยใช้ระบบจำหน่ายใต้ดิน

นายภูธเรศ สุวรรณวิโก
นายมุนินทร์ สุวรรณโพธิ์ศรี
นายรวิชญ ศรีน้อย
นายสมศักดิ์ ถนอมกิตติ
อาจารย์ ชายชาญ โพธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อให้ระบบจำหน่ายภายในมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น นั่นคือสามารถลดจำนวนครั้งไฟฟ้าดับ และระยะเวลาไฟฟ้าดับในแต่ละครั้งลดลง โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลไฟดับจากการไฟฟ้าและข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถาบันฯเพื่อหาค่าดัชนี วิเคราะห์หาสาเหตุจุดบกพร่องของระบบจำหน่ายแบบปักเสาพาดสายและทำแผนการปรับปรุง บำรุงรักษาระบบจำหน่ายเดิมรวมทั้งการปรับปรุงโดยการออกแบบระบบจำหน่ายใต้ดินและทำการตั้งเป้าหมายของค่าดัชนีที่คาดหวังและคำนวณราคาในแต่ละวิธีที่ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF RELIABILITY IMPROVEMENT USING UNDERGROUND DISTRIBUTION

Putaras Suwanviko
Munin Suwannaposi
Rawichon Srinoy
Somsak Thanomkitti
Chanchai Pothisarn advisor
2007

ABSTRACT

This thesis present the reliability improvement for distribution system in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang(KMITL), decrease frequency and duration of outage. The study starting from collect outage data from Metropolitan Electricity Authority and energy consumption data from KMITL to find reliability indices. This thesis analyze cause of outage and prepare maintenance plan for overhead distribution system and the underground distribution system that was designed and estimated the cost of construction to improve the KMITL's distribution system to reach the expected reliability indices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากคณะอาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย ทางทีมงานใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือดังนี้

อาจารย์ ชายชาญ โพธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนวทางการทำโครงงานรวมทั้งข้อมูลในการทำโครงงาน

อาจารย์ วุฒิชัย ชาติพัฒนานันท์ ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ข้อมูลด้านการทรุดตัวของดินในเขตลาดกระบัง

พี่สุเมท แป้งหอม เจ้าหน้าที่กองแผนงานสำนักอธิการบดี ที่ให้ความช่วยเหลือด้านพิมพ์เขียวแผนผังระบบไฟฟ้าภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พี่บอม พี่อ้นและพี่แขก **เจ้าหน้าที่ในหน่วยพลังงานหารสอง สำนักอธิการบดี ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

คุณวิรัช ยุทธวิชัย และ คุณประจวบ จันทน์ธรรม วิศวกรแผนกบำรุงรักษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้านครหลวงเขตสมุทรปราการ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลไฟดับของการไฟฟ้านครหลวง

คุณภิญโญ ฤกษ์เย็น วิศวกรก่อสร้างสายส่งใต้ดิน การไฟฟ้านครหลวงเขตคลองเตย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลการออกแบบระบบจำหน่ายใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I

ABSTRACT.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญภาพ.....VI

สารบัญตาราง.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน.....2

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน.....2

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน.....3

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....4

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า.....5

2.1.1 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า.....5

2.1.2 การกำหนด SAIFI, SAIDI ตามความสำคัญของผู้ใช้ไฟ.....8

2.2 การเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ดัชนีความเชื่อถือได้.....9

2.2.1 ข้อมูล.....9

2.3 สาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องและการปรับปรุง.....18

2.3.1 สาเหตุที่ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้ต่ำลงและแนวทางปรับปรุง.....18

2.3.2 การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบ.....20

2.4 อุปกรณ์และการติดตั้งในระบบไฟฟ้าใต้ดิน.....25

2.4.1 สายไฟฟ้าใต้ดิน.....25

2.4.2 ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน.....30

2.4.3 บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน.....32

2.4.4 ตัวต่อสายไฟฟ้าหรือจุดต่อสาย.....33

2.4.5 หัวต่อสายไฟฟ้าใต้ดิน.....33

2.4.6 หัวต่อสายไฟฟ้าใต้ดิน.....33

2.4.7 เสาไรเซอร์.....34

2.4.8 เทป.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.9 การออกแบบการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน.....35
2.4.10 การออกแบบบ่อพักสาย.....36
2.4.11 การวางสายไฟฟ้าใต้ดิน.....38
2.4.12 การหล่อลื่น.....39
2.4.13 การตรวจสอบและล้างท่อสายไฟฟ้าใต้ดิน.....40
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง.....42
3.1 รูปแบบการทดลอง.....42
3.2 วิธีการทำการทดลอง.....42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....44
4.1 ข้อมูลภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....44
4.2 แนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในระบบปักเสาพาดสาย ภายในสถาบัน.....50
4.3 กิจกรรมการบำรุงรักษา โดยการสำรวจเพื่อบำรุงรักษาและดำเนินการแก้ไข.....53
4.4 แนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดิน ภายในสถาบัน.....59
4.5 การประเมินราคา.....64
4.6 ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าเป้าหมายที่คาดหวัง.....75
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....77
ภาคผนวก.....79
บรรณานุกรม.....83
ประวัติผู้เขียน.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงองค์ประกอบระบบข้อมูลความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์.....10
2.2 แสดงแนวทางการออกแบบระบบข้อมูลความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ระบบจำหน่าย.....11
2.3 แสดงโครงสร้างโดยสายป้อนทั่วไป.....20
2.4 แสดงโครงสร้างของสายป้อนกับการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน.....21
2.5 แสดงการพิจารณาอุปกรณ์วิกฤตของระบบ.....24
2.6 แสดงโครงสร้างของสายไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable).....26
4.1 แสดง Switching Diagram.....44
4.2 แสดง One Line Diagram ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..45
4.3 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..46
4.4 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ).....47
4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIFI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ.....49
4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIDI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ.....49
4.7 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภายหลังการปรับปรุง.....51
4.8 แสดงLay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภายหลังการปรับปรุง(ต่อ).....52
4.9 แสดงแผนผังการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าเคเบิลใต้ดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....61
4.10 แสดงเสาไฟฟ้าหน้าหอสมุดรับไฟเข้า Zone 2 จาก CG-414.....62
4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIFI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ.....75
4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIDI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ.....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อุปกรณ์หลักและชนิดของอุปกรณ์ที่ชำรุด....16

2.2 สรุปค่าดัชนี SAIFI, SAIDI ที่ได้รับผลกระทบจากการบำรุงรักษาแบบป้องกัน....23

2.3 ตารางเปรียบเทียบสายไฟฟ้าทองแดงและอลูมิเนียมในงานวิศวกรรม....27

4.1 ค่า SAIFI , SAIDI จากการเก็บข้อมูลภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง....48

4.2 การตรวจสอบด้วยสายตา (กล้องส่องทางไกล)....53

4.3 การตรวจสอบ Partial Discharge (เครื่องตรวจจับเสียง Partial Discharge), (Ultrasonic Probe)....54

4.4 การตรวจสอบจุดร้อนแดง (กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo vision))....55

4.5 วิธีการแก้ไขของลูกถ้วย....55

4.6 วิธีการแก้ไขของ Over Head Ground Wire....56

4.7 วิธีการแก้ไขของ สาย Lead ลงหม้อแปลง....56

4.8 วิธีการแก้ไขของ Switch ใบมีด....56

4.9 วิธีการแก้ไขของ Drop Fuse....57

4.10 วิธีการแก้ไขของ Lightning Arrester....57

4.11 วิธีการแก้ไขของ Spacer....58

4.12 BILL OF QUANTITY ของระบบไฟฟ้าต่างๆ....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นสิ่งที่กำลังเพิ่มมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อประเทศรวมทั้งปัญหาไฟฟ้าดับทั้งภายในสถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังและภายนอกสถาบัน ทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายมีความน่าเชื่อถือลดลง จึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาสาเหตุและวิธีการแก้ไขโดยระบบไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ 1.ผู้ผลิตไฟฟ้า , 2.ผู้จำหน่ายไฟฟ้า และ 3.ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งระบบจำหน่ายเป็นระบบที่มีความสำคัญระบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่จะเชื่อมโยงระหว่างผู้จำหน่ายไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้บริโภคได้ตามความต้องการของผู้บริโภคหรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถสร้างความพึงพอใจในการใช้ไฟฟ้าให้กับผู้บริโภคนั้น ระบบจำหน่ายต้องเป็นระบบที่ดีซึ่งการที่จะทราบถึงว่าระบบใดเป็นระบบจำหน่ายที่ดีหรือไม่นั้นจำเป็นต้องมีดัชนี เพื่อบ่งบอกถึงระดับความน่าเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าของระบบจำหน่ายนั้น ซึ่งวิธีการที่จะได้มาซึ่งดัชนีค่าความน่าเชื่อถือ จะต้องมีการเก็บข้อมูลไฟฟ้าดับจากการไฟฟ้าและข้อมูลการใช้พลังงานจาก Digital Meter รวมทั้งศึกษาการประเมินค่าดัชนีเหล่านี้ เพื่อนำค่าดัชนีต่างๆเหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ความสำคัญในการประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการลงทุนให้สอดคล้องกับเป้าหมายและความจำเป็น เพื่อปรับปรุงคุณภาพและมาตรฐาน ผลจะทำให้สามารถลดปัญหาไฟดับได้มากและปรับปรุงมาตรฐานการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายโดยใช้สายส่งใต้ดิน ที่เห็นได้ชัดคือ ปัญหาไฟฟ้าดับที่จะเกิดจากสาเหตุต่างๆจะลดน้อยลง ทำให้มีรายได้จากการขายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และการลดลงของค่าใช้จ่ายแก้ไขความเสียหาย การเพิ่มความปลอดภัย อีกทั้งเป็นการเพิ่มความพอใจของลูกค้าของการไฟฟ้าด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาถึงการลดค่าดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับภายในสถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยการพิจารณาวิธีการแก้ปัญหาในลักษณะต่างๆทั้งการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายแบบปักเสาพาดสายที่มีอยู่แล้วและปรับเปลี่ยนระบบไปเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายส่งเคเบิลใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

ทำการเก็บข้อมูลไฟดับจากการไฟฟ้าและข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและหาดัชนีการเกิดไฟดับเปรียบเทียบกันเพื่อวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุต่าง ๆที่สามารถเกิดขึ้นได้จากทั้งการไฟฟ้าและภายในสถาบัน โดยการพิจารณาถึงราคาของการปรับปรุงระบบจำหน่ายที่เป็นระบบปักเสาพาดสายเดิมเปรียบเทียบกับราคาของการปรับเปลี่ยนระบบจำหน่ายเป็นระบบจำหน่ายเคเบิลใต้ดินเพื่อเลือกวิธีการปรับปรุงผลทำให้สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายได้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1) ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

- ทำการเก็บข้อมูลไฟดับของการไฟฟ้าและข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สำรวจผังระบบจำหน่ายไฟฟ้า 24 kV ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ทำการศึกษาหนังสือ ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของ รศ.ดร ชำนาญ ห่อเกียรติ
- ทำการศึกษาวิทยานิพนธ์ เรื่อง การประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ของ คุณอำนาจ ถาสุดใจ
- ทำการศึกษาคำแนะนำการติดตั้งระบบสายใต้ดินในพื้นที่จัดสรรของการไฟฟ้านครหลวง
- ทำการศึกษาหนังสือ การหาค่าความน่าเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังเบื้องต้น ของ คุณตฤณ แสงสุวรรณ

2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

- หาค่าดัชนีการเกิดไฟดับจากข้อมูลสถิติไฟฟ้าดับจากการไฟฟ้าและดัชนีการเกิดไฟดับจากข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับของการไฟฟ้ากับข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งของการไฟฟ้าและภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3) ขั้นตอนการหาแนวทางการแก้ปัญหา

- นำปัญหาต่าง ๆที่เกิดขึ้นมาหาแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มความเชื่อถือของระบบจำหน่าย
- พิจารณาราคาในการปรับปรุงระบบจำหน่ายที่เป็นระบบปักเสาพาดสายเดิมเปรียบเทียบกับราคาของการปรับเปลี่ยนระบบจำหน่ายเป็นระบบจำหน่ายเคเบิลใต้ดิน เพื่อเลือกวิธีการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

เดือน / งาน	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.เก็บข้อมูลไฟฟ้าดับของการไฟฟ้าและของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง	←								→																											
2.สำรวจผังระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบ 24 kV ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง					←				→																											
3.ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมด	←																→																			
4.คำนวณหาค่าดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับของการไฟฟ้าและของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง									←								→																			
5.เปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับของการไฟฟ้าและของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง													←				→																			
6.วิเคราะห์ปัญหาของระบบจำหน่าย พร้อมหาวิธีการปรับปรุงระบบจำหน่าย																	←								→											
7.คำนวณราคาของวิธีการปรับปรุงแต่ละวิธีเพื่อพิจารณาเลือกวิธีการปรับปรุง																													←				→			

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1) มีแนวทางในการลดจำนวนไฟดับ

2) สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการแก้ไขความเสียหาย

3) เพิ่มความปลอดภัยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

4) เพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า

5) เพิ่มความสวยงามของทัศนียภาพภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์

ในบทที่ 1 จะเป็นส่วนของบทนำ โดยกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา, วัตถุประสงค์ของโครงงาน, ขอบเขตของโครงงาน, วิธีการและแผนการดำเนินโครงงานและประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้

ในบทที่ 2 จะเป็นส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงานโดยจะกล่าวถึงเรื่องความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, เรื่องการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ดัชนีความเชื่อถือได้, เรื่องสาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องและการปรับปรุงและเรื่องอุปกรณ์และการติดตั้งในระบบไฟฟ้าใต้ดิน

ในบทที่ 3 จะเป็นส่วนของการออกแบบการทดลองโดยจะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่าย

ในบทที่ 4 จะเป็นส่วนของผลการทดลองโดยจะกล่าวถึงผลของการศึกษาวิธีการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่าย

และในบทที่ 5 จะเป็นส่วนของการสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะโดยจะกล่าวถึงข้อสรุปของวิธีการศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายภายในสถาบันในแบบต่างๆ และข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

2.1.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทั่วไปที่กล่าวตั้งแต่ต้นได้แก่ ความพร้อมใช้งาน (Availability) ซึ่งถือเป็นดัชนีพื้นฐานสำหรับการวัดความเชื่อถือได้ของระบบ แต่ถ้าวัดความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายจำเป็นต้องมีดัชนีเพิ่มเติม ทั้งนี้เป็นเพราะดัชนีความพร้อมใช้งาน A ไม่ได้บอกจำนวนครั้งของเกิดไฟดับซึ่งในทางปฏิบัติจำนวนครั้งของการเกิดไฟดับถือเป็นเรื่องสำคัญมาก นอกจากจำนวนครั้งของไฟดับซึ่งถือว่าเป็นดัชนีความเชื่อถือได้ชี้บ่งเพื่อบอกสมรรถนะของระบบแล้วยังควรรวมเรื่องไฟกะพริบเข้ามาเป็นดัชนีชี้วัดด้วยเพราะอุตสาหกรรมบางประเภทได้รับความเสียหายเนื่องจากไฟกะพริบ

ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ใช้กันมากได้แก่ SAIFI , SAIDI , MAIFI ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดแต่ละดัชนีไว้ในตอนต่อไปนี้

1) SAIFI (System Average Interruption frequency Index)

SAIFI คือ ค่าดัชนีแสดงจำนวนครั้งไฟดับเฉลี่ยที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณามีหน่วยเป็น ครั้ง/ราย/ระยะเวลา (เดือน,ปี)

$$SAIFI = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} \qquad (2.1)$$

SAIFI เป็นดัชนีที่ใช้กันมากเพื่อบอกคุณภาพของไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับ SAIFI เป็นค่าเฉลี่ยที่คิดจากกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับไฟฟ้าจากสายป้อนหรือสถานีไฟฟ้าย่อย SAIFI เป็นค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับ ดัชนีดังกล่าวอาจไม่สะท้อนความเป็นจริงนักในกรณีผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบจากจำนวนครั้งไฟดับที่แตกต่างกันมาก SAIFI บอกได้เป็นค่าเฉลี่ยเท่านั้น ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายมีจำนวนครั้งไฟฟ้าดับต่างจาก SAIFI มากได้ เช่นผู้ใช้ไฟฟ้าสี่กลุ่มในสายป้อนหนึ่งได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าดับต่างกันเป็น 2,5,15,20 ครั้งต่อปี แต่ละกลุ่มมีจำนวนผู้ใช้ไฟ 200,200,100,50 ราย เมื่อคำนวณ SAIFI ได้ค่าเท่ากับ 7 ครั้งต่อผู้ใช้ไฟต่อปี จะเห็นว่าบางรายเกิดไฟดับเพียง 2 ครั้งต่อปี แต่ดัชนี SAIFI มีค่าเป็น 7 เป็นต้น

2) SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

SAIDI คือ ค่าดัชนีแสดงระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟ 1 รายในช่วงระยะเวลาที่พิจารณามีหน่วยเป็น นาที/ราย/ระยะเวลา (เดือน,ปี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SAIDI = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละครั้งคูณเวลาในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}} \quad (2.2)$$

การประเมินค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI เพื่อบ่งบอกถึงการบริการต่อผู้ใช้ไฟในแต่ละพื้นที่ โดยใช้จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบในการคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3) MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index)

MAIFI คือ ค่าดัชนีแสดงจำนวนครั้งไฟดับเฉลี่ยที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย สำหรับระยะเวลาไฟดับที่น้อยกว่า 1 หรือ 5 นาที (แล้วแต่มาตรฐานแต่ละแห่งจะกำหนดระยะเวลาดังกล่าวเพื่อนิยาม MAIFI) ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ครั้ง/ราย/ระยะเวลา (เดือน, ปี) แต่ส่วนใหญ่จะกำหนดไว้ที่ 1 นาที นั่นคือ ถ้าเกิดไฟดับนานน้อยกว่า 1 นาที เรียกว่าไฟกะพริบ แต่ถ้าเกิดไฟดับนานกว่า 1 นาทีเรียกว่าไฟดับ เป็นต้น

$$MAIFI = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับนานน้อยกว่า 1 นาทีในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} \quad (2.3)$$

จำนวนครั้งไฟดับเฉลี่ยของดัชนีนี้เป็นการบอกถึงจำนวนไฟดับที่มีระยะเวลาไฟดับสั้น ซึ่งอาจมีผลกระทบกับอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความเสียหายมากต่อหนึ่งครั้งของการเกิดไฟดับไม่ว่าจะเกิดไฟดับนานเท่าใดก็ตาม เช่น อุตสาหกรรมการทอ อุตสาหกรรมโพลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อเกิดไฟดับก็ต้องเริ่มกระบวนการใหม่ทั้งหมดทำให้เกิดความเสียหายมากต่อครั้ง แต่อุตสาหกรรมประเภทนี้อาจมีจำนวนไม่มากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมทั้งหมด

ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับชั่วคราวต่อผู้ใช้ไฟหรือ MAIFI แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ประกอบด้วย MAIFI และ $MAIFI_E$ ซึ่งมีหลักการคำนวณแตกต่างกันจึงมีจุดประสงค์ที่นำไปใช้ต่างกัน $MAIFI_E$ เหมาะที่นำไปใช้ดูแลผู้ใช้ประเภทอุตสาหกรรมที่ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นหลักและได้รับผลกระทบเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ากระพริบ โดยปกติการไฟฟ้าระบบจำหน่ายบางแห่งจะมีการตั้งค่าการทำงาน trip/reclose ที่ประมาณ 3 ครั้งก่อน lock out คือ ทริปที่เวลา 5,15 และ 30 วินาที โดยประมาณ

MAIFI ทั้ง 2 ประเภทนับไฟกระพริบเป็นจำนวนครั้งและนับเป็นเหตุการณ์ ดังนี้

$$MAIFE_E = \frac{\text{ผลรวมจำนวนเหตุการณ์ไฟกระพริบคูณผู้ใช้ไฟที่ถูกกระทบทั้งหมด}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MAIFI = \frac{\text{ผลรวมจำนวนครั้งไฟกระพริบคูณผู้ใช้ไฟที่ถูกกระทบทั้งหมด}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} \quad (2.5)$$

4) ดัชนีความเชื่อถือได้อื่นๆ

นอกเหนือจากดัชนี SAIFI, SAIDI, MAIFI ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีดัชนีที่ใช้ชี้วัดสมรรถนะความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าโดยพิจารณาจากผู้ใช้ไฟฟ้า หรือโดยพิจารณาภาพรวมหรือโดยการพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถบ่งบอกสมรรถนะของระบบได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์

ดัชนีที่ชี้วัดสมรรถนะของระบบไฟฟ้าจากมุมมองของการไฟฟ้าได้แสดงไว้ข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว คือ SAIFI, SAIDI, MAIFI ซึ่งคิดจากจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ แต่ถ้ามองสมรรถนะของระบบไฟฟ้าจากมุมมองของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ถูกกระทบเนื่องจากไฟดับก็ให้พิจารณาจากดัชนีความเชื่อถือได้ CAIFI, CAIDI ซึ่งมีสมการคำนวณดังนี้

CAIFI; Customer Average Interruption Frequency Index

$$\text{ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่ได้รับผลกระทบ}} \quad (2.6)$$

CAIDI; Customer Average Interruption Duration Index

$$\text{ค่าเฉลี่ยระยะเวลาไฟดับต่อผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ} = \frac{\text{ผลรวมของ(จำนวนผู้ใช้ไฟถูกกระทบในแต่ละครั้งคูณเวลาในแต่ละครั้ง)}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่ได้รับผลกระทบ}} \quad (2.7)$$

ASAI; Average Service Availability Index

$$\text{ค่าเฉลี่ยการให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟ} = \frac{\text{เวลาที่สามารถบริการให้แก่ผู้ใช้ไฟ}}{\text{เวลาที่ผู้ใช้ไฟต้องการกระแสไฟฟ้า}} \quad (2.8)$$

ASUI; Average Service Unavailability Index

$$\text{ค่าเฉลี่ยการไม่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟ} = \frac{\text{เวลาที่ไม่สามารถบริการให้แก่ผู้ใช้ไฟ}}{\text{เวลาที่ผู้ใช้ไฟต้องการกระแสไฟฟ้า}}$$

$$= 1 - ASAI \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENS; Energy Not Supplied Index

พลังงานทั้งหมดที่จ่ายไม่ได้จากระบบ

= ผลรวมของค่าโหลดเฉลี่ยที่สูญเสียไปเนื่องจากไฟดับกับช่วงระยะเวลาของการเกิดไฟดับ

ค่าดัชนี CAIFI และ CAIDI เป็นการพิจารณาเฉพาะผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ โดยดัชนี CAIDI เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องเฉลี่ย นั่นคือ ใช้เวลากี่นาทีในการแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งค่าดัชนี CAIDI นี้คิดจากระยะเวลาเฉลี่ยของการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้งของการเกิดไฟดับ แต่ถ้าไปเทียบกับค่า SAIDI จะมีค่าต่างกัน เพราะ SAIDI คิดจากระยะเวลาเฉลี่ยทั้งหมดที่เกิดไฟดับต่อระยะเวลาที่พิจารณา

ค่าดัชนี ASAI และ ASUI เป็นดัชนีที่บ่งบอกสมรรถนะความเชื่อถือได้ของระบบโดยรวมในรูปของเวลาถ้ามีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอให้กับผู้ใช้ไฟ ASAI จะมีค่าน้อย และทำให้ ASUI มีค่ามากขึ้น เพราะทั้งสองดัชนีนี้มีความเกี่ยวพันกัน โดยค่าดัชนี ASAI และ ASUI นี้จะถูกพิจารณาออกมาในรูปของความน่าจะเป็นที่จะมีปริมาณพลังงานในการจ่ายโหลดได้และการจ่ายโหลดไม่ได้ตามลำดับ

ค่าดัชนีทั้งสามนี้สามารถคำนวณจาก SAIFI และ SAIDI ได้ เช่น ถ้าระบบมี SAIFI = 5 ครั้ง/ราย/ปี และ SAIDI = 400 นาที/ราย/ปี เพราะฉะนั้น

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{400}{5} = 80 \quad \text{นาที/ครั้ง}$$

$$ASUI = \frac{400}{(8760 * 60)} = 0.000761$$

$$ASAI = 1 - 0.000761 = 0.9992389$$

2.1.2 การกำหนด SAIFI, SAIDI ตามความสำคัญของผู้ใช้ไฟ

SAIFI และ SAIDI เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพของการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ถ้ามีไฟดับบ่อยครั้งค่า SAIFI จะมีค่าสูง ซึ่งค่าดังกล่าวมักบอกเป็นจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ไฟหนึ่งรายต่อระยะเวลาที่พิจารณา เช่น 5 ครั้งต่อผู้ใช้ไฟต่อปี และถ้าค่าเฉลี่ยไฟดับแต่ละครั้งนาน ค่า SAIDI ก็จะมีค่ามาก ซึ่งมักบอกเป็นนาทีต่อผู้ใช้ไฟฟ้าต่อปี เช่น 45 นาทีต่อผู้ใช้ไฟต่อปี

ค่า SAIFI, SAIDI ควรมีค่าเท่าใดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่นั้นว่ามีความพอใจในการจ่ายไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด เช่น ในประเทศที่เจริญและอยู่ในเขตธุรกิจ ผู้ใช้ไฟฟ้าอาจต้องการค่า SAIFI, SAIDI ต่ำเมื่อเทียบกับประเทศที่กำลังพัฒนาในพื้นที่แบบเดียวกัน หรือในประเทศเดียวกันผู้ใช้ไฟที่อยู่ในเมืองหลวงอาจต้องการค่า SAIFI, SAIDI ต่ำในขณะที่ชาวบ้านในชนบทอาจพอใจกับการจ่ายไฟที่มีค่า SAIFI, SAIDI สูงกว่าคนที่อยู่ในเมือง

จำนวนครั้งที่เกิดไฟดับต่อผู้ใช้ไฟต่อปี (SAIFI) และระยะเวลาเฉลี่ยของการเกิดไฟดับต่อปี (SAIDI) มีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นกับความพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่นั้นๆ ถ้าผู้ใช้ไฟใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ใดมีความไม่พอใจในการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า การไฟฟ้าก็ต้องปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีจำนวนครั้งของไฟดับและระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยต่อครั้งน้อยลง ดังนั้นการลงทุนของการไฟฟ้าเพื่อลดค่า SAIFI, SAIDI ก็ขึ้นกับแต่ละพื้นที่เป็นเกณฑ์ถ้าเป็นการจ่ายไฟในเมืองหรือธุรกิจก็ต้องปรับปรุงให้จำนวนไฟดับต่ำและระยะเวลาไฟดับต่อครั้งน้อย แต่ถ้าเป็นชนบทหรือพื้นที่อาศัยของชาวบ้านที่อยู่ในเขาก็ไม่จำเป็นต้องลงทุนความเชื่อถือได้ในการจ่ายไฟให้สูง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้การตั้งค่า SAIFI, SAIDI เพื่อปรับปรุงระบบจึงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่บางครั้งอาจกำหนดระดับ SAIFI, SAIDI ตามพื้นที่อุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย พาณิชย์ เป็นต้น ทั้งนี้ต้องสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก

2.2 การเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ดัชนีความเชื่อถือได้

2.2.1 ข้อมูล

1) การเก็บข้อมูล (Data Collection)

การวางแผนระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลในอดีตของระบบและอุปกรณ์ ซึ่งถ้าไม่มีการบันทึกข้อมูลก็ไม่สามารถทำการวางแผนได้ ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการวางแผนเพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ก็จำเป็นต้องมีการบันทึกข้อมูลของอุปกรณ์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเดิมเพื่อให้ทราบว่าระบบที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างไรและมีปัญหาอะไร สาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องมีอะไรบ้าง

การเก็บข้อมูลถือเป็นเรื่องสำคัญที่สุดในการวางแผน ปรับปรุง และวิเคราะห์หาความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ถ้าไม่มีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ต่างๆเพื่อปรับปรุงระบบให้มีความเชื่อถือได้ก็ทำได้ลำบาก หรือถ้าข้อมูลที่เก็บไม่ถูกต้องหรือหากมีการบิดเบือนข้อมูลก็จะทำให้ระดับความน่าเชื่อถือได้ที่คำนวณได้นั้นผิดไปจากความจริงและเป็นสาเหตุหลักที่นำไปสู่ความสูญเสียของทั้งระบบ

การใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่สมบูรณ์สุดประกอบด้วย แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ซึ่งต้องมีการเก็บข้อมูลมากพอ โดยที่ผู้เก็บข้อมูลต้องเข้าใจในวิธีการเก็บข้อมูลและสามารถการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานได้

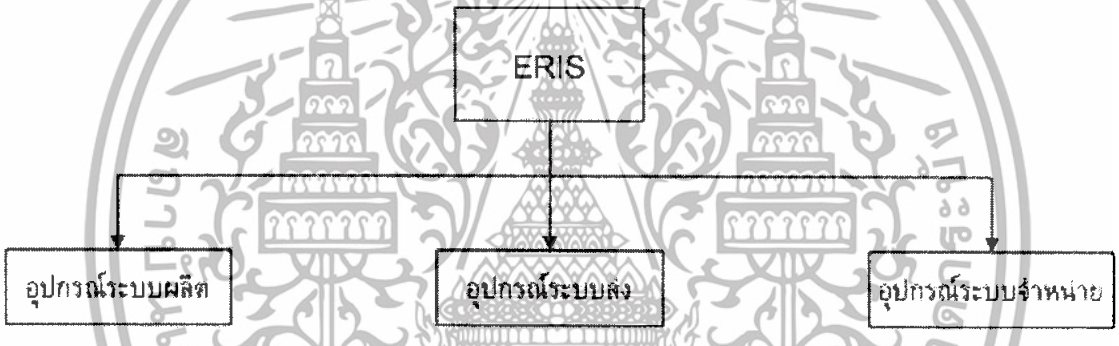
แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลต้องมีการออกแบบเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นก่อนจะออกแบบฟอร์มข้อมูล ต้องทราบก่อนว่าจะนำข้อมูลอะไรไปใช้ในการวิเคราะห์ และวิเคราะห์อะไร สิ่งที่จะวิเคราะห์ควรมีเป้าหมายอะไรที่ชัดเจน เช่น ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุของกระแสไฟฟ้าขัดข้องเพื่อลดจำนวนไฟฟ้าขัดข้องให้ลดน้อยลง เป็นต้น ปัญหาที่สำคัญที่ต้องระวังคือ ข้อมูลที่จะเก็บควรเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ ไม่ควรเก็บข้อมูลทุกอย่างที่นึกได้โดยไม่ทราบว่าจะนำไปใช้อะไร เพราะทำให้เสียเวลาในการเก็บข้อมูล ทำให้ผู้เก็บข้อมูลไม่ทราบวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนและขาดความสนใจในการเก็บ แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลควรออกแบบโดยนักวางแผนระบบไฟฟ้าที่ทราบเนื้อหาในเรื่องนั้นเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้าใจในการกรอกข้อมูลสำหรับหน้างานเป็นเรื่องสำคัญเพราะข้อมูลที่ออกแบบไว้ในการกรอกในแบฟอร์มมีวัตถุประสงค์ที่จะนำไปวิเคราะห์ ดังนั้นถ้ามีคู่มือชี้แจงความสำคัญของข้อมูลที่ต้องใช้ในแต่ละชุดก็จะทำให้ผู้เก็บข้อมูลเข้าใจความสำคัญของข้อมูลดังกล่าวและทำให้กรอกข้อมูลได้ถูกต้องด้วย

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานอาจเป็นหน้าที่ของผู้เก็บข้อมูลเองหรืออาจเป็นหน้าที่ของฝ่ายอื่นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการแบ่งหน้าที่ในองค์กร แต่อย่างไรก็ตามผู้เก็บข้อมูลก็อาจรับทราบว่าข้อมูลที่เก็บจะนำไปวิเคราะห์อะไรได้บ้างและมีประโยชน์ต่อการทำงานหรือไม่อย่างไร เพื่อให้ผู้เก็บข้อมูลและผู้วิเคราะห์เข้าใจเรื่องราวทั้งหมด

ในการพัฒนาระบบความหน้าเชื่อถือของอุปกรณ์(The Equipment Reliability Information System; ERIS) ประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ การเก็บข้อมูลอุปกรณ์ระบบผลิต การเก็บข้อมูลอุปกรณ์ระบบส่งและการเก็บข้อมูลอุปกรณ์ระบบจำหน่าย ดังรูป

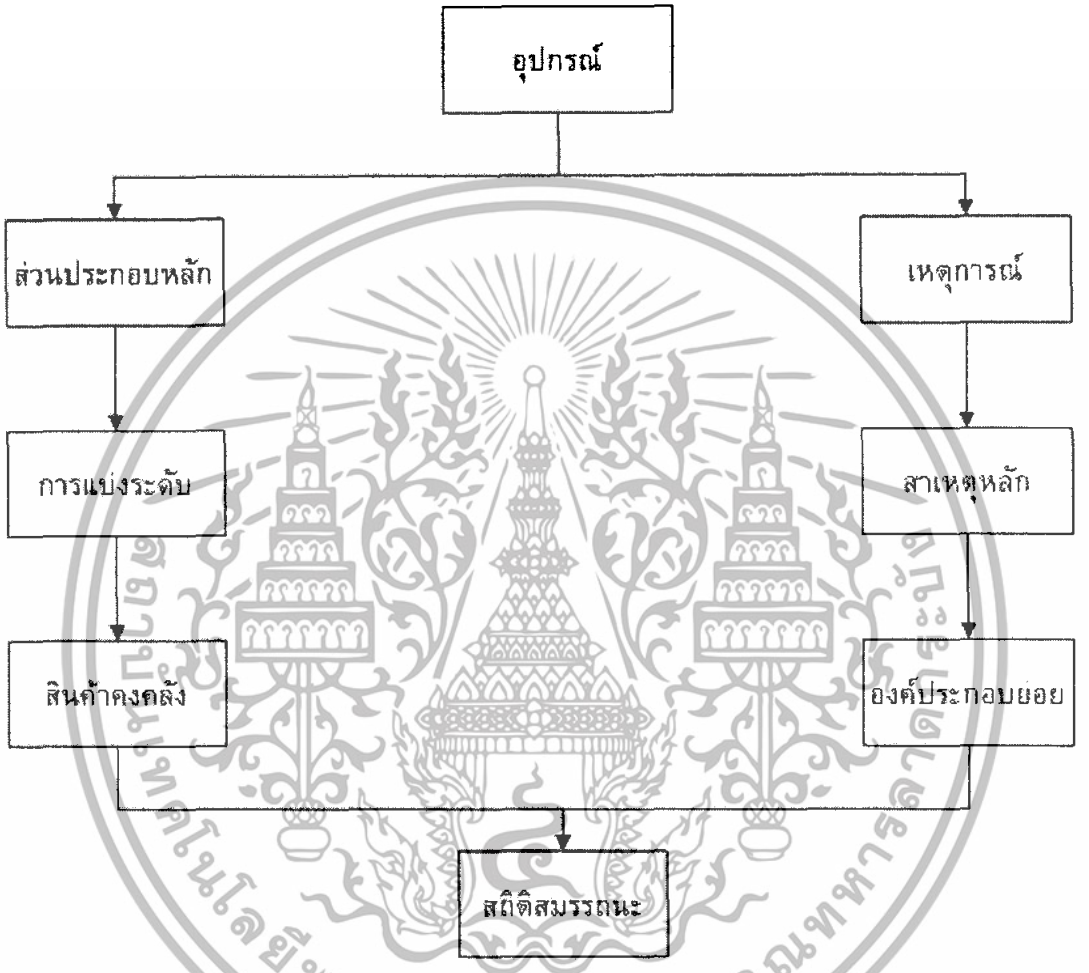


ภาพที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบระบบข้อมูลความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แนวคิดการออกแบบการเก็บข้อมูล

แนวคิดในการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ระบบจำหน่ายแสดงการจัดเก็บได้เป็น 2 ส่วน คือ อุปกรณ์ และเหตุการณ์ เพื่อให้การจัดเก็บข้อมูลนี้เป็นสากล ระบบจะต้องไม่มีความยุ่งยากโดยควรมีการจัดเก็บข้อมูลที่มีนัยสำคัญและมีประโยชน์ในทางสถิติมากที่สุด



ภาพที่ 2.2 แสดงแนวทางการออกแบบระบบข้อมูลความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์หลักคือการรวมข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายเพื่อคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบ(Reliability Indices) ผลลัพธ์ที่ได้ควรจะบ่งบอกว่าส่วนไหนที่ต้องการการปรับปรุง และผลกำไรมากที่สุดต่อการลงทุนควรเป็นที่ใด

3) อุปกรณ์หลัก(Major Components)

อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายอาจแบ่งออกเป็นอุปกรณ์หลัก โดยทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะถือว่าเกิดกับอุปกรณ์หลักเพียงหนึ่งอุปกรณ์(ยกเว้นกรณี Common Mode Failure) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ส่งผลทำให้ระบบเกิดไฟฟ้าขัดข้อง แม้ว่าสาเหตุที่แท้จริงอาจเกิดจากตัวอุปกรณ์เองหรือสภาพแวดล้อมอย่างอื่นมากระทำ

โดยทั่วไป อุปกรณ์ที่กำหนดให้เป็นอุปกรณ์หลัก แบ่งออกได้เป็นได้เป็นดังนี้

- สายจำหน่าย(Distribution Line)
- สายจำหน่ายใต้ดิน(Distribution Cable)
- หม้อแปลงจำหน่าย(Distribution Transformer)
- หม้อแปลงกำลัง(Power Transformer)
- อุปกรณ์ตัดตอน(Switching Devices)
- เรกกูเลเตอร์(Regulator)
- คาปาซิเตอร์(Capacitor)
- อื่นๆ(Other)

การแบ่งอุปกรณ์หลักอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละแห่งจะพิจารณา

4) การแบ่งระดับระบบ

อุปกรณ์หลักทุกตัวจะถูกแบ่งตามลักษณะพิเศษที่สังเกตได้ เช่น การแบ่งรับด้วยแรงดัน(Voltage Class) ผู้ผลิต (Manufacturer) และพิกัด (Rating) ซึ่งการแบ่งกลุ่มของอุปกรณ์หลักนี้จะทำให้สามารถอธิบายคุณสมบัติของอุปกรณ์หลักได้ง่ายขึ้น อุปกรณ์ที่ระดับแรงดันต่างกันย่อมมีคุณสมบัติต่างกันไปรวมทั้งคุณภาพด้วย ดังนั้นควรได้มีการแบ่งระดับระบบของอุปกรณ์ขึ้นเพื่อแยกเก็บข้อมูล การเก็บข้อมูลแยกผลิตภัณฑ์ก็เพื่อต้องการหาความแตกต่างในคุณสมบัติหรือการใช้งานของอุปกรณ์เพื่อให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ใดดีกว่ากัน แต่ถ้าไม่ต้องการแยกความแตกต่างของอุปกรณ์ต่างผลิตภัณฑ์ก็อาจเก็บข้อมูลรวม

5) สินค้าคงคลัง

ได้แก่ ปริมาณของอุปกรณ์หลักที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งอาจจัดทำเป็นรายปี(Annually) ประกอบด้วยความยาวของสายจำหน่าย สายเคเบิลและอุปกรณ์อื่นๆเพื่อนำมาคำนวณค่าทางสถิติของแต่ละอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เหตุการณ์ (Event)

การเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าขัดข้องอาจแบ่งเหตุการณ์เพื่อการจัดเก็บได้ 2 แบบคือ เหตุการณ์ไฟฟ้าดับ (Force Outage) เป็นเหตุการณ์ไฟดับเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบเสียและเกิดไฟฟ้าดับโดยไม่ทราบล่วงหน้าหรือที่เรียกว่าไม่มีแผนงานล่วงหน้า (Unscheduled Outage) เช่น หม้อแปลงใช้งานในระบบเกิดระเบิดทำให้ไฟฟ้าดับ เป็นต้น

เหตุการณ์ขอดับไฟ (Scheduled Outage) เป็นเหตุการณ์ไฟดับที่เกิดเนื่องจากการวางแผนล่วงหน้าเพื่อดับไฟ เพื่อการก่อสร้าง หรือเพื่อการบำรุงรักษา แต่ทั้งนี้เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นเหตุการณ์ที่ทราบล่วงหน้าเพระได้มีการวางแผนไว้แล้ว

7) สาเหตุหลัก(Primary Cause)

สาเหตุหลักของกระแสไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากอุปกรณ์อาจแยกออกได้หัวข้อดังนี้

- ข้อบกพร่องของอุปกรณ์ (Defective Equipment)
- สภาพอากาศ (Adverse Weather)
- มลภาวะ (Adverse Environment)
- มนุษย์ (Human Element)
- การรบกวนจากภาวะรอบข้าง (Foreign Interference)
- ไม่ทราบสาเหตุ (Unknown)

สาเหตุหลักอาจแยกออกได้มากกว่าที่กล่าวถึงข้างต้น ทั้งนี้ขึ้นกับการนำไปใช้งานว่าต้องการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้อะไรบ้าง ซึ่งการไฟฟ้าแต่ละแห่งอาจกำหนดเพิ่มหรือแตกต่างจากที่กล่าวข้างต้นก็ได้ แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาด้วยว่าถ้าหัวข้อการเก็บแตกต่างกันไปมากเมื่อต้องการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีอยู่กับข้อมูลขององค์กรหรือหน่วยงานอื่นอาจทำไม่ได้

8) องค์ประกอบย่อย(Subcomponent)

องค์ประกอบย่อยในที่นี้หมายถึงสาเหตุย่อยของสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งอาจหมายถึงอุปกรณ์หรือระบบก็ได้ แต่ทั้งนี้การแบ่งองค์ประกอบย่อยของแต่ละองค์กรอาจมีความแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นกับการพิจารณาของแต่ละองค์กร

9) ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าขัดข้อง

ข้อมูลที่จะเก็บในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ตามที่ได้กล่าวนั้นเป็นแนวทางในการแบ่งหัวข้อเท่านั้น การไฟฟ้าแต่ละแห่งอาจมีการแบ่งหัวข้อไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นกับหลักการในการแบ่งหัวข้อและการวิเคราะห์อาจจะแตกต่างกันไป

- ข้อมูลเรื่องสาเหตุจากระบบหรือหน่วยงานต้นเหตุของไฟฟ้าดับ ประกอบด้วย
  - สาเหตุจากระบบของ กฟผ.
  - สาเหตุจากระบบของ กฟน.
  - สาเหตุจากระบบของ กฟภ.
  - สาเหตุจากระบบของผู้ใช้ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อมูลชนิดของข้อขัดข้องหรือลักษณะการเกิดไฟฟ้าดับ ประกอบด้วย
  - การขอดับไฟ
  - ระบบขัดข้อง
  - ไฟกระพริบ
- ข้อมูลสถานที่เกิดเหตุ ประกอบด้วย
  - โรงไฟฟ้า
  - สายส่ง
  - สถานีไฟฟ้า กฟผ. ด้านแรงสูง
  - สถานีไฟฟ้า กฟน. หม้อแปลงแรงต่ำ
  - สถานีไฟฟ้า กฟน. ด้านแรงต่ำ
  - ระบบจำหน่าย
- ข้อมูลสาเหตุหลักของการเกิดไฟฟ้าดับ ประกอบด้วย
  - ต้นไม้
  - คน/สัตว์/วัสดุ
  - อุปกรณ์
  - ภัยธรรมชาติ
  - ขอลดโหลด
  - ไม่ทราบสาเหตุ
  - อื่นๆ
- ข้อมูลสาเหตุย่อยของการเกิดไฟฟ้าดับ ประกอบด้วย
  - ➢ กรณีที่สาเหตุหลักเป็นต้นไม้ สาเหตุย่อยก็จะประกอบด้วย
    - กิ่งไม้แกว่งมาสัมผัส
    - กิ่งไม้หักพาด
    - ต้นไม้ล้มทับ
    - กิ่งไม้/ใบไม้ ปลิวมาพาดสาย
  - ➢ กรณีที่สาเหตุหลักเป็น คน/สัตว์/วัสดุ สาเหตุย่อยก็จะประกอบด้วย
    - คนนำวัสดุ/อุปกรณ์ ทำให้เกิดลัดวงจร
    - คนนำวัสดุ/อุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์ชำรุด
    - คนขับยานพาหนะชน/เกี่ยวเสาไฟฟ้า/สายไฟฟ้า
    - คนขับยานพาหนะชน/เกี่ยวสายโทรศัพท์
    - วัสดุ/อุปกรณ์เกี่ยว/พัน/ปลิว/ล้ม/พาดทำให้เกิดลัดวงจร
    - สัตว์ทำให้เกิดลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เกิดอุบัติเหตุในการปฏิบัติงานของพนักงานการไฟฟ้าและทำให้เกิดการลัดวงจร

➢ กรณีที่สาเหตุหลักเป็นอุปกรณ์ สาเหตุย่อยก็จะประกอบด้วย

- อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด
- อุปกรณ์ชำรุด
- จ่ายโหลดเกินพิกัด

➢ กรณีที่สาเหตุหลักเป็นภัยธรรมชาติ สาเหตุย่อยก็จะประกอบด้วย

- ไอเกลือ
- ฝุ่นละออง
- ลมพายุ/ดีเปรสชั่น
- ไต้ฝุ่น
- น้ำท่วม
- น้ำเซาะ
- ไฟไหม้
- แผ่นดินไหว

➢ กรณีที่ไม่ทราบสาเหตุ จะมีตัวเลือกในการบันทึกข้อมูลดังนี้

- สันนิษฐานเนื่องจากต้นไม้
- สันนิษฐานเนื่องจาก คน/สัตว์/วัสดุ
- สันนิษฐานเนื่องจากอุปกรณ์
- สันนิษฐานเนื่องจากภัยธรรมชาติ

- ข้อมูลอุปกรณ์ที่เป็นต้นเหตุของไฟฟ้าดับ การบันทึกอุปกรณ์หลักที่เป็นต้นเหตุของไฟฟ้าดับในตัวอย่างนี้อาจแบ่งได้ทั้งหมด 18 ประเภท โดยมีข้อมูลอื่นๆให้บันทึกประกอบอีก 2 ส่วน คือลักษณะของระบบและระดับแรงดันที่อุปกรณ์ตัวนั้นติดจั้งอยู่และชนิดของอุปกรณ์ ซึ่งในตัวอย่างของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้บันทึกดังนี้

➢ ลักษณะของระบบและระดับแรงดันที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ประกอบด้วย

- 22 kV overhead line system
- 22 kV underground system
- 22 kV submarine system
- 33 kV overhead line system
- 33 kV underground system
- 33 kV submarine system
- 69 kV overhead line system
- 69 kV underground system
- 69 kV submarine system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 115 kV overhead line system
- 115 kV underground system
- 115 kV submarine system

➢ ชนิดของอุปกรณ์ที่ชำรุด สามารถแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อุปกรณ์หลักและชนิดของอุปกรณ์ที่ชำรุด

อุปกรณ์หลัก	ชนิดของอุปกรณ์
1.เสา	- เสาไม้ - เสาคอนกรีต - เสาตอม่อ คอนกรีตอัดแรง - เสาแบบอื่นๆ
2.คอน	- คอนไม้ - คอน คอนกรีตอัดแรง - คอน คอร. สปัน - คอนเหล็ก - คาน ครอ. - คอน หรือ คาน แบบอื่นๆ
3.ลูกถ้วย	- ลูกถ้วยก้านตรง - ลูกถ้วยโพส - ลูกถ้วยไลน์โพส - ลูกถ้วยพิน - ลูกถ้วยแขวน - ลูกถ้วยแบบอื่นๆ
4.ล่อฟ้า	-
5.ดรอปเอาท์ฟิวส์	-
6.สวิตช์ตัดตอน	- สวิตช์ใบมีด - แอร์เบรกสวิตช์ - โหลดเบรกสวิตช์ - ออยล์สวิตช์ - สวิตช์ SF6 - สวิตช์สุญญากาศ - สวิตช์ในระบบ 69kV และ115 kV - สวิตช์แบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) อุปกรณ์หลักและชนิดของอุปกรณ์ที่ชำรุด

7. C.T.(current transformer)	-
8. P.T.(potential transformer)	-
9. หม้อแปลงในสายป้อน	-
10. หม้อแปลงแรงสูงที่สถานี	-
11. VR(automatic voltage regulator)	-
12. คาปาซิเตอร์	-
13.รีโคลสเตอร์	- ไฮโดรลิกรีโคลสเตอร์ - ออยล์อิเล็กทรอนิกส์รีโคลสเตอร์ - อิเล็กทรอนิกส์รีโคลสเตอร์แบบสุญญากาศ - รีโคลสเตอร์แบบอื่นๆ
14.เบรกเกอร์	- เบรกเกอร์ minimum oil - เบรกเกอร์ bulk oil - สวิตซ์สุญญากาศ - เบรกเกอร์ระบบ 69 kV และ 115 kV - เบรกเกอร์แบบอื่นๆ
15.สาย	- สายอลูมิเนียมเปลือย - สายหุ้มฉนวนบางส่วน(PIC) - สายอากาศ - สาย spiral - สายใต้ดิน - สายใต้น้ำ - สายแบบอื่นๆ
16. ข้อต่อสาย	-
17. หัวpot head	-
18.SCADA (system control and data acquisition)	- DAS(distributed automatic system) - CSCS(computer substation control system)

82941
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สภาพอากาศ คือสภาพอากาศในขณะที่เกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องประกอบด้วย
  - อากาศปกติ
  - อากาศชื้น,หมอก
  - ลมแรง
  - ฝนตก
  - ฝนตกลมแรง
  - ฝนตกฟ้าคะนอง
- การบันทึกเวลาไฟฟ้าดับที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้ง ในแต่ละครั้งที่เกิดเหตุการณ์ในแต่ละครั้งที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องหรือไฟดับ จะมีการบันทึกเวลาเกี่ยวกับเหตุการณ์ไฟดับดังนี้ คือ
  - เวลาที่เริ่มเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ
  - เวลาที่สามารถเริ่มจ่ายไฟได้บางส่วน
  - เวลาที่สามารถเริ่มจ่ายไฟฟ้าได้ทั้งหมด

2.3 สาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องและการปรับปรุง

2.3.1) สาเหตุที่ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้ต่ำลงและแนวทางปรับปรุง

การปรับปรุงระบบเพื่อให้ SAIFI,SAIDI ดีขึ้นหรือมีค่าลดลงจำเป็นต้องทราบสาเหตุที่ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้ต่ำลง มาจากสาเหตุหลัก 4 สาเหตุ และมีแนวทางการปรับปรุงดังนี้

1) สาเหตุจากภายในระบบ

ระบบมีความเชื่อถือได้ต่ำลงเนื่องจากสาเหตุในหลายประการดังตัวอย่าง

สาเหตุ

- ระยะทางยาวเกินไป
- อุปกรณ์มีคุณภาพไม่ดีพอ
- ไม่มีรีโคลสเซอร์มากพอเพื่อตัดตอนช่วงที่มีปัญหาออกจากระบบ
- การติดตั้งสวิตช์ตัดตอนไม่เพียงพอหรือติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม
- การติดตั้งสวิตช์ตัดตอนไม่เพียงพอ
- ไม่มีการบำรุงรักษาแบบป้องกัน หรือทำการบำรุงรักษาอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

แนวทางการปรับปรุง

- ลดระยะทางสาย
- เพิ่มสวิตช์ตัดตอน
- เพิ่มรีโคลสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพิ่มฟิวส์ในสายป้อนย่อย
- เพิ่มคุณภาพของอุปกรณ์ในระบบ
- เพิ่มจุดถ่ายโอนโหลดจากสายป้อนหลักอื่น
- เพิ่มการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

2) สาเหตุจากภายนอกระบบ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีความเชื่อถือไฟฟ้าต่ำเนื่องจากสิ่งรบกวนภายนอก ซึ่งสรุปได้ดังนี้

สาเหตุ

- ฟ้าผ่า
- พายุฝนฟ้าคะนอง
- สิ่งสกปรกภายนอกหรือไอเกลือ
- มนุษย์และสัตว์ต่าง ๆ

แนวทางการปรับปรุง

- การติดตั้งสายดินเหนือสายส่งหรือสายจำหน่าย
- การติดตั้งอะเรสเตอร์มากขึ้น
- การต่อลงดินต้องให้เหมาะสม
- การใช้ฉนวนลูกถ้วยที่เหมาะสมในบริเวณที่มีสิ่งสกปรก
- การป้องกันสัตว์เลื้อยคลานหรือนกที่ทำให้เกิดไฟฟ้าดับได้ง่าย

3) สาเหตุจากการไฟฟ้าต้นทาง

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใดขึ้นกับความเชื่อถือได้ในแต่ละตอนของระบบไฟฟ้าตั้งแต่ ระบบผลิต ระบบส่งจ่าย และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่มองจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งต้นทางการจ่ายไฟฟ้าก็ได้มาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และในกรณีที่ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายมีค่าต่ำเนื่องจากสาเหตุจากการไฟฟ้าต้นทางก็ต้องมีการตกลงหรือแจ้งให้การไฟฟ้าต้นทางนั้นทราบเพื่อให้ปรับปรุง

ความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าต้นทางและระบบจำหน่ายต้องมีการแยกวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่าไฟฟ้าขัดข้องมาจากส่วนใด และต้องมีการประกันในเรื่องความเชื่อถือได้จากต้นทางด้วยเพื่อเป็นการประกันความรับผิดชอบร่วมกันแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายด้วย

4) สาเหตุจากการบริหารการจัดการขององค์กร

การบริหารการจัดการขององค์ซึ่งอาจจะยังไม่มีประสิทธิภาพดีเท่าที่ควรนั้นอาจเป็นสาเหตุให้ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่ำลงได้ เช่น การบริหารอะไหล่คงคลังไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ดี ทำให้อะไหล่ไม่เพียงพอ ต้องรออะไหล่นาน ทำให้ไฟฟ้าดับนานขึ้น เป็นต้น ซึ่งการปรับปรุงการบริหารการจัดการขององค์กรในด้านต่าง ๆ สามารถดำเนินการได้ดังนี้

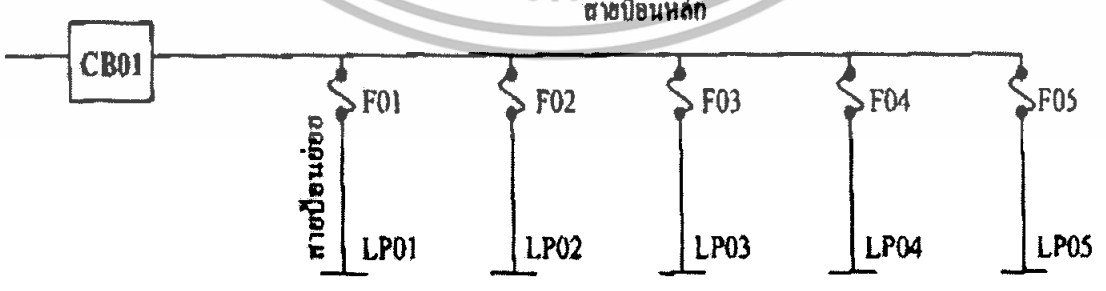
- การทำแผนการบำรุงรักษาแบบป้องกัน
- การปรับปรุงการบริหารอะไหล่คงคลัง
- การจัดมาตรการเพื่อพยายามลดเวลารอ (Waiting Time)
- การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดไฟฟ้าดับแต่ละรายการเพื่อปรับปรุงระบบ
- การสร้างความเข้าใจในหลักการลด SAIFI, SAIDI เพื่อการสั่งการ

การแก้ไขปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายโดยทั่วไปเป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าเพื่อให้จ่ายไฟกลับเข้าสู่ระบบได้เร็วที่สุด แม้ว่าในทางปฏิบัติจะมีการจดบันทึกสาเหตุของกระแสไฟฟ้าขัดข้องในแต่ละครั้งที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะทราบสาเหตุ หรือสันนิษฐานหรือไม่ได้มีการวิเคราะห์อย่างจริงจัง ล้วนนำมาสู่การป้องกันหรือแก้ไขที่ไม่ถูกจุด ทำให้เกิดปัญหาเดิม ๆ ซ้ำแล้วซ้ำอีก และความเชื่อถือได้ไม่ดีขึ้น สูญเสียทั้งงบประมาณการบำรุงรักษา เวลา และโอกาสที่จะขายไฟได้ของการไฟฟ้า

2.3.2) การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบ

1) การลดระยะทางสายจำหน่าย

ระยะทางของสายมีผลต่อ SAIFI , SAIDI ตามอัตราความเสียหายของสาย ยิ่งสายยาวมากก็มีจำนวนครั้งความเสียหายมาก ดังนั้นการปรับปรุง SAIFI , SAIDI จึงเกี่ยวข้องกับระยะทาง ซึ่งถ้าต้องการลด SAIFI , SAIDI ให้เหลือน้อยลงก็อาจต้องวางแผนสร้างสถานีไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อให้สายป้อนมีความยาวเฉลี่ยลดลง และค่าดัชนี SAIFI , SAIDI ไม่ได้ขึ้นกับระยะทางระบบจำหน่าย ทำให้เปรียบเทียบระบบจำหน่ายด้วยกันลำบาก เพราะระบบที่มีระยะทางของสายมากย่อมมี SAIFI , SAIDI มากตามด้วย ดังนั้นดัชนี SAIFI , SAIDI ดังกล่าวควรคำนวณออกมาเป็นต่อระยะทางจะมีประโยชน์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบได้ดีกว่า



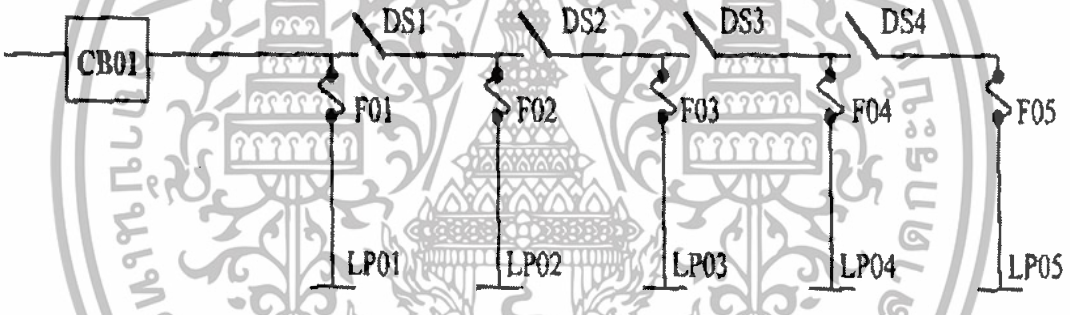
ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างโดยสายป้อนทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเพิ่มสวิตช์ตัดตอน

การเพิ่มสวิตช์ตัดตอนในระบบไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสวิตช์ตัดตอนดังกล่าวมีหน้าที่ตัดตอนส่วนของระบบที่มีปัญหาออกจากระบบ เช่น เมื่อมีจุดลัดวงจรเกิดขึ้นระหว่างสวิตช์ DS3 และ DS4 เบรกเกอร์ต้นทาง BCO1 เปิดวงจรออก และปลดสวิตช์ DS3 เพื่อตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบ หลังจากนั้นปิดเบรกเกอร์ CBO1 เข้าไปทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในจุดโหลดที่ LPO1,LPO2 และ LPO3 มีไฟฟ้าใช้เหมือนเดิม ดังนั้นจะเห็นว่าสวิตช์ตัดตอนทำให้ค่า SAIDI มีค่าลดลง เนื่องจากจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปัญหาลดน้อยลง และระยะเวลาไฟฟ้าดับของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าในจุดโหลดที่ LPO1 , LPO2 และ LPO3 ลดน้อยลงด้วย

การมีสวิตช์ตัดตอนเพิ่มขึ้นในระบบย่อมทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้มากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้น ของสวิตช์ตัดตอนนี้จะเพียงพอหรือมากเกินความจำเป็นหรือไม่ ต้องพิจารณาความคุ้มทุนของค่าการลงทุนต่อการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เพิ่มขึ้น 1 ชุดกับค่าความเชื่อถือได้ที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของสายป้อนกับการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเพิ่มรีโคลสเซอร์

การเพิ่มรีโคลสเซอร์ในระบบมีผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบ แต่จะมีผลมากน้อยเพียงใดจะต้องพิจารณาว่ามีรีโคลสเซอร์เหมาะกับระบบใดบ้าง และถ้าใช้เหมาะกับระบบแล้วเชื่อถือได้ของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด การติดตั้งรีโคลสเซอร์ทุก ๆ ระยะทาง เช่น 10 ,15 กม. มีผลอย่างไรบ้างกับระบบเป็นต้น

การมีรีโคลสเซอร์เพิ่มขึ้นในระบบย่อมทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้มากขึ้นซึ่งการทำงานของรีโคลสเซอร์แตกต่างจากการทำงานของสวิตช์ตัดตอน (DS) จึงทำให้การพิจารณาผลของ SAIFI และ SAIDI แตกต่างจากสวิตช์ตัดตอน แต่การติดตั้งรีโคลสเซอร์นี้เพียงพอหรือมากเกินความจำเป็นหรือไม่ ต้องพิจารณาว่าการลงทุน (ค่าใช้จ่าย) ในการติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่เพิ่มขึ้น 1 ตัวกับความเชื่อถือได้ที่เพิ่มขึ้นมีความคุ้มหรือไม่

การเพิ่มรีโคลสเซอร์เข้าไปในระบบทำให้สามารถแยกระบบที่มีปัญหาออกจากระบบใหญ่ และสามารถลดจำนวนครั้งการเกิดปัญหาไฟฟ้าดับกับผู้ใช้ไฟต้นทาง ทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับกับผู้ใช้ไฟจำนวนจำกัด มีผลให้ SAIFI และ SAIDI ลดลง

4) การเพิ่มฟิวส์ในสายป้อนย่อย

การเพิ่มฟิวส์ในสายป้อนย่อยจะมีผลให้ระบบหรือสายป้อนหลักไม่เกิดผลกระทบเนื่องจากความปกติที่เกิดขึ้นในสายป้อนย่อยนั้น ๆ ถ้าติดตั้งทุก ๆ สายป้อนย่อยเป็นการดรที่จะป้องกันระบบและจุดจ่ายโหลดอื่น ๆ ให้ปลอดภัยจากการเกิดความผิดปกติที่สายป้อนย่อยเพียงจุดเดียว ทั้งนี้ถ้าการทำงานของฟิวส์ไม่มีความผิดพลาดเลยก็จะทำให้ให้มั่นใจได้ว่าสามารถป้องกันสายป้อนย่อยได้ 100 % แต่ถ้าฟิวส์ที่ติดตั้งคุณภาพไม่ดีจะมีโอกาสที่สายป้อนหลักจะได้รับผลกระทบเนื่องจากสายป้อนย่อยเกิดความผิดปกติขึ้น การพิจารณาในที่นี้จะพิจารณาว่าเมื่อติดตั้งฟิวส์และไม่ติดตั้งมีความแตกต่างกันอย่างไร รวมถึงการที่คิดว่าฟิวส์มีโอกาสที่จะไม่ทำงานเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่สายป้อนย่อย

5) การถ่ายโอนโหลดจากสายป้อนหลักอื่น

ความเชื่อถือได้ของระบบสูงขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นกับการมีสายป้อนหลักอื่นข้างเคียงเพื่อการถ่ายโอนโหลดหรือไม่ และขนาดโหลดที่มีอยู่ในแต่ละสายป้อนหลักรวมทั้งพิกัดของสายป้อนหลักมีผลต่อค่าความเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด การสร้างตารางสำเร็จรูปแสดงความเชื่อถือได้ของระบบว่าสูงมากน้อยเพียงใดเมื่อสายป้อนหลักอื่นเพื่อการถ่ายโหลดจะช่วยให้หน้างานตัดสินใจได้ง่ายขึ้น และเป็นการให้ความรู้กับหน้างานเพื่อการปฏิบัติงานด้วย

6) การเพิ่มการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

การรักษาเรื่องการเพิ่มการบำรุงรักษาเพื่อดูว่าสามารถลด SAIFI, SAIDI มากน้อยเพียงใด อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการบำรุงรักษาแบบป้องกันควรมีอะไรบ้างนอกเหนือจากเดิมที่มีอยู่ เช่น การบำรุงรักษาแบบป้องกันด้วยการวัดความร้อน ก็ต้องพิจารณาว่าข้อมูลความเสียหายเนื่องจากความร้อนมีจำนวนเปอร์เซ็นต์มากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับความเสียหายเนื่องจากสาเหตุอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการทำการบำรุงรักษาแบบป้องกันจะทำให้เราทราบถึงสภาวะของอุปกรณ์ในขณะนั้นว่ายังอยู่ในสภาวะปกติหรือใกล้จะชำรุดเสียหาย การบำรุงรักษาแบบป้องกันนี้สามารถทำได้โดย

- การใช้เครื่องมือวัด เช่น ใช้อุปกรณ์วัดความร้อนเพื่อหาอุปกรณ์ที่ผิดปกติแล้วแสดงผลออกทางความร้อน
- การใช้สัมผัสทั้ง 5 ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการนี้ต้องการความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ทำการตรวจสอบ ได้แก่ ตา หู จมูก ปาก และสัมผัส

เมื่อมีการบำรุงรักษาแบบป้องกันทำให้ทราบถึงความผิดปกติของอุปกรณ์ซึ่งส่งผลให้สามารถเตรียมอุปกรณ์และพนักงานในการแก้ไขล่วงหน้าไว้ได้ทันเวลา ในส่วนนี้จะช่วยลดเวลาในการรอเพื่อซ่อมลงไปได้ ซึ่งจะทำให้เวลาซ่อมโดยรวมทั้งหมดลดลงส่งผลให้ค่า SAIDI ค่าลดลง แต่ไม่ได้ช่วยลด SAIFI ตารางที่ 2.2 โดยวัดที่ระยะทาง 150 กิโลเมตร

ตารางที่ 2.2 สรุปค่าดัชนี SAIFI, SAIDI ที่ได้รับผลกระทบจากการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

เวลาซ่อมโดยรวม (นาที)	SAIFI (ครั้ง/ปี)	SAIDI (นาที)
1	270	270
3	270	810
6	270	1620
12	270	3240
24	270	6480
36	270	9720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) อุปกรณ์วิกฤตและคุณภาพของอุปกรณ์ในระบบ

อุปกรณ์วิกฤตในระบบ หมายถึง อุปกรณ์ในระบบอนุกรมที่มีอัตราความเสียหายสูงที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข โดยที่ความเชื่อถือได้ของระบบจะไม่สามารถปรับปรุงได้ถ้ามีอุปกรณ์ใดที่อัตราความเสียหายสูงมากต่ออนุกรมอยู่ในระบบ

การที่จะทราบว่าอุปกรณ์วิกฤตจะต้องมีการเก็บข้อมูลเพื่อรวบรวมสถิติและนำมาหาอุปกรณ์วิกฤต พร้อมกับวิเคราะห์ต้นตอของสาเหตุเพื่อหามาตรการป้องกัน

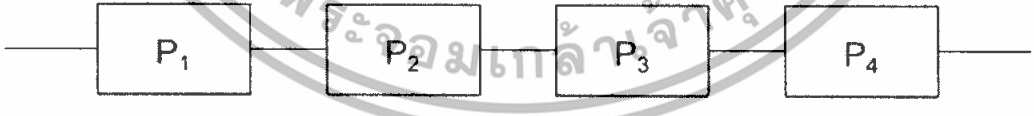
โดยทั่วไประบบจำหน่ายจะมีการต่อของอุปกรณ์เป็นแบบอนุกรมกันทำให้ค่าความเชื่อถือได้รวมของระบบนั้นไม่เกินกว่าค่าความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์วิกฤต

$$P_T = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \tag{2.10}$$

$$P_T \le \min\left(P_1 \times P_2 \times P_3 \times P\right) \tag{2.11}$$

เมื่อ P_T ความเชื่อถือได้รวมของระบบ

จากสมการข้างต้นจะสังเกตได้ว่า ค่าความเชื่อถือได้รวมของระบบที่เป็นไปได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่น้อยที่สุดในระบบ เช่น ถ้า P_3 คือค่าความเชื่อถือได้ที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ค่าความเชื่อถือได้รวมของระบบจะมีค่าน้อยกว่าค่า P_3 นี้จึงกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ที่มีค่าความเชื่อถือได้เท่ากับค่า P_3 คืออุปกรณ์วิกฤตของระบบ ดังนั้นอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบและมีและมีค่าความเชื่อถือได้น้อยที่สุดคืออุปกรณ์วิกฤตของระบบ



ภาพที่ 2.5 แสดงการพิจารณาอุปกรณ์วิกฤตของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์และการติดตั้งในระบบไฟฟ้าใต้ดิน

2.4.1 สายไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable)

สายไฟฟ้าเป็นส่วนที่ใช้ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. แบ่งตามชนิดของฉนวนที่ใช้
2. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน
3. แบ่งตามจำนวนตัวนำ (Conductor) ที่มีอยู่ในสายแต่ละเส้น

1) แบ่งตามชนิดของฉนวนที่ใช้

- โซลิดไดอิเลคตริกเคเบิล (Solid Dielectric Cable) ได้แก่ สายที่มีฉนวนเป็นพวกครอสลิงค์โพลีเอททีลีน (Cross-Linked Polyethylene ; XLPE) เป็นต้น
- ออยล์ฟิลเคเบิล (Oil Filled Cable) ได้แก่ สายที่มีฉนวนเป็นน้ำมัน (Insulation Oil) อาจจะอยู่ในรูปของกระดาษอาบน้ำมัน เช่น พวกฉนวนกระดาษชุบน้ำมัน (Paper Insulated Cable ; PILC) เป็นต้น
- ก๊าซฟิลเคเบิล (Gas Filled Cable) ได้แก่ สายที่มีฉนวนเป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) เช่น ไนโตรเจน (N_2) , ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulphur Hexafluoride ; SF_6)

2) แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

- แบบฝังดินโดยตรง (Direct Burial Cable) เป็นสายพวกที่ติดตั้งใต้ดินโดยตรงเลยตัวสายใต้ดินเองจะมีตัวหุ้มปิด (Armor) หรืออาจจะใช้แผ่นคอนกรีต (Concrete Slab) เป็นเครื่องป้องกัน ในการติดตั้งใช้วางลงไปโดยไม่ต้องมีการดึงหรือลาก การติดตั้งสายแบบนี้ข้อเสียคือการหาฟอลต์ (Fault) ยาก การแก้ไขซ่อมแซมมีค่าใช้จ่ายสูง
- แบบเดินในท่อ (Conduit หรือ Duct Cable) เป็นสายที่ใช้ติดตั้งอยู่ในท่อสำหรับร้อยสาย ในการติดตั้งต้องมีการดึงลาก ดังนั้นโครงสร้างของสายต้องทนต่อการดึงลาก ข้อดีของการติดตั้งแบบนี้คือ การหาฟอลต์ง่าย ซ่อมแซมง่ายกว่า มีโอกาสขยายระบบได้ง่าย แต่มีการลงทุนสูงมาก
- แบบเดินในน้ำ (Submarine Cable) เป็นสายที่ใช้ติดตั้งในน้ำ ข้ามแม่น้ำ ข้ามช่องแคบในทะเล เป็นสายพวกที่มีตัวหุ้มปิด ซึ่งตัวหุ้มปิดต้องรับแรงดึงได้และต้องทนต่อการผุกร่อนสายชนิดนี้จะมีขนาดช่วงสายยาวมาก

3) แบ่งตามจำนวนตัวนำที่มีอยู่ในสายไฟฟ้าแต่ละเส้น

- สายตัวนำเดี่ยว (Cable Single Core ; 1/C) หมายถึงสายไฟฟ้าที่มีตัวนำพร้อมฉนวนอยู่เพียง 1 เส้น และใช้สำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว (Single Phase)
- สายตัวนำคู่ (Cable Two Core ; 2/C) หมายถึงสายไฟฟ้าที่มีตัวนำพร้อมฉนวนอยู่ 2 เส้น และใช้สำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว
- สายตัวนำ 3 แกน (Cable Three Core ; 3/C) หมายถึงสายไฟฟ้าที่มีตัวนำพร้อมฉนวนอยู่ 3 เส้นและสามารถใช้งานในระบบไฟ 3 เฟสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายตัวนำ 4 แกน (Cable Four Core ; 4/C) หรือมากกว่า จะใช้งานเป็นสายควบคุมหรือสายสัญญาณ

โครงสร้างส่วนประกอบของสายไฟฟ้าใต้ดิน

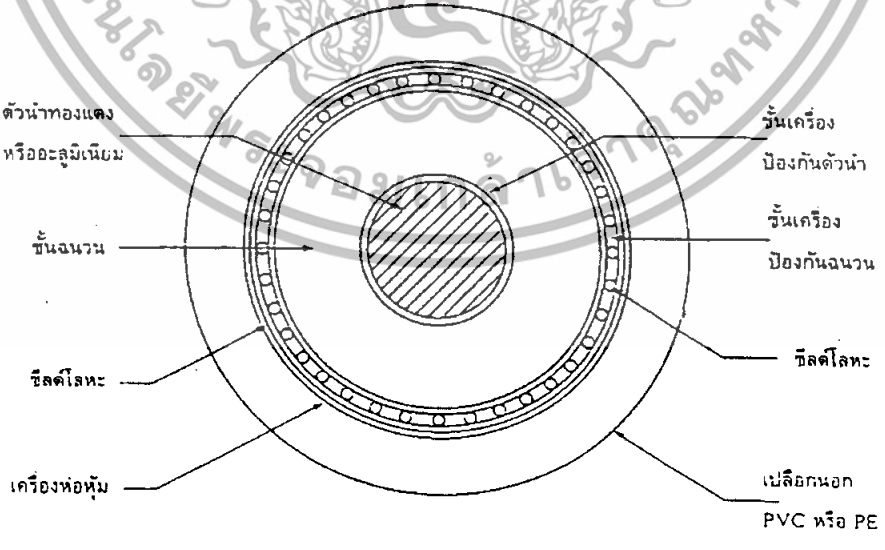
สายตัวนำที่จะกล่าวนี้เป็นสายตัวนำที่ใช้ในระดับแรงดัน 12 kV และ 24 kV ซึ่งเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททิลีน

ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

- ตัวนำ (Conductor)
- เครื่องป้องกันตัวนำ (Conductor Screen)
- ฉนวน (Insulation)
- เครื่องป้องกันฉนวน (Insulation Shield or Screen)
- เครื่องป้องกันหรือชีลด์โลหะ (Metalic Shield)

1.ตัวนำ อาจเป็นได้ทั้งทองแดงหรืออลูมิเนียม โดยการใช้อลูมิเนียมของ กฟน. มีการใช้เฉพาะส่วนที่เป็นสายอากาศ (Overhead Line) เท่านั้น ส่วนที่เป็นสายใต้ดิน หรือเคเบิลและบัสบาร์ (Bus bar) ที่สถานีย่อยจะใช้ทองแดงเป็นตัวนำ

ในงานวิศวกรรมนั้น องค์ประกอบที่จะต้องพิจารณามีมากมาย ซึ่งได้แก่ ความปลอดภัย ราคาเหมาะสม (Economics) ความเชื่อถือได้ (Reliability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) การใช้งาน (Operation) การป้องกัน การก่อสร้าง การติดตั้ง การบำรุงรักษา รายละเอียดข้อกำหนด ราคา มาตรฐาน กฎ กำหนดเวลา การจัดหา มลภาวะ สภาพอันตราย การขยายในอนาคต ความสวยงาม (Aesthetic Consideration) ซึ่งตารางที่ 4.1 เป็นตารางการเปรียบเทียบสายที่มีตัวนำทำมาจากทองแดงและอลูมิเนียมในงานวิศวกรรม



ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของสายไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบสายไฟฟ้าทองแดงและอลูมิเนียมในงานวิศวกรรม

ลำดับที่	ข้อพิจารณา	สายไฟฟ้าทองแดง	สายไฟฟ้าอลูมิเนียม	หมายเหตุ
1	ความปลอดภัย	เท่ากัน	เท่ากัน	
2	ราคาเหมาะสม	-	ดีกว่า	
3	ความเชื่อถือได้	เท่ากัน	เท่ากัน	
4	ความยืดหยุ่น	เท่ากัน	เท่ากัน	
5	การใช้งาน	เท่ากัน	เท่ากัน	
6	การป้องกัน	เท่ากัน	เท่ากัน	
7	การก่อสร้าง(การผลิต)	-	ง่ายกว่า	
8	การติดตั้ง	ง่ายกว่า	-	สายที่ขนาดเท่ากัน
9	การบำรุงรักษา	ง่ายกว่า	-	สายที่ขนาดเท่ากัน
10	รายละเอียดข้อกำหนด	เท่ากัน	เท่ากัน	
11	การวิเคราะห์ราคา	เท่ากัน	เท่ากัน	
12	มาตรฐาน	เท่ากัน	เท่ากัน	
13	กฎ	เท่ากัน	เท่ากัน	
14	กำหนดเวลา	เท่ากัน	เท่ากัน	
15	การจัดหา	-	ดีกว่า	
16	มลภาวะ	เท่ากัน	เท่ากัน	
17	สภาพอันตราย	เท่ากัน	เท่ากัน	
18	การขยายในอนาคต	เท่ากัน	เท่ากัน	
19	ความสวยงาม	เท่ากัน	เท่ากัน	

คุณสมบัติทั่วไปของทองแดงและอลูมิเนียม

ทองแดงและอลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญดังต่อไปนี้

	ทองแดง	อลูมิเนียม
Density kg/dm^3 at 20 $^\circ$C	8.89	2.68
Melting point	1082.8	657.8
Specific Heat J/kg. at room temperature	385.19	946.22
Linear Coefficient of Thermal Expansion per at room Temperature x 10^{-6}	16.6	23
Thermal conductivity Cal/m^2/m/hr at 20 $^\circ$C	3.62	2.02
Electrical Resistivity x mm^2/m at 20 $^\circ$C	0.018	0.029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Conductivity m/x mm^2 at 20 °C	56	35
Ultimate Strength - Hard N/mm^2	379.2	186.1
- Soft N/mm^2	220.6	82.7

หมายเหตุ

Ultimate Strength = คือหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ ณ จุดนี้แท่งวัสดุจะยืดออกอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาว ถ้าการยืดเพิ่มขึ้นอีกจะเกิดรอยคอดบนแท่งวัสดุ

Yield Strength = คือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่วัสดุยืดหรือหดตัวอย่างถาวรตามค่าที่กำหนดไว้ เช่น กำหนด 0.2 % ของหน่วยการยืดหด

Elongation = อัตราส่วนการยืดตัวของวัสดุเมื่อรับแรงดึง

$$= \frac{\text{ความยาวหลังสุด - ความยาวเดิม}}{\text{ความยาวเดิม}} \qquad (2.12)$$

Modulus of elasticity = อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัว

$$= \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} \qquad (2.13)$$

ตัวนำจะทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดความร้อน (I^2R) ถ้ามีกระแสไหลมาก หรือสายมีความต้านทานสูงก็จะเกิดความร้อนสูง ความร้อนนี้จะกระจายผ่านส่วนต่างๆของสายไฟฟ้าส่วนที่ห่อหุ้มตัวนำ การระบายความร้อนนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้หุ้มสายและอุณหภูมิของอากาศโดยรวม

ความร้อนที่เกิดในสายตัวนำนี้จะทำให้สายตัวนำร้อนขึ้น อุณหภูมิของสายตัวนำนี้จะต้องไม่เกินอุณหภูมิที่สามารถทนได้ เช่น ฉนวนประเภทครอสลิงค์โพลีเอททีลีน จะทนอุณหภูมิได้สูงประมาณ 90 °C กล่าวโดยทั่วไปคือ ความสามารถในการนำกระแสของสายไฟขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่สายตัวนำนั่นเอง จะเห็นได้ว่าระหว่างสายทองแดงกับสายอลูมิเนียม และสายเปลือยจะนำกระแสได้สูงกว่าสายหุ้มฉนวนเนื่องจากการระบายความร้อนดีกว่า

สำหรับลักษณะของตัวนำภายในสายไฟฟ้านั้น อาจเป็นสายเดี่ยว (Solid) หรือสายตีเกลียวหลายๆเส้น (Stranded) ซึ่งอาจเป็นเส้นกลมๆ หรืออาจเป็นเส้นที่ถูกบีบอัด (Compact) แล้วนำมาตีเกลียวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ ซึ่ง กฟน. ใช้ตามมาตรฐาน IEC. (IEC Standard)

ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ จะเป็นตัวบ่งบอกถึงขนาดพิกัดแรงดันของสายไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งขนาดของสายไฟฟ้าที่การไฟฟ้านครหลวงใช้จะมีขนาดตั้งแต่ 35,70,240,400.500,800 mm^2 จนถึง 1200 mm^2 โดยสามารถจำแนกตามระดับของแรงดันได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดัน 12 kV ใช้สายไฟฟ้าใต้ดินขนาด 35,70,240,400 mm^2
- แรงดัน 24 kV ใช้สายไฟฟ้าใต้ดินขนาด 400,800 mm^2
- แรงดัน 69 kV ใช้สายไฟฟ้าใต้ดินขนาด 500,800 mm^2
- แรงดัน 115 kV ใช้สายไฟฟ้าใต้ดินขนาด 800 mm^2
- แรงดัน 230 kV ใช้สายไฟฟ้าใต้ดินขนาด 800,1200 mm^2

2. เครื่องป้องกันตัวนำ ส่วนประกอบชิ้นนี้ถ้าเป็นสายไฟฉนวนกระดาษ เครื่องป้องกันตัวนำจะทำมาจากกระดาษ และสายไฟฟ้าฉนวนด้วยครอสลิงค์โพลีเอททีลีน เครื่องป้องกันตัวนำจะทำมาจากวัสดุโพลิเมอร์นำกระแส (Conductive Polymer Material) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ชั้นเครื่องป้องกันตัวนำจะเคลือบบนผิวนอกของตัวนำโดยตรง เพื่อทำให้ผิวนอกของตัวนำมีความเรียบ และไม่ทำให้เกิดการแตกต่างของอากาศ ในช่องว่างดังกล่าวเมื่อสายเคเบิลใต้ดินได้รับแรงดันสูงซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ตัวนำได้รับความเสียหายได้ ดังนั้นสายเคเบิลใต้ดินที่นำมาใช้กับแรงดันมากกว่า 24 kV จึงต้องมีชั้นเครื่องป้องกันตัวนำ

3. ฉนวน เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเคเบิล มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้พลังงานรั่วออกมาทำอันตรายต่อบุคคลหรือสภาพแวดล้อม และป้องกันมิให้เกิดการลัดวงจร คุณค่าและคุณภาพของสายไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้งาน

4. เครื่องป้องกันฉนวน เป็นชั้นบางๆหุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ (Conductive Material) อาจเป็นสารคาร์บอนอิมเพรกเนทโคทเทป ทำหน้าที่คล้ายกับชีลด์ตัวนำ (Carbon Shield) โดยมีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ

- จะต้องไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างฉนวนและเครื่องป้องกัน มิฉะนั้นจะเป็นสาเหตุให้เกิดการดิสชาร์จบางส่วน
- ลดสัญญาณความถี่วิทยุ
- เพิ่มความปลอดภัยต่อบุคคลที่อาจสัมผัสถูกสายทองแดง

5. เครื่องป้องกันโลหะ ทำมาจากทองแดง (Copper Wire Screen or Copper Wire Shield) ตะกั่ว (Lead Sheath) อลูมิเนียม หรือ อาจทำด้วยเทปโลหะ(Metal Tape, Corrugated Metal or Metal Drain Wire) ที่นำมาประกอบเป็นรูปเทปหรือปลอกคลุมโดยทำหน้าที่ดังนี้

- ทำหน้าที่ปล่อย หรือเป็นทางผ่านสำหรับคายประจุต่างๆหรือกระแสรั่วไหลลงดิน และยังทำหน้าที่ปรับระดับความต่างศักย์ของเครื่องป้องกันฉนวนให้เท่ากับดินอีกด้วย โดยการทำกราวน์ดิ้ง(Grounding) ของระบบไฟฟ้า 12 และ24 kV อีกทั้งยังช่วยในการทำครอสบอนดิ้ง (Cross-Bonding) สำหรับสายไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดัน69 kV และ 115 kV เพื่อที่จะลดแรงดันเหนี่ยวนำ(Induce Voltage) ที่เกินขึ้นในเครื่องป้องกันฉนวน
- ช่วยลดความเสียหายของสายอันเนื่องจากแรงดันชั่วขณะ (Surge Voltage)
- สามารถออกแบบให้เป็นตัวนำสำหรับกระแสลัดวงจรเนื่องจากฟอลต์ไหลกลับได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องห่อหุ้ม สามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบย่อยได้อีก 2 ส่วนคือ

- เครื่องห่อหุ้ม บางครั้งจะใช้เครื่องห่อหุ้มเป็นชั้นต่อจากเครื่องป้องกันหรือชีลด์ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันแรงทางกล ความดันหรือความเครียดต่าง ๆที่กระทำต่อฉนวนหรือตัวนำของสายไฟฟ้าใต้ดิน และป้องกันไม่ให้ส่วนที่เป็นโลหะไปทำให้เกิดรอยหรือสัมผัสโดยตรงกับส่วนที่ไม่ใช่โลหะ ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีได้อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความลื่นระหว่างเปลือกนอกเทปโลหะ กรณีที่สายมีความคดงอวัสดุที่ใช้โดยมากจะเป็นผ้าหรือใยสังเคราะห์ หรือเทป จากการสังเคราะห์ เช่น ไมลาร์ ไนลอน เป็นต้น

- เปลือกนอก เป็นชั้นนอกสุดของสายไฟฟ้าใต้ดิน มีหน้าที่ป้องกันแรงทางกล ความชื้นและการกัดกร่อน ที่จะเกิดขึ้นกับสายไฟฟ้า เปลือกนอกผลิตจากโพลีไวนีลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride ,PVC) ซึ่งต่อมาถูกเปลี่ยนเป็นโพลีเอททีลีน ซึ่งทนสภาวะแวดล้อมได้ดีกว่า

เครื่องห่อหุ้มภายนอกนี้อาจจะมีส่วนประกอบมากกว่า 2 ส่วนนี้ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตที่มองเห็นถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น อาจจะบรรจุชั้นของวัสดุที่ใช้ป้องกันน้ำซึมเข้าไปในสายไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่ง โดยมีลักษณะเป็นสารสังเคราะห์ วางคั่นอยู่ระหว่างเครื่องป้องกันฉนวน กับ ชีลด์โลหะซึ่งถ้าสารสังเคราะห์นี้ถูกน้ำมันจะพองตัวพร้อมกับปิดกั้นน้ำไม่ให้ซึมไปจุดอื่น หรืออาจใช้แผ่นอลูมิเนียม ติดตั้งเพื่อทำให้การป้องกันมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับโครงสร้างรางของสายไฟฟ้าใต้ดินที่การไฟฟ้านครหลวงใช้ในปัจจุบันสามารถแยกออกตามลักษณะของฉนวนได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- สายไฟฟ้ากระดาษบรรจุด้วยน้ำมัน โดยทั่วไปมักจะนำไปใช้กับระบบส่งแรงดัน 230 kV ในชั้นของฉนวนที่ทำด้วยกระดาษชุบน้ำมัน และที่จุดศูนย์กลางสายไฟฟ้าในชั้นตัวนำจะเป็นท่อทางของน้ำมัน

- สายไฟฟ้าฉนวนของแข็ง โดยทั่วไปจะนำมาใช้กับระบบส่งย่อยแรงดัน 115 และ 69 kV รวมทั้งระบบแรงดันปานกลาง 12 และ24 kV และระบบจ่ายแรงดันต่ำด้วย ในชั้นของฉนวนทำมาจากโพลิเมอร์ ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายก็คือ ครอสลิงค์โพลีเอททีลีน ซึ่งในปัจจุบันนี้ฉนวนของแข็งได้พัฒนาและนำมาใช้ในระบบแรงดันสูงแล้ว

2.4.2 ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน

ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้กันในปัจจุบันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 115 140 และ 200 mm จะเลือกใช้ขนาดใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดของสายที่นำมาวางในท่อเหล่านี้ นอกจากนี้ท่อร้อยสายยังสามารถแบ่งชนิดได้ดังนี้

- ท่อเหล็กหนา (Rigid Steel Conduit; RSC) ท่อชนิดนี้สามารถที่จะวางใต้ดิน วางใต้ทางเท้า หรือวางใต้ถนนก็ได้

คุณสมบัติ

- ทนต่อการกัดกร่อนและแรงกระแทกดี
- ระบายความร้อนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

- ถ้าใช้ฝังใต้ดินอายุการใช้งานจะสั้นกว่าท่อใยหิน
- เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดกระแสไหลวนทำให้เกิดความร้อน
- ราคาแพง

- ท่อเอชดีพีดี (High Density Polyethylene Duct ; HDPD) เป็นท่อที่มีความยาว 6 และ 10 m ใช้สำหรับวางใต้พื้นผิวทางเท้าหรือผิวถนน โดยไม่หุ้มคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด แต่จะหุ้มเฉพาะส่วนที่เป็นรอยต่อของท่อหรือบางส่วนของท่อที่ไม่ได้อยู่ใต้ดิน นอกจากนี้ยังใช้เป็นท่อข้องอ ขึ้นเสาไรเซอร์ อีกด้วย

คุณสมบัติ

- ทนต่อการกัดกร่อนดี
- ฉนวนโพลีเอททีลีนไม่ทำให้เกิดกระแสไหลวน
- ยืดหยุ่นและดัดโค้งง่าย
- ทนต่อความร้อนและความชื้นได้ดี

ข้อเสีย

- ทนต่อแรงกดและกระแทกได้จำกัด

- ท่อโพลีไวนีลคลอไรด์ (PVC) ในปัจจุบันเลิกใช้แล้วเนื่องจากไม่ทนสภาวะแวดล้อม
- ท่อแร่ใยหิน (Asbestos Cement Duct) เป็นท่อที่ผลิตจากส่วนผสมของแร่ใยหินและปูนซีเมนต์มีความยาวท่อนละ 4 m ใช้วางใต้พื้นหรือทางเท้าหรือถนน โดยจะวางอยู่ระหว่างบ่อพัก หรือวางไปยังเสาไรเซอร์ ซึ่งเป็นเสาที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์มัดปลายสายเคเบิลเพื่อเป็นจุดต่อระหว่างสายเคเบิลกับสายอากาศ ท่อชนิดนี้ต้องหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กตลอดแนว

คุณสมบัติ

- ทนต่อการผุกร่อนได้ดี
- สามารถระบายความร้อนได้ดี
- ราคาถูก

ข้อเสีย

- เปราะและแตกง่าย
- มีน้ำหนักมาก
- ใยหินทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ

- ท่อเอฟอาร์อี (Fiberglass Reinforce Epoxy; FRE) ปัจจุบันได้นำท่อร้อยสายชนิดนี้ มาใช้งานแทนท่อชนิดแร่ใยหินสำหรับมาตรฐานของท่อจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 2 3 4 5 6และ 8 นิ้วมีความยาว 6 เมตร ในการติดตั้งใช้งานสามารถที่จะฝังดินได้โดยตรง หรือ หุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งในกรณีที่พื้นดินมีการทรุดตัวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

- มีความแข็งแรงและทนทานต่อแรงที่มากระทำสูง
- มีน้ำหนักเบา มีแรงเสียดทานในขณะลากสายเคเบิลต่ำ
- เป็นท่อที่ไม่เป็นพิษเพราะผลิตมาจากเส้นใยแก้วและอีพอกซี่ซึ่งทนต่อการกัดกร่อน
- ใช้งานที่อุณหภูมิ 40-110 องศาเซลเซียส

ข้อเสีย

- ราคาแพง
- เปราะง่าย

- ท่อพีเอฟพี (Polyester Concrete Fiberglass Reinforce Plastic Pipe ; PFP)

เป็นท่อร้อยสายใต้ดินที่ได้พัฒนาใหม่ โดนมีคุณสมบัติสูงกว่าท่อเอชดีพีดีและท่อแร่ใยหิน กล่าวคือ ในบริเวณที่มีการทรุดตัวของพื้นดินไปมาก ท่อชนิดนี้ สามารถวางโดยไม่ต้องหุ้มคอนกรีตเสริมเหล็กและใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เพราะจุดต่อของท่อชนิดนี้มีความยืดหยุ่น และในคุณสมบัติเฉพาะตัวของท่อเองก็มีความสามารถในการรับแรงกระทำได้สูง เช่นเดียวกับท่อร้อยสายชนิดเอฟอาร์อี อย่างไรก็ตามท่อชนิดนี้ จะมีความหนามากกว่าท่อชนิดเอฟอาร์อี

2.4.3 บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน (Manhole and Handhole)

บ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ใต้ผิวถนนซึ่งมีการจราจรของยานพาหนะต่างๆซึ่งจะรับน้ำหนักได้ถึง 18 ตัน ผนังด้านนอกของบ่อพักส่วนบนจะต้องอยู่ใต้ผิวถนนไม่น้อยกว่า 40 cm บ่อพักจะมีฝาปิด ทำด้วยเหล็กที่ก้นของบ่อพักจะต้องทำซัม ไว้สำหรับสูบน้ำออกเมื่อเวลาจะทำงานในบ่อพัก ลักษณะของการจัดหน้าต่างของบ่อพักขึ้นอยู่กับการวางท่อที่จะออกจากบ่อพักนั้นๆบ่อพักที่มีขนาดเล็ก เราสามารถจะหล่อสำเร็จรูปและยกลงมาวางในที่ที่จะติดตั้ง แต่ถ้าเป็นบ่อพักขนาดใหญ่จำเป็นต้องก่อสร้างในที่ๆจะใช้งานเพราะมีน้ำหนักมาก

- หน้าที่ของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

1. ใช้วางและจัดทำหัวต่อสาย (Cable Splice) เนื่องจากไม่สามารถลากสายออกจากเคเบิลเทรย์ ไปขึ้นเสาไรเซอร์ ได้ กรณีที่ระยะทางตรงมากกว่า 150.00 เมตร

2. ใช้ในการทำระบบกราวน์ดิ้งสำหรับระบบสายป้อน 12 และ 24 kV และทำครอสบอนดิ้งสำหรับระบบสายส่ง 69 115 และ230 kV

3. ใช้ในการเปลี่ยนหรือแยกทิศทางของท่อร้อยสาย

4. เพื่อช่วยในการลากสายให้สะดวกยิ่งขึ้น

- ชนิดของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

ชนิดของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดินสามารถจำแนกแกตามระดับของแรงดันได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ระดับแรงดัน 69- 115 Kv ประกอบด้วย Manhole ชนิด A-4/1,A-4/2,B-3/1,B-3/2,L-1/1,T-3/1,T-5/1

2) ระดับแรงดัน 12-24 Kv สามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะคือ

- Handhole ; HH ซึ่งประกอบด้วย ชนิด C, C-1< C-2/1 และ C-3
- Manhole ; MH ซึ่งประกอบด้วย ชนิด A-1/1, A-1/2, A-2/1, A-3/1,B-4/1, B-4/2 , L-2/1 , L-2/2, T-4/1

2.4.4 ตัวต่อสายไฟฟ้าหรือจุดต่อสาย (Cable Joint and Termination)

ในการติดตั้งระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นสายส่ง สายจำหน่ายที่เป็นสายไฟฟ้า กรณีที่มีระยะทางยาวๆ จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อ แต่ละส่วนของสาย เพื่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า และคุณสมบัติทางการผลิต ในทุกๆสายไฟฟ้า แต่ละวงจร จะต้องมีจุดต่อสายอย่างน้อย 2 จุด เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับสายใต้ดินบัสบาร์กับสายใต้ดิน หม้อแปลงกับสายใต้ดิน และอื่นๆ

2.4.5 หัวต่อสายไฟฟ้าใต้ดิน (Spice)

หัวต่อของสายไฟฟ้าใต้ดิน เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการใช้สายไฟฟ้าใต้ดิน การออกแบบจะต้องมีการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น โดยจะคำนึงถึงความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดต่ออุปกรณ์ที่จะนำมาทำเป็นหัวต่อของสายไฟใต้ดิน ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้

- มีค่าความแข็งแกร่งของฉนวน (Dielectric Strength) สูง
- มีค่าการสูญเสีย (Dielectric Power Factor)

อุปกรณ์เหล่านี้ไม่เพียงแต่จะทนต่อการทดสอบเพียงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น จะต้องสามารถทนและใช้งานได้ตลอดไป ในทางอุดมคติ หัวต่อของสายไฟฟ้าใต้ดินนี้ควรจะมีคุณสมบัติทางกลการยืดหยุ่นใกล้เคียงกับสายไฟฟ้า ซึ่งจุดประสงค์เหล่านี้มีไว้เพื่อ

- ต่อตัวนำของเคเบิลเข้าด้วยกัน
- ทำหน้าที่แทนฉนวนของสาย

2.4.6 หัวต่อสายไฟฟ้าใต้ดิน (Terminator)

หน้าที่ของหัวสายไฟฟ้าใต้ดินในระบบไฟฟ้าใต้ดิน ส่วนสำคัญอันหนึ่งของระบบก็คือ หัวต่อสายไฟฟ้าใต้ดิน หรือ พอทเฮด(Pot Head) ซึ่งส่วนมากจะติดตั้งอยู่บนเสาเรียกว่าหัวไรเซอร์ (Riser Pole) หรืออยู่ในแผงควบคุมในสถานีย่อย หรือบางคราวอยู่บนเสาวางหม้อแปลง ตรงบริเวณสวิทช์เกียร์ และติดตั้งอยู่อีกหลายๆที่ ตามบริเวณที่เราต้องการใช้สายไฟฟ้าไปสิ้นสุดเพื่อจะต่อเป็นสายอากาศไปหรือเพื่อจุดประสงค์อื่น การที่สายใต้ดินมาสิ้นสุดตรงนี้ ทำให้ชีลด์ของสายใต้ดินมาสิ้นสุดด้วย เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเรเดียลสเตรส (Radial Stress) , ลองติจูดสเตรส (Longitude Stress) ถ้าชิลด์ของสายใต้ดินไม่ขาดสเตรน (Strain) ทั้งสองอย่างเหล่านี้ก็จะถูกควบคุมให้คงที่สม่ำเสมอ และมีค่าตามที่กำหนดให้ เมื่อชีลด์ของสายใต้ดินขาดลง ผลการเปลี่ยนแปลงของสเตรส ทั้งสองทำให้ฉนวนของเคเบิลตรงจุดที่ชีลด์ขาดนี้เสียหาย ดังนั้น เพื่อป้องกันความเสียหายอันนี้ เราจึงจำเป็นต้องมีการป้องกัน ซึ่งเรียกว่า การทำหัวสาย (Terminator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของหัวสายตามสถานที่ใช้หรือชนิดของสาย

- ชนิดใช้ภายนอกอาคาร (Outdoor Type) เป็นหัวต่อสาย ที่สามารถใช้อยู่ภายนอกอาคารและใช้งานได้ในสภาพทุกสภาวะอากาศ
- ชนิดใช้ภายในอาคาร (Indoor Type) เป็นหัวต่อสาย ที่ใช้งานเฉพาะภายในไม่สามารถทนต่อ สภาวะได้ทุกสภาวะ
- ชนิดแกนเดียว (Single Core Type) เป็นหัวต่อสาย สำหรับสายไฟฟ้าแบบเดียว แต่อาจจะใช้กับสาย 3 แกนก็ได้ โดยเพิ่มเติมส่วนประกอบบางอย่าง
- ชนิด 3 หรือ 4 แกน (Three or Four Core Type) เป็นหัวต่อสาย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับสายแกนเดียว หรือหลายๆ เส้นก็ได้

2.4.7 เสาไรเซอร์ (Riser Pole)

คือส่วนของท่อร้อยสายที่โผล่พ้นดินขึ้นมา เพื่อใช้สำหรับเป็นตัวให้สายไฟฟ้าใต้ดิน ผ่านไปเชื่อมต่อกับระบบของสายอากาศ โดยไรเซอร์นี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่

1.ข้องอ 90° (90° Elbow) มีลักษณะเป็นท่อโค้ง 90° วัสดุที่ใช้ทำมาจากเหล็กกัลป์วาไนซ์ (Galvanized Steel) , PVC , HDPE

2.ท่อไรเซอร์ (Riser Conduit) เป็นท่อต่อจากข้องอขึ้นไป โดยจะแนบอยู่กับเสาคอนกรีต (Concrete Pole) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันทางกลให้กับสายไฟฟ้าใต้ดิน เมื่อโผล่พ้นดินขึ้นมาแล้ว วัสดุที่ใช้ทำมาจากท่อเหล็กหนา (Rigid Steel) หรือ HDPE

2.4.8 เทป (Tape)

ชนิดของเทป

- เทปฉนวนสำหรับแรงดันสูง (High Voltage Insulating Tape) ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ทำด้วยวัสดุหลัง คือเอททีลีนโพพีลีนรับเบอร์ (Ethylene Propylene Rubber ; EPR) จะต้องมีคุณสมบัติยึดแนบกับสิ่งที่ต้องการพันหุ้มได้ง่าย และสามารถหลอมประสานตัวเองเป็นเนื้อเดียวกัน เทปนี้ไม่ผ่านวิธีการอบ สามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน และสามารถใช้ทำการต่อสายและทำขั้วปลายสายของสายไฟฟ้าแรงสูง
- เทปกึ่งกลางตัวนำไฟฟ้า (Electrical Semi – Conducting Tape) เป็นเทปกึ่งตัวนำไฟฟ้าทำด้วยวัสดุหลักคือเอททีลีนโพพีลีนรับเบอร์ เทปนี้ทำหน้าที่ลดความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างฉนวนไฟฟ้าแรงสูงกับตัวนำไฟฟ้า เช่น ใช้พันหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงเพื่อลดความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่างชั้นของฉนวนไฟฟ้าแรงสูง กับชั้นของชีลด์
- เทปตาข่าย (Copper Mesh Tape) เป็นเทปที่ทอด้วยเส้นลวดทองแดงอาบดีบุกใช้พันหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง ทำหน้าที่เป็นชีลด์หัวต่อ เพื่อคลุมสนามไฟฟ้าให้ต่อเนื่องกับชีลด์ ของสายไฟฟ้าแรงสูง และใช้พันเป็นผิวตัวนำ รูปทรงกรวยของขั้วปลายสายไฟฟ้าแรงสูงเพื่อลดความเข้มของสนามไฟฟ้าบริเวณปลายชีลด์ของสายไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทปยางซิลิโคน (Silicone Rubber Electrical Tape) เทปนี้ประกอบด้วย สารอินออแกนิก (Inorganic Silicone) ที่ผ่านการอบอย่างเต็มที่แล้ว ตัวเทปถูกฉาบด้วยสารซิลิโคน ชนิดหนึ่ง และสามารถหลอมประสานตัวเองเป็นเนื้อเดียวกันได้ และสามารถทนอุณหภูมิสูงมาก เทปนี้ใช้พันขั้วปลายสายไฟฟ้าแรงสูง เพื่อลดการเกิดไฟลุกวาบที่หัวปลายสายไฟฟ้าแรงสูงเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่นฝุ่นละออง ความชื้น

- เทปพีวีซี (PVC Electrical Adhesive Tape) จะต้องเป็นเทปชนิดติดไฟช้ามาก มีความทนทานต่อความเย็นและทนแดดทนฝนได้ดี มีคุณสมบัติในการห่อหุ้ม และยึดแนบกับสิ่งที่ผูกพันได้อย่างเลิศ คงทนต่อการขัดถู ทนความชื้น ทนกรดบางชนิด ทนด่าง และทนสนิม

2.4.9 การออกแบบการก่อสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน

การก่อสร้างระบบสายไฟฟ้าใต้ดินในปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีค่าใช้จ่ายมากน้อยแตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องพิจารณาออกแบบที่ใช้ในการก่อสร้างให้เหมาะสมและคุ้มค่าใช้จ่ายที่ได้ลงทุนไป ในปัจจุบันเราแบ่งแบบการก่อสร้างออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- ประเภทห้อหุ้มท่อร้อยสายด้วยคอนกรีต (Concrete Encased Duct bank)

เป็นแบบการก่อสร้างเดิมของ กฟน. ที่ยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน ใช้กับงานก่อสร้างในระบบจำหน่ายและระบบส่ง ลักษณะการก่อสร้างเป็นแบบใช้ท่อแอสเบสทอส (Asbestos Cement Duct) แล้วหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นตัวป้องกันทางกลให้กับสายไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี การก่อสร้างท่อร้อยสายนี้จะต้องมีบ่อพักสายเป็นระยะๆ สำหรับใช้ในการลากสาย ต่อสาย ต่อแยกสาย หรือในกรณีที่การหักมุมของสายไฟฟ้า การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดีดังนี้

ข้อดี คือ

- ความปลอดภัยของเคเบิลสูงมาก
- จัดวางเคเบิลจำนวนมากๆ ได้ง่ายกว่า
- การบำรุงรักษาทำได้สะดวก

ข้อเสีย คือ

- ค่าใช้จ่ายสูง
- ความสามารถในการระบายความร้อนต่ำ ทำให้นำกระแสไฟฟ้าต่ำ
- ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างนานมาก
- การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรคทำได้ลำบากมาก (ต้องใช้ระยะทางยาว)

- ประเภทกึ่งฝังดินโดยตรง (Semi – direct Burial)

เป็นการก่อสร้างแบบใหม่ ซึ่งใช้กับงานก่อสร้างระบบจำหน่ายและระบบส่ง โดยนำท่อชนิดใหม่ ซึ่งสามารถดัดงอได้ (Flexible) มาใช้ ลักษณะการก่อสร้างจะใช้บล็อกคอนกรีต (Concrete Spacer Block) บังคับท่อดังกล่าวเป็นระยะๆ เพื่อช่วยรักษาระยะห่างระหว่างท่อให้คงที่ การก่อสร้างชนิดนี้จะไม่มีการห่อหุ้มท่อร้อยสายด้วย คอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตปิดด้านบนเป็นตัวป้องกัน การก่อสร้างแบบนี้จำเป็นต้องมีบ่อพักสาย เช่นเดียวกับการก่อสร้างประเภทแรก การก่อสร้างชนิดนี้มีข้อดีดังนี้

ข้อดี คือ

- ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าแบบแรก
- ระยะเวลาก่อสร้างน้อยกว่าแบบแรก
- ความสามารถในการระบายความร้อนได้ดีกว่าแบบแรก
- การดัดโค้งเมื่อพบอุปสรรคทำได้ง่ายกว่าแบบแรก

ข้อเสีย คือ

- ความปลอดภัยของเคเบิลต่ำกว่าแบบแรก

- ประเภทฝังดินโดยตรง

เป็นแบบการวางสายไฟฟ้าให้มีความลึกตามมาตรฐานโดยไม่ใช้ท่อร้อยสายและไม่มีการหุ้มทับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่มีการวางแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก และแถบเตือนอันตราย (Warning Sing Strip) ใต้ดินเหนือแนวสายไฟฟ้า และบนพื้นดินจะมีเป็นตัวที่ใช้แสดงแนวของการก่อสร้าง แสดงให้ทราบแนวสายเคเบิลใต้ดินเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาภายหลัง นอกจากนี้ยังเป็นจุดสังเกตเพื่อไม่ให้หน่วยงานอื่นเข้ามาขุดเจาะบริเวณแนวเคเบิลอีกด้วย

ข้อดี คือ

- ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด (เมื่อเทียบทั้ง 3 แบบ)
- ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างน้อยที่สุด (เมื่อเทียบทั้ง 3 แบบ)
- ความสามารถในการระบายความร้อนดีที่สุด (เมื่อเทียบทั้ง 3 แบบ)
- การดัดโค้งงอเมื่อพบอุปสรรคทำได้ง่ายที่สุด (เมื่อเทียบทั้ง 3 แบบ)

ข้อเสีย คือ

- ความปลอดภัยของสายไฟฟ้าต่ำที่สุด (เมื่อเทียบทั้ง 3 แบบ)
- การบำรุงรักษาทำได้ยากที่สุด (เมื่อเทียบทั้ง 3 แบบ)

2.4.10 การออกแบบบ่อพักสาย

1) บ่อพักสาย (Manhole)

เป็นชนิดก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนใหญ่จะอยู่ใต้ผิวถนนสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 18 ตัน บ่อพักจะมีฝาปิด (Manhole Frame & Cover) ทำด้วยเหล็ก

เราสามารถแบ่งประเภทของบ่อพักตามการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้กับแรงดัน 12 , 24 kV. และประเภทที่ใช้กับแรงดัน 69 , 115 kV. ส่วนการเลือกชนิดของบ่อพักที่ใช้ในระดับแรงดันใดๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. ทิศทางของแนวท่อร้อยสายไฟฟ้า ว่าจะเป็นแนวตรง , เลี้ยวซ้าย , เลี้ยวขวา หรือแยกออกเป็น 2 ทาง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จำนวนของท่อร้อยสายไฟฟ้า หากมีจำนวนท่อมากๆ ขนาดของบ่อพักสายก็จำเป็นต้องใหญ่ตามไปด้วย เพราะจะมีสายร้อยผ่าน หรือมีการต่อสายภายในบ่อพักเป็นจำนวนมาก ในลักษณะนี้ควรใช้แบบที่มีฝาบ่อ 2 ฝา เพื่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี เมื่อผู้ปฏิบัติงานลงไปติดตั้งหรือซ่อมแซม และยังมีที่ว่างพอจะทำงานได้ด้วยความสะดวก
โอกาสของโครงการที่จะดำเนินการต่อไปในอนาคตว่าต่อไปในทิศทางใด
<u>การลงตำแหน่งบ่อพัก บ่อพักที่ดีต้อง</u>

- ไม่กีดขวางการจราจรในขณะก่อสร้าง และทำการลากสายหรือในการซ่อมบำรุง ในกรณีที่เป็นเขตที่มีการจราจร หรือประชากรหนาแน่น
- อยู่ใกล้ตำแหน่งเสาไรเซอร์ให้มากที่สุด
- ไม่อยู่ใกล้กันมาก เพราะจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูง
- มีระยะห่างบ่อพักไม่เกิน 240.00 m ถ้ามากกว่านี้จะลากสายลำบาก และเปลือกสายตัวนำอาจยืดตัว เนื่องจากแรงดึงที่ใช้ในการลากสายมากเกินไปจนทำให้เสียคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางด้านไฟฟ้า
- ไม่เปลี่ยนระดับหรือคดเคี้ยวมาก เพราะจะทำให้ลากสายลำบาก
- กระทบกระเทือนต่อสิ่งปลูกสร้างหรือสภาวะแวดล้อมเดิมให้น้อยที่สุด ที่พบบ่อยคือแผ่นคอนกรีตพื้นถนน , คันหินทางเท้า (Curb) และต้นไม้ เวลาที่ก่อสร้างจำเป็นต้องปักเสา (Sheet Pile) กันดินพัง ซึ่งจะมีความหนาประมาณ 20 cm. เมื่อทำการตัดแบ่งส่วน และกำหนดระยะห่างระหว่างผนังบ่อกับขอบถนนก็ต้องเผื่อระยะไว้ด้วย และต้องไม่อยู่ใกล้รอยต่อของแผ่นคอนกรีตพื้นถนน เพื่อจะได้ไม่ต้องเสียเงินค่าซ่อมถนนเพิ่มขึ้น เพราะเวลาซ่อมต้องซ่อมหมดทั้งแผ่น
- เลือกชนิดและรูปร่างของบ่อพักให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- ควรจัดระยะห่างระหว่างบ่อพักให้มีขนาดใกล้เคียงกันตลอดแนว เพื่อประโยชน์ในการออกแบบครอสบอนดิ้ง สำหรับระบบสายส่ง

แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถที่จะออกแบบให้ครอบคลุมหัวข้อเหล่านี้ได้ทั้งหมด ผู้ออกแบบจริงต้องใช้วิจารณญาณของตัวเองที่จะประนีประนอม (Compromise) องค์ประกอบเหล่านี้เข้าด้วยกัน เพื่อที่จะสามารถออกแบบได้ดีที่สุด

2) ท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน (Duct Bank)

หลักการพิจารณาการออกแบบท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน

1. การออกแบบขนาดของท่อต้องพิจารณาของขนาดสายไฟที่ใช้ และลักษณะการจัดวางสายในท่อ โดยแยกการพิจารณาได้ 2 ลักษณะดังนี้

- การวางสาย 3 เส้น ต่อ 1 ท่อ (ระบบ 22 และ 24 kV.)

โดยให้

D= เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

d= เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายไฟฟ้าแต่ละเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบท่อต้องพิจารณาอัตราส่วนอัด(Jam Ratio ; D/d) โดยถ้ามีค่ามากกว่า 3.0 จะทำให้สายแต่ละเส้นข้ามอีก 2 เส้นได้ ในการออกแบบที่ดีค่าดังกล่าว ไม่ควรเกิน 2.5 เนื่องจากจะได้สายไฟวางอยู่ในรูปสามเหลี่ยม ซึ่งทำให้การเกิดการสูญเสียน้อยกว่าการวางแบบอื่น

- การวางสาย 1 เส้น ต่อ 1 ท่อ (ระบบ 69 และ 115kV.)

ขนาดของท่ออย่างน้อยที่สุดประมาณ 1.25 เท่าของขนาดสายที่ใช้ แต่ค่าที่ใช้โดยทั่วไปประมาณ 1.5-2.5 เท่าของขนาดสายไฟฟ้า

2. ควรเลือกลักษณะการจัดรูปร่างของท่อร้อยสายให้เหมาะสม

3. พยายามให้เป็นช่วงตรงมากที่สุด เพื่อสะดวกในการลากสาย

4. การวางท่อควรออกแบบให้สามารถระบายน้ำที่ขังในท่อออกไปส่วนอื่นได้

5. ระดับหลังท่อร้อยท่อร้อยสาย จะต้องมีความลึกไม่ควรต่ำกว่า 1 m จากผิวการจราจรเพราะป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อท่อร้อยสายไฟฟ้า และก็ไม่ควรจะมีความลึกมากเกินไป เพราะจะทำให้สายไฟฟ้าที่ร้อยอยู่ภายในระบายความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร

6. ในกรณีที่ต้องออกแบบท่อร้อยสาย ตามแนวโค้งจะต้องคำนึงถึงค่ารัศมีโค้งงอ(Bending Radius) ของสายไฟด้วยซึ่งค่ารัศมีการโค้งงอ ควรมีค่าอย่างน้อยที่สุดประมาณ 7 ถึง 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าเส้นที่ใหญ่ที่สุด

7. การออกแบบหลบสิ่งกีดขวาง มุมที่มีการเปลี่ยนระดับไม่ควรที่จะเปลี่ยนอย่างทันทีทันใดควรจะค่อย ๆ เปลี่ยนระดับไป หลังจากพ้นสิ่งกีดขวางแล้วค่อย ๆปรับระดับให้มาอยู่แนวเดิมทั้งนี้เนื่องจากจะได้ลดปัญหาที่เกิดจากการลากสาย

3) เสาไรเซอร์ (Riser Pole and Stub)

ในการออกแบบท่อร้อยสาย ในสายที่จะไปต่อกับเสาไรเซอร์ หรือในส่วนที่สำรอง (Spare) ไว้สำหรับท่อกับโครงการในการอนาคต(Stub) นั้น มีหลักในการพิจารณาดังนี้

1. การขึ้นเสาไรเซอร์สำหรับ 12, 24 kV. นั้นจะใช้ท่อจำนวน 2 ท่อ ส่วน 69 ,115 kV. จะใช้ท่อจำนวน 3 ท่อ(Single Circuit) หรือ 6 ท่อ (Bundle Circuit)

2. การขึ้นเสาไรเซอร์ ควรจะขึ้นด้านในของเสาคอนกรีต ทั้งนี้เพื่อป้องกันการถูกรถชน

2.4.11 การวางสายไฟฟ้าใต้ดิน

สายไฟฟ้าใต้ดินเป็นสายหุ้มฉนวนซึ่งออกแบบให้สามารถทนแรงดันที่กำหนดไว้ได้โดยไม่ชำรุดเสียหายภายในช่วงอายุการใช้งานของสาย การพิจารณานำระบบไฟฟ้าใต้ดินมาใช้แทนระบบสายอากาศนั้น จุดประสงค์หลักอันหนึ่งคือ เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ให้แก่ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า โอกาสที่ไฟฟ้าดับนั้นมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สายอากาศ แต่การที่จะได้มาซึ่งความเชื่อถือได้ของระบบนั้น นอกจากจะต้องใช้สายไฟและระบบอื่นๆที่ดีแล้วการติดตั้งสายเคเบิลจะต้องกระทำอย่างถูกต้องละเอียดรอบคอบ ซึ่งหมายรวมถึงการวางสาย การต่อสาย และการทำเทอร์มิเนเตอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสายไฟฟ้า ชุดหัวต่อ หรือเทอร์มิเนเตอร์ต่างได้รับการออกแบบและทดสอบมาเป็นอย่างดีว่าสามารถใช้งานได้ดี และมรอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังนั้นการชำรุดของสายไฟฟ้าภายในระยะเวลาอันสั้นหลังจากใช้งานไม่ว่าจะเกิดขึ้นที่สาย หัวต่อ หรือเทอร์มิเนเตอร์ก็ตามน่าจะมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดที่เกิดมาจากการติดตั้ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการติดตั้งก็เป็นหัวใจสำคัญในการคงอายุการใช้งานของระบบไฟฟ้าใต้ดินให้ยาวนานดังจุดประสงค์ที่ผู้ผลิตออกแบบไว้

ในการติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดินจะต้องมีการลากดึงสาย และการลากดึงอาจจะกระทำต่อตัวนำของสายโดยตรง หรือฉนวน หรือชิลด์ของสายก็ได้ ในกรณีเช่นนี้ย่อมจะเกิดแรงกดการยืดและการเคลื่อนที่ได้โดยเหตุดังกล่าวจึงต้องมีค่าแรงดึง(Tension) ที่จะสามารถยอมรับได้ในการที่จะมาดึงสายไฟฟ้าดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อไม่ต้องการให้เกิดความเสียหายของสายตัวนำหรือฉนวนโดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการดึงสายให้ผ่านส่วนโค้งหรือต้องกการโค้งงอสายเอง แรงดึงที่จะกระทำต่อสายจะต้องชนะแรงเสียดทานที่กระทำต่อสาย ยิ่งในกรณีที่การโค้งงอมากแรงเสียดทานดังกล่าวจะมีค่ามากขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงอย่างมากในการที่จะชนะแรงเสียดทานดังกล่าว นอกจากนี้ในขณะที่สายไฟฟ้ามีการโค้งงอย่อมจะเกิดการอัดบดฉนวนที่อยู่ในรัศมีด้านในของการโค้งงอ และถ้าแรงที่ดึงมีค่ามากย่อมจะก่อให้เกิดความเสียหายบนตัวนำ หรือฉนวนของสายไฟได้ ดังนั้นในการใช้งานของสายไฟฟ้าจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความสมบูรณ์ทางไฟฟ้าซึ่งจะนำมาเสี่ยงภัยต่อการดึงของแรงที่มีต่อสาไม่ได้ ทำให้สายจำเป็นต้องมีชีลด์เพิ่มขึ้นตามมา ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายจากการอัด การลาก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อนำสายไฟฟ้าไปใช้งาน

การติดตั้งทางเดินสายหรือท่อร้อยสายไฟ การเลือกขนาดทางเดินสาย(Duct) หรือท่อรอยสายไฟ(Conduit) นั้น จะขึ้นอยู่กับการพิจารณาหลักการพื้นฐานของเปอร์เซ็นต์ในการแก้ปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการลากดึงสายเคเบิล ซึ่งทำให้ต้องพิจารณาถึงจำนวนเนื้อตัวนำทั้งหมดที่มีอยู่ในท่อนอกจากนี้รัศมีของท่อร้อยสาไฟมาตรฐานและความโค้งงอของทางเดินสายก็จะเป็นสิ่งจำเป็นหรือในการโค้งงอรัศมีด้านในต่ำสุดของการโค้งงอที่จะยินยอมให้มีการโค้งงอได้ก็จะต้องนำมาพิจารณาใช้ในการติดตั้งสายไฟฟ้าด้วย

จำนวนของการโค้งงอและรัศมีจะมีผลกระทบต่อการใช้แรงดึงสายในการที่จะดึงให้ผ่านความโค้งดังกล่าว การที่จะต้องออกแรงดึงเพิ่มขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับรัศมีความโค้งที่ยิ่งเล็กจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสายได้ อีกประการหนึ่งแรงกดที่กระทำต่อด้านข้างจะมีค่ามากจนเป็นอันตรายต่อสายได้ดังนั้นจึงได้มีอุปกรณ์ที่จะใช้ช่วยในแรงดึง ซึ่งอาจจะได้แก่ สารหล่อลื่นอันจะช่วยให้ทำงานง่ายขึ้น

2.4.12 การหล่อลื่น

แรงดึงในการลากสาย เป็นผลอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานระหว่างสายกับท่อร้อยสาย ซึ่งเราสามารถลดแรงดึงลงได้ด้วยการลดแรงเสียดทานดังกล่าวให้น้อยลง โดยใช้วัสดุที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลื่นทาสาย หรือท่อร้อยสายอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยที่วัสดุหล่อลื่นนี้จะต้องไม่เป็นอันตรายต่อสายและจะต้องไม่ยึดเกาะกับสายเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน ทำให้ยากต่อการเอาสายออก

วัสดุหล่อลื่นที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายชนิด เช่น โซพสโตน(Soapstone), แว็กซ์-เบส (Wax-Base) เป็นต้น

โดยสารหล่อลื่นดังกล่าวจะลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างสายกับท่อร้อยสายหรือทางเดินสายประมาณครึ่งหนึ่งของการดึงเมื่อไม่ได้ใช้สารหล่อลื่น ซึ่งจะสามารถทำให้ดึงด้วยแรงดึงที่ต่ำกว่า และดึงสายได้ยาวกว่า สารหล่อลื่นที่ใช้จะต้องไม่ทำอันตรายต่อแจ็คเก็ต (Jacket) และเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นจึงควรใช้ประมาณ 15-22 กิโลกรัมที่ทุกๆ ความยาว 100 m ของสายเคเบิล และยังอยู่กับขนาดของสายเคเบิลเองด้วย

2.4.13 การตรวจสอบและล้างท่อสายไฟฟ้าใต้ดิน

ก่อนที่จะทำการร้อยสายไฟฟ้าต้องตรวจสอบท่อเสียก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าท่อไม่ตันและไม่มีสิ่งกีดขวางซึ่งอาจจะทำให้สายชำรุดเสียหายและเป็นอุปสรรคในการร้อยสาย โดยปกติแล้วท่อสำหรับร้อยสายเป็นท่อคอนกรีตเรียงกันเป็นแผง ฝังอยู่ในท่อคอนกรีตซึ่งเป็นตัวยึดห่อหุ้มท่อทั้งหมดไว้อีกทีหนึ่ง โดยนำแผงท่อเหล่านี้มาต่อกันให้ได้ความยาวตามที่ต้องการ ตรงช่วงรอยต่อเหล่านี้หาดต่อกันไม่สนิทหรือเหลื่อมล้ำกันอยู่ จะทำให้น้ำปูนหรือเศษทราย ดิน เข้าไปในท่อได้ซึ่งทั้งหมดนี้ย่อมทำให้เกิดการติดขัด หรือชำรุดเสียหายต่อสายได้ การฝังท่อที่มีระยะยาวมากนั้นอาจจะทำให้ท่อคดเคี้ยวไปมา ไม่ได้แนวตรงก็เป็นอุปสรรคอีกอันหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือ และวิธีการสำหรับตรวจสอบเพื่อที่จะได้ทราบว่าท่อไหนใช้งานได้หรือไม่ได้ เพื่อที่จะได้ทำการวางสายต่อไป

วิธีการตรวจสอบท่อที่นับว่ามีประโยชน์มาก อันดับสุดท้ายคือ การใช้เศษสายไฟฟ้าที่มีความยาว 3 m ลากผ่านเพื่อตรวจสอบสภาพของท่อโดยการวินิจฉัยสิ่งตกค้างในท่อ หรือรอยต่อของท่อว่าเรียบร้อยหรือไม่ โดยการดูสภาพของท่อ โดยการวินิจฉัยสิ่งตกค้างในท่อหรือรอยต่อของท่อว่าเรียบร้อยหรือไม่ โดยการตรวจดูว่าสภาพเปลือกของสายมีรอยบาด ขูดขีดมากน้อยเพียงใด ซึ่งนับว่าเป็นการตรวจสอบที่ดีวิธีหนึ่ง สำหรับท่อโค้งมาก เช่น เสาไรเซอร์ เราจะใช้สายยาวประมาณ 7 m ลากผ่านและตรวจดูที่เปลือกสายถ้าหากมีรอยบาด หรือชำรุดมากก็นับว่าใช้งานได้

การตรวจสอบท่อในบางครั้งมีสิ่งอุดตันอยู่ในท่อเป็นจำนวนมาก เช่น เศษหิน ดิน ทราย หรือน้ำปูนมากเกินกว่าที่จะใช้เครื่องมือตรวจสอบท่อดังกล่าวไว้ จำเป็นจะต้องมีเครื่องมืออย่างอื่น เช่น เครื่องขุดท่อ พลั่วแบบอ่อนตัวได้ โซ่กากบาท โซ่ธรรมดา พลั่วแบบโซ่ เป็นต้น ส่วนท่อที่มีเศษหินละเอียดอัดอยู่อาจชำระน้ำออกได้โดยใช้น้ำฉีด หรือถ้าสามารถร้อยเชือกและสลิงผ่านได้และใช้โซ่ลากผ่านแล้วจึงใช้น้ำฉีดออกก็นับว่าเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีวิธีหนึ่ง

สาเหตุชำรุดของสายไฟฟ้านั้น เราสามารถแยกเป็น 2 กรณี คือ

1. ชำรุดก่อนการติดตั้ง โดยปกติแล้วสายจะต้องผ่านการทดสอบมาแล้วจากบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นจึงจะถือได้ว่าสายที่มาจากโรงงานเป็นสายสภาพดี การชำรุดเสียหายของสายก่อนการติดตั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการขนส่ง การขนย้ายและการเก็บรักษา เมื่อเบิกสายใหม่มาจะต้องตรวจสภาพภายนอกของซีลด์สายเสียก่อนว่าอยู่ในสภาพเรียบร้อยหรือไม่ นอกจากนั้นการแกะเปลือกซีลด์จะต้องทำด้วยความระมัดระวังเกี่ยวกับตะปู หรือเหล็กงัดซึ่งอาจทำให้เปลือกสายชำรุดได้ การยกสายขึ้นรถเทรลเลอร์ก็ต้องปฏิบัติด้วยความระมัดระวังเช่นกัน

2. ชำรุดเนื่องจากการติดตั้ง โดยทั่วไปแล้วสายที่ชำรุดเนื่องจากการลากจะเกิดจากสภาพของท่อร้อยสายไม่ดีพอ และการป้อนสายเข้าท่อร้อยสายดังนั้นการก่อสร้าง การตรวจสอบและทำความสะอาดท่อร้อยสายจะต้องกระทำอย่างไรดี เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจาการท่อร้อยสาย สาเหตุที่พบบ่อยอีกอย่างหนึ่งคือสายไขว้ หรือบิดตัวก่อนเขาท่อร้อยสายทำให้สายเคเบิลอัดกับท่อทำให้สายชำรุดได้ ดังนั้นการป้อนสายเข้าท่อร้อยสายจะต้องกระทำอย่างระมัดระวัง ตลอกการลากสายเคเบิล โดยต้องมีผู้ปฏิบัติงานดูแลอย่างใกล้ชิด

จากการที่ได้กล่าวจากเบื้องต้นแล้วว่า การติดตั้งหรือการลากสายนั้นเป็นงานที่มีความสำคัญเป็นจุดเริ่มแรกของคุณภาพของงาน ถ้าลากสายชำรุดแล้วการต่อสายหรือการทำปลายสายที่ดีก็ไม่สามารถทำให้อายุการใช้งานของสายดีขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหัวต่อบางชนิดไม่สามารถป้องกันน้ำที่ไหลมาซีลด์ของสายได้ จะเห็นว่าผลต่อเนื่องที่ตามมาทำให้หัวต่อมีอายุการใช้งานสั้นลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการทดลอง

3.1 รูปแบบการทดลอง

แบ่งเป็น 7 ขั้นตอน คือ

1) การเก็บข้อมูล
2) การวิเคราะห์ข้อมูล
3) การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสายเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า
4) ศึกษาแนวทางการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสาย
5) การออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายส่งเคเบิลใต้ดิน
6) การประเมินราคา
7) การหาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าเป้าหมายที่คาดหวัง

3.2 วิธีการทำการทดลอง

ตอนที่ 1 (ขั้นตอนการเก็บข้อมูล)

1) ขอข้อมูลไฟฟ้าดับของสายป้อน CG-414 จากการไฟฟ้านครหลวง ในช่วงปี 2549
2) ขอข้อมูลการใช้พลังงานของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์จากกองพลังงานตึกอธิการบดีในช่วงเดือน มิถุนายน ถึงเดือน ตุลาคม
3) ดำเนินการสำรวจจุดบกพร่องของสายป้อนภายในสถาบันทั้งหมดพร้อมทั้งทำแผนผังระบบจำหน่ายไฟฟ้าและถ่ายรูปปัญหาที่เกิดขึ้นกับสายป้อน

ตอนที่ 2 (การวิเคราะห์ข้อมูล)

1) นำข้อมูลการใช้พลังงานของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์มาหาช่วงเวลาไฟดับโดยการพิจารณาค่าในช่องพลังงานที่ใช้ว่ามีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่
2) คำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยการใช้ข้อมูลของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์เป็นตัวแทน
3) เปรียบเทียบค่าดัชนีความน่าเชื่อถือภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของสายป้อน CG-414 ของการไฟฟ้านครหลวง
4) วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาไฟฟ้าดับภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและจัดทำตารางบันทึกผลโดยการแยกสาเหตุและอุปกรณ์ที่เกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 (การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสายเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า)

1) ทำ Single line Diagram การจ่ายไฟฟ้าแรงสูงในระบบ 24 kV. ภายในสถาบัน
2) วาด Lay Out การจ่ายไฟแรงสูงในระบบ 24 kV. ภายในสถาบัน
3) นำผลการสำรวจมาทำแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสายเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า

ตอนที่ 4 (ศึกษาแนวทางการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสาย)

1) ศึกษาแนวทางการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสาย

ตอนที่ 5 (ออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดิน)

1) หาข้อมูลผังไฟฟ้าในสภาพปัจจุบัน
2) สำรวจพื้นที่ การทรุดตัวของดิน ลักษณะผิวจราจร
3) สำรวจอุปสรรคสำคัญเช่น คลอง ทางรถไฟ
4) คำนวณกระแสที่ใช้เพื่อเลือกขนาดสายเคเบิล 24 kV
5) เลือกขนาดของสายใต้ดิน
6) เลือกขนาดท่อร้อยสาย
7) เลือกขนาด duck bank
8) กำหนดตำแหน่งและระยะบ่อพัก
9) ทำการวางผังอุปกรณ์แต่ละชนิดลงบนแผนผัง
10) คำนวณจำนวนบ่อพักแต่ละชนิด
11) พิจารณาวิธีการก่อสร้าง

ตอนที่ 6 (การประเมินราคา)

1) หาจำนวน ราคาของอุปกรณ์ รวมทั้งค่าแรงในการปรับปรุงระบบต่าง ๆ ตามการทดลองในตอนที่ 3,4 และ5
2) จัดทำ BILL OF QUANTITY

ตอนที่ 7 (การหาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าเป้าหมายที่คาดหวัง)

1) คำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าเป้าหมายที่คาดหวังในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสาย
2) คำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าเป้าหมายที่คาดหวังในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ข้อมูลภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตั้งอยู่ ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานครฯ

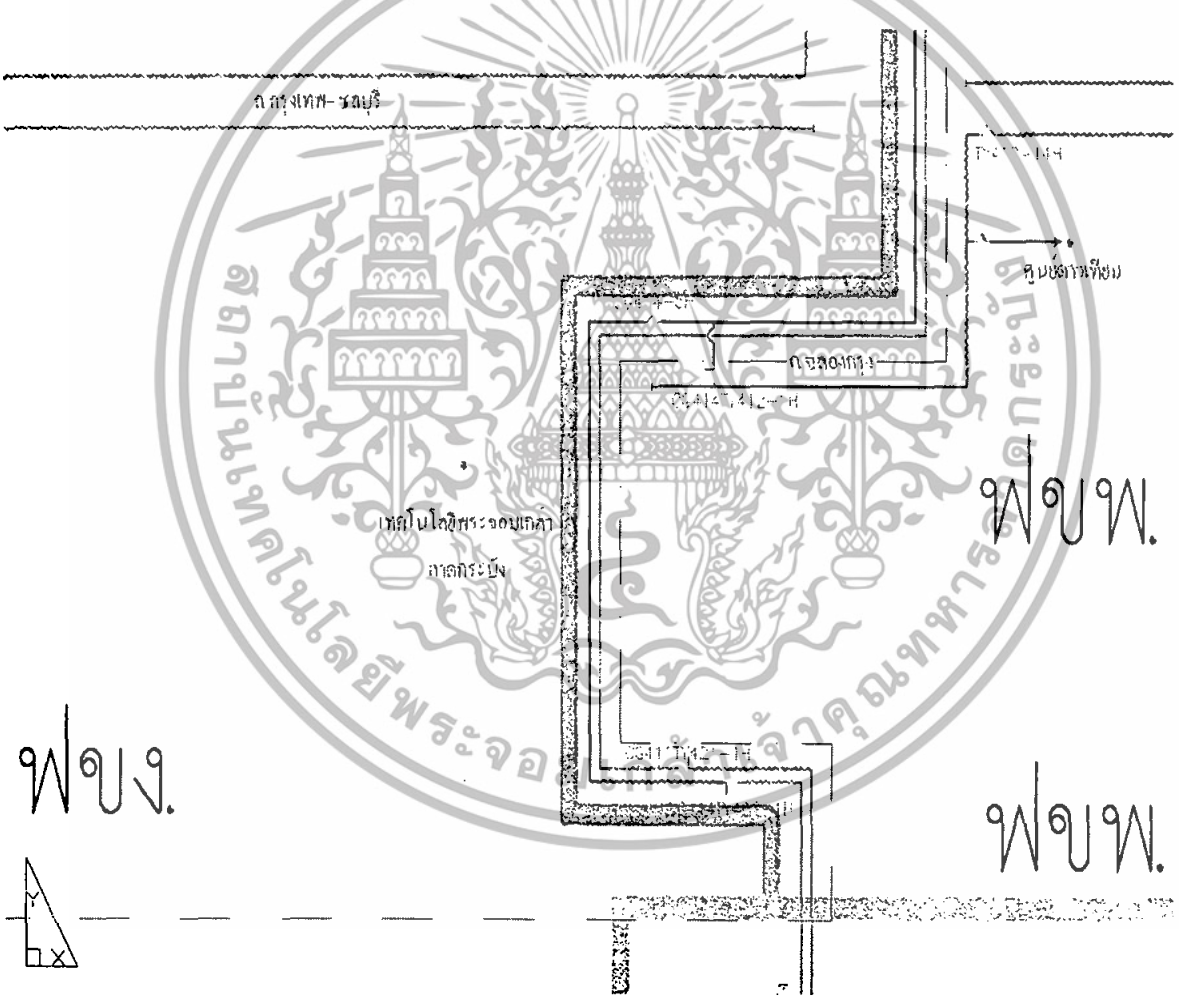
มีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าภายในจำนวน 48 ราย

เป็นมิเตอร์ไฟฟ้าแรงสูง 36 ราย

มิเตอร์ไฟฟ้าแรงต่ำ 12 ราย

รับไฟจากสถานีย่อยฉลองกรุง สายป้อน CG-414 มีจำนวนลูกค้าภายในสายป้อน 607 ราย

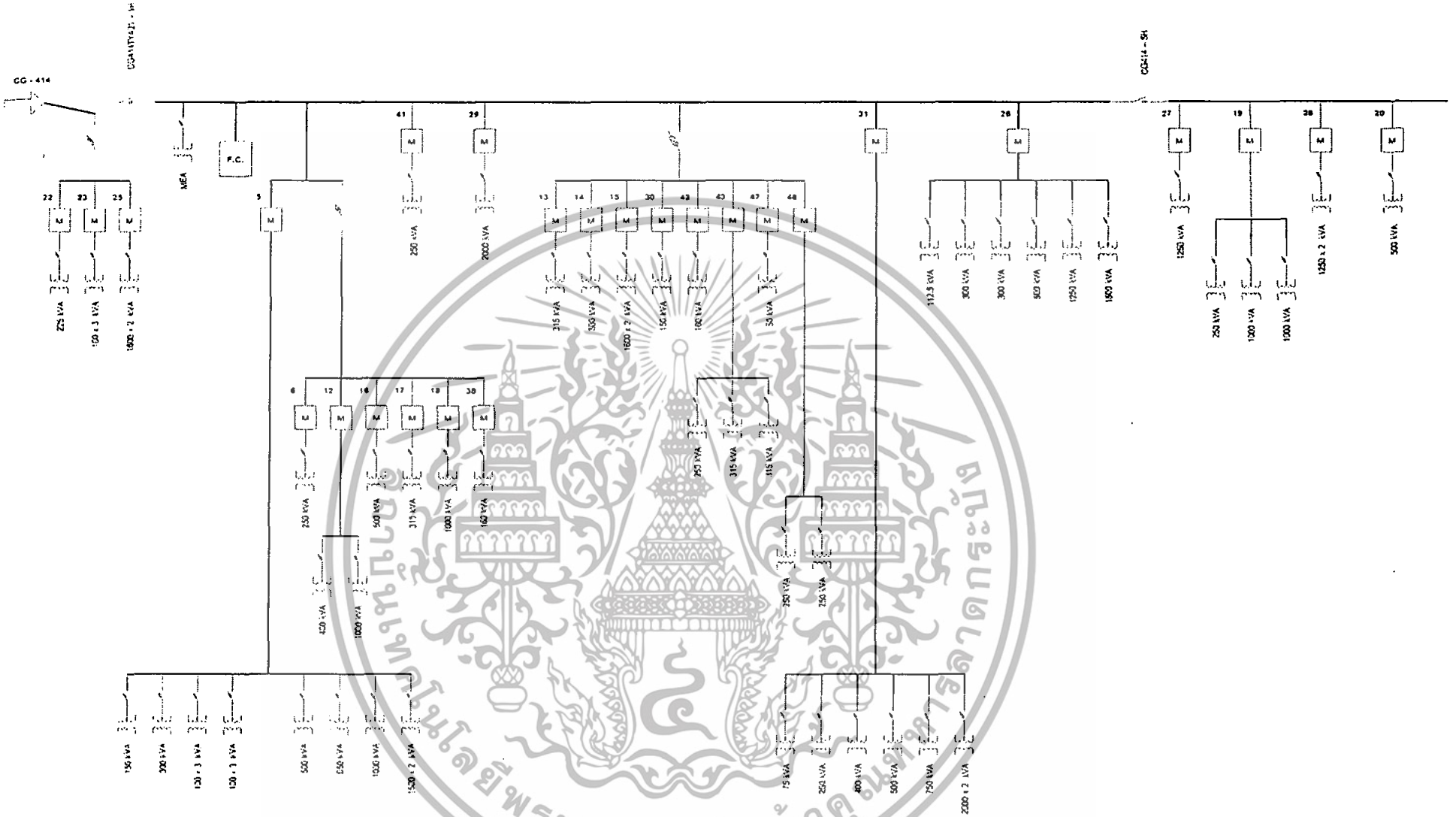
Switching Diagram สายป้อน CG-414



ภาพที่ 4.1 แสดง Switching Diagram

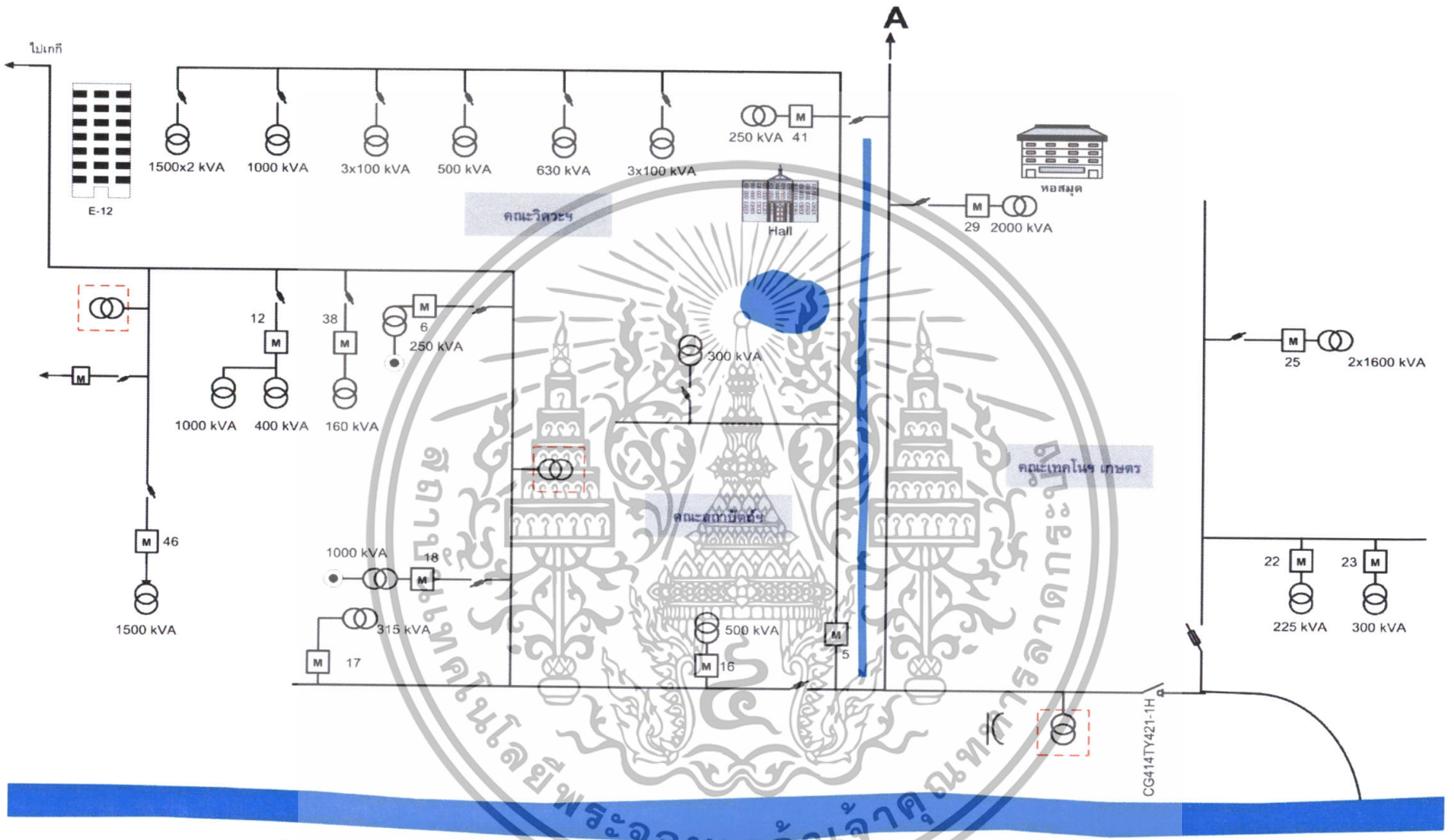
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

One Line Diagram แสดงการจ่ายไฟ 24 kV ภายในสถาบัน

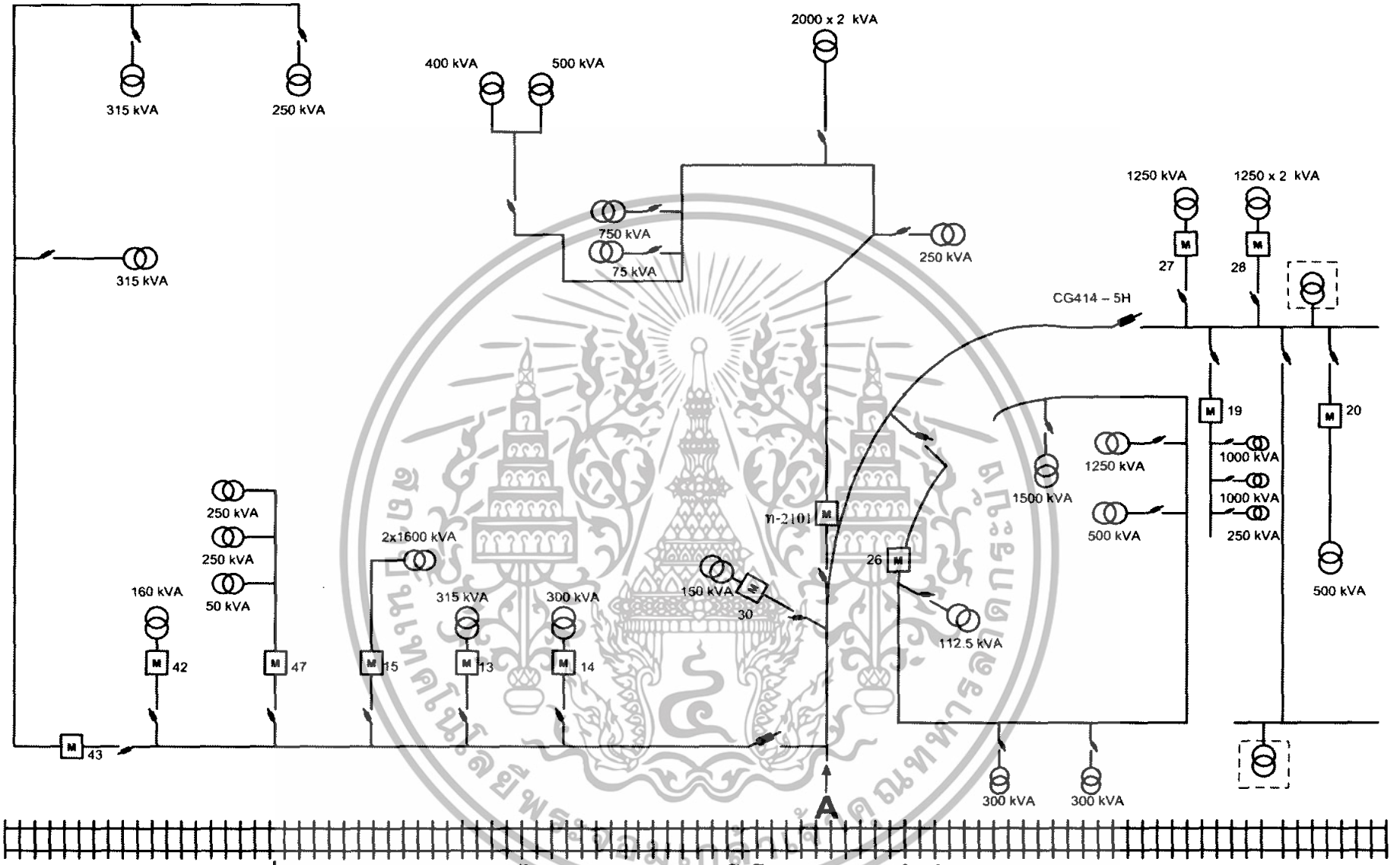


ภาพที่ 4.2 แสดง One Line Diagram ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากทำการสำรวจนำข้อมูลที่ได้มาเขียน Lay Out



ภาพที่ 4.3 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

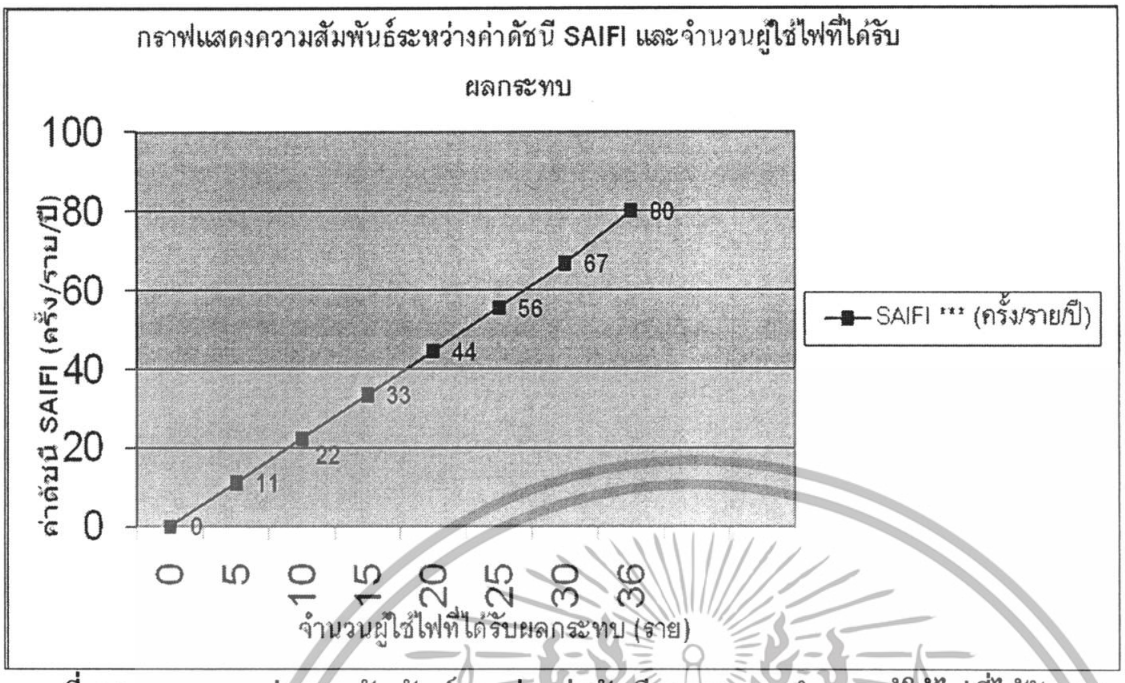


ภาพที่ 4.4 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)

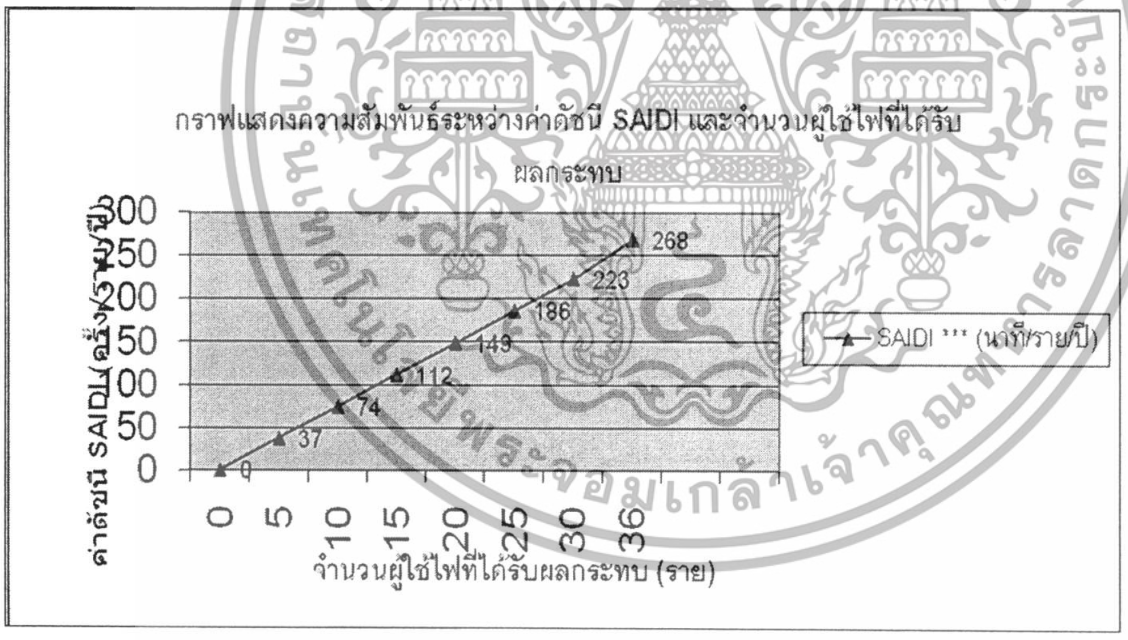
ตารางที่ 4.1 ค่า SAIFI , SAIDI จากการเก็บข้อมูลภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จำนวนผู้ใช้ที่ได้รับผลกระทบ (ราย)	จำนวนช่วงเวลารวมที่ดับในช่วง มิ.ย. - พ.ย. (นาที)	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบคูณจำนวนช่วงเวลาที่ดับ (นาที)	จำนวนครั้งที่ดับในช่วง เดือน มิ.ย. - พ.ย. (ครั้ง)	จำนวนครั้งที่ดับในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. คูณจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ (ครั้ง)	SAIFI *** (ครั้ง/ราย/ปี)	SAIDI *** (นาที/ราย/ปี)
0	134	0	40	0	0	0
5	134	670	40	200	11.11	37.22
10	134	1340	40	400	22.22	74.44
15	134	2010	40	600	33.33	111.67
20	134	2680	40	800	44.44	148.89
25	134	3350	40	1000	55.56	186.11
30	134	4020	40	1200	66.67	223.33
36	134	4824	40	1440	80	268

หมายเหตุ *** หมายถึง ค่าดัชนี 1/2 ปี คูณ สอง



ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIFI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ



ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIDI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในระบบปักเสาพาดสายภายในสถาบัน

กิจกรรมที่ต้องดำเนินการปรับปรุง

1.เปลี่ยนสายส่งชนิดสายที่เป็นสายเปลือยภายในสถาบันทั้งหมดเป็นสายหุ้มฉนวน ASC แบ่งเป็น

1.1 ช่วงภายในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ใช้สายASCขนาด 70 mm^2 ระยะทาง 220 เมตร ใช้สาย 660 เมตร

1.2 Tap แยกเข้าหม้อแปลงขนาด 500 kVA บริเวณเสาไฟฟ้าสามแยกข้างหน่วยพาหนะ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ใช้สาย ASC ขนาด 35 mm^2 ระยะทาง 20 เมตร ใช้สาย 60 เมตร

1.3 ทำการยกเลิกสายแนวริมรั้วตั้งแต่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จนถึงปากทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ออก โดยเปลี่ยนสายช่วงคณะวิศวกรรรมศาสตร์ตั้งแต่อาคารเรียนรวม A ผ่านแนวบ่อน้ำริมรั้วหน้าคณะไปจนถึงแนวถนนไปตึก 12ชั้น เป็นสาย ASC ขนาด 70 mm^2 ระยะทาง 480 เมตร ใช้สาย 2,880 เมตร

1.4 Tap แยกเข้าหม้อแปลงขนาด 300 kVA บริเวณหน้าอาคารภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง(เก่า) ใช้สาย ASC ขนาด 35 mm^2 ระยะทาง 12 เมตร ใช้สาย 36 เมตร

1.5 Tap ทางเข้าคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมจนถึงโรงอาหารคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ใช้สาย ASC ขนาด 35 mm^2 ระยะทาง 100 เมตร ใช้สาย 300 เมตร

2.ย้าย HT Meter จากบริเวณทางเข้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มาตั้งอยู่บริเวณเสาไฟตรงข้ามหอสมุดกลาง

3.ตรวจสอบและสำรวจบริเวณที่มีต้นไม้พาดสายส่งหรือใกล้สายส่งภายในสถาบันทั้งหมด

- สำรวจพบ 12 จุด

ให้มีการแก้ไขโดยตัดกิ่งไม้บริเวณใกล้เคียงออก

4.การพิจารณาเพิ่ม drop fuse cut out 2 จุด

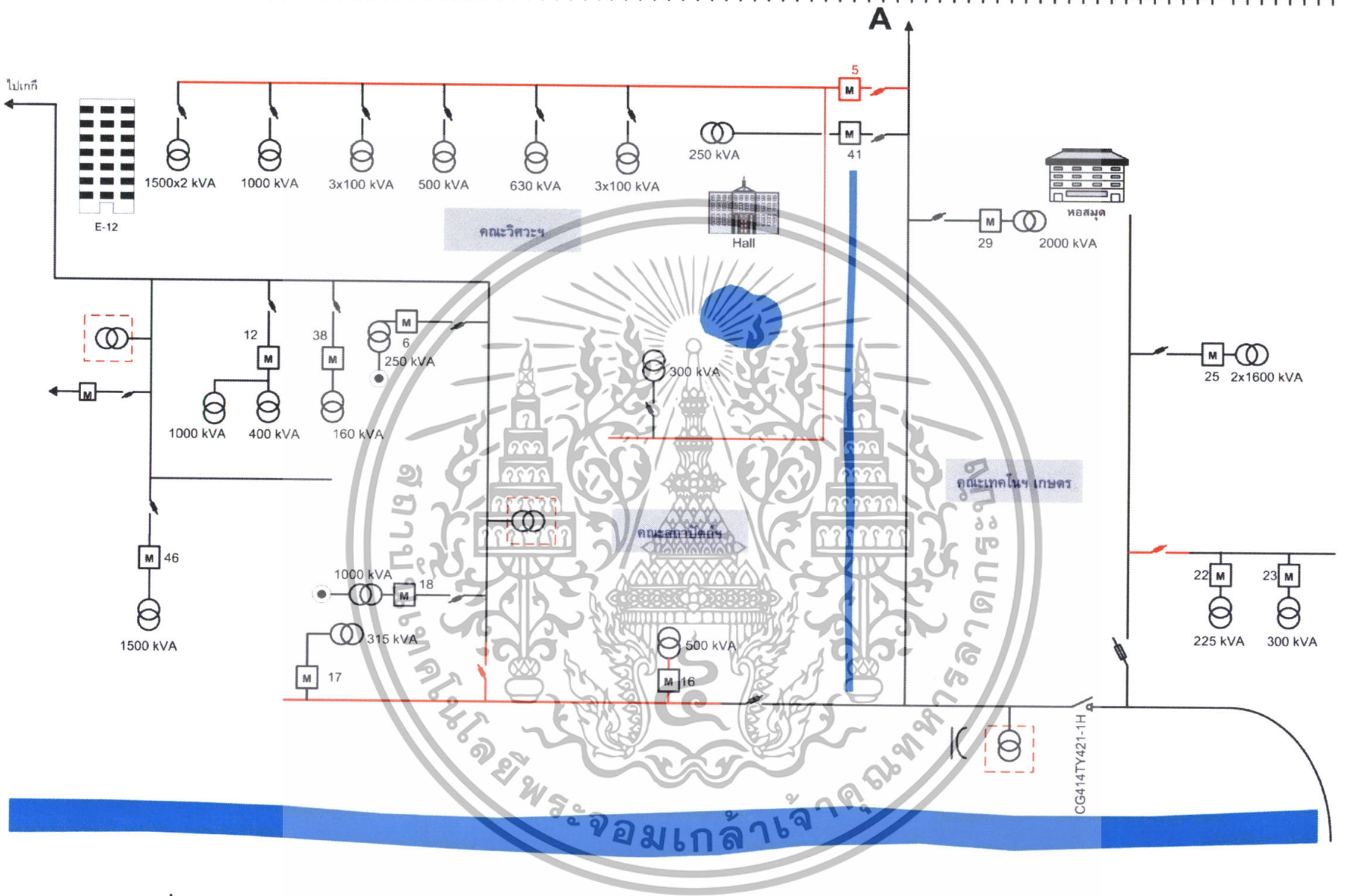
4.1 เพิ่มบริเวณคณะเทคโนโลยีเกษตร

4.2 เพิ่มบริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

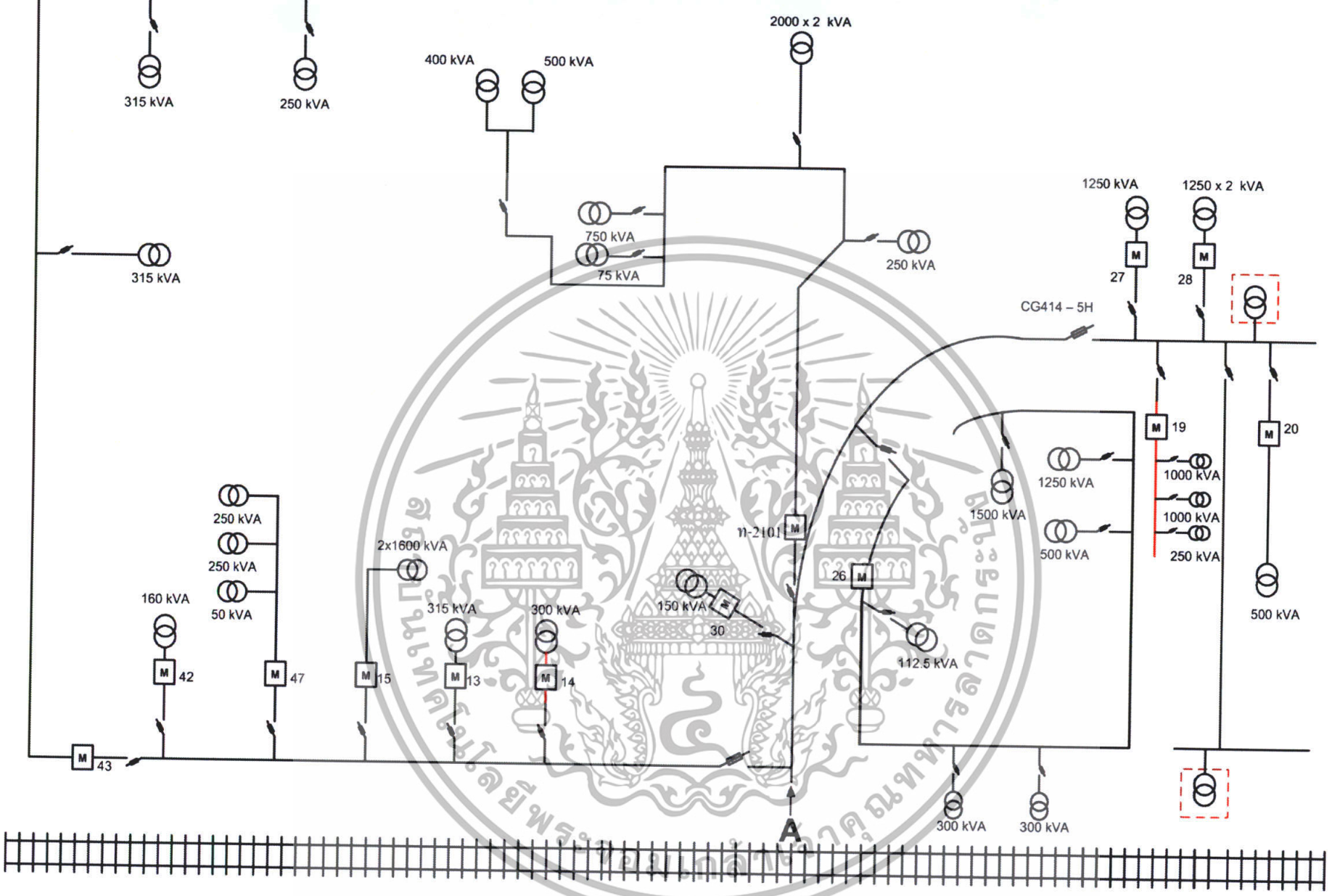
5.ติดตั้งอุปกรณ์ Live Part เพื่อป้องกันสัตว์

จำนวน 35 จุด บริเวณ เสาต้น HT-Meter และ ต้นหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังภายหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 4.8 แสดง Lay Out ระบบไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังภายหลังการปรับปรุง (ต่อ)

4.3 กิจกรรมการบำรุงรักษา โดยการสำรวจเพื่อบำรุงรักษาและดำเนินการแก้ไข

1.วิธีการสำรวจ

1.1 การตรวจสอบด้วยสายตา (กล้องส่องทางไกล)

ตารางที่ 4.2 การตรวจสอบด้วยสายตา (กล้องส่องทางไกล)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	รายการที่ตรวจสอบ
1	เสาไฟฟ้า	สภาพเสาไฟฟ้า แตก / หัก / เอียง หรือไม่ และ มีสายดินหรือไม่
2	คอนสาย	สภาพคอนสาย แตก / หัก หรือไม่
3	Over head ground wire	สาย Over head ground wire ขาด / ไม่มี หรือไม่
4	Bond wire	สภาพ Bond wire ขาด / ไม่มี หรือไม่
5	สายไฟฟ้า	สายไฟฟ้า ใกล้/สัมผัส ต้นไม้ อาคาร วัตถุอื่นๆ หรือไม่
6	ลูกถ้วย	สภาพลูกถ้วยมีรอย Flash / บิ่น / ไม่มันวาว / สกปรก หรือไม่
7	Lightning Arrester (L/A)	สาย L/A ขาด หรือไม่ / L/A ครบทั้ง 3 เฟส หรือไม่ สภาพ Insulator มีรอย Flash / บิ่น / ไม่มันวาว / สกปรก หรือไม่
8	Drop Fuse	Fuse ขาด หรือไม่ สภาพ Insulator มีรอย Flash / บิ่น / ไม่มันวาว / สกปรก หรือไม่
9	SW. ใบมีด	สภาพ Insulator มีรอย Flash / บิ่น / ไม่มันวาว / สกปรก หรือไม่
10	Spacer	ผิวของ Spacer เปลี่ยนสี หรือไม่ มี Snap tie หรือ Tie wire รัดสายไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส หรือไม่
11	หม้อแปลง	ตรวจสภาพ L/A ตามข้อ 7 ที่หัว Bushing ดูสภาพ Insulator มีรอย Flash / บิ่น / ไม่มันวาว / สกปรก หรือไม่
12	CT.,PT.	
13	Capacitor	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลงข้อมูล

ให้ระบุตำแหน่งที่ผิดปกติหรือชำรุด ว่า อยู่เฟสไหน ตำแหน่ง/จุดไหนของอุปกรณ์ เช่น ที่ลูกถ้วย Pin Type เฟส Y บริเวณ มีรอย Flash

การถ่ายภาพ

ให้ถ่ายภาพตำแหน่งที่ตรวจพบจุดที่ผิดปกติ ทั้งภาพโดยรวม และ เฉพาะจุด

1.2 การตรวจสอบ Partial Discharge (เครื่องตรวจจับเสียง Partial Discharge),(Ultrasonic Probe)

ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบ Partial Discharge (เครื่องตรวจจับเสียง Partial Discharge), (Ultrasonic Probe)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	รายการที่ตรวจสอบ
1	สายไฟฟ้า	**การลงข้อมูล** ให้ระบุตำแหน่งที่เกิด Partial Discharge ว่า อยู่เฟสไหน ตำแหน่ง/จุดไหนของอุปกรณ์ เช่น ที่ลูกถ้วย Pin Type เฟส Y บริเวณ ตำแหน่งรัดด้วย Tie wire **การถ่ายภาพ** ให้ถ่ายภาพตำแหน่งที่ตรวจพบจุดที่ผิดปกติ ทั้งภาพโดยรวม และ เฉพาะจุด **กรณีสายไฟฟ้า** ให้สำรวจบริเวณที่มีวัตถุอยู่ใกล้ หรือ สัมผัสกับสายไฟฟ้า เช่น ต้นไม้ ป้ายโฆษณาเป็นต้น
2	ลูกถ้วย	
3	Lightning Arrester (L/A)	
4	Drop Fuse	
5	SW. ใบมีด	
6	Spacer	
7	หม้อแปลง	
8	CT.,PT.	
9	Capacitor	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การตรวจสอบจุดร้อนแดง (กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo vision))

ตารางที่ 4.4 การตรวจสอบจุดร้อนแดง (กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo vision))

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	รายการที่ตรวจสอบ
1	Drop Fuse	**การลงข้อมูล** ให้ระบุตำแหน่งที่เกิด จุดร้อน ว่า อยู่เฟสไหน ตำแหน่ง/จุดไหนของอุปกรณ์ และมีค่าอุณหภูมิ เท่าไร เช่น ที่หัว Drop Fuse เฟส Y มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส **การถ่ายภาพ** ให้ถ่ายภาพตำแหน่งที่ตรวจพบจุดที่ผิดปกติ เปรียบเทียบกัน ทั้ง ภาพถ่ายจุดร้อนจากกล้อง Thermo vision และ ภาพถ่ายจากกล้อง Digital (โดยถ่ายภาพให้เห็นตำแหน่งที่เกิดจุดร้อนที่ชัดเจน)
2	SW. ใบมีด	
3	Sleeve	
4	Stirrup Clamp	
5	หม้อแปลง (หัว Bushing)	
6	CT.,PT. (หัว Bushing)	
7	Capacitor (หัว Bushing)	

2.วิธีการแก้ไข

แบ่งตามประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าดังนี้

2.1 ลูกถ้วย

ตารางที่ 4.5 วิธีการแก้ไขของลูกถ้วย

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. เกิด PD ที่บริเวณสายไฟฟ้าที่รัดด้วย Tie wire บนลูกถ้วย Pin type	1. เปลี่ยนเป็น Pin post สำหรับแนวตั้ง และ Line Post สำหรับแนวนอน รวมทั้งเปลี่ยนสายใหม่ 2. ใช้ Suspension เป็น 4 ลูก 3. เปลี่ยนหรือซ่อมสายที่ชำรุด *** ระยะสั้น – เปลี่ยนเฉพาะจุดที่มีปัญหา *** ระยะยาว – เปลี่ยนหมดทั้งระบบ
2. ลูกถ้วยสกปรก/ไม่มันวาว	1. เปลี่ยนใหม่ (หมุนเวียนทำความสะอาดและนำกลับมาใช้ใหม่)
3. รอยบิ่น	1. เปลี่ยนใหม่ (ดูปัญหาข้อ 1)
4. รอย Flash	1. เปลี่ยนใหม่ (ดูปัญหาข้อ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Over Head Ground Wire

ตารางที่ 4.6 วิธีการแก้ไขของ Over Head Ground Wire

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. สายขาด	1. เปลี่ยนสายใหม่

2.3 สาย Lead ลงหม้อแปลง

ตารางที่ 4.7 วิธีการแก้ไขของ สาย Lead ลงหม้อแปลง

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. เกิด PD ที่บริเวณสายไฟฟ้าที่รัดด้วย Tie wire บนลูกถ้วย Pin type	1. ถ้าจำเป็นให้ใช้ Daycorll ตรวจสอบตำแหน่งอีกครั้ง 2. เปลี่ยนไปใช้ Line Post 3. ถ้าสายชำรุดเปลี่ยนสายใหม่

2.4 Switch ใบมีด

ตารางที่ 4.8 วิธีการแก้ไขของ Switch ใบมีด

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. เกิด PD	1. ตรวจเช็คตำแหน่งโดย DayCor เพื่อหาแนวทางแก้ไข
2. เกิดจุดร้อน	1. ขันจุดต่อสายให้แน่น ทา compound 2. ทดลองปลดสับ เพื่อดูความแน่นของหน้าสัมผัส (ดับไฟทำงาน) 3. ตรวจสอบ Thermo vision อีกครั้ง (ควรถ่าย Thermo vision ที่ระยะใกล้ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ต่อไป)
3. ใกล้ต้นไม้	1. ตัดต้นไม้
4. รอย Flash	1. เปลี่ยนใหม่ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Drop Fuse

ตารางที่ 4.9 วิธีการแก้ไขของ Drop Fuse

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. ขาด	1. ตรวจสอบหาสาเหตุก่อนเปลี่ยนใหม่
2. เกิดจุดร้อน	1. ขันจุดต่อสายให้แน่น ทา compound 2. ทดลองปลดสับ เพื่อดูความแน่นของหน้าสัมผัส (ดับไฟทำงาน) 3. ตรวจสอบ Thermovision อีกครั้ง (ควรถ่าย Thermovision ที่ระยะใกล้ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ต่อไป)
3. รอย Flash	1. เปลี่ยนใหม่

2.6 Lightning Arrester

ตารางที่ 4.10 วิธีการแก้ไขของ Lightning Arrester

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. สายขาด	1. เปลี่ยนใหม่ (เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์)
2. ไม่มี LA	1. ติดตั้ง L/A ตัวใหม่
3. เกิด PD	1. ถ้าจำเป็นให้ตรวจสอบด้วย Daycor อีกครั้ง เพื่อหาสาเหตุ ถ้าชำรุด ให้เปลี่ยนใหม่ (เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์)
4. รอย Flash	1. เปลี่ยนใหม่ (เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Spacer

ตารางที่ 4.11 วิธีการแก้ไขของ Spacer

ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
1. เกิด PD	1. เปลี่ยนไปใช้ Bracket (รูป ป.หรือตัว E) และ Pin Post 2. ใช้ Ceramic spacer แบบมีครีบ เมื่อมีความจำเป็นที่ไม่สามารถติดตั้งตามข้อ 1
2. Spacer เปลี่ยนสี	1. เปลี่ยนไปใช้ Bracket (รูป ป.หรือตัว E) และ Pin Post 2. ใช้ Ceramic spacer แบบมีครีบ เมื่อมีความจำเป็นที่ไม่สามารถติดตั้งตามข้อ 1 3. รวบรวมเพื่อนำไปเคลือบใหม่
3. Snap Tie ขาด หลุด	1. เปลี่ยนไปใช้ Bracket (รูป ป.หรือตัว E) และ Pin Post 2. ใช้ Ceramic spacer แบบมีครีบ เมื่อมีความจำเป็นที่ไม่สามารถติดตั้งตามข้อ 1 3. ติดตั้ง Snap tie ถ้ายังไม่มีแผนที่จะเปลี่ยนตามข้อ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 แนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดินภายในสถาบัน

กิจกรรมที่ต้องดำเนินการปรับปรุง

1. สำรวจสภาพแวดล้อมภายในสถาบัน สภาพอุปสรรค ลักษณะผิวจราจร
   - ในเขตลาดกระบังการทรุดตัวเฉลี่ยประมาณ 5.5 ซม ต่อปี จะส่งผลให้ต้องเผื่อระยะสาย 2 เมตร ให้สามารถใช้งานได้ 20 ปี
   - ใต้ทางรถไฟจะมีการทรุดตัวมากจึงไม่เดินตัดผ่านแนวรถไฟ
   - การวางสายจะวางตามทางเท้าเนื่องจากรับน้ำหนักน้อยกว่าถนนที่ต้องรับน้ำหนักของรถยนต์
2. การคำนวณขนาดกระแสที่ใช้แบ่งเป็น 4 โซนคือ
   - Zone 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
   - Zone 2 คณะอุตสาหกรรมรมเกษตร
   - Zone 3 ตึก ECC หอใน และตึกเรียนรวม
   - Zone 4 คณะวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ คณะสารสนเทศ

   การคำนวณใช้สูตรการคำนวณคือ

   กระแส = ภาระโหลดรวม (MVA) / 24* $\sqrt{3}$

   Zone 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์

   I_1 = 8090 / 24* $\sqrt{3}$ = 194.615 A

   Zone 1 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

   I_2 = 3465 / 24* $\sqrt{3}$ = 83.14 A

   Zone 2 คณะอุตสาหกรรมรมเกษตร

   I = 6600 / 24* $\sqrt{3}$ = 158.77 A

   Zone 3 ตึก ECC หอใน และตึกเรียนรวม

   I = 11530 / 24* $\sqrt{3}$ = 277.37 A

   Zone 4 คณะวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ คณะสารสนเทศ

   I = 9962.5/ 24* $\sqrt{3}$ = 239.66 A
3. การเลือกขนาดสายใต้ดิน

   จากการคำนวณกระแส เลือกใช้กระแสที่มากที่สุดของ zone 3 = 277.37 A

   โดยขนาดสายที่เหมาะสมและเลือกมาใช้คือ สาย XLPE ขนาด 120 mm^2
4. การเลือกขนาดท่อร้อยสาย

   เลือกใช้ ท่อ HDPE ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 mm
5. การเลือกขนาด duck bank

   เลือกจากขนาดท่อร้อยสายและจำนวนท่อร้อยสายโดยเผื่อให้มีท่อสำรองสำหรับกรณีที่เกิดการเปลี่ยนสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำหนดตำแหน่งและระยะบ่อพัก(Manhole)

เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้าแรงสูงบ่อพักที่ใช้จึงเลือกเป็น (Manhole) ทั้งหมดโดยจะแบ่งตามประเภทดังนี้

- Type L นำไปวางในจุดเลี้ยวต่างๆ
- Type T นำไปวางในจุดที่มีการต่อแยกออกเป็นสามแยก ซึ่งแยกไปได้ 2 ทาง
- Type B นำไปวางในทางตรงที่สายมีความยาวมากกว่า 100 m เพื่อเอาไว้ดึงสาย

7. การวางผังไฟฟ้าและกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ

จากรูปเป็นการวางผังไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดินแบ่งเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

- สายเคเบิล ใช้สาย XLPE 120 mm^2 เดิน 3 เส้นในท่อร้อยสายเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 mm

Type A เป็นการเดินสาย 3 เส้นตลอดเส้นทาง

Type B เป็นการเดินสาย 6 เส้นตลอดเส้นทาง

- Manhole ใช้ 3 ชนิดคือ

Type L นำไปวางในจุดเลี้ยวต่างๆ

Type T นำไปวางในจุดที่มีการต่อแยกออกเป็นสามแยก ซึ่งแยกไปได้ 2 ทาง

Type B นำไปวางในทางตรงที่สายมีความยาวมากกว่า 100 m เพื่อเอาไว้ดึงสาย

ในการออกแบบทั้งหมดใช้จำนวน Manhole ในแต่ละชนิดดังนี้

Type L 30 ตัว

Type T 3 ตัว

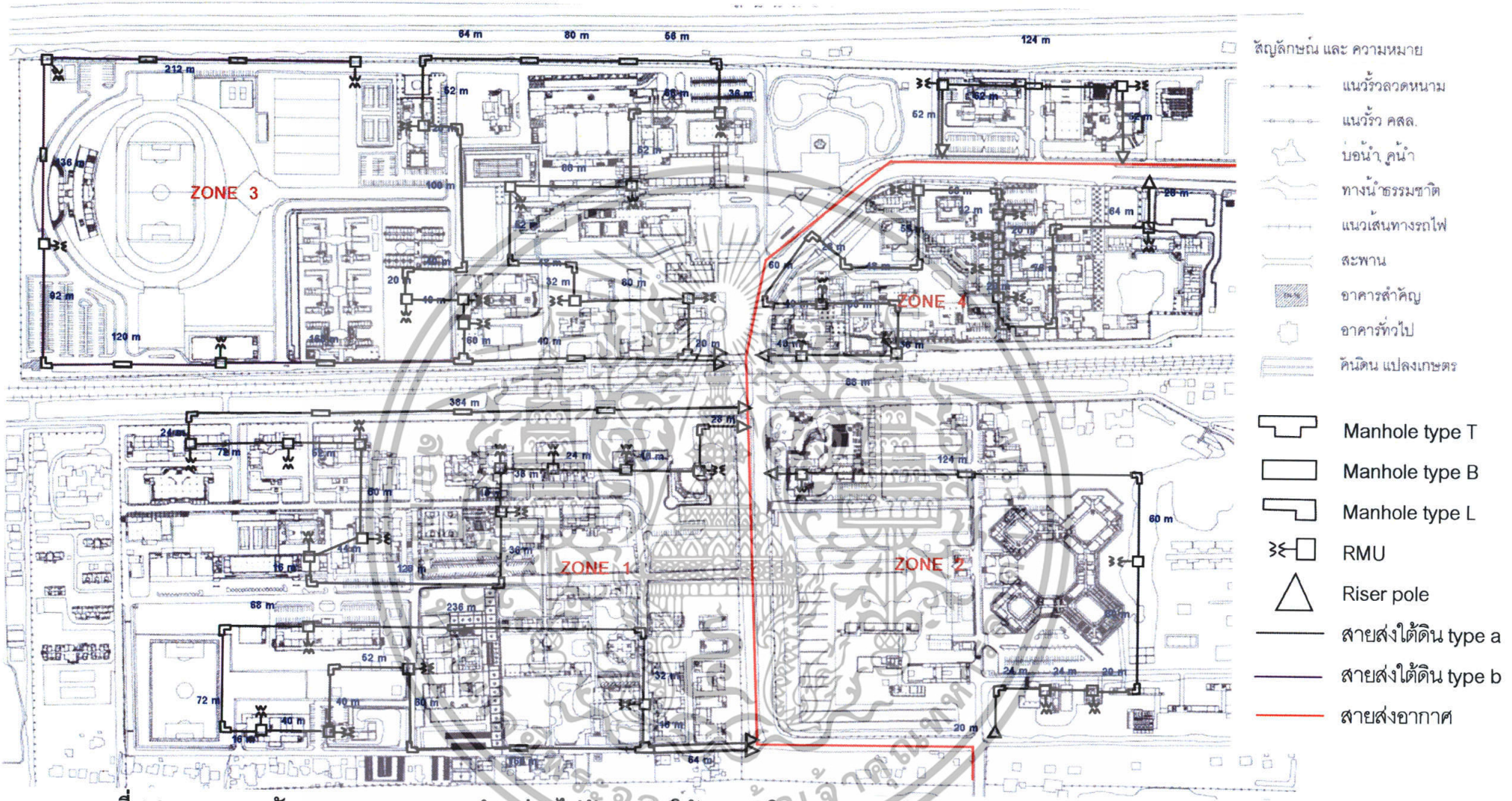
Type B 15 ตัว

- Ring Main Unit ใช้เพื่อเป็นสวิตช์ต่อลงดินและในการออกแบบใช้เพื่อเป็นตัวเปิดวงจร เนื่องจากการรับไฟจาก Riser pole จะทำการรับไฟจากการไฟฟ้า 2 ทาง โดยรับจาก CG-414 และ CG-411 จึงจำเป็นต้องทำการเปิดวงจรเพื่อไม่ให้เกิดไฟฟ้าช็อต และปลดลงเมื่อมีการเสียหายในที่ใดที่หนึ่งก็จะสามารถรับไฟฟ้าจากอีกสายป้อนหนึ่งได้ โดยในแบบจะกำหนดจุดที่จะเปิดไว้ 5 จุด คือ

1. Zone 1 ตึก CCA
2. Zone 1 ตึกวิจิตรศิลป์
3. Zone 2 สำนักหอสมุดกลาง
4. Zone 3 ตึกสมาคมศิษย์เก่า
5. Zone 4 ศูนย์วิจัย และ อาคารจุฬาภรณวลัยลักษ์ 2

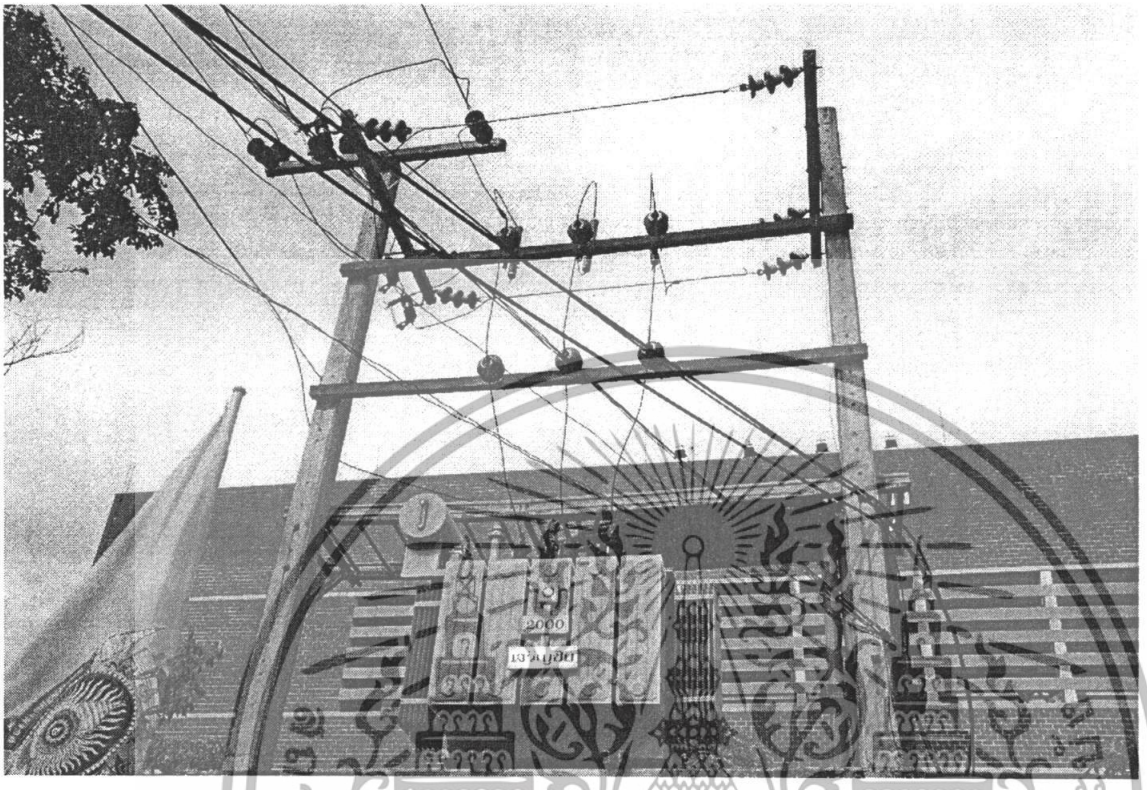
- Riser Pole ทำการ tap จากสายป้อนสองเส้นคือ CG-414 และ CG-411

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 แสดงแผนผังการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าเคเบิลใต้ดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาพแสดงตัวอย่างต้นเสาไฟฟ้าที่จะทำการรับไฟฟ้าจากสายป้อน CG-414 และ CG-411



ภาพที่ 4.10 แสดงเสาไฟฟ้าหน้าหอสมุดรับไฟเข้า Zone 2 จาก CG-414

และยังมีเสาไฟฟ้าที่จะทำการรับไฟฟ้าจากสายป้อน CG-414 และ CG-411 อีก 9 ต้น คือ

- เสาไฟฟ้าตรงข้ามหอสมุดรับไฟฟ้า
- เสาไฟฟ้าหน้าคณะเทคโนโลยีเกษตรรับไฟ
- เสาไฟฟ้าหน้าทางเข้าตึก ECC
- เสาไฟฟ้าหน้าธนาคารไทยพาณิชย์
- เสาไฟฟ้าหน้าคณะครุศาสตร์
- เสาไฟฟ้าหน้าศูนย์วิจัย
- เสาไฟฟ้าหน้าคณะสารสนเทศ
- **เสาไฟฟ้าหน้าหอสมุดรับไฟฟ้า**
- **เสาไฟฟ้าหน้าโค้งคณะสถาปัตย์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิธีการก่อสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าเคเบิลใต้ดิน

ใช้การก่อสร้างแบบขุดเปิดหน้าดิน (Open Cut) ในการก่อสร้างบนพื้นถนนทางเดินและเหนือบริเวณของทางรถไฟจะใช้สายส่งอากาศแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การประเมินราคา

ตารางที่ 4.12 BILL OF QUANTITY ของระบบไฟฟ้าต่างๆ

4.5.1 AERIAL DISTRIBUTION

ข้อ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)		ค่าแรง (บาท)		รวมทั้งหมด (บาท)
				ราคาต่อหน่วย	รวม	ราคาต่อหน่วย	รวม	
	MAINTENANCE EQUIPMENT							
1	**ZONE 1**							
1.1	SAC. 35 Sq.mm.	60	M	98	5,884	91	5,477	11,362
1.2	SAC. 70 Sq.mm.	3,540	M	170	601,800	97	342,176	943,976
1.3	DROP FUSE CUT OUT	1	SET	1,307	1,307	752	752	2,059
1.4	LIVE PART (BIRD PROTECTION)	10	SET	775	7,753	115	1,151	8,904
1.5	ย้าย H.T. METER	1	SET	-	-	45,151	45,151	45,151
1.6	ACCESSORIES	1	LOT	46,333	46,333	-	-	46,333
ราคารวม								**1,057,784**

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2	**ZONE 2**							
2.1	SAC. 35 Sq.mm.	-	M	98	-	91	-	-
2.2	SAC. 70 Sq.mm.	-	M	170	-	97	-	-
2.3	DROP FUSE CUT OUT	1	SET	1,307	1,307	752	752	2,059
2.4	LIVE PART (BIRD PROTECTION)	7	SET	775	5,427	115	805	6,232
2.5	ย้าย H.T. METER	-	SET	-	-	45,151	-	-
2.6	ACCESSORIES	1	LOT	471	471	-	-	471
ราคารวม								**8,763**

3	**ZONE 3**							
3.1	SAC. 35 Sq.mm.	36	M	98	3,531	91	3,286	6,817
3.2	SAC. 70 Sq.mm.	-	M	170	-	97	-	-
3.3	DROP FUSE CUT OUT	-	SET	1,307	-	752	-	-
3.4	LIVE PART (BIRD PROTECTION)	10	SET	775	7,753	115	1,151	8,904
3.5	ย้าย H.T. METER	-	SET	-	-	45,151	-	-
3.6	ACCESSORIES	1	LOT	790	790	-	-	790
ราคารวม								**16,510**

4	**ZONE 4**							
4.1	SAC. 35 Sq.mm.	300	M	98	29,421	91	27,387	56,808
4.2	SAC. 70 Sq.mm.	-	M	170	-	97	-	-
4.3	DROP FUSE CUT OUT	-	SET	1,307	-	752	-	-
4.4	LIVE PART (BIRD PROTECTION)	8	SET	775	6,202	115	920	7,123
4.5	ย้าย H.T. METER	-	SET	-	-	45,151	-	-
4.6	ACCESSORIES	1	LOT	2,494	2,494	-	-	2,494
ราคารวม								**66,424**

4.5.2 MAINTENANCE FOR DISTRIBUTION

ZONE	kVA	หน่วย (บาทต่อkVA)	ราคา (บาท)
1	11,555	25	288,875
2	6,600	25	165,000
3	11,530	25	288,250
4	9,962.5	25	249,062.5
SUMMARY	39,647.5	25	991,187.5

4.5.3 UNDERGROUND DISTRIBUTION

ข้อ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)		ค่าแรงงาน (บาท)		รวมทั้งหมด (บาท)
				ราคาต่อหน่วย	รวม	ราคาต่อหน่วย	รวม	
1	**ZONE 1**							
	EQUIPMENT (ELECTRICAL)							
1.1	RING MAIN UNIT	15	SET	700,000	10,500,000	20,000	300,000	10,800,000
1.2	XLPE. 120 Sq.mm.	6,084	M	1,000	6,084,000	300	1,825,200	7,909,200
	MAN HOLE							
1.3	TYPE B - 3/1	5	SET	112,140	560,700	54,831	274,155	834,855
1.4	TYPE L - 1/1	9	SET	382,519	3,442,671	162,932	1,466,388	4,909,059
1.5	TYPE T - 1/1	1	SET	272,060	272,060	137,311	137,311	409,371
1.6	ท่อ HDPE DIA. 160 mm	3,976	M	2,320	9,224,320	620	2,465,120	11,689,440
1.7	ACCESSORIES	1	LOT	2,105,863	2,105,863		-	2,105,863
	EQUIPMENT (CIVIL)							
1.8	DUCK BANK (1x2)	1,948	M	6,173	12,025,004	2,006	3,907,688	15,932,692
1.9	DUCK BANK (1x3)	-	M	7,162	-	2,275	-	-
1.10	ฐาน RING MAIN UNIT	14	SET	54,100	757,400	10,820	151,480	908,880

1.11	ACCESSORIES	1	LOT	894,768	894,768		-	894,768
ราคารวม								**56,394,128**

2	**ZONE 2**							
	EQUIPMENT (ELECTRICAL)							
2.1	RING MAIN UNIT	4	SET	700,000	2,800,000	20,000	80,000	2,880,000
2.2	XLPE. 120 Sq.mm.	1,104	M	1,000	1,104,000	300	331,200	1,435,200
	MAN HOLE							
2.3	TYPE B - 3/1	1	SET	112,140	112,140	54,831	54,831	166,971
2.4	TYPE L - 1/1	3	SET	382,519	1,147,557	162,932	488,796	1,636,353
2.5	TYPE T - 1/1	-	SET	272,060	-	137,311	-	-
2.6	ท่อ HDPE DIA. 160 mm	720	M	2,320	1,670,400	620	446,400	2,116,800
2.7	ACCESSORIES	1	LOT	478,387	478,387		-	478,387
	EQUIPMENT (CIVIL)							
2.8	DUCK BANK (1x2)	352	M	6,173	2,172,896	2,006	706,112	2,879,008
2.9	DUCK BANK (1x3)	-	M	7,162	-	2,275	-	-

2.10	ฐาน RING MAIN UNIT	4	SET	54,100	216,400	10,820	43,280	259,680
2.11	ACCESSORIES	1	LOT	167,251	167,251		-	167,251
ราคารวม								**12,019,650**

3	**ZONE 3**							
	EQUIPMENT (ELECTRICAL)							
3.1	RING MAIN UNIT	13	SET	700,000	9,100,000	20,000	260,000	9,360,000
3.2	XLPE. 120 Sq.mm.	7,320	M	1,000	7,320,000	300	2,196,000	9,516,000
	MAN HOLE							
3.3	TYPE B - 3/1	8	SET	112,140	897,120	54,831	438,648	1,335,768
3.4	TYPE L - 1/1	9	SET	382,519	3,442,671	162,932	1,466,388	4,909,059
3.5	TYPE T - 1/1	2	SET	272,060	544,120	137,311	274,622	818,742
3.6	ท่อ HDPE DIA. 160 mm	4,204	M	2,320	9,753,280	620	2,606,480	12,359,760

3.7	ACCESSORIES	1	LOT	2,174,003	2,174,003		-	2,174,003
	EQUIPMENT (CIVIL)							
3.8	DUCK BANK (1x2)	1,146	M	6,173	7,074,258	2,006	2,298,876	9,373,134
3.9	DUCK BANK (1x3)	618	M	7,162	4,426,116	2,275	1,405,950	5,832,066
3.10	ฐาน RING MAIN UNIT	13	SET	54,100	703,300	10,820	140,660	843,960
3.11	ACCESSORIES	1	LOT	854,257	854,257		-	854,257
ราคารวม								**57,376,750**

4	**ZONE 4**							
	EQUIPMENT (ELECTRICAL)							
4.1	RING MAIN UNIT	12	SET	700,000	8,400,000	20,000	240,000	8,640,000
4.2	XLPE. 120 Sq.mm.	2,760	M	1,000	2,760,000	300	828,000	3,588,000
	MAN HOLE							
4.3	TYPE B - 3/1	1	SET	112,140	112,140	54,831	54,831	166,971
4.4	TYPE L - 1/1	9	SET	382,519	3,442,671	162,932	1,466,388	4,909,059
4.5	TYPE T - 1/1	-	SET	272,060	-	137,311	-	-
4.6	ท่อ HDPE DIA. 160 mm	1,794	M	2,320	4,162,080	620	1,112,280	5,274,360

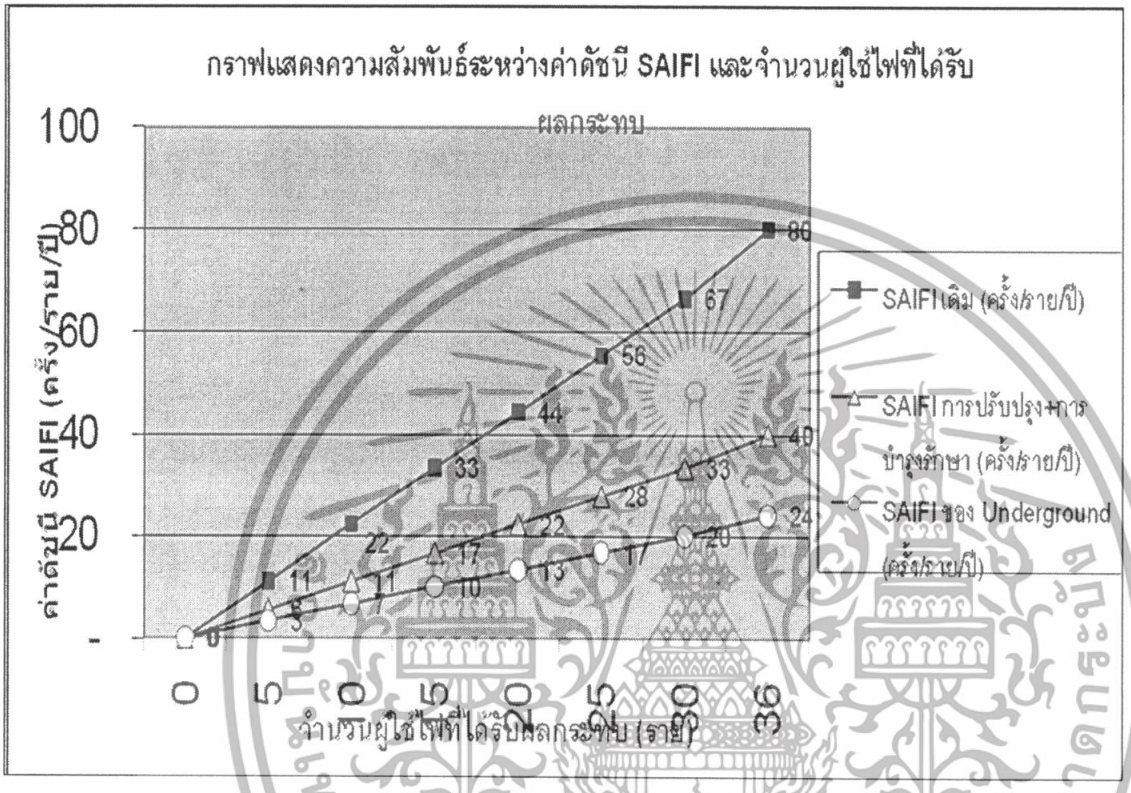
4.7	ACCESSORIES	1	LOT	1,321,382	1,321,382		-	1,321,382
	EQUIPMENT (CIVIL)							
4.8	DUCK BANK (1x2)	874	M	6,173	5,395,202	2,006	1,753,244	7,148,446
4.9	DUCK BANK (1x3)	-	M	7,162	-	2,275	-	-
4.10	ฐาน RING MAIN UNIT	12	SET	54,100	649,200	10,820	129,840	779,040
4.11	ACCESSORIES	1	LOT	423,108	423,108		-	423,108
รวมราคา								**32,250,367**

SYSTEM : UNDERGROUND DISTRIBUTION

ข้อ	รายละเอียด	รวม (บาท)
1	ZONE 1	56,394,128.00
2	ZONE 2	12,019,649.51
3	ZONE 3	57,376,749.55
4	ZONE 4	32,250,366.51
	TOTAL	**158,040,893.57**

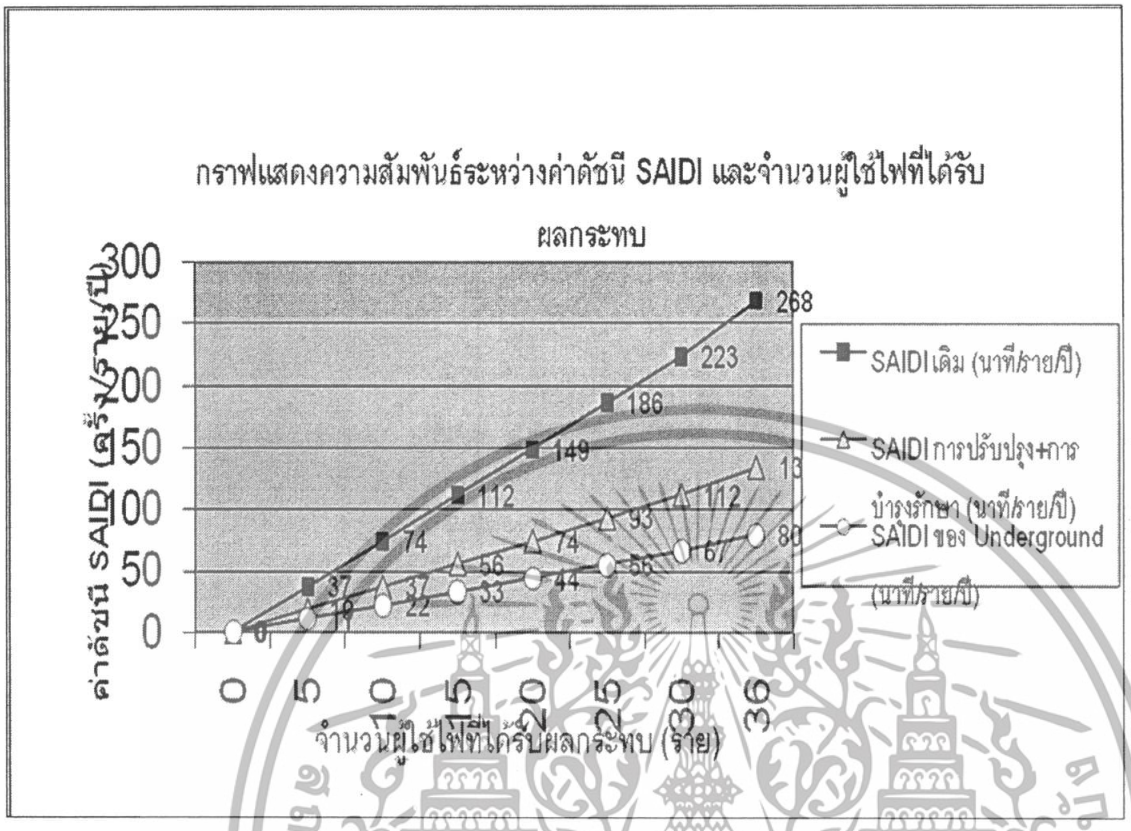
4.6 ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าเป้าหมายที่คาดหวัง

ค่าดัชนีที่คาดหวังของการปรับปรุงและการบำรุงรักษานั้น จะให้ลดค่าดัชนีจากของเดิม 50% ส่วนค่าดัชนีที่คาดหวังของระบบ Underground นั้น จะให้ลดค่าดัชนีจากของเดิม 70 %



ภาพที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIFI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAIDI และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้จากการวิจัย

โครงงานนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าโดยใช้ระบบจำหน่ายใต้ดิน โดยกำหนดให้สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นขอบเขตในการศึกษา โดยทำการรวบรวมข้อมูลไฟฟ้าดับแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาค่าความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า จากนั้นหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อให้ความน่าเชื่อถือดีขึ้น โดยการปรับปรุงระบบไฟฟ้าภายในสถาบันนี้จะคำนึงถึงองค์ประกอบหลายๆอย่าง ตั้งแต่งบประมาณ สภาพแวดล้อม ความสวยงามทางสถาปัตยกรรม และคุณภาพของการใช้ไฟฟ้าภายในสถาบัน โดยการเก็บข้อมูลในการวางแผนเพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลในอดีต เพื่อให้ทราบว่าระบบที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างไรบ้างและมีปัญหาอะไรบ้าง สาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องมีอะไรบ้างจากข้อมูลไฟฟ้าดับของสายป้อน CG-414 จากการไฟฟ้านครหลวง ในช่วงปี 2549

ส่วนของการปรับปรุงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปักเสาพาดสายได้ทำการออกแบบในส่วนการบำรุงรักษา เช่น การดำเนินการตัดต้นไม้ การทำความสะอาดลูกถ้วย เป็นต้น ในส่วนการปรับปรุงเปลี่ยน เช่น ทำการเปลี่ยนสายไฟฟ้าจากสายเปลือยภายในสถาบันทั้งหมดเป็นสายหุ้มฉนวน ASC และทำการเพิ่ม Drop Fuse Cut Out บริเวณแยกต่างๆ เป็นต้น ซึ่งทำให้จำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับและจำนวนเวลารวมทั้งหมดที่ไฟฟ้าดับลดลง โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและบำรุงรักษาทั้งหมดจำนวน 2,140,669.53 บาท

ส่วนของการปรับปรุงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดิน ได้ทำการออกแบบผังในการวางสายไฟฟ้าใต้ดินภายในสถาบัน โดยยึดเอาขนาดโหลดเดิมเป็นหลัก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิลใต้ดินทั้งหมดประมาณ 158,040,893.57 บาท

โดยจะเห็นได้ว่าในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีความน่าเชื่อถือสูงมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงเมื่อเปรียบเทียบแต่ละวิธีกันระหว่าง 1)การปรับปรุงพร้อมทั้งบำรุงรักษาไปด้วยกับ 2)การเปลี่ยนระบบจากระบบสายอากาศเป็นระบบสายเคเบิลใต้ดิน พบว่าวิธีแรกลดค่าดัชนีได้ 50 % จากของเดิม มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดจำนวน 2,140,669.53 บาทและวิธีที่สองลดค่าดัชนีได้ 70 % จากของเดิม มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดประมาณ 158,040,893.57 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับปรุงระบบจำหน่ายถึงแม้จะมีค่าใช้จ่ายสูง แต่เนื่องจากเมื่อเกิดไฟฟ้าดับบ่อย ส่งผลให้เกิดการสูญเสียอย่างยิ่ง ซึ่งเมื่อเกิดไฟฟ้าดับอาจจะมีการสูญหายของข้อมูลที่สำคัญต่างๆ ซ้ำยังส่งผลถึงการศึกษาภายในสถาบันเนื่องจากเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจึงไม่อาจมีการเรียนการสอนได้ ซึ่งคุณค่าทางการศึกษามิอาจประเมินค่าได้ในทางเศรษฐกิจ และยังอาจส่งผลร้ายแรงถึงชีวิตได้ เช่น การที่ไฟฟ้าดับแล้วลิฟต์ค้างจนอาจทำให้เกิดผู้เสียชีวิตได้ ดังนั้นในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ จึงเป็นสิ่งที่มิอาจมองข้ามผ่านไปได้

อนึ่งในการสร้างระบบไฟฟ้าใต้ดิน นอกจากจะส่งผลดีต่อความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายภายในลาดกระบังแล้วยังส่งผลให้เป็น กรณีศึกษาจริงที่เห็นได้นอกจากในหนังสือเรียนเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาในรุ่นต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.เพื่อให้สามารถลดปัญหาไฟฟ้าดับภายในสถาบันได้สมบูรณ์ที่สุด จึงควรให้การไฟฟ้านครหลวงเขตลาดกระบังทำการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าเองจากระบบปักเสาพาดสายเดิมเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้สายส่งเคเบิลใต้ดิน เพื่อลดสาเหตุไฟฟ้าดับอันเนื่องมาจากสายส่งของการไฟฟ้าเอง

2.ควรจะมีการติดตั้งมิเตอร์บันทึกข้อมูลทุกๆตึกภายในสถาบันเพื่อให้มีข้อมูลมากพอที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Roy Billinton and Ronald N.Allan, **Reliability Evaluation of Power System**, 2nd Edition, Plenum Press New York and London.

[2] Luces M. Faulkenberry and Walter Coffer, **Electrical power distribution and transmission**, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall,1996

[2] รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, **ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า** , พิมพ์ครั้งที่1., กรุงเทพฯ:บริษัทธนภาคพริ้นติ้ง, 2549

[3] ศุลี บรรจงจิตร, หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2540

[4] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย**, 2545

[5] การไฟฟ้านครหลวง, **คำแนะนำการติดตั้งระบบสายใต้ดินในพื้นที่จัดสรร**, 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
วิธีการคำนวณหาค่า SAIFI,SAIDI ที่คาดหวัง

เนื่องจากค่าดัชนีเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้จึงต้องมีการประเมินค่าดัชนีที่คาดหวังเพื่อให้เป็นเป้าหมายในการลดค่าดัชนีหรือเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายต่อไป

จากการสำรวจพบปัญหาต่างๆภายในสถาบันที่สามารถทำให้เกิดไฟฟ้าดับมี 10 ชนิด ดังนี้

1. Corona
2. สายเปลือย
3. ต้นไม้ , เถาวัลย์ พาดสายไฟฟ้า
4. Spacer เสื่อมสภาพ
5. ว่าวสัมผัสสาย
6. เกิดไฟฟ้าดับที่ต้นทาง
7. นก
8. งู
9. รถชนเสาไฟฟ้า
10. ผู้ใช้ไฟฟ้า

โดยให้ค่าน้ำหนักของแต่ละปัญหาที่สำรวจพบมีค่าเท่ากับ 10% แล้วพิจารณาว่าวิธีการปรับปรุงระบบจำหน่ายแต่ละวิธีสามารถแก้ปัญหาได้จำนวนเท่าใด

ซึ่งในกรณีของการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ สามารถแก้ปัญหาได้ 2 ปัญหา คือ

1. สายเปลือย
2. Spacer เสื่อมสภาพ

ซึ่งในกรณีของการบำรุงรักษา สามารถแก้ปัญหาได้ 3 ปัญหา คือ

1. ว่าวสัมผัสสาย
2. ต้นไม้,เถาวัลย์ พาดสายไฟฟ้า
3. Corona

ฉะนั้นเมื่อรวมทั้งการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และการบำรุงรักษาแล้วจึงพิจารณาได้ว่าสามารถลดค่าดัชนีได้ 50%

ส่วนในกรณีของการปรับปรุงระบบไฟฟ้าโดยใช้ระบบจำหน่ายใต้ดิน สามารถแก้ปัญหาได้ 8 ปัญหา คือ

1. Corona
2. สายเปลือย
3. ต้นไม้ , เถาวัลย์ พาดสายไฟฟ้า
4. Spacer เสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ว่าวสัมผัสสาย
6. นก
7. งู
8. รถชนเสาไฟฟ้า

ฉะนั้นจึงพิจารณาได้ว่าสามารถลดค่าดัชนีได้ 70-80% แต่เลือกค่าที่น้อยที่สุดก็คือ สามารถลดค่าดัชนีได้ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
แนวทางการตัดสินใจในการลงทุน

การปรับปรุงระบบปักเสาพาดสายภายในสถาบันมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงดังนี้

1.การตัดสินใจปรับปรุงและบำรุงระบบจำหน่ายแบบเสาพาดสาย โดยจะใช้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและซ่อมบำรุง รวมคือ 1,982,979.5 บาท

2.การตัดสินใจลงทุนโดยปรับปรุงระบบเป็นระบบไฟฟ้าใต้ดิน ทั้งหมดใช้เงินในการลงทุนประมาณ 158,040,893.59 บาท

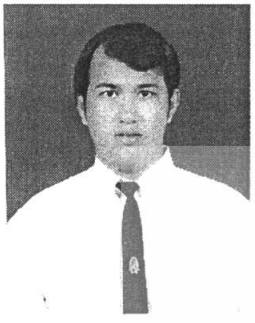
3.การตัดสินใจลงทุนโดยปรับปรุงระบบเป็นระบบไฟฟ้าใต้ดินส่วนหนึ่ง โดยในลักษณะนี้นำเสนอให้ทำใน zone ที่ 1 และ 4 โดยทำดังนี้

วิธี	ปรับปรุงและบำรุงรักษา				ระบบจำหน่ายเคเบิลใต้ดิน				รวมราคา
	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	(บาท)
1	-	8,763	16,510	66,424	56,394,128	-	-	-	56,485,825
2	1,057,784	8,763	16,510	-	-	-	-	32,250,367	33,333,424
3	-	8,763	16,510	-	56,394,128	-	-	32,250,367	88,669,868

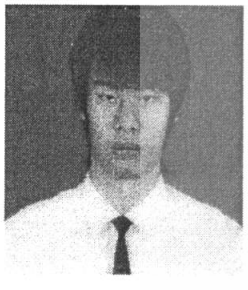
หมายเหตุ ที่ทำการเลือกปรับปรุงเพียงแค่ Zone 1 และ Zone 4 เพราะ จากการสำรวจปัญหาที่พบพบว่า Zone 1 และ Zone 4 มีปัญหาเกิดขึ้นมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

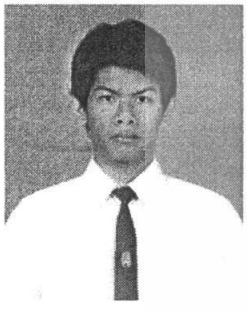


นาย ภูธเรศ สุวรรณวิโก
เกิดวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดนราธิวาส
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย นครปฐม (พระตำหนักสวนกุหลาบมัธยม) จังหวัดนครปฐม
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย นครปฐม (พระตำหนักสวนกุหลาบมัธยม) จังหวัดนครปฐม
เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและถนัดในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงระบบไฟฟ้ากำลัง ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Microsoft Word, Excel, Visio ทักษะภาษาต่างประเทศ ภาษาอังกฤษ ฝึกงานที่การไฟฟ้านครหลวงเขตสมุทรปราการ ระหว่างเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม ปีพ.ศ.2550



นายมุนินทร์ สุวรรณโพธิ์ศรี
เกิดวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ที่กรุงเทพมหานคร
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียน นวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2 กรุงเทพมหานคร
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน นวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2 กรุงเทพมหานคร
เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและถนัดในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงระบบไฟฟ้ากำลัง ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Microsoft Word, Excel, ทักษะภาษาต่างประเทศ ภาษาอังกฤษ ฝึกงานที่บริษัทการบินไทยจำกัด ระหว่างเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม ปีพ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



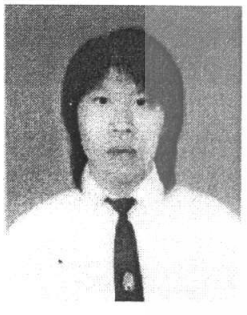
นายรวิชญ ศรีน้อย

เกิดวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดสมุทรสงคราม

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนศรัทธาสมุทร จังหวัดสมุทรสงคราม

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนศรัทธาสมุทร จังหวัดสมุทรสงคราม

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและถนัดในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงระบบไฟฟ้ากำลัง ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Microsoft Word, Excel, Visio ทักษะภาษาต่างประเทศ ภาษาอังกฤษ ฝึกงานที่การไฟฟ้านครหลวง เขตสมุทรปราการ ระหว่าง เดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม ปีพ.ศ.2550



นายสมศักดิ์ ถนอมกิตติ

เกิดวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ที่ จังหวัดสุพรรณบุรี

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและถนัดในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงระบบไฟฟ้ากำลัง ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Microsoft office, Power World ทักษะภาษาต่างประเทศ ภาษาอังกฤษ ฝึกงานที่บริษัท LPN Plate Mill Ltd. ระหว่างเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม ปีพ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้