



# วิทยานิพนธ์

การปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต  
แห่งประเทศไทยด้วยระบบการหาตำแหน่งฟ้าผ่า

**LIGHTNING PERFORMANCE IMPROVEMENTS OF EGAT  
TRANSMISSION LINES BASED ON LIGHTNING LOCATION  
SYSTEM**

นางสาวแคทรียา ขวลิขิตติกร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550





## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงสมรรถนะฟัลด์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
ด้วยระบบการหาตำแหน่งฟัลด์

Lightning Performance Improvements of EGAT Transmission Lines Based on Lightning  
Location System

นามผู้วิจัย นางสาวแคทรียา ชวลิตศิริกร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ชัยกุล, วศ.ม. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยด้วยระบบ  
การหาตำแหน่งฟ้าผ่า

Lightning Performance Improvements of EGAT Transmission Lines Based on Lightning  
Location System

โดย

นางสาวแถพริยา ขวลิทธิติกร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)  
พ.ศ. 2550



เทพริยา ขวลิตติกร 2550: การปรับปรุงสมรรถนะไฟฟ้าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยด้วยระบบการหาตำแหน่งไฟฟ้า ปัญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปรชานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 176 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์จากระบบการหาตำแหน่งฟ้าผ่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยนำข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้มาแสดงบนแผนที่ประเทศไทยด้วยโปรแกรม Arcview GIS 3.3 เพื่อหาความหนาแน่นฟ้าผ่าต่อพื้นที่ในแต่ละช่วงเสา และกำหนดความหนาแน่นฟ้าผ้านี้ลงในโปรแกรม TFlash version 3.0.21 เพื่อคำนวณหาค่าสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งระดับแรงดัน 115kV, 230kV, 500 kV และเปรียบเทียบสมรรถนะฟ้าผ่าที่คำนวณได้กับเหตุการณ์ขัดข้องจริงเนื่องจากฟ้าผ่าและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีการปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งที่เกิดเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่ามากที่สุด ในที่นี้คือ สายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี ด้วยโปรแกรม Optimizer of TFlash version 4.0.22 ขั้นตอนวิธีการคำนวณและขั้นตอนการปรับปรุงให้เป็นไปตามวิธีการของ Handbook for Improve Overhead Transmission Lines Lightning Performance (EPRI)

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรมพบว่า ค่าจากการคำนวณสำหรับสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรีและ 500kV ไทรน้อย-วังน้อย วงจรที่3 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน IEEE1313.2-1999 แต่มีค่าสมรรถนะไฟฟ้าจากเหตุการณ์ขัดข้องจริงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานนี้ทั้ง 3 เส้นทาง สิ่งที่ทำให้สมรรถนะไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณแตกต่างจากเหตุการณ์จริง คือ ข้อมูลสายส่ง ควรจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาใช้ในการคำนวณจึงจะทำให้ค่าสมรรถนะไฟฟ้าใกล้เคียงความจริงมากขึ้น สำหรับการปรับปรุงสมรรถนะไฟฟ้าของสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี ด้วยเงินลงทุน 1 ล้านบาท พบว่า การลดความต้านที่ฐานเสาให้เหลือเพียง 5 โอห์ม การเพิ่มลูกถ้วย 2 ลูกและการเพิ่มสายชิลด์อีกหนึ่งเส้นเพื่อให้มุมชิลด์ลดลงในเสาต้นที่มีปัญหา ช่วยให้สมรรถนะไฟฟ้าลดลงเกือบ 60% ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิผลมากที่สุด วิธีการปรับปรุงนี้สามารถนำไปประกอบการออกแบบสร้างสายส่งใหม่ๆ บนพื้นที่ที่มีความหนาแน่นฟ้าผ่าสูงได้ เพื่อช่วยลดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่า และทำให้สายส่งมีสมรรถนะไฟฟ้าดีขึ้นอีกทางด้วย

Cattareya Chavalitthitikorn 2007: Lightning Performance Improvements of EGAT Transmission Lines Based on Lightning Location System. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 176 pages.

This thesis purposes a methodology for evaluating and improving lightning performance of EGAT transmission lines using information from the Lightning Location System. Lightning location detected by LLS are shown on Thailand map by Arcview GIS 3.3 program to find ground flash density of each line span. The ground flash density is used as an input in TFlash version 3.0.21 program to calculate expected lightning performance for 115kV, 230kV, 500 kV EGAT transmission lines. The results are compared with actual interruption events caused by lightning using related standards. In addition, the most frequently faulted line, 115kV Klang-Chanthaburi, is selected for improvement by Optimizer of TFlash version 4.0.22. The steps in evaluating and improving lightning performance comply with "Handbook for Improve Overhead Transmission Lines Lightning Performance (EPRI)"

The calculated lightning performance of 115kV Klang-Chanthaburi and 500kV Sainoi-Wangnoi Circuit No.3 transmission lines are found above the allowable value in the IEEE1313.2-1999 Standard. However all 3 transmission lines have actual lightning performance from faulted events compliante with this standard. The differences between calculated and actual values can be reduced by using actual transmission line data from surveys. The 115kV Klang-Chanthaburi line is selected for improvement with a budget of 1 million baht. The optimal result is obtained by reducing ground resistance to 5 ohms, adding 2 insulators and adding 1 shield wire to the problem towers. This solution yields the number of flashover reduce by 60%. Also, It can be used to design a new transmission line on high ground flash density area to reduce faulted events caused by lightning, and also results in the good lightning performance.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์คุณชัยพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ชำนาญ ห่อเกียรติ อาจารย์ผู้ส่งกลับไปแล้ว ที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เริ่มต้นมาได้ ทั้งความรู้ทั้งแนวคิดที่อาจารย์สอนเป็นสิ่งที่นำมาใช้ประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์อย่างมาก

ขอขอบคุณพี่จักรีผู้ดูแลระบบ EGAT LLS ที่ได้ให้ข้อมูลฟ้าผ่าและเป็นที่ปรึกษาเกี่ยวกับระบบนี้ ขอขอบคุณพี่กรกนก พี่วิชัยที่ให้ข้อมูลพิคตสายส่งของ กฟผ. และแนะนำให้รู้จักโปรแกรม Arcview ขอขอบคุณพี่นิยมที่ให้แนวทางค้นหาข้อมูลเหตุขัดข้องในระบบส่งของ กฟผ. ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในกองวิศวกรรมสายส่ง ที่ช่วยแนะนำและช่วยค้นหาข้อมูลสายส่งทั้งหมด ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับน้องจุ้ย ที่ช่วยสอนและช่วยเหลือการใช้โปรแกรม Arcview ทำให้วิทยานิพนธ์นี้ได้มีโอกาสสำเร็จขึ้นมา

สุดท้ายขอขอบคุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ ทำให้ข้าพเจ้ามีความพยายามทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

แคทริยา ชาลิตธิติกร

มกราคม 2550

## สารบัญ

|                             | หน้า |
|-----------------------------|------|
| สารบัญ                      | (1)  |
| สารบัญตาราง                 | (2)  |
| สารบัญภาพ                   | (4)  |
| คำนำ                        | 1    |
| วัตถุประสงค์                | 2    |
| การตรวจเอกสาร               | 3    |
| อุปกรณ์และวิธีการ           | 47   |
| อุปกรณ์                     | 47   |
| วิธีการ                     | 47   |
| ผลและวิจารณ์                | 62   |
| ผล                          | 62   |
| วิจารณ์                     | 107  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ           | 111  |
| สรุป                        | 111  |
| ข้อเสนอแนะ                  | 112  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง        | 113  |
| ภาคผนวก                     | 116  |
| ภาคผนวก ก                   | 117  |
| ภาคผนวก ข                   | 152  |
| ภาคผนวก ค                   | 173  |
| ประวัติการศึกษา และการทำงาน | 176  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                  | หน้า |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | รายละเอียดเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าปี พ.ศ. 2544-2548<br>(ค.ศ. 2001-2005)   | 49   |
| 2        | ตารางแสดงเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าเฉลี่ยของสายส่ง<br>115 kV KLA-CT         | 61   |
| 3        | ตารางแสดงเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าเฉลี่ยของสายส่ง<br>230 kV AT2-TL3        | 61   |
| 4        | ตารางแสดงเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าเฉลี่ยของสายส่ง<br>500 kV SNO-WN#3       | 62   |
| 5        | แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะฟ้าผ่ากับมาตรฐาน IEEE                          | 71   |
| 6        | สรุปจำนวนครั้งและเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น<br>พ.ศ.2544-2548     | 71   |
| 7        | สภาพอากาศในเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่า พ.ศ.2544-2548                         | 72   |
| 8        | แสดงการเปรียบเทียบเหตุการณ์ฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องของ<br>สายส่ง 115kV KLA-CT   | 73   |
| 9        | แสดงการเปรียบเทียบเหตุการณ์ฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องของ<br>สายส่ง 230kV AT2-TL3  | 75   |
| 10       | แสดงการเปรียบเทียบเหตุการณ์ฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องของ<br>สายส่ง 500kV SNO-WN#3 | 76   |
| 11       | สมรรถนะฟ้าผ่าของทั้ง 3 แนวสายส่งคำนวณจาก<br>โปรแกรม TFlash                       | 79   |
| 12       | เปรียบเทียบเหตุการณ์ขัดข้องที่ได้จากการคำนวณและเกิดขึ้นจริง                      | 83   |
| 13       | สมรรถนะฟ้าผ่าหลังจากใช้ข้อมูลสำรวจของสายส่ง<br>115kV KLA-CT                      | 83   |
| 14       | รูปแบบทั้งหมดที่ใช้ปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่า                                         | 87   |
| 15       | ผลที่ได้จากการ Optimization โดยใช้ 4 วิธี                                        | 90   |

### สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่            |                                                                                                | หน้า |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 16                  | ผลที่ได้จากการ Optimization โดยใช้ 3 วิธี                                                      | 94   |
| 17                  | ผลที่ได้จากการ Optimization โดยใช้ 2 วิธี                                                      | 100  |
| 18                  | เปรียบเทียบทางเลือกที่ให้ประสิทธิผลที่สุด                                                      | 106  |
| <b>ตารางผนวกที่</b> |                                                                                                |      |
| ก1                  | รายละเอียดสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี<br>(จำนวนเสา 169 ต้น ระยะทาง 56.085 กิโลเมตร)             | 118  |
| ก2                  | รายละเอียดสายส่ง 230kV อ่างทอง2-ท่าลาน3<br>(จำนวนเสา 133 ต้น ระยะทาง 51.414 กิโลเมตร)          | 126  |
| ก3                  | รายละเอียดสายส่ง 500 kV ไทรน้อย-วังน้อย วงจรที่3<br>(จำนวนเสา 252 ต้น ระยะทาง 89.609 กิโลเมตร) | 132  |
| ข1                  | ผลของสมรรถนะไฟฟ้าแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง<br>115kV แกลง-จันทบุรี                               | 153  |
| ข2                  | ผลของสมรรถนะไฟฟ้าแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง<br>230kV อ่างทอง2-ท่าลาน3                            | 159  |
| ข3                  | ผลของสมรรถนะไฟฟ้าแต่ละช่วงสำหรับสายส่ง<br>500kV ไทรน้อย-วังน้อย วงจรที่3                       | 163  |
| ค1                  | ข้อมูลสำรวจและปรับปรุงความต้านทานที่ฐานเสา<br>(สายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี)                     | 174  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                                  | หน้า |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | ก้อนเมฆ Cumulonimbus                                                                                             | 3    |
| 2      | การกระจายของประจุในก้อนเมฆ                                                                                       | 4    |
| 3      | กลไกการเกิดฟ้าผ่า                                                                                                | 5    |
| 4      | แผนภาพหาค่าสนามแม่เหล็กที่ระยะ D เนื่องจากช่องแนวตั้ง y-x<br>ซึ่งมีกระแส I ไหลผ่าน                               | 6    |
| 5      | สายอากาศเครื่องรับสัญญาณ Model 141T ALDF ของบริษัท<br>Lightning Location and Protection (LLP), USA               | 8    |
| 6      | การหาดำแหน่งฟ้าผ่าแบบ Magnetic direction finding                                                                 | 8    |
| 7      | การหาดำแหน่งฟ้าผ่าแบบ Time of arrival                                                                            | 9    |
| 8      | รูปคลื่นฟ้าผ่าที่ได้จากตัวกรองสัญญาณแถบแคบ                                                                       | 10   |
| 9      | การกำหนดค่าบนระนาบ Azimuth-Elevation และตำแหน่งจุดเริ่มต้น<br>ฟ้าผ่าในก้อนเมฆ                                    | 10   |
| 10     | ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณฟ้าผ่าของ กฟผ. ในปัจจุบันและติดตั้งเพิ่มเติมอีก<br>2 สถานี                                | 12   |
| 11     | EGAT LLS Network Configuration                                                                                   | 13   |
| 12     | แผนที่จำนวนฟ้าคะนองเท่าของ WMO, 1953                                                                             | 14   |
| 13     | ความกว้างระยะเงาของสายซิลด์                                                                                      | 15   |
| 14     | Electrogeometric model สำหรับสายซิลด์สองเส้น                                                                     | 16   |
| 15     | การกระจายความถี่สะสมของขนาดกระแสฟ้าผ่าในการเกิดฟ้าผ่าประจุลบ                                                     | 17   |
| 16     | รูปร่างคลื่นของกระแสฟ้าผ่า                                                                                       | 18   |
| 17     | แรงดันฟ้าผ่าที่เกิดบนสายส่งและเสาส่ง                                                                             | 19   |
| 18     | ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดกระแสฟ้าผ่า, เวลาหน่วงคลื่น, อัตราเวลา<br>ขึ้นสู่ค่ายอดของรูปร่างคลื่นแบบ Ramp function | 22   |
| 19     | ผลกระทบของแรงดันบนลูกถ้วยเนื่องจากฟ้าผ่าที่มีเวลาหน่วงคลื่นต่างกัน<br>แต่ขนาดเท่ากัน                             | 23   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                             | หน้า |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 20     | กระแสไฟฟ้าแบบ Ramp function ที่ใช้เพื่อคำนวณแรงดันของลูกถ้วย<br>เพียงสองจุด | 24   |
| 21     | องค์ประกอบพื้นฐานในการคำนวณหาแรงดันของฉนวนลูกถ้วย                           | 26   |
| 22     | กราฟแรงดัน-เวลาสำหรับการวาวไฟตามผิวของฉนวนลูกถ้วย (CIGRE)                   | 29   |
| 23     | ระยะสุดท้ายเข้าสู่สายตัวนำในแบบจำลองเรขาคณิต                                | 31   |
| 24     | หน้าตาการกำหนดตัวแปรพื้นฐานของสายส่ง                                        | 36   |
| 25     | หน้าตาการกำหนดค่าต่างๆ ของแต่ละเสาส่ง                                       | 37   |
| 26     | ทางเดินการวาวไฟสำหรับชุดลูกถ้วยแบบ V-String                                 | 40   |
| 27     | กราฟแรงดัน-เวลา                                                             | 41   |
| 28     | หน้าตาผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม TFlash                                        | 43   |
| 29     | หน้าตาการตั้งค่าและผลที่ได้จาก TFlash Optimizer                             | 44   |
| 30     | หน้าตาแรกของโปรแกรม Arcview                                                 | 45   |
| 31     | การแสดงผลตำแหน่งต่างๆ บนแผนที่ของโปรแกรม Arcview                            | 46   |
| 32     | หน้าตาการค้นหาข้อมูลเหตุการณ์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขัดข้อง                       | 48   |
| 33     | แสดงแนวสายส่งบน Shapefile ที่สร้างจากข้อมูลไฟฟ้า LLS                        | 52   |
| 34     | การหาจำนวนไฟฟ้าแต่ละช่วงเสาของโปรแกรม Arcview                               | 53   |
| 35     | เสาโครงเหล็กแบบวงจรรเดี่ยว                                                  | 54   |
| 36     | เสาโครงเหล็กวงจรรคู่                                                        | 54   |
| 37     | สายตัวนำ 1272MCM ACSR                                                       | 56   |
| 38     | สาย 3/8" OHGW                                                               | 57   |
| 39     | ชุดลูกถ้วยแบบแขวนคู่                                                        | 58   |
| 40     | ชุดลูกถ้วยแบบแขวนรูปตัว V                                                   | 59   |
| 41     | Ground rod ที่ฝังในดินของเสาส่ง                                             | 60   |
| 42     | ลักษณะการติดตั้งใช้งาน NGK Arrester                                         | 60   |
| 43     | ความหนาแน่นไฟฟ้าแบบเมฆลงดินทั้งหมดของปี พ.ศ.2548                            | 63   |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                   | หน้า |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 44     | ฟ้าผ่าแบบเมฆลงดินในแต่ละเดือนของปี พ.ศ.2548                                       | 64   |
| 45     | กระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2548                                               | 65   |
| 46     | ความน่าจะเป็นของฟ้าผ่าบวกปี พ.ศ.2548<br>(จำนวนฟ้าผ่าบวกทั้งหมด 388,365 ครั้ง)     | 66   |
| 47     | สรุปค่าสูงสุด-ต่ำสุด-เฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่าบวกปี พ.ศ. 2548                          | 66   |
| 48     | ความน่าจะเป็นของฟ้าผ่าลบปี พ.ศ.2548<br>(จำนวนฟ้าผ่าลบทั้งหมด 4,038,151 ครั้ง)     | 67   |
| 49     | สรุปค่าสูงสุด-ต่ำสุด-เฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่าลบปี พ.ศ.2548                            | 67   |
| 50     | เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของกระแสฟ้าผ่า LLS, CIGRE, IEEE                           | 68   |
| 51     | ความหนาแน่นฟ้าผ่าบนแนวสายส่ง 115 kV KLA-CT                                        | 68   |
| 52     | เปรียบเทียบความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรของสายส่ง<br>115 kV KLA-CT     | 69   |
| 53     | ความหนาแน่นฟ้าผ่าบนแนวสายส่ง 230 kV AT2-TL3                                       | 69   |
| 54     | เปรียบเทียบความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรของสายส่ง<br>230kV AT2-TL3     | 70   |
| 55     | ความหนาแน่นฟ้าผ่าบนแนวสายส่ง 500 kV SNO-WN#3                                      | 70   |
| 56     | เปรียบเทียบความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรของสายส่ง<br>500kV SNO-WN#3    | 71   |
| 57     | เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เป็นไปได้และเสาส่งที่เกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง<br>115kV KLA-CT   | 78   |
| 58     | เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เป็นไปได้และเสาส่งที่เกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง<br>230kV AT2-TL3  | 79   |
| 59     | เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เป็นไปได้และเสาส่งที่เกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง<br>500kV SNO-WN#3 | 79   |
| 60     | สมรรถนะฟ้าผ่าของแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 115kV KLA-CT                             | 81   |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่            |                                                                             | หน้า |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 61                | สมรรถนะฟ้าผ่าของแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 230kV AT2-TL3                      | 82   |
| 62                | สมรรถนะฟ้าผ่าของแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 500kV SNO-WN#3                     | 83   |
| 63                | ผลกระทบต่อสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งจากการเปลี่ยนแปลง<br>ค่าความต้านทานฐานเสา      | 85   |
| 64                | ผลกระทบต่อสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งจากการเปลี่ยนแปลงค่าฉนวน                       | 85   |
| 65                | ผลกระทบสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งจากการติดตั้งอะเรสเตอร์                           | 86   |
| 66                | วิธีการย้ายสายชิลด์ให้สูงขึ้นของโปรแกรม TFlash                              | 86   |
| 67                | ผลกระทบสมรรถนะฟ้าผ่าจากการย้ายสายชิลด์ให้สูงขึ้น                            | 87   |
| 68                | การเพิ่มสายชิลด์ด้วยโปรแกรม TFlash                                          | 87   |
| 69                | ผลกระทบสมรรถนะฟ้าผ่าจากการเพิ่มสายชิลด์                                     | 87   |
| 70                | การกำหนดเป้าหมาย,เงินทุนและทางเลือกปรับปรุงสมรรถนะใน Optimizer<br>of TFlash | 90   |
| 71                | การกำหนดค่าและราคาในวิธีการทั้ง 4 วิธี                                      | 91   |
| 72                | กราฟแสดงสมรรถนะฟ้าผ่าที่ลดลงจากการ Optimization 4วิธี                       | 104  |
| 73                | กราฟแสดงสมรรถนะฟ้าผ่าที่ลดลงจากการ Optimization 3 วิธี                      | 104  |
| 74                | กราฟแสดงสมรรถนะฟ้าผ่าที่ลดลงจากการ Optimization 2 วิธี                      | 105  |
| <b>ภาพผนวกที่</b> |                                                                             |      |
| 1                 | ชนิดของเสาสำหรับสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี                                  | 125  |
| 2                 | ความยาวชุดลูกถ้วยของเสาชนิดต่างๆ สำหรับสายส่ง 115kV<br>แกลง-จันทบุรี        | 125  |
| 3                 | ชนิดของเสาสำหรับสายส่ง 230kV อ่างทอง2-ท่าลาน3                               | 131  |
| 4                 | ความยาวชุดลูกถ้วยของเสาชนิดต่างๆ สำหรับสายส่ง 230 kV<br>อ่างทอง2-ท่าลาน3    | 131  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่ |                                                                                 | หน้า |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5          | ชนิดเสาและความยาวชุดลูกถ้วยสำหรับสายส่ง 500kV ไทรน้อย-วังน้อย<br>วงจรที่3       | 150  |
| 6          | ชนิดเสาและความยาวชุดลูกถ้วยสำหรับสายส่ง 500kV ไทรน้อย-วังน้อย<br>วงจรที่3 (ต่อ) | 151  |

# การปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทยด้วยระบบการหาตำแหน่งฟ้าผ่า

## Lightning Performance Improvements of EGAT Transmission Lines Based on Lightning Location System

### คำนำ

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง การพัฒนาเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้เราสามารถรู้ตำแหน่งฟ้าผ่าได้ โดยใช้ระบบที่เรียกว่า Lightning Location Sytem ซึ่งเริ่มนำมาใช้ในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และถูกปรับปรุงเป็นระบบ IMPACT ให้มีความแม่นยำทางด้านเวลาและระยะทางมากขึ้น ข้อมูลที่ได้ประกอบไปด้วยตำแหน่งเป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์ ขนาดกระแสฟ้าผ่า ชนิดของฟ้าผ่า และเวลาที่เกิดฟ้าผ่า จึงนำมาใช้ประโยชน์เป็นแนวทางในการหาสาเหตุความขัดข้อง หาค่าสมรรถนะฟ้าผ่า ปรับปรุงสายส่งที่ใช้งานอยู่ และเก็บค่าข้อมูลฟ้าผ่าในรูปแบบสถิติเพื่อใช้ออกแบบสายส่งที่จะสร้างใหม่ได้

เนื่องจากข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้อยู่ในรูปพิกัดทางภูมิศาสตร์จึงต้องใช้โปรแกรม Arcview GIS ในการวิเคราะห์ตำแหน่งและเวลาของฟ้าผ่า เทียบกับตำแหน่งสายส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตบนแผนที่ประเทศไทย และใช้โปรแกรม TFlash หาค่าสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งที่เกิดเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่ามากที่สุดทั้ง 3 ระดับแรงดัน ในที่นี้ คือ สายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี 230kV อ่างทอง2 - ท่าพาน3 และ 500kV ไทรน้อย-วังน้อย วงจรที่3 โดยใช้รายละเอียดสายส่งจากข้อมูลการออกแบบจากทางวิศวกรรมและข้อมูลการสำรวจจากทางปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะฟ้าผ่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมเปรียบเทียบกับมาตรฐาน และเหตุการณ์จริงของสายส่งที่ใช้งานอยู่ได้

ในการศึกษานี้ได้ทำการหาค่าและปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าตามแนวทางของคู่มือ Handbook for Improving Overhead Transmission Line Lightning Performance ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีความร่วมมือของ Electric Power Research Institute (EPRI) โดยหาค่าสมรรถนะฟ้าผ่าทั้ง 3 เส้นทางของสายส่ง แต่เลือกปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าเฉพาะสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี เนื่องจากเกิดเหตุการณ์ขัดข้องจากฟ้าผ่าบ่อยที่สุด การเลือกรูปแบบปรับปรุงใช้ Optimizer in TFlash หารูปแบบที่เหมาะสมที่ทำให้สมรรถนะฟ้าผ่าลดลงให้ประสิทธิภาพมากที่สุดด้วยการจำกัดเงินลงทุน 1 ล้านบาท

## วัตถุประสงค์

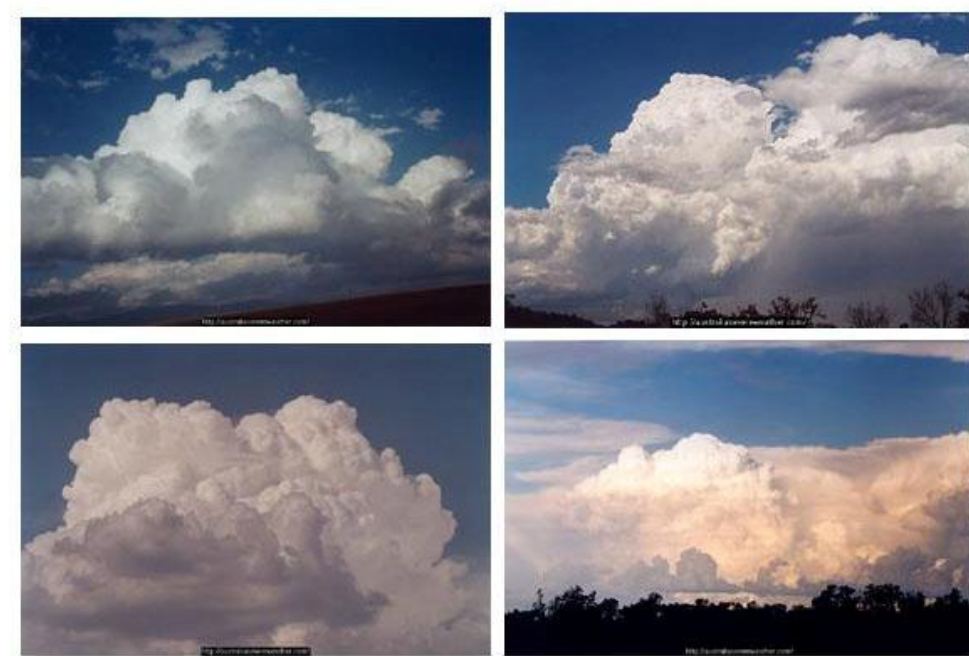
1. หาค่าทางสถิติของข้อมูลฟ้าผ่าปี พ.ศ. 2548 ที่ได้จากระบบการหาค่าแห่งฟ้าผ่า
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องในการส่งจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
3. สามารถใช้โปรแกรม TFlash หาค่าทางคุณลักษณะฟ้าผ่าของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้ถูกต้อง
4. หาแนวทางแก้ไขคุณลักษณะฟ้าผ่าที่เหมาะสม และทำให้ค่าทางคุณลักษณะฟ้าผ่าดีขึ้น
5. สามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรม โดยเปรียบเทียบกับกรอกแบบ มาตรฐานและเหตุการณ์ขัดข้องของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงได้
6. สามารถนำข้อมูลจากระบบการหาค่าแห่งฟ้าผ่ามาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์คุณลักษณะฟ้าผ่าของสายส่งที่มีอยู่เพื่อแก้ไขให้ดีขึ้นได้ และนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบสายส่งเส้นทางใหม่ได้

## การตรวจเอกสาร

### ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

#### กลไกการเกิดฟ้าผ่า

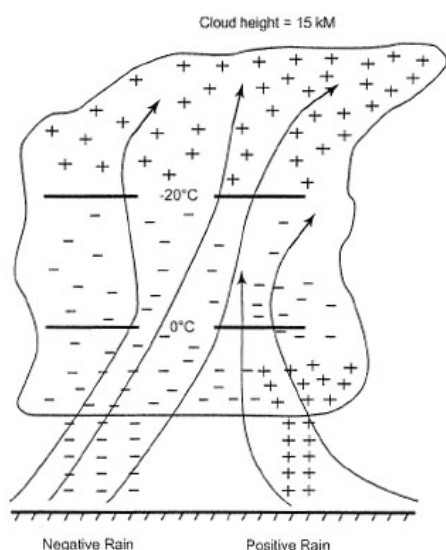
ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์เกิดขึ้นเมื่อเมฆที่มีประจุไฟฟ้าสะสมกันมีปริมาณมาก ทำให้ก้อนเมฆมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 10 เมกะโวลต์ ถึง 100 เมกะโวลต์ จนสามารถส่งกระแสข้ามตัวกลางที่ไม่ใช่ตัวนำที่ดีคืออากาศซึ่งวัดแนวความยาวได้เป็นกิโลเมตร สิ่งที่ทำให้เกิดฟ้าผ่ามากที่สุดคือ เมฆที่ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm clouds) ซึ่งนักอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า Cumulonimbus หรือเมฆก้อนใหญ่หนาที่บเกิดจากการไหลขึ้นของกระแสอากาศมีรูปลักษณะคล้ายภูเขาหรือหอดูมหิมา เป็นเมฆที่แสดงถึงสภาวะอากาศไม่ดีเมื่อก่อตัวเต็มที่ ลักษณะของเมฆชนิดนี้แสดงในภาพที่ 1 ฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นได้ในเมฆชนิดอื่นอยู่บ้างแต่เมฆเฉพาะกลุ่มนี้อยู่ใกล้พื้น จึงสังเกตการณ์ได้ง่ายที่สุด และจะเป็นฟ้าผ่าพวกที่มีผลกระทบมากที่สุดด้วย



ภาพที่ 1 ก้อนเมฆ Cumulonimbus

ที่มา: คำศัพท์อุตุนิยมวิทยา (2006)

โดยทั่วไปฟ้าผ่าจะเริ่มต้นในก้อนเมฆซึ่งมีประจุสะสมที่ระดับสูง 1.5-10 กิโลเมตรเหนือพื้นโลก โดยที่ฐานของก้อนเมฆเป็นประจุลบ ส่วนด้านบนเป็นประจุบวกตามภาพที่ 2 ส่วนใหญ่ฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่กลุ่มประจุลบ คือ ฐานของก้อนเมฆเนื่องจากอยู่ใกล้พื้นโลก เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่าสูงถึงค่าวิกฤติ (Critical field gradient :  $E_c$ ) ในก้อนเมฆค่าวิกฤตินี้มีค่าประมาณ 10 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุ (Ionization) สำหรับในบรรยากาศที่ระดับพื้นโลก  $E_c \sim 30$  กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรที่ 760 มิลลิเมตรปรอท 20 องศาเซลเซียส (ดร.สำราญ, 2547)

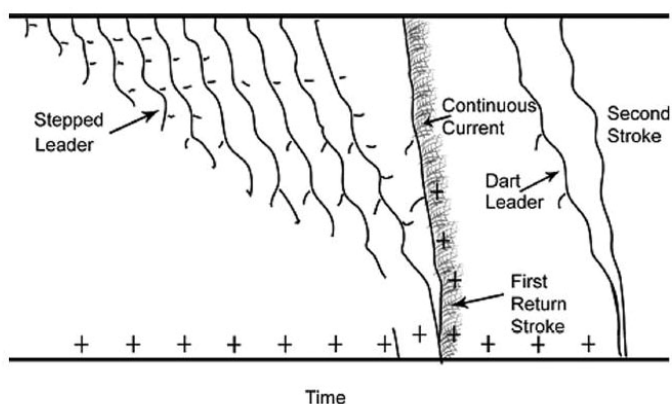


ภาพที่ 2 การกระจายของประจุในก้อนเมฆ

ที่มา: EPRI AC Transmission line reference book 200 kV and above (2004)

การแตกตัวของประจุในอากาศมีทิศทางลงสู่พื้นดินในลักษณะฟ้าผ่าเป็นขั้น (Stepped leader) ซึ่งเป็นขั้นนำยาวประมาณ 50 เมตร มีการแตกตัวของประจุเป็นแบบโคโรนา (Corona) ทำให้เกิดแสงที่มองเห็นได้ด้วยตา อยู่รอบๆ เป็นรัศมีประมาณ 30 เมตร ขั้นนำนี้จะทำให้เกิดการแตกตัวของประจุในขั้นต่อไป ด้วยอัตราเร็วในแต่ละขั้นประมาณ 150 เมตรต่อไมโครวินาที โดยทอดยาวแบบซิกแซกไปสู่จุดที่มีการเหนี่ยวนำของประจุที่พื้นโลก เช่น ที่ยอดอาคาร สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ เป็นต้น เมื่อเข้าใกล้ที่จุดเหนี่ยวนำนี้จะเกิดระยะเฉื่อย (Striking distance :  $r_s$ ) อากาศบริเวณนี้เกิดการเสียสภาพความเป็นฉนวนฉับพลัน (breakdown) และทำให้อากาศกลายเป็นตัวนำ มีการไหลของประจุตรงข้ามกลับขึ้นสู่ก้อนเมฆ เรียกว่า ลำฟ้าผ่าย้อนกลับ (Return stroke) เป็นแนวทางซึ่งมี

การไหลของประจุในอากาศที่ยังคงเป็นตัวนำไฟฟ้า และอาจมีการไหลของประจุเกิดขึ้นได้ซ้ำอีก เพื่อถ่ายเทประจุจากเมฆสู่พื้นดิน จึงเรียกว่า Dart leader ปรากฏการณ์ทั้งหมดแสดงในภาพที่3



ภาพที่ 3 กลไกการเกิดฟ้าผ่า

ที่มา: EPRI AC Transmission line reference book 200 kV and above (2004)

ฟ้าผ่าอาจมีแรงดันเทียบกับพื้นดินมากถึง 100 เมกะโวลต์ อุณหภูมิที่ลำฟ้าผ่า (Lightning stroke) สูงถึง 30,000 องศาเซลวิน และมีขนาดกระแสได้ถึง 100 กิโลแอมป์ ผลกระทบของฟ้าผ่าจึงมีดังนี้

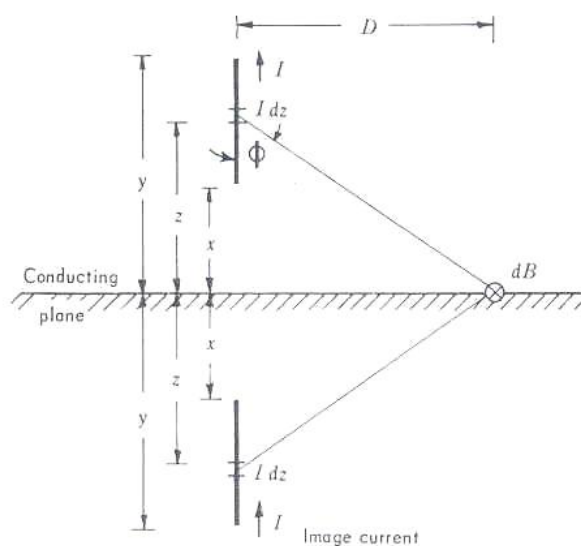
- 1) ผลกระทบด้านความร้อน ถ้าสิ่งที่ถูกฟ้าผ่าไม่สามารถถ่ายเทพลังงานลงสู่ดินได้ในเวลาอันสั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงมากของลำฟ้าผ่าจะทำให้เกิดการระเบิดและไฟไหม้ได้อย่างรวดเร็ว
- 2) ผลกระทบด้านแรง เนื่องจากกระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดแรงตามกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's law) ในตัวนำไฟฟ้าที่รับกระแสฟ้าผ่า และความร้อนที่ขยายตัวจะทำให้เกิดแรงระเบิดได้ด้วย
- 3) ผลกระทบด้านไฟฟ้า สนามไฟฟ้าที่สูงมากอาจรบกวนระบบสื่อสารและไฟฟ้าต่างๆ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่สูงมากนี้จะสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปรบกวนคลื่นอื่นๆ เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า และเหนี่ยวนำวัตถุข้างเคียง นอกจากนี้กระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดเสิร์จ (Surge) ในระบบไฟฟ้า เช่น ระบบสายส่งซึ่งเป็นสาเหตุของแรงดันเกินฟ้าผ่าที่อุปกรณ์และฉนวนต่างๆ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่ถูกฟ้าผ่าหรืออยู่ข้างเคียง (สุรพล, 2535)

## การหาตำแหน่งฟ้าผ่า

การหาตำแหน่งฟ้าผ่า (Lightning Location System : LLS) ส่วนมากใช้หลักการหาตำแหน่งจากความถี่วิทยุของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อมูลของตำแหน่งที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความถี่ที่ใช้ตรวจวัด ถ้าความถี่ของสัญญาณเป็นแบบความถี่สูงมาก (Very high frequency : VHF) ความถี่อยู่ระหว่าง 30-300 เมกะเฮิร์ตซ์ ข้อมูลที่ได้จะเป็นรูปภาพสามมิติ ถ้าความถี่ของสัญญาณเป็นแบบความถี่ต่ำมาก (Very low frequency : VLF) ความถี่อยู่ระหว่าง 3-30 กิโลเฮิร์ตซ์และแบบความถี่ต่ำ (Low frequency : LF) ความถี่อยู่ระหว่าง 30-300 กิโลเฮิร์ตซ์ ข้อมูลที่ได้จะเป็นเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ต้องนำไปประมาณค่าอีกครั้งเพื่อหาจุดที่เกิดฟ้าผ่า ใช้ได้ดีกับฟ้าผ่าแบบเมฆลงพื้นดิน (Cloud to ground : CG) สำหรับความแม่นยำของการตรวจวัดทั้ง 3 ความถี่นี้ มีความผิดพลาดอยู่ในช่วงหลักร้อยเมตร วิธีการที่ใช้หาตำแหน่งฟ้าผ่ามีดังนี้ (Rakov and Uman, 2003)

### 1) Magnetic direction finding : MDF

ถ้าฟ้าผ่าย้อนกลับจะสร้างสนามแม่เหล็กเนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุผ่านช่องทาง ถ้าฟ้าผ่า ภาพที่ 4 เป็นการจำลองลำฟ้าผ่าเพื่ออธิบายถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนระนาบตัวนำด้วยวิธีภาพเงา (Image method)



ภาพที่ 4 แผนภาพหาค่าสนามแม่เหล็กที่ระยะ D เนื่องจากช่องแนวตั้ง y-x ซึ่งมีกระแส I ไหลผ่าน  
ที่มา: Lightning (1984)

ถ้ากระแสไหลจากที่สูง  $h$  ลงสู่ดิน ( $y = h, x = 0$ ) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากประจุ Dipole moment ( $M$ ) ที่แปรตามเวลา ( $t$ ) มีค่าดังสมการที่1 (Uman, 1984)

$$B_{\phi} = \frac{\mu_o}{4\pi D^2} \left[ \frac{dM}{dt} \right] + \frac{\mu_o}{4\pi c D} \left[ \frac{d^2 M}{dt^2} \right] \quad (1)$$

|                  |     |                                      |
|------------------|-----|--------------------------------------|
| เมื่อ $B_{\phi}$ | คือ | สนามแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)   |
| $\mu_o$          |     | ความซึมซาบได้ของอากาศ (permeability) |
| $c$              |     | ความเร็วแสง (เมตรต่อวินาที)          |
| $D$              |     | ระยะทางจากลํ้าฟ้าผ่า (เมตร)          |

Uman et al. พบว่ากระแสเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ( $V$ ) แบบเดียวกัน ทำให้อนุพันธ์ที่สองของประจุ  $M$  สอดคล้องกับกระแส ( $i$ ) ตามสมการที่2

$$\frac{d^2 M}{dt^2} = 2Vc i(t) \quad (2)$$

และถ้าให้  $D \gg h$  การเปลี่ยนแปลงของประจุ  $M$  จะค่อนข้างคงที่ สามารถตัดเทอม  $dM/dt$  ได้ ทำให้ได้ค่าสนามแม่เหล็กเป็นไปตามสมการที่3 (Chisholm & Anderson, 2004)

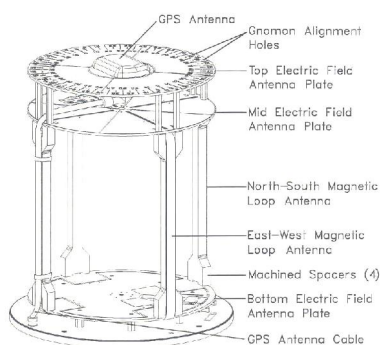
$$B_{\phi} \left( t + \frac{D}{c} \right) = \frac{\mu_o V}{2\pi c D} i(t) \quad (3)$$

แต่สำหรับการประมาณค่ายอดของกระแสที่นำมาใช้งาน The National Lightning Detection Network (NALDN) จะใช้การประมาณจากสนามแม่เหล็กค่ายอดที่วัดได้ตามสมการที่4 ซึ่งเป็นสมการที่จัดรูปใหม่จากสมการที่3 และใช้ในการหาค่ากระแสฟ้าผ่าของอุปกรณ์การหาดำแหน่งฟ้าผ่าแบบ MDF (EPRI Handbook, 2004)

$$I_{pk} = \frac{2\pi c D}{\mu_o V} B_{pk} \quad (4)$$

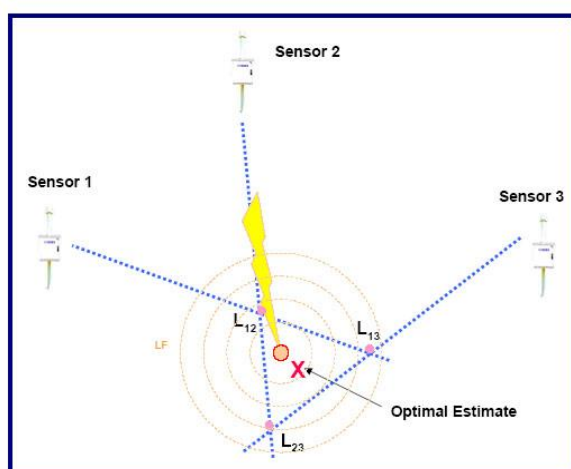
|                |     |                                          |
|----------------|-----|------------------------------------------|
| เมื่อ $I_{pk}$ | คือ | กระแสค่ายอดฟ้าผ่า (แอมป์)                |
| $B_{pk}$       |     | สนามแม่เหล็กค่ายอด (เวเบอร์ต่อตารางเมตร) |

เครื่องรับสัญญาณ (Sensors) สำหรับ MDF เป็นสายอากาศแบบวงรอบไขว้กัน (Crossed loop antenna) ประกอบจากวงรอบสองวงวางในแนวตั้งทางทิศเหนือ-ใต้ และทิศ ตะวันออก-ตะวันตก ลักษณะของสายอากาศเป็นตามภาพที่ 5 เมื่อมีลำฟ้าผ่าจะมีสัญญาณผ่านใน วงรอบแนวตั้งนี้ นำมาคำนวณเป็นค่าระยะทางและค่ากระแสฟ้าผ่า นอกจากนี้ยังใช้อัตราส่วนของ สัญญาณทั้งสองวงรอบหาค่ามุม tangent ของลำฟ้าผ่าได้อีก อย่างไรก็ตาม MDF จำเป็นต้องมี เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 3 สถานี เพื่อที่จะใช้หลักการของสามเหลี่ยม จึงจะให้ความแม่นยำที่ดี ในการหาตำแหน่งฟ้าผ่าแสดงได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 สายอากาศเครื่องรับสัญญาณ Model 141T ALDF ของบริษัท Lightning Location and Protection (LLP), USA

ที่มา: Model 141T ALDF Manual (1993)

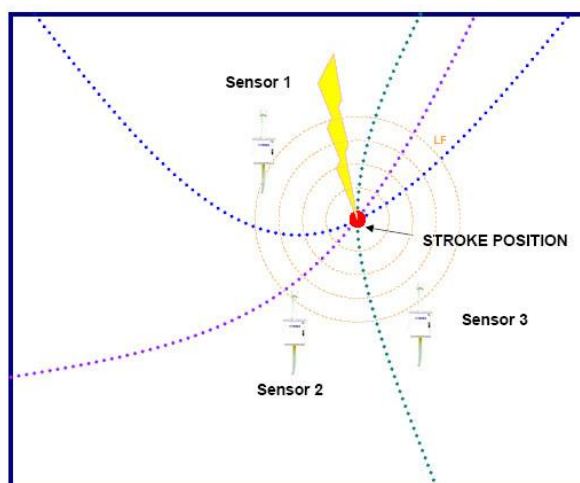


ภาพที่ 6 การหาตำแหน่งฟ้าผ่าแบบ Magnetic direction finding

ที่มา: Vaisala (2005)

## 2) Time of arrival : TOA

ในแต่ละสถานีจะระบุเวลาของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากลำฟ้าผ่าถึงเครื่องรับสัญญาณ โดยใช้นาฬิกาในระบบวัดพิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System : GPS) และใช้การประมวลผลศูนย์กลาง (Central processor) คำนวณความแตกต่างของเวลาที่มาถึงของแต่ละคู่สถานี สร้างเป็นวิถีทางเรขาคณิตแบบไฮเพอร์โบลา (Hyperbola locus) จุดตัดของเส้นวิถีเหล่านี้จะได้เป็นตำแหน่งของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังภาพที่ 7 (Scott Michael, 2001)

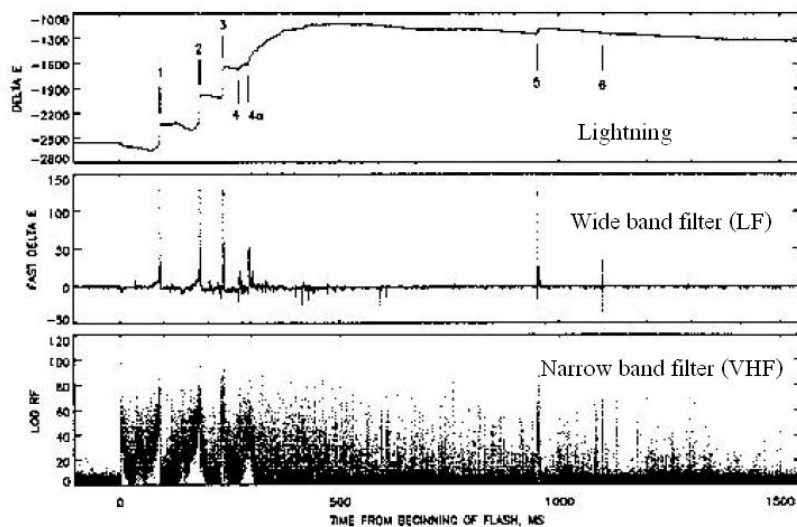


ภาพที่ 7 การหาตำแหน่งฟ้าผ่าแบบ Time of arrival

ที่มา: Vaisala (2005)

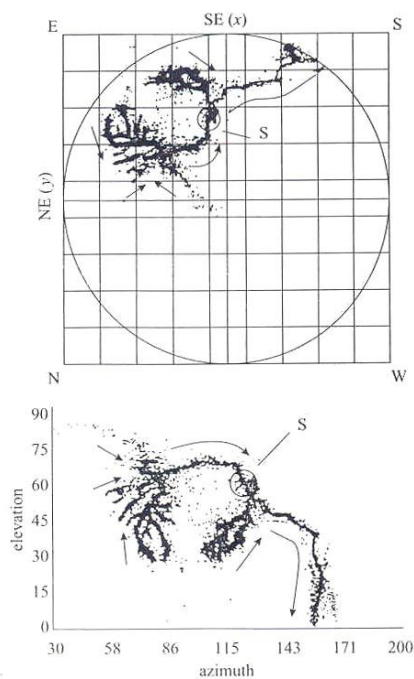
## 3) Interferometry

ฟ้าผ่าให้คลื่นรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่เป็นเวลา 10-100 ไมโครวินาที วิธีการ Interferometry จะวัดความต่างเฟสของแรงดันระหว่างตัวกรองสัญญาณแถบแคบ (Narrow band signal filter) ตามภาพที่ 8 กับคลื่นรบกวนที่ได้รับจากเครื่องรับสัญญาณ ถ้ามีเครื่องรับสัญญาณมากกว่าสองสถานีขึ้นไป ความต่างเฟสนี้จะถูกแยกเป็นแต่ละคู่สถานีคล้ายกับวิธีการ TOA ความต่างเฟสที่ได้ประมาณค่าไว้บนระนาบของทิศทางแกนบนพื้นโลก (Azimuth) และมุมเงย (Elevation) เพื่อหาตำแหน่งฟ้าผ่าในทิศทางแบบสามมิติ โดยทราบถึงจุดเริ่มต้นฟ้าผ่าในก้อนเมฆที่อยู่เหนือระดับพื้นโลก เป็นตำแหน่งวงกลมซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 9 (Rakov and Uman, 2003) (Cooray, 2003)



ภาพที่ 8 รูปคลื่นฟ้าผ่าที่ได้จากตัวกรองสัญญาณแถบแคบ

ที่มา: Vaisala (2005)



ภาพที่ 9 การกำหนดค่าพิกัด Azimuth-Elevation และตำแหน่งจุดเริ่มต้นฟ้าผ่าในก้อนเมฆ

ที่มา: The Lightning Flash (2003)

## ระบบหาตำแหน่งฟ้าผ่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ระบบหาตำแหน่งฟ้าผ่าที่ติดตั้งในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ซึ่งนำเข้าใช้งานตั้งแต่ปลายเดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 เป็นระบบของบริษัท Lightning Location and Protection (LLP), USA ใช้วิธีการแบบ MDF ผสมหลักการของระบบเวลา เรียกว่า Improved Accuracy from Combined (IMPACT) โดยเลือกใช้ Model 141T Advanced Lightning Direction Finder (ALDF) ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณ 4 ชุด ติดตั้งที่ศูนย์ฝึกอบบางปะกง เขื่อนศรีนครินทร์ สกลนคร และ นครราชสีมา ข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ ประกอบด้วยทิศทาง(มุม) เวลาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ ซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าใช้ในการเดินทางจนถึงเครื่องรับสัญญาณ และความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านระบบสื่อสารด้วยสายโทรศัพท์ VHF หรือ UHFมายังเครื่องวิเคราะห์หาตำแหน่ง ( APA-383 Advanced Position Analyzer) ซึ่งตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า (บุญมากและสุพัตรา, 2539)

เนื่องจากระบบการสื่อสารด้วยสายโทรศัพท์ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องระยะทางในการวางสายโทรศัพท์ และเทคโนโลยีระบบดาวเทียมมีการพัฒนามากขึ้น ในปี พ.ศ. 2547 จึงมีการเปลี่ยนไปใช้ระบบดาวเทียมทำให้การติดต่อสื่อสารกับเครื่องรับสัญญาณฟ้าผ่าเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น ข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้จึงมีความแม่นยำทั้งด้านทิศทางและด้านเวลามากขึ้น

โครงสร้างของระบบค้นหาตำแหน่งฟ้าผ่าปัจจุบันเปลี่ยนไปเป็นของบริษัท Vaisala Inc. ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ส่วน ดังนี้

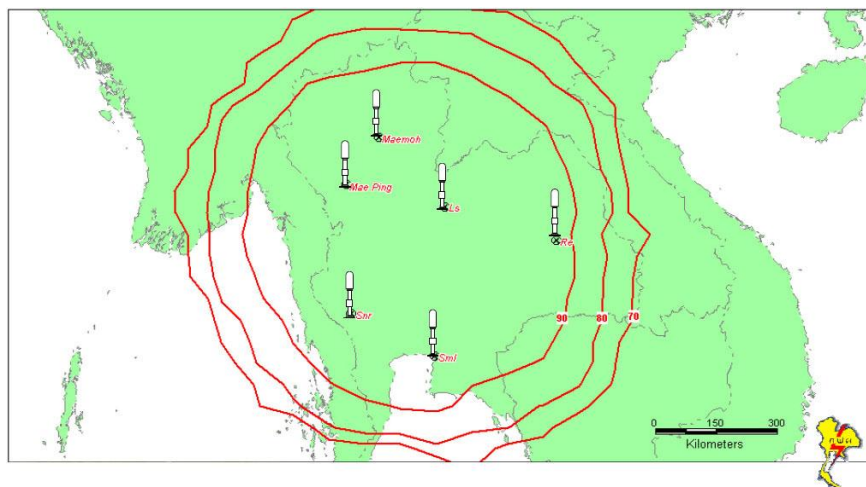
1) อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณฟ้าผ่าความถี่ต่ำ โดยปรับปรุงระบบเครื่องรับสัญญาณเดิม 4 ชุดให้มีสมรรถนะสูงขึ้นจาก 141T-ALDF เป็น IMPACT-ESP ติดตั้งที่

- เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี
- ศูนย์ฝึกอบบรมบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา
- สถานีไฟฟ้าหล่มสัก จ.เพชรบูรณ์
- สถานีทวนสัญญาณหนองไผ่ จ.ร้อยเอ็ด

และในปี พ.ศ.2549 จะดำเนินการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณเพิ่มเติมอีก 2 สถานี ที่

- บริเวณเหมืองแม่เมาะ จ.ลำปาง
- เขื่อนภูมิพล จ.ตาก

ตำแหน่งที่ติดตั้งแสดงไว้ในภาพที่ 10 เมื่อเครื่องรับสัญญาณฟ้าผ่าได้ จะส่งข้อมูลฟ้าผ่า พร้อมเวลาที่รับจากดาวเทียมผ่านทาง General Packet Radio Service (GPRS) Modem ในเครือข่าย โทรศัพท์มือถือของบริษัท Advanced Info Service Plc. (AIS) เข้ามายังเครื่องประมวลผลที่ สำนักงานกลาง กฟผ. จ.นนทบุรี

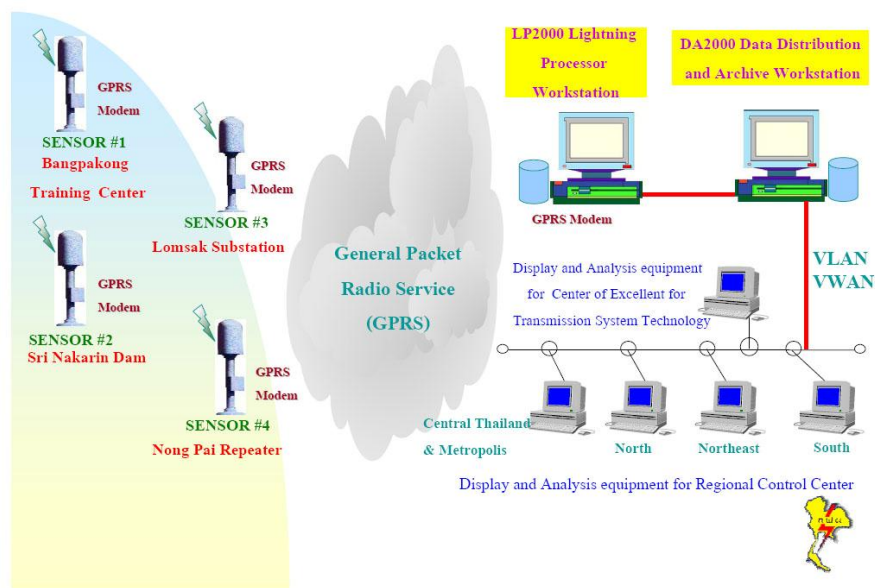


ภาพที่ 10 ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณฟ้าผ่าของ กฟผ. ในปัจจุบันและติดตั้งเพิ่มเติมอีก 2 สถานี  
ที่มา: Overview of EGAT LLS (2005)

2) เครื่องประมวลผลและจัดเก็บประวัติข้อมูลฟ้าผ่า (LLS Network Control Center) ติดตั้งอยู่ที่อาคาร ท.208 ชั้น 2 โครงการศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยีด้านระบบส่ง ซึ่งประกอบด้วย Server 2 ชุดที่ใช้ UNIX Operating System เพื่อใช้งาน โปรแกรมประยุกต์ Lightning Processor (LP2000) และ Data Distribution and Archive (DA2000)

3) เครื่องแสดงผลข้อมูลฟ้าผ่าตามเวลาที่เกิดจริงและสามารถสืบค้นประวัติข้อมูลฟ้าผ่าได้ เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ Microsoft 2000 Operating System เพื่อใช้งาน โปรแกรมประยุกต์ Real-time Lightning Tracking Software (LTRAX) ในการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของการเกิด ฟ้าผ่า ณ เวลาที่เกิดจริง โดยมีการกำหนดพื้นที่บริเวณสายส่งที่สำคัญ พร้อมส่งเสียงเตือนเมื่อฟ้าผ่า เคลื่อนที่เข้ามาใกล้บริเวณที่ระบุไว้ นอกจากนี้ยังใช้ค้นหาประวัติย้อนหลังของข้อมูลฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น ในอดีตได้อีกด้วย ปัจจุบันมีคอมพิวเตอร์ประเภทนี้ 2 เครื่องติดตั้งอยู่ที่ศูนย์นนทบุรี (สำหรับการใช้ งานร่วมกันในเขตรับผิดชอบของฝ่ายปฏิบัติการนครหลวง และฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง) และที่ หน่วยเชี่ยวชาญเทคโนโลยีด้านระบบสื่อสารและควบคุมทางไกล อาคาร ท.208 ชั้น 4 การทำงาน

ทั้งหมดของระบบการหาตำแหน่งฟ้าผ่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand's Lightning Location System : EGAT LLS) ได้แสดงไว้ในภาพที่ 11 (เรวดี, 2548)



ภาพที่ 11 EGAT LLS Network Configuration

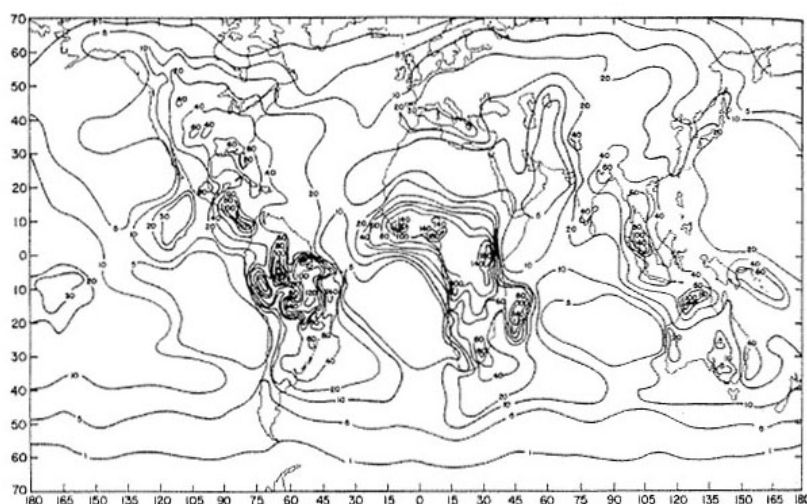
ที่มา: Overview of EGAT LLS (2005)

## สมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่ง

### ตัวแปรฟ้าผ่าที่มีผลกับสายส่ง

#### 1) ระดับและแผนที่จำนวนฟ้าคะนอง

ระดับจำนวนฟ้าคะนองเท่า (Keraunic levels) ใช้แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนวันฟ้าคะนองต่อปี (Annual thunder days : TD) ของแต่ละสถานที่ ค่านี้ถูกกำหนดลงบนแผนที่จำนวนฟ้าคะนองเท่า (Isokeraunic maps) ตามภาพที่ 12 ที่เส้นเหล่านี้มีค่าคงที่เท่ากันทั้งเส้นคล้ายกับแผนที่แสดงความสูงต่ำของพื้นดิน สำหรับค่า TD ได้มาจากการเก็บข้อมูลทางสถิติขึ้นกับความสามารถในการได้ยินเสียงของผู้สังเกตสภาพอากาศ (EPRI Reference book, 1987)



ภาพที่ 12 แผนที่จำนวนฟ้าคะนองเท่าของ WMO, 1953

ที่มา: EPRI AC Transmission line reference book 200 kV and above (2004)

#### 2) ความหนาแน่นของฟ้าผ่าลงดิน

การหาความหนาแน่นของฟ้าผ่าลงดิน (Ground flashes density : GFD) เป็นอัตราส่วนอย่างหยาบกับค่า TD มีงานวิจัยจำนวนมากหาความสัมพันธ์ของ GFD และ TD สำหรับ EPRI AC Transmission line reference book 200 kV and above ระบุความสัมพันธ์เพื่อใช้งานตามสมการที่ 5 (EPRI Reference book, 2004)

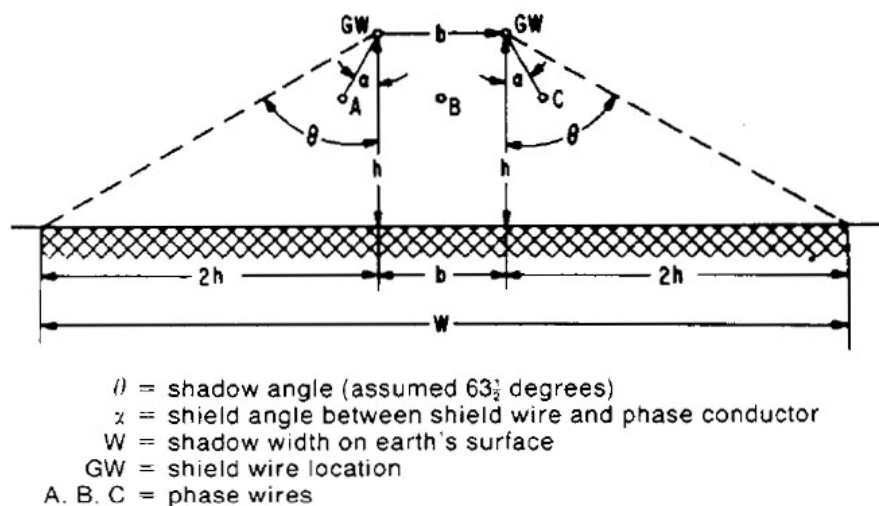
$$GFD = 0.04TD^{1.25} \quad (5)$$

เมื่อ GFD คือ จำนวนฟ้าผ่าลงดิน (ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี)

TD จำนวนวันฟ้าคะนองต่อปี

### 3) จำนวนฟ้าผ่าในสายส่ง

เมื่อมีฟ้าผ่าจะมีระยะเงา (Electrical shadow) ห่างจากสายส่งระยะหนึ่งที่ทำให้ฟ้าผ่าเข้ามาในสายเสมอแทนที่เป็นฟ้าผ่าลงดิน ระยะเงานี้แสดงได้ในภาพที่ 13 เป็นการประมาณความกว้างระยะเงาของสายชีลด์ (Shield wire) ความสูงที่ใช้งานเป็นความสูงเฉลี่ยของสายไม่ใช่ที่ความสูงที่เสาส่ง สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 6 (EPRI Reference book, 1987)



ภาพที่ 13 ความกว้างระยะเงาของสายชีลด์

ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

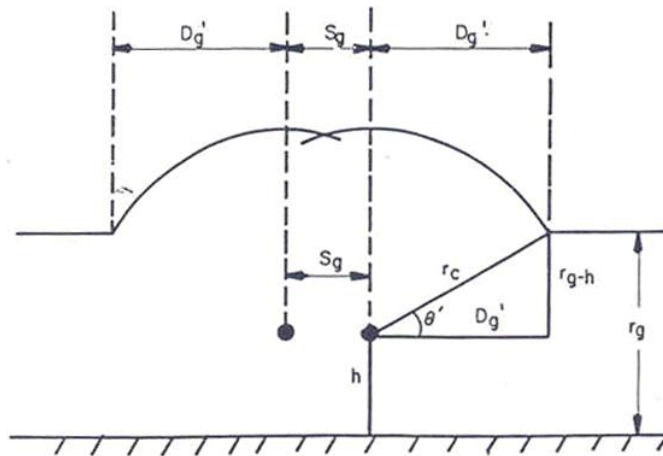
$$h = h_g - 2/3(h_g - h_{gw}) \quad (6)$$

เมื่อ  $h$  คือ ความสูงเฉลี่ยของสายชีลด์ (เมตร)

$h_g$  ความสูงของสายชีลด์ที่เสาส่ง (เมตร)

$h_{gw}$  ความสูงของสายชีลด์ที่กลางช่วงเสา (เมตร)

สำหรับค่าความกว้างระยะเงาในภาพที่ 13 เป็นการประมาณค่าจาก EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987) แต่ในปัจจุบันนี้ใช้หลักการจำลองเรขาคณิต (Electro-Geometric Model : EGM) ซึ่งสร้างแบบจำลองจากระยะเผชิญของสายตัวนำ (Striking distance to conductor :  $r_c$ ) และระยะเผชิญของดิน (Striking distance to ground :  $r_g$ ) ได้ดังภาพที่ 14 (Hileman, 1999)



ภาพที่ 14 Electrogeometric model สำหรับสายชนิดสองเส้น  
ที่มา: Insulation Coordination for Power Systems (1999)

ระยะเผชิญสามารถแสดงในรูปทั่วไปเป็น  $r = AI^b$  ค่าคงที่ A, b ในที่นี้ใช้ค่าระยะเผชิญของสายตัวนำและพื้นดิน เป็นไปตามสมการที่ 7,8 ดังนี้ (IEEE Standard 1243, 1997)

$$r_c = 10I^{0.65} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} r_g &= [3.6 + 1.7 \ln(43 - h)] I^{0.65} & h < 40 \text{ m.} \\ &= 5.5 I^{0.65} & h \geq 40 \text{ m.} \end{aligned} \quad (8)$$

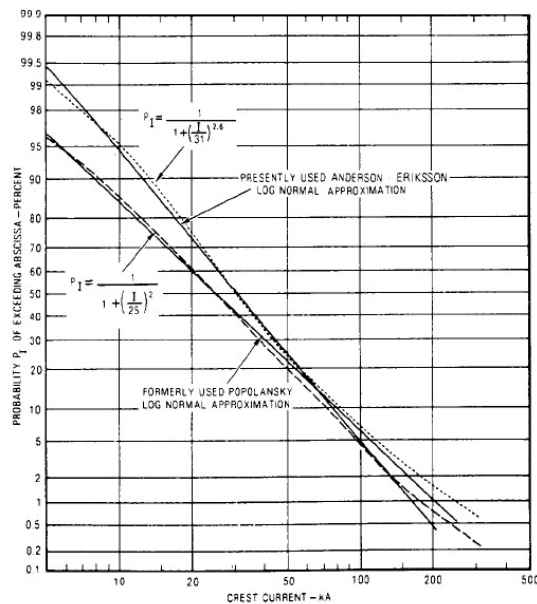
ดังนั้นการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าในสายส่งภายใต้พื้นที่ระยะเงาซึ่งใช้หลักการ EGM จึงมีค่าดังสมการที่ 9 (Hileman, 1999)

$$N_L = GFD \left( \frac{28h^{0.6} + S_g}{10} \right) \quad (9)$$

เมื่อ  $N_L$  คือ จำนวนฟ้าผ่าในสายส่ง (ครั้งต่อ 100 กิโลเมตรต่อปี)  
 $S_g$  ระยะห่างของสายลีดส์ (เมตร)

#### 4) ความน่าจะเป็นของกระแสฟ้าผ่า

ขนาดของกระแสฟ้าผ่าอธิบายได้ในรูปแบบความน่าจะเป็น รูปแบบของกระแสฟ้าผ่านี้จำเป็นต้องมีการเก็บค่าและวิจัยในทุกๆปี สำหรับความน่าจะเป็นถูกเก็บเป็นค่าทางสถิติด้วยกราฟ log-normal curve ตามภาพที่ 15 และเพื่อง่ายแก่การคำนวณจึงมีการประมาณค่าเป็นสมการที่ 10, 11 มีความแม่นยำในช่วงกระแส 5-200 กิโลแอมป์ (EPRI Reference book, 1987)



ภาพที่ 15 การกระจายความถี่สะสมของขนาดกระแสฟ้าผ่าในการเกิดฟ้าผ่าประจุลบ

ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

สำหรับ Popolansky curve

$$P_I = \frac{I}{1 + \left(\frac{I}{25}\right)^2} \quad (10)$$

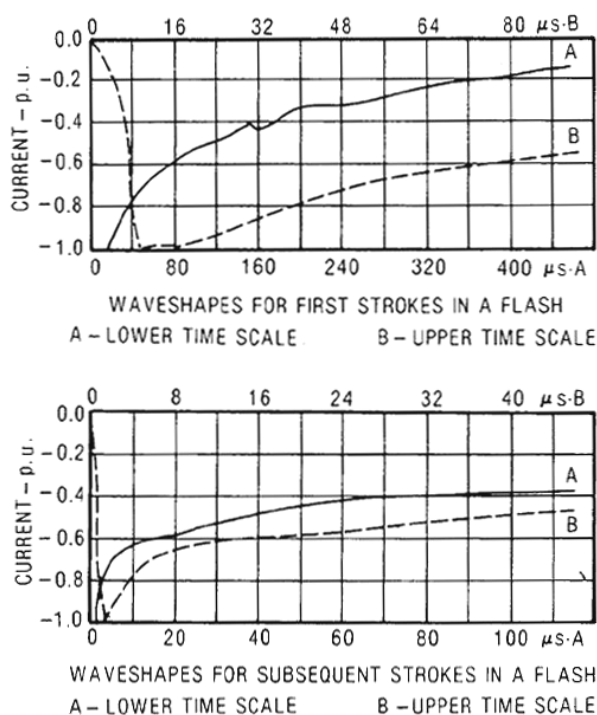
สำหรับ Anderson-Eriksson curve

$$P_I = \frac{I}{1 + \left(\frac{I}{31}\right)^{2.6}} \quad (11)$$

### 5) รูปร่างคลื่นฟ้าผ่า

รูปร่างของคลื่นฟ้าผ่ามีผลกับแรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วย โดยเฉพาะเสาส่งที่มีโครงสร้างสูงๆ ภาพที่ 16 แสดงรูปร่างของคลื่นลํ้าฟ้าผ่าแรก (First stroke) และคลื่นลํ้าฟ้าฟาลํ้าดับหลัง (Subsequent stroke) ซึ่งได้จากการบันทึกของ Anderson and Eriksson พบว่าเวลาขึ้นสู่แรงดันยอดคลื่นของลํ้าฟ้าฟาลํ้าดับหลังเร็วกว่าลํ้าฟ้าผ่าแรก แต่เวลาที่แรงดันตกของลํ้าฟ้าฟาลํ้าดับหลังก็ลดลงอย่างรวดเร็วด้วย ทำให้ช่วยลดผลกระทบของแรงดันเกินที่จะเกิดขึ้นได้

สำหรับขนาดของลํ้าฟ้าผ่า Weck and Hileman พบว่า ขนาดของลํ้าฟ้าผ่าแรกมักมีขนาดสูงกว่าเสมอ จึงทำให้ลํ้าฟ้าฟาลํ้าดับหลังมีความสำคัญในการเกิดแรงดันเกินน้อยกว่าด้วย เมื่อเทียบกับลูกถ้วยที่มีความทนทางฉนวนสูง ในการคำนวณสมรรถนะฟ้าผ่าทางปฏิบัติจะไม่คำนึงถึงผลของลํ้าฟ้าฟาลํ้าดับหลัง แต่สามารถนำผลกระทบนี้มาคำนวณได้ถ้าต้องการ โดยเฉพาะกรณีเสาส่งข้ามแม่น้ำ (EPRI Reference book, 1987)



ภาพที่ 16 รูปร่างคลื่นของกระแสฟ้าผ่า

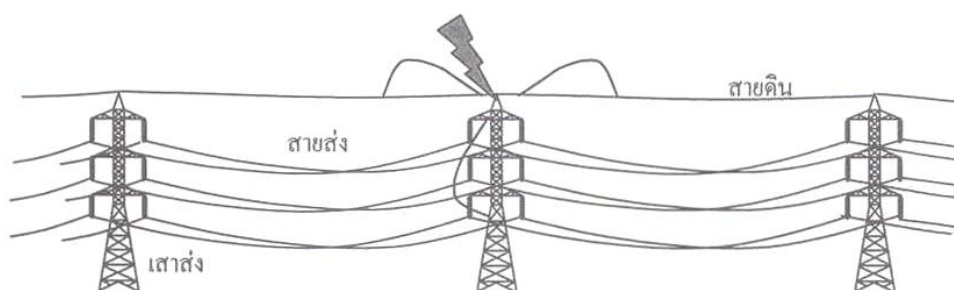
ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

## ชนิดของการวับไฟเนื่องจากฟ้าผ่า

การวับไฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้ (EPRI Handbook, 2004)

### 1) การวับไฟตามผิวย้อนกลับ (Back Flashover)

ในกรณีนี้การวับไฟจะเกิดขึ้นจากเสาโลหะข้ามฉนวนไปยังสายตัวนำ เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายดินหรือสายชิลด์ ทำให้มีคลื่นกระแสและแรงดันวิ่งไปบนสายชิลด์ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แรงดันฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นบนสายส่งและเสาส่ง

ที่มา: การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง (2548)

ที่เสาส่งคลื่นนี้มีทั้งสะท้อนกลับ ส่งผ่านเสาลงสู่ดิน และส่งออกไปยังสายชิลด์ข้างเคียง เนื่องจากรอยต่อที่มีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน แรงดันเสริมที่ถูกสร้างจะครอบคลุมลูกถ้วยระหว่างเฟสกับดิน ครอบคลุมอากาศของสายเฟสและสายเฟสกับสายชิลด์ตลอดช่วงเสา เมื่อไรถ้าแรงดันเสริมนี้สูงกว่าความคงทนของฉนวนการวับไฟก็จะเกิดขึ้น ตัวแปรที่มีผลกระทบกับการวับไฟตามผิวย้อนกลับ ได้แก่

- ความหนาแน่นของฟ้าผ่าลงดิน
- เสรีอิมพีแดนซ์ของสายชิลด์และเสาส่ง
- ตัวประกอบเชื่อมต่อ (Coupling factors) ระหว่างตัวนำ
- แรงดันที่ความถี่กำลัง
- ความสูงของเสาและสายส่ง
- ความยาวช่วงเสา
- ความคงทนของฉนวน
- ความต้านทานที่ฐานเสาและส่วนประกอบของดิน

## 2) การวาบไฟเนื่องจากความล้มเหลวในการชิลด์ (Shielding Failure Flashover)

ความล้มเหลวในการชิลด์ หมายถึง การเกิดฟ้าผ่าลงบนสายเฟสตัวนำ สำหรับสายส่งที่ไม่มี การชิลด์ ฟ้าผ่าทำให้เกิดความล้มเหลวในการชิลด์เสมอ แต่สำหรับสายส่งที่มีสายชิลด์ ส่วนมาก ฟ้าผ่าลงบนสายชิลด์ทำให้คำนึงถึงความล้มเหลวในการชิลด์น้อยลง

การคำนวณหาจำนวนครั้งของความล้มเหลวในการชิลด์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ตัวแปรแบบจำลองเรขาคณิต ความน่าจะเป็นของฟ้าผ่า การชิลด์ตามธรรมชาติที่เกิดจากต้นไม้ ภูมิประเทศและอาคาร การเกิดความล้มเหลวในการชิลด์ไม่จำเป็นต้องเกิดการวาบไฟตามผิวของ ลูกถ้วยเสมอไป ขึ้นอยู่กับกระแสวิกฤติ (Critical current ;  $I_C$ ) ที่ฟ้าผ่าลงบนสายตัวนำ สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 12

$$I_C = \frac{2CFO}{Z} \quad (12)$$

เมื่อ CFO คือ แรงดันวาบไฟตามผิววิกฤติของอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วลบ (กิโลโวลต์)  
Z เสรีจิมพีแดนซ์ของสายตัวนำ (โอห์ม)

## 3) การวาบไฟเหนี่ยวนำ (Induced Flashover)

การวาบไฟเหนี่ยวนำเป็นแรงดันเกินชั่วครู่ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำบนสายส่งจากฟ้าผ่าที่อยู่ ใกล้สายส่ง สำหรับสายส่งระบบจำหน่ายแรงดันต่ำฟ้าผ่าบริเวณข้างเคียงเป็นสาเหตุหลักของการ วาบไฟเนื่องจากฟ้าผ่า การประมาณจำนวนฟ้าผ่าบริเวณข้างเคียงที่ส่งผลต่อการป้องกันและการ ประสานสัมพันธ์จนวนของสายส่ง เป็นปัญหาที่ได้ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์หลายอย่างศึกษ นานถึง 20 ปี ผลจากการพัฒนาทำให้แบบจำลองสามารถประมาณแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า เหนี่ยวนำได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์แรงดันเหนี่ยวนำจากฟ้าผ่ามีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับแบบจำลอง เรขาคณิต ทำให้การชิลด์เพื่อป้องกันฟ้าผ่าข้างเคียงสามารถลดจำนวนฟ้าผ่าลงสายส่งโดยตรงได้ แต่ทั้งนี้ถ้าฟ้าผ่าที่ใกล้สายส่งมากๆ ก็ยังคงส่งผลกระทบให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำมากขึ้นเช่นเดิม

หลายสมมุติฐานทำให้การคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำง่ายขึ้น โดยสมมุติให้ขนาดของหน้าตัด สายส่งเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นทางไฟฟ้า และให้ผลรวมของกระแสทั้งหมดบนสายส่ง เท่ากับศูนย์ ดังนั้นเราจึงพิจารณาเพียงกระแสของสายส่งเท่านั้นไม่คิดกระแสของสายอากาศ สูดท้าย

สมมุติให้ช่องลำฟ้าผ่าตรงและตั้งฉากกับพื้นดิน ทั้งสามสมมุติฐานนี้ช่วยให้การคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กและค่าสนามไฟฟ้า สามารถทำนายค่าได้แม่นยำยิ่งขึ้นด้วย

สำหรับฟ้าผ่าภายใน 1 กิโลเมตรจากสายส่ง ส่วนประกอบแนวตั้งของสนามไฟฟ้าและแนวนอนของสนามแม่เหล็กเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดแรงดันเกินบนสายส่ง ในปี ค.ศ. 1958 Rusck ได้เตรียมแบบจำลองเชื่อมต่ออย่างง่าย (Simplified coupling model) ประมาณค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำสายส่งใกล้กับตำแหน่งฟ้าผ่าที่สุด โดยสมมุติให้ความเร็วของลำฟ้าผ่าย้อนกลับมีค่าประมาณ  $1.2 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ได้ตามสมการที่ 13 ดังนี้

$$V_{max} = 38.8 \frac{Ih}{y} \quad (13)$$

เมื่อ  $I$  คือ กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมป์)  
 $h$  ความสูงของสายตัวนำจากพื้นดิน (เมตร)  
 $y$  ระยะทางใกล้ที่สุดระหว่างตำแหน่งฟ้าผ่ากับสายส่ง (เมตร)

แบบจำลองอย่างง่ายนี้ได้มาจากผลการทดสอบของการศึกษาฟ้าผ่าด้วย Rocket-triggered สิ่งสำคัญเกี่ยวกับการวาบไฟเหนี่ยวนำเนื่องจากฟ้าผ่าข้างเคียงสรุปได้ คือ

- แรงดัน CFO ของลูกถ้วยที่มีค่ามากกว่า 400 กิโลโวลต์ ป้องกันการวาบไฟเหนี่ยวนำได้ทั้งหมด
- ผลของสายชิลด์จะช่วยลดระดับแรงดันบนลูกถ้วย 30-40% ขึ้นอยู่กับลักษณะของสายส่ง
- การติดตั้งอะเรสเตอร์ทุกช่วงเสาสามารถปรับปรุงสมรรถนะการวาบไฟเหนี่ยวนำสำหรับสายส่งระบบจำหน่ายได้ทั้งหมด แต่ไม่แนะนำวิธีนี้เพราะระยะการติดตั้งอะเรสเตอร์มักใช้ โดยคำนึงถึงการปรับปรุงสมรรถนะการวาบไฟของฟ้าผ่าโดยตรงมากกว่า

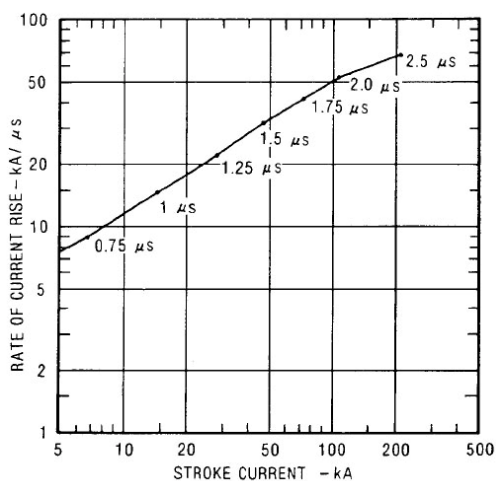
#### 4) การวาบไฟกลางช่วงเสาส่ง (Midspan Flashover)

Wagner and Hileman ได้ศึกษาถึงการเสีสภาพฉลัปล้นนี้ในปี ค.ศ.1960 การวาบไฟกลางช่วงเสาส่งเกิดขึ้นเมื่อระยะของตัวนำกลางช่วงเสามีขนาดเล็กอย่างสายส่งระบบจำหน่าย หรือช่วงเสาที่ยาวมาก (304.8 เมตรหรือมากกว่า) แรงดันบนตัวนำเป็นไปตามสมการของความล้มเหลวในการชิลด์ แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นถึง 610 กิโลโวลต์ต่อเมตรในช่องอากาศของสายตัวนำเป็นเวลานานการเสีสภาพฉลัปล้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆจนสมบูรณ์ โดยใช้เวลาหลายไมโครวินาทีได้

### การคำนวณสมรรถนะฟ้าผ่าการวับไฟตามผิวย้อนกลับด้วยวิธี A Simplified Two-Point Method

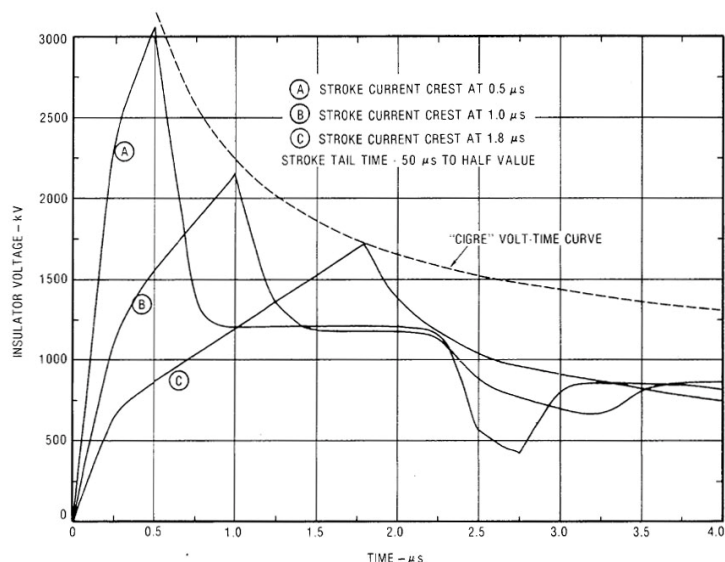
วิธีการนี้เป็นการคำนวณที่ถูกพัฒนาขึ้นใน Chapter 12, EPRI Transmission line reference book 345 kV and above เพื่อเป็นแนวทางช่วยให้ได้ค่าสมรรถนะฟ้าผ่าที่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยมีแนวคิดสรุปได้ดังนี้ (EPRI Reference book, 1987)

1. ใช้รูปร่างคลื่นเพียงแบบเดียวเท่านั้นในการคำนวณ เนื่องจากค่ายอดของกระแสฟ้าผ่าและเวลาหน่วงคลื่นมีความน่าจะเป็นแตกต่างกัน ทั้งยังส่งผลต่ออัตราเวลาขึ้นสู่ค่ายอดเมื่อจำลองรูปร่างคลื่นแบบ Ramp function การตัดของวงจรเนื่องจากฟ้าผ่าแบบการวับไฟตามผิวย้อนกลับซึ่งมีขนาดของกระแสสูงกว่า 80 กิโลแอมป์ พบว่าเวลาหน่วงคลื่นที่ได้อยู่ในช่วง 1.8-2.0 ไมโครวินาที แสดงได้ดังภาพที่ 18 นอกจากนี้ภาพที่ 19 เป็นกราฟแรงดัน-เวลา ยังแสดงได้อีกว่าเวลาหน่วงคลื่นที่เร็วขึ้นส่งผลกระทบน้อย เพราะความคงทนทางฉนวนของลูกถ้วยสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นวิธีการนี้จึงเลือกรูปร่างคลื่นมาตรฐานเป็นแบบ Ramp function ที่เวลาหน่วงคลื่น 2 ไมโครวินาที



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดกระแสฟ้าผ่า, เวลาหน่วงคลื่น, อัตราเวลาขึ้นสู่ค่ายอดของรูปร่างคลื่นแบบ Ramp function

ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)



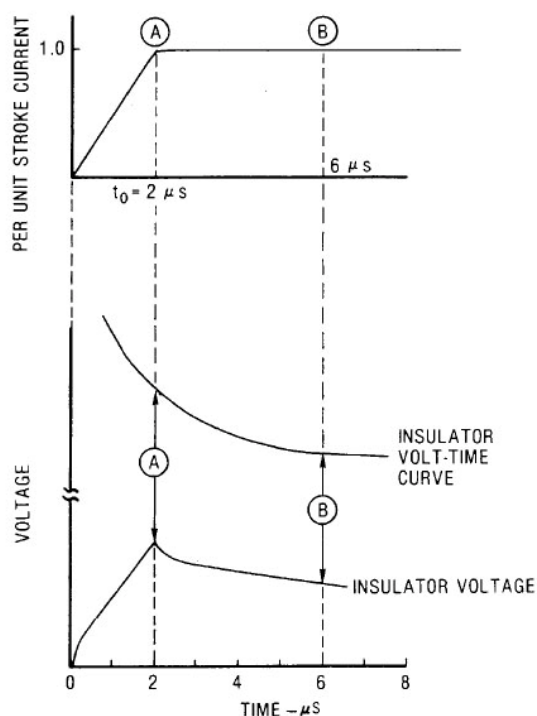
ภาพที่ 19 ผลกระทบของแรงดันบนลูกถ้วยเนื่องจากฟ้าผ่าที่มีเวลาหน่วงต่างกันแต่ขนาดเท่ากัน  
ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

2. คลื่นสะท้อนจากเสาข้างเคียงถูกนำมาคิดรวมด้วย เพราะช่วยลดแรงดันที่ด้านบนเสาส่ง และลดอัตราการเกิดวาวไฟของสายส่ง แต่คลื่นสะท้อนนี้ถูกลดทอนขนาดจากกระแสโคโรนา และความเร็วในการแพร่กระจายช้าลงเนื่องจากความต้านทาน ผลของโคโรนา ทำให้ความเร็วลดลงเหลือ 0.9 เท่าของความเร็วแสง (300 เมตรต่อไมโครวินาที) ถ้าระยะระหว่างช่วงเสาน้อยคลื่นสะท้อนนี้จะหักล้างแรงดันฟ้าผ่าก่อนเพิ่มถึงค่ายอดได้ ค่าของคลื่นสะท้อนเป็นไปตามสมการที่ 14

$$V'_T(t_o) = \frac{-4K_S [V_T(t_o)]^2}{Z_S} \left[ 1 - \frac{2V_T(t_o)}{Z_S} \right] \left[ \frac{t_o - 2\tau_S}{t_o} \right] \quad (14)$$

|       |                 |                                                                                            |
|-------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $V'_T(t_o)$ คือ | ผลรวมคลื่นแรงดันสะท้อนจากเสาข้างเคียงที่ด้านบนเสาส่ง ณ เวลายอดคลื่น; $t_o$ (กิโลโวลต์)     |
|       | $V_T(t_o)$      | แรงดันค่ายอดที่ด้านบนเสาส่งที่เวลา $t_o$ โดยไม่มีผลแรงดันสะท้อนจากเสาข้างเคียง (กิโลโวลต์) |
|       | $2\tau_S$       | เวลาเดินทางคลื่นถึงเสาข้างเคียงและย้อนกลับ (ไมโครวินาที)                                   |
|       | $Z_S$           | เสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายซิลด์ (โอห์ม)                                                        |
|       | $K_S$           | ตัวคูณลดทอน (สมมุติให้เป็น 0.85 ถ้าไม่มีข้อมูลใดๆที่หาได้)                                 |

3. กราฟแรงดัน-เวลานำมาใช้เพียงสองจุดเท่านั้นตามภาพที่ 20 ซึ่งแสดงคลื่นกระแสฟ้าผ่ามาตรฐานและจุด A, B ที่นำมาคำนวณหาแรงดันคร่อมบนฉนวนลูกถ้วย จุดที่มีค่ากระแสฟ้าผ่าต่ำกว่าใช้คำนวณหาการวาบไฟตามผิวอีกครั้ง การวาบไฟตามผิวที่เวลามากกว่า 6 ไมโครวินาทีให้สมมุติว่าไม่เกิดขึ้นบ่อยนัก เพราะกราฟแรงดัน-เวลาที่เวลานี้มีระดับค่อนข้างราบเรียบเสมอกัน หรืออาจจะใช้ทั้งสองจุด A, B เพื่อตรวจสอบความเค้นของแรงดันที่เกิดขึ้นบนลูกถ้วยก็ได้



ภาพที่ 20 กระแสฟ้าผ่าแบบ Ramp function ที่ใช้เพื่อคำนวณแรงดันของลูกถ้วยเพียงสองจุด  
ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

4. ฟ้าผ่าลำดับหลังไม่นำมาคิด เนื่องจากการวิเคราะห์เกี่ยวข้องกับความรุนแรงของแรงดันคร่อมบนฉนวนลูกถ้วย ฟ้าผ่าลำดับหลังมีความรุนแรงไม่เท่าฟ้าผ่าลำดับแรกในการเกิดฟ้าผ่าแต่ละครั้ง เวลาที่เกิดขึ้นมีค่าสั้นกว่าถึงแม้แรงดันคร่อมลูกถ้วยสูง ทำให้ฉนวนลูกถ้วยสามารถคงทนต่อแรงดันนี้ได้

5. การเลือกเวลาที่ 2, 6 ไมโครวินาที ทำให้สมการแรงดันดูง่ายขึ้น โดยให้  $t_0$  เท่ากับ 2 ไมโครวินาที (จุด A ในภาพที่ 20) และไม่คิดผลสะท้อนกลับจากเสาข้างเคียง ดังนั้นแรงดันด้านบนเสาส่งที่ยอดคลื่นเป็นไปตามสมการที่ 15

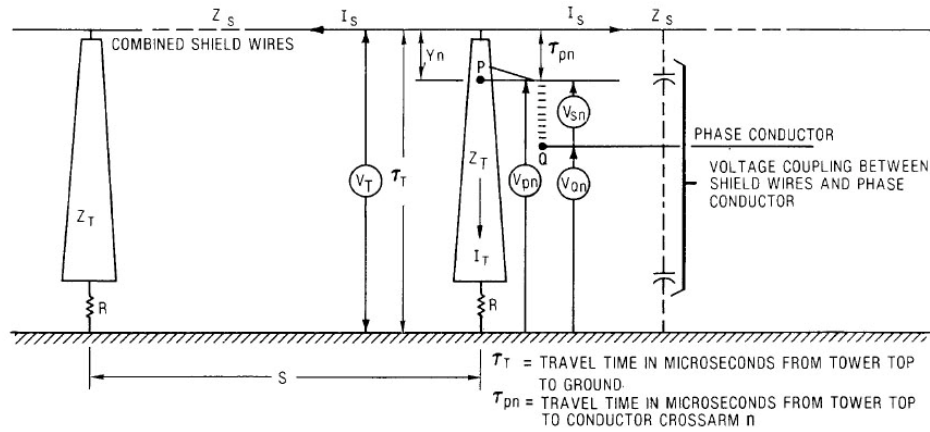
$$(V_T)_2 = \left[ Z_I - \frac{Z_W}{1-\psi} \left( 1 - \frac{\tau_T}{1-\psi} \right) \right] I \quad (15)$$

$$Z_I = \frac{Z_S Z_T}{Z_S + 2Z_T} \quad (15A)$$

$$Z_W = \left[ \frac{2Z_S^2 Z_T}{(Z_S + 2Z_T)^2} \right] \left[ \frac{Z_T - R}{Z_T + R} \right] \quad (15B)$$

$$\psi = \left( \frac{2Z_T - Z_S}{2Z_T + Z_S} \right) \left( \frac{Z_T - R}{Z_T + R} \right) \quad (15C)$$

|       |               |                                                                                                                                    |
|-------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $(V_T)_2$ คือ | ขนาดแรงดันด้านบนเสาส่งที่เวลา 2 ไมโครวินาทีสำหรับกระแสฟ้าผ่าที่มียอดคลื่นที่ 2 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์)                             |
|       | $Z_I$         | intrinsic circuit impedance ที่นำกระแสฟ้าผ่าขณะนั้นมาหา<br>วงจรสมมูลตามภาพที่ 21 (โอห์ม)                                           |
|       | $Z_W$         | constant wave impedance ของคลื่นกระแสฟ้าผ่าทั้งหมดที่<br>เคลื่อนที่ทำให้เกิดแรงดันด้านบนเสาส่ง (โอห์ม)                             |
|       | $Z_T$         | เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่ง (โอห์ม)                                                                                                  |
|       | $Z_S$         | เสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายชีลด์ (โอห์ม)                                                                                                |
|       | $R$           | ความต้านทานที่ฐานของเสาส่ง (โอห์ม)                                                                                                 |
|       | $\tau_T$      | เวลาในการเคลื่อนที่จากด้านบนถึงฐานของเสาส่ง หาได้โดยใช้<br>ความสูงของเสาหารด้วยความเร็วแสง 300 เมตรต่อไมโครวินาที<br>(ไมโครวินาที) |
|       | $I$           | ขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 1 P.U.                                                                                                      |
|       | $\psi$        | ค่าคงที่การหน่วง (Damping constant)                                                                                                |



ภาพที่ 21 องค์ประกอบพื้นฐานในการคำนวณหาแรงดันของฉนวนลูกถ้วย

ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

ขนาดแรงดันของความต้านทานที่ฐานเสาเป็นไปตามสมการที่ 16

$$(V_R)_2 = \left[ \frac{\bar{\alpha}_R Z_I}{1 - \psi} \left( 1 - \frac{\psi \tau_T}{1 - \psi} \right) \right] I \quad (16)$$

$$\bar{\alpha}_R = \frac{2R}{Z_T + R} \quad (16A)$$

เมื่อ  $(V_R)_2$  คือ ขนาดแรงดันคร่อมความต้านทานที่ฐานเสาส่งที่เวลา  $(2 + \tau_T)$  ไมโครวินาทีสำหรับกระแสฟ้าผ่าที่มียอดคลื่นที่ 2 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์)

$\bar{\alpha}_R$  สัมประสิทธิ์หักเหของแรงดัน (Voltage refraction coefficient)

จากสมการที่ 14 แรงดันสะท้อนจากเสาส่งข้างเคียงที่เวลา 2 ไมโครวินาที (คิดในกรณีที่เวลาเดินทางของคลื่นถึงเสาข้างเคียงและย้อนกลับน้อยกว่า 2 ไมโครวินาที;  $2\tau_s < 2 \mu s$ ) สามารถเขียนได้ใหม่ตามสมการที่ 17

$$(V'_T)_2 = \frac{-4K_s (V_T)_2^2}{Z_s} \left[ 1 - \frac{2(V_T)_2}{Z_s} \right] (1 - \tau_s) \quad (17)$$

เมื่อ  $(V_T')_2$  คือ ผลรวมคลื่นแรงดันสะท้อนจากเสาข้างเคียงที่ด้านบนเสาส่ง  
ที่เวลา 2 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์)

ถ้า  $\tau_s > 1 \mu s$  จะไม่มีแรงดันสะท้อนของเสาข้างเคียงมาที่เวลา 2 ไมโครวินาที ดังนั้น  
แรงดันรวมทั้งหมดที่ด้านบนเสาส่งจึงได้ตามสมการที่18

$$(\bar{V}_T)_2 = (V_T)_2 + (V_T')_2 \quad (18)$$

เมื่อ  $(\bar{V}_T)_2$  คือ ขนาดแรงดันรวมทั้งหมดที่ด้านบนเสาส่ง (กิโลโวลต์)

สำหรับแรงดันที่ Crossarm อันดับ n เมื่อเวลา 2 ไมโครวินาที สามารถหาได้ด้วยวิธี  
Interpolation ดังสมการที่19

$$(V_{pn})_2 = (V_R)_2 + \frac{\tau_T - \tau_{pn}}{\tau_T} [(V_T)_2 - (V_R)_2] \quad (19)$$

เมื่อ  $(V_{pn})_2$  คือ ขนาดแรงดันที่ Crossarm อันดับ n (กิโลโวลต์)  
 $\tau_{pn}$  เวลาในการเคลื่อนที่จากด้านบนถึง Crossarm n ของเสาส่ง  
(ไมโครวินาที)

แรงดันเสิร์จคร่อมชุดลูกถ้วยเฟส n ที่เวลา 2 ไมโครวินาที คือ ผลต่างของแรงดันเสิร์จที่  
Crossarm อันดับ n และแรงดันเสิร์จของสายตัวนำเฟส ดังสมการที่20

$$(V_{sn})_2 = (V_{pn})_2 - K_n (\bar{V}_T)_2 \quad (20)$$

เมื่อ  $(V_{sn})_2$  คือ ขนาดแรงดันคร่อมชุดลูกถ้วยเฟส n ที่เวลา 2 ไมโครวินาที  
(กิโลโวลต์)  
 $K_n$  ตัวประกอบการเชื่อมต่อ (Coupling factor)

หลังจากคลื่นกระแสไฟฟ้าผ่านไปหมดแล้ว ค่าต่างๆในส่วน of เสาส่งไม่นำมาใช้  
เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่งจึงไม่มีผลกระทบในเวลาถัดมา ทำให้แรงดันในเวลา 6 ไมโครวินาที  
เป็นไปตามสมการที่21 ดังนี้

$$(V_T)_6 = (V_R)_6 = (V_{pn})_6 = \left[ \frac{Z_S R}{Z_S + 2R} \right] I \quad (21)$$

|       |               |                                                                                                       |
|-------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $(V_T)_6$ คือ | ขนาดแรงดันด้านบนเสาส่งที่เวลา 6 ไมโครวินาทีสำหรับกระแสไฟฟ้าที่มียอดคลื่นที่ 2 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์) |
|       | $(V_R)_6$     | ขนาดแรงดันคร่อมความต้านทานที่ฐานเสาส่งที่เวลา $(6 + \tau_T)$ ไมโครวินาที (กิโลโวลต์)                  |
|       | $(V_{pn})_6$  | ขนาดแรงดันที่ Crossarm อันดับ n (กิโลโวลต์)                                                           |

ผลกระทบจากเสาข้างเคียงไม่มีผลด้วยเช่นกันที่เวลา 6 ไมโครวินาที สำหรับวิธีการนี้จะคิดการสะท้อนครั้งแรกเท่านั้น ดังนั้นจึงได้ค่าแรงดันสะท้อนด้านบนของเสาส่งตามสมการที่ 22 และแรงดันคร่อมชุดลูกถ้วยเฟส n ตามสมการที่ 23

$$(V'_T)_6 = -4K_S Z_S \left( \frac{R}{Z_S + 2R} \right)^2 \left[ I - \frac{2R}{Z_S + 2R} \right] I \quad (22)$$

$$(V_{sn})_6 = [(V_T)_6 + (V'_T)_6] (1 - K_n) \quad (23)$$

|       |                |                                                                                 |
|-------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $(V'_T)_6$ คือ | ผลรวมคลื่นแรงดันสะท้อนทั้งหมดที่ด้านบนเสาส่งเมื่อเวลา 6 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์) |
|       | $(V_{sn})_6$   | ขนาดแรงดันคร่อมชุดลูกถ้วยเฟส n ที่เวลา 6 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์)                |

จากภาพที่ 22 ค่าความคงทนไดอิเล็กตริก (Dielectric strength) ของชุดลูกถ้วยที่เวลา 2, 6 ไมโครวินาที สามารถหาได้ดังสมการที่ 24, 25 ตามลำดับ

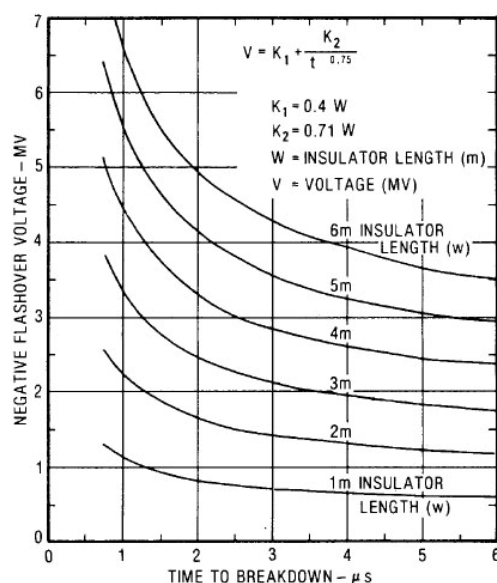
$$(V_I)_2 = 820W \quad (24)$$

$$(V_I)_6 = 585W \quad (25)$$

|       |               |                                                                          |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $(V_I)_2$ คือ | ความคงทนต่อการวาวไฟตามผิวของฉนวนลูกถ้วยที่เวลา 2 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์) |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|

$(V)_6$  คือ ความทนต่อการวับไฟตามผิวของฉนวนลูกถ้วยที่เวลา 6 ไมโครวินาที (กิโลโวลต์)

$W$  ความยาวของฉนวนลูกถ้วย (เมตร)



ภาพที่ 22 กราฟแรงดัน-เวลาสำหรับการวับไฟตามผิวของฉนวนลูกถ้วย (CIGRE)

ที่มา: EPRI Transmission line reference book 345 kV and above (1987)

สำหรับค่ากระแสวิกฤติที่ทำให้เกิดการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยเฟส  $n$  ที่เวลา 2, 6 ไมโครวินาที คำนวณได้จากสมการที่ 26, 27 ดังนี้ (ไม่คิดรวมแรงดันที่ความถี่กำลัง)

$$(I_{cn})_2 = \frac{(V_I)_2}{(V_{sn})_2} = \frac{820W}{(V_{sn})_2} \quad (26)$$

$$(I_{cn})_6 = \frac{(V_I)_6}{(V_{sn})_6} = \frac{585W}{(V_{sn})_6} \quad (27)$$

เมื่อ  $(I_{cn})_2$  คือ กระแสวิกฤติที่ทำให้เกิดการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยเฟส  $n$  เมื่อเวลา 2 ไมโครวินาที (กิโลแอมป์)

$(I_{cn})_6$  กระแสวิกฤติที่ทำให้เกิดการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยเฟส  $n$  เมื่อเวลา 6 ไมโครวินาที (กิโลแอมป์)

6. การวิเคราะห์โดยทั่วไปของผลกระทบจากความถี่กำลัง จะรวมไปถึงแรงดันความถี่กำลังที่มีเฟสแตกต่างกันทำให้เกิดการตัดออกของวงจร (Tripouts) และขนาดแรงดันความถี่กำลังขณะนั้นซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มผลการตัดออกของวงจรทั้งหมด เมื่อนำค่าในสมการที่ 26, 27 มาใช้งานทำให้กระแสวิกฤติใหม่เมื่อคำนึงถึงความถี่กำลังเป็นไปตามสมการที่ 28, 29

$$(I'_{cn})_2 = \left[ \frac{820W - V_{on} \sin(\theta_n - \alpha_n)}{(V_{sn})_2} \right] (I_{cn})_2 \quad (28)$$

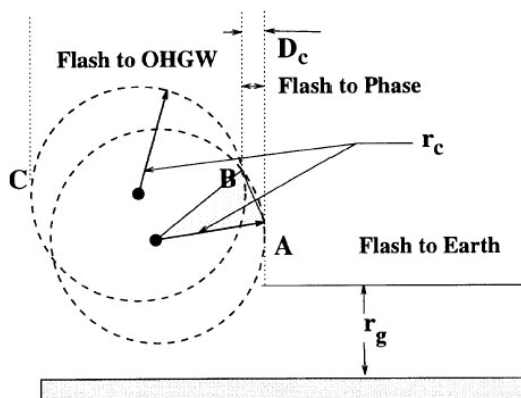
$$(I'_{cn})_6 = \left[ \frac{585W - V_{on} \sin(\theta_n - \alpha_n)}{(V_{sn})_6} \right] (I_{cn})_6 \quad (29)$$

|                         |                                                                                                                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ $(I'_{cn})_2$ คือ | กระแสวิกฤติที่ทำให้เกิดการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยเฟส n เมื่อเวลา 2 ไมโครวินาทีโดยคิดแรงดันความถี่กำลัง (กิโลแอมป์) |
| $(I'_{cn})_6$           | กระแสวิกฤติที่ทำให้เกิดการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยเฟส n เมื่อเวลา 6 ไมโครวินาทีโดยคิดแรงดันความถี่กำลัง (กิโลแอมป์) |
| $V_{on}$                | ขนาดแรงดันค่ายอดจากสายเฟส n ถึงพื้นดิน (กิโลโวลต์)                                                               |
| $\theta_n$              | มุมของแรงดันเฟส n ขณะดับพลัน (Instantaneous voltage angle)                                                       |
| $\alpha_n$              | มุมเฟสของแรงดันเฟส n ( $0^\circ$ , $-120^\circ$ , $+120^\circ$ )                                                 |

7. ความน่าจะเป็นในการวับไฟตามผิวหาได้โดยตรงจากกราฟความน่าจะเป็นของฟ้าผ่าเมื่อได้ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤติจากข้อ 6 ค่าความน่าจะเป็นกระแสฟ้าผ่าตามรูปที่ 15 และจำนวนฟ้าผ่าที่เข้ามาในสายส่ง ดังนั้นจำนวนการวับไฟตามผิวย้อนกลับจึงหาได้จากผลคูณของทั้งสามค่า โดยให้มีหน่วยเป็นครั้งต่อ 100 ไมล์ต่อปีหรือครั้งต่อ 100 กิโลเมตรต่อปี

### การหาสมรรถนะฟ้าผ่าของความล้มเหลวในการชิลด์

การรวบไฟเนื่องจากความล้มเหลวในการชิลด์ ใช้แบบจำลองเรขาคณิตเพื่อหาระยะสุดท้ายสู่ตัวนำของกระแสฟ้าผ่า (Final leader step) ตามภาพที่ 23 โดยทั่วไปสนามไฟฟ้าเกรเดียนท์ (Electric field gradient) รอบๆ ตัวนำมักมีค่าสูงกว่าระดับพื้นดิน ทำให้  $r_c \geq r_g$  เสมอ สำหรับวงกลมรัศมี  $r_c$  มีศูนย์กลางที่สายตัวนำเฟส, สายชิลด์ และเส้นแนวนอนถูกกำหนดเป็นระยะทาง  $r_g$  ของพื้นดิน ถ้าฟ้าผ่าลงในโค้ง A,B จะผ่าลงสู่สายเฟสซึ่งมีระยะเป็น  $D_c$  ระยะนี้จะลดลงเมื่อกระแสเพิ่มขึ้น ที่กระแสสูงสุดค่าหนึ่งที่ทำให้  $D_c = 0$  และกระแสต่ำสุดค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดการรวบไฟตามผิวของฉนวนลูกถ้วยเป็นค่ากระแสวิกฤติ เมื่ออินทิเกรตผ่านกระแสสองค่านี้ เราก็จะได้อัตราการรวบไฟเนื่องจากความล้มเหลวในการชิลด์เป็นดังสมการที่ 30 (IEEE Standard 1243, 1997)



ภาพที่ 23 ระยะสุดท้ายเข้าสู่สายตัวนำในแบบจำลองเรขาคณิต

ที่มา: IEEE Standard 1243-1997

$$SFFOR = 2 N_g L \int_{I=I_c}^{I=I_{max}} D_c(I) f_i(I) dI \quad (30)$$

|       |           |                                                         |
|-------|-----------|---------------------------------------------------------|
| เมื่อ | SFFOR คือ | จำนวนความล้มเหลวในการชิลด์ (ครั้งต่อ 100 กิโลเมตรต่อปี) |
|       | $N_g$     | จำนวนฟ้าผ่าลงดิน; GFD (ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี)      |
|       | $L$       | ความยาวของสายส่ง (กิโลเมตร)                             |
|       | $D_c(I)$  | ระยะที่เกิดความล้มเหลวในการชิลด์ของกระแสฟ้าผ่า (เมตร)   |
|       | $f_i(I)$  | ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสำหรับกระแสฟ้าผ่าลำดับแรก    |

|           |                                                                               |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $I_C$     | กระแสไฟฟ้าวิกฤติต่ำสุดที่ทำให้เกิดการวบไฟตามผิวของ<br>ฉนวนลู่ถ้วย (กิโลแอมป์) |
| $I_{max}$ | กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ทำให้ระยะ $D_C(I)=0$ (กิโลแอมป์)                           |

สำหรับกระแสไฟฟ้าวิกฤติสามารถหาค่าได้ตามสมการที่12 และเสิร์จอิมพีแดนซ์ของ  
สายตัวนำซึ่งคิดผลจากโคโรนาเป็นไปตามสมการที่31

$$Z = 60 \sqrt{\ln \frac{2h}{r} \ln \frac{2h}{R_C}} \quad (31)$$

|       |         |                                                                               |
|-------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $Z$ คือ | เสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำที่มีผลจากโคโรนา (โอห์ม)                           |
|       | $h$     | ความสูงเฉลี่ยของสายตัวนำจากพื้นดิน (เมตร)                                     |
|       | $r$     | รัศมีของสายตัวนำ (เมตร)                                                       |
|       | $R_C$   | รัศมีโคโรนาของสายตัวนำที่สนามไฟฟ้าเกรเดียนท์ 1500 กิโลโวลต์<br>ต่อเมตร (เมตร) |

และสำหรับความหนาแน่นของน้ำหนักจะเป็นของกระแสไฟฟ้าลำดับแรก สามารถหาได้  
จากการกระจายแบบ log-normal ในรูปของฟังก์ชันก็ตามสมการที่32

$$f_I(I) = \left( \frac{I}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln} I} \right) \mathcal{E}^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln(I/\bar{I})}{\sigma_{\ln}} \right]^2} \quad (32)$$

$$I < 20 \text{ kA} \quad \bar{I} = 61.1 \text{ kA} \quad \sigma_{\ln} = 1.33 \quad (32A)$$

$$I > 20 \text{ kA} \quad \bar{I} = 33.3 \text{ kA} \quad \sigma_{\ln} = 0.605 \quad (32B)$$

|       |                    |                                  |
|-------|--------------------|----------------------------------|
| เมื่อ | $\sigma_{\ln}$ คือ | ความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบ log      |
|       | $\bar{I}$          | ค่ากลางของกระแสไฟฟ้า (กิโลแอมป์) |

## การปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งที่มีอยู่

ปัญหาในการปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งไฟฟ้ากำลังที่มีอยู่ สิ่งแรกในการวิเคราะห์คือ หว่าตัวแปรใดที่เปลี่ยนแปลงได้และตัวแปรใดที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะฟ้าผ่า ได้แก่ ภูมิประเทศและการซัดตามธรรมชาติของสายส่ง เงื่อนไขของลูกถ้วยที่ใช้ งาน การกรวดของโครงสร้างเสาส่ง ถ้าการหาความสัมพันธ์ของความขัดข้องทางไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่าสามารถระบุตำแหน่งส่วนที่เป็นปัญหาในสายส่งได้ การปรับปรุงจะได้ผลที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการปรับปรุงแก้ไขทั้งหมด รวมถึงควรเพิ่มการตรวจสอบพื้นที่ในเขตแนวสายส่ง ลูกถ้วย และการกรวดเสาด้วย ก่อนทำการปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่า (Chapter4 EPRI Handbook, 2004)

ขั้นตอนหลักในการวิเคราะห์และปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งไฟฟ้ากำลังที่มีอยู่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. หาสาเหตุความขัดข้องทางไฟฟ้า
  - 1.1 หาประวัติความขัดข้องทางไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่าโดยใช้ข้อมูลที่มีการบันทึกจากหน่วยงาน
  - 1.2 เปรียบเทียบสมรรถนะฟ้าผ่ากับค่าเฉลี่ยของสายส่งนั้นหรือมาตรฐาน
  - 1.3 ระบุผลของความขัดข้องทางไฟฟ้าว่าเป็นแบบใด
    - สร้างความเสียหายให้อุปกรณ์หลัก
    - ความขัดข้องเกิดขึ้นเป็นเวลานาน
    - เกิดการทำงานชั่วขณะของเบรกเกอร์
2. หาชนิดและตำแหน่งความขัดข้องทางไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่า
  - 2.1 พิสูจน์ว่าฟ้าผ่าเป็นสาเหตุความขัดข้องจริงด้วยวิธี
    - หาความสัมพันธ์เหตุการณ์ขัดข้องและเหตุการณ์ฟ้าผ่าจากข้อมูลระบบการตรวจจับฟ้าผ่า
    - ใช้ข้อมูลบันทึกสภาพอากาศที่แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดพายุในพื้นที่ที่มีเหตุการณ์ขัดข้อง
  - 2.2 หาตำแหน่งที่เกิดการวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยในสายส่งด้วยวิธี
    - เข้าไปตรวจสอบสายส่ง
    - บันทึกข้อมูลของหน่วยงานที่ดำเนินการแก้ไขเหตุการณ์ขัดข้อง

- ข้อมูล NLDN/FALLS ในกรณีที่มี
- ข้อมูลที่ถูกบันทึกจากกรีเลย์ระยะทางและเครื่องบันทึกเหตุการณ์กระแสผิดปกติ (fault)

### 3. กำหนดสมรรถนะไฟฟ้าของสายส่งจากข้อมูลการออกแบบที่หาได้

#### 3.1 กำหนดจุดหมายของสมรรถนะไฟฟ้าที่ต้องการว่าจะใช้วิธีการแก้ไขปัญหาหรือออกแบบใหม่ทั้งสายส่ง

#### 3.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะไฟฟ้า ได้แก่

- ประวัติการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง
- ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ
- Plan and Profile และแบบ one line
- ข้อมูลจากการตรวจสอบสายส่ง
- การเดินดูตามแนวสายส่ง
- ภูมิประเทศ เงื่อนไขของเขตแนวสายส่ง
- เงื่อนไขของอุปกรณ์ส่วนประกอบในเสาส่ง
- การกำหนดกราวด์ที่ใช้งาน

#### 3.3 หารูปร่างและภูมิประเทศของสายส่ง ถ้ามีแค่หนึ่งหรือสองรูปแบบ รายละเอียดในการจำลองของเสาทุกต้นก็ไม่จำเป็นต้องใช้

#### 3.4 ระบุค่าอัตราความขัดข้องทางไฟฟ้าที่เป็นเป้าหมาย

#### 3.5 ระบุข้อจำกัดของต้นทุนที่ใช้

#### 3.6 ถ้ามีโปรแกรม The Fault Analysis and Lightning Location System (FALLS) หากกลุ่มเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นในสายส่งด้วย

#### 3.7 กำหนดสมรรถนะไฟฟ้า

- หว่านเหตุการณ์ขัดข้องจากการคำนวณเป็นแบบใด ได้แก่ ความล้มเหลวของการชิลด์ การวาบไฟตามผิวย้อนกลับ การวาบไฟเหนียวน้ำ หรือเกิดความขัดข้องหลายวงจร
- หว่านตำแหน่งใดในสายส่งที่เหตุการณ์ขัดข้องจากการคำนวณเกิดมากที่สุด
- เหตุการณ์ขัดข้องจากการคำนวณและเกิดขึ้นจริงเหมือนกันหรือไม่

### 4. หาดัชนีแปรที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะไฟฟ้าของสายส่ง

#### 4.1 แสดงการวิเคราะห์ดัชนีแปรที่มีผลกระทบกับสายส่งมากที่สุด

5. ประเมินวิธีการปรับปรุงที่ทำให้เกิดผลประโยชน์มากที่สุด ด้วยวิธีการปรับปรุง  
การฉนวน การซีลด์ การกราวด์ และการเพิ่มอะเรสเตอร์
- 5.1 ระบุทางเลือกที่เป็นไปได้ในการปรับปรุง
- 5.2 คำนวณสมรรถนะไฟฟ้าใหม่จากแต่ละทางเลือกที่ปรับปรุง
- 5.3 แสดงการวิเคราะห์ประโยชน์และต้นทุนที่ให้ประสิทธิผลมากที่สุด
- 5.4 เลือกทางเลือกที่ทำให้การปรับปรุงเกิดประสิทธิผลมากที่สุด และพิสูจน์ด้วยว่า  
ทางเลือกนี้จะไม่ส่งผลกระทบกับพื้นที่อื่นในระบบไฟฟ้า

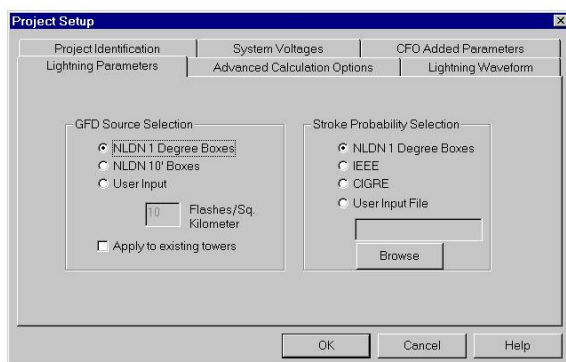
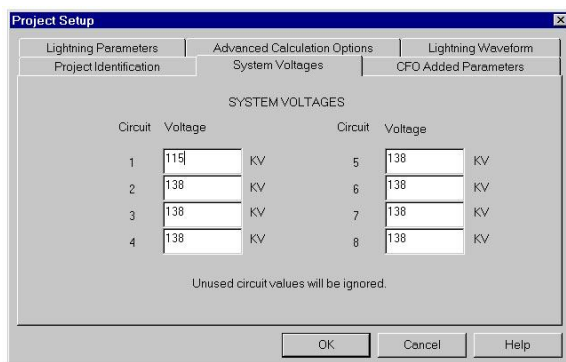
## โปรแกรม TFlash และ Arcview GIS

### โปรแกรม TFlash

TFlash เป็นโปรแกรมสำหรับหาค่าสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งไฟฟ้ากำลัง ซึ่งพัฒนาโดย Electrical Power Research Institute (EPRI) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากฟ้าผ่าบนสายส่ง หาพื้นที่ที่มีปัญหา เปรียบเทียบผลหลังการแก้ไขปัญหาด้วยการปรับปรุงความต้านทานที่ฐานเสา การฉีดเคเบิล การฉนวน และการใช้โอเรสเตอร์ (Arresters) ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ค่าสมรรถนะฟ้าผ่าเดิมของสายส่งที่มีอยู่ เพื่อกำหนดวิธีการปรับปรุงค่านี้ให้ดีขึ้น และออกแบบสายส่งใหม่ให้มีการป้องกันฟ้าผ่าที่ประหยัดได้ (TFlash Users' Guide, 2000)

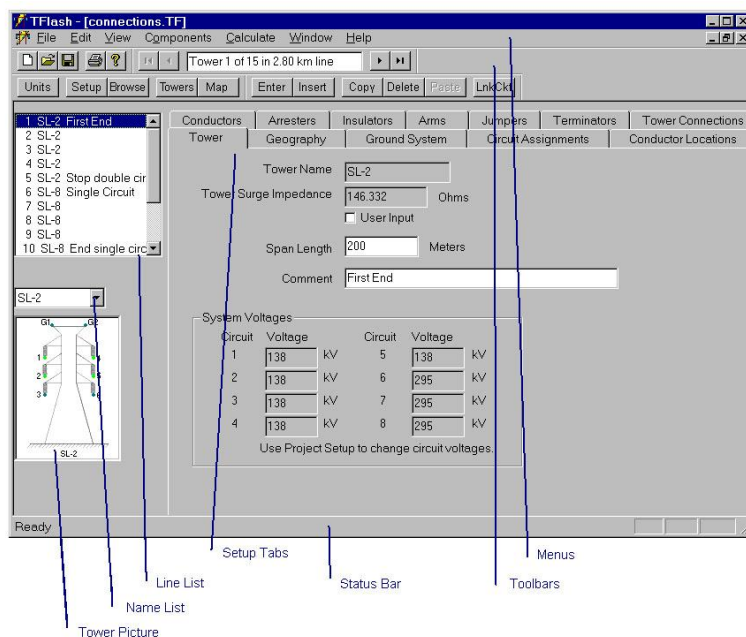
#### 1. ข้อมูลที่จะกำหนดลงในโปรแกรม

- การกำหนดค่าตัวแปรพื้นฐานของสายส่ง ได้แก่ ระดับแรงดัน ค่าสถิติตัวแปรฟ้าผ่า ลักษณะคลื่นฟ้าผ่า และค่าความแข็งแรงของการฉนวนในระบบ



ภาพที่ 24 หน้าต่างการกำหนดตัวแปรพื้นฐานของสายส่ง  
ที่มา: TFlash Users' Guide

- การกำหนดค่าต่างๆ ของเสาแต่ละต้น ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ รูปร่างเสาส่ง การกราวด์ ความหนาแน่นฟ้าผ่า สายไฟ ชุดลูกถ้วย และอะเรสเตอร์



ภาพที่ 25 หน้าต่างการกำหนดค่าต่างๆ ของแต่ละเสาส่ง

ที่มา: TFlash Users' Guide

## 2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ของโปรแกรม

การคำนวณสมรรถนะของสายส่ง สำหรับโปรแกรม TFlash ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยการเคลื่อนที่ของคลื่นเพื่อหาแรงดันคร่อมฉนวนแต่ละเฟส เวลาของการคำนวณแต่ละขั้นเท่ากับ 20 นาโนวินาที กระแสฟ้าผ่าถูกจำลองที่หลายตำแหน่ง โดยให้กระแสและแรงดันเป็นคลื่นเคลื่อนที่ไปบนสายตัวนำ ซึ่งถูกสะท้อนกลับมาจากเสาข้างเคียงและระบบกราวด์ ด้วยวิธีการนี้สามารถวิเคราะห์กับโครงสร้างที่ซับซ้อน ส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้นของอะเรสเตอร์และฉนวนลูกถ้วยได้ สำหรับโปรแกรมนี้ใช้หลักการคำนวณทั้ง IEEE และ CIGRE ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งใน Chapter 12, EPRI Transmission line reference book 345 kV and above หาค่าแรงดันหลังจากเกิดฟ้าผ่าเทียบกับรูปแบบการเบรคดาวน์ของลูกถ้วย สำหรับ TFlash ใช้ค่า Coupling factor = 0.7

### 3. ค่าตัวแปรสายส่งที่มีผลกับสมรรถนะฟ้าผ่า

#### 3.1 รูปทรงการจัดวางของสายตัวนำ

การจัดวางของสายตัวนำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกับสมรรถนะฟ้าผ่า ขนาดและช่องว่างของสายเป็นสิ่งที่แสดงว่าฟ้าผ่ามีโอกาสเข้ามาในสายส่งมากน้อยเพียงใด ช่องว่างของสายสามารถกำหนดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่า ความสูงขนาดสาย การทำ bundle ของสายตัวนำส่งผลกับค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์

สำหรับความต้านทานของสายตัวนำ โดยปกติไม่นำมาใช้คำนวณสมรรถนะฟ้าผ่าเนื่องจากการผิวนอกของแรงดันและกระแสคลื่นฟ้าผ่าขึ้นอยู่กับโคโรนามากกว่าความต้านทานของโลหะ โดยเฉพาะกรณีที่ช่วงเสาระยะสั้นๆ ความเป็นหลักของสายซิลด์และความเป็นอะลูมิเนียมของสายเฟสจะให้ผลไม่แตกต่างกัน

#### 3.2 รูปร่างเสาส่ง

รูปร่างเสาส่งเป็นตัวแปรสำคัญกับการเพิ่มแรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วย รูปร่างของเสาและความสูงมีการออกแบบหลากหลายขนาด จากเดิมเป็นเสาไม้เสาเดียวที่มีสายดินเพียงหนึ่งเส้นได้เปลี่ยนเป็นเสาโครงเหล็กสูง ดังนั้นตัวแปรพื้นฐานที่จำเป็นต้องวิเคราะห์ ได้แก่

3.3.1 ความสูงเสา - ความสูงเสาเป็นตัวกำหนดเวลาเคลื่อนที่ของคลื่นจากด้านบนสู่ฐานของเสา ยิ่งถ้าความสูงของเสาเพิ่มเป็นสองเท่า แรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วยก็เพิ่มขึ้นประมาณสองเท่าด้วย

3.3.2 เสิร์จอิมพีแดนซ์เสา - เสาส่งสามารถพิจารณาเวลาเคลื่อนที่ของคลื่นกระแสชั่วคราวจากโครงสร้างของเหล็กแต่ละส่วนได้ ซึ่งส่งผลกับคลื่นกระแสฟ้าผ่าของสายส่งที่เคลื่อนที่ผ่านสายซิลด์ที่ด้านบนเสาลงสู่ดินได้ ดังนั้นตัวเสาจึงคล้ายกับสายส่งวางในแนวตั้งฉากกับดินที่มีค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์เป็นตัวกำหนดแรงดันคร่อมเสา และเสิร์จอิมพีแดนซ์จะแตกต่างกันไปตามรูปร่างที่เปลี่ยนไปด้วยทั่วไปแล้วมีค่าประมาณ 150 โอห์ม สำหรับใน TFlash ใช้สมการคำนวณค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ตาม CIGRE ที่พัฒนาจาก Chisholm, Chow and Srivastava มีรูปแบบตามสมการที่ 33 ดังนี้

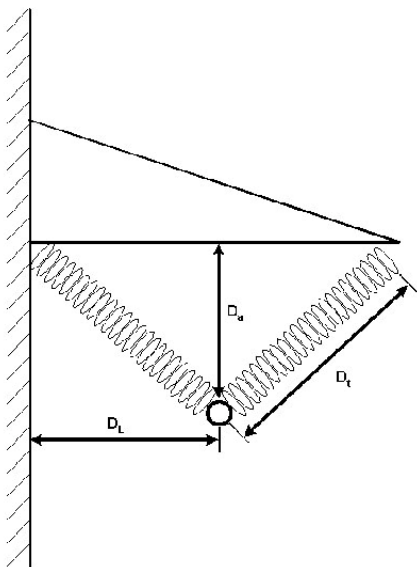
$$Z_{ave} = 60 \ln \left[ \cot \left( 0.5 \arctan \left( \frac{R_{ave}}{h_1 + h_2} \right) \right) \right] \quad (33)$$

$$R_{ave} = \frac{(r_1 h_1 + r_2 (h_1 + h_2) + r_3 h_1)}{h_1 + h_2} \quad (33A)$$

|                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| เมื่อ $Z_{ave}$ คือ | เสิร์จอิมพีแดนซ์เสาเฉลี่ย (โอห์ม)    |
| $R_{ave}$           | รัศมีเสาเฉลี่ย (เมตร)                |
| $r_1$               | รัศมีเสาส่วนบน (เมตร)                |
| $r_2$               | รัศมีเสาส่วนกลาง (เมตร)              |
| $r_3$               | รัศมีเสาส่วนฐาน (เมตร)               |
| $h_1$               | ความสูงเสาจากฐานถึงกลางเสา (เมตร)    |
| $h_2$               | ความสูงเสาจากกลางเสาถึงด้านบน (เมตร) |

### 3.3 ฉนวนลูกถ้วย/ช่องว่างอากาศ

การวางไฟตามผิวจากฟ้าผ่ามักเกิดระหว่าง “โลหะมีไฟ” เช่น สายตัวนำ วงแหวนโคโรนา แผ่นเหล็ก เป็นต้น และ “โลหะกราวด์” เช่น ขาของเสา ครอสอาร์ม ตัวแขวนลูกถ้วย เป็นต้น การออกแบบจึงคำนึงถึงการวางไฟแบบเฟส-เฟสจากความยาวของชุดลูกถ้วยเป็นลำดับแรกก่อน ซึ่งควรมีขนาดสั้นที่สุดแต่ทนการวางไฟแบบเฟส-เฟสได้ จากภาพที่ 26 ถ้า  $D_a$  และ  $D_L$  เป็นระยะจากสายตัวนำสู่ครอสอาร์มและขาของเสาตามลำดับ มีค่าน้อยกว่าความยาวการเกิดอาร์กของลูกถ้วย ( $D_i$ ) ระยะ  $D_a$  และ  $D_L$  จะกลายเป็นทางเดินของการวางไฟตามผิวแทน ทำให้ระยะตามผิวฉนวน (creepage distance) ไม่สามารถใช้เป็นทางเดินของการวางไฟเมื่อเกิดฟ้าผ่าได้

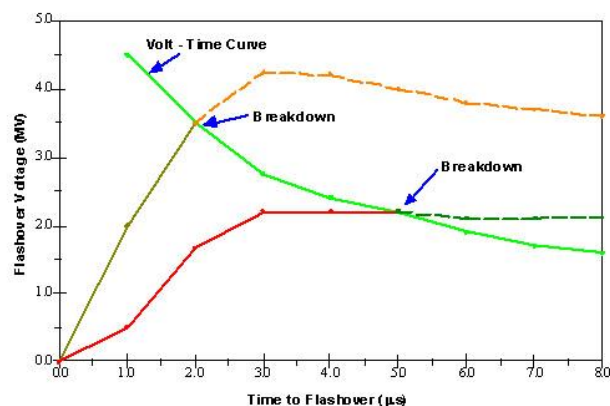


ภาพที่ 26 ทางเดินการวางไฟสำหรับชุดลูกถ้วยแบบ V-String

ที่มา: TFlash Users' Guide

ปัญหาหลักในการกำหนดช่องว่างหรือฉนวนเพื่อทนการวางไฟจากฟ้าผ่า ความ  
คงทนนี้กำหนดจากรูปแปลงคลื่นมาตรฐาน 1.2x50 ไมโครวินาที แต่รูปคลื่นนี้เกิดขึ้นจาก  
ฟ้าผ่าเล็กน้อยมาก ในโปรแกรมสามารถคำนวณแรงดันคร่อมลูกถ้วยหรือช่องว่างอากาศ  
จากรูปคลื่นมาตรฐานได้ แต่ไม่สามารถใช้รูปคลื่นเฉพาะบางแบบได้ จึงทำให้ต้องมี  
วิธีการหาความทนได้ของฉนวน 3 วิธี คือ

3.3.1 วิธีการแรงดันเวลา - กราฟแรงดันเวลานี้หาได้จากการทดสอบของ  
รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2x50 ไมโครวินาทีตามภาพที่27 ถ้าการวางไฟมากกว่า  
มาตรฐานจากกราฟแรงดันเวลา สิ่งนี้จะเป็นตัวบอกความล้มเหลวที่เกิดขึ้นและ  
เวลาเบรคดาวน์ วิธีการนี้ง่ายและคำนวณด้วยโปรแกรมได้เร็ว ความแม่นยำลดลง  
เนื่องจากเป็นรูปคลื่นมาตรฐาน แต่ยังสามารถยอมรับได้



ภาพที่ 27 กราฟแรงดัน-เวลา

ที่มา: TFlash Users' Guide

3.3.2 วิธีดัชนีการทำลาย (Disruptive index) - วิธีการดั้งเดิมถูกพัฒนาโดย Witzke and Bliss เพื่อประมาณความล้มเหลวของหม้อแปลงกำลังจากอิมพัลส์ไฟฟ้าไม่เป็นมาตรฐาน แต่สามารถนำมาใช้กับลูกถ้วยหรือช่องว่างอากาศได้ วิธีการนี้กำหนดดัชนีการทำลายตามสมการที่ 34

$$DE = \int [V(t) - A]^B dt \quad (34)$$

เมื่อ DE คือ ดัชนีการทำลาย

V(t) ค่าแรงดันอิมพัลส์นับพลัน

A, B ค่าคงที่ได้จากการทดสอบ

ค่าคงที่ A แทนแรงดันต่ำสุดที่การเบรคดาวน์ซึ่งไม่เกิดขึ้นตลอดรูปคลื่น และเลขยกกำลัง B แสดงให้เห็นว่าการเบรคดาวน์ไม่เป็นเชิงเส้น ถ้า DE มีค่าถึงค่าวิกฤติ การเบรคดาวน์ก็จะเกิดขึ้น

3.3.3 วิธี Leader progression - วิธีการนี้พัฒนาโดย CIGRE เพื่อประเมินความคงทนต่อการวับไฟของลูกถ้วยหรือช่องว่างอากาศจากรูปรางคลื่น เป็นการจำลองกระบวนการเบรคดาวน์ สมการนี้ได้จากการทดลองหาค่า corona inception time ( $t_c$ ), streamer formative time ( $t_s$ ), leader propagation time ( $t_l$ ) วิธีการนี้เป็นที่ยอมรับสำหรับช่องว่างอากาศ แต่ใช้ไม่ได้กับฉนวนลูกถ้วย ทำให้การคำนวณด้วยโปรแกรมช้ากว่าวิธีอื่น แต่เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการหาความคงทน

### 3.4 คุณลักษณะการกราวด์ของเสาส่ง

คุณลักษณะการกราวด์เป็นตัวแปรสำคัญมากต่อสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่ง ในพื้นที่ที่มีฟ้าผ่าบ่อยเสาส่งที่มีค่าความต้านทานต่ำจะให้สมรรถนะฟ้าผ่าดีกว่าใช้สายชิลด์หนึ่งหรือสองเส้น ความต้านทานที่ฐานเสาเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในดิน และไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อมีเสิร์จเข้ามาในสายส่ง ในที่นี้พฤติกรรมของความต้านทานจะใช้ตาม Weck ดังสมการที่ 35, 36

$$R = \frac{R_o}{\left( \sqrt{I + \frac{I}{I_c}} \right)} \quad (35)$$

$$I_c = \frac{\rho E_s}{2\pi R_o^2} \quad (36)$$

เมื่อ  $R$  คือ ความต้านทานของ ground electrode แบบจับปล้น (โอห์ม)

$R_o$  ความต้านทานของ ground electrode ที่กระแสต่ำความถี่ต่ำ (โอห์ม)

$I$  กระแสเข้าสู่ ground electrode แบบจับปล้น (กิโลแอมป์)

$I_c$  กระแสวิกฤติการเกิดไอออนของ electrode (กิโลแอมป์)

$E_s$  เกรเดียนต์การเกิดไอออนของดิน (กิโลโวลต์ต่อเมตร)

$\rho$  ความต้านทานดิน (โอห์ม-เมตร)

### 3.5 เสิร์จอะเรสเตอร์ของสายส่ง

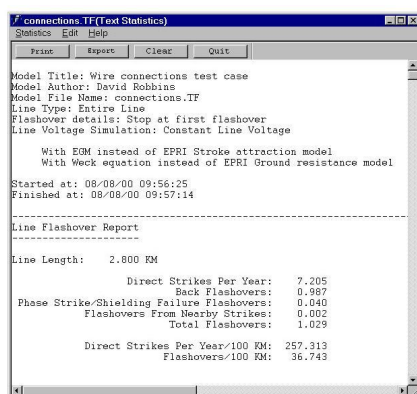
ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 “expulsion or protector tubes” ถูกใช้วางล้อมลูกถ้วยเป็นท่อไฟเบอร์ที่มีโครงสร้างให้เสียหายด้านในก่อนที่ลูกถ้วยจะวบไฟ การอาร์กภายในท่อทำให้เกิดความดันสูง เมื่อกระแสฟ้าผ่าสูงขึ้นอุปกรณ์นี้ก็ไม่สามารถช่วยป้องกันได้ เสิร์จอะเรสเตอร์ที่ล้อมลูกถ้วยใช้กันมากในพื้นที่ที่มีทั้งฟ้าผ่าบ่อยและความต้านทานดินสูง บ้างก็ใช้ต่อจากสายชิลด์ไป counterpoise ดังนั้นการใช้เสิร์จอะเรสเตอร์จึงกลายเป็นวิธีเฉพาะสำหรับบริเวณที่ต้องการความเชื่อถือสูง

### 3.6 ผลกระทบของโคโรนาแบบไม่เป็นเชิงเส้น

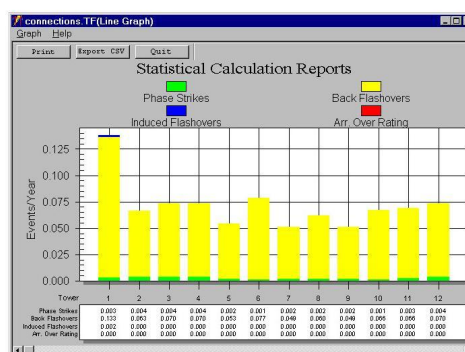
โคโรนาแบบไม่เป็นเชิงเส้นจากสายเฟสและสายชิลด์สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันคร่อมลูกถ้วยมากถึง 15% เสรีจโคโรนาสามารถช่วยลดแรงดันขอดและเวลาเดินทางของคลื่นได้

## 4. ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

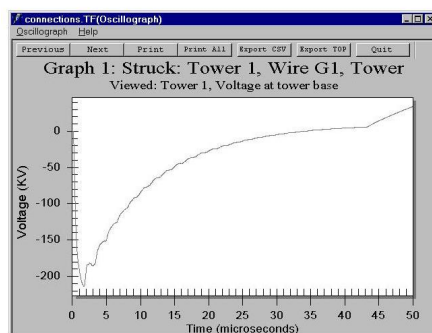
- Text Report Window แสดงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม
- Line Graph Window แสดงกราฟที่ได้ทางสถิติจากการคำนวณ
- Oscillograph Output Window แสดงผลเป็นกราฟแรงดันของแต่ละเสาส่ง
- Strokes Window แสดงทิศทางการเกิดฟ้าผ่าที่กระแสป่าผ่าค่าต่างๆ



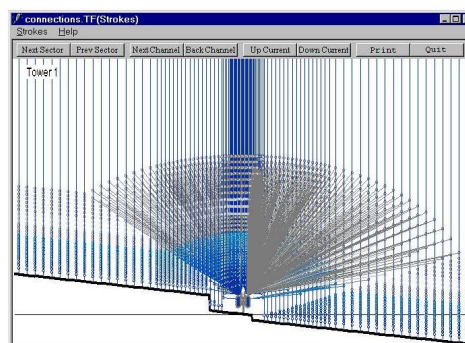
Text Statistics



Line Graph



Oscillograph

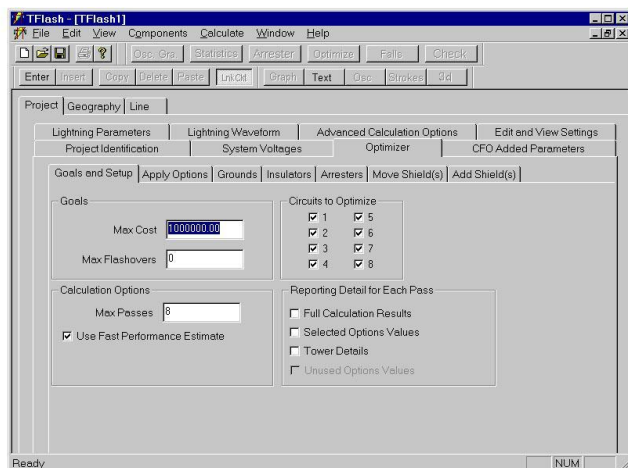


Stroke window

ภาพที่ 28 หน้าต่างผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม TFlash

ที่มา: TFlash Users' Guide

สำหรับ TFlash version 4.0.22 ได้เพิ่มเติมความสามารถในการ Optimize ทางเลือกเพื่อปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งที่สัมพันธ์กับเงินต้นทุน ช่วยหาวิธีการปรับปรุงที่ใช้เงินต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยกำหนดค่าความขัดข้องของระบบเป็นจำนวนครั้งต่อปี วงเงินที่ใช้เป็นทุน รวมถึงรายละเอียดของแต่ละทางเลือก การกำหนดค่าและผลที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 29



```

Line Totals:
Before:
  Phase Strike: 0.022708
  Back Flashover: 1.164574

Before (Fast Estimate):
  Phase Strike: 0.005677
  Back Flashover: 0.328051

Cost Totals:
  Option Description: Improve Ground
  Option Cost: 2800.00
  Option Description: Add arresters
  Option Cost: 1200.00

  Total Cost: 4000.00 (check 4000.00)

After (Fast Estimate):
  Phase Strike: 0.005025
  Back Flashover: 0.108961

After:
  Phase Strike: 0.021341
  Back Flashover: 0.440031

Tower 1:
Before:
  Phase Strike: 0.003406
  Back Flashover: 0.177314
Before (Fast Estimate):
  Phase Strike: 0.001135
  Back Flashover: 0.065610

Option 2:
  Description: Increase insulator CFO on all phases 40.00 kv
  Not Applied
  Cost: 1000.00
  P/C factor: 9.7721e-006

Option 3:
  Description: Add arresters to wire(s): 2
  Applied in Pass#: 1
  Cost: 1200.00
  P/C factor: 1.258e-005

Option 4:
  Description: Move shield wire(s) moved 2 shields
  Not Applied
  Cost: 1100.00
  P/C factor: -1.6355e-006

Tower Cost: 1200.00

After (Fast Estimate):
  Phase Strike: 0.000568
  Back Flashover: 0.031082

After:
  Phase Strike: 0.001703
  Back Flashover: 0.133453

```

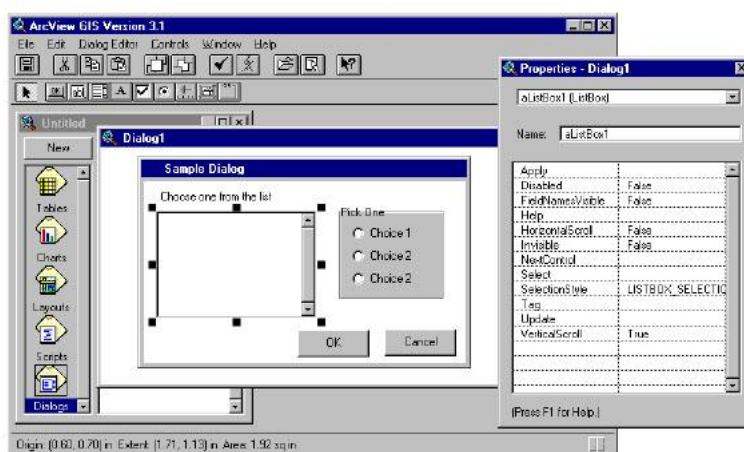
ภาพที่ 29 หน้าต่างการตั้งค่าและผลที่ได้จาก TFlash Optimizer

ที่มา: TFlash Users' Guide

## โปรแกรม Arcview GIS

ArcView GIS เป็นโปรแกรม Geographic Information Systems (GIS) โปรแกรมหนึ่ง ที่ได้รับการพัฒนามาจากบริษัท Enviromental Systems Research Institute Inc. (ESRI) เพื่อใช้งานในการนำเสนอข้อมูล และเรียกค้นข้อมูล จากโปรแกรม Arc/Info หรือโปรแกรมอื่นๆ ที่สามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการทำงานบนระบบปฏิบัติการของ Windows System ซึ่งมีเมนูต่างๆ แสดงบนหน้าจอ และสามารถเปิดได้หลายๆ หน้าต่าง (Windows) ในระหว่างการทำงาน

โปรแกรม ArcView GIS โปรแกรมแรก คือ ArcView 1.0 สามารถใช้งานได้เฉพาะการนำเสนองานในรูปแบบแผนที่เท่านั้น แต่โปรแกรมได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือ นอกจากผู้ใช้งานสามารถใช้งานนำเสนอ และเรียกค้นข้อมูลตามเงื่อนไขต่างๆ แล้ว ยังสามารถใช้ในการผลิตแผนที่ได้เป็นอย่างดี สร้างและแก้ไขข้อมูลทั้งที่เป็นพื้นที่ (Spatial Data) และตารางฐานข้อมูล (Database) ได้ และยังสามารถรับข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบต่างๆ เช่น AutoCAD (.dwg), Image (.tiff, .bmp, etc.) และสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) ได้ด้วย โดยการเขียนชุดคำสั่ง (Scripts) หรือใช้โปรแกรมประยุกต์ (ชุดคำสั่งสำเร็จรูป) นอกจากนี้ในการนำข้อมูลที่ถูกรวบรวมขึ้นโดย ArcView ที่อยู่ในรูป Shape file ไปใช้งานหรือเผยแพร่ เราสามารถใช้ Software อื่นๆ เช่น ArcExplorer ซึ่งเป็น Freeware ที่ทางบริษัท ESRI ได้พัฒนาขึ้น และมีความสามารถในการแสดงผลข้อมูล สอบถามและวิเคราะห์ข้อมูล GIS ที่ได้จัดทำขึ้นได้อีกด้วย (gis2me.com, 2006)



ภาพที่ 30 หน้าต่างแรกของโปรแกรม Arcview

ที่มา: ESRI's ArcView 3.x Literature



ภาพที่ 31 การแสดงผลตำแหน่งต่างๆ บนแผนที่ของโปรแกรม Arcview

ที่มา: ESRI's ArcView 3.x Literature

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Intel Pentium D 3.0 GHz, Ram 1 GB)
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. โปรแกรม TFlash version 3.0.21, version 4.0.22
4. โปรแกรม Arcview GIS version 3.3

### วิธีการ

1. เลือกสายส่งเพื่อหาค่าสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งที่มีอยู่จากข้อมูลเหตุการณ์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าจำนวนมากที่สุดของปีพ.ศ. 2548 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจำนวน 3 ระดับแรงดัน คือ 115, 230, 500 กิโลโวลต์อย่างละ 1 สายส่ง
2. ใช้ข้อมูลฟ้าผ่าจากระบบหาตำแหน่งฟ้าผ่าปีพ.ศ. 2548 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มาวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดฟ้าผ่าแบบเมฆลงดินของประเทศไทย โดยนำข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้มาสร้างเป็น Shape file บนแผนที่ประเทศไทยด้วยโปรแกรม Arcview GIS
3. นำขั้นตอนจาก Chapter4 of Handbook for Improving Overhead Transmission Line Lightning Performance เพื่อหาค่าสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งที่มีอยู่ด้วยโปรแกรม TFlash version 3.0.21 โดยใช้ความหนาแน่นฟ้าผ่าลงดินต่อพื้นที่ (ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) ในแต่ละช่วงเสาจาก Shape file ข้อมูลฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตร วัดจากแนวทแยงกลางสายส่งออกไปด้านข้างทั้งสองด้าน สำหรับรายละเอียดของสายส่งใช้ค่าจากแบบทางวิศวกรรม และเลือกปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าจากสายส่งที่มีค่ามากกว่ามาตรฐาน IEEE 1313.2-1999 clause 5.1 ด้วยการใช้ Optimizer of TFlash version 4.0.22 โดยกำหนดเงินทุนไม่เกิน 1 ล้านบาท

## การสร้างฐานข้อมูล

### 1. ข้อมูลเหตุการณ์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่า

ใช้ข้อมูลเหตุการณ์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าของปีพ.ศ.2548 เพื่อเลือกสายส่งที่มีจำนวนเหตุการณ์ขัดข้องมากที่สุดโดยระบุช่วงเวลาและสาเหตุหลักดังภาพที่32

The screenshot shows a web browser window titled "SPI-SearchTL - Microsoft Internet Explorer". The address bar shows "http://10.20.38.44/spiweb/Search/SearchTL.asp". The main content area has a green background and contains the following elements:

- Criteria :**
  - วันที่เกิดเหตุการณ์: between 1 / มกราคม / 2005 and 31 / ธันวาคม / 2005
  - พื้นที่: ☒ ผบ. ☒ ผบอ. ☒ ผบค. ☒ ผบม. ☒ ผบภ.
  - รหัสตามเหตุการณ์: FETL14 : Force outage -ระบบส่งสายส่งจากฟ้าผ่า
  - รหัสตามเหตุย่อย: All
  - รายละเอียด:
  - ผู้รับผิดชอบ: All
- Column List :**
  - ☒ Record Number
  - ☒ ID
  - ☒ Name
  - ☒ Start Time
  - ☒ End Time
  - ☒ Detail
  - ☒ Region
  - ☒ Main Cause ID
  - ☒ Event Cause ID
  - ☒ Resp. Name
  - ☒ Resp. Percent
- Buttons:
  - ทำการค้นหา:
  - ปรับแก้เงื่อนไข:

ภาพที่ 32 หน้าต่างการค้นหาข้อมูลเหตุการณ์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขัดข้อง  
ที่มา: แผนกสมรรถนะระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2548)

จากข้อมูลปีพ.ศ. 2548 ทำให้เลือกแนวสายส่งได้ 3 แนว คือ

- 115 kV แกลง – จันทบุรี (KLA-CT) จำนวนเหตุการณ์ขัดข้อง 6 ครั้ง
- 230 kV อ่างทอง – ท่าล่าน3 (AT-TL3) จำนวนเหตุการณ์ขัดข้อง 3 ครั้ง
- 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย วงจรที่3 (SNO-WN#3) จำนวนเหตุการณ์ขัดข้อง 1 ครั้ง

เพื่อหาเหตุการณ์ขัดข้องเฉลี่ยเนื่องจากฟ้าผ่า จึงใช้ข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 – 2548 มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าปี พ.ศ. 2544-2548 (ค.ศ. 2001-2005)

| สายส่ง                    | เวลา      | รายละเอียด                                                     |
|---------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|
| 115 kV<br>แก่ง – จันทบุรี | 2/4/2001  | 115 kV.Line CT-KLA Trip RC. ทำงานสับตัดทั้ง 2 ด้าน หสก3-ส.     |
|                           | 15:02     | ตรวจพบที่ T.78/1 ฟ้าผ่า Arcing horn                            |
|                           | 15/4/2001 | 115 kV.Line KLA-CT Trip RC.ทำงานสับตัด 2 ด้าน ตรวจพบที่        |
|                           | 12:16     | T.69/1 ลูกถ้วย Flashover เนื่องจากฟ้าผ่า สภาพอากาศมีฝนตก       |
|                           | 6/6/2001  | 115 kV.Line KLA-CT Trip RC.ทำงานสับตัด 2 ด้าน หสก2-ส.ตรวจ      |
|                           | 13:12     | พบที่ T.78/1 Arcing Horn มีรอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่าเสาโครงเหล็ก |
|                           | 11/6/2001 | 115 kV.Line KLA-CT Trip RC.ทำงานสับตัดด้านเดียวที่ CT.         |
|                           | 15:26     | หสก2-ส.ตรวจพบที่ T.91/2 Flashover เนื่องจากฟ้าผ่าเสาโครงเหล็ก  |
|                           | 25/7/2001 | 115 kV.Line CT-KLA Trip RC.สับตัด 2 ด้าน ตรวจพบที่ T.62/3      |
|                           | 4:54      | Arcing Horn เฟส C มีรอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่าโครงเหล็ก           |
|                           | 12/9/2001 | 115kV.Line CT-KLA Trip RC.ทำงานสับตัด 2 ด้าน ตรวจพบที่         |
|                           | 10:51     | T.53/2 Arcing Horn มีรอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่า                   |
|                           | 5/10/2001 | 115 kV.Line CT-KLA Trip RC.ทำงานสับตัด 2 ด้านตรวจพบที่         |
|                           | 14:16     | T.57/1 Arcing Horn มีรอย Arc เฟส C เนื่องจากฟ้าผ่าเสาโครงเหล็ก |
|                           | 8/5/2002  | 115 kV Line CT-KLA Trip RC.สับตัดด้านเดียวที่ KLA หสก2-ส.      |
|                           | 12:40     | ตรวจพบที่ T.89/3 Arcing Horn เฟส A มีรอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่า   |
|                           | 5/12/2002 | 115 kV Line CT-KLA Trip RC ทำงานสับตัดทั้ง 2 ด้าน ที่ สฟ. CT   |
|                           | 15:48     | ฝนตก LFL. Show Phase C ระยะทาง 13.5 km (เดิม 57.0 km) ที่      |
|                           |           | สฟ. KLA ปกติ สาเหตุ หสก2-ส.ตรวจพบที่ Tower 91/1 Arcing         |
|                           |           | Horn Phase B มีรอย Arc บริเวณ ค.ทุ่งเบญจา อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี |
|                           | 10/5/2003 | 115 kV Line CT-KLA Trip RC ทำงานสับตัดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ       |
|                           | 15:53     | หสก2-ส.ตรวจสอบพบที่ T.68/2 เฟส A และ T.72/2 เฟส A,C            |
|                           |           | Arcing Horn มีรอยฟ้าผ่าอุปกรณ์ไม่เสียหาย สภาพอากาศ ที่         |
|                           |           | สฟ. CT ฝนตก ลมแรง , ที่ สฟ. KLA มีดคริม สรุปลำดับ ไม่มี        |
|                           | 15/6/2003 | 115 kV Line CT-KLA Trip RC ทำงานสับตัดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ       |
|                           | 3:22      | หสก2-ส. ตรวจพบที่ Tower 75/2 ลูกถ้วย Flash Over ทั้ง 3 Phase   |
|                           |           | สภาพอากาศ ฝนตกหนักทั้งสองสฟ. สรุปลำดับไม่มี                    |

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

| สายส่ง                    | เวลา       | รายละเอียด                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 115 kV<br>แกลง – จันทบุรี | 6/9/2003   | 115 kV Line CT-KLA Trip RC ทำงานสับคิดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ                                                                                                                             |
|                           | 13:43      | หสก2-ส. ตรวจสอบสายส่งพบ ที่ Tower 55/3 Arcing Horn มีรอย Arc สภาพอากาศ ฝนตก ทั้ง 2 สฟ. สรุปไฟดับไม่มี                                                                                |
|                           | 16/10/2004 | 115 kV Line CT-KLA Trip RC. สับคิดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ                                                                                                                                 |
|                           | 11:00      | หสก2-สส.ตรวจสอบพบ T 85/2 Arcing Horn Phase C มีรอย Arc สันนิษฐานฟ้าผ่าเสาโครง สภาพอากาศปกติ ทั้ง 2 สฟ.                                                                               |
|                           | 18/5/2005  | 115 kV Line CT-KLA Trip RC.สับคิดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ หสก2-สส.                                                                                                                         |
|                           | 9:13       | ตรวจสอบพบ Arcing Horn Phase A มีรอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่า ที่ Tower 65/3 ด.นายายอาม อ.นายายอาม จ.จันทบุรี สภาพอากาศ ที่ สฟ. CT มีดกริม ที่ สฟ. KLA ฝนตกฟ้าคะนอง                        |
|                           | 1/8/2005   | 115 kV Line CT-KLA Trip RC. สับคิดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ                                                                                                                                 |
|                           | 9:43       | หน่วยหสก2-สส. ตรวจสอบพบ รอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่าที่ Tower 76/1 เฟส C ท้องที่ ด.วังใหม่ อ. นายายอาม จ.จันทบุรี สภาพอากาศ ฝนตก ทั้ง 2 สฟ.                                               |
|                           | 16/8/2005  | 115 kV Line CT-KLA Trip RC.สับคิดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ                                                                                                                                  |
|                           | 2:16       | หน่วยหสก2-สส. ตรวจสอบสายส่งพบ Arcing Horn Phase A,B มีรอย Arc เนื่องจากฟ้าผ่า ที่ Tower 95/2 ด.เขาบายศรี อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี สภาพอากาศ ที่ สฟ. CT ฝนตกลมแรง , ที่ สฟ. KLA ปกติ      |
|                           | 28/8/2005  | 115 kV Line CT-KLA Trip RC. "OFF" อยู่ สาเหตุ หสก2-สส.                                                                                                                               |
|                           | 12:52      | ตรวจสอบพบที่ Tower 91/1 Arcing Horn เฟส B มีรอย Arc สรุปไฟดับ ที่สฟ. CT 38.7 MW นาน 10 นาที สภาพอากาศ มีดกริม ทั้ง 2 สฟ. มี Switching Solid จ่าย 115 kV Line to PEA. ที่ สฟ. CT อยู่ |
|                           | 4/10/2005  | 115 kV Line CT-KLA Trip RC. สับคิดทั้ง 2 ด้าน หสก2-สส.                                                                                                                               |
|                           | 2:11       | ตรวจสอบพบ ที่ Tower 63/2 Arcing Horn เฟส C มีรอย Arc สภาพอากาศฝนตก ทั้ง 2 สฟ.                                                                                                        |

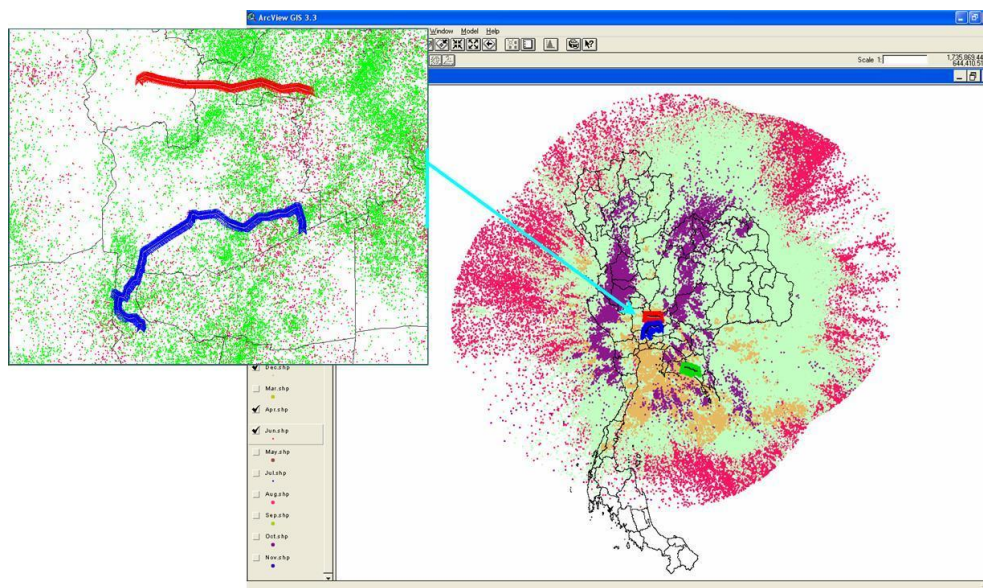
ตารางที่ 1 (ต่อ)

| สายส่ง                                  | เวลา               | รายละเอียด                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         | 7/10/2005<br>14:43 | 115 kV Line CT-KLA Trip RC. สับตัดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ หสก2-สส. ตรวจพบที่ Tower 83/2 ลูกถ้วย Phase C Flash Over สภาพอากาศ ที่ สฟ. CT ฝนตก , ที่ สฟ. KLA มีดกรั้ม                                  |
| 230 kV<br>อ่างทอง – ท่าลาน3             | 24/9/2001<br>0:55  | 230 kV.Line AT2-TL3#2 Trip RC.ทำงานสับตัด2 ด้าน ตรวจพบที่ T.16/3 ลูกถ้วยมีรอย Flashover เนื่องจากฟ้าผ่า                                                                                         |
|                                         | 13/10/2001<br>1:24 | 230 kV.Line AT2-TL3#1 Trip RC.ทำงานสับตัด 2 ด้าน หสก3-ส. ตรวจพบที่ T.21/3 ลูกถ้วย Flashover เนื่องจากฟ้าผ่า                                                                                     |
|                                         | 24/6/2005<br>18:29 | 230 kV Line AT2-TL3#2 Trip RC. สับตัดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ หสก1-สส. ตรวจพบ ที่ Tower 39/2 ลูกถ้วย เฟส B Flashover เนื่องจากฟ้าผ่า บริเวณ ต.โคกใหม่ อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี สภาพอากาศ มีฝนตก ทั้ง 2 สฟ. |
|                                         | 13/9/2005<br>21:27 | 230 kV Line AT2-TL3#1 Trip RC. สับตัดทั้ง 2 ด้าน สาเหตุ หสก1-สส. ตรวจพบที่ Tower 44/1 Phase C ลูกถ้วย Flash Over เนื่องจากฟ้าผ่า สภาพอากาศ ที่ สฟ.TL3 ฝนตก , ที่ สฟ. AT2 มีดกรั้ม               |
|                                         | 2/10/2005<br>20:12 | 230 kV Line AT2-TL3#2 Trip RC. ทำงาน Lockout สาเหตุ หสก1-สส. ตรวจพบที่ Tower 40/1 ลูกถ้วย Phase A,B Flashover เนื่องจากฟ้าผ่า สภาพอากาศ ที่ TL3 ฝนตก ที่ AT2 มีดกรั้ม สรุปลไม่มีไฟฟ้าดับ        |
| 500 kV<br>ไทรน้อย – วังน้อย<br>วงจรที่3 | 26/3/2005<br>17:59 | 500 kV Line SNO-WN No.3 Trip RC สับตัด สาเหตุลูกถ้วย Flashover จากฟ้าผ่า ที่ T118/3A เฟส C                                                                                                      |

## 2. ข้อมูลไฟฟ้า

ใช้ข้อมูลจากระบบหาตำแหน่งไฟฟ้าหาความหนาแน่นไฟฟ้าเป็นจำนวนครั้งของไฟฟ้าต่อพื้นที่ในแต่ละช่วงเสา (ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) โดยใช้ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรจากแนวกิ่งกลางสายส่งออกไปด้านข้างทั้งสอง

ข้อมูลไฟฟ้าที่ได้เป็น Text Document ต้องนำไปแปลงให้เป็นไฟล์ Excel Comma Delimited (\*.csv) เพื่อสร้างตาราง Attributes และสร้าง Shapefile ด้วยโปรแกรม Arcview เมื่อนำแนวของสายส่งมาวางและสร้างระยะทางออกมาด้านข้างด้วย Buffer 0.5, 1 กิโลเมตร ทำให้สามารถหาจำนวนไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 33, 34



ภาพที่ 33 แสดงแนวสายส่งบน Shapefile ที่สร้างจากข้อมูลไฟฟ้า LLS





ภาพที่ 35 เสาโครงเหล็กแบบวงจรเดียว

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)



ภาพที่ 36 เสาโครงเหล็กทงวงจรคู่

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)

#### 4. ระยะห่างของแต่ละช่วงเสาและระยะหย่อนสาย (Span and Sag)

สำหรับสายส่ง 115 kV, 230 kV, 500 kV เฉพาะสามสายส่งนี้มีค่า Ruling span เท่ากับ 350, 400, 390 เมตร ตามลำดับ แต่สำหรับระยะห่างของช่วงเสาจริงที่ติดตั้งจะใช้ค่าจากแบบ Structure list และมีระยะหย่อนสายที่กึ่งกลางช่วงเสา มีค่าดังนี้

ในที่นี้เลือกใช้ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน (Maximum operating temperature) และ Ambient Temperature 32°C

สำหรับสายส่ง 115 kV แกลง – จันทบุรี

- สายตัวนำเฟส (65°C) เท่ากับ 10.62 เมตร, สายชิลด์ (40°C) เท่ากับ 7.66 เมตร

สำหรับสายส่ง 230 kV อ่างทอง – ท่าลาน3

- สายตัวนำเฟส (65°C) เท่ากับ 14.80 เมตร, สายชิลด์ (40°C) เท่ากับ 4.63 เมตร
- เฉพาะสำหรับ type LDA1 ที่มีระยะห่างช่วงเสามาก (Ruling span เท่ากับ 550 เมตร) ระยะหย่อนสายของสายตัวนำเฟส (65°C) เท่ากับ 27.93 เมตร, สายชิลด์ (40°C) เท่ากับ 8.76 เมตร

สำหรับสายส่ง 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย วงจรที่3

- สายตัวนำเฟส (75°C) เท่ากับ 15.67 เมตร, สายชิลด์ (40°C) เท่ากับ 10.74 เมตร

#### 5. สายตัวนำ

สายตัวนำไฟฟ้าเป็นสายตีเกลียว (Strand) ชนิดอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (Aluminum Conductor Steel Reinforced : ACSR) สายตัวนำด้านนอกเป็นอะลูมิเนียมตีเกลียว ภายในเป็นแกนเหล็กตีเกลียวเพื่อช่วยในการรับแรง

สำหรับสายส่ง 115 kV แกลง – จันทบุรี

- สายตัวนำเป็นสาย 477 MCM ACSR “HAWK” จำนวน Al/St = 26/7  
จำนวนสายต่อเฟส = 1 เส้น

สำหรับสายส่ง 230 kV อ่างทอง – ท่าลาน3

- สายตัวนำเป็นสาย 1272 MCM ACSR จำนวน Al/St = 42/7 จำนวนสายต่อเฟส = 1 เส้น

สำหรับสายส่ง 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย วงจรที่3

- สายตัวนำเป็นสาย 1272 MCM ACSR จำนวน  $Al/St = 42/7$  จำนวนสายต่อเฟส = 4 เส้น



ภาพที่ 37 สายตัวนำ 1272MCM ACSR

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)

## 6. สายชีลด์

สายชีลด์หรือบางครั้งเรียกสาย Overhead Ground Wire ; OHGW มีหน้าที่ป้องกันสายตัวนำไฟฟ้าไม่ให้เสียหายเนื่องจากถูกฟ้าผ่า สายนี้จะจึงอยู่บนยอดเสาและมีมุมครอบคลุมสายตัวนำได้ สำหรับสายชีลด์ทั้ง 3 สายส่งนี้เป็นสายเหล็กชุบสังกะสี 7 เส้นตีเกลียว (Galvanized steel wire strand) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผิวนอกเท่ากับ 3/8 นิ้ว

สำหรับสายส่ง 115 kV แกลง – จันทบุรี

- มุมป้องกัน  $30^\circ$  จำนวน 1 เส้น

สำหรับสายส่ง 230 kV อ่างทอง – ท่าลาน 3

- มุมป้องกัน  $15^\circ$  จำนวน 2 เส้น

สำหรับสายส่ง 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย วงจรที่ 3

- มุมป้องกัน  $8^\circ$  จำนวน 2 เส้น



ภาพที่ 38 สาย 3/8" OHGW

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)

#### 7. ลูกถ้วยและอุปกรณ์จับยึด (Hardware Assemblies)

ลูกถ้วยที่ใช้ทำจากกระเบื้องเคลือบ (Porcelain) มีความแข็งแรงเปราะ บริเวณผิวเคลือบเป็นมันเพื่อให้น้ำฝนชำระสิ่งสกปรกได้ง่าย ลูกถ้วยที่ใช้เป็นลูกถ้วยแขวน (Suspension type insulator) มีลักษณะการต่อเป็นแบบข้อต่อ Ball and Socket type

ชุดอุปกรณ์จับยึดของสายตัวนำและสายชีลด์แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบแขวน (Suspension type) และแบบแรงดึง (Tension type) สำหรับชุดอุปกรณ์จับยึดของสายตัวนำยังแบ่งย่อยลงไปอีกเป็นแบบแขวนเดี่ยว, แขวนคู่, แบบแขวนรูปตัว V เดี่ยว, แบบแขวนรูปตัว V คู่, แบบแรงดึงเดี่ยว, แบบแรงดึงคู่ การเลือกใช้งานแบบใดก็ขึ้นอยู่กับแรงดึงของสายส่ง นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบสายอื่นๆ เช่น Vibration damper, Spacer เป็นต้น

สำหรับสายส่ง 115 kV แกลง – จันทบุรี

- ชุดลูกถ้วยแบบแขวนเดี่ยวเป็นลูกถ้วย class 52-3 จำนวน 8 ลูก x 1 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแขวนคู่เป็นลูกถ้วย class 52-3 จำนวน 8 ลูก x 2 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแรงดึงเดี่ยวเป็นลูกถ้วย class 52-3 จำนวน 11 ลูก x 1 แถว

สำหรับสายส่ง 230 kV อ่างทอง – ท่าลาน3

- ชุดลูกถ้วยแบบแขวนเดี่ยวเป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 14 ลูก x 1 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแขวนคู่เป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 14 ลูก x 2 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแรงดึงเดี่ยวเป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 15 ลูก x 1 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแรงดึงคู่เป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 15 ลูก x 2 แถว

สำหรับสายส่ง 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย

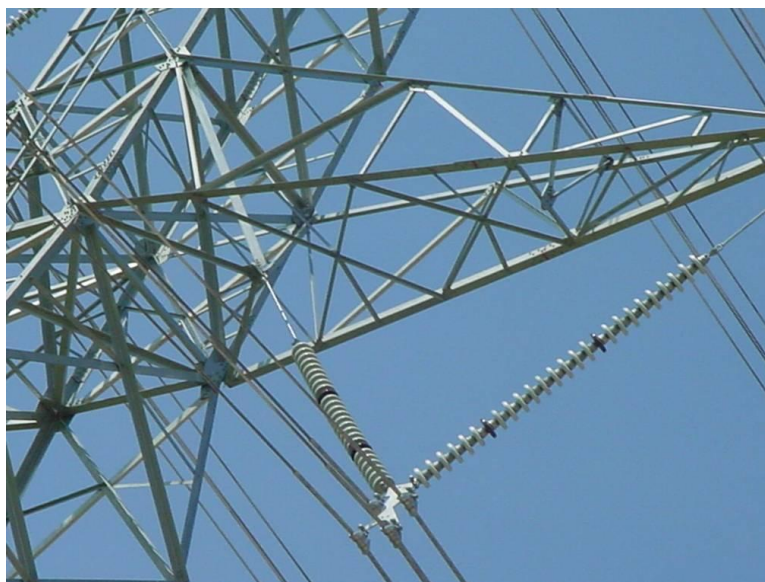
- ชุดลูกถ้วยแบบแขวนรูปตัว V เดี่ยวเป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 26 ลูก x 2 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแขวนรูปตัว V คู่เป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 26 ลูก x 4 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแรงดึงเดี่ยวเป็นลูกถ้วย class 52-8 จำนวน 28 ลูก x 1 แถว
- ชุดลูกถ้วยแบบแรงดึงคู่เป็นลูกถ้วย class 52-11 จำนวน 27 ลูก x 2 แถว

เนื่องจากโปรแกรม TFlash ลูกถ้วยที่ใช้จะถูกระบุเป็น Porcelain Standard type ไม่สามารถบอก class ของลูกถ้วยได้ จึงระบุได้เพียงจำนวนลูกถ้วยที่ใช้ต่อแถวเท่านั้น



ภาพที่ 39 ชุดลูกถ้วยแบบแขวนคู่

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)

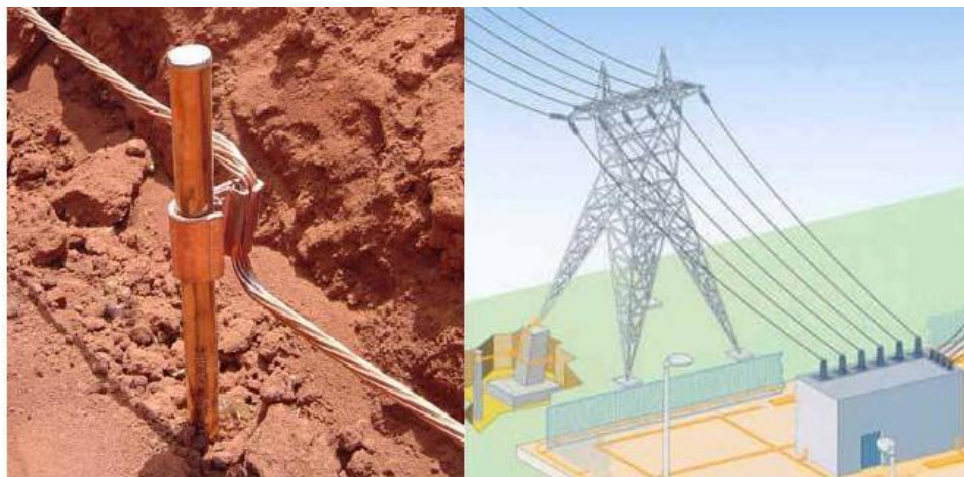


ภาพที่ 40 ชุดลูกถ้วยแบบแขวนรูปตัว V

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)

## 8. การกราวด์

ระบบการต่อลงดินที่ฐานรากของเสาโครงเหล็ก โดยทั่วไปตามแบบกำหนดให้ทำที่ฐานรากสองฐาน หรือสี่ฐานตามความจำเป็นเพื่อให้ค่าความต้านทานลดลงและสามารถรับประจุถ่ายเทจากตัวเสาลงดินให้มากที่สุด ค่าตามที่กำหนดไว้ของ กฟผ. ไม่เกิน 10 โอห์มทั้งสามแรงดันระบบต่อลงดินประกอบด้วยแท่งสายดิน (Ground rod) สายต่อโยงฐานรากของเสาโครงเหล็ก (Counter poise) ซึ่งฝังอยู่ในดินและมีสายต่อยึดติดกับ Stub โดยมี Connecting Ground Plate เป็นตัวยึด กรณีของ 115 & 230 kV มีทางเลือกให้ต่อลงดิน 4 แบบ สำหรับ 500 kV มีทางเลือกให้ต่อลงดิน 5 แบบ

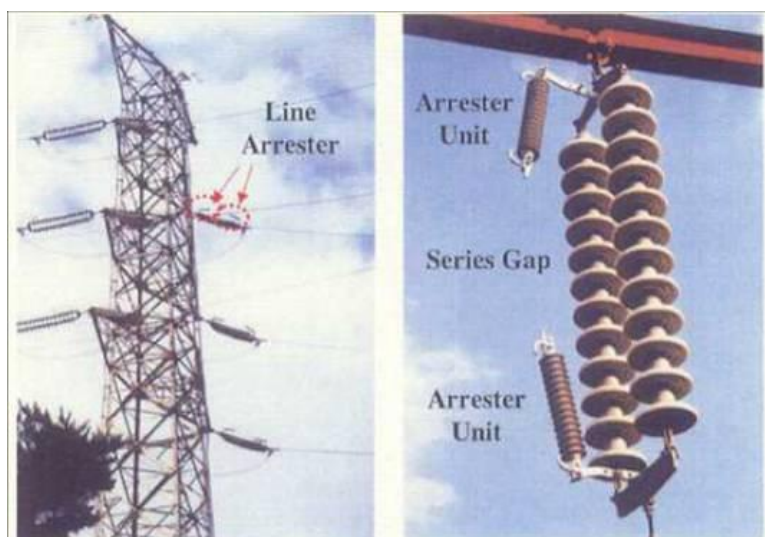


ภาพที่ 41 Ground rod ที่ฝังในดินของเสาส่ง

ที่มา: กองวิศวกรรมสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2549)

#### 9. อะเรสเตอร์

สำหรับสายส่งของ กฟผ. เดิมไม่มีการใช้อะเรสเตอร์ ในที่นี้การปรับปรุงสมรรถนะ  
ฟ้าผ่ามีการจำลองการติดตั้งอะเรสเตอร์ ซึ่งเลือกใช้เป็น NGK Arrester ชนิด Zno Series gap แบบ  
Normal Duty type มีพิกัดแรงดัน 87 kV (เดิมใช้งานกับ 230 kV แต่ประยุกต์ใช้กับ 115 kV)



ภาพที่ 42 ลักษณะการติดตั้งใช้งาน NGK Arrester

ที่มา: NGK Insulators Ltd. (2004)

สำหรับรายละเอียดทั้งหมดของข้อมูลที่จำลองลงในโปรแกรมของทั้ง 3 แนวสายส่งนี้  
จะแสดงไว้ในภาคผนวกที่ ก (ตารางผนวกที่ ก1 - ก3)

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลจากข้อมูลเหตุการณ์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่า

1.1 สายส่ง 115 kV แกลง-จันทบุรี (ความยาวสายส่ง 56.085 กิโลเมตร)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าเฉลี่ยของสายส่ง 115 kV KLA-CT

| ปี พ.ศ. | จำนวนครั้งขัดข้องรวม<br>แต่ละปี | จำนวนครั้งขัดข้อง<br>เฉลี่ย/ปี/กิโลเมตร | จำนวนครั้งขัดข้อง<br>เฉลี่ย/ปี/100กิโลเมตร |
|---------|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 2544    | 7                               |                                         |                                            |
| 2545    | 2                               |                                         |                                            |
| 2546    | 3                               | 0.0678                                  | 6.7754                                     |
| 2547    | 1                               |                                         |                                            |
| 2548    | 6                               |                                         |                                            |

1.2 สายส่ง 230 kV อ่างทอง2 - ท่าลาน3 (ความยาวสายส่ง 51.414 กิโลเมตร)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าเฉลี่ยของสายส่ง 230 kV AT2-TL3

| ปี พ.ศ. | จำนวนครั้งขัดข้องรวม<br>แต่ละปี | จำนวนครั้งขัดข้อง<br>เฉลี่ย/ปี/กิโลเมตร | จำนวนครั้งขัดข้อง<br>เฉลี่ย/ปี/100กิโลเมตร |
|---------|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 2544    | 2                               |                                         |                                            |
| 2545    | 0                               |                                         |                                            |
| 2546    | 0                               | 0.0194                                  | 1.9450                                     |
| 2547    | 0                               |                                         |                                            |
| 2548    | 3                               |                                         |                                            |

### 1.3 สายส่ง 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย วงจรที่ 3 (ความยาวสายส่ง 89.609 กิโลเมตร)

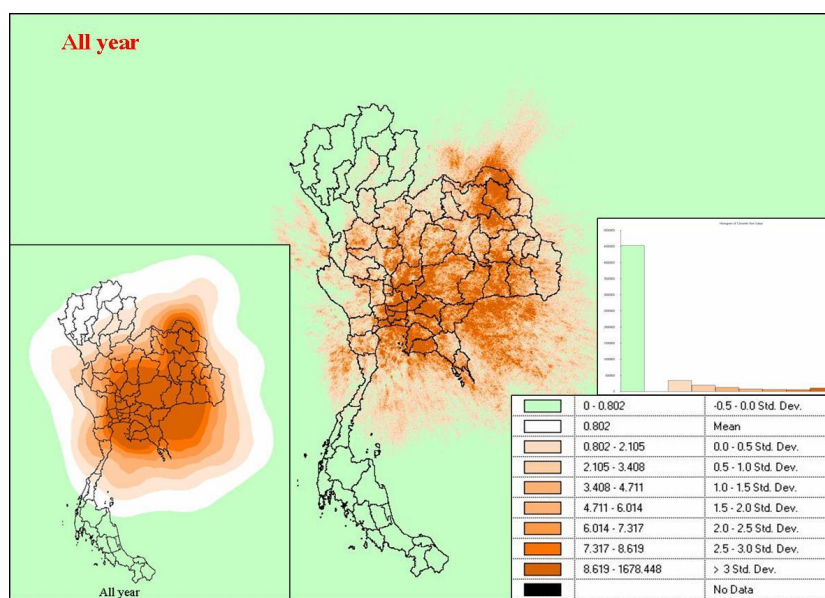
ตารางที่ 4 ตารางแสดงเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าเฉลี่ยของสายส่ง 500 kV SNO-WN#3

| ปี พ.ศ. | จำนวนครั้งขัดข้องรวม<br>แต่ละปี | จำนวนครั้งขัดข้อง<br>เฉลี่ย/ปี/กิโลเมตร | จำนวนครั้งขัดข้อง<br>เฉลี่ย/ปี/100กิโลเมตร |
|---------|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 2544    | 0                               |                                         |                                            |
| 2545    | 0                               |                                         |                                            |
| 2546    | 0                               | 0.0022                                  | 0.2232                                     |
| 2547    | 0                               |                                         |                                            |
| 2548    | 1                               |                                         |                                            |

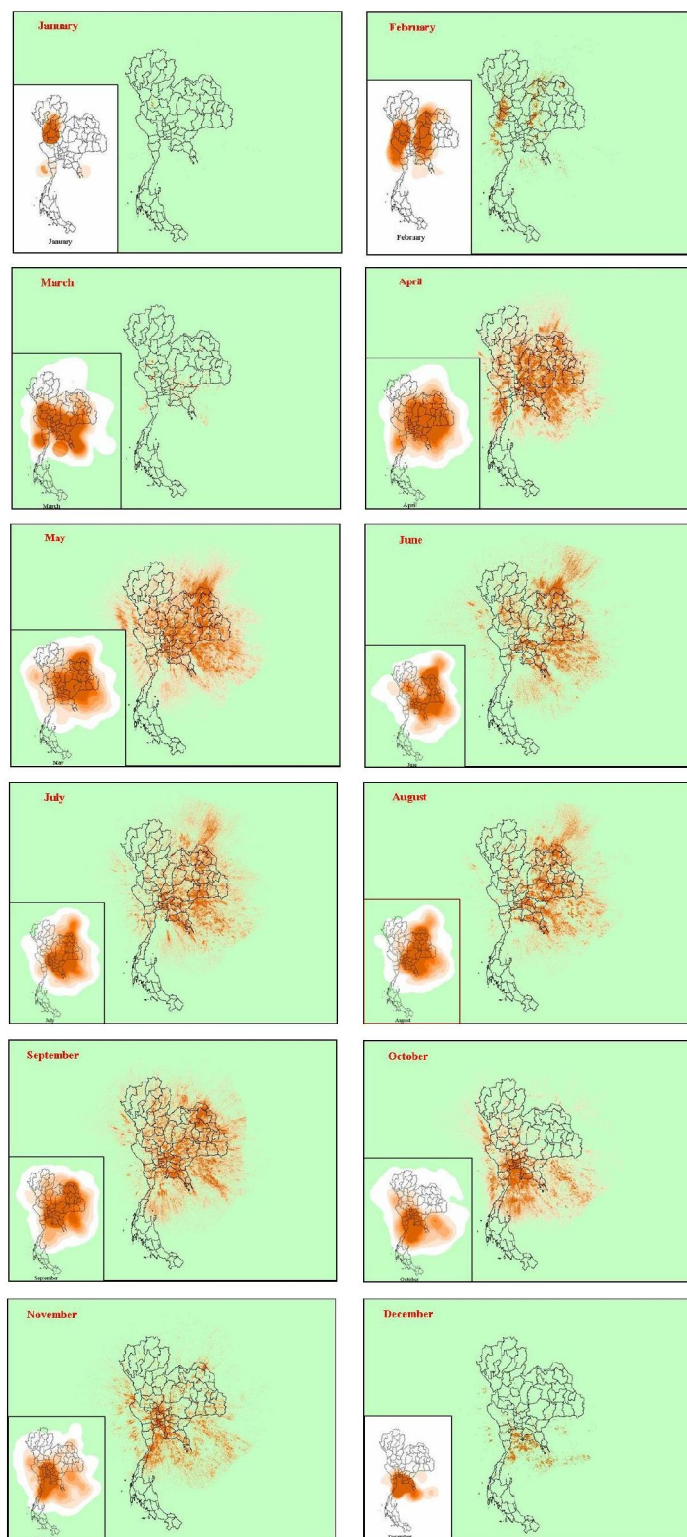
## 2. ผลจากโปรแกรม Arcview GIS ที่นำมาใช้กับข้อมูลฟ้าผ่า EGAT LLS

### 2.1 ผลจากการนำข้อมูลฟ้าผ่าปี พ.ศ.2548 มาสร้าง Shape file บนแผนที่ประเทศไทย

#### 2.1.1 แนวโน้มความหนาแน่นฟ้าผ่าในพื้นที่ทั้งปีและแต่ละเดือน

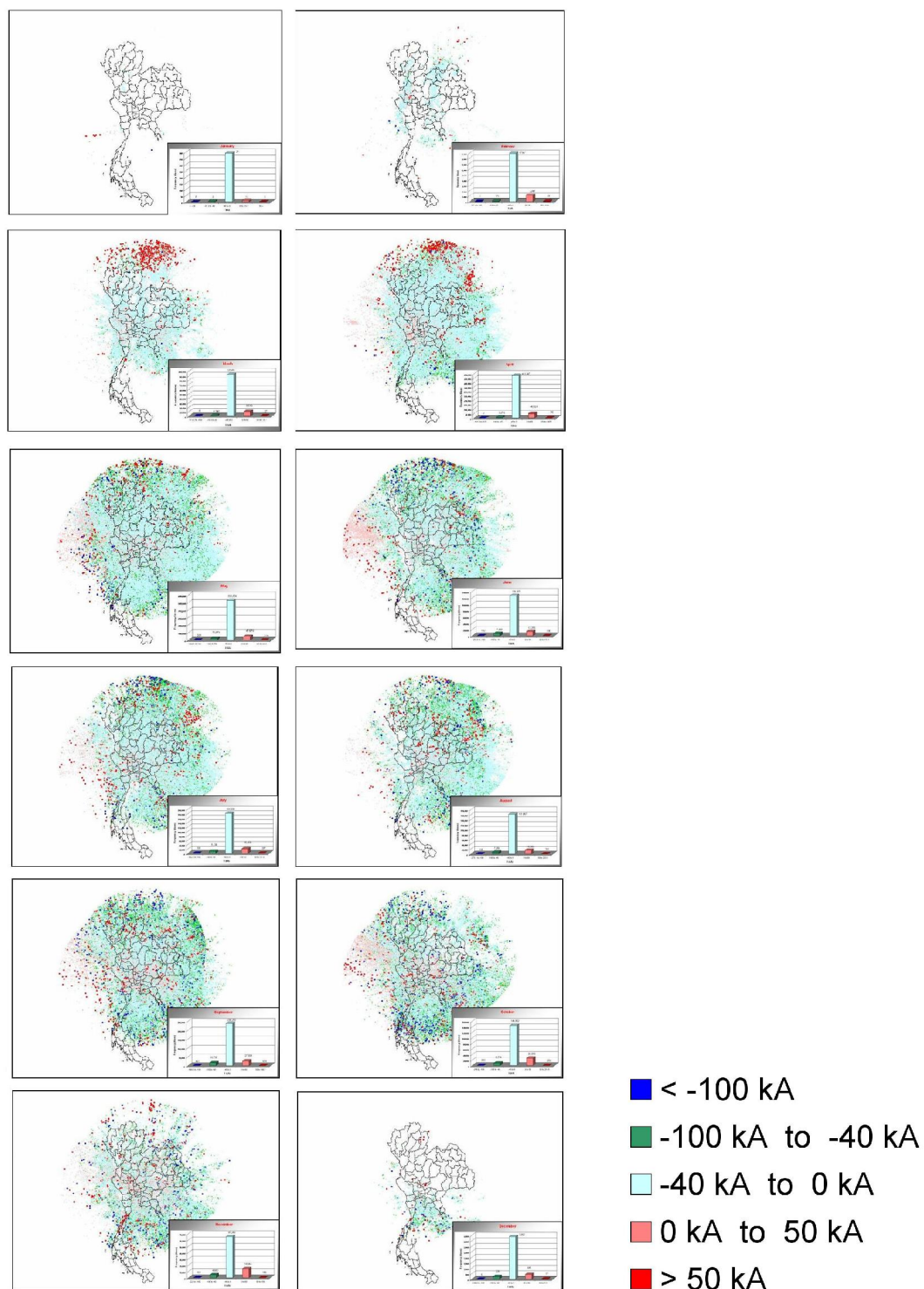


ภาพที่ 43 ความหนาแน่นฟ้าผ่าแบบเมฆลงดินทั้งหมดของปี พ.ศ.2548

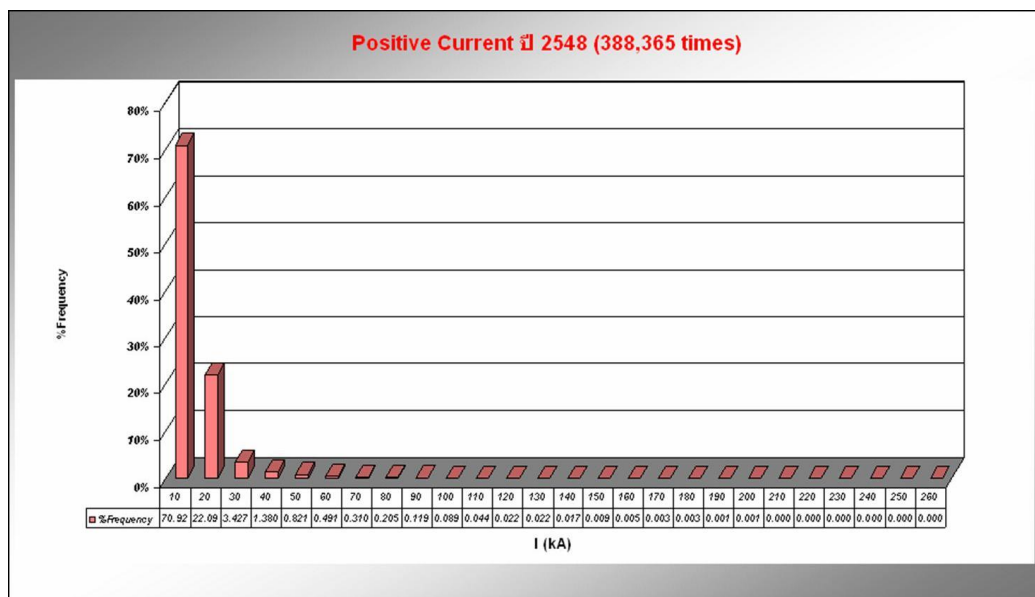


ภาพที่ 44 ฟัฒาแบบเมฆลงดินในแตละเดือนของปี พ.ศ.2548

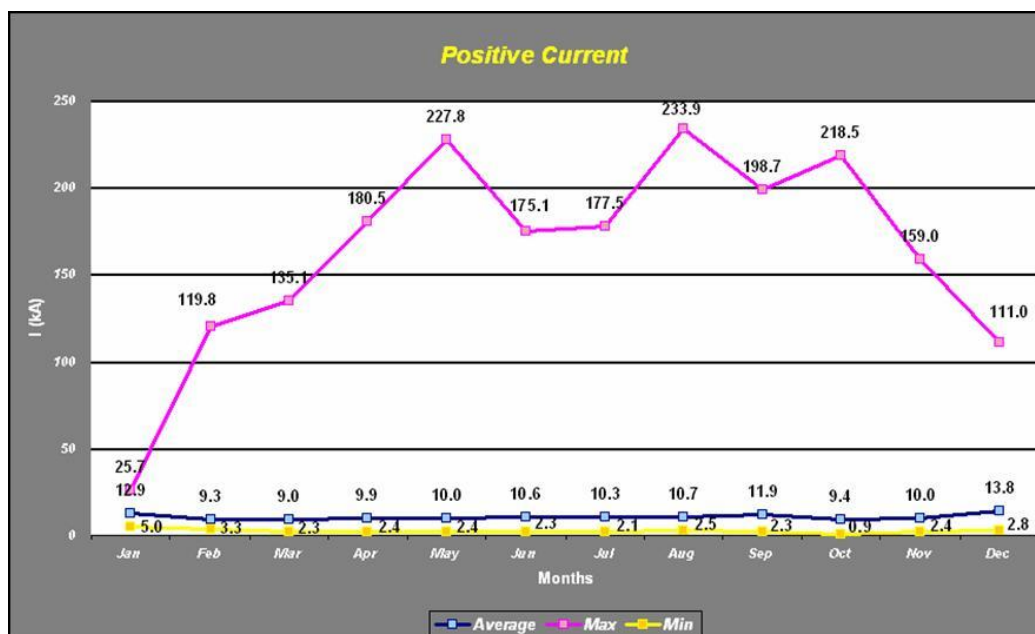
### 2.1.2 แนวโน้มค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละเดือน



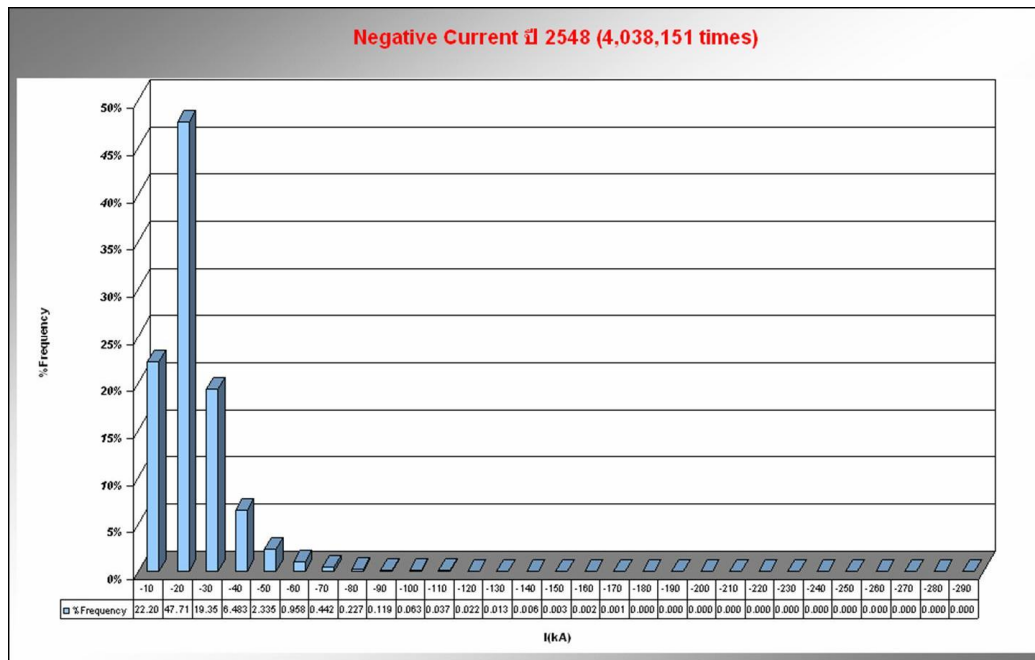
ภาพที่ 45 กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2548



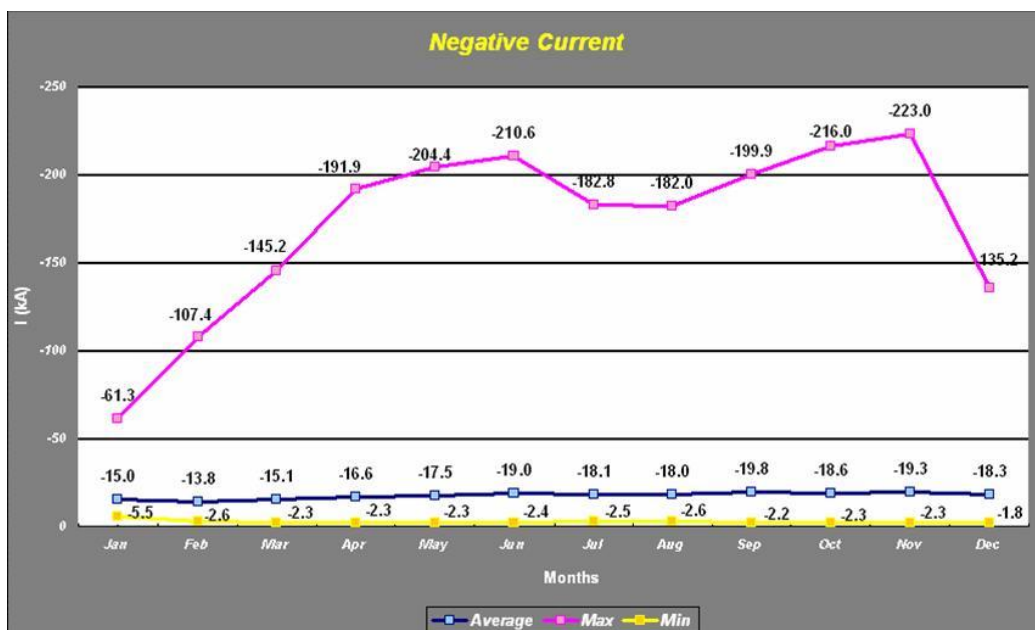
ภาพที่ 46 ความน่าจะเป็นของฟ้าผ่าบวกปี พ.ศ.2548 (จำนวนฟ้าผ่าบวกทั้งหมด 388,365 ครั้ง)



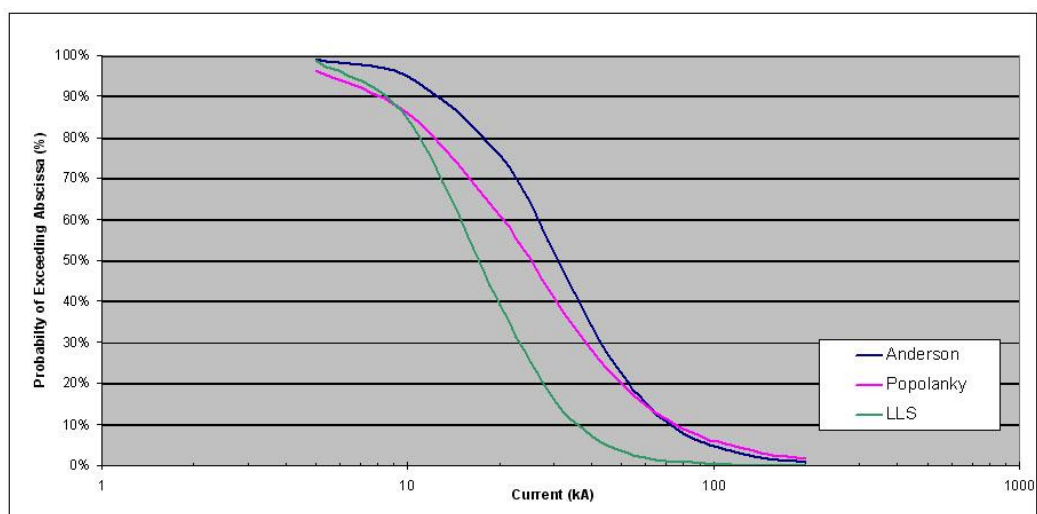
ภาพที่ 47 สรุปค่าสูงสุด-ต่ำสุด-เฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่าบวกปี พ.ศ. 2548



ภาพที่ 48 ความน่าจะเป็นของฟ้าผ่าลบปี พ.ศ.2548 (จำนวนฟ้าผ่าลบทั้งหมด 4,038,151 ครั้ง)



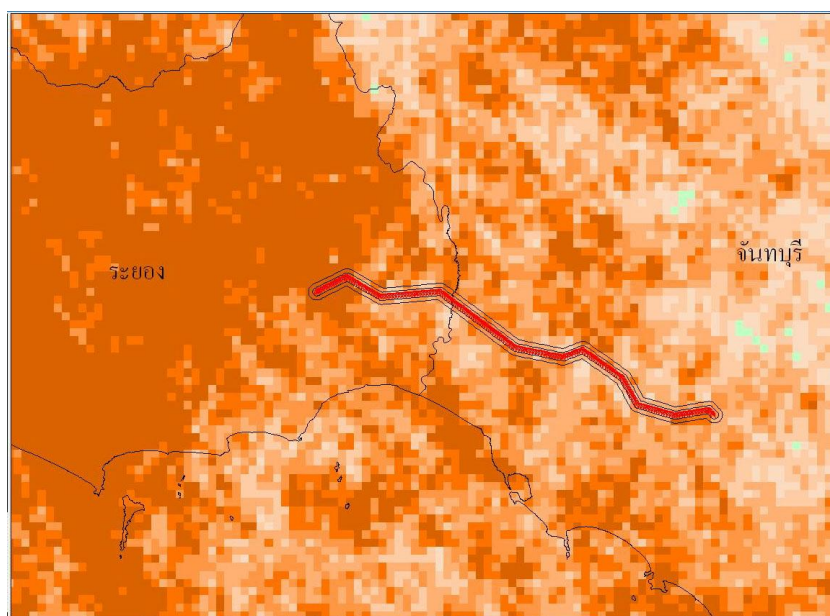
ภาพที่ 49 สรุปค่าสูงสุด-ต่ำสุด-เฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่าลบปี พ.ศ.2548



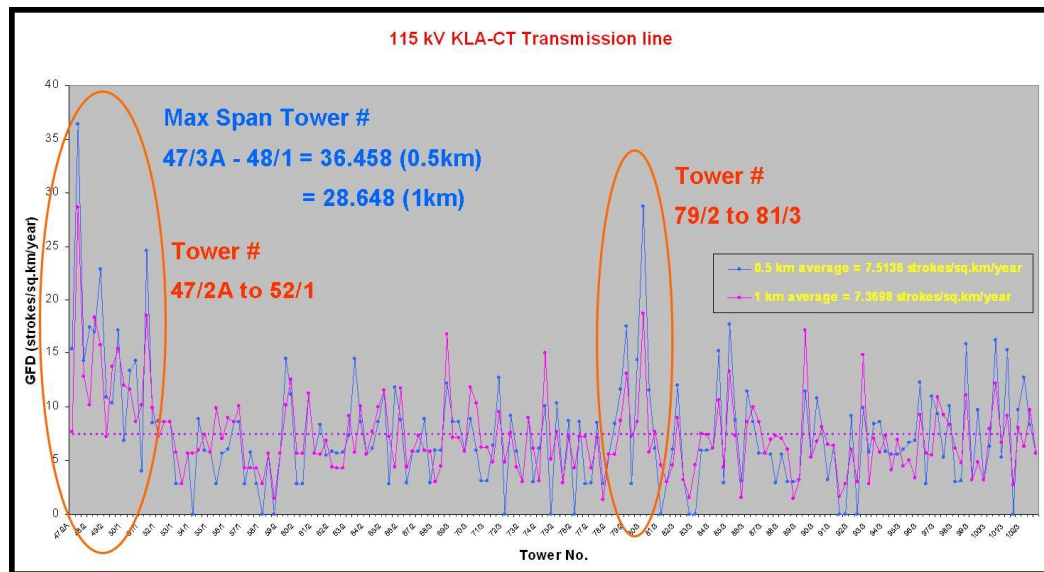
ภาพที่ 50 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของกระแสไฟฟ้า LLS, CIGRE, IEEE

2.2 จำนวนฟ้าผ่าลงดิน (ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) ของแต่ละช่วงเสาที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตร จากแนวถึงกลางสายส่งออกไปด้านข้างทั้งสองด้าน

2.2.1 สายส่ง 115 kV แกลง-จันทบุรี

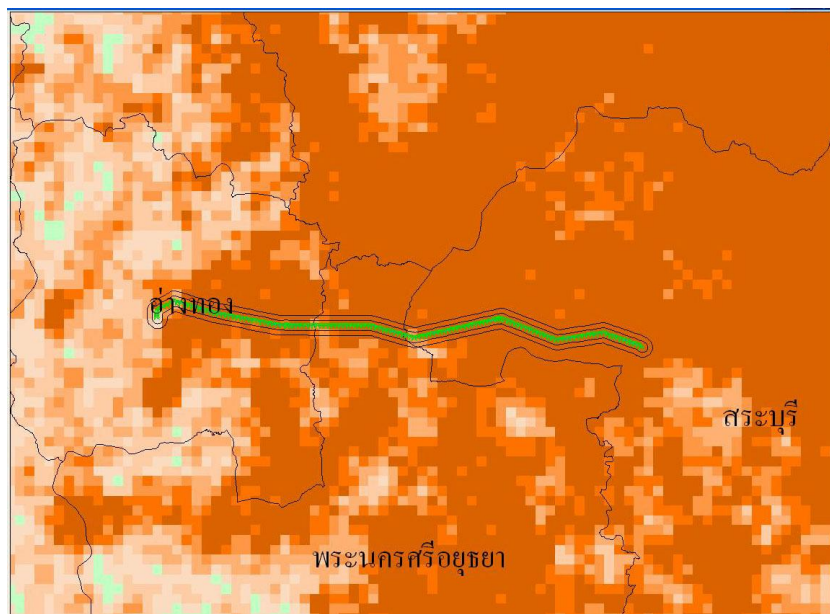


ภาพที่ 51 ความหนาแน่นฟ้าผ่าบนแนวสายส่ง 115 kV KLA-CT

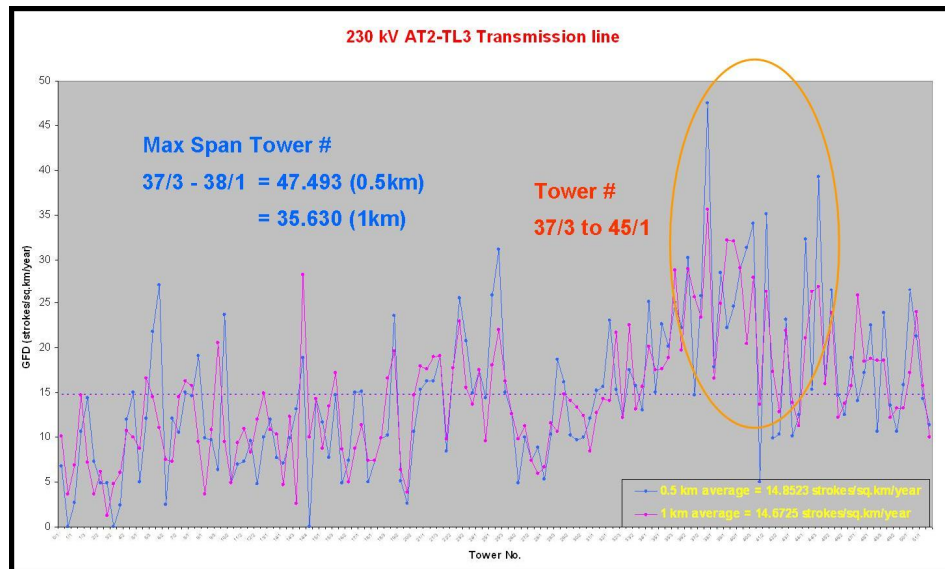


ภาพที่ 52 เปรียบเทียบความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรของสายส่ง 115 kV KLA-CT

## 2.2.2 สายส่ง 230 kV อ่างทอง2 - ท่าลาน3

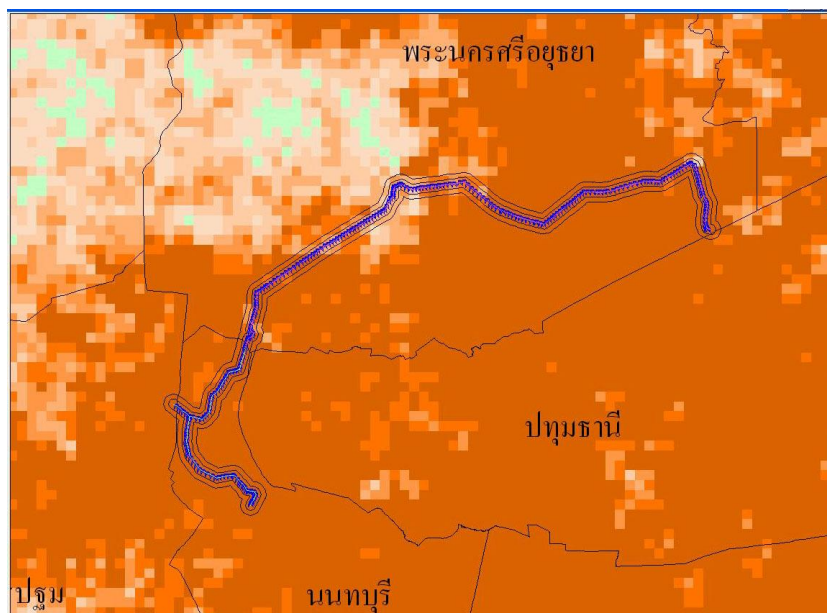


ภาพที่ 53 ความหนาแน่นฟ้าผ่าบนแนวสายส่ง 230 kV AT2-TL3

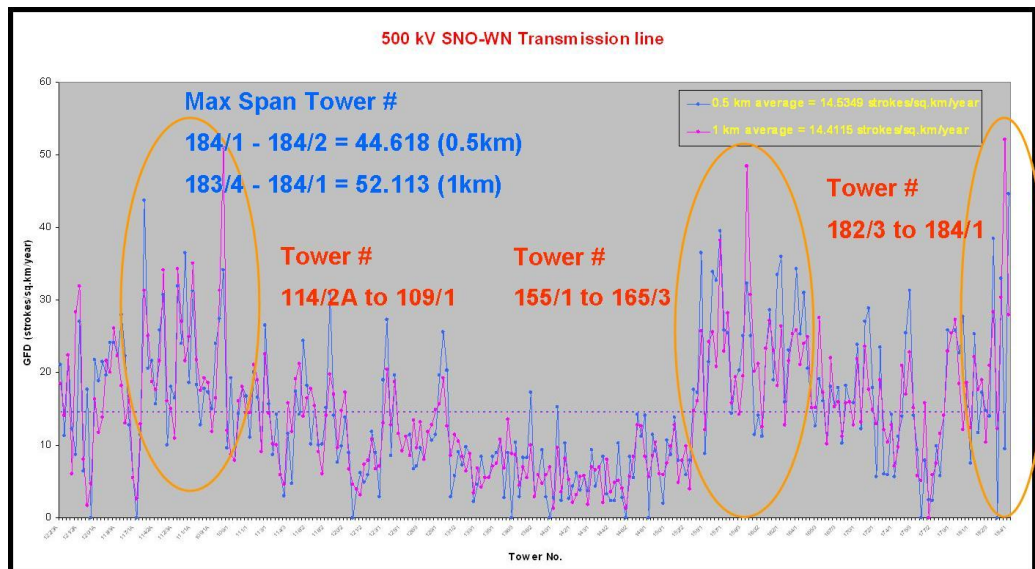


ภาพที่ 54 เปรียบเทียบความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรของสายส่ง 230kV AT2-TL3

### 2.2.3 สายส่ง 500 kV ไทรน้อย – วังน้อย วงจรที่3



ภาพที่ 55 ความหนาแน่นฟ้าผ่านแนวสายส่ง 500 kV SNO-WN#3



ภาพที่ 56 เปรียบเทียบความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรของสายส่ง 500kV SNO-WN#3

สำหรับรายละเอียดความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5, 1 กิโลเมตรทุกช่วงเสาของทั้ง 3 แนวสายส่ง (พ.ศ.2548) จะแสดงไว้ในภาคผนวกที่ ก (ตารางผนวกที่ ก1 - ก3)

### 3. ผลจากการปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งตามวิธีการ EPRI Handbook และโปรแกรม TFlash

#### 3.1 สาเหตุความขัดข้องทางไฟฟ้า

3.1.1 ความขัดข้องทางไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่าใช้ข้อมูลจากแผนกสมรรถนะระบบไฟฟ้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1

3.1.2 เปรียบเทียบสมรรถนะฟ้าผ่าโดยใช้ค่าเฉลี่ยของสายส่งทั้งสาม (ตารางที่ 2-4) กับมาตรฐาน IEEE 1313.2-1999 clause 5.1

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะฟ้าผ่ากับมาตรฐาน IEEE

| สายส่ง          | จำนวนครั้งเหตุการณ์ขัดข้อง (พ.ศ. 2544-2548)<br>เฉลี่ย/ปี/100กิโลเมตร | ค่าที่ระบุใน IEEE<br>เฉลี่ย/ปี/100กิโลเมตร |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 115 kV KLA-CT   | 6.7754                                                               | 20                                         |
| 230 kV AT-TL3   | 1.9450                                                               | 20                                         |
| 500 kV SNO-WN#3 | 0.2232                                                               | 0.5                                        |

3.1.3 ผลของความขัดข้องทางไฟฟ้า เมื่อพิจารณารายละเอียดจากตารางที่1 สามารถสรุปเป็นจำนวนครั้งและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

ตารางที่ 6 สรุปจำนวนครั้งและเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น พ.ศ.2544-2548

| เหตุการณ์ขัดข้อง                             | 115 kV KLA-CT | 230 kV AT-TL3 | 500 kV SNO-WN#3 |
|----------------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| จำนวนเหตุการณ์<br>เนื่องจากฟ้าผ่าทั้งหมด     | 19            | 5             | 1               |
| ไฟดับ                                        | 1             | 0             | 0               |
| Trip Recloser                                | 19            | 5             | 1               |
| Arcing Horn มีรอย arc                        | 14            | 0             | 0               |
| ถูกฉีก flashover                             | 3             | 5             | 1               |
| Distance Relay ทำงานแสดง<br>จุดที่เกิด fault | 1             | 0             | 0               |

3.2 หาชนิดและตำแหน่งความขัดข้องทางไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่า

3.1.1 พิสูจน์ว่าฟ้าผ่าเป็นสาเหตุความขัดข้องจริง

โดยใช้ข้อมูลบันทึกสภาพอากาศจากรายละเอียดตารางที่1

ตารางที่ 7 สภาพอากาศในเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่า พ.ศ.2544-2548

| สภาพอากาศ  | 115 kV KLA-CT | 230 kV AT-TL3 | 500 kV SNO-WN#3 |
|------------|---------------|---------------|-----------------|
| เกิดฟ้าผ่า | 12            | 5             | 1               |
| ฝนตก       | 10            | 2             | 0               |
| มีดกริม    | 4             | 2             | 0               |
| ปกติ       | 3             | 0             | 0               |
| ไม่ระบุ    | 7             | 2             | 1               |

หาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นจริงและเหตุการณ์ฟ้าผ่าจากข้อมูลระบบการหาตำแหน่งฟ้าผ่า ในพื้นที่มีข้อมูลตำแหน่งฟ้าผ่าจากระบบ EGAT LLS (เวลาที่ระบุเป็น GMT Time = เวลาประเทศไทย - 7 ) มีเพียงปี พ.ศ.2548 เท่านั้น นำมาใช้กับโปรแกรม Arcview GIS หาความสัมพันธ์โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่เกิดเหตุการณ์ขัดข้องกับตำแหน่งฟ้าผ่าที่เป็นไปได้จากเวลา ระยะทาง ขนาดกระแสฟ้าผ่า

นอกจากนี้ยังใช้ Stroke window ของโปรแกรม TFlash version 4.0.22 ตรวจสอบว่าขนาดกระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดการวาวไฟแบบใด โดยเปรียบเทียบระยะทางจากเสาถึงตำแหน่งฟ้าผ่า ( $D_T$ ) หรือระยะทางจากแนวสายส่งถึงตำแหน่งฟ้าผ่า ( $D_L$ ) ว่าอยู่ในช่วงใดของ X-Distance ซึ่งแบ่งเป็นช่วงดังนี้ (ระบบการหาตำแหน่งฟ้าผ่ามีความคลาดเคลื่อนของระยะทางประมาณ 500 เมตร)

- อยู่ในช่วงที่มีโอกาสฟ้าผ่าลงสายชีลด์ → Back flashover (BFO)
- อยู่ในช่วงที่มีโอกาสฟ้าผ่าลงสายเฟส → Shielding failure flashover (SFO)
- ไม่อยู่ในช่วงใดเลย → ระบุไม่ได้ว่าเป็นการวาวไฟแบบใด

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบเหตุการณ์ฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องของสายส่ง 115kV KLA-CT

| เหตุการณ์ขัดข้อง (ตารางที่1) |     |                   |             | เหตุการณ์ฟ้าผ่าจาก EGAT LLS (Arcview GIS) |               |                           |                                          |                                                | Stroke window (TFlash)                  |                               |                  |
|------------------------------|-----|-------------------|-------------|-------------------------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| เสา<br>ต้นที่                | เฟส | เวลา<br>ประเทศไทย | GMT<br>Time | GMT<br>Time                               | $\Delta$ Time | กระแส<br>ฟ้าผ่า<br>I (kA) | ระยะทาง<br>จากเสา<br>D <sub>T</sub> (km) | ระยะทาง<br>จากแนวสายส่ง<br>D <sub>L</sub> (km) | ระยะห่างจาก<br>ฟ้าผ่าถึงเสาส่ง<br>X (m) | เฟสที่มีโอกาส<br>ฟ้าผ่าเข้ามา | ชนิดการ<br>วาบไฟ |
| 65/3                         |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               |                  |
| C                            | A   | 18/5/2005         | 18/5/2005   |                                           |               |                           |                                          |                                                | 108                                     | C                             | ระบุไม่ได้       |
| A                            |     | 9:13              | 2:13        | 2:26:32.101                               | 13:32.101     | 29.0                      | 7.67                                     | 6.88                                           |                                         |                               |                  |
| B                            |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                | 108 >                                   | G                             |                  |
| 76/1                         |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               |                  |
| C                            | C   | 1/8/2005          | 1/8/2005    |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               | BFO              |
| A                            |     | 9:43              | 2:43        | 2:40:30.527                               | -02:29.473    | -112.5                    | 8.21                                     | 0.31                                           | 168 >                                   | G                             |                  |
| B                            |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               |                  |
| 95/2                         |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               |                  |
| A                            | A,B | 16/8/2005         | 15/8/2005   |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               | BFO              |
| B                            |     | 2:16              | 19:16       | 19:19:17.701                              | 03:17.701     | -33.5                     | 1.86                                     | 0.42                                           | 100.5 >                                 | G                             |                  |
| C                            |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               |                  |

ตารางที่ 8 (ต่อ)

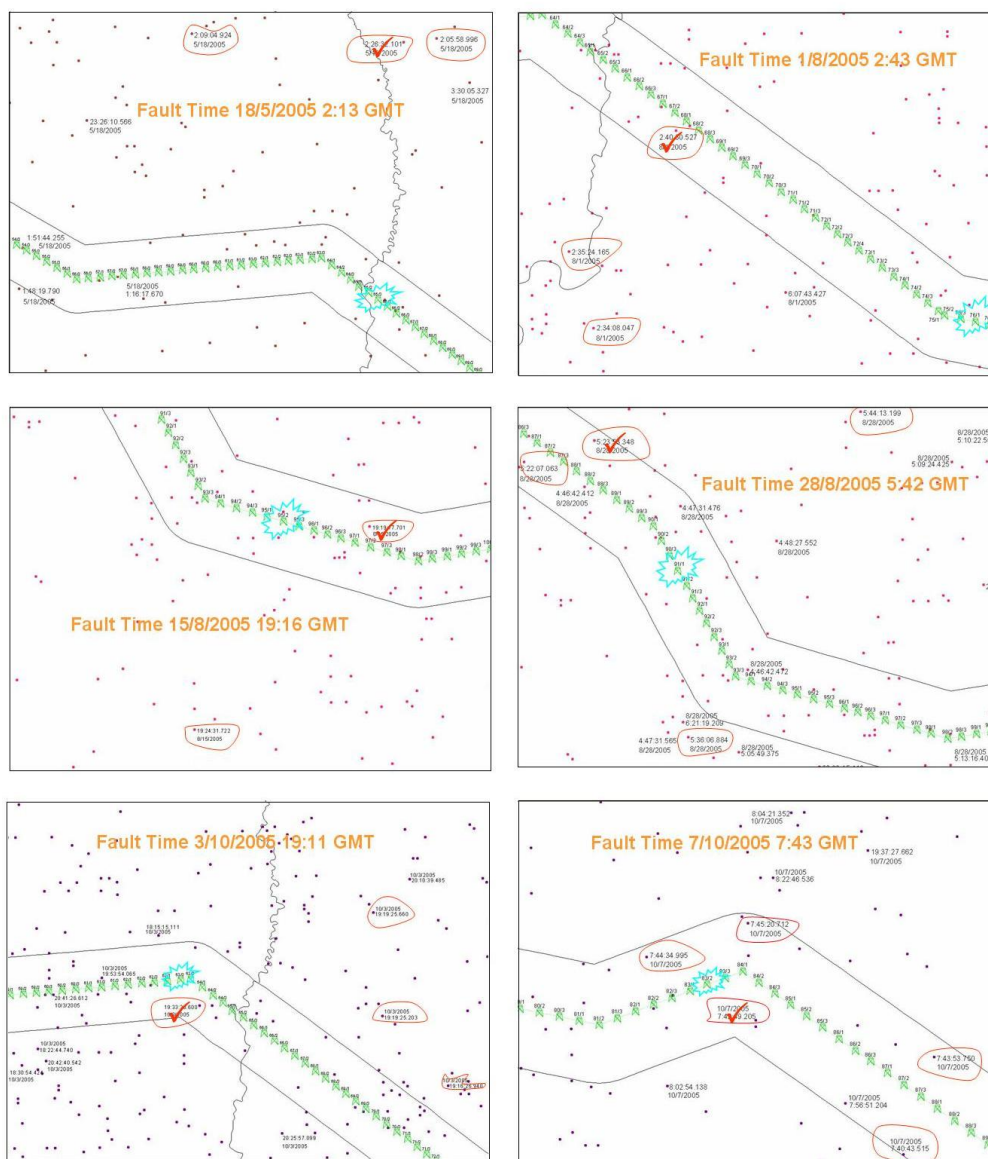
| เหตุการณ์ขัดข้อง (ตารางที่1) |     |               |           | เหตุการณ์ฟ้าผ่าจาก EGAT LLS (Arcview GIS) |               |                    |                                   |                                         | Stroke window (TFlash)           |                           |              |
|------------------------------|-----|---------------|-----------|-------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------|
| สถานี                        | เฟส | เวลาประเทศไทย | GMT Time  | GMT Time                                  | $\Delta$ Time | กระแสฟ้าผ่า I (kA) | ระยะทางจากเสา D <sub>T</sub> (km) | ระยะทางจากแนวสายส่ง D <sub>L</sub> (km) | ระยะห่างจากฟ้าผ่าถึงเสาส่ง X (m) | เฟสที่มีโอกาสฟ้าผ่าเข้ามา | ชนิดการวาบไฟ |
| 91/1                         |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| A                            | B   | 28/8/2005     | 28/8/2005 |                                           |               |                    |                                   |                                         | 95.5                             | B                         | ระบุไม่ได้   |
| B                            |     | 12:42         | 5:42      | 5:23:53.348                               | -18:06.652    | -20.6              | 3.35                              | 0.74                                    |                                  |                           |              |
| C                            |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         | 95.5 >                           | G                         |              |
| 63/2                         |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| C                            | C   | 4/10/2005     | 3/10/2005 |                                           |               |                    |                                   |                                         | 70.5 - 60.5                      | C                         | ระบุไม่ได้   |
| A                            |     | 2:11          | 19:11     | 19:33:28.600                              | 22:28.600     | 9.8                | 0.85                              | 0.42                                    |                                  |                           |              |
| B                            |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         | 60.5 >                           | G                         |              |
| 83/2                         |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| C                            | C   | 7/10/2005     | 7/10/2005 |                                           |               |                    |                                   |                                         | 85.5 - 80.5                      | C                         | BFO          |
| A                            |     | 14:43         | 7:43      | 7:42:49.205                               | -00:10.795    | -14.2              | 1.03                              | 0.55                                    |                                  |                           |              |
| B                            |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         | 80.5 >                           | G                         |              |

**ตารางที่ 9** แสดงการเปรียบเทียบเหตุการณ์ฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องของสายส่ง 230kV AT2-TL3

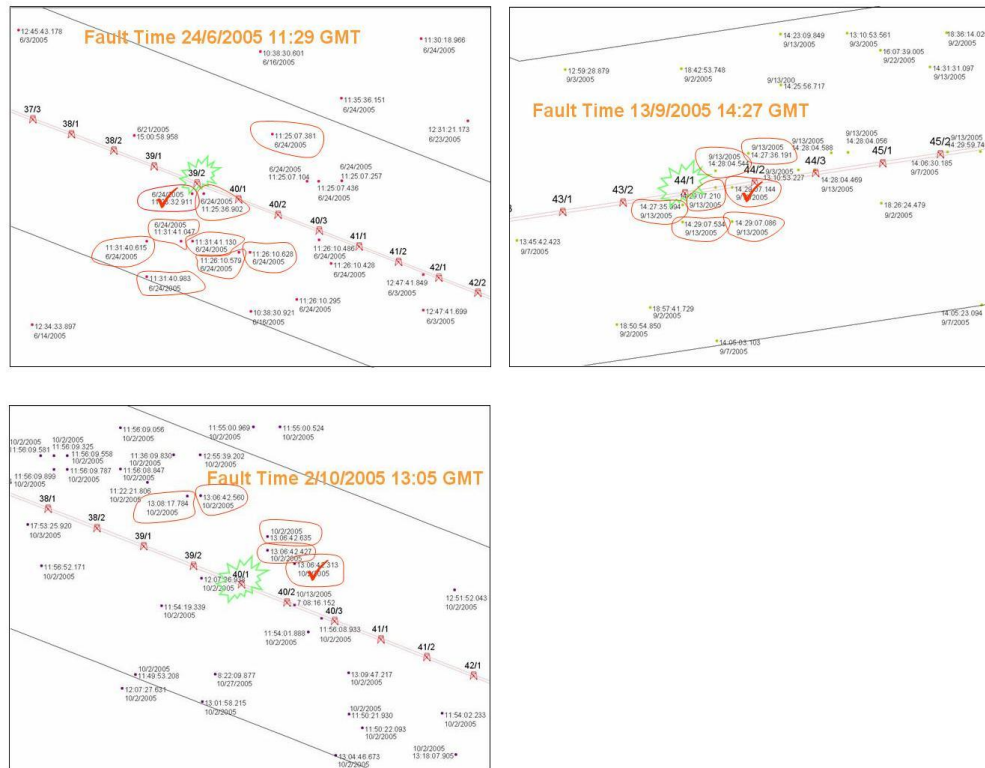
| เหตุการณ์ขัดข้อง (ตารางที่1) |     |               |           | เหตุการณ์ฟ้าผ่าจาก EGAT LLS (Arcview GIS) |               |                    |                                   |                                         | Stroke window (TFlash)           |                           |              |
|------------------------------|-----|---------------|-----------|-------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------|
| สถานี                        | เฟส | เวลาประเทศไทย | GMT Time  | GMT Time                                  | $\Delta$ Time | กระแสฟ้าผ่า I (kA) | ระยะทางจากเสา D <sub>T</sub> (km) | ระยะทางจากแนวสายส่ง D <sub>L</sub> (km) | ระยะห่างจากฟ้าผ่าถึงเสาส่ง X (m) | เฟสที่มีโอกาสฟ้าผ่าเข้ามา | ชนิดการวาบไฟ |
| 39/2                         |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| B-C                          | B   | 24/6/2005     | 24/6/2005 | 11:23:32.911                              | -05:27.089    | -14.0              | 0.11                              | 0.095                                   | 131                              | B                         | BFO          |
| A-A                          |     | 18:29         | 11:29     |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| C-B                          |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         | 131 >                            | G                         |              |
| 44/1                         |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| B-C                          | C   | 13/9/2005     | 13/9/2005 | 14:29:07.144                              | 02:07.144     | -33.4              | 0.75Span                          | 0                                       | 181>                             | G                         | BFO          |
| A-A                          |     | 21:27         | 14:27     |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| C-B                          |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| 40/1                         |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| B-C                          | A,B | 2/10/2005     | 2/10/2005 | 13:06:42.313                              | 01:42.313     | -24.6              | 0.47                              | 0.30                                    | 161                              | B                         | SFO          |
| A-A                          |     | 20:05         | 13:05     |                                           |               |                    |                                   |                                         |                                  |                           |              |
| C-B                          |     |               |           |                                           |               |                    |                                   |                                         | 161 >                            | G                         |              |

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบเหตุการณ์ฟ้าผ่าและเหตุการณ์ขัดข้องของสายส่ง 500kV SNO-WN#3

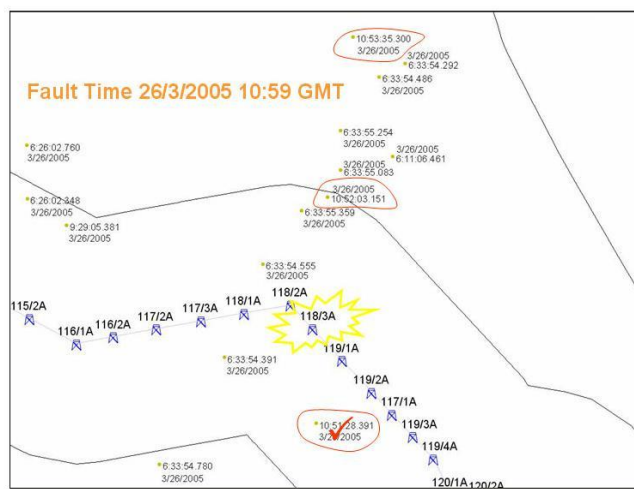
| เหตุการณ์ขัดข้อง (ตารางที่1) |     |                   |             | เหตุการณ์ฟ้าผ่าจาก EGAT LLS (Arcview GIS) |               |                           |                                          |                                                | Stroke window (TFlash)                  |                               |                  |
|------------------------------|-----|-------------------|-------------|-------------------------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| เสา<br>ต้นที่                | เฟส | เวลา<br>ประเทศไทย | GMT<br>Time | GMT<br>Time                               | $\Delta$ Time | กระแส<br>ฟ้าผ่า<br>I (kA) | ระยะทาง<br>จากเสา<br>D <sub>T</sub> (km) | ระยะทาง<br>จากแนวสายส่ง<br>D <sub>L</sub> (km) | ระยะห่างจาก<br>ฟ้าผ่าถึงเสาส่ง<br>X (m) | เฟสที่มีโอกาส<br>ฟ้าผ่าเข้ามา | ชนิดการ<br>วาบไฟ |
| 118/3A                       |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                | 158                                     | A                             |                  |
| C-C                          | C   | 26/3/2005         | 26/3/2005   |                                           |               |                           |                                          |                                                |                                         |                               |                  |
| A-A                          |     | 17:59             | 10:59       | 10:51:28.391                              | -07:31.609    | -10.7                     | 0.77                                     | 0.52                                           | 148 -118                                | C                             | ระบุไม่ได้       |
| B-B                          |     |                   |             |                                           |               |                           |                                          |                                                | 118 >                                   | G                             |                  |



ภาพที่ 57 เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เป็นไปได้และเสาส่งที่เกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง 115kV KLA-CT



ภาพที่ 58 เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เป็นไปได้และเสาส่งที่เกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง 230kV AT2-TL3



ภาพที่ 59 เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เป็นไปได้และเสาส่งที่เกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง 500kV SNO-WN#3

### 3.2.1 หาดำแหน่งที่เกิดการวับไฟตามผิวของลูกถ้วยในสายส่งด้วยวิธี

ใช้ข้อมูลจากแผนกสมรรถนะระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลบันทึกของหน่วยงานที่ดำเนินการแก้ไขเหตุการณ์ขัดข้อง ทำให้ทราบ ตำแหน่งของเสาส่งและเฟสที่เกิดฟ้าผ่า รวมถึงวัน เวลาที่เกิดเหตุการณ์ขัดข้อง โดยมีบันทึกการทำงานของรีเลย์ระบุในข้อมูลของตารางที่ 1 ด้วยเช่นกัน

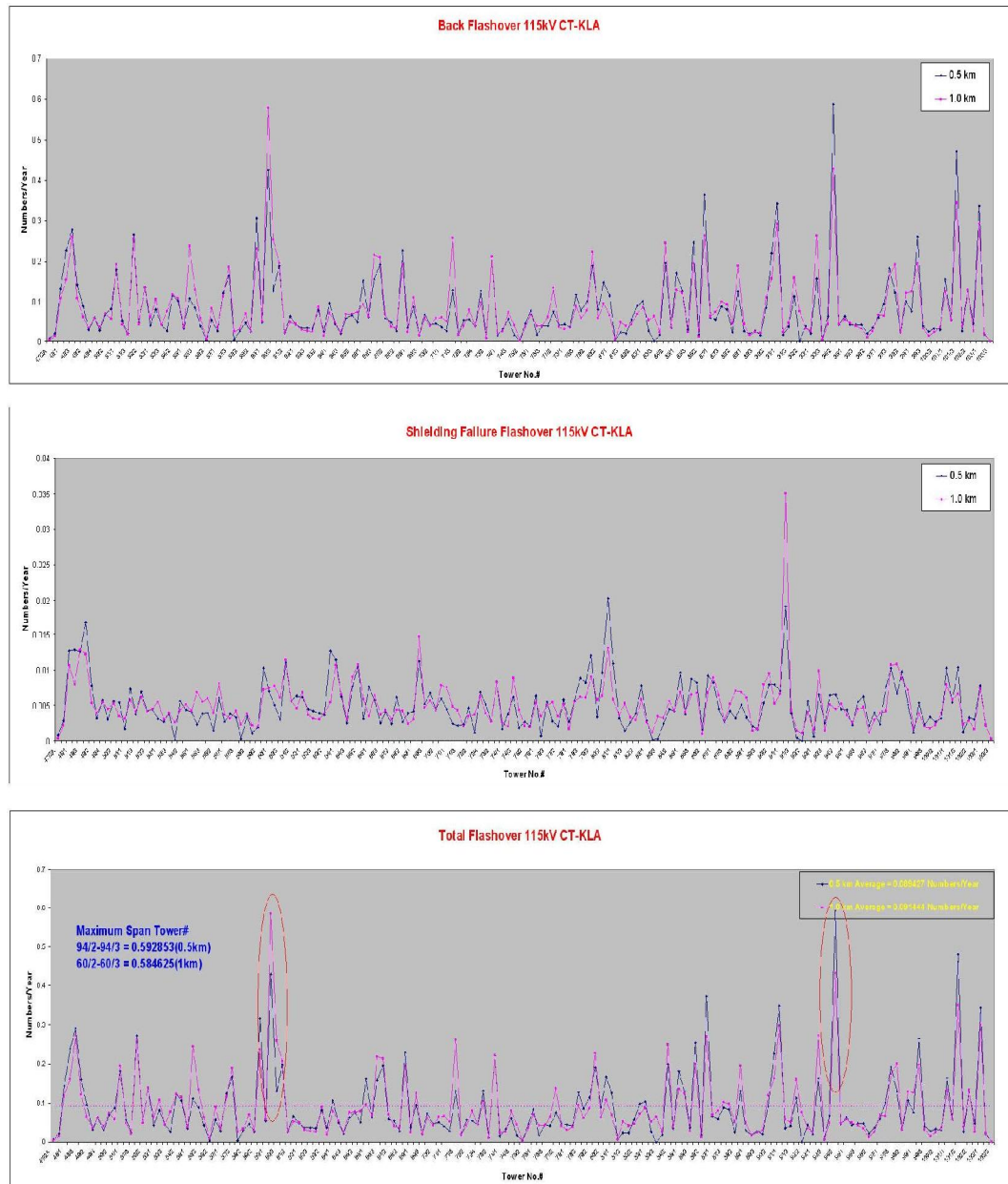
### 3.3 คำนวณสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งจากข้อมูลการออกแบบที่หาได้

#### 3.3.1 รวบรวมข้อมูลที่ใช้เป็นในการคำนวณสมรรถนะฟ้าผ่า

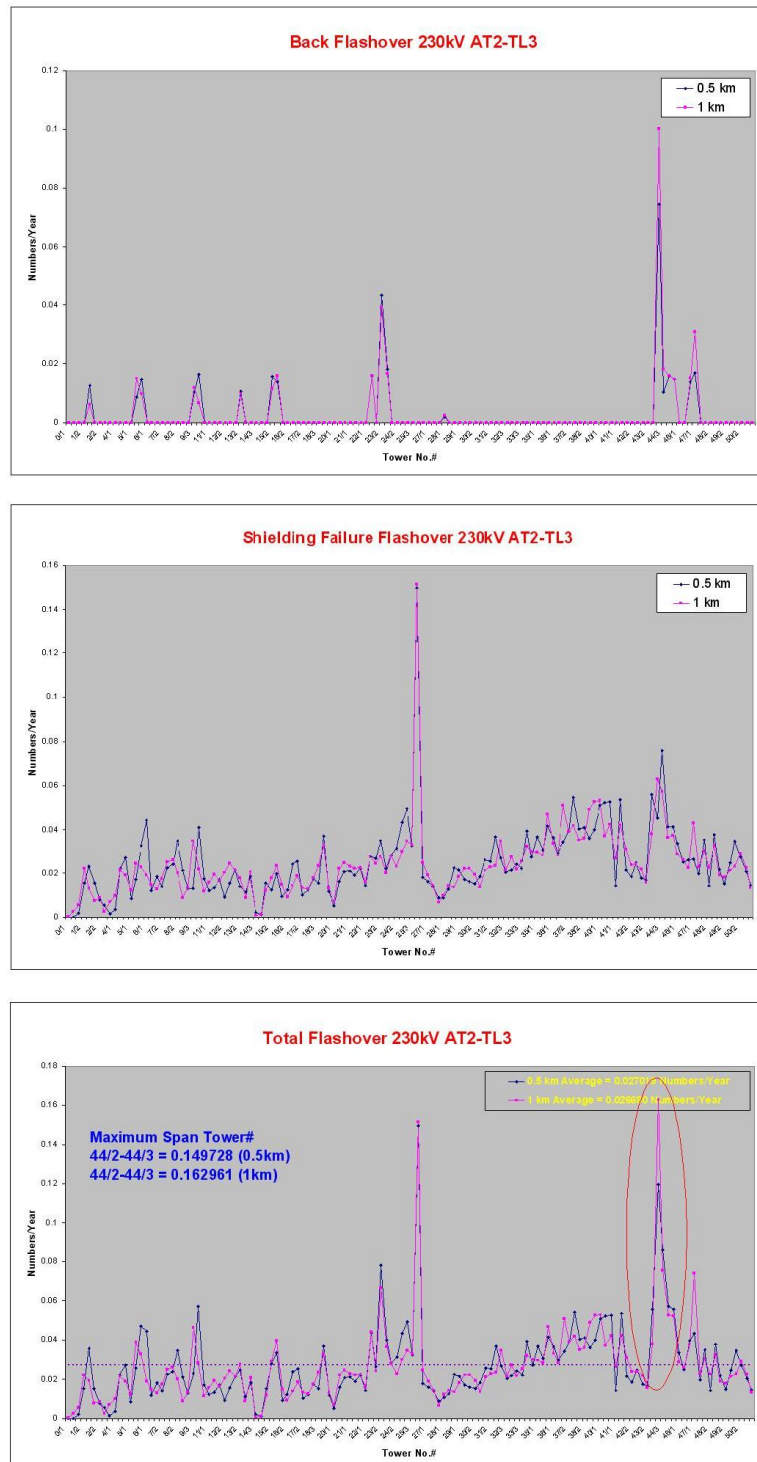
ในที่นี้ใช้ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบจากหน่วยงานกองวิศวกรรมสายส่ง โดยใช้แบบ Structure list, Insulators and Hardwares list, List of Ground Electrodes ของทั้ง 3 สายส่ง เป็นข้อมูลรายละเอียดของเสาส่งร่วมกับการใช้ข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้ของแต่ละช่วงเสา จากข้อ 2.2 (ภาคผนวกที่ 1) กำหนดเข้าในโปรแกรม TFlash version 3.0.21 เพื่อคำนวณ สมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งทั้งหมด

ตารางที่ 11 สมรรถนะฟ้าผ่าของทั้ง 3 สายส่งคำนวณจากโปรแกรม TFlash

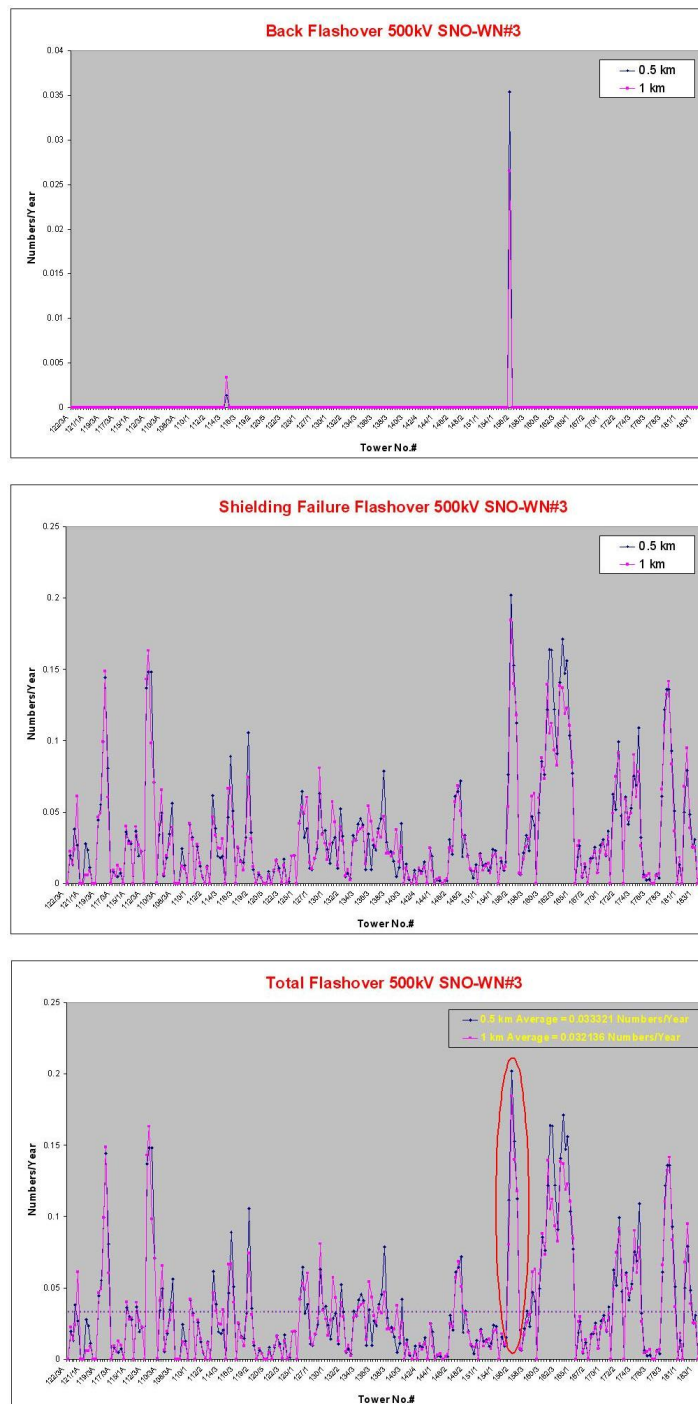
| สายส่ง            | ระยะห่างจากแนวถึงกลางสายส่ง |                          |                            | ระยะห่างจากแนวถึงกลางสายส่ง |                          |                            |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|
|                   | 0.5 กิโลเมตร                |                          |                            | 1.0 กิโลเมตร                |                          |                            |
|                   | SFO<br>(ครั้ง/ปี/100 km)    | BFO<br>(ครั้ง/ปี/100 km) | Total<br>(ครั้ง/ปี/100 km) | SFO<br>(ครั้ง/ปี/100 km)    | BFO<br>(ครั้ง/ปี/100 km) | Total<br>(ครั้ง/ปี/100 km) |
| 115 kV<br>KLA-CT  | 1.546                       | 25.401                   | 26.947                     | 1.569                       | 25.986                   | 27.555                     |
| 230kV<br>AT2-TL3  | 6.349                       | 0.640                    | 6.989                      | 6.208                       | 0.694                    | 6.902                      |
| 500kV<br>SNO-WN#3 | 9.329                       | 0.041                    | 9.370                      | 9.004                       | 0.033                    | 9.037                      |



ภาพที่ 60 สมรรถนะฟ้าผ่าของแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 115kV KLA-CT



ภาพที่ 61 สมรรถนะฟ้าผ่าของแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 230kV AT2-TL3



ภาพที่ 62 สมรรถนะฟ้าผ่าของแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 500kV SNO-WN#3

สำหรับรายละเอียดผลสมรรถนะของแต่ละช่วงเสาทั้ง 3 สายส่ง แสดงไว้ในภาคผนวกที่ ข (ตารางผนวกที่ ข1 - ข3)

### 3.3.2 ผลจากคำนวณสมรรถนะฟ้าผ่า

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบเหตุการณ์ขัดข้องที่ได้จากการคำนวณและเกิดขึ้นจริง

| สายส่ง            | เหตุการณ์เกิดขึ้นจริง<br>(ตารางที่5) | เหตุการณ์จากการคำนวณ<br>(ตารางที่11 - ระยะห่าง 1 กม.) | จำนวนเท่าความแตกต่าง |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|
| 115 kV<br>KLA-CT  | 6.7754 – BFO                         | 27.555 – BFO                                          | 4.067                |
| 230kV<br>AT2-TL3  | 1.9450 – BFO, SFO                    | 6.902 – BFO, SFO                                      | 3.549                |
| 500kV<br>SNO-WN#3 | 0.2232 – SFO                         | 9.037 – SFO                                           | 40.488               |

เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างการคำนวณและเหตุการณ์จริงมาก จึงต้องใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบสายส่งของหน่วยงานปฏิบัติการเขตภาคกลาง ซึ่งในที่นี้มีเฉพาะข้อมูลของสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรีปี พ.ศ.2547 เท่านั้น (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ ค ตารางผนวกที่ ค1) จึงได้ทำการแก้ไขค่าความต้านทานที่ฐานเสาในโปรแกรม TFlash version 3.0.21 และเปรียบเทียบเฉพาะปี พ.ศ.2548 เนื่องจากความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ได้เป็นของปี พ.ศ.2548

ตารางที่ 13 สมรรถนะฟ้าผ่าหลังจากใช้ข้อมูลสำรวจของสายส่ง 115kV KLA-CT

| ค่าความต้านทานที่ฐานเสา     | เหตุการณ์เกิดขึ้นจริง<br>(พ.ศ.2548)<br>(ครั้ง/ปี/100 km) | เหตุการณ์จากการคำนวณ<br>(ครั้ง/ปี/100 km) | จำนวนเท่าความแตกต่าง |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| ค่าที่สำรวจได้ปี พ.ศ.2547   | 10.698                                                   | 15.660                                    | 1.464                |
| ค่าหลังจากปรับปรุง พ.ศ.2547 |                                                          | 14.650                                    | 1.369                |

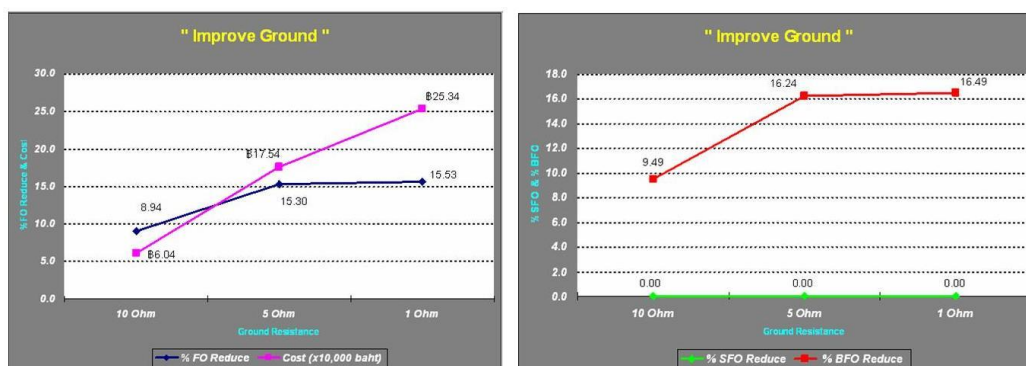
### 3.3.3 ระบุค่าอัตราความขัดข้องทางไฟฟ้าที่เป็นเป้าหมายและระบุข้อจำกัดของต้นทุนที่ใช้

เลือกข้อจำกัดของต้นทุนเป็นเงิน 1 ล้านบาท ระบุเป้าหมายอัตราความขัดข้องเป็น 1 ครั้งต่อปี และเลือกเป้าหมายจากจำนวนเงินต่อการลดลงของเหตุการณ์ขัดข้องที่ให้ประสิทธิผลมากที่สุดแทน โดยเลือกปรับปรุงเฉพาะสายส่งซึ่งมีค่าความขัดข้องเนื่องจาก

ฟ้าผ่าเฉลี่ยมากที่สุดจากตารางที่ 5 จึงเลือกปรับปรุงสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี และเป็นสายส่งที่มีข้อมูลใกล้เคียงค่าสำรวจจริง

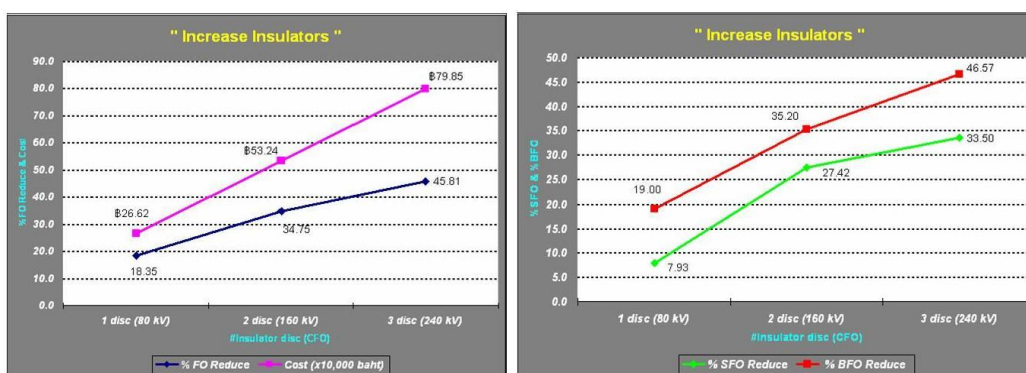
### 3.4 หาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่ง

ค่าความต้านทานฐานเสา - มีการปรับปรุงค่าเป็น 10, 5, 1 โอห์ม ราคาของชุด Ground rod เท่ากับ 350 บาทและชุด Ground rod with Counterpoise เท่ากับ 648 บาท



ภาพที่ 63 ผลกระทบต่อสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานฐานเสา

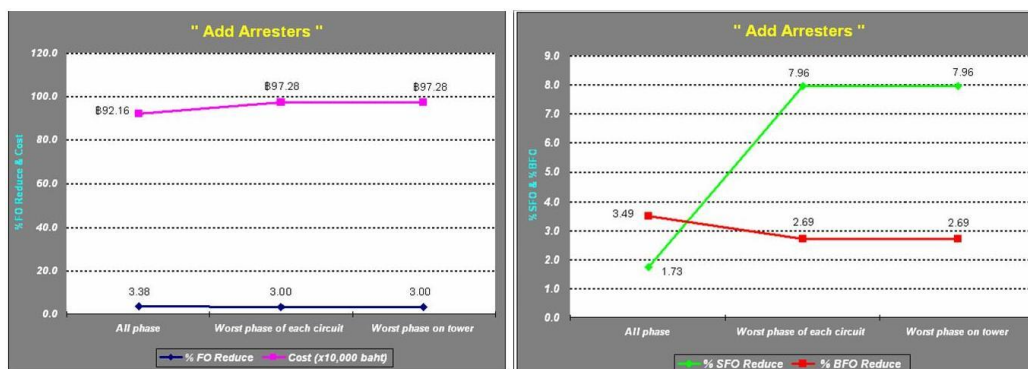
ค่า CFO ของฉนวน - เพิ่มค่านี้โดยเพิ่มจำนวนลูกถ้วย type 52-3 (CFO = 80kV) ราคาลูกถ้วย 525 บาท จำนวน 1, 2, 3 ลูก



ภาพที่ 64 ผลกระทบต่อสมรรถนะฟ้าผ่าสายส่งจากการเปลี่ยนแปลงค่าฉนวน

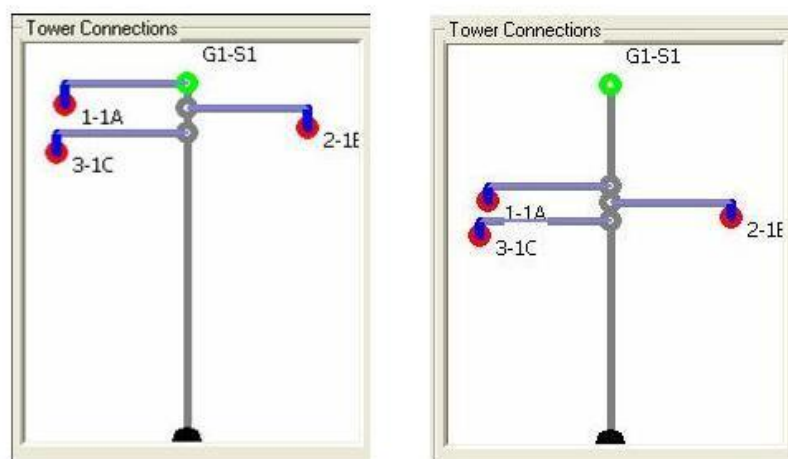
การเพิ่ม Arrestor - ช่วยลดแรงดันเกินของลูกถ้วยได้โดยตรง แต่เนื่องด้วยราคาสูง ในที่นี้ใช้ NGK Arrestor ราคาประมาณชุดละ 51,200 บาท จึงต้องเลือกติดตั้งเฉพาะบางต้นบางเฟสที่มีปัญหา

เท่านั้น วิธีเลือกติดตั้งใช้วิธีจาก TFlash version 4.0.223 มีอยู่ 3 แบบ คือ ติดตั้งทุกเฟสของเสาส่ง ติดตั้งเฉพาะเฟสที่มีปัญหาที่สุดของแต่ละวงจร และติดตั้งเฉพาะเฟสที่มีปัญหาที่สุดของแต่ละเสาส่ง เนื่องจากสายส่ง 115 kV KLA-CT เป็นวงจรเดี่ยว วิธีติดตั้งสองแบบหลังจึงให้ผลเหมือนกัน

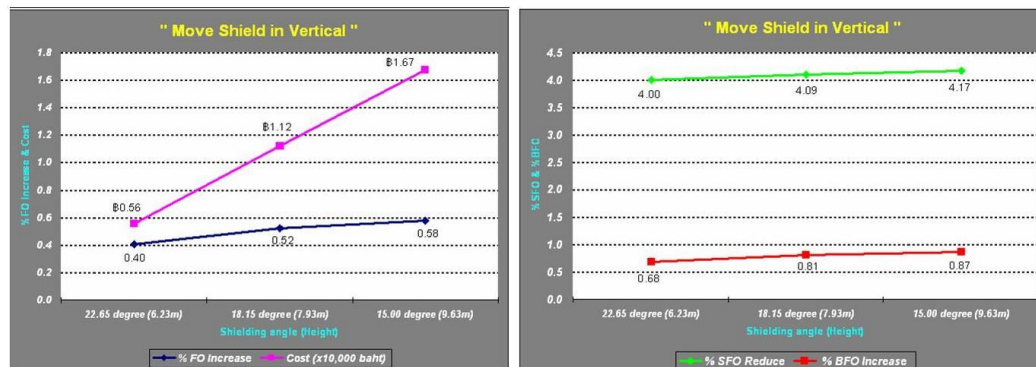


ภาพที่ 65 ผลกระทบสมรรถนะไฟฟ้าสายส่งจากการติดตั้งอะเรสเตอร์

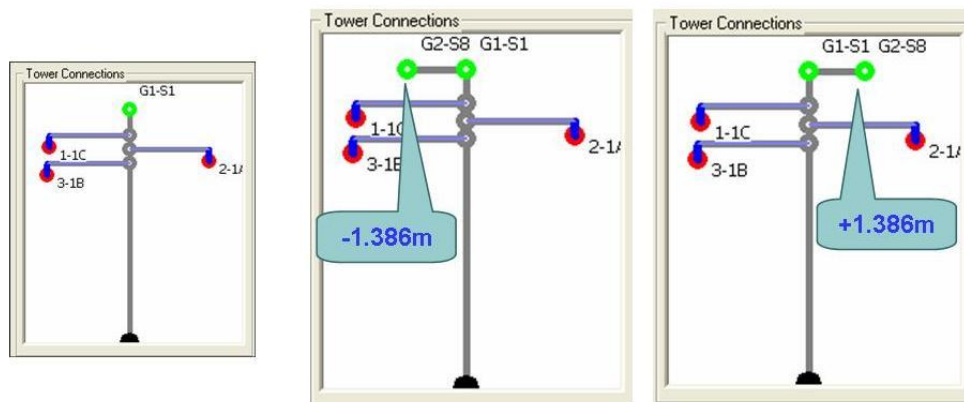
มุมป้องกัน (Shielding angle) - ช่วยป้องกันไม่ให้ฟ้าผ่าเข้ามาสายเฟสโดยตรง เดิมเป็นมุม  $30^\circ$  ลดมุมลงเหลือ  $15^\circ$  ด้วย 2 วิธี คือ ย้ายสายชิลด์โดยเพิ่มความสูงของเสาอีก 9.63 เมตร คิดเป็นเงินประมาณ 16,739 บาท มุมป้องกันนี้จะลดลงเป็นที่ละชั้นคือ  $22.65^\circ$ ,  $18.15^\circ$ ,  $15^\circ$  ตามลำดับ สำหรับอีกวิธีคือการเพิ่มสายชิลด์อีกเส้นจากเส้นเดิมเป็นระยะห่าง 1.386 เมตร ไปทางซ้าย(-) หรือ ขวา(+) คิดเป็นเงินของสายชิลด์รวมหลักประมาณ 6,443 + 8,410 บาท การเพิ่มจะเพิ่มที่ละเส้นทีละด้าน จึงเป็น 1W (-1.386, +1.386), 2W (+-1.386, +-1.386)



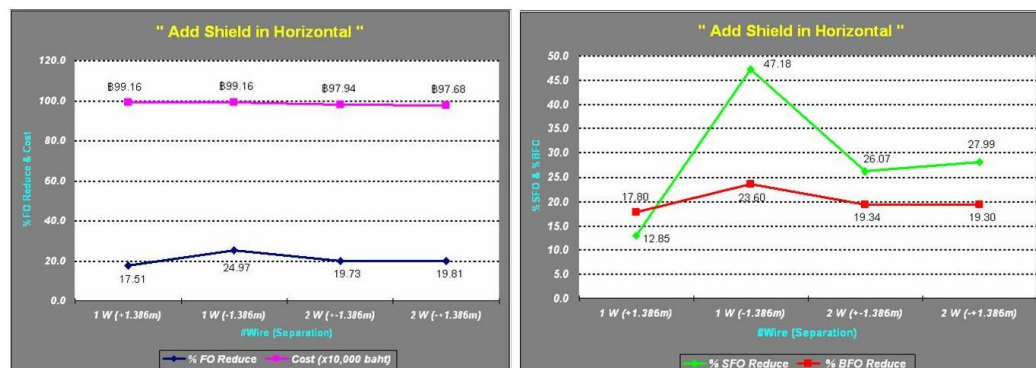
ภาพที่ 66 วิธีการย้ายสายชิลด์ให้สูงขึ้นของโปรแกรม TFlash



ภาพที่ 67 ผลกระทบสมรรถนะไฟฟ้าจากการย้ายสายชิลด์ให้สูงขึ้น



ภาพที่ 68 การเพิ่มสายชิลด์ด้วยโปรแกรม TFlash



ภาพที่ 69 ผลกระทบสมรรถนะไฟฟ้าจากการเพิ่มสายชิลด์

### 3.5 ประเมินวิธีการปรับปรุงที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุด

#### 3.5.1 ระบุทางเลือกที่เป็นไปได้ในการปรับปรุง

จากตัวแปรที่มีผลกระทบสมรรถนะฟ้าผ่าในข้อ 3.4 จึงเลือกใช้วิธีปรับปรุง 4 วิธี คือ

- ปรับปรุงค่าความต้านทานฐานเสาเหลือ 10, 5 โอห์ม
- เพิ่มลูกถ้วย 1, 2 ลูก (CFO = 80, 160 kV)
- ติดตั้งอะเรสเตอร์ทุกเฟสและติดตั้งเฉพาะเฟสที่มีปัญหาที่สุด
- เพิ่มสายชีลด์ 1 เส้นทางด้านซ้าย (-1.386 เมตร)

#### 3.5.2 คำนวณสมรรถนะฟ้าผ่าใหม่จากแต่ละทางเลือกที่ปรับปรุง

ใช้วิธีการ Optimizer of TFlash version 4.0.22 เพื่อสร้างทางเลือกจากวิธีปรับปรุงในข้อ 3.5.1 โดยเลือกใช้ทีละ 4 วิธี (รูปแบบที่1-8), 3 วิธี (รูปแบบที่9-28), 2 วิธี (รูปแบบที่ 29-46) ทำให้ได้รูปแบบทั้งหมด 46 รูปแบบ

ตารางที่ 14 รูปแบบทั้งหมดที่ใช้ปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่า

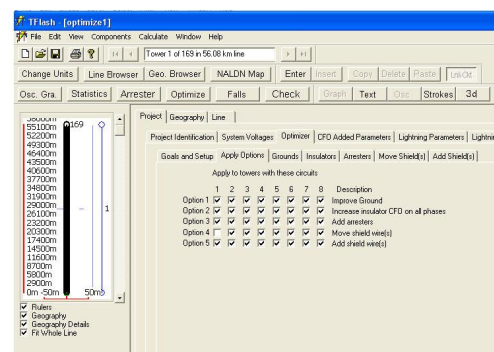
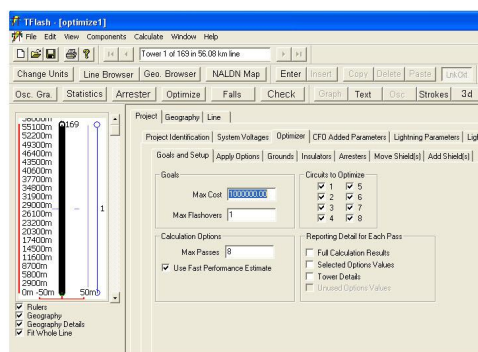
| รูปแบบที่ | วิธีการ                                                  |
|-----------|----------------------------------------------------------|
| 1         | 10 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester worst phase+ 1W Shield  |
| 2         | 5 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester worst phase+ 1W Shield   |
| 3         | 10 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester all phase+ 1W Shield    |
| 4         | 5 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester all phase+ 1W Shield     |
| 5         | 10 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester worst phase+ 1W Shield |
| 6         | 5 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester worst phase+ 1W Shield  |
| 7         | 10 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester all phase+ 1W Shield   |
| 8         | 5 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester all phase+ 1W Shield    |
| 9         | 10 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester worst phase             |
| 10        | 5 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester worst phase              |
| 11        | 10 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester all phase               |
| 12        | 5 ohm+1Insulator(80kV)+Arrester all phase                |
| 13        | 10 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester worst phase            |

ตารางที่ 14 (ต่อ)

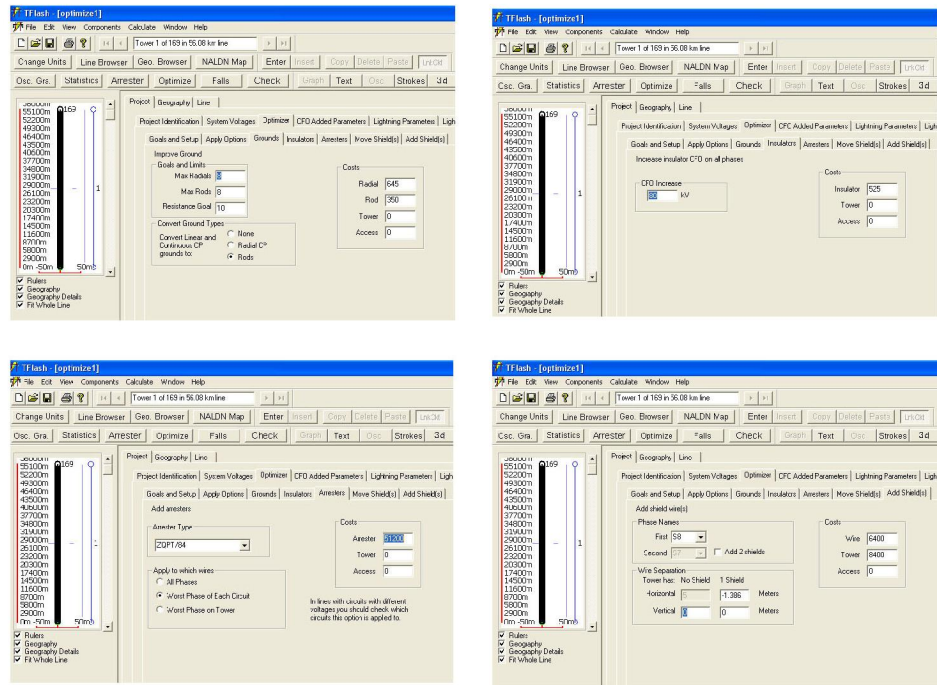
| รูปแบบที่ | วิธีการ                                          |
|-----------|--------------------------------------------------|
| 14        | 5 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester worst phase     |
| 15        | 10 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester all phase      |
| 16        | 5 ohm+2Insulator(160kV)+Arrester all phase       |
| 17        | 1Insulator(80kV)+Arrester worst phase+1W Shield  |
| 18        | 2Insulator(160kV)+Arrester worst phase+1W Shield |
| 19        | 1Insulator(80kV)+Arrester all phase+1W Shield    |
| 20        | 2Insulator(160kV)+Arrester all phase+1W Shield   |
| 21        | Arrester worst phase+1W Shield+10ohm             |
| 22        | Arrester worst phase+1W Shield+5ohm              |
| 23        | Arrester all phase+1W Shield+10ohm               |
| 24        | Arrester all phase+1W Shield+5ohm                |
| 25        | 1W Shield+10 ohm+1Insulator(80kV)                |
| 26        | 1W Shield+5 ohm+1Insulator(80kV)                 |
| 27        | 1W Shield+10 ohm+2Insulator(160kV)               |
| 28        | 1W Shield+10 ohm+2Insulator(160kV)               |
| 29        | 10 ohm+1Insulator(80kV)                          |
| 30        | 5 ohm+1Insulator(80kV)                           |
| 31        | 10 ohm+2Insulator(160kV)                         |
| 32        | 5 ohm+2Insulator(160kV)                          |
| 33        | 10 ohm+Arrester worst phase                      |
| 34        | 5 ohm+Arrester worst phase                       |
| 35        | 10 ohm+Arrester all phase                        |
| 36        | 5 ohm+Arrester all phase                         |
| 37        | 10 ohm+1W Shield                                 |
| 38        | 5 ohm+1W Shield                                  |
| 39        | 1Insulator(80kV)+Arrester worst phase            |

ตารางที่ 14 (ต่อ)

| รูปแบบที่ | วิธีการ                                |
|-----------|----------------------------------------|
| 40        | 2Insulator(160kV)+Arrester worst phase |
| 41        | 1Insulator(80kV)+Arrester all phase    |
| 42        | 2Insulator(160kV)+Arrester all phase   |
| 43        | 1Insulator(80kV)+1W Shield             |
| 44        | 2Insulator(160kV)+1W Shield            |
| 45        | Arrester worst phase+1W Shield         |
| 46        | Arrester all phase+1W Shield           |



ภาพที่ 70 การกำหนดเป้าหมาย,เงินทุนและทางเลือกปรับปรุงสมรรถนะใน Optimizer of TFlash



ภาพที่ 71 การกำหนดค่าและราคาในวิธีการทั้ง 4 วิธี

### 3.5.3 แสดงการวิเคราะห์ผลประโยชน์และต้นทุนที่ให้ประสิทธิผลมากที่สุด

ตารางที่ 15 ผลที่ได้จากการ Optimization โดยใช้ 4 วิธี

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้จากการ Optimize | จำนวนชิ้นที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน (บาท) | % การลดลงของสมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|---------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km |                           |                       |                   | SFO                      | BFO    | FO     |           |
| 1      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.423     | 7.232 | 7.655 | 13.649   | Ground                    | 35                    | 56,040            | -48.37                   | -45.57 | -45.73 | 21,864.85 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 167                   | 263,025           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 46                    | 680,800           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                       | 999,865           |                          |        |        |           |
| 2      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.418     | 6.558 | 6.975 | 12.437   | Ground                    | 86                    | 173,075           | -49.01                   | -50.64 | -50.55 | 19,753.36 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 167                   | 263,025           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 38                    | 562,400           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                       | 998,500           |                          |        |        |           |
| 3      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.423     | 7.232 | 7.655 | 13.649   | Ground                    | 35                    | 56,040            | -48.37                   | -45.57 | -45.73 | 21,864.85 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 167                   | 263,025           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 46                    | 680,800           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                       | 999,865           |                          |        |        |           |

ตารางที่ 15 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้ | จำนวนคัน<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km | Optimize   |                          |                      | SFO                          | BFO    | FO     |           |
| 4      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.418     | 6.558 | 6.975 | 12.437   | Ground     | 86                       | 173,075              | -49.01                       | -50.64 | -50.55 | 19,753.36 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator  | 167                      | 263,025              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield | 38                       | 562,400              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |            |                          | 998,500              |                              |        |        |           |
| 5      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.355     | 5.734 | 6.089 | 10.857   | Ground     | 39                       | 63,080               | -56.70                       | -56.84 | -56.83 | 17,508.05 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator  | 169                      | 532,350              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield | 27                       | 399,600              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |            |                          | 995,030              |                              |        |        |           |
| 6      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.358     | 5.578 | 5.936 | 10.583   | Ground     | 75                       | 156,785              | -56.34                       | -58.02 | -57.92 | 17,264.08 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator  | 169                      | 532,350              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield | 21                       | 310,800              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |            |                          | 999,935              |                              |        |        |           |
| 7      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.355     | 5.734 | 6.089 | 10.857   | Ground     | 39                       | 63,080               | -56.70                       | -56.84 | -56.83 | 17,508.05 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator  | 169                      | 532,350              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield | 27                       | 399,600              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |            |                          | 995,030              |                              |        |        |           |

ตารางที่ 15 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้         | จำนวนคัน<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km | จากการ<br>Optimize |                          |                      | SFO                          | BFO    | FO     |           |
| 8      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.358     | 5.578 | 5.936 | 10.583   | Ground             | 75                       | 156,785              | -56.34                       | -58.02 | -57.92 | 17,264.08 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator          | 169                      | 532,350              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield         | 21                       | 310,800              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                    |                          | 999,935              |                              |        |        |           |

ตารางที่ 16 ผลที่ได้จากการ Optimization โดยใช้ 3 วิธี

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |        |          | วิธีที่ได้         | จำนวนคัน<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|--------|----------|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO     | FO/100km | จากการ<br>Optimize |                          |                      | SFO                          | BFO    | FO     |           |
| 9      | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.694     | 9.630 | 10.324 | 18.408   | Ground             | 32                       | 54,990               | -15.36                       | -27.52 | -26.81 | 36,806.19 |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Insulator          | 169                      | 266,175              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Arrester           | 13                       | 665,600              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          |                    |                          | 986,765              |                              |        |        |           |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |        |          | วิธีที่ได้จากการ Optimize | จำนวนต้นที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน (บาท) | % การลดลงของสมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|--------|----------|---------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO     | FO/100km |                           |                      |                   | SFO                      | BFO    | FO     |           |
| 10     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.713     | 8.810 | 9.523  | 16.980   | Ground                    | 88                   | 178,235           | -12.97                   | -33.69 | -32.49 | 29,438.63 |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Insulator                 | 169                  | 266,175           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Arrester                  | 10                   | 512,000           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          |                           |                      | 956,410           |                          |        |        |           |
| 11     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.737     | 9.846 | 10.583 | 18.870   | Ground                    | 31                   | 54,345            | -10.05                   | -25.89 | -24.97 | 37,440.83 |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Insulator                 | 169                  | 266,175           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Arrester                  | 4                    | 614,400           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          |                           |                      | 934,920           |                          |        |        |           |
| 12     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.743     | 8.671 | 9.414  | 16.785   | Ground                    | 88                   | 178,235           | -9.37                    | -34.74 | -33.26 | 27,213.99 |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Insulator                 | 169                  | 266,175           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Arrester                  | 3                    | 460,800           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          |                           |                      | 905,210           |                          |        |        |           |
| 13     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.563     | 7.802 | 8.365  | 14.916   | Ground                    | 36                   | 60,795            | -31.28                   | -41.28 | -40.69 | 23,382.80 |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Insulator                 | 169                  | 532,350           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          | Arrester                  | 7                    | 358,400           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |        |          |                           |                      | 951,545           |                          |        |        |           |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้จากการ Optimize | จำนวนต้นที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน (บาท) | % การลดลงของสมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|---------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km |                           |                      |                   | SFO                      | BFO    | FO     |           |
| 14     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.575     | 7.296 | 7.871 | 14.034   | Ground                    | 76                   | 159,365           | -29.82                   | -45.09 | -44.20 | 22,600.40 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 169                  | 532,350           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Arrester                  | 6                    | 307,200           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 998,915           |                          |        |        |           |
| 15     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.589     | 7.812 | 8.401 | 14.979   | Ground                    | 36                   | 60,795            | -28.13                   | -41.20 | -40.44 | 22,262.60 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 169                  | 532,350           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Arrester                  | 2                    | 307,200           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 900,345           |                          |        |        |           |
| 16     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.590     | 7.333 | 7.924 | 14.128   | Ground                    | 76                   | 159,365           | -27.95                   | -44.80 | -43.83 | 22,792.81 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 169                  | 532,350           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Arrester                  | 2                    | 307,200           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 998,915           |                          |        |        |           |
| 17     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.430     | 8.406 | 8.835 | 15.753   | Insulator                 | 169                  | 266,175           | -47.58                   | -36.73 | -37.36 | 26,533.33 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 49                   | 725,200           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 991,375           |                          |        |        |           |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้         | จำนวนต้น<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km | จากการ<br>Optimize |                          |                      | SFO                          | BFO    | FO     |           |
| 18     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.313     | 6.576 | 6.889 | 12.284   | Insulator          | 169                      | 532,350              | -61.77                       | -50.51 | -51.16 | 19,373.71 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield         | 31                       | 458,800              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                    |                          | 991,150              |                              |        |        |           |
| 19     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.430     | 8.406 | 8.835 | 15.753   | Insulator          | 169                      | 266,175              | -47.58                       | -36.73 | -37.36 | 26,533.33 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield         | 49                       | 725,200              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                    |                          | 991,375              |                              |        |        |           |
| 20     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.313     | 6.576 | 6.889 | 12.284   | Insulator          | 169                      | 532,350              | -61.77                       | -50.51 | -51.16 | 19,373.71 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield         | 31                       | 458,800              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                    |                          | 991,150              |                              |        |        |           |
| 21     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.402     | 8.243 | 8.645 | 15.414   | Ground             | 44                       | 65,420               | -50.88                       | -37.96 | -38.71 | 25,775.32 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield         | 63                       | 932,400              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                    |                          | 997,820              |                              |        |        |           |
| 22     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.447     | 8.281 | 8.728 | 15.562   | Ground             | 75                       | 169,445              | -45.44                       | -37.67 | -38.12 | 26,185.17 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield         | 56                       | 828,800              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                    |                          | 998,245              |                              |        |        |           |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้จากการ Optimize | จำนวนต้นที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน (บาท) | % การลดลงของสมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|---------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km |                           |                      |                   | SFO                      | BFO    | FO     |           |
| 23     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.402     | 8.243 | 8.645 | 15.414   | Ground                    | 44                   | 65,420            | -50.88                   | -37.96 | -38.71 | 25,775.32 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 63                   | 932,400           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 997,820           |                          |        |        |           |
| 24     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.447     | 8.281 | 8.728 | 15.562   | Ground                    | 75                   | 169,445           | -45.44                   | -37.67 | -38.12 | 26,185.17 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 56                   | 828,800           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 998,245           |                          |        |        |           |
| 25     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.423     | 7.232 | 7.655 | 13.649   | Ground                    | 35                   | 56,040            | -48.37                   | -45.57 | -45.73 | 21,864.85 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 167                  | 263,025           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 46                   | 680,800           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 999,865           |                          |        |        |           |
| 26     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.418     | 6.558 | 6.975 | 12.437   | Ground                    | 86                   | 173,075           | -49.01                   | -50.64 | -50.55 | 19,753.36 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 167                  | 263,025           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 38                   | 562,400           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 998,500           |                          |        |        |           |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |       |       |          | วิธีที่ได้จากการ Optimize | จำนวนต้นที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน (บาท) | % การลดลงของสมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|----------|---------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO   | FO    | FO/100km |                           |                      |                   | SFO                      | BFO    | FO     |           |
| 27     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.355     | 5.734 | 6.089 | 10.857   | Ground                    | 39                   | 63,080            | -56.70                   | -56.84 | -56.83 | 17,508.05 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 169                  | 532,350           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 27                   | 399,600           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 995,030           |                          |        |        |           |
| 28     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.358     | 5.578 | 5.936 | 10.583   | Ground                    | 75                   | 156,785           | -56.34                   | -58.02 | -57.92 | 17,264.08 |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Insulator                 | 169                  | 532,350           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          | Add shield                | 21                   | 310,800           |                          |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |       |       |          |                           |                      | 999,935           |                          |        |        |           |

ตารางที่ 17 ผลที่ได้จากการ Optimization โดยใช้ 2 วิธี

| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |        |        |          | วิธีที่ได้         | จำนวนต้น<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO   |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|--------|--------|----------|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------|--------|------------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | จากการ<br>Optimize |                          |                      | SFO                          | BFO    | FO     |            |
| 29     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.754     | 9.864  | 10.618 | 18.933   | Ground             | 31                       | 54,345               | -7.93                        | -25.76 | -24.72 | 12,964.56  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Insulator          | 169                      | 266,175              |                              |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 320,520              |                              |        |        |            |
| 30     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.754     | 8.690  | 9.444  | 16.839   | Ground             | 88                       | 178,235              | -7.93                        | -34.59 | -33.05 | 13,448.45  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Insulator          | 169                      | 266,175              |                              |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 444,410              |                              |        |        |            |
| 31     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.595     | 7.794  | 8.389  | 14.958   | Ground             | 36                       | 60,795               | -27.42                       | -41.33 | -40.53 | 14,636.28  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Insulator          | 169                      | 532,350              |                              |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 593,145              |                              |        |        |            |
| 32     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.595     | 7.305  | 7.900  | 14.085   | Ground             | 76                       | 159,365              | -27.42                       | -45.02 | -44.00 | 15,721.84  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Insulator          | 169                      | 532,350              |                              |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 691,715              |                              |        |        |            |
| 33     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.754     | 12.043 | 12.796 | 22.816   | Ground             | 36                       | 61,440               | -8.05                        | -9.36  | -9.28  | 105,899.75 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester           | 18                       | 921,600              |                              |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 983,040              |                              |        |        |            |

ตารางที่ 17 (ต่อ)

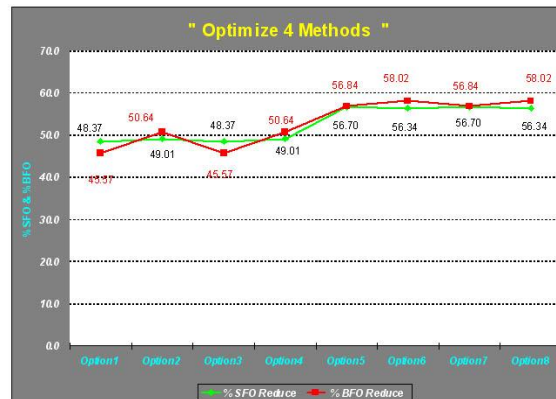
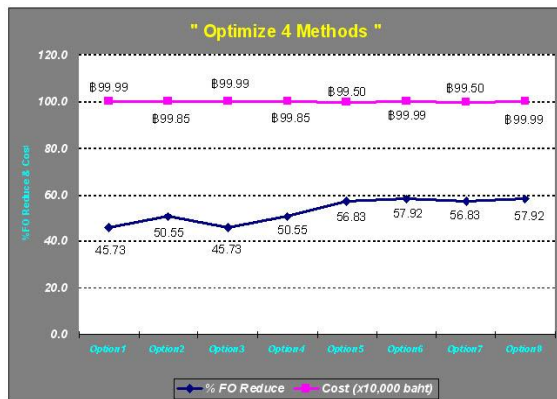
| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |        |        |          | วิธีที่ได้ | จำนวนต้น<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะฟ้าผ่า |        |        | Cost/%FO   |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|--------|--------|----------|------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|--------|--------|------------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | Optimize   |                          |                      | SFO                           | BFO    | FO     |            |
| 34     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.764     | 11.412 | 12.175 | 21.709   | Ground     | 77                       | 174,605              | -6.80                         | -14.11 | -13.69 | 72,619.22  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 16                       | 819,200              |                               |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |            |                          | 993,805              |                               |        |        |            |
| 35     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.805     | 11.998 | 12.803 | 22.829   | Ground     | 35                       | 60,150               | -1.76                         | -9.69  | -9.23  | 106,346.03 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 6                        | 921,600              |                               |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |            |                          | 981,750              |                               |        |        |            |
| 36     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.806     | 11.118 | 11.924 | 21.261   | Ground     | 77                       | 174,605              | -1.65                         | -16.32 | -15.47 | 60,950.81  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 5                        | 768,000              |                               |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |            |                          | 942,605              |                               |        |        |            |
| 37     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.402     | 8.243  | 8.645  | 15.414   | Ground     | 44                       | 65,420               | -50.88                        | -37.96 | -38.71 | 25,775.32  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Add shield | 63                       | 932,400              |                               |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |            |                          | 997,820              |                               |        |        |            |
| 38     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.447     | 8.281  | 8.728  | 15.562   | Ground     | 75                       | 169,445              | -45.44                        | -37.67 | -38.12 | 26,185.17  |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Add shield | 56                       | 828,800              |                               |        |        |            |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |            |                          | 998,245              |                               |        |        |            |

ตารางที่ 17 (ต่อ)

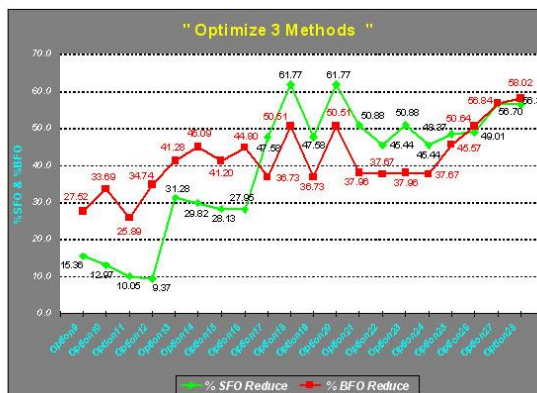
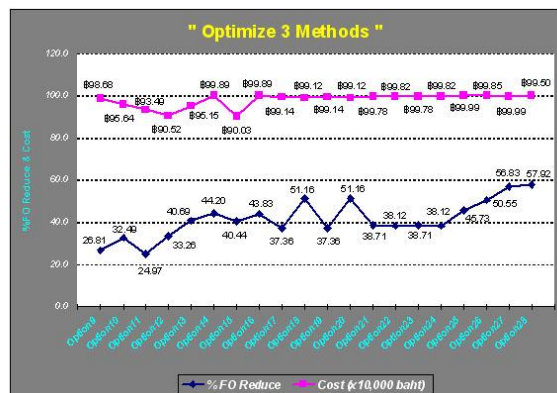
| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |        |        |          | วิธีที่ได้ | จำนวนต้น<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะฟ้าผ่า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|--------|--------|----------|------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | Optimize   |                          |                      | SFO                           | BFO    | FO     |           |
| 39     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.695     | 10.369 | 11.064 | 19.727   | Insulator  | 169                      | 266,175              | -15.24                        | -21.96 | -21.57 | 45,580.64 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 14                       | 716,800              |                               |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | 982,975    |                          |                      |                               |        |        |           |
| 40     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.562     | 8.259  | 8.821  | 15.728   | Insulator  | 169                      | 532,350              | -31.37                        | -37.84 | -37.47 | 26,508.71 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 9                        | 460,800              |                               |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | 993,150    |                          |                      |                               |        |        |           |
| 41     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.742     | 10.440 | 11.182 | 19.938   | Insulator  | 169                      | 266,175              | -9.46                         | -21.42 | -20.72 | 42,489.62 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 4                        | 614,400              |                               |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | 880,575    |                          |                      |                               |        |        |           |
| 42     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.591     | 8.383  | 8.974  | 16.001   | Insulator  | 169                      | 532,350              | -27.93                        | -36.90 | -36.38 | 27,298.65 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Arrester   | 3                        | 460,800              |                               |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | 993,150    |                          |                      |                               |        |        |           |
| 43     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.430     | 8.406  | 8.835  | 15.753   | Insulator  | 169                      | 266,175              | -47.58                        | -36.73 | -37.36 | 26,533.33 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Add shield | 49                       | 725,200              |                               |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | 991,375    |                          |                      |                               |        |        |           |

ตารางที่ 17 (ต่อ)

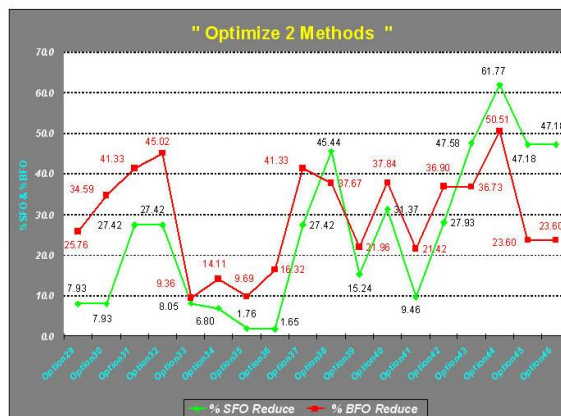
| รูปแบบ | ก่อนแก้ไข |        |        |          | หลังแก้ไข |        |        |          | วิธีที่ได้         | จำนวนต้น<br>ที่ต้องแก้ไข | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |        |        | Cost/%FO  |
|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------|--------|--------|----------|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------|--------|-----------|
|        | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | SFO       | BFO    | FO     | FO/100km | จากการ<br>Optimize |                          |                      | SFO                          | BFO    | FO     |           |
| 44     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.313     | 6.576  | 6.889  | 12.284   | Insulator          | 169                      | 532,350              | -61.77                       | -50.51 | -51.16 | 19,373.71 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          | Add shield         | 31                       | 458,800              |                              |        |        |           |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 991,150              |                              |        |        |           |
| 45     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.433     | 10.150 | 10.583 | 18.870   | Add shield         | 67                       | 991,600              | -47.18                       | -23.60 | -24.97 | 39,706.33 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 991,600              |                              |        |        |           |
| 46     | 0.819     | 13.286 | 14.106 | 25.151   | 0.433     | 10.150 | 10.583 | 18.870   | Add shield         | 67                       | 991,600              | -47.18                       | -23.60 | -24.97 | 39,706.33 |
|        |           |        |        |          |           |        |        |          |                    |                          | 991,600              |                              |        |        |           |



ภาพที่ 72 กราฟแสดงสมรรถนะไฟฟ้าที่ลดลงจากการ Optimization 4 วิธี



ภาพที่ 73 กราฟแสดงสมรรถนะไฟฟ้าที่ลดลงจากการ Optimization 3 วิธี



ภาพที่ 74 กราฟแสดงสมรรถนะไฟฟ้าที่ลดลงจากการ Optimization 2 วิธี

### 3.5.4 เลือกทางเลือกที่ทำให้การปรับปรุงเกิดประสิทธิผลมากที่สุด

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบทางเลือกที่ให้ประสิทธิผลที่สุด

| รูปแบบ | % การลดลงของ<br>สมรรถนะไฟฟ้า |               |               | จำนวนเสาที่ต้องปรับปรุง |           |            | ต้นทุน (บาท)                |           |            |         | Cost/%FO         | Remark                                                                                       |
|--------|------------------------------|---------------|---------------|-------------------------|-----------|------------|-----------------------------|-----------|------------|---------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | SFO                          | BFO           | FO            | Ground                  | Insulator | Add shield | Cost                        | Cost      | Cost       | Sum     |                  |                                                                                              |
|        |                              |               |               |                         |           |            | Ground                      | Insulator | Add shield | Cost    |                  |                                                                                              |
| 29     | -7.93                        | -25.76        | -24.72        | 31                      | 169       | -          | 54,345                      | 266,175   | -          | 320,520 | <b>12,964.56</b> | Cost/%FO น้อยที่สุด                                                                          |
| 29-1   | -7.93                        | -34.58        | -33.03        | 10Ω - 31<br>5Ω - 72     | 169       | -          | 10Ω - 54,345<br>5Ω -112,280 | 266,175   | -          | 432,800 | 13,103.63        | เนื่องจากรูปแบบที่ 29 มีต้นทุนรวมไม่ถึง 1 ล้านบาท จึงปรับปรุงด้วยค่าความต้านดิน 5Ω เพิ่มเติม |
| 6      | -56.34                       | <b>-58.02</b> | <b>-57.92</b> | 75                      | 169       | 21         | 156,785                     | 532,350   | 310,800    | 999,935 | 17,264.08        | %FO, %BFO ลดลงมากที่สุด                                                                      |
| 18     | <b>-61.77</b>                | -50.51        | -51.16        | -                       | 169       | 31         | -                           | 532,350   | 458800     | 991150  | 19,373.71        | %SFO ลดลงมากที่สุด                                                                           |

## วิจารณ์

### 1. ข้อมูลฟ้าผ่าเมฆลงดินของ EGAT LLS

จากการใช้โปรแกรม Arcview GIS ร่วมกับข้อมูลฟ้าผ่าแบบเมฆลงดินของ EGAT LLS ทำให้ได้แนวโน้มฟ้าผ่าในประเทศไทยของปี พ.ศ.2548 พบว่ามีความหนาแน่นมากในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กระแสฟ้าผ่าส่วนใหญ่จะเป็นฟ้าผ่าแบบลบ (~ 90%) มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง -40 kA สำหรับกระแสฟ้าผ่าแบบบวก (~ 10%) มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 20 kA พบในบริเวณภาคกลาง ค่ากระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่วัดได้คือ -223.0 kA, 233.9 kA มีความน่าจะเป็นของกราฟรูปร่างใกล้เคียงกับรูปแบบ IEEE แต่มีค่าความน่าจะเป็นต่ำกว่า สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือ

- ช่วงที่1 มกราคม-มีนาคม เป็นช่วงที่มีความหนาแน่นฟ้าฟ้าน้อยที่สุด เริ่มต้นที่ภาคเหนือ ตอนล่าง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และลงสู่ภาคกลาง จำนวนฟ้าผ่าและค่ากระแสฟ้าผ่าไม่สูงมาก
- ช่วงที่2 เมษายน-พฤษภาคม เป็นช่วงที่มีความหนาแน่นฟ้าผ่าและจำนวนฟ้าผ่ามากที่สุด โดยเฉพาะภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง
- ช่วงที่3 มิถุนายน-กันยายน เป็นช่วงที่มีความหนาแน่นฟ้าผ่าและจำนวนฟ้าฟ่าค่อนข้างสูง ใกล้เคียงกันทั้ง 4 เดือน
- ช่วงที่4 ตุลาคม-ธันวาคม เป็นช่วงที่มีความหนาแน่นฟ้าฟ่าลดลงเนื่องจากเข้าสู่ฤดูหนาว และฟ้าผ่าส่วนมากอยู่ในบริเวณอ่าวไทย

เมื่อนำสายส่งทั้ง 3 เส้นทางมาหาค่า GFD ของแต่ละช่วงเสาพบว่าทั้งระยะ 0.5 และ 1 กิโลเมตร ให้ค่าเฉลี่ย GFD ใกล้เคียงกัน สำหรับสายส่ง 230kV AT2-TL3, 500kV SNO-WN#3 มีค่าเฉลี่ย GFD ~ 14.5 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี และแนวสายส่ง 115kV KLA-CT มีค่าเฉลี่ย GFD ~ 7.5 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี

## 2. สมรรถนะฟ้าผ่าของทั้ง 3 แนวสายส่ง

เมื่อนำข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าย้อนหลัง 5 ปีของทั้ง 3 สายส่งพบว่า เหตุการณ์ส่วนมากไม่เกิดไฟดับ มีเพียงเหตุการณ์ Trip Recloser และตรวจพบการอาร์คที่ Arcing Horn หรือวาวไฟที่ถูกถ้วยเท่านั้น สภาพอกาศมีกระบวนว่ามีฟ้าผ่า ฝนตก สมรรถนะฟ้าผ่าของทั้ง 3 แนวสายส่งจากเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นย้อนหลัง 5 ปี ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ IEEE 1313.2-1999 สำหรับสายส่งที่มีจำนวนเหตุการณ์ขัดข้องเฉลี่ยมากที่สุด คือ 115kV KLA-CT (6.7754 ครั้งต่อปีต่อ 100 กิโลเมตร)

เพื่อให้แน่ใจว่าฟ้าผ่าจะเป็นสาเหตุของเหตุการณ์ขัดข้องจริง จึงนำข้อมูล EGAT LLS ในปี พ.ศ.2548 หาความสัมพันธ์เทียบกับเหตุการณ์ขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจริง และประเมินว่าเหตุการณ์ขัดข้องน่าจะเป็นการวาวไฟชนิดใดด้วยโปรแกรม TFlash พบว่า

- สายส่ง 115kV KLA-CT ไม่มีฟ้าผ่าเกิดขึ้นในระยะใกล้เสา ( $D_T$ ) แต่มีฟ้าผ่าใกล้แนวสายส่ง ( $D_L$ ) ในระยะหนึ่งกิโลเมตร การวาวไฟส่วนใหญ่เป็น Back Flashover
- สายส่ง 230kV AT2-TL3 มีฟ้าผ่าเกิดขึ้นระยะใกล้เสา ( $D_T$ ) และแนวสายส่ง ( $D_L$ ) ในระยะ 0.5 กิโลเมตร การวาวไฟเป็นทั้ง Back Flashover และ Shielding Failure
- สายส่ง 500kV SNO-WN#3 มีฟ้าผ่าเกิดขึ้นระยะใกล้เสา ( $D_T$ ) และแนวสายส่ง ( $D_L$ ) ในระยะหนึ่งกิโลเมตร การวาวไฟครั้งนี้ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นแบบใด

การหาสมรรถนะฟ้าผ่าจากการคำนวณด้วยโปรแกรม TFlash version 3.0.21 และข้อมูลความหนาแน่นฟ้าผ่าต่อพื้นที่ในแต่ละช่วงเสา โดยใช้รายละเอียดสายส่งจากการออกแบบเดิม พบว่าข้อมูลความหนาแน่นฟ้าผ่าที่ระยะ 0.5 กิโลเมตรให้ค่าสมรรถนะฟ้าผ่าใกล้เคียงกับระยะ 1 กิโลเมตร ถึงแม้จะมีบางช่วงเสาของที่ระยะ 0.5 กิโลเมตรให้ค่าความหนาแน่นฟ้าผ่าเป็นศูนย์ ขณะที่ระยะ 1 กิโลเมตรของช่วงเสาเดียวกันมีค่าความหนาแน่นฟ้าผ่าไม่เป็นศูนย์

สำหรับค่าสมรรถนะฟ้าผ่าจากการคำนวณของโปรแกรม TFlash version 3.0.21 พบว่าสายส่ง 115kV KLA-CT และ 500kV SNO-WN#3 มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ IEEE 1313.2-1999 นอกจากนี้ทั้ง 3 สายส่งยังมีค่าสมรรถนะฟ้าผ่าจากการคำนวณสูงกว่าเหตุการณ์ขัดข้องจริงค่อนข้างมากทำให้ต้องเลือกใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเพิ่มเติม เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

มีเพียงแนวเดียว คือ 115kV KLA-CT จึงเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ฐานเสาใหม่ให้เป็นไปตามจริง และเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ขัดข้องจริงเฉพาะปี พ.ศ. 2548 เท่านั้น ทำให้สมรรถนะฟ้าผ่าจากการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม TFlash version 3.0.21 มีจำนวนเท่าความแตกต่างลดลงเหลือเพียง 1.369 เท่า ซึ่งใกล้เคียงเหตุการณ์ขัดข้องจริงมากกว่า

### 3. การปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่า

การปรับปรุงสมรรถนะฟ้าผ่าด้วยโปรแกรม TFlash version 4.0.22 ซึ่งปรับปรุงเฉพาะสายส่ง 115kV KLA-CT เนื่องจากมีเหตุการณ์ขัดข้องเฉลี่ยมากที่สุด และสมรรถนะฟ้าผ่าของ TFlash ทั้งสองเวอร์ชันให้ค่าไม่เท่ากัน (Version 4.0.22 มีค่า 25.151 ครั้งต่อปีต่อ 100 กิโลเมตร ขณะที่ Version 3.0.21 มีค่า 14.650 ครั้งต่อปีต่อ 100 กิโลเมตร ) จึงเปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถนะฟ้าผ่าหลังการปรับปรุงเป็นการลดลงของค่า %BFO, %SFO, %FO

การเลือกแนวทางเพื่อปรับปรุงเลือกจากแนวโน้มผลกระทบของแต่ละแนวทาง พบว่า

- การลดค่าความต้านทานที่ฐานเสาช่วยลดค่า BFO อย่างเดียว และการลดความต้านทานเหลือ 1 โอห์ม ให้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างกับ 5 โอห์ม
- การเพิ่มค่า CFO โดยการเพิ่มฉนวนลูกถ้วยช่วยลดทั้งค่า BFO, SFO เลือกการเพิ่มเป็น 1, 2 ลูก เนื่องจากจำนวนลูกถ้วยเดิมที่ใช้ในสายส่งนี้มีจำนวนมากเพียงพอสำหรับระดับแรงดันนี้
- การติดตั้ง Arrester ช่วยลดทั้งค่า BFO, SFO การเลือกติดตั้งเฉพาะเฟสที่มีปัญหาจะช่วยลด SFO ได้มากกว่าการติดตั้งทุกเฟส
- การย้ายสายชิลด์ให้สูงขึ้นเพื่อลดมุมชิลด์จาก 30° เหลือ 15° ลดได้เฉพาะค่า SFO แต่ทำให้ BFO มีค่าสูงขึ้น จึงไม่เลือกแนวทางนี้ในการปรับปรุง
- การเพิ่มสายชิลด์เพื่อลดมุมชิลด์จาก 30° เหลือ 15° ช่วยลดทั้งค่า BFO, SFO โดยเฉพาะการเพิ่มสายชิลด์ทางด้านซ้ายจะลดได้มากกว่า เนื่องจากสามารถป้องกันสายเฟสได้ถึง 2 เฟส ดังนั้นจึงเลือกการเพิ่มสายชิลด์ทางด้านซ้ายเพียงวิธีเดียว

เมื่อเลือกแนวทางทั้งหมดเพื่อใช้ปรับปรุงได้ และ Optimization ครั้งละ 2, 3, 4 วิธี ทำให้ได้รูปแบบทั้งหมดที่แตกต่างกันถึง 46 รูปแบบ แต่หลังจากใช้โปรแกรม TFlash version 4.0.22 Optimizer แล้วพบว่าผลของทั้ง 46 รูปแบบนี้ซ้ำกันบางรูปแบบ เหลือผลที่ไม่ซ้ำกันเพียง

29 รูปแบบและ Optimization ครั้งละ 2 วิธีทำให้บางวิธีใช้ต้นทุนไม่ถึง 50% (ในที่นี้กำหนดต้นทุน 1 ล้านบาท) ทุกรูปแบบหลังจาก Optimization แล้วไม่สามารถลดสมรรถนะไฟฟ้าให้เหลือ 1 ครั้งต่อปีต่อ 100 กิโลเมตรตามเป้าหมายที่กำหนดได้

เมื่อทำการพิจารณาทั้ง 29 รูปแบบ พบว่าวิธีการรูปแบบที่ 29 ต้องปรับปรุงความต้านทานฐานเสาให้เหลือ 10 โอห์ม, เพิ่มลูกถ้วย 1 ลูก ส่งผลให้ค่า Cost/%FO น้อยที่สุดเพียง 12,964.56 บาท แต่วิธีการนี้ใช้ต้นทุนไม่ถึง 50% จึง Optimization เพิ่มด้วยการลดความต้านทานที่ฐานเสาอีก 5 โอห์ม แต่ยังคงทำให้ค่า Cost/%FO น้อยที่สุดเพียง 13,103.63 บาทและใช้ต้นทุนไม่ถึง 50% เช่นเดิม สามารถลดค่าสมรรถนะไฟฟ้าได้เพียง 33.03% และลดได้แต่เพียงค่า BFO เท่านั้น

ถ้าพิจารณาเป็นค่าสมรรถนะไฟฟ้าที่ลดลงมากที่สุด รูปแบบที่สามารถลดค่า SFO มากที่สุดคือ รูปแบบที่ 18 และรูปแบบที่สามารถลดค่า BFO, FO มากที่สุดคือ รูปแบบที่ 6 แต่เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองรูปแบบนี้ พบว่ารูปแบบที่ 6 สามารถลด SFO ได้ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 18 และยังมีค่า Cost/%FO น้อยกว่าด้วย

เนื่องจากสายส่ง 115kV KLA-CT มีการวางไฟส่วนมากเป็นแบบ BFO ทั้งเหตุการณ์จริงและการคำนวณจากโปรแกรม เมื่อพิจารณาจากสมรรถนะไฟฟ้า, ชนิดการวางไฟ, Cost/%FO พบว่ารูปแบบที่ 6 ซึ่งต้องปรับปรุงความต้านทานฐานเสาให้เหลือ 5 โอห์ม, เพิ่มลูกถ้วย 2 ลูก, เพิ่มสายชิลด์เป็นรูปแบบที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด เพราะสามารถลดได้ทั้งค่า BFO, SFO, FO ได้สูงถึง 58.02%, 56.34%, 57.92% ตามลำดับ โดยที่มีค่า Cost/%FO เพียง 17,264.08 บาท เมื่อใช้เงินลงทุนไม่เกิน 1 ล้านบาท

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการนำข้อมูลฟาร์มที่ได้จากระบบการหาตำแหน่งฟาร์มวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Arcview GIS และคำนวณหาสมรรถนะฟาร์มของสายส่งที่ใช้งานอยู่ทั้ง 3 สายส่งด้วยโปรแกรม TFlash version 3.0.21 เปรียบเทียบกับเหตุการณ์ขัดข้องจริง สรุปได้ว่า

1. การนำข้อมูลฟาร์มมาสร้างบนแผนที่ประเทศไทยเป็นแผนที่ความหนาแน่นฟาร์มสามารถใช้บอกพื้นที่ที่มีฟาร์มแบบเมฆลงดินบ่อได้ ช่วยให้เรารู้ว่าพื้นที่นั้นส่งผลกระทบต่อสายส่งเนื่องจากฟาร์มมากน้อยเพียงใด แต่ข้อมูลในที่นี้มีเพียงปี พ.ศ.2548 เท่านั้น จึงควรเก็บข้อมูลฟาร์มให้มากกว่านี้ และควรเก็บในรูปแบบสถิติเพื่อดูแนวโน้มของฟาร์มที่เกิดขึ้นในแต่ละปี
2. เหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งฟาร์มที่เกิดขึ้น ทำให้เราสามารถใช้ข้อมูล EGAT LLS พิสูจน์ว่าฟาร์มเป็นสาเหตุสำหรับสายส่งที่มีปัญหา และคาดคะเนรูปแบบการวางไฟที่มักเกิดขึ้นได้ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงสายส่งได้อย่างเหมาะสม
3. การคำนวณสมรรถนะฟาร์มสามารถใช้รายละเอียดสายส่งจากข้อมูลการออกแบบได้ แต่หลังจากสายส่งใช้งานไปแล้วควรใช้ข้อมูลความต้านทานฐานเสาที่ได้จากการสำรวจจริง หรือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างในแนวสายส่งขณะใช้งานก็ควรใช้ข้อมูลนั้นด้วย จึงจะสามารถคาดคะเนสมรรถนะฟาร์มของสายส่งได้ใกล้เคียงกับเหตุการณ์ขัดข้องจริงมากขึ้น

สำหรับการปรับปรุงสมรรถนะฟาร์มของสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรีด้วยโปรแกรม TFlash version 4.0.22 ทำให้เห็นว่าสายส่งนี้เดิมมีค่าความต้านทานที่ฐานเสาสูง แม้มีการปรับปรุงแล้วในปี พ.ศ.2547 แต่ยังสามารถเกิดการวางไฟย้อนกลับเนื่องจากฟาร์มได้ในปี พ.ศ.2548 ถึง 6 ครั้ง แสดงว่าการลดค่าความต้านทานที่ฐานเสาให้ได้ตามข้อกำหนดอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ เมื่อใช้โปรแกรม Optimization เลือกวิธีการที่ทำให้ประสิทธิภาพมากที่สุด พบว่า ควรมีการปรับปรุงค่าความต้านทานที่ฐานเสาให้น้อยกว่าข้อกำหนด เพิ่มลูกถ้วยมากขึ้น เพิ่มสายซิลด์อีกเส้นเพื่อให้มุมซิลด์น้อยลงในเสาส่งบางต้นที่มีปัญหา จะช่วยลดสมรรถนะฟาร์มได้มากเกือบ 60%

เนื่องจากฟ้าผ่ามีผลกระทบกับสายส่งแรงดัน 115 kV ค่อนข้างมาก ดังนั้นในกรณีที่จะสร้างสายส่งระดับแรงดันนี้ จึงควรจะศึกษาก่อนว่าพื้นที่ที่จะติดตั้งมีความหนาแน่นฟ้าผ่าสูงหรือไม่ด้วย ข้อมูลฟ้าผ่าที่มีการเก็บค่าเป็นสถิติ ในกรณีที่พื้นที่นั้นมีความหนาแน่นฟ้าผ่าสูงควรจะให้ค่าความต้านทานที่ฐานเสามีค่าน้อยกว่าข้อกำหนด มีจำนวนลูกถ้วยมากกว่าปกติ เพิ่มค่า CFO และมีมุมซิลด์น้อยลงหรือมีสายซิลด์มากกว่าหนึ่งเส้น จะช่วยลดการวับไฟทั้งหมดซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเหตุการณ์ขัดข้องของระบบสายส่งไฟฟ้าได้ ทำให้สมรรถนะฟ้าผ่าของสายส่งดีขึ้นด้วย

### ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเพียงแนวทางการนำข้อมูลทั้งฟ้าผ่า ข้อมูลเหตุการณ์ขัดข้องที่มีอยู่มาใช้ประโยชน์ในการหาสมรรถนะฟ้าผ่า ปรับปรุงสายส่งที่ใช้งานอยู่ หากจะใช้แนวทางนี้ในการออกแบบควรจะวิเคราะห์กับสายส่งหลายๆแนว เพื่อให้สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด นำมาสร้างข้อกำหนดที่ชัดเจนขึ้นและคุ้มค่ากับการลงทุนสร้างสายส่งที่มีสมรรถนะฟ้าผ่าดี นอกจากนี้ ข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้ ถ้ามีการเก็บข้อมูลในรูปแบบสถิติเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 ปี และนำมาช่วยในการออกแบบค่าสมรรถนะฟ้าผ่า จะช่วยให้ความแม่นยำใกล้เคียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้อีกทาง

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองวิศวกรรมสายส่ง ฝ่ายวิศวกรรมระบบส่ง. 2549. **สายส่งไฟฟ้าแรงสูง.** (Microsoft Power Point). สำนักงานใหญ่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดนนทบุรี.

**คำศัพท์กรมอุตุนิยมวิทยา.** [www.tmd.go.th](http://www.tmd.go.th). ตุลาคม 2549.

ชำนาญ ห่อเกียรติ, รศ.ดร. 2548. **การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. ครั้งที่ 1.** โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญมาก สมิตธิลีลา และ สุพัตรา ภูมิวัฒน์. 2539. **ฟ้าผ่า. วารสาร กฟผ. 5 (3): 12-21.**

**แผนกสมรรถนะระบบไฟฟ้า** กองวางแผนปฏิบัติการระบบส่งไฟฟ้า. **ข้อมูลสายส่งไฟฟ้าแรงสูง** **จัดซื้อ.** (Intranet). สำนักงานใหญ่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดนนทบุรี.

ศูนย์วิจัยระบบภูมิศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 30 กันยายน 2006. **เรียนรู้การใช้งาน PC Arcview GIS 3.1.** [www.gis2me.com](http://www.gis2me.com). พฤศจิกายน 2006.

สำรวย สังข์สะอาด, ดร. 2547. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.** **ครั้งที่ 1.** ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุรพล ดำรงกิตติกุล. 2535. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.** **ครั้งที่ 1.** ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

Andrew R.Hileman. 1999. **Insulation Coordination for Power Systems.** ครั้งที่ 2. Marrel Dekker, Inc., New York USA.

- Ed Bardo (Vaisala Inc.). 2005. The New TS Series Lightning Detection Network, *In **Lightning Location System Seminar*** . Electricity Generating Authority of Thailand, Chacheongsao Thailand.
- Electric Power Research Institute (EPRI). 2000. **TFlash User's Guide**. (Help Topics in Program TFlash). Palo Alto, California USA.
- Enviromental Systems Research Institute, Inc. June 2002. What's New in Arcview 3.1,3.2 and 3.3, *In **An ESRI Whitepaper*** . ESRI, California USA.
- J.G.Anderson. 1987. **Chapter12 of Transmission Line Reference Book 345 kV and Above**. Electric Power Research Institute(EPRI). 2 ed.California USA.
- J.G. Anderson and W.A. Chisholm. 2004. **Chapter6 of EPRI AC Transmission Line Reference Book-200 kV and Above**. Electric Power Research Institute(EPRI). 3 ed. California USA.
- Kliebhipat, Ravadee. 2005. Overview of EGAT LLS, *In **Lightning Location System Seminar*** . Electricity Generating Authority of Thailand, Chacheongsao Thailand.
- K&R Consulting, LLC Cosponsored by EPRI. 2004. **Handbook for Improving Overhead Transmission Line Lightning Performance (1002019)**. 160.
- Lightning Location and Protection, Inc. 1993. **Advanced Lightning Direction Finder Installation Operation and Maintenance Manual**. Arizona USA.
- Martin A.Uman. 1984. **Lightning**. Revised ed. Mc Graw-Hill, New York USA.
- Scott Michael Steiger. 2001. **Cloud-To-Ground Lightning Characteristics over Houston, Texas**. Master of Science thesis, Texas A&M University.

Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society. 1997. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines (IEEE Std.1243-1997), ISBN 1-55937-937-5. *In* **IEEE Standard Board Approved 26 June 1997**. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York USA.

Vernon Coorey. 2003. **The Lightning Flash**. IEE, UK.

Vladimir A.Rakov and Martin A.Uman. 2003. **Lightning, Physics and Effects**. ๑๖๖๖๖๖ ๑. Cambridge University Press, Cambridge UK.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
รายละเอียดของสายส่ง

**ตารางผนวกที่ ก1** รายละเอียดสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี  
(จำนวนเสา 169 ต้น ระยะทาง 56.085 กิโลเมตร)

| เสาดั้งที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                          |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                          |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #47/2A SDE+0 SS                          | 28.02                | 195.07                        | Driven Rod        | 1                                | 15.379                                                           | 7.689        |
| #47/3A SD1+0 SS                          | 28.02                | 192                           | Driven Rod        | 1                                | 36.458                                                           | 28.646       |
| #48/1 SA1+0 SS                           | 28.155               | 350                           | Driven Rod        | 1                                | 14.286                                                           | 12.857       |
| #48/2 SA1+1 SS                           | 29.155               | 345                           | Radial CP         | 30                               | 17.391                                                           | 10.145       |
| #48/3 SA1+1 SS                           | 29.155               | 355                           | Radial CP         | 32                               | 16.901                                                           | 18.31        |
| #49/1 SA1+0 SS                           | 28.155               | 350                           | Driven Rod        | 20                               | 22.857                                                           | 15.714       |
| #49/2 SA1+0 SS                           | 28.155               | 275                           | Radial CP         | 10.5                             | 10.909                                                           | 7.273        |
| #49/3 SA1-3 SS                           | 25.155               | 291                           | Driven Rod        | 17                               | 10.309                                                           | 13.746       |
| #49/4 SA1-2 SS                           | 26.155               | 292                           | Radial CP         | 16.4                             | 17.123                                                           | 15.411       |
| #50/1 SA1-2 SS                           | 26.155               | 292                           | Radial CP         | 5.5                              | 6.849                                                            | 11.986       |
| #50/2 SA1-1 SS                           | 27.155               | 300                           | Radial CP         | 16                               | 13.333                                                           | 11.667       |
| #50/3 SA1-2 SS                           | 26.155               | 350                           | Radial CP         | 25                               | 14.286                                                           | 8.571        |
| #51/1 SA1-3 SS                           | 25.155               | 247                           | Radial CP         | 52                               | 4.049                                                            | 10.121       |
| #51/2 SA1-3 SS                           | 25.155               | 243.3                         | Radial CP         | 10.2                             | 24.661                                                           | 18.496       |
| #51/3 SD1+0 ST                           | 28.02                | 353.7                         | Driven Rod        | 43                               | 8.482                                                            | 9.895        |
| #52/1 SA1+0 SS                           | 28.155               | 346                           | Radial CP         | 50                               | 8.671                                                            | 7.225        |
| #52/2 SA1-1 SS                           | 27.155               | 349                           | Radial CP         | 10.7                             | 8.596                                                            | 8.596        |
| #52/3 SA1-1 SS                           | 27.155               | 348                           | Radial CP         | 32                               | 8.621                                                            | 8.621        |
| #53/1 SA1+2 SS                           | 30.155               | 347                           | Radial CP         | 25                               | 2.882                                                            | 5.764        |
| #53/2 SA1+2 SS                           | 30.155               | 347                           | Radial CP         | 45                               | 2.882                                                            | 2.882        |
| #53/3 SA1+0 SS                           | 28.155               | 353                           | Radial CP         | 24                               | 5.666                                                            | 5.666        |
| #54/1 SA1-1 SS                           | 27.155               | 352                           | Radial CP         | 32                               | 0                                                                | 5.682        |
| #54/2 SA1+0 SS                           | 28.155               | 337                           | Radial CP         | 40                               | 8.902                                                            | 5.935        |
| #54/3 SA1+0 SS                           | 28.155               | 337.92                        | Radial CP         | 35                               | 5.919                                                            | 7.398        |
| #55/1 SA1+0 SS                           | 28.155               | 348                           | Radial CP         | 5.6                              | 5.747                                                            | 5.747        |
| #55/2 SA1+0 SS                           | 28.155               | 353                           | Radial CP         | 50                               | 2.833                                                            | 9.915        |

## ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| สถานี/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                     |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                     |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #55/3 SA1+0 SS                      | 28.155               | 353                           | Radial CP         | 35                               | 5.666                                                            | 7.082        |
| #56/1 SA1+0 DS                      | 28.155               | 333.39                        | Radial CP         | 3.9                              | 5.999                                                            | 8.998        |
| #56/2 SD1+0 ST&DT                   | 28.02                | 348.61                        | Radial CP         | 6.5                              | 2.833                                                            | 8.606        |
| #56/3 SA1+1 SS                      | 29.155               | 349                           | Driven Rod        | 12                               | 8.596                                                            | 10.029       |
| #57/1 SA1+1 SS                      | 29.155               | 350                           | Driven Rod        | 1.3                              | 2.857                                                            | 4.286        |
| #57/2 SA1+1 SS                      | 29.155               | 346                           | Radial CP         | 50                               | 5.78                                                             | 4.335        |
| #57/3 SA1+2 SS                      | 30.155               | 350                           | Radial CP         | 70                               | 2.857                                                            | 4.285        |
| #58/1 SA1+0 SS                      | 28.155               | 348                           | Driven Rod        | 25                               | 0                                                                | 2.874        |
| #58/2 SA1+1 SS                      | 29.155               | 350                           | Radial CP         | 14.8                             | 5.714                                                            | 5.714        |
| #59/1 SA1+2 SS                      | 30.155               | 350                           | Radial CP         | 40                               | 0                                                                | 1.429        |
| #59/2 SA1-3 SS                      | 25.155               | 350                           | Radial CP         | 23                               | 5.714                                                            | 5.714        |
| #59/3 SA1+0 SS                      | 28.155               | 346                           | Radial CP         | 45                               | 14.451                                                           | 10.116       |
| #60/1 SB1+0 ST                      | 28.03                | 359                           | Radial CP         | 36                               | 11.142                                                           | 12.535       |
| #60/2 SA1+2 SS                      | 30.155               | 355                           | Radial CP         | 120                              | 2.817                                                            | 5.634        |
| #60/3 SA1+3 SS                      | 31.155               | 352                           | Radial CP         | 80                               | 2.841                                                            | 5.682        |
| #61/1 SA1+2 SS                      | 30.155               | 354                           | Radial CP         | 38                               | 11.299                                                           | 11.299       |
| #61/2 SB1+3 ST                      | 31.03                | 353                           | Radial CP         | 20                               | 5.666                                                            | 5.666        |
| #61/3 SA1+1 SS                      | 29.155               | 361                           | Driven Rod        | 13.9                             | 8.31                                                             | 5.54         |
| #62/1 SA1+2 SS                      | 30.155               | 364                           | Radial CP         | 14.5                             | 5.495                                                            | 6.868        |
| #62/2 SA1+0 SS                      | 28.155               | 342                           | Driven Rod        | 1                                | 5.848                                                            | 4.386        |
| #62/3 SA1+1 SS                      | 29.155               | 350                           | Driven Rod        | 9.5                              | 5.714                                                            | 4.286        |
| #63/1 SA1+0 SS                      | 28.155               | 348                           | Driven Rod        | 3.2                              | 5.747                                                            | 4.31         |
| #63/2 SA1-3 SS                      | 25.155               | 271.96                        | Radial CP         | 30                               | 7.354                                                            | 9.193        |
| #63/3 SD1+3 ST                      | 31.02                | 346.04                        | Radial CP         | 1                                | 14.449                                                           | 5.78         |
| #64/1 SA1+3 SS                      | 31.155               | 349                           | Driven Rod        | 4.5                              | 8.596                                                            | 10.029       |
| #64/2 SA1+3 SS                      | 31.155               | 356                           | Radial CP         | 12.3                             | 5.618                                                            | 5.618        |
| #64/3 SA1-3 SS                      | 25.155               | 325                           | Driven Rod        | 6.3                              | 6.154                                                            | 7.692        |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| สถานีที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                        |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                        |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #65/1 SA1+2 SS                         | 30.155               | 350                           | Radial CP         | 8.7                              | 8.571                                                            | 10           |
| #65/2 SA1+2 SS                         | 30.155               | 346                           | Driven Rod        | 1                                | 11.561                                                           | 11.561       |
| #65/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 347                           | Radial CP         | 22                               | 2.882                                                            | 7.205        |
| #66/1 SA1+1 SS                         | 29.155               | 340                           | Radial CP         | 35                               | 11.765                                                           | 4.412        |
| #66/2 SA1+0 DS                         | 28.155               | 342                           | Radial CP         | 19                               | 8.772                                                            | 11.696       |
| #66/3 SA1+1 DS                         | 29.155               | 343                           | Radial CP         | 56                               | 2.915                                                            | 4.373        |
| #67/1 SA1+1 SS                         | 29.155               | 344                           | Radial CP         | 67                               | 5.814                                                            | 5.814        |
| #67/2 SA1-2 SS                         | 26.155               | 343                           | Radial CP         | 30                               | 5.831                                                            | 7.289        |
| #68/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 338                           | Driven Rod        | 3.5                              | 8.876                                                            | 5.917        |
| #68/2 SA1+1 SS                         | 29.155               | 343                           | Driven Rod        | 2                                | 2.915                                                            | 5.831        |
| #68/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 335                           | Radial CP         | 80                               | 5.97                                                             | 2.985        |
| #69/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 335                           | Driven Rod        | 1.7                              | 5.97                                                             | 4.478        |
| #69/2 SA1+2 SS                         | 30.155               | 328                           | Driven Rod        | 16.5                             | 12.195                                                           | 16.768       |
| #69/3 SB1+0 ST                         | 28.03                | 350                           | Radial CP         | 20                               | 8.571                                                            | 7.143        |
| #70/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 350                           | Driven Rod        | 2                                | 8.571                                                            | 7.143        |
| #70/2 SA1+0 SS                         | 28.155               | 341                           | Driven Rod        | 3                                | 5.865                                                            | 5.865        |
| #70/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 338                           | Radial CP         | 10                               | 8.876                                                            | 11.834       |
| #71/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 337                           | Radial CP         | 3.5                              | 5.935                                                            | 10.386       |
| #71/2 SA1+1 SS                         | 29.155               | 320.2                         | Driven Rod        | 17.3                             | 3.123                                                            | 6.246        |
| #71/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 320                           | Radial CP         | 75                               | 3.125                                                            | 6.25         |
| #72/1 SA1-2 SS                         | 26.155               | 310                           | Radial CP         | 6                                | 6.452                                                            | 4.839        |
| #72/2 SA1-2 SS                         | 26.155               | 315                           | Radial CP         | 19.3                             | 12.698                                                           | 9.524        |
| #72/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 311                           | Radial CP         | 28                               | 0                                                                | 4.823        |
| #72/4 SA1+2 SS                         | 30.155               | 329                           | Driven Rod        | 4.8                              | 9.119                                                            | 7.599        |
| #73/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 339                           | Radial CP         | 35                               | 5.9                                                              | 4.425        |
| #73/2 SB1+3 ST                         | 31.03                | 336                           | Radial CP         | 14                               | 2.976                                                            | 2.976        |
| #73/3 SA1+3 SS                         | 31.155               | 334                           | Radial CP         | 50                               | 8.982                                                            | 8.982        |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| สถานีที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                        |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                        |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #74/1 SA1-3 SS                         | 25.155               | 328                           | Driven Rod        | 14                               | 3.049                                                            | 6.098        |
| #74/2 SA1+0 SS                         | 28.155               | 326                           | Radial CP         | 7                                | 6.135                                                            | 3.068        |
| #74/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 299                           | Radial CP         | 16                               | 10.033                                                           | 15.05        |
| #75/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 193.74                        | Radial CP         | 11                               | 0                                                                | 5.162        |
| #75/2 SD1-2 ST                         | 26.02                | 388.26                        | Radial CP         | 5                                | 10.302                                                           | 7.727        |
| #75/3 SB1+0 ST&SI                      | 28.03                | 345                           | Radial CP         | 30                               | 2.899                                                            | 2.899        |
| #76/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 345                           | Radial CP         | 25                               | 8.696                                                            | 7.246        |
| #76/2 SA1+0 SS                         | 28.155               | 347                           | Radial CP         | 20                               | 0                                                                | 4.323        |
| #76/3 SA1+1 SS                         | 29.155               | 347                           | Radial CP         | 12.5                             | 8.646                                                            | 7.205        |
| #77/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 347                           | Driven Rod        | 35                               | 2.882                                                            | 7.205        |
| #77/2 SA1+1 SS                         | 29.155               | 346                           | Radial CP         | 45                               | 2.89                                                             | 4.335        |
| #77/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 351                           | Radial CP         | 7                                | 8.547                                                            | 7.122        |
| #78/1 SA1+1 SS                         | 29.155               | 356                           | Driven Rod        | 35                               | 2.809                                                            | 1.405        |
| #78/2 SA1+3 SS                         | 31.155               | 356                           | Driven Rod        | 17                               | 5.618                                                            | 5.618        |
| #78/3 SA1+3 SS                         | 31.155               | 356                           | Radial CP         | 30                               | 8.427                                                            | 5.618        |
| #79/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 344                           | Driven Rod        | 30                               | 11.628                                                           | 8.721        |
| #79/2 SA1+0 SS                         | 28.155               | 343                           | Radial CP         | 17.5                             | 17.493                                                           | 13.12        |
| #80/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 347                           | Radial CP         | 44                               | 2.882                                                            | 7.205        |
| #80/2 SA1+1 SS                         | 29.155               | 347                           | Driven Rod        | 17                               | 14.409                                                           | 8.646        |
| #80/3 SA1+1 SS                         | 29.155               | 348                           | Driven Rod        | 9                                | 28.736                                                           | 18.678       |
| #81/1 SA1+1 SS                         | 29.155               | 346.99                        | Driven Rod        | 13                               | 11.528                                                           | 5.764        |
| #81/2 SD1+0 ST                         | 28.02                | 325.01                        | Driven Rod        | 11                               | 6.154                                                            | 7.692        |
| #81/3 SA1+2 SS                         | 30.155               | 330                           | Radial CP         | 10                               | 0                                                                | 4.545        |
| #82/1 SA1+3 SS                         | 31.155               | 329                           | Driven Rod        | 50                               | 3.04                                                             | 3.039        |
| #82/2 SA1+0 SS                         | 28.155               | 330                           | Driven Rod        | 75                               | 6.061                                                            | 4.545        |
| #82/3 SA1+0 SS                         | 28.155               | 333                           | Driven Rod        | 57                               | 12.012                                                           | 9.009        |
| #83/1 SA1+0 SS                         | 28.155               | 316                           | Radial CP         | 42                               | 3.165                                                            | 3.165        |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

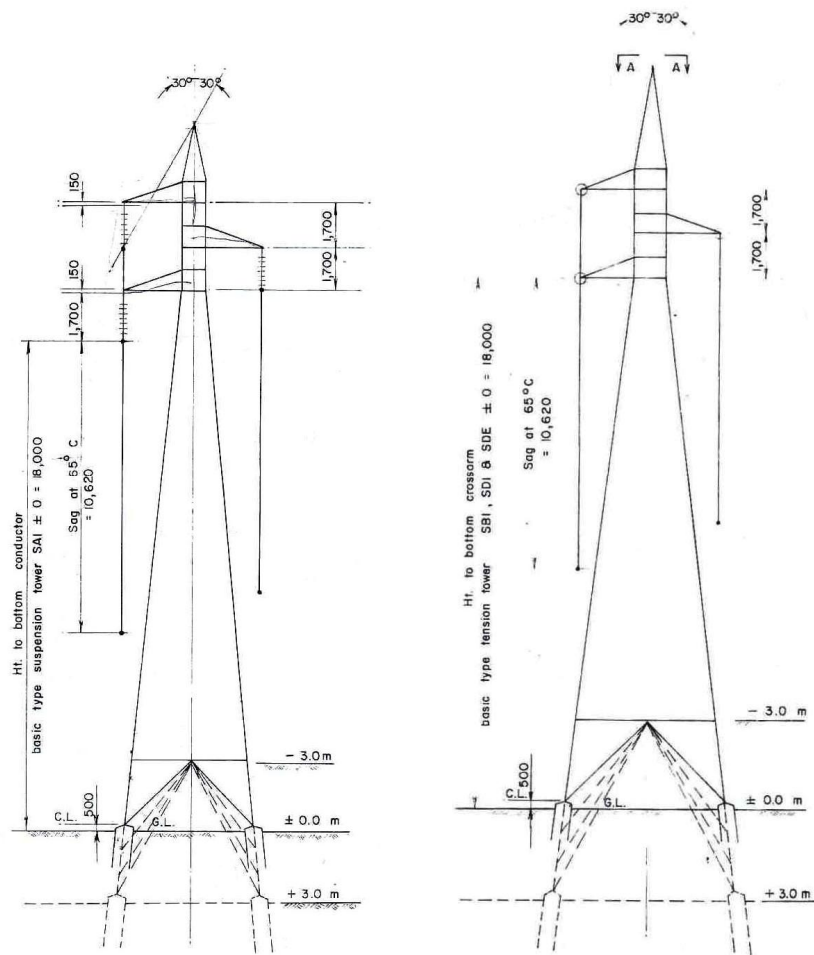
| สถานี/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                     |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                     |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #83/2 SA1+0 SS                      | 28.155               | 327                           | Radial CP         | 54                               | 0                                                                | 1.529        |
| #83/3 SA1+0 SS                      | 28.155               | 326.19                        | Radial CP         | 35                               | 0                                                                | 4.598        |
| #84/1 SD1+0 ST                      | 28.02                | 334.81                        | Radial CP         | 32                               | 5.974                                                            | 7.467        |
| #84/2 SA1+0 SS                      | 28.155               | 336                           | Radial CP         | 55                               | 5.952                                                            | 7.44         |
| #84/3 SA1+0 SS                      | 28.155               | 328                           | Radial CP         | 3                                | 6.098                                                            | 6.098        |
| #85/1 SA1+0 SS                      | 28.155               | 329                           | Radial CP         | 33                               | 15.198                                                           | 10.638       |
| #85/2 SA1+0 SS                      | 28.155               | 340                           | Radial CP         | 38                               | 2.941                                                            | 4.412        |
| #85/3 SB1+0 ST                      | 28.03                | 340                           | Radial CP         | 23                               | 17.647                                                           | 13.235       |
| #86/1 SA1+1 SS                      | 29.155               | 340                           | Radial CP         | 35                               | 8.824                                                            | 7.353        |
| #86/2 SA1-3 SS                      | 25.155               | 320                           | Driven Rod        | 30                               | 3.125                                                            | 1.563        |
| #86/3 SA1+2 DS                      | 30.155               | 350                           | Radial CP         | 67                               | 11.429                                                           | 8.571        |
| #87/1 SA1+2 DS                      | 30.155               | 350                           | Radial CP         | 12                               | 8.571                                                            | 10           |
| #87/2 SA1+0 SS                      | 28.155               | 350                           | Radial CP         | 21                               | 5.714                                                            | 8.571        |
| #87/3 SA1-2 SS                      | 26.155               | 350                           | Radial CP         | 35                               | 5.714                                                            | 5.714        |
| #88/1 SA1+0 SS                      | 28.155               | 358                           | Radial CP         | 30                               | 5.587                                                            | 6.983        |
| #88/2 SA1+2 SS                      | 30.155               | 342                           | Radial CP         | 11                               | 2.924                                                            | 7.31         |
| #88/3 SA1+2 SS                      | 30.155               | 356                           | Radial CP         | 44                               | 5.618                                                            | 7.023        |
| #89/1 SA1+2 SS                      | 30.155               | 333                           | Radial CP         | 17                               | 3.003                                                            | 6.006        |
| #89/2 SA1+1 SS                      | 29.155               | 336                           | Radial CP         | 10.4                             | 2.976                                                            | 1.488        |
| #89/3 SA1-3 SS                      | 25.155               | 310.94                        | Radial CP         | 27                               | 3.216                                                            | 3.216        |
| #90/1 SD1+0 ST                      | 28.02                | 350.06                        | Driven Rod        | 35                               | 11.427                                                           | 17.14        |
| #90/2 SA1+3 SS                      | 31.155               | 374                           | Radial CP         | 20                               | 5.348                                                            | 5.348        |
| #90/3 SA1+1 SS                      | 29.155               | 371                           | Radial CP         | 44                               | 10.782                                                           | 6.739        |
| #91/1 SA1+0 SS                      | 28.155               | 369                           | Radial CP         | 60                               | 8.13                                                             | 8.13         |
| #91/2 LSA1-3 SS                     | 25.03                | 309                           | Radial CP         | 18.5                             | 3.236                                                            | 6.472        |
| #91/3 SA1+0 SS                      | 28.155               | 310                           | Radial CP         | 18                               | 6.452                                                            | 6.452        |
| #92/1 SA1+0 SS                      | 28.155               | 306                           | Radial CP         | 100                              | 0                                                                | 1.634        |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

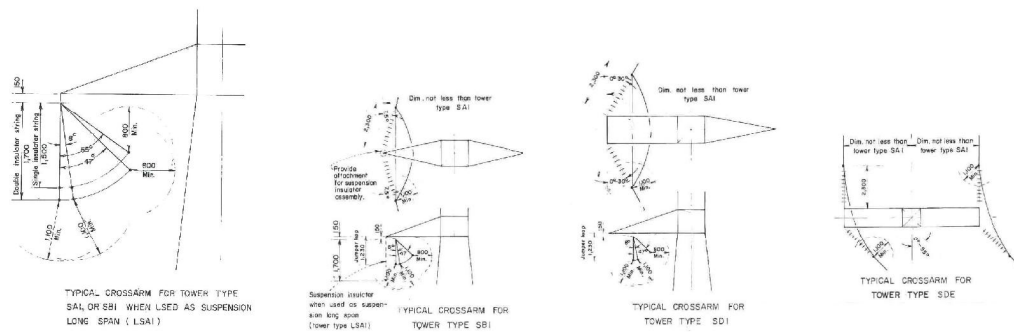
| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                         |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #92/2 SA1-2 SS                          | 26.155               | 350                           | Radial CP         | 65                               | 0                                                                | 2.857        |
| #92/3 SA1+0 SS                          | 28.155               | 329                           | Radial CP         | 7                                | 9.119                                                            | 6.079        |
| #93/1 SA1-2 SS                          | 26.155               | 331                           | Radial CP         | 25                               | 0                                                                | 3.021        |
| #93/2 SA1+0 SS                          | 28.155               | 303.19                        | Radial CP         | 48                               | 9.895                                                            | 14.842       |
| #93/3 SD1+0 ST                          | 28.02                | 347.81                        | Radial CP         | 12                               | 5.75                                                             | 2.875        |
| #94/1 SA1+1 SS                          | 29.155               | 355                           | Radial CP         | 15                               | 8.451                                                            | 7.042        |
| #94/2 SA1+0 SS                          | 28.155               | 347                           | Radial CP         | 128                              | 8.646                                                            | 5.764        |
| #94/3 SA1+0 SS                          | 28.155               | 343                           | Radial CP         | 17                               | 5.831                                                            | 7.289        |
| #95/1 SA1+1 SS                          | 29.155               | 361                           | Radial CP         | 25                               | 5.54                                                             | 4.155        |
| #95/2 SA1-2 SS                          | 26.155               | 358                           | Radial CP         | 25                               | 5.587                                                            | 6.983        |
| #95/3 SA1+2 SS                          | 30.155               | 332                           | Radial CP         | 13.5                             | 6.024                                                            | 4.518        |
| #96/1 SA1+3 SS                          | 31.155               | 300                           | Radial CP         | 12.8                             | 6.667                                                            | 5            |
| #96/2 SA1-2 SS                          | 26.155               | 293                           | Radial CP         | 11                               | 6.826                                                            | 3.413        |
| #96/3 SA1-3 SS                          | 25.155               | 325                           | Radial CP         | 14                               | 12.308                                                           | 9.231        |
| #97/1 SA1+0 SS                          | 28.155               | 350                           | Radial CP         | 24                               | 2.857                                                            | 5.714        |
| #97/2 SA1+1 SS                          | 29.155               | 365                           | Radial CP         | 28                               | 10.959                                                           | 5.479        |
| #97/3 SA1+3 SS                          | 31.155               | 320                           | Radial CP         | 34                               | 9.375                                                            | 10.938       |
| #98/1 SA1+3 SS                          | 31.155               | 377.99                        | Radial CP         | 35                               | 5.291                                                            | 9.259        |
| #98/2 SD1+0 ST                          | 31.02                | 299.01                        | Driven Rod        | 24                               | 10.033                                                           | 8.361        |
| #98/3 SA1+3 SS                          | 31.155               | 328                           | Radial CP         | 36                               | 3.049                                                            | 6.098        |
| #99/1 SA1-2 SS                          | 26.155               | 317                           | Radial CP         | 55                               | 3.155                                                            | 4.732        |
| #99/2 SA1-2 SS                          | 26.155               | 316                           | Radial CP         | 50                               | 15.823                                                           | 11.076       |
| #99/3 SA1-1 SS                          | 27.155               | 315                           | Radial CP         | 16.5                             | 3.175                                                            | 3.175        |
| #100/1 SA1-2 SS                         | 26.155               | 308                           | Driven Rod        | 8.5                              | 9.74                                                             | 4.87         |
| #100/2 SA1+0 SS                         | 28.155               | 310                           | Radial CP         | 9.4                              | 3.226                                                            | 3.226        |
| #100/3 SA1+0 DS                         | 28.155               | 315                           | Driven Rod        | 3.6                              | 6.349                                                            | 7.937        |
| #101/1 SA1+1 DS                         | 29.155               | 370                           | Radial CP         | 25                               | 16.216                                                           | 12.162       |

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

| สถานี/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ฐานเสา<br>(โอห์ม) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                     |                      |                               |                   |                                  | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                     |                      |                               |                   |                                  |                                                                  |              |
| #101/2 SA1+1 SS                     | 29.155               | 374                           | Radial CP         | 12                               | 5.348                                                            | 6.685        |
| #101/3 SA1+0 SS                     | 28.155               | 328                           | Radial CP         | 69                               | 15.244                                                           | 9.146        |
| #102/1 SA1+0 SS                     | 28.155               | 366.6                         | Radial CP         | 30                               | 0                                                                | 2.728        |
| #102/2 SA1-3 SS                     | 25.155               | 310.09                        | Radial CP         | 47                               | 9.675                                                            | 8.062        |
| #102/3 SD1-3 ST                     | 25.02                | 314.91                        | Radial CP         | 40                               | 12.702                                                           | 6.351        |
| #103/1 SA1+1 SS                     | 29.155               | 360                           | Radial CP         | 57                               | 8.333                                                            | 9.722        |
| #103/2 SA1-3 SS                     | 25.155               | 175.86                        | Radial CP         | 13                               | 5.686                                                            | 5.686        |
| #103/3 SDE-3 ST                     | 25.02                | 84.7                          | Radial CP         | 13.5                             | 5.686                                                            | 5.686        |



ภาพผนวกที่ 1 ชนิดของเสาสำหรับสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี



ภาพผนวกที่ 2 ความยาวชุดลูกถ้วยของเสาชนิดต่างๆ สำหรับสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี

**ตารางผนวกที่ ก2** รายละเอียดสายส่ง 230kV อ่างทอง2-ท่าลาน3  
(จำนวนเสา 133 ต้น ระยะทาง 51.414 กิโลเมตร)

| เสาดั้งที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                          |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                          |                      |                               |                   |                                    |                                                                  |              |
| #0/1 DDE-3 ST&DT                         | 39.05                | 148                           | Driven Rod        | 2                                  | 6.757                                                            | 10.135       |
| #0/2 DA1-3 SS                            | 39.99                | 273.95                        | Driven Rod        | 5.4                                | 0                                                                | 3.65         |
| #1/1 DD2+0 DT                            | 42.05                | 363.52                        | Driven Rod        | 2.1                                | 2.751                                                            | 6.877        |
| #1/2 DA1+3 DS                            | 45.99                | 374.77                        | Driven Rod        | 6                                  | 10.673                                                           | 14.676       |
| #1/3 DA1+0 SS                            | 42.99                | 418                           | Driven Rod        | 4.5                                | 14.354                                                           | 7.177        |
| #2/1 DA1+2 SS                            | 44.99                | 410                           | Driven Rod        | 4.5                                | 7.317                                                            | 3.658        |
| #2/2 DA1+0 DS                            | 42.99                | 409                           | Driven Rod        | 3.5                                | 4.89                                                             | 6.113        |
| #3/1 DD2+0 DT                            | 42.05                | 405.16                        | Driven Rod        | 15.9                               | 4.936                                                            | 1.234        |
| #3/2 DA1+1 SS                            | 43.99                | 413.22                        | Driven Rod        | 1.6                                | 0                                                                | 4.84         |
| #4/1 DA1+1 SS                            | 43.99                | 415                           | Driven Rod        | 1.6                                | 2.41                                                             | 6.024        |
| #4/2 DA1+3 DS                            | 45.99                | 418                           | Driven Rod        | 12                                 | 11.962                                                           | 10.766       |
| #4/3 DA1+3 DS                            | 45.99                | 400                           | Driven Rod        | 7.4                                | 15                                                               | 10           |
| #5/1 DA1+0 DS                            | 42.99                | 400                           | Driven Rod        | 11.3                               | 5                                                                | 8.75         |
| #5/2 DA1+3 DS                            | 45.99                | 331                           | Driven Rod        | 2.1                                | 12.085                                                           | 16.616       |
| #5/3 DA1+0 SS                            | 42.99                | 413                           | Driven Rod        | 4.5                                | 21.792                                                           | 14.528       |
| #6/1 DA1+1 SS                            | 43.99                | 406                           | Driven Rod        | 4                                  | 27.094                                                           | 11.084       |
| #6/2 DA1+2 SS                            | 44.99                | 398                           | Driven Rod        | 4                                  | 2.513                                                            | 7.538        |
| #7/1 DA1+2 DS                            | 44.99                | 413                           | Driven Rod        | 3.6                                | 12.106                                                           | 7.264        |
| #7/2 DB2+0 DT                            | 42.04                | 378.06                        | Driven Rod        | 9.1                                | 10.58                                                            | 14.548       |
| #7/3 DA1+1 SS                            | 43.99                | 398.94                        | Driven Rod        | 2.4                                | 15.04                                                            | 16.293       |
| #8/1 DA1+1 SS                            | 43.99                | 412                           | Driven Rod        | 4.5                                | 14.563                                                           | 15.777       |
| #8/2 DA1+2 SS                            | 44.99                | 419                           | Driven Rod        | 8                                  | 19.093                                                           | 9.547        |
| #9/1 DA1+2 SS                            | 44.99                | 405                           | Driven Rod        | 3.5                                | 9.877                                                            | 3.704        |
| #9/2 DB2+0 DT                            | 42.04                | 414                           | Driven Rod        | 2.5                                | 9.662                                                            | 10.87        |
| #9/3 DA1+3 DS                            | 45.99                | 316                           | Driven Rod        | 5                                  | 6.329                                                            | 20.57        |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                         |                      |                               |                   |                                    |                                                                  |              |
| #10/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 422                           | Driven Rod        | 30                                 | 23.697                                                           | 9.479        |
| #10/2 DA1+3 SS                          | 45.99                | 410                           | Driven Rod        | 2                                  | 4.878                                                            | 4.878        |
| #11/1 DA1+2 SS                          | 44.99                | 428                           | Driven Rod        | 1.194                              | 7.009                                                            | 9.346        |
| #11/2 DA1+1 SS                          | 43.99                | 412                           | Driven Rod        | 10                                 | 7.282                                                            | 10.922       |
| #12/1 DA1+3 SS                          | 45.99                | 418                           | Driven Rod        | 1.194                              | 9.569                                                            | 8.373        |
| #12/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 415                           | Driven Rod        | 2.6                                | 4.819                                                            | 12.048       |
| #12/3 DA1+1 SS                          | 43.99                | 401                           | Driven Rod        | 1.3                                | 9.975                                                            | 14.963       |
| #13/1 DA1+3 SS                          | 45.99                | 416                           | Driven Rod        | 1.4                                | 12.019                                                           | 10.817       |
| #13/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 386                           | Driven Rod        | 4                                  | 7.772                                                            | 10.363       |
| #14/1 DB2+3 DT                          | 45.04                | 424.83                        | Driven Rod        | 2                                  | 7.062                                                            | 4.708        |
| #14/2 DA1+3 DS                          | 45.99                | 422                           | Driven Rod        | 15                                 | 9.887                                                            | 12.359       |
| #14/3 DDE+0 ST&DT                       | 42.05                | 483                           | Driven Rod        | 5                                  | 13.158                                                           | 2.632        |
| #14/5 DDE+0 ST&DT                       | 42.05                | 140.32                        | Driven Rod        | 3.5                                | 14.253                                                           | 14.253       |
| #15/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 343                           | Driven Rod        | 1.8                                | 11.662                                                           | 8.746        |
| #15/2 DA1+3 DS                          | 45.99                | 259                           | Driven Rod        | 4                                  | 7.722                                                            | 13.514       |
| #15/3 DA1+0 SS                          | 42.99                | 407                           | Driven Rod        | 3.5                                | 14.742                                                           | 17.199       |
| #16/1 DA1+1 SS                          | 43.99                | 404                           | Driven Rod        | 2.5                                | 4.951                                                            | 8.663        |
| #16/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 402                           | Driven Rod        | 2.2                                | 7.463                                                            | 4.975        |
| #16/3 DA1+0 SS                          | 42.99                | 400                           | Driven Rod        | 1.7                                | 15                                                               | 8.75         |
| #17/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 397                           | Driven Rod        | 4.2                                | 15.113                                                           | 11.335       |
| #17/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 403                           | Driven Rod        | 3                                  | 4.963                                                            | 7.444        |
| #18/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 404                           | Driven Rod        | 5                                  | 7.426                                                            | 7.426        |
| #18/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 405                           | Driven Rod        | 2.5                                | 9.877                                                            | 9.877        |
| #18/3 DB2+0 DT                          | 42.04                | 391                           | Driven Rod        | 2                                  | 10.23                                                            | 16.624       |
| #19/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 382                           | Driven Rod        | 6.3                                | 23.56                                                            | 19.633       |
| #19/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 393                           | Driven Rod        | 5                                  | 5.089                                                            | 6.361        |
| #20/1 DA1-1 SS                          | 41.99                | 391                           | Driven Rod        | 9                                  | 2.557                                                            | 3.836        |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

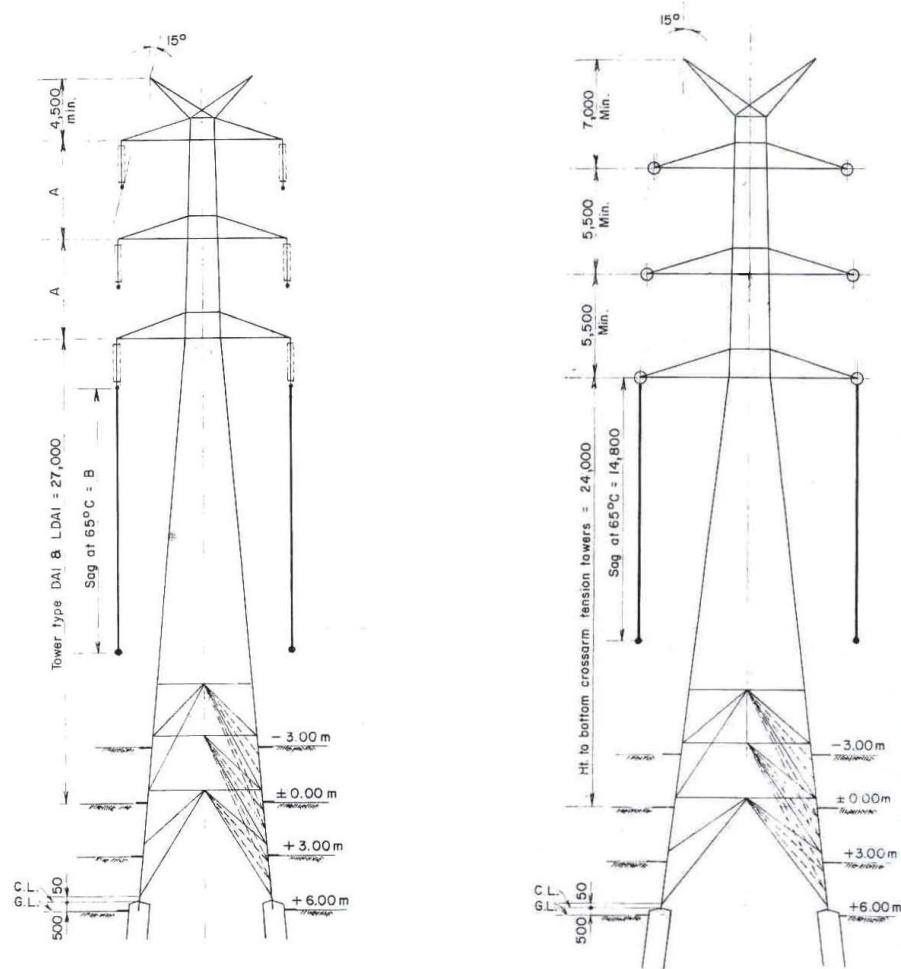
| สถานีที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                        |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                        |                      |                               |                   |                                    |                                                                  |              |
| #20/2 DA1+0 SS                         | 42.99                | 375                           | Driven Rod        | 10                                 | 10.667                                                           | 14.667       |
| #20/3 DA1-1 SS                         | 41.99                | 390                           | Driven Rod        | 2.2                                | 15.385                                                           | 17.949       |
| #21/1 DA1-2 SS                         | 40.99                | 369                           | Driven Rod        | 1.3                                | 16.26                                                            | 17.615       |
| #21/2 DA1-2 SS                         | 40.99                | 368                           | Driven Rod        | 1.5                                | 16.304                                                           | 19.022       |
| #21/3 DA1-2 SS                         | 40.99                | 367                           | Driven Rod        | 1.2                                | 19.074                                                           | 19.074       |
| #22/1 DA1+1 SS                         | 43.99                | 355                           | Driven Rod        | 1.4                                | 8.451                                                            | 9.859        |
| #22/2 DA1+0 SS                         | 42.99                | 394                           | Driven Rod        | 1.3                                | 17.767                                                           | 17.766       |
| #23/1 DD2+0 DT                         | 42.05                | 391.15                        | Driven Rod        | 7                                  | 25.566                                                           | 23.009       |
| #23/2 DA1+3 DS                         | 45.99                | 289.32                        | Driven Rod        | 7                                  | 20.738                                                           | 15.554       |
| #23/3 DA1+0 SS                         | 42.99                | 403                           | Driven Rod        | 1.6                                | 14.888                                                           | 13.648       |
| #24/1 DA1+1 SS                         | 43.99                | 400                           | Driven Rod        | 1.3                                | 17.5                                                             | 17.5         |
| #24/2 DA1+3 DS                         | 45.99                | 418                           | Driven Rod        | 1.9                                | 14.354                                                           | 9.569        |
| #25/1 DA1+3 DS                         | 45.99                | 387                           | Driven Rod        | 110                                | 25.84                                                            | 18.088       |
| #25/2 DA1+0 SS                         | 42.99                | 386                           | Driven Rod        | 2                                  | 31.088                                                           | 22.021       |
| #25/3 DA1+0 SS                         | 42.99                | 399                           | Driven Rod        | 2                                  | 15.038                                                           | 16.291       |
| #26/1 DT2+0 DT                         | 42.04                | 395                           | Driven Rod        | 1.3                                | 12.658                                                           | 12.658       |
| #26/2 DA1+1 SS                         | 43.99                | 406                           | Driven Rod        | 1.194                              | 4.926                                                            | 9.852        |
| #27/1 DA1+0 SS                         | 42.99                | 401                           | Driven Rod        | 1.2                                | 9.975                                                            | 11.222       |
| #27/2 DA1+2 DS                         | 44.99                | 402                           | Driven Rod        | 1.6                                | 7.463                                                            | 7.463        |
| #27/3 DD2-3 DT                         | 42.05                | 337.5                         | Driven Rod        | 10.6                               | 8.889                                                            | 5.926        |
| #28/1 DA1+1 SS                         | 43.99                | 376.16                        | Driven Rod        | 1.4                                | 5.317                                                            | 6.646        |
| #28/2 DA1-1 SS                         | 41.99                | 388                           | Driven Rod        | 1.2                                | 10.309                                                           | 11.598       |
| #28/3 DA1-1 SS                         | 41.99                | 374                           | Driven Rod        | 3.5                                | 18.717                                                           | 10.695       |
| #29/1 DA1-2 SS                         | 40.99                | 371                           | Driven Rod        | 1.6                                | 16.173                                                           | 14.825       |
| #29/2 DA1+2 SS                         | 44.99                | 391                           | Driven Rod        | 1.9                                | 10.23                                                            | 14.066       |
| #30/1 DA1+1 SS                         | 43.99                | 411                           | Driven Rod        | 1.7                                | 9.732                                                            | 13.382       |
| #30/2 DA1+1 SS                         | 43.99                | 401                           | Driven Rod        | 4.8                                | 9.975                                                            | 12.469       |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

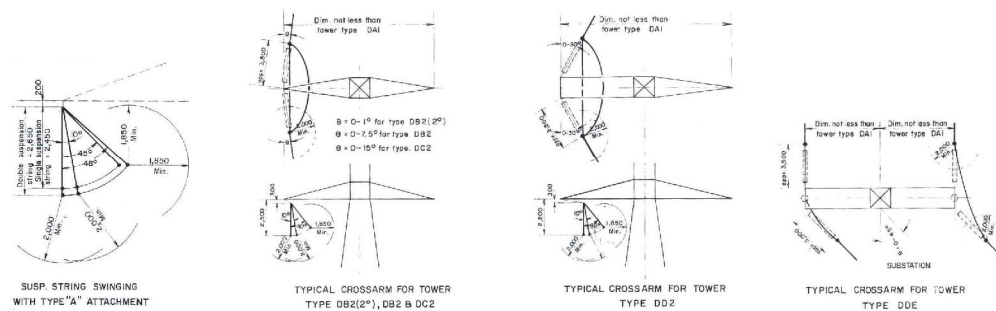
| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                         |                      |                               |                   |                                    |                                                                  |              |
| #30/3 DA1+1 SS                          | 43.99                | 412                           | Driven Rod        | 1.5                                | 12.136                                                           | 8.495        |
| #31/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 393                           | Driven Rod        | 1.7                                | 15.267                                                           | 12.723       |
| #31/2 DA1-1 SS                          | 41.99                | 384                           | Driven Rod        | 1.194                              | 15.625                                                           | 14.323       |
| #32/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 391                           | Driven Rod        | 1.4                                | 23.018                                                           | 14.066       |
| #32/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 392                           | Driven Rod        | 1.194                              | 15.306                                                           | 21.684       |
| #32/3 DA1+1 SS                          | 43.99                | 408                           | Driven Rod        | 11                                 | 12.255                                                           | 12.255       |
| #33/1 DB2+0 DT                          | 42.04                | 400                           | Driven Rod        | 1.9                                | 17.5                                                             | 22.5         |
| #33/2 DA1-1 SS                          | 41.99                | 380                           | Driven Rod        | 3.5                                | 15.789                                                           | 13.158       |
| #33/3 DA1+0 SS                          | 42.99                | 382                           | Driven Rod        | 1.6                                | 13.089                                                           | 15.707       |
| #34/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 398                           | Driven Rod        | 1.5                                | 25.126                                                           | 20.101       |
| #34/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 400                           | Driven Rod        | 1.6                                | 15                                                               | 17.5         |
| #35/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 397                           | Driven Rod        | 2.9                                | 22.67                                                            | 17.632       |
| #35/2 DA1+1 SS                          | 43.99                | 398                           | Driven Rod        | 1.8                                | 20.101                                                           | 18.844       |
| #35/3 DA1+0 SS                          | 42.99                | 399                           | Driven Rod        | 45                                 | 25.063                                                           | 28.822       |
| #36/1 DA1+1 SS                          | 43.99                | 405                           | Driven Rod        | 8.5                                | 22.222                                                           | 19.753       |
| #36/2 DD2+0 DT                          | 42.05                | 397.7                         | Driven Rod        | 4                                  | 30.174                                                           | 28.916       |
| #37/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 408.3                         | Driven Rod        | 4                                  | 14.695                                                           | 25.716       |
| #37/2 DA1+2 DS                          | 44.99                | 426.76                        | Driven Rod        | 4.5                                | 25.776                                                           | 23.432       |
| #37/3 DA1-3 DS                          | 39.99                | 379                           | Driven Rod        | 6.4                                | 47.493                                                           | 35.62        |
| #38/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 392                           | Driven Rod        | 1.7                                | 17.857                                                           | 16.58        |
| #38/2 DA1+1 DS                          | 43.99                | 421                           | Driven Rod        | 4                                  | 28.504                                                           | 24.94        |
| #39/1 DA1+1 SS                          | 43.99                | 405                           | Driven Rod        | 2.5                                | 22.222                                                           | 32.099       |
| #39/2 DA1+1 SS                          | 43.99                | 406                           | Driven Rod        | 1.5                                | 24.631                                                           | 32.018       |
| #40/1 DA1+2 SS                          | 44.99                | 413                           | Driven Rod        | 3.4                                | 29.056                                                           | 29.056       |
| #40/2 DA1+1 SS                          | 43.99                | 415                           | Driven Rod        | 1.7                                | 31.325                                                           | 20.482       |
| #40/3 DA1+1 SS                          | 43.99                | 411                           | Driven Rod        | 8.9                                | 34.063                                                           | 27.98        |
| #41/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 401                           | Driven Rod        | 4.3                                | 4.988                                                            | 13.716       |

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้า<br>แต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                     | 1.0 กิโลเมตร |
|                                         |                      |                               |                   |                                    |                                                                  |              |
| #41/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 399                           | Driven Rod        | 1.9                                | 35.088                                                           | 26.316       |
| #42/1 DA1+0 SS                          | 42.99                | 405                           | Driven Rod        | 3.5                                | 9.877                                                            | 17.284       |
| #42/2 DA1+0 SS                          | 42.99                | 388                           | Driven Rod        | 1.8                                | 10.309                                                           | 12.887       |
| #42/3 DD2+0 DT                          | 42.05                | 387.7                         | Driven Rod        | 2                                  | 23.214                                                           | 21.924       |
| #43/1 DA1+0 DS                          | 42.99                | 397                           | Driven Rod        | 3.9                                | 10.076                                                           | 13.854       |
| #43/2 DA1+0 DS                          | 42.99                | 400                           | Driven Rod        | 1.4                                | 12.5                                                             | 11.25        |
| #44/1 DA1+4 DS                          | 46.99                | 403                           | Driven Rod        | 3                                  | 32.258                                                           | 21.092       |
| #44/2 DA1+6 DS                          | 48.99                | 457                           | Driven Rod        | 2                                  | 15.317                                                           | 26.258       |
| #44/3 DA1+4 DS                          | 46.99                | 408                           | Driven Rod        | 3                                  | 39.216                                                           | 26.961       |
| #45/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 438                           | Driven Rod        | 2.4                                | 15.982                                                           | 15.982       |
| #45/2 DA1+1 DS                          | 43.99                | 377                           | Driven Rod        | 18                                 | 26.525                                                           | 23.873       |
| #46/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 409.09                        | Driven Rod        | 2                                  | 14.667                                                           | 12.222       |
| #46/2 DA1+3 DS                          | 45.99                | 399                           | Driven Rod        | 9                                  | 12.531                                                           | 13.784       |
| #46/3 DA1+2 DS                          | 44.99                | 318                           | Driven Rod        | 3.5                                | 18.868                                                           | 15.723       |
| #47/1 DA1+3 DS                          | 45.99                | 425                           | Driven Rod        | 4                                  | 14.118                                                           | 25.882       |
| #47/2 DD2+0 DT                          | 42.05                | 405.85                        | Driven Rod        | 6                                  | 17.248                                                           | 18.48        |
| #48/1 DA1+0 DS                          | 42.99                | 398.7                         | Driven Rod        | 6                                  | 22.573                                                           | 18.811       |
| #48/2 DA1-3 SS                          | 39.99                | 376                           | Driven Rod        | 6.5                                | 10.638                                                           | 18.617       |
| #48/3 DA1+0 SS                          | 42.99                | 376                           | Driven Rod        | 5                                  | 23.936                                                           | 18.617       |
| #49/1 DA1-1 SS                          | 41.99                | 369                           | Driven Rod        | 17.3                               | 13.55                                                            | 12.195       |
| #49/2 DA1-2 SS                          | 40.99                | 377                           | Driven Rod        | 1.6                                | 10.61                                                            | 13.263       |
| #49/3 DA1+0 SS                          | 42.99                | 377                           | Driven Rod        | 5                                  | 15.915                                                           | 13.263       |
| #50/1 DA1-2 SS                          | 40.99                | 377                           | Driven Rod        | 4.8                                | 26.525                                                           | 17.241       |
| #50/2 DA1-1 SS                          | 41.99                | 375                           | Driven Rod        | 12                                 | 21.333                                                           | 24           |
| #51/1 DA1-2 SS                          | 40.99                | 350                           | Driven Rod        | 7.9                                | 14.286                                                           | 15.714       |
| #51/2 DA1-1 SS                          | 41.99                | 350                           | Driven Rod        | 12.5                               | 11.429                                                           | 10           |
| #51/3 DA1-3 SS                          | 39.99                | 350                           | Driven Rod        | 14.5                               | 11.429                                                           | 10           |



ภาพผนวกที่ 3 ชนิดของเสาสำหรับสายส่ง 230kV อ่างทอง2-ท่าลาน3



ภาพผนวกที่ 4 ความยาวชุดลูกถ้วยของเสาชนิดต่างๆ สำหรับสายส่ง 230 kV อ่างทอง2-ท่าลาน3

ตารางผนวกที่ ก3 รายละเอียดสายส่ง 500 kV ไทน้อย-วังน้อย วงจรที่ 3  
(จำนวนเสา 252 ต้น ระยะทาง 89.609 กิโลเมตร)

| เสาดั้งที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                          |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #122/3A DT60+4.5<br>ST15&DT13            | 57.5                 | 177.28                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 21.011                                                       | 18.384       |
| #122/2A DL+6 VS3                         | 56                   | 178.98                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.282                                                       | 14.102       |
| #122/1A DM+10.5<br>VS18                  | 60.5                 | 246.02                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 22.349                                                       | 22.349       |
| #121/4A DL+6 VS3                         | 56                   | 230                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 12.194                                                       | 6.097        |
| #121/3A DL+6 VS3                         | 56                   | 297.46                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.696                                                        | 28.261       |
| #121/2A DT60+9<br>DT13                   | 62                   | 313.35                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 26.894                                                       | 31.937       |
| #121/1A DT60+4.5<br>DT13                 | 57.5                 | 284.19                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 6.383                                                        | 7.978        |
| #120/4A DL+6 VS3                         | 56                   | 210                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.594                                                       | 1.759        |
| #120/3A<br>DM+10.5+15B VS18              | 75.5                 | 92.21                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 4.762        |
| #120/2A<br>DM+10.5+15B VS18              | 75.5                 | 213.38                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 21.69                                                        | 16.267       |
| #120/1A DT60+7.5<br>DT13                 | 60.5                 | 326.32                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 18.746                                                       | 11.717       |
| #119/4A DT20+4.5<br>DT14                 | 57.5                 | 255.32                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 21.451                                                       | 13.79        |
| #119/3A DL+3 VS3                         | 53                   | 250                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 19.583                                                       | 21.542       |
| #119/2A DL+3 VS3                         | 53                   | 250                           | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 24                                                           | 20           |

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #119/1A DL+7.5 VS3                      | 57.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 24                                                           | 26           |
| #118/3A DL+4.5+7.5B<br>VS3              | 62                   | 359                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 22.222                                                       | 22.222       |
| #118/2A DL+7.5 VS3                      | 57.5                 | 269.66                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 27.855                                                       | 18.106       |
| #118/1A DT60+4.5<br>DT13                | 57.5                 | 391.34                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 22.25                                                        | 12.979       |
| #117/3A<br>DM+10.5+7.5B VS18            | 68                   | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 12.777                                                       | 16.61        |
| #117/2A DM+7.5+7.5B<br>VS18             | 65                   | 380                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.556                                                        | 5.556        |
| #117/1A DL+10.5 VS3                     | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 2.632        |
| #116/2A DM+7.5+15B<br>VS18              | 72.5                 | 319.8                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.429                                                       | 12.857       |
| #116/1A DT40+10.5<br>DT14               | 63.5                 | 440.2                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 43.777                                                       | 31.27        |
| #115/2A<br>DM+10.5+15B VS18             | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 20.445                                                       | 24.989       |
| #115/1A DM+9+15B<br>VS18                | 74                   | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 21.569                                                       | 18.627       |
| #114/2A<br>DM+10.5+15B VS18             | 75.5                 | 465.33                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 15.686                                                       | 17.647       |
| #114/1A DT40+10.5<br>DT14               | 63.5                 | 424.67                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 25.788                                                       | 21.49        |
| #113/2A DM+9+15B<br>VS18                | 74                   | 500                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 30.612                                                       | 34.144       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #113/1A DM+9+15B<br>VS18                | 74                   | 501                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10                                                           | 16           |
| #112/4A<br>DM+10.5+15B VS18             | 75.5                 | 365.92                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.964                                                       | 14.97        |
| #112/3A DT40+3<br>DT14                  | 56                   | 219.08                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 16.397                                                       | 10.93        |
| #112/2A<br>DL+10.5+7.5B VS3             | 68                   | 334                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 31.952                                                       | 34.234       |
| #112/1A DL+9+7.5B<br>VS3                | 66.5                 | 301                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 23.952                                                       | 26.946       |
| #111/3A DL+10.5 VS3                     | 60.5                 | 323                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 36.545                                                       | 21.595       |
| #111/2A DL+7.5 VS3                      | 57.5                 | 256.95                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 18.576                                                       | 24.768       |
| #111/1A DT20+10.5<br>DT14               | 63.5                 | 439.05                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 31.134                                                       | 35.026       |
| #110/3A DM+4.5+15B<br>VS18              | 69.5                 | 315                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 18.221                                                       | 21.638       |
| #110/2A DL+10.5 VS3                     | 60.5                 | 338.2                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 12.698                                                       | 17.46        |
| #110/1A DM+9<br>VS5&VS19                | 59                   | 405.8                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.741                                                       | 19.219       |
| #109/2A DM+4.5+15B<br>VS18              | 69.5                 | 467                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.25                                                        | 18.482       |
| #109/1A DM+7.5+15B<br>VS18              | 72.5                 | 334                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.989                                                       | 11.777       |
| #108/4A DL+6 VS3                        | 56                   | 256                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 23.952                                                       | 16.467       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #108/3A DT60+3<br>DT13                  | 56                   | 78                            | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 27.344                                                       | 31.25        |
| #108/2 DT60+3 DT13                      | 56                   | 88                            | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 34.091                                                       | 51.136       |
| #108/3 DT60+10.5<br>DT13                | 63.5                 | 418                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.569                                                        | 11.962       |
| #109/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 522                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 19.157                                                       | 8.621        |
| #109/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 380.2                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.891                                                        | 7.891        |
| #109/3 DT60+3 DT13                      | 56                   | 279.8                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.296                                                       | 16.083       |
| #110/1 DL+4.5 VS3                       | 54.5                 | 333                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 18.018                                                       | 18.018       |
| #110/2 DM+7.5+15B<br>VS18               | 72.5                 | 420                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 16.667                                                       | 14.286       |
| #111/1 DT40+9 DT14                      | 62                   | 452                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.062                                                       | 14.38        |
| #111/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 500                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 20                                                           | 21           |
| #111/3 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 422                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 16.588                                                       | 18.957       |
| #112/1 DM+7.5+7.5B<br>VS18              | 65                   | 329.5                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.105                                                        | 9.105        |
| #112/2 DT40+4.5<br>DT14                 | 57.5                 | 378.5                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 26.42                                                        | 22.457       |
| #113/1 DM+9+7.5B<br>VS18                | 66.5                 | 385.3                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 15.572                                                       | 14.275       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #113/2 DT20+10.5<br>DT14                | 63.5                 | 344.7                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.703                                                        | 10.154       |
| #113/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 351                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.245                                                       | 9.972        |
| #114/1 DL+9 VS3                         | 59                   | 339                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.9                                                          | 5.9          |
| #114/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 330                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 3.03                                                         | 4.545        |
| #114/3 DTR+6 VS3                        | 58.5                 | 348                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.494                                                       | 15.805       |
| #115/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 422.3                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 4.736                                                        | 11.84        |
| #115/2 DT60+6 DT13                      | 59                   | 288.7                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.319                                                       | 19.051       |
| #115/3 DL+6 VS3                         | 56                   | 283                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.134                                                       | 21.201       |
| #116/1 DL+7.5 VS3                       | 57.5                 | 288                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 24.306                                                       | 13.889       |
| #116/2 DL+4.5 VS3                       | 54.5                 | 275.3                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 18.162                                                       | 16.346       |
| #116/3 DT60+6 DT13                      | 59                   | 394.7                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.134                                                       | 17.735       |
| #117/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 520                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 15.385                                                       | 15.385       |
| #117/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 500                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10                                                           | 9            |
| #118/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 494                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.122                                                       | 6.073        |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #118/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 464                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 15.086                                                       | 14.009       |
| #119/1 DL+7.5+7.5B<br>VS3               | 65                   | 228                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 30.702                                                       | 19.737       |
| #119/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 500                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14                                                           | 17           |
| #119/3 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 262.11                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.63                                                         | 9.538        |
| #120/1 DT60+3 DT13                      | 56                   | 101.89                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.814                                                        | 14.722       |
| #120/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 145                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 13.793                                                       | 17.241       |
| #120/3 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 224.16                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.922                                                        | 6.692        |
| #120/4 DT60+6 DT13                      | 59                   | 325.4                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 4.61         |
| #120/5 DT60+6 DT13                      | 59                   | 253.44                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 3.946                                                        | 3.946        |
| #121/1 DL+3 VS3                         | 53                   | 160.86                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 6.217                                                        | 3.108        |
| #121/2 DT60+6 DT13                      | 59                   | 406.79                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 4.917                                                        | 7.375        |
| #121/3 DM+7.5+15B<br>VS18               | 72.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.882                                                        | 7.843        |
| #122/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.765                                                       | 10.784       |
| #122/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 225                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.889                                                        | 6.667        |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #122/3 DM+6 VS18                        | 56                   | 352                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.841                                                        | 7.102        |
| #123/1 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 423.21                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 18.903                                                       | 12.996       |
| #123/2 DT20+10.5<br>DT14                | 63.5                 | 294.79                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 27.138                                                       | 20.354       |
| #124/1 DM+3 VS18                        | 53                   | 235                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.511                                                        | 12.766       |
| #124/2 DM+7.5+15B<br>VS18               | 72.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 19.608                                                       | 18.628       |
| #124/3 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 433.7                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.529                                                       | 11.529       |
| #125/1 DT60+6 DT13                      | 59                   | 326.3                         | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 9.194                                                        | 9.134        |
| #125/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.111                                                       | 11.111       |
| #125/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.429                                                       | 8.571        |
| #126/1 DL+9 VS3                         | 59                   | 300                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 6.667                                                        | 13.333       |
| #126/2 DL+7.5+7.5B<br>VS3               | 65                   | 420                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.143                                                        | 9.524        |
| #126/3 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 420                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 9.524                                                        | 13.095       |
| #127/1 DM+7.5+15B<br>VS18               | 72.5                 | 500                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8                                                            | 8            |
| #127/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.765                                                       | 11.765       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #128/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 470                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.638                                                       | 12.766       |
| #128/2 DL+7.5+7.5B<br>VS3               | 65                   | 440                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.364                                                       | 14.773       |
| #129/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 19.608                                                       | 15.686       |
| #129/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 470                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25.532                                                       | 19.149       |
| #130/1 DM+4.5+15B<br>VS18               | 69.5                 | 396                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 20.202                                                       | 12.626       |
| #130/2 DTR+10.5 VS3                     | 63                   | 354                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.825                                                        | 8.475        |
| #131/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.714                                                        | 11.429       |
| #131/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 332                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.036                                                        | 10.542       |
| #131/3 DM+6+7.5B<br>VS18                | 63.5                 | 414                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.246                                                        | 8.454        |
| #132/1 DL+7.5+7.5B<br>VS3               | 65                   | 310                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.677                                                        | 6.452        |
| #132/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 339                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.85                                                         | 8.85         |
| #132/3 DM+7.5+7.5B<br>VS18              | 65                   | 441                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.268                                                        | 3.401        |
| #133/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 437                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 4.577                                                        | 6.865        |
| #133/2 DM+10.5 VS18                     | 60.5                 | 357                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.403                                                        | 4.202        |

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #134/1 DL+6+7.5B<br>VS3                 | 63.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.556                                                        | 5.556        |
| #134/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.556                                                        | 5.556        |
| #134/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 355                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.451                                                        | 7.042        |
| #135/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 335                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.955                                                        | 7.463        |
| #135/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 371                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.782                                                       | 10.782       |
| #135/3 DM+7.5+7.5B<br>VS18              | 65                   | 369                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.71                                                         | 6.775        |
| #136/1 DL+9 VS3                         | 59                   | 334                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.982                                                        | 13.473       |
| #136/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 286                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 8.741        |
| #136/3 DL+6 VS3                         | 56                   | 289                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.381                                                       | 8.651        |
| #137/1 DL+9 VS3                         | 59                   | 341                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.933                                                        | 4.399        |
| #137/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.333                                                        | 6.944        |
| #137/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.333                                                        | 5.556        |
| #138/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.143                                                       | 10           |
| #138/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 340                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.941                                                        | 2.941        |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #138/3 DL+4.5+7.5B<br>VS3               | 62                   | 340                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.882                                                        | 5.882        |
| #139/1 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 320                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 9.375                                                        | 4.688        |
| #139/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 340                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.941                                                        | 5.882        |
| #139/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 6.944        |
| #140/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 365                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.74                                                         | 1.37         |
| #140/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 261.92                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 15.272                                                       | 9.545        |
| #140/3 DT40+4.5<br>DT14                 | 57.5                 | 415.88                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.405                                                        | 3.607        |
| #141/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 488                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.246                                                       | 8.197        |
| #141/2 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 382.87                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.612                                                        | 5.224        |
| #142/1 DT20+7.5<br>DT14                 | 60.5                 | 231.13                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 4.327                                                        | 2.163        |
| #142/2 DL+4.5 VS3                       | 54.5                 | 161.38                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 6.197                                                        | 3.098        |
| #142/3 DT60+3 DT13                      | 56                   | 263.62                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 3.793                                                        | 5.69         |
| #142/4 DL+6 VS3                         | 56                   | 173.56                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.762                                                        | 5.762        |
| #142/5 DH+4.5+7.5B<br>VS9A&VS20         | 62                   | 269.44                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 3.711                                                        | 1.856        |

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #143/1 DL+1.5 VS3                       | 51.5                 | 213.87                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.351                                                        | 7.014        |
| #143/2 DT60+3 DT13                      | 56                   | 228.13                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 4.384                                                        | 6.575        |
| #143/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 286                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 6.993                                                        | 6.993        |
| #143/4 DL+4.5 VS3                       | 54.5                 | 238.36                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.391                                                        | 2.098        |
| #144/1 DT60+3 DT13                      | 56                   | 310.64                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 3.219                                                        | 8.048        |
| #144/2 DM+9+7.5B<br>VS18                | 66.5                 | 423                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.364                                                        | 3.546        |
| #144/3 DM+6+15B<br>VS18                 | 71                   | 413.98                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.416                                                        | 4.831        |
| #145/1 DT40+10.5<br>DT14                | 63.5                 | 389.16                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.278                                                       | 5.139        |
| #145/2 DM+4.5+7.5B<br>VS18              | 62                   | 365                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 2.74                                                         | 4.11         |
| #146/1 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 364                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 1.374        |
| #146/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 358                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.38                                                         | 5.587        |
| #146/3 DTR+10.5 VS3                     | 63                   | 359                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.571                                                        | 8.356        |
| #147/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 354                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.124                                                       | 12.712       |
| #147/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 357                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.205                                                       | 12.605       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #147/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 356                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.045                                                       | 8.427        |
| #148/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 355                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 0                                                            | 5.634        |
| #148/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 352                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.364                                                       | 8.523        |
| #148/3 DM+4.5+15B<br>VS18               | 69.5                 | 435                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 9.195                                                        | 10.345       |
| #149/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 498                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 6.024                                                        | 6.024        |
| #149/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 509                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 1.965                                                        | 5.894        |
| #150/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 470.09                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.636                                                       | 7.445        |
| #150/2 DT60+10.5<br>DT13                | 63.5                 | 458.91                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 8.716                                                        | 9.806        |
| #151/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 13.726                                                       | 12.745       |
| #151/2 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.843                                                        | 4.902        |
| #152/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.843                                                        | 7.843        |
| #152/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.882                                                        | 9.804        |
| #153/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.843                                                        | 3.922        |
| #153/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 510                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.647                                                       | 14.706       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #154/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 407.11                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 17.194                                                       | 15.966       |
| #154/2 DT20+6 DT14                      | 59                   | 410.89                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 36.506                                                       | 25.554       |
| #155/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 454.25                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 8.806                                                        | 12.108       |
| #155/2 DH+10.5+7.5B<br>VS9A&VS20        | 68                   | 186.75                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 21.419                                                       | 24.096       |
| #155/3 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 472                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 33.898                                                       | 25.424       |
| #156/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 337                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 32.641                                                       | 20.771       |
| #156/2 DL+7.5+7.5B<br>VS3               | 65                   | 380                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 39.474                                                       | 38.158       |
| #157/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 25.714                                                       | 22.857       |
| #157/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 25.319                                                       | 28.132       |
| #157/3 DM+9<br>VS5&VS19                 | 59                   | 350.53                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.264                                                       | 15.691       |
| #158/1 DM+10.5 VS18                     | 60.5                 | 414                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 19.324                                                       | 19.324       |
| #158/2 DM+6+15B<br>VS18                 | 71                   | 494                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 20.243                                                       | 14.17        |
| #158/3 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 25                                                           | 19.444       |
| #159/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 124                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 32.258                                                       | 48.387       |

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #159/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25                                                           | 30.556       |
| #159/3 DL+7.5 VS3                       | 57.5                 | 348.8                         | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 11.468                                                       | 20.069       |
| #160/1 DT60+9 DT13                      | 62                   | 355.2                         | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 14.077                                                       | 21.115       |
| #160/2 DL+9 VS3                         | 59                   | 359                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 11.142                                                       | 12.535       |
| #160/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 345                           | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 23.188                                                       | 23.188       |
| #161/1 DTR+9 VS3                        | 61.5                 | 351                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 28.49                                                        | 27.066       |
| #161/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 369                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 18.97                                                        | 23.035       |
| #161/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 358                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 33.52                                                        | 18.156       |
| #162/1 DL+9 VS3                         | 59                   | 361                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 36.011                                                       | 26.316       |
| #162/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 315                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 15.873                                                       | 12.698       |
| #162/3 DL+9 VS3                         | 59                   | 349                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 22.923                                                       | 21.49        |
| #163/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 357                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25.21                                                        | 25.21        |
| #163/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 34.286                                                       | 25.714       |
| #164/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 357                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25.21                                                        | 21.008       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #164/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 356                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 30.899                                                       | 23.876       |
| #164/3 DL+9 VS3                         | 59                   | 342                           | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 20.468                                                       | 24.854       |
| #165/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 331.18                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 15.098                                                       | 15.097       |
| #165/2 DT40+4.5<br>DT14                 | 57.5                 | 397.82                        | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 12.568                                                       | 15.082       |
| #165/3 DM+4.5+15B<br>VS18               | 69.5                 | 474                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 18.987                                                       | 27.426       |
| #166/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 437                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 16.018                                                       | 17.163       |
| #166/2 DM+10.5 VS18                     | 60.5                 | 394                           | Driven<br>Rod     | 0.4                                | 10.152                                                       | 10.152       |
| #167/1 DM+9+7.5B<br>VS18                | 66.5                 | 388.4                         | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 18.023                                                       | 21.885       |
| #167/2 DT20+6 DT14                      | 59                   | 327.6                         | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 15.262                                                       | 15.262       |
| #167/3 DM+7.5+15B<br>VS18               | 72.5                 | 505                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 17.822                                                       | 15.842       |
| #168/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 491                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 10.183                                                       | 11.202       |
| #168/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 443                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 18.059                                                       | 15.801       |
| #169/1 DM+10.5 VS18                     | 60.5                 | 439                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 15.945                                                       | 15.945       |
| #169/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 508                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 15.748                                                       | 12.795       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

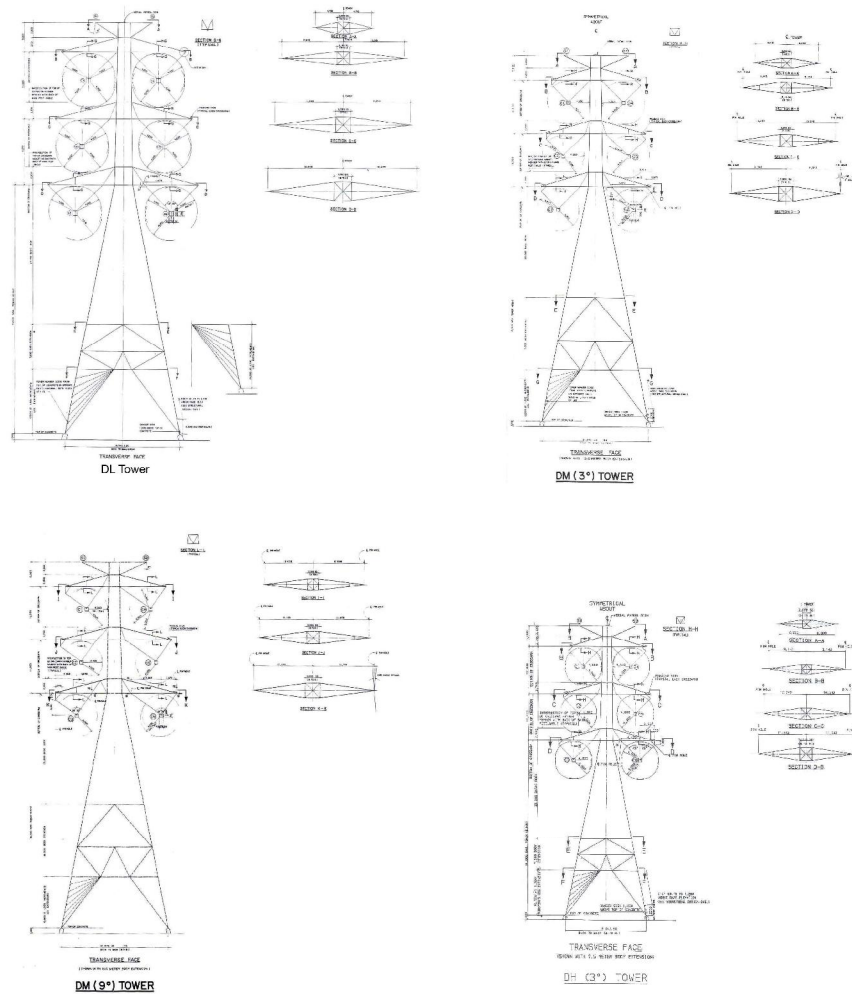
| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #170/1 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 505                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 23.762                                                       | 21.782       |
| #170/2 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 494                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 12.146                                                       | 13.158       |
| #171/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 446.25                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 26.891                                                       | 23.529       |
| #171/2 DT20+9 DT14                      | 62                   | 312.75                        | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 28.777                                                       | 17.586       |
| #171/3 DL+7.5 VS3                       | 57.5                 | 336                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 17.857                                                       | 14.881       |
| #172/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 351                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 5.698                                                        | 12.821       |
| #172/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 343                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 23.324                                                       | 18.95        |
| #173/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 332.94                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 6.007                                                        | 12.014       |
| #173/2 DT40+4.5<br>DT14                 | 57.5                 | 337.06                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 5.934                                                        | 10.384       |
| #173/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 354                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.124                                                       | 12.712       |
| #174/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 354                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 5.65                                                         | 7.062        |
| #174/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 359                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 11.142                                                       | 9.749        |
| #174/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 360                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 13.889                                                       | 20.833       |
| #175/1 DTR+10.5 VS3                     | 63                   | 355                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25.352                                                       | 16.901       |

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

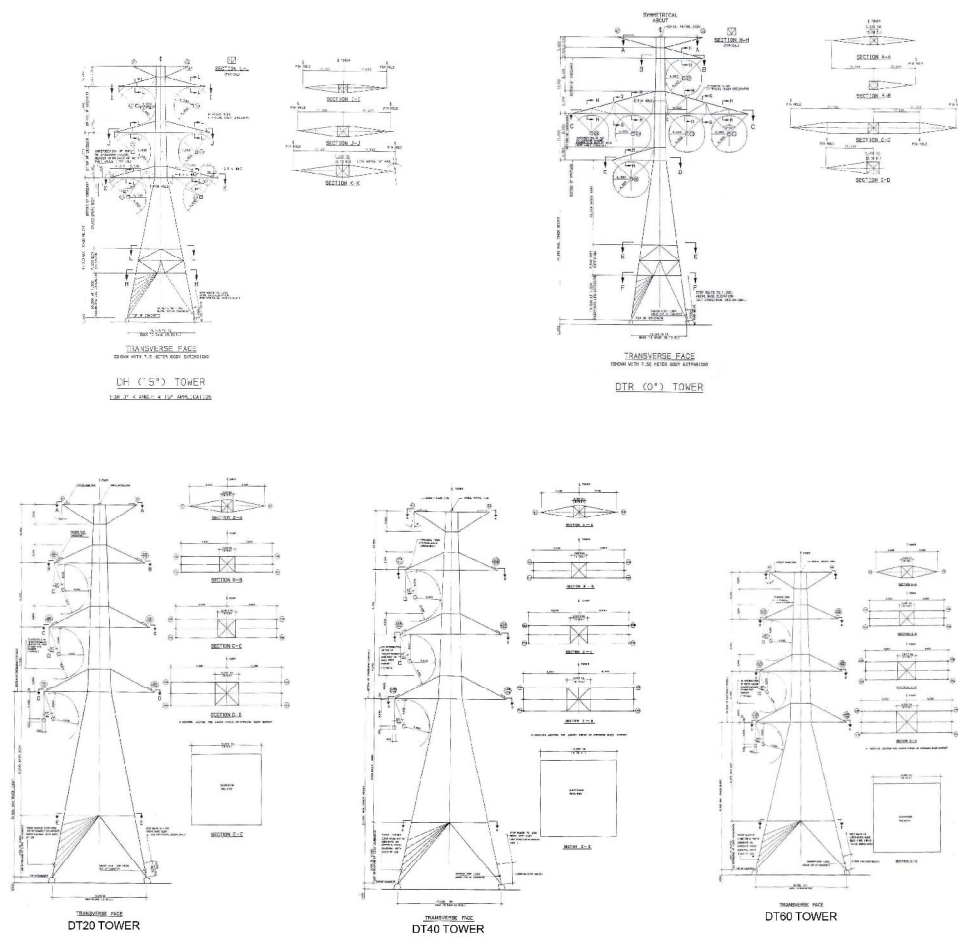
| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #175/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 352                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 31.25                                                        | 22.727       |
| #175/3 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 429                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 13.986                                                       | 15.151       |
| #176/1 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 431                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 9.281                                                        | 5.8          |
| #176/2 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 196                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 0                                                            | 5.102        |
| #176/3 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 127.44                        | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 7.847                                                        | 15.694       |
| #177/1 DT60+10.5<br>DT13                | 63.5                 | 400.32                        | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 2.498                                                        | 0            |
| #177/2 DT60+10.5<br>DT13                | 63.5                 | 423.24                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 2.363                                                        | 5.907        |
| #177/3 DM+10.5+7.5B<br>VS18             | 68                   | 403.92                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 9.903                                                        | 7.427        |
| #178/1 DH+10.5<br>VS9A&VS20             | 60.5                 | 345.08                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 5.796                                                        | 11.592       |
| #178/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 357                           | Driven<br>Rod     | 0.4                                | 14.006                                                       | 14.006       |
| #178/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 350                           | Driven<br>Rod     | 0.3                                | 25.714                                                       | 22.857       |
| #179/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 355                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25.352                                                       | 25.352       |
| #179/2 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 349                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 25.788                                                       | 27.221       |
| #179/3 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 354                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 22.599                                                       | 18.362       |

## ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

| เสาต้นที่/ชนิดเสา/<br>ชนิดของชุดลูกถ้วย | ความสูงเสา<br>(เมตร) | ระยะห่าง<br>ช่วงเสา<br>(เมตร) | ชนิดของ<br>Ground | ความต้านทาน<br>ดิน<br>(โอห์ม-เมตร) | ความหนาแน่นไฟฟ้าแต่ละช่วงเสา<br>(ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี) |              |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                         |                      |                               |                   |                                    | 0.5 กิโลเมตร                                                 | 1.0 กิโลเมตร |
| #180/1 DM+9+15B<br>VS18                 | 74                   | 289.99                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 27.587                                                       | 12.069       |
| #180/2 DT20+10.5<br>DT14                | 63.5                 | 458.01                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 15.283                                                       | 18.559       |
| #181/1 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 403.79                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 7.43                                                         | 12.383       |
| #181/2 DT40+3 DT14                      | 56                   | 317.21                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 25.22                                                        | 22.067       |
| #181/3 DL+9 VS3                         | 59                   | 341                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 11.73                                                        | 17.595       |
| #182/1 DL+10.5 VS3                      | 60.5                 | 291                           | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 17.182                                                       | 18.9         |
| #182/2 DL+6 VS3                         | 56                   | 338.53                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 14.77                                                        | 10.339       |
| #182/3 DM+10.5+7.5B<br>VS5&VS19         | 68                   | 430.47                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 13.938                                                       | 20.907       |
| #183/1 DM+7.5+15B<br>VS18               | 72.5                 | 441.87                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 38.473                                                       | 28.289       |
| #183/2 DT20+6 DT14                      | 59                   | 164.13                        | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 0                                                            | 12.186       |
| #183/3 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 182                           | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 32.967                                                       | 30.22        |
| #183/4 DM+10.5+15B<br>VS18              | 75.5                 | 105.54                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 9.475                                                        | 52.113       |
| #184/1 DT60+4.5<br>DT13                 | 57.5                 | 179.3                         | Driven<br>Rod     | 0.2                                | 44.618                                                       | 27.886       |
| #184/2 DT60+6<br>ST15&DT13              | 59                   | 220.17                        | Driven<br>Rod     | 0.1                                | 44.618                                                       | 27.886       |



ภาพผนวกที่ 5 ชนิดเสาและความยาวชุดลูกถ้วยสำหรับสายส่ง 500kV ไทรน้อย-วังน้อย วงจรที่ 3



ภาพผนวกที่ 6 ชนิดเสาและความยาวชุดลูกถ้วยสำหรับสายส่ง 500kV ไทน้อย-วังน้อย วงจรที่ 3 (ต่อ)

ภาคผนวกที่ ข

รายละเอียดสมรรถนะไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม TFlash

**ตารางผนวกที่ ข1 ผลของสมรรถนะฟ้าผ่าแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี**

| เสาดันที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|-----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|           | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #47/2A    | 0.000888          | 0.007495 | 0.008383 | 0.000444          | 0.003748 | 0.004192 |
| #47/3A    | 0.002864          | 0.018913 | 0.021777 | 0.002184          | 0.013973 | 0.016157 |
| #48/1     | 0.012681          | 0.131382 | 0.144063 | 0.010619          | 0.108584 | 0.119203 |
| #48/2     | 0.012897          | 0.226216 | 0.239113 | 0.007997          | 0.153525 | 0.161522 |
| #48/3     | 0.012618          | 0.27892  | 0.291538 | 0.012843          | 0.260103 | 0.272946 |
| #49/1     | 0.016714          | 0.142467 | 0.159181 | 0.012265          | 0.108922 | 0.121187 |
| #49/2     | 0.00787           | 0.088043 | 0.095913 | 0.005355          | 0.059678 | 0.065033 |
| #49/3     | 0.003219          | 0.02884  | 0.032059 | 0.004005          | 0.033589 | 0.037594 |
| #49/4     | 0.005815          | 0.058157 | 0.063972 | 0.005448          | 0.056523 | 0.061971 |
| #50/1     | 0.003097          | 0.026616 | 0.029713 | 0.004531          | 0.036324 | 0.040855 |
| #50/2     | 0.005651          | 0.06587  | 0.071521 | 0.005282          | 0.069395 | 0.074677 |
| #50/3     | 0.005477          | 0.081418 | 0.086895 | 0.003475          | 0.054678 | 0.058153 |
| #51/1     | 0.001703          | 0.179915 | 0.181618 | 0.003168          | 0.191    | 0.194168 |
| #51/2     | 0.007359          | 0.050553 | 0.057912 | 0.005785          | 0.041928 | 0.047713 |
| #51/3     | 0.003837          | 0.018876 | 0.022713 | 0.004194          | 0.018181 | 0.022375 |
| #52/1     | 0.006979          | 0.266452 | 0.273431 | 0.006254          | 0.256517 | 0.262771 |
| #52/2     | 0.004224          | 0.045849 | 0.050073 | 0.004174          | 0.043864 | 0.048038 |
| #52/3     | 0.004525          | 0.13547  | 0.139995 | 0.004525          | 0.13547  | 0.139995 |
| #53/1     | 0.003155          | 0.040772 | 0.043927 | 0.005569          | 0.059262 | 0.064831 |
| #53/2     | 0.002732          | 0.079107 | 0.081839 | 0.003111          | 0.10592  | 0.109031 |
| #53/3     | 0.003994          | 0.041328 | 0.045322 | 0.003994          | 0.041328 | 0.045322 |
| #54/1     | 0.000199          | 0.025566 | 0.025765 | 0.002679          | 0.074984 | 0.077663 |
| #54/2     | 0.005604          | 0.116813 | 0.122417 | 0.004338          | 0.117749 | 0.122087 |
| #54/3     | 0.004456          | 0.103012 | 0.107468 | 0.005107          | 0.109018 | 0.114125 |
| #55/1     | 0.004151          | 0.03196  | 0.036111 | 0.004283          | 0.033982 | 0.038265 |
| #55/2     | 0.002351          | 0.109034 | 0.111385 | 0.006908          | 0.238157 | 0.245065 |
| #55/3     | 0.003932          | 0.083887 | 0.087819 | 0.005509          | 0.130238 | 0.135747 |
| #56/1     | 0.003975          | 0.039347 | 0.043322 | 0.006024          | 0.056995 | 0.063019 |
| #56/2     | 0.001426          | 0.002559 | 0.003985 | 0.004036          | 0.005863 | 0.009899 |

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #56/3    | 0.006163          | 0.051739 | 0.057902 | 0.008122          | 0.08184  | 0.089962 |
| #57/1    | 0.002714          | 0.025195 | 0.027909 | 0.003795          | 0.033574 | 0.037369 |
| #57/2    | 0.003886          | 0.120964 | 0.12485  | 0.003121          | 0.113262 | 0.116383 |
| #57/3    | 0.003365          | 0.16469  | 0.168055 | 0.004278          | 0.185691 | 0.189969 |
| #58/1    | 0.000326          | 0.005095 | 0.005421 | 0.002365          | 0.023541 | 0.025906 |
| #58/2    | 0.003584          | 0.026166 | 0.02975  | 0.003883          | 0.030522 | 0.034405 |
| #59/1    | 0.001071          | 0.046235 | 0.047306 | 0.002226          | 0.069156 | 0.071382 |
| #59/2    | 0.001982          | 0.023676 | 0.025658 | 0.002063          | 0.025272 | 0.027335 |
| #59/3    | 0.010281          | 0.306185 | 0.316466 | 0.007275          | 0.229957 | 0.237232 |
| #60/1    | 0.006997          | 0.047585 | 0.054582 | 0.007517          | 0.04925  | 0.056767 |
| #60/2    | 0.005023          | 0.425098 | 0.430121 | 0.007738          | 0.576887 | 0.584625 |
| #60/3    | 0.003072          | 0.126661 | 0.129733 | 0.006144          | 0.253322 | 0.259466 |
| #61/1    | 0.011103          | 0.187954 | 0.199057 | 0.011494          | 0.196392 | 0.207886 |
| #61/2    | 0.005634          | 0.021345 | 0.026979 | 0.005634          | 0.021345 | 0.026979 |
| #61/3    | 0.006416          | 0.060895 | 0.067311 | 0.004637          | 0.047688 | 0.052325 |
| #62/1    | 0.006224          | 0.041183 | 0.047407 | 0.006883          | 0.043422 | 0.050305 |
| #62/2    | 0.004496          | 0.032802 | 0.037298 | 0.003698          | 0.028735 | 0.032433 |
| #62/3    | 0.004261          | 0.033571 | 0.037832 | 0.003196          | 0.02518  | 0.028376 |
| #63/1    | 0.004034          | 0.03169  | 0.035724 | 0.003036          | 0.023767 | 0.026803 |
| #63/2    | 0.003703          | 0.077944 | 0.081647 | 0.003911          | 0.08624  | 0.090151 |
| #63/3    | 0.012745          | 0.023903 | 0.036648 | 0.005474          | 0.012756 | 0.01823  |
| #64/1    | 0.011474          | 0.095726 | 0.1072   | 0.010669          | 0.069911 | 0.08058  |
| #64/2    | 0.006344          | 0.045344 | 0.051688 | 0.006592          | 0.047896 | 0.054488 |
| #64/3    | 0.002548          | 0.01901  | 0.021558 | 0.003073          | 0.022536 | 0.025609 |
| #65/1    | 0.007702          | 0.056464 | 0.064166 | 0.009042          | 0.067053 | 0.076095 |
| #65/2    | 0.010591          | 0.064997 | 0.075588 | 0.010781          | 0.067192 | 0.077973 |
| #65/3    | 0.003174          | 0.048152 | 0.051326 | 0.005979          | 0.072952 | 0.078931 |
| #66/1    | 0.007713          | 0.152932 | 0.160645 | 0.003528          | 0.093121 | 0.096649 |
| #66/2    | 0.005808          | 0.059184 | 0.064992 | 0.006494          | 0.061197 | 0.067691 |

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #66/3    | 0.002588          | 0.155095 | 0.157683 | 0.003738          | 0.215423 | 0.219161 |
| #67/1    | 0.004182          | 0.190788 | 0.19497  | 0.004331          | 0.209356 | 0.213687 |
| #67/2    | 0.002502          | 0.05681  | 0.059312 | 0.003046          | 0.06905  | 0.072096 |
| #68/1    | 0.006215          | 0.047357 | 0.053572 | 0.004473          | 0.037729 | 0.042202 |
| #68/2    | 0.002735          | 0.024901 | 0.027636 | 0.004274          | 0.033148 | 0.037422 |
| #68/3    | 0.00403           | 0.22616  | 0.23019  | 0.002504          | 0.192018 | 0.194522 |
| #69/1    | 0.004273          | 0.032353 | 0.036626 | 0.003073          | 0.022244 | 0.025317 |
| #69/2    | 0.011242          | 0.085756 | 0.096998 | 0.014712          | 0.110197 | 0.124909 |
| #69/3    | 0.005206          | 0.015495 | 0.020701 | 0.004723          | 0.015143 | 0.019866 |
| #70/1    | 0.006848          | 0.067645 | 0.074493 | 0.005707          | 0.056375 | 0.062082 |
| #70/2    | 0.004501          | 0.041876 | 0.046377 | 0.004369          | 0.038919 | 0.043288 |
| #70/3    | 0.00605           | 0.044744 | 0.050794 | 0.00789           | 0.056881 | 0.064771 |
| #71/1    | 0.004542          | 0.036381 | 0.040923 | 0.007617          | 0.058609 | 0.066226 |
| #71/2    | 0.002488          | 0.0258   | 0.028288 | 0.004826          | 0.048635 | 0.053461 |
| #71/3    | 0.002183          | 0.128714 | 0.130897 | 0.004343          | 0.257428 | 0.261771 |
| #72/1    | 0.002392          | 0.016998 | 0.01939  | 0.002074          | 0.015811 | 0.017885 |
| #72/2    | 0.004694          | 0.052342 | 0.057036 | 0.003521          | 0.039258 | 0.042779 |
| #72/3    | 0.001204          | 0.053678 | 0.054882 | 0.003726          | 0.077527 | 0.081253 |
| #72/4    | 0.006893          | 0.038369 | 0.045262 | 0.006315          | 0.038587 | 0.044902 |
| #73/1    | 0.005154          | 0.126658 | 0.131812 | 0.003947          | 0.099282 | 0.103229 |
| #73/2    | 0.002855          | 0.009096 | 0.011951 | 0.002715          | 0.008017 | 0.010732 |
| #73/3    | 0.008326          | 0.212905 | 0.221231 | 0.008355          | 0.212905 | 0.22126  |
| #74/1    | 0.001671          | 0.014347 | 0.016018 | 0.00267           | 0.021343 | 0.024013 |
| #74/2    | 0.003797          | 0.030531 | 0.034328 | 0.002079          | 0.025009 | 0.027088 |
| #74/3    | 0.006239          | 0.055013 | 0.061252 | 0.00883           | 0.071143 | 0.079973 |
| #75/1    | 0.001898          | 0.015506 | 0.017404 | 0.004438          | 0.04015  | 0.044588 |
| #75/2    | 0.002762          | 0.002074 | 0.004836 | 0.002097          | 0.001751 | 0.003848 |
| #75/3    | 0.002091          | 0.044881 | 0.046972 | 0.001975          | 0.035572 | 0.037547 |
| #76/1    | 0.006358          | 0.076703 | 0.083061 | 0.005385          | 0.066315 | 0.0717   |

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #76/2    | 0.000793          | 0.016139 | 0.016932 | 0.003462          | 0.039238 | 0.0427   |
| #76/3    | 0.005548          | 0.038919 | 0.044467 | 0.005072          | 0.038968 | 0.04404  |
| #77/1    | 0.00285           | 0.039619 | 0.042469 | 0.005496          | 0.059557 | 0.065053 |
| #77/2    | 0.00215           | 0.0742   | 0.07635  | 0.003525          | 0.135101 | 0.138626 |
| #77/3    | 0.005909          | 0.040291 | 0.0462   | 0.005142          | 0.036272 | 0.041414 |
| #78/1    | 0.002753          | 0.042733 | 0.045486 | 0.001676          | 0.029692 | 0.031368 |
| #78/2    | 0.005751          | 0.035566 | 0.041317 | 0.005504          | 0.032867 | 0.038371 |
| #78/3    | 0.008842          | 0.118147 | 0.126989 | 0.006208          | 0.088071 | 0.094279 |
| #79/1    | 0.008242          | 0.076679 | 0.084921 | 0.006115          | 0.056228 | 0.062343 |
| #79/2    | 0.012073          | 0.102214 | 0.114287 | 0.009054          | 0.076659 | 0.085713 |
| #80/1    | 0.003449          | 0.187875 | 0.191324 | 0.005847          | 0.222737 | 0.228584 |
| #80/2    | 0.009745          | 0.079544 | 0.089289 | 0.006415          | 0.056735 | 0.06315  |
| #80/3    | 0.020248          | 0.147585 | 0.167833 | 0.013092          | 0.094874 | 0.107966 |
| #81/1    | 0.010882          | 0.114691 | 0.125573 | 0.005854          | 0.064501 | 0.070355 |
| #81/2    | 0.003204          | 0.005232 | 0.008436 | 0.003676          | 0.004676 | 0.008352 |
| #81/3    | 0.001424          | 0.022579 | 0.024003 | 0.00532           | 0.047445 | 0.052765 |
| #82/1    | 0.002637          | 0.019936 | 0.022573 | 0.003343          | 0.039092 | 0.042435 |
| #82/2    | 0.003929          | 0.053868 | 0.057797 | 0.003013          | 0.042864 | 0.045877 |
| #82/3    | 0.007835          | 0.090124 | 0.097959 | 0.005876          | 0.067591 | 0.073467 |
| #83/1    | 0.002933          | 0.101287 | 0.10422  | 0.002668          | 0.084501 | 0.087169 |
| #83/2    | 0.000264          | 0.025368 | 0.025632 | 0.001168          | 0.052034 | 0.053202 |
| #83/3    | 0.000323          | 0        | 0.000323 | 0.003528          | 0.061444 | 0.064972 |
| #84/1    | 0.002505          | 0.016198 | 0.018703 | 0.003276          | 0.022744 | 0.02602  |
| #84/2    | 0.00453           | 0.195706 | 0.200236 | 0.005662          | 0.244626 | 0.250288 |
| #84/3    | 0.004234          | 0.032212 | 0.036446 | 0.004366          | 0.034232 | 0.038598 |
| #85/1    | 0.009685          | 0.172297 | 0.181982 | 0.006938          | 0.129857 | 0.136795 |
| #85/2    | 0.003872          | 0.124919 | 0.128791 | 0.004063          | 0.120491 | 0.124554 |
| #85/3    | 0.008789          | 0.028256 | 0.037045 | 0.006591          | 0.021961 | 0.028552 |
| #86/1    | 0.008306          | 0.246705 | 0.255011 | 0.00673           | 0.193888 | 0.200618 |

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #86/2    | 0.001621          | 0.017074 | 0.018695 | 0.001006          | 0.011495 | 0.012501 |
| #86/3    | 0.009193          | 0.364802 | 0.373995 | 0.006803          | 0.262807 | 0.26961  |
| #87/1    | 0.008234          | 0.058929 | 0.067163 | 0.008973          | 0.061095 | 0.070068 |
| #87/2    | 0.004537          | 0.053972 | 0.058509 | 0.006509          | 0.074005 | 0.080514 |
| #87/3    | 0.002642          | 0.086222 | 0.088864 | 0.002875          | 0.100204 | 0.103079 |
| #88/1    | 0.004274          | 0.079185 | 0.083459 | 0.005201          | 0.093324 | 0.098525 |
| #88/2    | 0.003219          | 0.022132 | 0.025351 | 0.007096          | 0.044304 | 0.0514   |
| #88/3    | 0.005126          | 0.125127 | 0.130253 | 0.006882          | 0.189172 | 0.196054 |
| #89/1    | 0.003343          | 0.025782 | 0.029125 | 0.006117          | 0.044056 | 0.050173 |
| #89/2    | 0.002132          | 0.017268 | 0.0194   | 0.001408          | 0.015021 | 0.016429 |
| #89/3    | 0.001615          | 0.026065 | 0.02768  | 0.001672          | 0.022611 | 0.024283 |
| #90/1    | 0.005407          | 0.014615 | 0.020022 | 0.008038          | 0.021199 | 0.029237 |
| #90/2    | 0.00805           | 0.084002 | 0.092052 | 0.009528          | 0.110707 | 0.120235 |
| #90/3    | 0.008056          | 0.219182 | 0.227238 | 0.005273          | 0.157241 | 0.162514 |
| #91/1    | 0.007103          | 0.341834 | 0.348937 | 0.006614          | 0.29115  | 0.297764 |
| #91/2    | 0.019112          | 0.015939 | 0.035051 | 0.035025          | 0.022841 | 0.057866 |
| #91/3    | 0.004001          | 0.037204 | 0.041205 | 0.004339          | 0.04672  | 0.051059 |
| #92/1    | 0.000529          | 0.113264 | 0.113793 | 0.001461          | 0.157876 | 0.159337 |
| #92/2    | 0                 | 0        | 0        | 0.001146          | 0.074164 | 0.07531  |
| #92/3    | 0.005661          | 0.038998 | 0.044659 | 0.004066          | 0.03115  | 0.035216 |
| #93/1    | 0.000673          | 0.01884  | 0.019513 | 0.001533          | 0.02513  | 0.026663 |
| #93/2    | 0.006601          | 0.156928 | 0.163529 | 0.00989           | 0.263126 | 0.273016 |
| #93/3    | 0.002525          | 0.004468 | 0.006993 | 0.001436          | 0.004097 | 0.005533 |
| #94/1    | 0.006506          | 0.062005 | 0.068511 | 0.005086          | 0.043921 | 0.049007 |
| #94/2    | 0.006533          | 0.58632  | 0.592853 | 0.004518          | 0.428234 | 0.432752 |
| #94/3    | 0.004555          | 0.041276 | 0.045831 | 0.005232          | 0.043579 | 0.048811 |
| #95/1    | 0.004399          | 0.061048 | 0.065447 | 0.003599          | 0.054509 | 0.058108 |
| #95/2    | 0.002262          | 0.041412 | 0.043674 | 0.002665          | 0.047025 | 0.04969  |
| #95/3    | 0.005548          | 0.04213  | 0.047678 | 0.004484          | 0.038729 | 0.043213 |

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #96/1    | 0.006353          | 0.04175  | 0.048103 | 0.004751          | 0.031311 | 0.036062 |
| #96/2    | 0.002248          | 0.019492 | 0.02174  | 0.001167          | 0.011031 | 0.012198 |
| #96/3    | 0.004062          | 0.032517 | 0.036579 | 0.002993          | 0.023195 | 0.026188 |
| #97/1    | 0.002372          | 0.058313 | 0.060685 | 0.00405           | 0.066089 | 0.070139 |
| #97/2    | 0.007641          | 0.09464  | 0.102281 | 0.004269          | 0.063015 | 0.067284 |
| #97/3    | 0.01031           | 0.182877 | 0.193187 | 0.010708          | 0.163794 | 0.174502 |
| #98/1    | 0.006641          | 0.122236 | 0.128877 | 0.0108            | 0.190944 | 0.201744 |
| #98/2    | 0.009806          | 0.022202 | 0.032008 | 0.008813          | 0.023075 | 0.031888 |
| #98/3    | 0.005139          | 0.102178 | 0.107317 | 0.007179          | 0.121262 | 0.128441 |
| #99/1    | 0.001171          | 0.075328 | 0.076499 | 0.001798          | 0.126202 | 0.128    |
| #99/2    | 0.005339          | 0.260488 | 0.265827 | 0.003901          | 0.195331 | 0.199232 |
| #99/3    | 0.002297          | 0.038663 | 0.04096  | 0.002008          | 0.031168 | 0.033176 |
| #100/1   | 0.003435          | 0.024288 | 0.027723 | 0.001803          | 0.013351 | 0.015154 |
| #100/2   | 0.002732          | 0.031838 | 0.03457  | 0.00228           | 0.021971 | 0.024251 |
| #100/3   | 0.003255          | 0.027997 | 0.031252 | 0.004002          | 0.033985 | 0.037987 |
| #101/1   | 0.010289          | 0.15487  | 0.165159 | 0.008004          | 0.125215 | 0.133219 |
| #101/2   | 0.005416          | 0.052372 | 0.057788 | 0.005902          | 0.052223 | 0.058125 |
| #101/3   | 0.010363          | 0.471492 | 0.481855 | 0.006641          | 0.344735 | 0.351376 |
| #102/1   | 0.001321          | 0.024693 | 0.026014 | 0.002387          | 0.036459 | 0.038846 |
| #102/2   | 0.003343          | 0.127778 | 0.131121 | 0.00293           | 0.129911 | 0.132841 |
| #102/3   | 0.003045          | 0.044766 | 0.047811 | 0.001593          | 0.025163 | 0.026756 |
| #103/1   | 0.007875          | 0.336025 | 0.3439   | 0.007533          | 0.293855 | 0.301388 |
| #103/2   | 0.002184          | 0.017702 | 0.019886 | 0.002282          | 0.018909 | 0.021191 |
| #103/3   | 0.000331          | 0.000681 | 0.001012 | 0.000331          | 0.000681 | 0.001012 |

**ตารางผนวกที่ ข2 ผลของสมรรถนะฟ้าผ่าแต่ละช่วงเสาสำหรับสายส่ง 230kV อ่างทอง2-ท่าลาน3**

| เสาดันที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|-----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|           | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #0/1      | 0.000122          | 0        | 0.000122 | 0.000182          | 0        | 0.000182 |
| #0/2      | 0.000122          | 0        | 0.000122 | 0.002459          | 0        | 0.002459 |
| #1/1      | 0.002004          | 0        | 0.002004 | 0.005498          | 0        | 0.005498 |
| #1/2      | 0.015409          | 0        | 0.015409 | 0.022244          | 0        | 0.022244 |
| #1/3      | 0.023233          | 0.012591 | 0.035824 | 0.013054          | 0.006295 | 0.019349 |
| #2/1      | 0.015452          | 0        | 0.015452 | 0.007726          | 0        | 0.007726 |
| #2/2      | 0.007854          | 0        | 0.007854 | 0.008726          | 0        | 0.008726 |
| #3/1      | 0.005527          | 0        | 0.005527 | 0.002562          | 0        | 0.002562 |
| #3/2      | 0.001461          | 0        | 0.001461 | 0.007043          | 0        | 0.007043 |
| #4/1      | 0.003633          | 0        | 0.003633 | 0.009904          | 0        | 0.009904 |
| #4/2      | 0.022312          | 0        | 0.022312 | 0.021463          | 0        | 0.021463 |
| #4/3      | 0.027058          | 0        | 0.027058 | 0.019132          | 0        | 0.019132 |
| #5/1      | 0.008458          | 0        | 0.008458 | 0.012132          | 0        | 0.012132 |
| #5/2      | 0.017258          | 0.008537 | 0.025795 | 0.024242          | 0.01494  | 0.039182 |
| #5/3      | 0.032624          | 0.014776 | 0.0474   | 0.022913          | 0.009851 | 0.032764 |
| #6/1      | 0.044242          | 0        | 0.044242 | 0.019111          | 0        | 0.019111 |
| #6/2      | 0.011942          | 0        | 0.011942 | 0.014895          | 0        | 0.014895 |
| #7/1      | 0.018387          | 0        | 0.018387 | 0.012733          | 0        | 0.012733 |
| #7/2      | 0.013783          | 0        | 0.013783 | 0.017572          | 0        | 0.017572 |
| #7/3      | 0.022401          | 0        | 0.022401 | 0.025043          | 0        | 0.025043 |
| #8/1      | 0.024022          | 0        | 0.024022 | 0.026025          | 0        | 0.026025 |
| #8/2      | 0.034883          | 0        | 0.034883 | 0.020012          | 0        | 0.020012 |
| #9/1      | 0.021187          | 0        | 0.021187 | 0.008845          | 0        | 0.008845 |
| #9/2      | 0.01285           | 0        | 0.01285  | 0.013388          | 0        | 0.013388 |
| #9/3      | 0.012909          | 0.010508 | 0.023417 | 0.034761          | 0.011821 | 0.046582 |
| #10/1     | 0.040962          | 0.016418 | 0.05738  | 0.021723          | 0.006567 | 0.02829  |
| #10/2     | 0.01731           | 0        | 0.01731  | 0.011588          | 0        | 0.011588 |
| #11/1     | 0.012091          | 0        | 0.012091 | 0.015684          | 0        | 0.015684 |
| #11/2     | 0.013215          | 0        | 0.013215 | 0.019468          | 0        | 0.019468 |

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #12/2    | 0.009203          | 0        | 0.009203 | 0.020338          | 0        | 0.020338 |
| #12/3    | 0.015636          | 0        | 0.015636 | 0.024327          | 0        | 0.024327 |
| #13/1    | 0.021499          | 0        | 0.021499 | 0.021422          | 0        | 0.021422 |
| #13/2    | 0.013969          | 0.010813 | 0.024782 | 0.017687          | 0.009732 | 0.027419 |
| #14/1    | 0.011271          | 0        | 0.011271 | 0.008777          | 0        | 0.008777 |
| #14/2    | 0.018301          | 0        | 0.018301 | 0.020669          | 0        | 0.020669 |
| #14/3    | 0.002307          | 0        | 0.002307 | 0.0008            | 0        | 0.0008   |
| #14/5    | 0.001252          | 0        | 0.001252 | 0.001252          | 0        | 0.001252 |
| #15/1    | 0.015478          | 0        | 0.015478 | 0.01189           | 0        | 0.01189  |
| #15/2    | 0.012312          | 0.015731 | 0.028043 | 0.017593          | 0.011798 | 0.029391 |
| #15/3    | 0.01978           | 0.013791 | 0.033571 | 0.023516          | 0.01609  | 0.039606 |
| #16/1    | 0.009376          | 0        | 0.009376 | 0.014879          | 0        | 0.014879 |
| #16/2    | 0.012274          | 0        | 0.012274 | 0.009233          | 0        | 0.009233 |
| #16/3    | 0.024011          | 0        | 0.024011 | 0.014123          | 0        | 0.014123 |
| #17/1    | 0.025439          | 0        | 0.025439 | 0.018612          | 0        | 0.018612 |
| #17/2    | 0.010278          | 0        | 0.010278 | 0.013311          | 0        | 0.013311 |
| #18/1    | 0.012203          | 0        | 0.012203 | 0.012671          | 0        | 0.012671 |
| #18/2    | 0.017531          | 0        | 0.017531 | 0.017695          | 0        | 0.017695 |
| #18/3    | 0.015426          | 0        | 0.015426 | 0.023464          | 0        | 0.023464 |
| #19/1    | 0.036932          | 0        | 0.036932 | 0.032953          | 0        | 0.032953 |
| #19/2    | 0.011793          | 0        | 0.011793 | 0.012986          | 0        | 0.012986 |
| #20/1    | 0.004958          | 0        | 0.004958 | 0.00705           | 0        | 0.00705  |
| #20/2    | 0.016182          | 0        | 0.016182 | 0.02232           | 0        | 0.02232  |
| #20/3    | 0.020658          | 0        | 0.020658 | 0.024747          | 0        | 0.024747 |
| #21/1    | 0.021042          | 0        | 0.021042 | 0.023069          | 0        | 0.023069 |
| #21/2    | 0.01914           | 0        | 0.01914  | 0.022181          | 0        | 0.022181 |
| #21/3    | 0.02227           | 0        | 0.02227  | 0.022569          | 0        | 0.022569 |
| #22/1    | 0.014369          | 0        | 0.014369 | 0.016077          | 0        | 0.016077 |
| #22/2    | 0.027568          | 0.016037 | 0.043605 | 0.02781           | 0.016036 | 0.043846 |

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #23/1    | 0.02655           | 0        | 0.02655  | 0.024307          | 0        | 0.024307 |
| #23/2    | 0.034822          | 0.04341  | 0.078232 | 0.027541          | 0.039069 | 0.06661  |
| #23/3    | 0.022088          | 0.018116 | 0.040204 | 0.019872          | 0.016607 | 0.036479 |
| #24/1    | 0.028172          | 0        | 0.028172 | 0.027954          | 0        | 0.027954 |
| #24/2    | 0.031464          | 0        | 0.031464 | 0.022992          | 0        | 0.022992 |
| #25/1    | 0.043435          | 0        | 0.043435 | 0.030217          | 0        | 0.030217 |
| #25/2    | 0.049273          | 0        | 0.049273 | 0.034868          | 0        | 0.034868 |
| #25/3    | 0.032576          | 0        | 0.032576 | 0.033032          | 0        | 0.033032 |
| #26/1    | 0.149728          | 0        | 0.149728 | 0.15143           | 0        | 0.15143  |
| #26/2    | 0.017935          | 0        | 0.017935 | 0.024607          | 0        | 0.024607 |
| #27/1    | 0.016125          | 0        | 0.016125 | 0.01899           | 0        | 0.01899  |
| #27/2    | 0.013801          | 0        | 0.013801 | 0.014168          | 0        | 0.014168 |
| #27/3    | 0.008958          | 0        | 0.008958 | 0.006614          | 0        | 0.006614 |
| #28/1    | 0.008901          | 0.00197  | 0.010871 | 0.009773          | 0.002463 | 0.012236 |
| #28/2    | 0.012648          | 0        | 0.012648 | 0.014342          | 0        | 0.014342 |
| #28/3    | 0.022548          | 0        | 0.022548 | 0.013641          | 0        | 0.013641 |
| #29/1    | 0.021414          | 0        | 0.021414 | 0.018311          | 0        | 0.018311 |
| #29/2    | 0.017141          | 0        | 0.017141 | 0.022273          | 0        | 0.022273 |
| #30/1    | 0.016018          | 0        | 0.016018 | 0.022026          | 0        | 0.022026 |
| #30/2    | 0.015258          | 0        | 0.015258 | 0.019279          | 0        | 0.019279 |
| #30/3    | 0.018284          | 0        | 0.018284 | 0.013702          | 0        | 0.013702 |
| #31/1    | 0.025923          | 0        | 0.025923 | 0.02128           | 0        | 0.02128  |
| #31/2    | 0.025245          | 0        | 0.025245 | 0.022754          | 0        | 0.022754 |
| #32/1    | 0.036895          | 0        | 0.036895 | 0.023562          | 0        | 0.023562 |
| #32/2    | 0.026795          | 0        | 0.026795 | 0.034568          | 0        | 0.034568 |
| #32/3    | 0.020426          | 0        | 0.020426 | 0.021648          | 0        | 0.021648 |
| #33/1    | 0.021652          | 0        | 0.021652 | 0.027329          | 0        | 0.027329 |
| #33/2    | 0.024208          | 0        | 0.024208 | 0.021705          | 0        | 0.021705 |
| #33/3    | 0.022078          | 0        | 0.022078 | 0.025276          | 0        | 0.025276 |

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #34/1    | 0.039276          | 0        | 0.039276 | 0.032356          | 0        | 0.032356 |
| #34/2    | 0.027187          | 0        | 0.027187 | 0.030003          | 0        | 0.030003 |
| #35/1    | 0.036833          | 0        | 0.036833 | 0.029739          | 0        | 0.029739 |
| #35/2    | 0.030838          | 0        | 0.030838 | 0.028283          | 0        | 0.028283 |
| #35/3    | 0.041522          | 0        | 0.041522 | 0.046925          | 0        | 0.046925 |
| #36/1    | 0.036345          | 0        | 0.036345 | 0.033446          | 0        | 0.033446 |
| #36/2    | 0.029597          | 0        | 0.029597 | 0.028185          | 0        | 0.028185 |
| #37/1    | 0.034226          | 0        | 0.034226 | 0.050869          | 0        | 0.050869 |
| #37/2    | 0.039267          | 0        | 0.039267 | 0.039015          | 0        | 0.039015 |
| #37/3    | 0.054347          | 0        | 0.054347 | 0.041716          | 0        | 0.041716 |
| #38/1    | 0.040392          | 0        | 0.040392 | 0.035034          | 0        | 0.035034 |
| #38/2    | 0.040986          | 0        | 0.040986 | 0.036127          | 0        | 0.036127 |
| #39/1    | 0.036065          | 0        | 0.036065 | 0.049112          | 0        | 0.049112 |
| #39/2    | 0.040055          | 0        | 0.040055 | 0.052603          | 0        | 0.052603 |
| #40/1    | 0.05089           | 0        | 0.05089  | 0.053092          | 0        | 0.053092 |
| #40/2    | 0.052187          | 0        | 0.052187 | 0.037066          | 0        | 0.037066 |
| #40/3    | 0.052682          | 0        | 0.052682 | 0.04238           | 0        | 0.04238  |
| #41/1    | 0.014392          | 0        | 0.014392 | 0.026482          | 0        | 0.026482 |
| #41/2    | 0.053686          | 0        | 0.053686 | 0.042136          | 0        | 0.042136 |
| #42/1    | 0.021492          | 0        | 0.021492 | 0.03106           | 0        | 0.03106  |
| #42/2    | 0.018504          | 0        | 0.018504 | 0.02383           | 0        | 0.02383  |
| #42/3    | 0.024589          | 0        | 0.024589 | 0.023944          | 0        | 0.023944 |
| #43/1    | 0.017618          | 0        | 0.017618 | 0.021861          | 0        | 0.021861 |
| #43/2    | 0.016636          | 0        | 0.016636 | 0.015861          | 0        | 0.015861 |
| #44/1    | 0.055908          | 0        | 0.055908 | 0.038005          | 0        | 0.038005 |
| #44/2    | 0.045274          | 0.074316 | 0.11959  | 0.062722          | 0.100239 | 0.162961 |
| #44/3    | 0.075755          | 0.010541 | 0.086296 | 0.057282          | 0.018071 | 0.075353 |
| #45/1    | 0.04117           | 0.016037 | 0.057207 | 0.036488          | 0.016037 | 0.052525 |
| #45/2    | 0.041056          | 0.01469  | 0.055746 | 0.037447          | 0.01469  | 0.052137 |

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

| เสาต้นที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|-----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|           | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #46/1     | 0.033741          | 0        | 0.033741 | 0.028693          | 0        | 0.028693 |
| #46/2     | 0.025021          | 0        | 0.025021 | 0.026024          | 0        | 0.026024 |
| #46/3     | 0.026037          | 0.013776 | 0.039813 | 0.022574          | 0.015153 | 0.037727 |
| #47/1     | 0.026449          | 0.016978 | 0.043427 | 0.042989          | 0.031125 | 0.074114 |
| #47/2     | 0.019731          | 0        | 0.019731 | 0.022768          | 0        | 0.022768 |
| #48/1     | 0.035115          | 0        | 0.035115 | 0.030279          | 0        | 0.030279 |
| #48/2     | 0.014211          | 0        | 0.014211 | 0.022404          | 0        | 0.022404 |
| #48/3     | 0.037805          | 0        | 0.037805 | 0.032585          | 0        | 0.032585 |
| #49/1     | 0.021984          | 0        | 0.021984 | 0.018933          | 0        | 0.018933 |
| #49/2     | 0.015125          | 0        | 0.015125 | 0.01795           | 0        | 0.01795  |
| #49/3     | 0.024636          | 0        | 0.024636 | 0.021353          | 0        | 0.021353 |
| #50/1     | 0.034536          | 0        | 0.034536 | 0.023049          | 0        | 0.023049 |
| #50/2     | 0.027372          | 0        | 0.027372 | 0.02913           | 0        | 0.02913  |
| #51/1     | 0.020459          | 0        | 0.020459 | 0.022614          | 0        | 0.022614 |
| #51/2     | 0.014613          | 0        | 0.014613 | 0.013181          | 0        | 0.013181 |
| #51/3     | 0.006173          | 0        | 0.006173 | 0.005401          | 0        | 0.005401 |

ตารางผนวกที่ ข3 ผลของสมรรถนะฟ้าผ่าแต่ละช่วงสำหรับสายส่ง 500kV ไทรน้อย-วังน้อย  
วงจรที่3

| เสาต้นที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|-----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|           | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #122/3A   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #122/2A   | 0.019762          | 0   | 0.019762 | 0.022499          | 0   | 0.022499 |
| #122/1A   | 0.013314          | 0   | 0.013314 | 0.013375          | 0   | 0.013375 |
| #121/4A   | 0.037953          | 0   | 0.037953 | 0.023946          | 0   | 0.023946 |
| #121/3A   | 0.026729          | 0   | 0.026729 | 0.061147          | 0   | 0.061147 |
| #121/2A   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #121/1A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #120/4A  | 0.027387          | 0   | 0.027387 | 0.005406          | 0   | 0.005406 |
| #120/3A  | 0.023238          | 0   | 0.023238 | 0.005621          | 0   | 0.005621 |
| #120/2A  | 0.011092          | 0   | 0.011092 | 0.008907          | 0   | 0.008907 |
| #120/1A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #119/4A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #119/3A  | 0.044585          | 0   | 0.044585 | 0.046378          | 0   | 0.046378 |
| #119/2A  | 0.055064          | 0   | 0.055064 | 0.048892          | 0   | 0.048892 |
| #119/1A  | 0.098964          | 0   | 0.098964 | 0.099098          | 0   | 0.099098 |
| #118/3A  | 0.144392          | 0   | 0.144392 | 0.148393          | 0   | 0.148393 |
| #118/2A  | 0.080791          | 0   | 0.080791 | 0.060108          | 0   | 0.060108 |
| #118/1A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #117/3A  | 0.007892          | 0   | 0.007892 | 0.009498          | 0   | 0.009498 |
| #117/2A  | 0.004971          | 0   | 0.004971 | 0.005304          | 0   | 0.005304 |
| #117/1A  | 0.004605          | 0   | 0.004605 | 0.012428          | 0   | 0.012428 |
| #116/2A  | 0.007076          | 0   | 0.007076 | 0.009792          | 0   | 0.009792 |
| #116/1A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #115/2A  | 0.036147          | 0   | 0.036147 | 0.040371          | 0   | 0.040371 |
| #115/1A  | 0.030002          | 0   | 0.030002 | 0.027634          | 0   | 0.027634 |
| #114/2A  | 0.027611          | 0   | 0.027611 | 0.028805          | 0   | 0.028805 |
| #114/1A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #113/2A  | 0.036633          | 0   | 0.036633 | 0.039555          | 0   | 0.039555 |
| #113/1A  | 0.018975          | 0   | 0.018975 | 0.026549          | 0   | 0.026549 |
| #112/4A  | 0.022475          | 0   | 0.022475 | 0.022281          | 0   | 0.022281 |
| #112/3A  | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #112/2A  | 0.137009          | 0   | 0.137009 | 0.143213          | 0   | 0.143213 |
| #112/1A  | 0.148067          | 0   | 0.148067 | 0.162983          | 0   | 0.162983 |
| #111/3A  | 0.148228          | 0   | 0.148228 | 0.098109          | 0   | 0.098109 |
| #111/2A  | 0.071057          | 0   | 0.071057 | 0.070445          | 0   | 0.070445 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #111/1A  | 0.000215          | 0        | 0.000215 | 0.000287          | 0        | 0.000287 |
| #110/3A  | 0.034174          | 0        | 0.034174 | 0.041183          | 0        | 0.041183 |
| #110/2A  | 0.049636          | 0        | 0.049636 | 0.065492          | 0        | 0.065492 |
| #110/1A  | 0.005262          | 0        | 0.005262 | 0.005959          | 0        | 0.005959 |
| #109/2A  | 0.01792           | 0        | 0.01792  | 0.019467          | 0        | 0.019467 |
| #109/1A  | 0.034725          | 0        | 0.034725 | 0.027264          | 0        | 0.027264 |
| #108/4A  | 0.056099          | 0        | 0.056099 | 0.039313          | 0        | 0.039313 |
| #108/3A  | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #108/2   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #108/3   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #109/1   | 0.024306          | 0        | 0.024306 | 0.012276          | 0        | 0.012276 |
| #109/2   | 0.012397          | 0        | 0.012397 | 0.010194          | 0        | 0.010194 |
| #109/3   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #110/1   | 0.041371          | 0        | 0.041371 | 0.042002          | 0        | 0.042002 |
| #110/2   | 0.032266          | 0        | 0.032266 | 0.031055          | 0        | 0.031055 |
| #111/1   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #111/2   | 0.025683          | 0        | 0.025683 | 0.027198          | 0        | 0.027198 |
| #111/3   | 0.01232           | 0        | 0.01232  | 0.01392           | 0        | 0.01392  |
| #112/1   | 0.00428           | 0        | 0.00428  | 0.004452          | 0        | 0.004452 |
| #112/2   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #113/1   | 0.012217          | 0        | 0.012217 | 0.011189          | 0        | 0.011189 |
| #113/2   | 0.000135          | 0        | 0.000135 | 0.000158          | 0        | 0.000158 |
| #113/3   | 0.061662          | 0        | 0.061662 | 0.046172          | 0        | 0.046172 |
| #114/1   | 0.038468          | 0        | 0.038468 | 0.033587          | 0        | 0.033587 |
| #114/2   | 0.01905           | 0        | 0.01905  | 0.024768          | 0        | 0.024768 |
| #114/3   | 0.017759          | 0        | 0.017759 | 0.024129          | 0        | 0.024129 |
| #115/1   | 0.019351          | 0.001337 | 0.020688 | 0.031077          | 0.003343 | 0.03442  |
| #115/2   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #115/3   | 0.046288          | 0        | 0.046288 | 0.066168          | 0        | 0.066168 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #116/1   | 0.088699          | 0   | 0.088699 | 0.066873          | 0   | 0.066873 |
| #116/2   | 0.051062          | 0   | 0.051062 | 0.03989           | 0   | 0.03989  |
| #116/3   | 0.000225          | 0   | 0.000225 | 0.000203          | 0   | 0.000203 |
| #117/1   | 0.024668          | 0   | 0.024668 | 0.025381          | 0   | 0.025381 |
| #117/2   | 0.01601           | 0   | 0.01601  | 0.014733          | 0   | 0.014733 |
| #118/1   | 0.014655          | 0   | 0.014655 | 0.0094            | 0   | 0.0094   |
| #118/2   | 0.032195          | 0   | 0.032195 | 0.02923           | 0   | 0.02923  |
| #119/1   | 0.105655          | 0   | 0.105655 | 0.074133          | 0   | 0.074133 |
| #119/2   | 0.035527          | 0   | 0.035527 | 0.031143          | 0   | 0.031143 |
| #119/3   | 0.00969           | 0   | 0.00969  | 0.011582          | 0   | 0.011582 |
| #120/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #120/2   | 0.005898          | 0   | 0.005898 | 0.007455          | 0   | 0.007455 |
| #120/3   | 0.004078          | 0   | 0.004078 | 0.003619          | 0   | 0.003619 |
| #120/4   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #120/5   | 0.000045          | 0   | 0.000045 | 0.000045          | 0   | 0.000045 |
| #121/1   | 0.00842           | 0   | 0.00842  | 0.004728          | 0   | 0.004728 |
| #121/2   | 0.000045          | 0   | 0.000045 | 0.000023          | 0   | 0.000023 |
| #121/3   | 0.007977          | 0   | 0.007977 | 0.009297          | 0   | 0.009297 |
| #122/1   | 0.016467          | 0   | 0.016467 | 0.015796          | 0   | 0.015796 |
| #122/2   | 0.010774          | 0   | 0.010774 | 0.008891          | 0   | 0.008891 |
| #122/3   | 0.000159          | 0   | 0.000159 | 0.000398          | 0   | 0.000398 |
| #123/1   | 0.016636          | 0   | 0.016636 | 0.012722          | 0   | 0.012722 |
| #123/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #124/1   | 0.001445          | 0   | 0.001445 | 0.002167          | 0   | 0.002167 |
| #124/2   | 0.019044          | 0   | 0.019044 | 0.019269          | 0   | 0.019269 |
| #124/3   | 0.019845          | 0   | 0.019845 | 0.019554          | 0   | 0.019554 |
| #125/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #125/2   | 0.04227           | 0   | 0.04227  | 0.042238          | 0   | 0.042238 |
| #125/3   | 0.064299          | 0   | 0.064299 | 0.053115          | 0   | 0.053115 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #126/1   | 0.032452          | 0   | 0.032452 | 0.04863           | 0   | 0.04863  |
| #126/2   | 0.038474          | 0   | 0.038474 | 0.060081          | 0   | 0.060081 |
| #126/3   | 0.010578          | 0   | 0.010578 | 0.014349          | 0   | 0.014349 |
| #127/1   | 0.009687          | 0   | 0.009687 | 0.010439          | 0   | 0.010439 |
| #127/2   | 0.017111          | 0   | 0.017111 | 0.017111          | 0   | 0.017111 |
| #128/1   | 0.024082          | 0   | 0.024082 | 0.028414          | 0   | 0.028414 |
| #128/2   | 0.063258          | 0   | 0.063258 | 0.080683          | 0   | 0.080683 |
| #129/1   | 0.035132          | 0   | 0.035132 | 0.034043          | 0   | 0.034043 |
| #129/2   | 0.036988          | 0   | 0.036988 | 0.027944          | 0   | 0.027944 |
| #130/1   | 0.023906          | 0   | 0.023906 | 0.016382          | 0   | 0.016382 |
| #130/2   | 0.013826          | 0   | 0.013826 | 0.026882          | 0   | 0.026882 |
| #131/1   | 0.028402          | 0   | 0.028402 | 0.056794          | 0   | 0.056794 |
| #131/2   | 0.032015          | 0   | 0.032015 | 0.042774          | 0   | 0.042774 |
| #131/3   | 0.010777          | 0   | 0.010777 | 0.012573          | 0   | 0.012573 |
| #132/1   | 0.052201          | 0   | 0.052201 | 0.039952          | 0   | 0.039952 |
| #132/2   | 0.033323          | 0   | 0.033323 | 0.03006           | 0   | 0.03006  |
| #132/3   | 0.004837          | 0   | 0.004837 | 0.005337          | 0   | 0.005337 |
| #133/1   | 0.00711           | 0   | 0.00711  | 0.009995          | 0   | 0.009995 |
| #133/2   | 0.003315          | 0   | 0.003315 | 0.002111          | 0   | 0.002111 |
| #134/1   | 0.033799          | 0   | 0.033799 | 0.028834          | 0   | 0.028834 |
| #134/2   | 0.030155          | 0   | 0.030155 | 0.030155          | 0   | 0.030155 |
| #134/3   | 0.04178           | 0   | 0.04178  | 0.036077          | 0   | 0.036077 |
| #135/1   | 0.04519           | 0   | 0.04519  | 0.03766           | 0   | 0.03766  |
| #135/2   | 0.041002          | 0   | 0.041002 | 0.039375          | 0   | 0.039375 |
| #135/3   | 0.00988           | 0   | 0.00988  | 0.013642          | 0   | 0.013642 |
| #136/1   | 0.034744          | 0   | 0.034744 | 0.054258          | 0   | 0.054258 |
| #136/2   | 0.009807          | 0   | 0.009807 | 0.043454          | 0   | 0.043454 |
| #136/3   | 0.026811          | 0   | 0.026811 | 0.030178          | 0   | 0.030178 |
| #137/1   | 0.023381          | 0   | 0.023381 | 0.025576          | 0   | 0.025576 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #137/2   | 0.038489          | 0   | 0.038489 | 0.035334          | 0   | 0.035334 |
| #137/3   | 0.045433          | 0   | 0.045433 | 0.032184          | 0   | 0.032184 |
| #138/1   | 0.07846           | 0   | 0.07846  | 0.046715          | 0   | 0.046715 |
| #138/2   | 0.029045          | 0   | 0.029045 | 0.02091           | 0   | 0.02091  |
| #138/3   | 0.021647          | 0   | 0.021647 | 0.021647          | 0   | 0.021647 |
| #139/1   | 0.022544          | 0   | 0.022544 | 0.018704          | 0   | 0.018704 |
| #139/2   | 0.015621          | 0   | 0.015621 | 0.020981          | 0   | 0.020981 |
| #139/3   | 0.00471           | 0   | 0.00471  | 0.037397          | 0   | 0.037397 |
| #140/1   | 0.011318          | 0   | 0.011318 | 0.015121          | 0   | 0.015121 |
| #140/2   | 0.042114          | 0   | 0.042114 | 0.025848          | 0   | 0.025848 |
| #140/3   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #141/1   | 0.013424          | 0   | 0.013424 | 0.010837          | 0   | 0.010837 |
| #141/2   | 0.002882          | 0   | 0.002882 | 0.003838          | 0   | 0.003838 |
| #142/1   | 0.00006           | 0   | 0.00006  | 0.00003           | 0   | 0.00003  |
| #142/2   | 0.009113          | 0   | 0.009113 | 0.004556          | 0   | 0.004556 |
| #142/3   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #142/4   | 0.009998          | 0   | 0.009998 | 0.010846          | 0   | 0.010846 |
| #142/5   | 0.008186          | 0   | 0.008186 | 0.006467          | 0   | 0.006467 |
| #143/1   | 0.015095          | 0   | 0.015095 | 0.011004          | 0   | 0.011004 |
| #143/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #143/3   | 0.024719          | 0   | 0.024719 | 0.024906          | 0   | 0.024906 |
| #143/4   | 0.018933          | 0   | 0.018933 | 0.009007          | 0   | 0.009007 |
| #144/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #144/2   | 0.002115          | 0   | 0.002115 | 0.002756          | 0   | 0.002756 |
| #144/3   | 0.002001          | 0   | 0.002001 | 0.00358           | 0   | 0.00358  |
| #145/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #145/2   | 0.001659          | 0   | 0.001659 | 0.001949          | 0   | 0.001949 |
| #146/1   | 0.001742          | 0   | 0.001742 | 0.003067          | 0   | 0.003067 |
| #146/2   | 0.031028          | 0   | 0.031028 | 0.024803          | 0   | 0.024803 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |          |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |          |          |
|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|          | SFO               | BFO      | Total    | SFO               | BFO      | Total    |
| #146/3   | 0.020657          | 0        | 0.020657 | 0.023076          | 0        | 0.023076 |
| #147/1   | 0.061053          | 0        | 0.061053 | 0.056848          | 0        | 0.056848 |
| #147/2   | 0.064262          | 0        | 0.064262 | 0.068038          | 0        | 0.068038 |
| #147/3   | 0.071983          | 0        | 0.071983 | 0.051138          | 0        | 0.051138 |
| #148/1   | 0.018924          | 0        | 0.018924 | 0.033913          | 0        | 0.033913 |
| #148/2   | 0.033577          | 0        | 0.033577 | 0.032392          | 0        | 0.032392 |
| #148/3   | 0.019527          | 0        | 0.019527 | 0.018508          | 0        | 0.018508 |
| #149/1   | 0.009754          | 0        | 0.009754 | 0.010079          | 0        | 0.010079 |
| #149/2   | 0.003657          | 0        | 0.003657 | 0.008541          | 0        | 0.008541 |
| #150/1   | 0.013014          | 0        | 0.013014 | 0.010123          | 0        | 0.010123 |
| #150/2   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #151/1   | 0.021047          | 0        | 0.021047 | 0.019849          | 0        | 0.019849 |
| #151/2   | 0.012475          | 0        | 0.012475 | 0.008888          | 0        | 0.008888 |
| #152/1   | 0.013352          | 0        | 0.013352 | 0.01204           | 0        | 0.01204  |
| #152/2   | 0.00901           | 0        | 0.00901  | 0.013938          | 0        | 0.013938 |
| #153/1   | 0.011069          | 0        | 0.011069 | 0.006952          | 0        | 0.006952 |
| #153/2   | 0.023792          | 0        | 0.023792 | 0.019287          | 0        | 0.019287 |
| #154/1   | 0.022817          | 0        | 0.022817 | 0.020676          | 0        | 0.020676 |
| #154/2   | 0                 | 0        | 0        | 0                 | 0        | 0        |
| #155/1   | 0.015483          | 0        | 0.015483 | 0.017524          | 0        | 0.017524 |
| #155/2   | 0.009138          | 0        | 0.009138 | 0.010452          | 0        | 0.010452 |
| #155/3   | 0.015162          | 0        | 0.015162 | 0.011646          | 0        | 0.011646 |
| #156/1   | 0.076234          | 0.035354 | 0.111588 | 0.05394           | 0.026516 | 0.080456 |
| #156/2   | 0.20208           | 0        | 0.20208  | 0.184629          | 0        | 0.184629 |
| #157/1   | 0.15302           | 0        | 0.15302  | 0.139786          | 0        | 0.139786 |
| #157/2   | 0.112683          | 0        | 0.112683 | 0.117634          | 0        | 0.117634 |
| #157/3   | 0.006389          | 0        | 0.006389 | 0.007058          | 0        | 0.007058 |
| #158/1   | 0.00595           | 0        | 0.00595  | 0.006037          | 0        | 0.006037 |
| #158/2   | 0.02165           | 0        | 0.02165  | 0.016765          | 0        | 0.016765 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #158/3   | 0.033844          | 0   | 0.033844 | 0.025779          | 0   | 0.025779 |
| #159/1   | 0.022986          | 0   | 0.022986 | 0.031222          | 0   | 0.031222 |
| #159/2   | 0.046829          | 0   | 0.046829 | 0.061425          | 0   | 0.061425 |
| #159/3   | 0.04047           | 0   | 0.04047  | 0.063129          | 0   | 0.063129 |
| #160/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #160/2   | 0.049431          | 0   | 0.049431 | 0.059779          | 0   | 0.059779 |
| #160/3   | 0.08537           | 0   | 0.08537  | 0.087817          | 0   | 0.087817 |
| #161/1   | 0.075989          | 0   | 0.075989 | 0.073152          | 0   | 0.073152 |
| #161/2   | 0.121427          | 0   | 0.121427 | 0.13946           | 0   | 0.13946  |
| #161/3   | 0.163994          | 0   | 0.163994 | 0.104911          | 0   | 0.104911 |
| #162/1   | 0.163666          | 0   | 0.163666 | 0.112219          | 0   | 0.112219 |
| #162/2   | 0.122184          | 0   | 0.122184 | 0.093346          | 0   | 0.093346 |
| #162/3   | 0.09074           | 0   | 0.09074  | 0.082831          | 0   | 0.082831 |
| #163/1   | 0.140754          | 0   | 0.140754 | 0.138309          | 0   | 0.138309 |
| #163/2   | 0.171116          | 0   | 0.171116 | 0.13685           | 0   | 0.13685  |
| #164/1   | 0.147123          | 0   | 0.147123 | 0.118818          | 0   | 0.118818 |
| #164/2   | 0.15623           | 0   | 0.15623  | 0.122786          | 0   | 0.122786 |
| #164/3   | 0.10397           | 0   | 0.10397  | 0.110444          | 0   | 0.110444 |
| #165/1   | 0.077115          | 0   | 0.077115 | 0.084449          | 0   | 0.084449 |
| #165/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #165/3   | 0.018189          | 0   | 0.018189 | 0.026108          | 0   | 0.026108 |
| #166/1   | 0.025946          | 0   | 0.025946 | 0.029919          | 0   | 0.029919 |
| #166/2   | 0.004358          | 0   | 0.004358 | 0.004471          | 0   | 0.004471 |
| #167/1   | 0.011471          | 0   | 0.011471 | 0.013741          | 0   | 0.013741 |
| #167/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #167/3   | 0.017127          | 0   | 0.017127 | 0.015349          | 0   | 0.015349 |
| #168/1   | 0.017766          | 0   | 0.017766 | 0.018477          | 0   | 0.018477 |
| #168/2   | 0.025126          | 0   | 0.025126 | 0.022549          | 0   | 0.022549 |
| #169/1   | 0.007264          | 0   | 0.007264 | 0.007038          | 0   | 0.007038 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #169/2   | 0.026601          | 0   | 0.026601 | 0.022478          | 0   | 0.022478 |
| #170/1   | 0.030807          | 0   | 0.030807 | 0.027812          | 0   | 0.027812 |
| #170/2   | 0.019597          | 0   | 0.019597 | 0.020203          | 0   | 0.020203 |
| #171/1   | 0.036226          | 0   | 0.036226 | 0.032051          | 0   | 0.032051 |
| #171/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #171/3   | 0.062399          | 0   | 0.062399 | 0.049092          | 0   | 0.049092 |
| #172/1   | 0.051636          | 0   | 0.051636 | 0.07485           | 0   | 0.07485  |
| #172/2   | 0.099019          | 0   | 0.099019 | 0.091333          | 0   | 0.091333 |
| #173/1   | 0.047415          | 0   | 0.047415 | 0.058874          | 0   | 0.058874 |
| #173/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #173/3   | 0.060874          | 0   | 0.060874 | 0.058868          | 0   | 0.058868 |
| #174/1   | 0.041644          | 0   | 0.041644 | 0.045432          | 0   | 0.045432 |
| #174/2   | 0.052712          | 0   | 0.052712 | 0.04896           | 0   | 0.04896  |
| #174/3   | 0.075173          | 0   | 0.075173 | 0.09013           | 0   | 0.09013  |
| #175/1   | 0.068482          | 0   | 0.068482 | 0.060571          | 0   | 0.060571 |
| #175/2   | 0.108931          | 0   | 0.108931 | 0.078261          | 0   | 0.078261 |
| #175/3   | 0.03241           | 0   | 0.03241  | 0.026188          | 0   | 0.026188 |
| #176/1   | 0.00596           | 0   | 0.00596  | 0.004228          | 0   | 0.004228 |
| #176/2   | 0.002247          | 0   | 0.002247 | 0.005219          | 0   | 0.005219 |
| #176/3   | 0.002972          | 0   | 0.002972 | 0.006382          | 0   | 0.006382 |
| #177/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #177/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #177/3   | 0.006287          | 0   | 0.006287 | 0.005117          | 0   | 0.005117 |
| #178/1   | 0.003572          | 0   | 0.003572 | 0.006353          | 0   | 0.006353 |
| #178/2   | 0.061192          | 0   | 0.061192 | 0.066088          | 0   | 0.066088 |
| #178/3   | 0.121712          | 0   | 0.121712 | 0.110292          | 0   | 0.110292 |
| #179/1   | 0.135919          | 0   | 0.135919 | 0.132135          | 0   | 0.132135 |
| #179/2   | 0.135964          | 0   | 0.135964 | 0.141627          | 0   | 0.141627 |
| #179/3   | 0.093026          | 0   | 0.093026 | 0.083469          | 0   | 0.083469 |

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

| สถานีที่ | ระยะ 0.5 กิโลเมตร |     |          | ระยะ 1.0 กิโลเมตร |     |          |
|----------|-------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
|          | SFO               | BFO | Total    | SFO               | BFO | Total    |
| #180/1   | 0.050995          | 0   | 0.050995 | 0.036533          | 0   | 0.036533 |
| #180/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #181/1   | 0.013176          | 0   | 0.013176 | 0.018111          | 0   | 0.018111 |
| #181/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #181/3   | 0.049916          | 0   | 0.049916 | 0.067613          | 0   | 0.067613 |
| #182/1   | 0.079006          | 0   | 0.079006 | 0.094731          | 0   | 0.094731 |
| #182/2   | 0.047973          | 0   | 0.047973 | 0.038961          | 0   | 0.038961 |
| #182/3   | 0.025154          | 0   | 0.025154 | 0.025168          | 0   | 0.025168 |
| #183/1   | 0.030744          | 0   | 0.030744 | 0.024749          | 0   | 0.024749 |
| #183/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #183/3   | 0.015066          | 0   | 0.015066 | 0.014924          | 0   | 0.014924 |
| #183/4   | 0.0073            | 0   | 0.0073   | 0.02124           | 0   | 0.02124  |
| #184/1   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |
| #184/2   | 0                 | 0   | 0        | 0                 | 0   | 0        |

ภาคผนวกที่ค

รายละเอียดข้อมูลความต้านทานพื้นฐานเสาจากการสำรวจ

**ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลสำรวจและปรับปรุงความต้านทานที่ฐานเสา**  
(สายส่ง 115kV แกลง-จันทบุรี)

| ลำดับที่ | เสาส่ง<br>ต้นที่ | จำนวนจุดฝัง<br>Ground rod | ความลึก<br>( เมตร) | ค่ากราวด์เสาส่ง( โอห์ม)<br>ก่อนแก้ไข | ค่ากราวด์เสาส่ง( โอห์ม)<br>หลังแก้ไข | สภาพดิน          | หมายเหตุ                                  |
|----------|------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|
| 1        | T.97/2           | 2                         | 18, 24             | 21                                   | 6                                    | ดินร่วนปนทราย    | -                                         |
| 2        | T.96/2           | 1                         | 18                 | 16                                   | 4                                    | ดินเหนียวปนทราย  | -                                         |
| 3        | T.96/1           | 3                         | 15, 24, 24         | 26                                   | 7                                    | ดินเหนียวปนทราย  | -                                         |
| 4        | T.95/3           | 1                         | 21                 | 15                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | -                                         |
| 5        | T.95/2           | 2                         | 24, 21             | 14                                   | 7                                    | ลูกรัง,ดินเหนียว | หน้าดินชั้นลูกรัง<br>อัดแน่น (เนินเขา )   |
| 6        | T.94/1           | 1                         | 8.5                | 13                                   | 9                                    | ลูกรัง,ดินเหนียว | มีชั้นหินก้นหลุม<br>(เนินเขา )            |
| 7        | T.93/2           | 1                         | 21                 | 13                                   | 8                                    | ดินเหนียวปนทราย  |                                           |
| 8        | T.92/3           | 3                         | 11, 11, 11         | 12                                   | 8                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินก้นหลุม                          |
| 9        | T.91/3           | 1                         | 12.7               | 11                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินก้นหลุม                          |
| 10       | T.89/3           | 1                         | 21                 | 11                                   | 2                                    | ดินเหนียว        |                                           |
| 11       | T.87/3           | 1                         | 21                 | 12                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินดินดาน<br>ก้นหลุม                |
| 12       | T.86/1           | 1                         | 14.5               | 12                                   | 4                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินก้นหลุม                          |
| 13       | T.85/3           | 1                         | 17                 | 13                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินก้นหลุม                          |
| 14       | T.85/2           | 1                         | 19.5               | 15                                   | 4                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินดินดานก้นหลุม                    |
| 15       | T.83/2           | 1                         | 14                 | 17                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินดินดานก้นหลุม                    |
| 16       | T.82/3           | -                         | -                  | -                                    | -                                    | -                | สวนสละรอบเสาส่ง<br>เข้าพื้นที่ไม่ได้      |
| 17       | T.82/2           | 1                         | 11                 | 12                                   | 6                                    | -                | มีชั้นดินดานก้นหลุม                       |
| 18       | T.82/1           | 1                         | 12                 | 14                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นดินดานก้นหลุม                       |
| 19       | T.81/3           | -                         | -                  | -                                    | -                                    | -                | สวนแก้วมังกร,ร่องน้ำ<br>เข้าพื้นที่ไม่ได้ |
| 20       | T.80/1           | 1                         | 17                 | 13                                   | 6                                    | ลูกรัง,ดินเหนียว | มีชั้นดินดานก้นหลุม                       |
| 21       | T.78/1           | 1                         | 21                 | 14                                   | 5                                    | ดินเหนียว        | -                                         |
| 22       | T.77/2           | -                         | -                  | -                                    | -                                    | -                | สวนพริกไทย<br>ไม่สามารถเข้าพื้นที่ได้     |

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

| ลำดับที่ | เสาส่ง<br>ต้นที่ | จำนวนจุดฝัง<br>Ground rod | ความลึก<br>( เมตร)   | ค่ากราวด์เสาส่ง( โอห์ม)<br>ก่อนแก้ไข | ค่ากราวด์เสาส่ง( โอห์ม)<br>หลังแก้ไข | สภาพดิน          | หมายเหตุ                                               |
|----------|------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------|
| 23       | T.76/1           | 1                         | 21                   | 13                                   | 4                                    | ดินเหนียวปนทราย  | -                                                      |
| 24       | T.73/3           | 2                         | 14,20                | 17                                   | 8                                    | ลูกรัง,ดินเหนียว | มีชั้นหินกั้นหลุม                                      |
| 25       | T.72/2           | 3                         | 21, 21, 21           | 18                                   | 8                                    | ลูกรัง           | ชั้นหินหนาแน่นกั้นหลุม                                 |
| 26       | T.71/2           | 1                         | 4                    | 10                                   | 9                                    | หิน              | ชั้นหินหนาแน่นกั้นหลุม                                 |
| 27       | T.69/3           | 1                         | 21                   | 12                                   | 3                                    | ดินเหนียว        | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 28       | T.65/1           | 1                         | 20.5                 | 9                                    | 3                                    | ดินเหนียวปนทราย  | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 29       | T.63/2           | 2                         | 24, 24               | 23                                   | 5                                    | ดินเหนียว        | หน้าดินชั้นลูกรังอัด<br>แน่น (เนินเขา )                |
| 30       | T.62/1           | 1                         | 21                   | 9                                    | 3                                    | ดินเหนียวปนทราย  | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 31       | T.61/3           | 1                         | 14                   | 16                                   | 7                                    | ดินเหนียวปนทราย  | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 32       | T.58/1           | -                         | -                    | -                                    | -                                    | -                | ไรมันสำปะหลัง,<br>มีร่องน้ำไม่สามารถ<br>เข้าพื้นที่ได้ |
| 33       | T.55/3           | 1                         | 20.5                 | 13                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 34       | T.55/2           | 2                         | 11.5,<br>11.00       | 16                                   | 5                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินกั้นหลุม                                      |
| 35       | T.54/2           | -                         | -                    | -                                    | -                                    | -                | น้ำท่วมยังไม่สามารถ<br>เข้าพื้นที่ได้                  |
| 36       | T.53/2           | 1                         | 17.5                 | 16                                   | 7                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินกั้นหลุม                                      |
| 37       | T.53/1           | 3                         | 12.0, 14.0,<br>11.50 | 23                                   | 10                                   | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินกั้นหลุม                                      |
| 38       | T.52/1           | 3                         | 12.0,12.0,<br>12.0   | 17                                   | 8                                    | ดินเหนียวปนทราย  | มีชั้นหินกั้นหลุม                                      |
| 39       | T.50/2           | 1                         | 19                   | 13                                   | 5                                    | ลูกรัง,ดินเหนียว | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 40       | T.49/4           | 1                         | 19.5                 | 16                                   | 3                                    | ลูกรัง,ดินเหนียว | ชั้นดินดานกั้นหลุม                                     |
| 41       | T.48/2           | 1                         | 21                   | 12                                   | 2                                    | ดินเหนียวปนทราย  | -                                                      |

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                                |                                                                |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล                  | แคทรียา ชวลิตธิดิก                                             |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด           | 24 มกราคม พ.ศ.2522                                             |
| สถานที่เกิด                    | กรุงเทพฯ                                                       |
| ประวัติการศึกษา                | ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์สาขาไฟฟ้ากำลัง<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน   | วิศวกรระดับ5                                                   |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน           | การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย                                  |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | -                                                              |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ           | -                                                              |