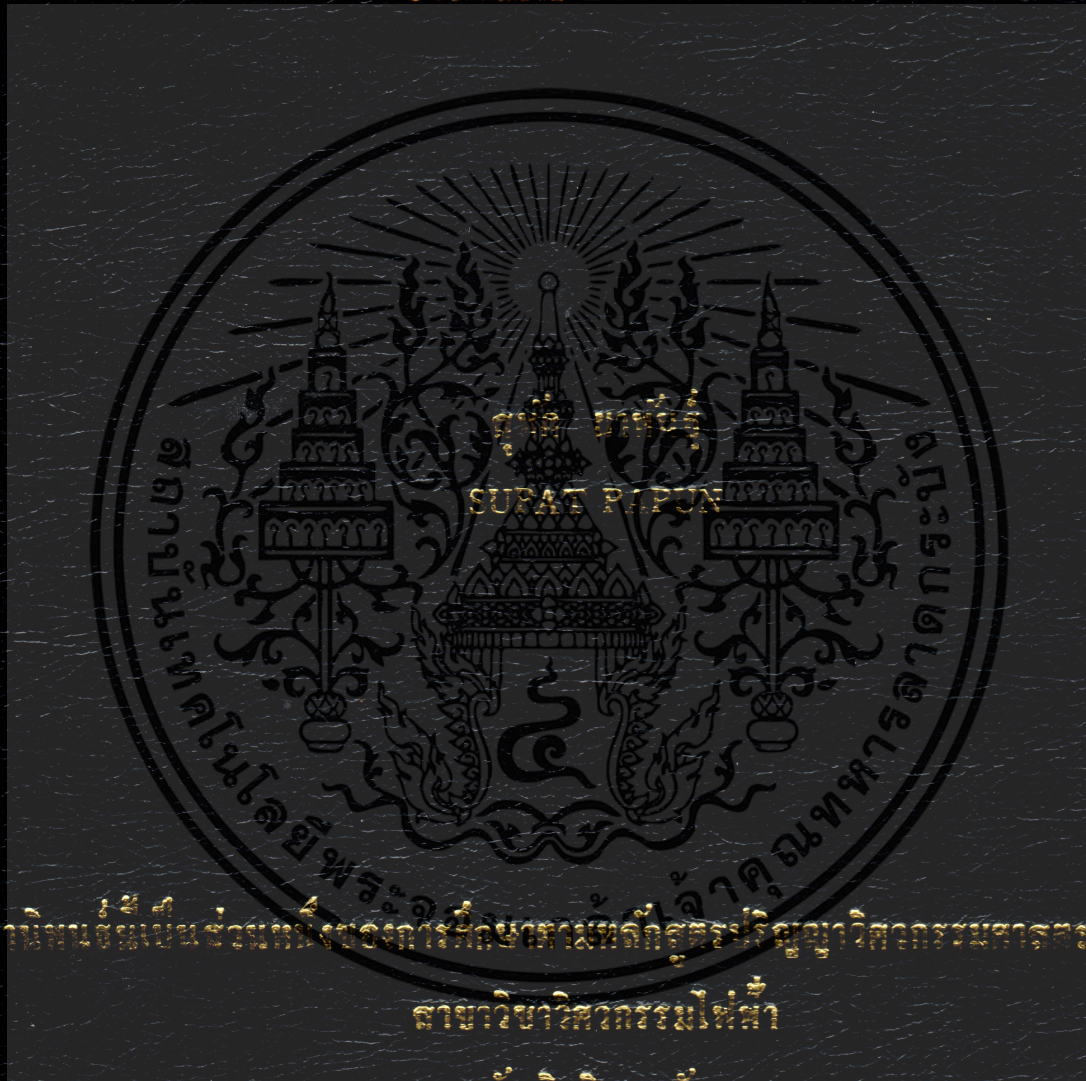


เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทที่อัจฉริยะ โดยการใช้กระแสรั่วไหล

REMOTE POLLUTION MONITORING SYSTEM USING LEAKAGE  
CURRENT DETECTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1751-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล

REMOTE POLLUTION MONITORING SYSTEM USING LEAKAGE  
CURRENT DETECTION



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 60236  
วันเดือนปี 27 ส.ย. 2549

b.....  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1751-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REMOTE POLLUTION MONITORING SYSTEM USING LEAKAGE  
CURRENT DETECTION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

**ISBN 974-15-1751-3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูลโดยการตรวจจับกระแส  
รั่วไหล

นักศึกษา

นายสุพัศ ผาพันธุ์

รหัสนักศึกษา

43061017

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2548

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

### บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย เพื่อติดตามประสิทธิภาพในการใช้งานของลูกถ้วยและเฟ้าระวังเดือนภัยก่อนที่จะเกิดปัญหาการวาบไฟตามผิวขึ้นมา โดยประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง และสามารถเรียกดูข้อมูล ณ สถานที่ใดๆ หลักการตรวจวัดระดับมลภาวะ เริ่มต้นจากการหาดำแหน่งที่มีความเปราะเปื้อนสูงสุด จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องวัดและอุปกรณ์ตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง และส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายและผิดเพี้ยนจากคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อนำไปแสดงผลในระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง นอกจากนี้ได้ทำการติดตั้งชุดเรียกดูข้อมูลทางไกลเพื่อความสะดวกในการใช้งาน พร้อมทั้งมีการศึกษาพฤติกรรมการวาบไฟตามผิวโดยแบบจำลองคอมพิวเตอร์จากข้อมูลลูกถ้วยและเหตุการณ์จริง เพื่อหาขนาดกระแสรั่วไหลและความน่าที่ผิววิกฤติของลูกถ้วย จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงาน ได้ถูกต้องเที่ยงตรงเป็นที่น่าพอใจ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง ในการพยากรณ์เหตุการณ์วาบไฟตามผิวลูกถ้วยล่วงหน้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Remote Pollution Monitoring System Using Leakage Current Detection
<b>Student</b>	Mr. Supat Papun
<b>Student ID</b>	43061017
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Monthon Leelajindakraierk

### ABSTRACT

This thesis describes the remote pollution monitoring(RPM) for detecting leakage current in order to determine the performance of contaminant insulators against breakdown voltage. The RPM with a computerized control system(CCS) which enable the remote monitor. The RPM system is able to define the location with most polluted, and to illustrate the leakage measurement as well as leakage sensors. The leakage current signal is transmitted via a RF wireless system, to reduce the problem of loss and distortion for the small signal and noise environments. The signal is monitored on a computerized control system in a high voltage substation. In addition flashover model is studied and to calculate the critical of the surface leakage current and conductivities. The test results show that the RPM system have ability to detect leakage current and can be used in practical work to estimate the flashover of surface insulators.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ไม่อาจสำเร็จได้ หากปราศจากความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งได้ให้คำแนะนำและชี้แจงการแก้ปัญหาต่างๆ รวมถึงข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการเขียนวิทยานิพนธ์ดังนี้

- |                               |                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1. รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์   | อาจารย์ที่ปรึกษา                      |
| 2. คุณเอนก โพธิ์นัม           | ผู้อำนวยการฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง กฟผ. |
| 3. คุณเผ่าพงษ์ เต็มสัมฤทธิ์   | กองบำรุงรักษาระบบส่ง 2 กฟผ.           |
| 4. คุณสุรพันธ์ รักษ์วิชัย     | กองบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้าแรงสูง 1 กฟผ.  |
| 5. คุณสัมฤทธิ์ สรรพอนุเคราะห์ | แผนกบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้า 2 กฟผ.       |
| 6. คุณธีระ แฉวจันทร์          | แผนกทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า 1 กฟผ.          |
| 7. คุณสามภพ แสงอำยวน          | แผนกห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูง กฟผ.         |
| 8. คุณสุภนา ผาพันธุ์          | ช่วยพิมพ์และจัดรูปเล่ม                |

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้า ผู้ที่มอบชีวิต การศึกษา และอนาคตที่ดี ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและกำลังใจกับผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุพัต ผาพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1.2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.2 แนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.5.1 การเก็บข้อมูลเพื่อหาตำแหน่งที่มีระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุด.....	4
1.5.2 การติดตั้งชุดเครื่องมือตรวจวัด Leakage Current ที่ผิวลูกถ้วยทดสอบ.....	5
1.5.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปผลโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า.....	6
2.1 ภาระหน้าที่และการใช้ประโยชน์ของลูกถ้วยฉนวน.....	6
2.2 ประวัติความเป็นมาของลูกถ้วยฉนวน.....	7
2.3 ชนิดของลูกถ้วยฉนวน.....	9
2.4 การผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน.....	11
2.4.1 ส่วนประกอบและการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน.....	11
2.4.2 ส่วนผสมของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน.....	11
2.4.3 กระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ลูกถ้วยฉนวนในสภาวะเปรอะเปื้อน.....	15
3.1 ความเปรอะเปื้อน.....	15
3.1.1 ชนิดของความเปรอะเปื้อน.....	15
3.1.2 ขบวนการเปรอะเปื้อนที่ผิวลูกถ้วยฉนวน.....	16
3.1.3 การชะล้างสิ่งเปรอะเปื้อนที่ผิวลูกถ้วยฉนวน.....	17
3.1.4 การตรวจวัดความเปรอะเปื้อน.....	18
3.1.4.1 Equivalent Salt Deposit Density(ESDD).....	19
3.1.4.2 ผลการศึกษาระดับมลภาวะในพื้นที่ต่างๆ.....	23
3.2 พฤติกรรมการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากมลภาวะ.....	26
3.3 วิธีการป้องกันการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากมลภาวะ.....	27
3.3.1 การฉีดล้างทำความสะอาดลูกถ้วยฉนวน.....	28
3.3.1.1 แบบหัวฉีดเคลื่อนที่.....	29
3.3.1.2 แบบหัวฉีดอยู่กับที่.....	29
3.3.2 การใช้ลูกถ้วยที่มีระยะรั้วตามผิวยาวขึ้น.....	30
3.3.3 การติดตั้ง Creepage Extender.....	32
3.3.3 การเคลือบผิวลูกถ้วยฉนวน.....	34
3.3.4 การใช้ลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ.....	36
3.4 การทดสอบลูกถ้วยฉนวน.....	39
3.4.1 การทดสอบลูกถ้วยฉนวนในสภาวะเปรอะเปื้อนตามธรรมชาติ.....	39
3.4.1 การทดสอบลูกถ้วยฉนวนแบบจำลอง.....	40
3.4.1.1 วิธี Salt-fog Test.....	41
3.4.1.2 วิธี Kieselguhr Test.....	42
3.4.1.3 วิธี Methylcellulose Test.....	42
3.4.1.4 วิธี Japanese Equivalent-fog Method.....	43
บทที่ 4 เครื่องวัดมลภาวะ.....	44
4.1 การแสดงผลระดับสิ่งเปรอะเปื้อน.....	44
4.2 เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การหาตำแหน่งลูกถ้วยฉนวนตัวอย่าง .....	46
4.2.2 การติดตั้งมิเตอร์วัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยฉนวนตัวอย่าง.....	51
4.2.3 การติดตั้งชุดวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยฉนวนตัวอย่าง และระบบส่งผ่านข้อมูล .....	52
4.2.3.1 ชุดตรวจจับกระแสรั่วไหล(Leakage Current Sensor).....	53
4.2.3.2 การรับส่งข้อมูลไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ.....	53
4.2.3.3 การแสดงผลที่หน้าจอระบบ CCS.....	56
4.2.3.3.1 ระบบ CCS .....	56
4.2.3.3.2 การแสดงผลค่ากระแสรั่วไหลในระบบ CCS.....	58
4.2.4 การทดสอบและสรุปผลการทำงานระบบ RPM .....	60
4.2.4.1 การทดสอบการอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง.....	60
4.2.4.2 การทดสอบความเที่ยงตรงในการอ่านค่ากระแสรั่วไหล.....	61
4.2.4.3 การติดตามผลการอ่านค่ากระแสรั่วไหล.....	64
บทที่ 5 การวิเคราะห์พฤติกรรมการวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน .....	65
5.1 สมการคณิตศาสตร์ของกระบวนการวาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน .....	65
5.2 การวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ .....	69
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	71
เอกสารอ้างอิง .....	74
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก. คำศัพท์เทคนิค .....	76
ภาคผนวก ข. มาตรฐานการผลิตและการทดสอบลูกถ้วยฉนวน.....	78
ภาคผนวก ค. คู่มือการติดตั้งและใช้งานระบบ CCS.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง. คู่มือการติดตั้งและใช้งานระบบ pcANYWHERE .....	86
ภาคผนวก จ. ผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์ .....	95
ประวัติผู้เขียน .....	102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน .....	9
2.2 ส่วนผสมวัสดุดิบสำหรับลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน .....	11
3.1 การประมาณค่าปริมาณของสารที่ละลายน้ำได้ .....	22
3.2 ระดับสิ่งเปื้อนของลูกถ้วยฉนวนตามมาตรฐาน IEC 815.....	30
3.3 แสดงคุณสมบัติของสารที่ใช้เคลือบผิวลูกถ้วยฉนวน .....	34
3.4 แสดงวิธีการทดสอบลูกถ้วยฉนวนแบบจำลองแบบต่างๆ.....	40
4.1 แผนงานการเก็บข้อมูล ESDD ลูกถ้วยตัวอย่าง สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง(กฟผ.).....	46
4.2 ผลการตรวจวัดหาระดับสิ่งเปื้อนด้วยวิธี ESDD ประจำเดือนมกราคม 2545 .....	47
4.3 ผลการตรวจวัดหาระดับสิ่งเปื้อนด้วยวิธี ESDD ประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2545.....	49
4.4 เปรียบเทียบการวัดค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยฉนวนตัวอย่างด้วยวิธีต่างๆ.....	62
5.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำล้างลูกถ้วยตัวอย่าง.....	70
ข.1 มาตรฐานการผลิตและทดสอบลูกถ้วยฉนวน .....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงที่ตั้งสถานโกลสถานี่ไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง(กฟผ.) ขนาด 230,000 โวลต์ .....	5
1.2 แสดงการจัดบ้สของสถานี่ไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง และตำแหน่งในการสู่มวัดค่า ESDD .....	5
2.1 ลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนใช้ทำหน้าที่ต่างๆ ในสถานี่ไฟฟ้าแรงสูง .....	7
2.2 ลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนใช้ทำหน้าที่ต่างๆ ในระบบสายส่งแรงสูง .....	7
2.3 ลูกถ้วยฉนวนใช้สร้างอุปกรณ์ทดสอบในห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูง .....	8
2.4 ลูกถ้วยชนิดแช่น้ำมันในระยะเริ่มต้น .....	8
2.5 แสดงวิวัฒนาการด้านรูปร่างของลูกถ้วยฉนวนในยุคต่างๆ .....	9
2.6 รูปร่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนแบบต่างๆ .....	11
2.7 ลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนแบบเปียก .....	15
2.8 เส้นกราฟอุณหภูมิ-เวลา การเผาเนื้อพอร์ชเลน .....	15
3.1 ขบวนการเปราะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วยฉนวน .....	17
3.2 การเกิดลมหมุนภายในครีบของลูกถ้วยฉนวน .....	17
3.3 ความสัมพันธ์ของความเร็วลมและรูปร่างลูกถ้วยต่อปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อน ..	18
3.4 ลักษณะครีบของลูกถ้วยที่มีผลต่อการชะล้างสิ่งเปราะเปื้อนด้วยวิธีตามธรรมชาติ .....	18
3.5 การออกแบบครีบลูกถ้วยฉนวนเพื่อแก้ปัญหาสิ่งเปราะเปื้อนจับเกาะบนผิวลูกถ้วยฉนวน .....	19
3.6 การออกแบบปีกและครีบลูกถ้วยฉนวนตามมาตรฐาน IEC815 .....	19
3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fog Withstand Voltage และค่า ESDD .....	22
3.8 การประมาณค่าปริมาณของสารที่ละลายน้ำได้ .....	23
3.9 กระบวนการวัดปริมาณของสารที่ไม่ละลายน้ำ .....	24
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ไม่ละลายน้ำกับแรงดันคงทนอยู่ได้ .....	24
3.11 แผนที่แสดงเขตของสิ่งเปราะเปื้อนในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย .....	25
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ESDD กับระยะห่างจากชายฝั่งทะเลพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย .....	25
3.13 พฤติกรรมการวบไฟตามผิวของลูกถ้วยเนื่องจากมลภาวะ .....	28
3.14 แสดงการออกแบบ Water Cut Shed ของลูกถ้วย .....	28
3.15 แสดงการติดตั้ง Booster Shed ของลูกถ้วย .....	29
3.16 การฉีดน้ำล้างลูกถ้วยแบบหัวฉีดเคลื่อนที่ สฟ.บางปะกง กฟผ. ....	30
3.17 การฉีดน้ำล้างลูกถ้วยแบบหัวฉีดอยู่กับที่ .....	31
3.18 ชนิดของลูกถ้วยสมรรถนะสูงในทัศนะของ Ely และ Lambeth .....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 ชนิดของลูกถ้วยสมรรถนะสูงในทัศนยะของ Robinson .....	32
3.20 แสดงการติดตั้ง Creepage Extender เพื่อเพิ่มระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยฉนวน.....	33
3.21 แสดงพฤติกรรมกราวบไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนหลังจากติด Creepage Extender .....	34
3.22 แสดงการติดตั้ง Annular Creepage Extender .....	34
3.23 แสดงการติดตั้ง Wraparound Creepage Extender .....	35
3.24 แสดงสภาพหยดน้ำที่เกาะอยู่บนผิวลูกถ้วย หลังเคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	36
3.25 แสดงการเคลือบยางซิลิโคนโดยการฉีดพ่น .....	36
3.26 แสดงลูกถ้วยเคลือบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลังผ่านการใช้งาน 3 ปีในพื้นที่ที่มีมลภาวะสูง.	37
3.27 แสดงการกระจายของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบนผิวลูกถ้วยเคลือบสารกึ่งตัวนำ .....	38
3.28 แสดงการเกิด Dry Band Arcing ในลูกถ้วยฉนวนทั่วไป.....	39
3.29 แสดงการเกิด Dry Band Arcing ของลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ.....	39
3.30 แสดงลูกถ้วยฉนวนที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบด้วยวิธี Salt-fog Test .....	42
3.31 แสดงการจัดวางหัวฉีดของการทดสอบแบบ Salt-fog Test .....	42
3.32 วิธีการหาระดับแรงดันวาบไฟตามผิวของลูกถ้วย โดยคิดที่ 50% ของแรงดัน .....	43
3.33 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีต่างๆ .....	44
4.1 รูปแบบเครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล.....	45
4.2 แสดงที่ตั้งสถานไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง(กฟผ.) ขนาด 230,000 โวลต์.....	46
4.3 ผลการวัดค่า ESDD ลูกถ้วยตัวอย่าง ที่ สฟ.บางปะกง.....	51
4.4 แผนภาพ Surge Counter ยี่ห้อ Meidensha Type ZC-A1M .....	52
4.5 การติดตั้งมิเตอร์วัดกระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง.....	52
4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดวัดค่ากระแสรั่วไหลและการส่งผ่านข้อมูล.....	52
4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดวัดค่ากระแสรั่วไหล.....	53
4.8 หลักการพื้นฐานการส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ .....	53
4.9 การส่งข้อมูลแบบ AM .....	54
4.10 การส่งข้อมูลแบบ FM.....	54
4.11 แสดงวงจรภายในและการต่อใช้งาน โมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2.....	55
4.12 การควบคุมระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน .....	56
4.13 EGAT RTU Subsystem.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง(CCS).....	57
4.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล(RPM).....	58
4.16 แสดงการอ่านค่ากระแสรั่วไหล .....	59
4.17 แสดงค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยตัวอย่างระบบ CCS.....	60
4.18 แสดงผลการเรียกดูข้อมูลทางไกลจากเครื่อง PC Remote ที่ สฟ.ระยอง2(กฟผ.) จ.ระยอง....	61
4.19 เปรียบเทียบความเที่ยงตรงจากการวัดค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยตัวอย่าง .....	63
4.20 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสรั่วไหล และความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ.....	63
4.21 แสดงค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยตัวอย่าง ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ – เมษายน 2548 .....	64
5.1 แสดงการเกิดแถบแห้งตามผิวลูกถ้วยฉนวนทั่วไป(Arbitrary shape) .....	65
5.2 แสดงลูกถ้วยสมมูล(Equivalent Insulator) จากการแปลงค่าลูกถ้วยฉนวนทั่วไป.....	65
5.3 แสดงวงจรสมมูลของลูกถ้วยฉนวน.....	66
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำตามผิววิกฤติกับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค .....	69
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติกับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค .....	69
ค.1 แสดงส่วนประกอบหลักของระบบ CCS.....	81
ค.2 การป้อนคำสั่งเพื่อนำระบบ CCS ขึ้นใช้งาน .....	83
ง.1 การเรียกดูข้อมูลระบบ CCS ที่ สฟ.บางปะกง จากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆ (ณ ที่ใดๆ).86	
ง.2-31 การติดตั้งโปรแกรม pcANYWHERE.....	87-93

### 1.1.2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

จากการแก้ปัญหาหมอกควันที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2538-2542[4] พบว่าสาเหตุของหมอกควันที่เป็นปัญหาสำคัญของการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน คือหมอกควันจากฝุ่นในขณะทำการก่อสร้างโรงไฟฟ้าบางปะกง ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการก่อสร้างแล้ว และหมอกควันจากหอหล่อเย็น (Cooling Tower) ชุดที่ 5 และ 6 ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ลานไถไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกงมาก จุดประสงค์ในการเดินเครื่องหอหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในระบบระบายความร้อนโรงไฟฟ้าบางปะกง ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนที่จะปล่อยลงสู่แม่น้ำบางปะกง โดยการฉีดพ่นน้ำให้เป็นฝ้ามและใช้พัดลมดูดอากาศให้ผ่านฝ้ามน้ำ เพื่อระบายความร้อนของน้ำขึ้นสู่อากาศ หอหล่อเย็นใช้น้ำจากแม่น้ำบางปะกงมาช่วยในการระบายความร้อน ในฤดูร้อนช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม สภาพน้ำจะกร่อยมาก ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าวทิศทางลมจะพัดเอาละอองน้ำจากหอหล่อเย็นเข้ามาในลานไถไฟฟ้า สฟ. บางปะกง ทำให้เกิดการปนเปื้อนที่ผิวลูกถ้วยฉนวน สะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่ง เมื่อสภาพอากาศชื้น หรือฝนตกปรอยๆ จะทำให้เกิดการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนขึ้นได้

จากการติดตามตรวจวัดระดับความเปรอะเปื้อน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณการเดินเครื่องของหอหล่อเย็นชุดที่ 5 และ 6 ทิศทางลม คุณสมบัติของน้ำในแม่น้ำบางปะกง ปริมาณความถี่ของฝนในรอบปี ปริมาณของฝุ่นละอองจากการก่อสร้างในบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งคุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนเอง จากการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาพบว่า ในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม มีระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนสูงมาก เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ที่กล่าวมา โดยมีค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม ที่บริเวณลานไถไฟฟ้าใกล้กับหอหล่อเย็นชุดที่ 5 และ 6 จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฉีดน้ำล้างลูกถ้วย และการติดตั้ง Creepage Extender ที่ลึบริบลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนชนิดธรรมดา(Porcelain Insulators) ไม่สามารถทนต่อสภาพความเปรอะเปื้อนชั้นรุนแรง(มากกว่า  $0.6 \text{ mg/cm}^2$ ) ที่ สฟ. บางปะกง ได้ มีเพียงลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ(Semi-Grazed Insulator) และลูกถ้วยฉนวนเคลือบยางซิลิโคน(Silicone Rubber Insulator) เท่านั้นที่สามารถทนได้ อีกทั้งยังทำให้ Corona loss และ Audible Noise ลดลงด้วย[3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจึงได้ทำการแก้ปัญหานี้โดยการเปลี่ยนชนิดของลูกถ้วยฉนวนจากชนิดธรรมดาเป็นลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ และบางส่วนเปลี่ยนเป็นลูกถ้วยเคลือบยางซิลิโคนแทน ด้วยงบประมาณกว่า 60 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2538-2542 จนถึงปัจจุบันไม่มีเหตุการณ์วางไฟตามผิวและความเสียหายใดๆ เกิดขึ้นอีก จึงเชื่อได้ว่าเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องและดีที่สุดทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันปัญหาจากความเสื่อมสภาพของลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ หรือลูกถ้วยฉนวนเคลือบยางซิลิโคน จึงควรมีการศึกษาเพื่อติดตามและประเมินผลการใช้งานเป็นระยะ เพื่อความมั่นคงของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 แนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา

เป็นการศึกษาเพื่อประเมินผลสมรรถนะของลูกถ้วยชนิดต่างๆ ที่ใช้งานในสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง และสร้างเครื่องมือตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยทดสอบ เพื่อติดตามประสิทธิภาพในการใช้งานและเฝ้าระวังเตือนภัย ก่อนที่จะเกิดปัญหาการรบกวนไฟตามผิวขึ้นมา โดยประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีฯ (Computerized Control System : CCS) ที่มีใช้งาน และสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ณ สถานที่ใดๆ

## 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาหาระดับความรุนแรงและชนิดของสิ่งเปรอะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วย โดยการวัดค่า ESDD , NDD และองค์ประกอบทางเคมี
- 2) เพื่อศึกษาหาช่วงเวลา และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาการรบกวนไฟตามผิวของลูกถ้วย
- 3) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของลูกถ้วยที่คงทนต่อมลภาวะได้ดีที่สุด
  - Station Post Insulator
  - Station Post Insulator ที่ติดวัสดุ Creepage Extender
  - Semi-Grazed Station Post Insulator
  - Silicone Station Post Insulator
- 4) เพื่อสร้างชุดเครื่องมือ Remote Pollution Monitoring(RPM) เพื่อตรวจสอบ ติดตาม และเฝ้าระวังเตือนภัยก่อนที่จะเกิดปัญหาการรบกวนไฟตามผิวที่ลูกถ้วยฉนวน
- 5) เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ประกอบในการออกแบบค่าฉนวนทางไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์ในสถานไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาครอบคลุมหัวข้อหลักๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ทำการตรวจวัดหาระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วยฉนวนตัวอย่าง ขนาดแรงดัน 230kV. ที่ใช้งานจริงอยู่ในระบบกำลังไฟฟ้า ด้วยวิธี ESDD , NDD และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
- 2) สร้างและติดตั้งชุดเครื่องมือตรวจวัด Leakage Current ที่ผิวลูกถ้วยทดสอบที่มีค่า ESDD สูงที่สุด และส่งข้อมูลไปประมวลผลที่ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง และสามารถเรียกดูข้อมูลจากพื้นที่ห่างไกลได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) วิเคราะห์ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อหาขนาดกระแสวิกฤติก่อนที่จะเกิดการวาบไฟตามผิวขึ้นมาโดยจำลองข้อมูลตามสภาพการใช้งานจริง และอ้างอิงมาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

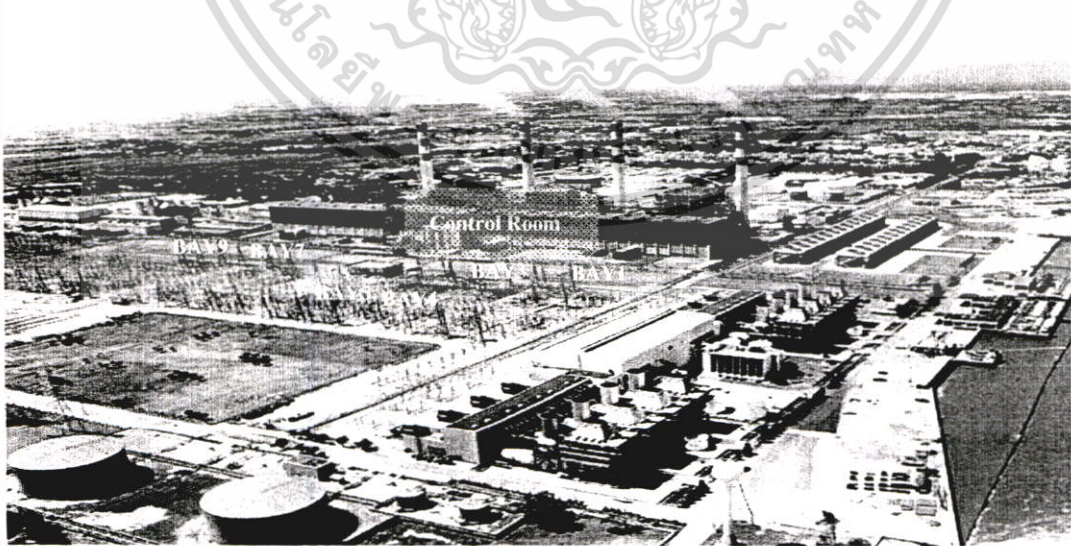
ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนที่หนึ่งเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อหาตำแหน่งที่มีระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุด ส่วนที่สองเป็นการติดตั้งชุดเครื่องมือตรวจวัด Leakage Current ที่ผิวลูกถ้วยทดสอบที่มีความเปรอะเปื้อนสูงที่สุด และส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์ผลและสรุปผลการศึกษาด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

### 1.5.1 การเก็บข้อมูลเพื่อหาตำแหน่งที่มีระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุด

ลูกถ้วยตัวอย่าง : เป็นลูกถ้วย Station Post Insulator ที่ใช้งานจริงอยู่ในระบบ ที่ระดับแรงดัน 230kV. กระจายอยู่บริเวณต่างๆ ทั่วลานไกไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.1

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล : มีการวางแผนการดำเนินการ ดังนี้

- 1) วางแผนการดำเนินงาน
- 2) ศึกษาค้นคว้าวิธีการตรวจวัดระดับสิ่งเปรอะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวน
- 3) กำหนดตำแหน่งของลูกถ้วยตัวอย่าง
- 4) ขออนุมัติทำการศึกษามานผู้บังคับบัญชาตามลำดับชั้น
- 5) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อขอค้ำไฟทำการวัดค่า ESDD ลูกถ้วย
- 6) สรุปผล



รูปที่ 1.1 แสดงที่ตั้งลานไกสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง(กฟผ.) ขนาด 230,000 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5.2 การติดตั้งชุดเครื่องมือตรวจวัด Leakage Current ที่ผิวลูกถ้วยทดสอบ

การดำเนินการ : ทำการติดตั้งชุดเครื่องมือตรวจวัด Leakage Current ทั้งที่ตำแหน่งลูกถ้วยทดสอบ และในห้องควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง

ขั้นตอนการติดตั้ง : มีการวางแผนการดำเนินการ ดังนี้

- 1) วางแผนการดำเนินงาน
- 2) ศึกษาค้นคว้ารูปแบบวิธีการตรวจวัด Leakage Current ที่ผิวลูกถ้วยฉนวน
- 3) จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับดำเนินการ
- 4) ขออนุมัติทำการศึกษาผ่านผู้บังคับบัญชาตามลำดับชั้น
- 5) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อขอค้ำไฟทำการติดตั้งชุดตรวจวัด Leakage Current ที่ผิวลูกถ้วยฉนวน
- 6) สรุปผลการดำเนินการ

### 1.5.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปผลโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์

เป็นการอธิบายถึงพฤติกรรมการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์และการจำลองผล โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าความนำตามผิววิกฤติและค่ากระแสรั่วไหลวิกฤติของลูกถ้วยฉนวน สำหรับใช้กำหนดเป็นค่าสูงสุดให้กับระบบ RPM แจ้งเตือนให้ผู้ควบคุมระบบรับทราบ เพื่อหามาตรการป้องกันและแก้ไขต่อไป

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีชุดเครื่องมือ Remote Pollution Monitoring (RPM) เพื่อใช้ตรวจสอบ ติดตาม และเฝ้าระวังเตือนภัยก่อนที่จะเกิดปัญหาการวาวไฟตามผิวที่ลูกถ้วยฉนวน
- 2) สามารถนำข้อมูลที่ได้ออกไปประกอบการตัดสินใจในการออกแบบค่าฉนวนทางไฟฟ้า สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ในสถานไฟฟ้าแรงสูงบางประเภทเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อบรรเทาและป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากสิ่งประอะเปื้อนจากมลภาวะ
- 3) มีความเข้าใจในปัญหามากขึ้น และสามารถนำความรู้ที่ได้ ไปปรับใช้กับสถานีไฟฟ้าแรงสูงอื่นๆ ที่มีปัญหาในลักษณะเดียวกันได้

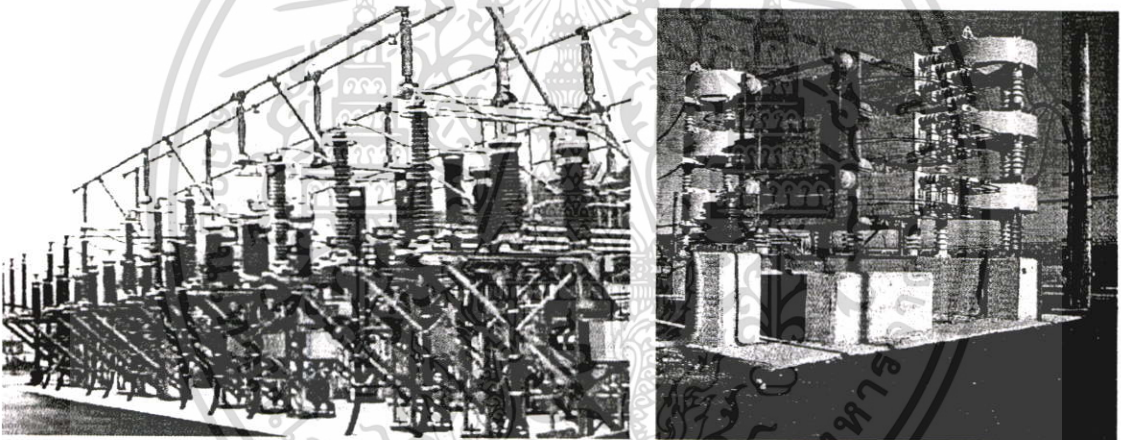
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

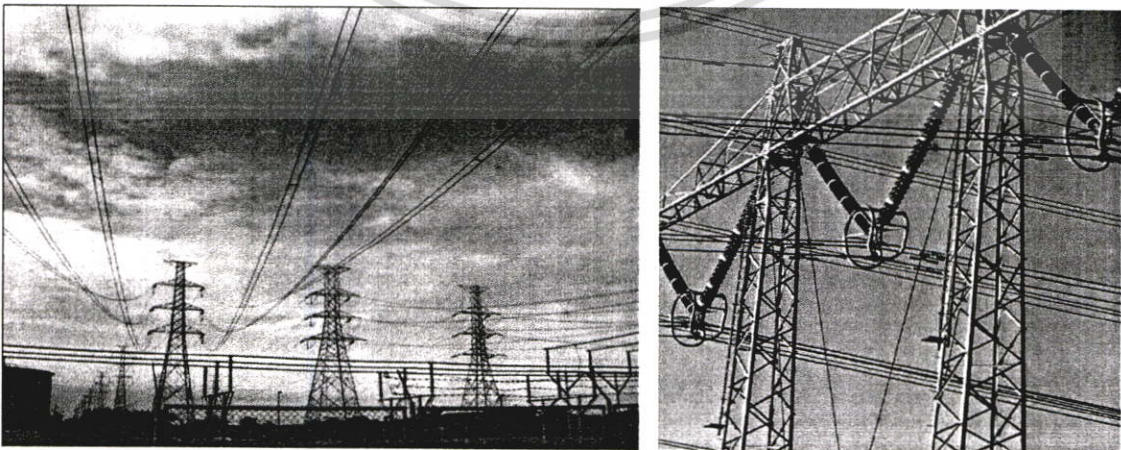
# ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า

### 2.1 ภาระหน้าที่และการใช้ประโยชน์ของลูกถ้วยฉนวน[5]

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ฉนวนที่ใช้ยึดหรือรองรับตัวนำไฟฟ้า ที่มีแรงดันหรือศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าดิน ยึดตัวนำไฟฟ้าให้อยู่ห่างกันอย่างมั่นคงพอที่จะไม่ทำให้แกว่ง หรือเคลื่อนที่เข้าหากันจนเกิดการอาร์คหรือเบรกดาวน์ และเกิดลัดวงจรระหว่างตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ลูกถ้วยฉนวนนอกจากทำหน้าที่ยึดสายไฟฟ้าแรงสูง บัสบาร์ สวิตช์ตัดตอน แล้วยังใช้เป็นฉนวนห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น บุชชิงหม้อแปลงไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับคัทพิน่า หม้อแปลงกระแสหรือแรงดัน (CT,PT) และตัวเก็บประจุ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ยังใช้เป็นฉนวนในการสร้างอุปกรณ์ทดสอบแรงสูง ดังรูปที่ 2.3

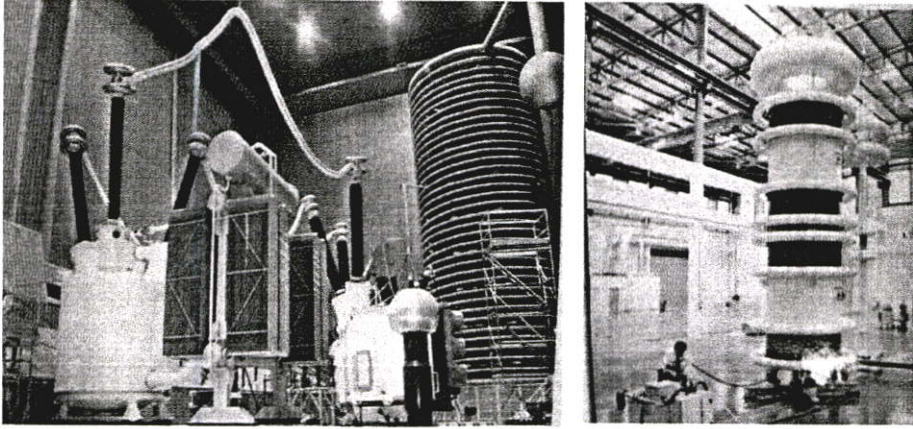


รูปที่ 2.1 ลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนใช้ทำหน้าที่ต่างๆ ในสถานีไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.2 ลูกถ้วยฉนวนพอร์ชเลนใช้ทำหน้าที่ต่างๆ ในระบบสายส่งแรงสูง

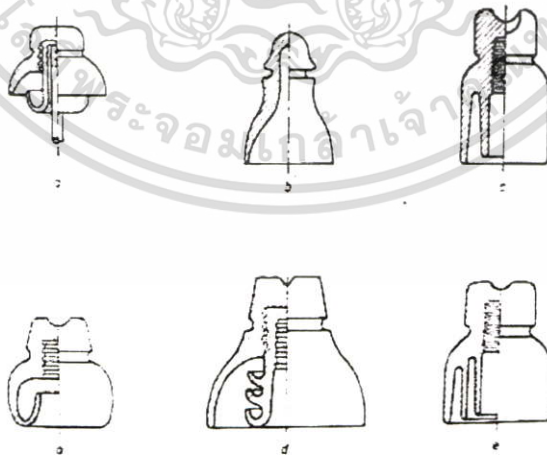
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลูกถ้วยฉนวนใช้สร้างอุปกรณ์ทดสอบในห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูง

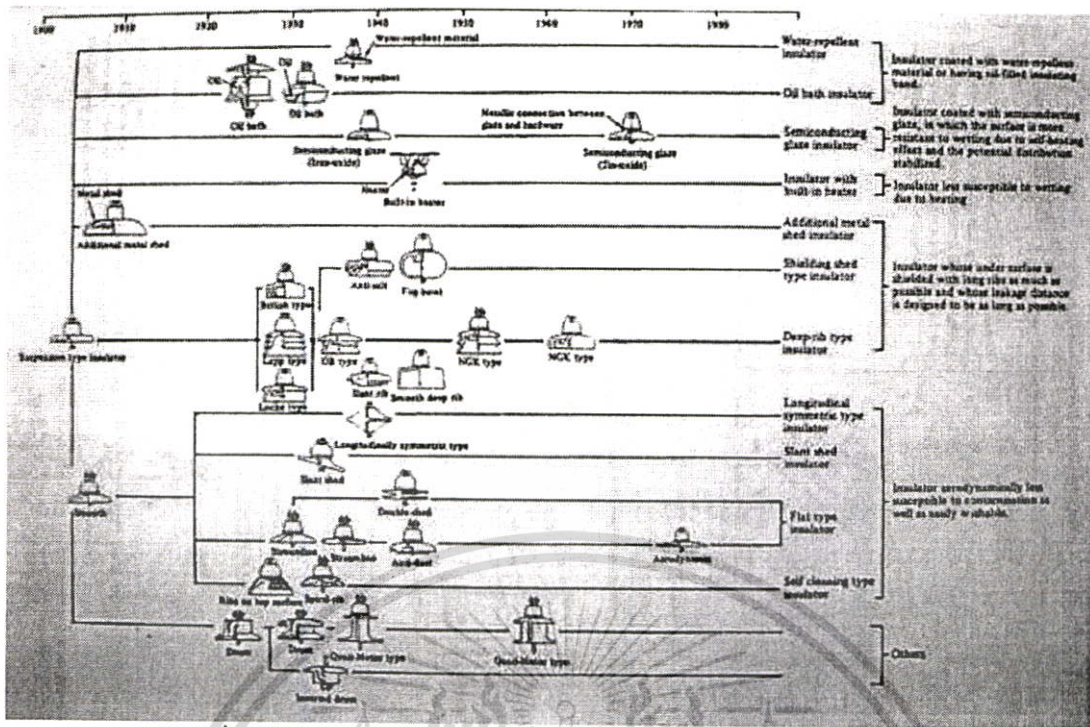
## 2.2 ประวัติความเป็นมาของลูกถ้วยฉนวน

ลูกถ้วยเริ่มเป็นที่รู้จักมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2378 มีพัฒนาการทั้งทางด้านรูปร่างและวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง จนถึงปี พ.ศ.2425 ลูกถ้วยถูกนำไปใช้ติดตั้งในระบบส่งกำลังไฟฟ้าระยะสั้นๆ เป็นครั้งแรก ที่ระดับแรงดัน 1,343 Volts ผู้ออกแบบคือ Miller และ Duprez หลังจากนั้นในปี พ.ศ.2429 C.E.L. Brown ได้ก่อสร้างสายส่งขนาด 2,000 Volts เชื่อมระหว่างเมือง Kriegstetten และ Solothurn ขึ้นได้เป็นครั้งแรก และต่อมาในปี พ.ศ.2434 ได้ก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าระดับแรงดัน 15kV. และ 25kV. เป็นผลสำเร็จ โดยเชื่อมระหว่างเมือง Lauffen , Neckar กับ Frankfurt ประเทศเยอรมัน ลูกถ้วยที่นำไปใช้ในช่วงนี้เป็นชนิดแช่น้ำมัน(Oil-bath Insulators) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนรูปที่ 2.5 วิวัฒนาการด้านรูปร่างของลูกถ้วยฉนวนในยุคต้นๆ



รูปที่ 2.4 ลูกถ้วยชนิดแช่น้ำมันในระยะเริ่มต้น

หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทั้งในประเทศเยอรมัน ฝรั่งเศส สเปน และทวีปอเมริกาเหนือ เพื่อให้ทันกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของอุตสาหกรรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 - แสดงวิวัฒนาการด้านรูปร่างของลูกถ้วยฉนวนในยุคต้นๆ

นอกเหนือจากวิวัฒนาการด้านรูปร่างของลูกถ้วยฉนวนที่พัฒนาอย่างรวดเร็วแล้ว วัสดุที่ใช้ในกรรมวิธีการผลิตลูกถ้วยก็ได้รับการพัฒนาเช่นเดียวกัน โดยในยุคต้นวัสดุที่ใช้ในการผลิตลูกถ้วยฉนวนคือเซรามิกส์ ซึ่งมีความแข็งแรงทางกลสูงแต่มีข้อเสียคือเปราะ มีความพยายามคิดค้นหาวัสดุใหม่ๆ อย่างต่อเนื่อง จนถึงปี พ.ศ.2453 มีการนำวัสดุพอร์ซเลนมาใช้ ซึ่งมีประสิทธิภาพทั้งทางกลและทางไฟฟ้าดีกว่า ทำให้ลูกถ้วยที่ผลิตขึ้นนับจากนั้นผลิตจากวัสดุพอร์ซเลนทั้งสิ้น เมื่อระดับแรงดันเพิ่มสูงขึ้น จำนวนตัวนำในแต่ละเฟสย่อมต้องมีมากกว่าหนึ่งเส้น ทำให้ลูกถ้วยต้องรับภาระแรงทางกลมากขึ้น กลายเป็นข้อจำกัดสำหรับลูกถ้วยที่ผลิตจากวัสดุพอร์ซเลนระยะต่อมา ในปี พ.ศ.2478 บริษัท Pilkington ประเทศอังกฤษ ได้ผลิตลูกถ้วยที่ทำจาก Toughened Glass เป็นผลสำเร็จ ซึ่งมีสมรรถนะในการรับแรงทางกลสูงมากถึง 100 ตัน และสามารถรองรับระดับแรงดันได้เป็นหลักล้าน โวลต์ จึงถือได้ว่าเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่มีความเหมาะสมทั้งความแข็งแรงทางกลและทางไฟฟ้า รวมทั้งมีขนาดและน้ำหนักที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามยังไม่ได้หยุดทำการวิจัยพัฒนาไว้เพียงเท่านี้ มีความพยายามในการเสาะแสวงหาวัสดุใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติดีกว่าออกมา ครอบคลุมถึงปัจจุบันวัสดุที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากคือ Polymer, Fibres, RBGF เป็นต้น

จากตารางที่ 2.1 พบว่าลูกถ้วยที่ผลิตจากพอร์ซเลน มีความคงทนทางไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ซึ่งถือเป็นจุดอ่อนของเนื้อวัสดุชนิดนี้ ในขณะที่คุณสมบัติด้านอื่นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ทั้งความแข็งแรงทางกลและทางไฟฟ้า รวมทั้งความทนทานต่อการสึกกร่อน สำหรับเนื้อวัสดุ Toughened Glass และ Polymer มีจุดเด่นในด้านความคงทนทางไฟฟ้า ส่วนเนื้อวัสดุ RBGF มีจุดเด่นในด้านความแข็งแรงทางกล ซึ่งในปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจศึกษากันมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

Property	Unit	Glazed	Toughened	Polymer	RBGF
		porcelain	glass		
Density	g/cm	2.3-3.9	2.5	0.9-2.5	2.1-2.2
Tensile strength	MPa	30-100	100-120	20-35	1300-1600
	lb/in <sup>2</sup> (x10 <sup>3</sup> )	4.0-14.0	14.5-17.4	3.0-13	190-230
Compressive strength	MPa	240-820	210-300	80-170	700-750
	lb/in <sup>2</sup> (x10 <sup>3</sup> )	34-120	30-40	11-24	100-107
Tensile modulus	GPa	50-100	72	0.6-16	43-60
	lb/in <sup>2</sup> (x10 <sup>6</sup> )	7-14	10.1	0.1-2.0	6.0-8.0
Thermal conductivity	W/m <sup>2</sup> K	1-4	1.0	0.17-0.9	0.2-1.2
Expansibility(20-100°C)	(x10 <sup>-6</sup> )/K	3.5-9.1	8.0-9.5	45-200	7.5-20
Permittivity(50-60 Hz)	Air = 1	5.0-7.5	7.3	2.3-5.5	2.5-6.5
Loss tangent(50-60 Hz)	(x10 <sup>-3</sup> )	20-40	15-50	0.1-5.0	5.0-20
Puncture strength	kV/mm	10-20	>25	>25	3.0-20
Volume resistivity(at20°C)	Ωcm	10 <sup>11</sup> -10 <sup>13</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup> -10 <sup>17</sup>	10 <sup>11</sup> -10 <sup>14</sup>

### 2.3 ชนิดของลูกถ้วยฉนวน

ถ้าพิจารณาจากเนื้อสารที่ใช้ทำลูกถ้วยฉนวน อาจแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ พอร์ซเลน (Porcelain) แก้วเหนียว(Toughened Glass) และสารสังเคราะห์ เช่น คาสท์เรซิน อีพ็อกซีเรซิน โพลีเอทิลีน เป็นต้น ลูกถ้วยฉนวนประเภทสารสังเคราะห์นิยมใช้ภายในอาคารที่ไม่เปียกชื้น ส่วนใช้ภายนอกอาคารนิยมลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน หรือแก้วเหนียว เพราะมีความคงทนต่อสภาวะดินฟ้าอากาศได้ดี

ถ้าพิจารณาจากรูปร่างลักษณะและขนาดของลูกถ้วยฉนวน โดยแบ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย(มอก.) ซึ่งร่างตามมาตรฐาน American National Standard Institute หรือ ANSI มีรูปแบบดังรูปที่ 2.6 ที่นิยมมีดังนี้

- 1) ลูกถ้วยก้านตรง(Pin Insulator) ใช้ยึดสายไฟแบบตรึงอยู่กับที่ โดยพาดสายอยู่ในร่องพาดสายที่อยู่ส่วนบนของลูกถ้วย ตัวลูกถ้วยประกอบด้วยปีกหลายชั้น ด้านล่างมีรูใส่ก้านยึดเป็นเกลียว
- 2) ลูกถ้วยก้านตรงแบบฟ็อก(Fox Type Pin Insulator) คล้ายลูกถ้วยก้านตรง แต่ระยะรั้วป้องกันจะยาวกว่าลูกถ้วยก้านตรงธรรมดา ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในบริเวณที่มีความเปรอะเปื้อนสูง
- 3) ลูกถ้วยแท่ง(Line Post Insulator) คล้ายลูกถ้วยก้านตรงธรรมดาแต่มีคอดันยาวเพื่อป้องกันการเจาะทะลุ

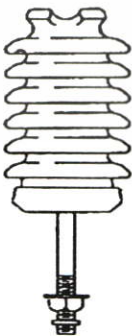
- 4) ลูกถ้วยแท่งก้านตรง(Pin Post Insulator) ทำหน้าที่คล้ายลูกถ้วยก้านตรงแบบพีก คือใช้ในบริเวณที่มีความเปราะเป็อนสูงแต่จะดีกว่า เพราะไม่เกิดการเกาะทะเลเนื่องจากเป็นแบบคอดัน
- 5) ลูกถ้วยหลัก(Post Insulator) มีลักษณะคล้ายลูกถ้วยแท่ง เพียงแต่ด้านบนและล่างจะเป็นแบบหัวครอบโลหะซึ่งเป็นที่ยึดตัวเอง และสามารถนำมายึดต่อซ้อนกันได้ โดยทั่วไปใช้สำหรับยึดบัสบาร์ หรือสวิตซ์ตัดตอน
- 6) ลูกถ้วยแขวน(Suspension Insulator) เป็นลูกถ้วยแรงดึงสูง สามารถห้อยแขวนต่อกันได้ ส่วนบนหัวลูกถ้วยจะมีฝาครอบโลหะ และมีช่องสำหรับห้อยแขวนต่อกัน ส่วนจะแขวนต่อกันก็ลูกชิ้นอยู่กับขนาดแรงดันใช้งาน
- 7) ลูกถ้วยแขวนคู่คอดัน(Solid Core Suspension Insulator) มีลักษณะเหมือนนำลูกถ้วยแขวนสองลูกมาต่อกันด้วยแกนเนื้อพอร์ซเลนเป็นคอดัน ดีกว่าลูกถ้วยแขวนธรรมดาที่ไม่เกิดการเกาะทะเลที่หัวลูกถ้วย
- 8) ลูกถ้วยคอดันยาว(Long Rod Insulator) เป็นลูกถ้วยแรงดึงสูง มีปีกเหมือนลูกถ้วยก้านตรง ตัวลูกถ้วยเป็นแกนตันสามารถแขวนห้อยต่อกันได้



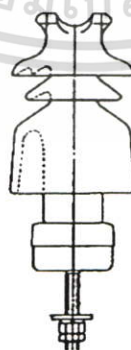
(ก) ลูกถ้วยก้านตรง



(ข) ลูกถ้วยก้านตรงแบบพีก



(ค) ลูกถ้วยแท่ง



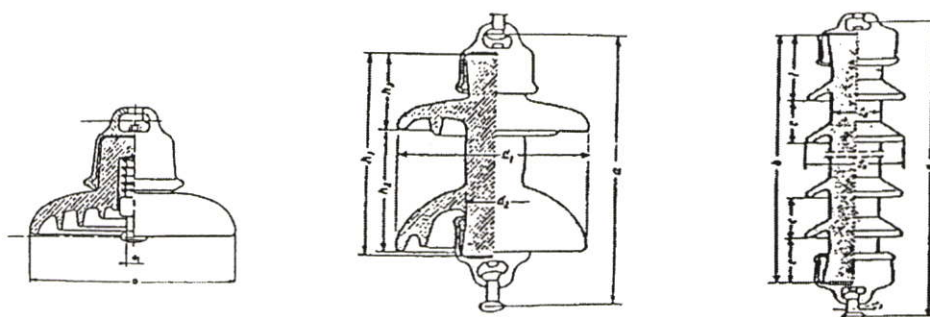
(ง) ลูกถ้วยแท่งก้านตรง



(จ) ลูกถ้วยหลัก

### รูปที่ 2.6 รูปร่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ลูกถ้วยแขวน

(ข) ลูกถ้วยแขวนคู่คอตัน

(ค) ลูกถ้วยคอตันยาว

รูปที่ 2.6(ต่อ) รูปร่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบต่างๆ

## 2.4 การผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

### 2.4.1 ส่วนประกอบและการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

ในการใช้งานของลูกถ้วยฉนวน ในขณะที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าอยู่นั้น นอกจากต้องรับและทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันใช้งาน หรือแรงดันเกินเสิร์จที่เกิดขึ้นในระบบแล้ว ลูกถ้วยฉนวนยังต้องรับแรงกล จากน้ำหนักของสายไฟ แรงกลไฟฟ้าจากกระแสลัดวงจร แรงลมเมื่อเกิดพายุ ซึ่งมีทั้งแรงดึง แรงกด และแรงบิด ยิ่งกว่านั้นลูกถ้วยยังต้องคงทนต่อความร้อนที่อาจเกิดจากแสงแดด หรือความร้อนจากการวาวไฟตามผิว หรือกระแสอาร์คลัดวงจร กล่าวโดยสรุป ลูกถ้วยฉนวนที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติทั้งทางไฟฟ้า ทางกลและทางความร้อน ลูกถ้วยฉนวนจะมีคุณสมบัติเด่นในด้านใด ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารที่นำมาประกอบเป็นลูกถ้วย ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ดินขาว(China stone) หินฟันม้า(Felspar) ทราชแก้ว(Quartz) และอะลูมินา( $Al_2O_3$ ) ส่วนผสมอะไรเท่าไรขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานว่าต้องการให้เด่นในด้านใด ในทางปฏิบัติลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนมีส่วนผสมดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

วัตถุดิบ	ชั้นรูปโดยอาศัย	ชั้นรูปโดยการเท	อะลูมินาสูง	อะลูมินาต่ำ
	ความเหนียว	แบบ		
ดินขาว	15	25	15	20
ดินเหนียว	30	20	20	25
หินฟันม้า	35	35	25	35
ทราชแก้ว	20	20	-	-
อะลูมินา	-	-	40	20

หมายเหตุ : อะลูมินาสูงเพื่อให้ลูกถ้วยฉนวนเนื้อพอร์ซเลนเหนียว มีความคงทนต่อแรงดึงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ส่วนผสมของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

ส่วนผสมของเนื้อลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน มีผลต่อคุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนเป็นอย่างมาก ทั้งทางกล ทางไฟฟ้า และทางความร้อน โดยทั่วไปมีส่วนผสมโดยประมาณ คือ ดินเหนียว 50% , หินฟันม้า 25% และทรายแก้ว 25%

**ดินเหนียว :** ดินเหนียวเป็นส่วนผสมที่สำคัญ เมื่อผสมน้ำหรือความชื้นจะมีความยืดหยุ่นสามารถขึ้นรูปตามรูปร่างที่ต้องการได้ ดังนั้นส่วนผสมจึงขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปและกระบวนการผลิตตามที่ต้องการ

**หินฟันม้า :** ถูกนำมาผสมเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางไฟฟ้าให้ดีขึ้น ทำหน้าที่เป็นตัวประสานหรือตัวเชื่อม โดยทำให้เกิดการรวมตัวกันของส่วนผสมเหลวขณะที่อุณหภูมิสูง หินฟันม้าเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อัลคาไลน์-ออลูมิเนียมซิลิเกต( $XO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) โดยที่ X คือ โปตัสเซียมหรือโซเดียม หรือทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อพอร์ซเลนที่ต้องการ[6] การเพิ่มส่วนผสมหินฟันม้าให้มากขึ้น เป็นการเพิ่มส่วนผสมของแก้ว ทำให้เนื้อพอร์ซเลนมีความใสมากขึ้น

**ทรายแก้ว :** เป็นส่วนผสมอีกหนึ่งของเนื้อลูกถ้วย มีไว้เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยดีขึ้น

## 2.4.3 กระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

กระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือ กระบวนการแบบเปียก (Wet Process) ขึ้นรูปโดยการเทแบบ หรือกดอัดลงในแบบในขณะที่ก้อนดินผสมสูตรยังไม่แห้งตามกระบวนการดังรูปที่ 2.7 หรือใช้วิธีการดึงจากก้อนดินผสมสูตรที่ขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกค่อนข้างแห้ง อีกวิธีหนึ่งคือ กระบวนการแบบแห้ง การขึ้นรูปใช้วิธีอัดผงส่วนผสมให้แน่นตามรูปแบบที่ต้องการ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง

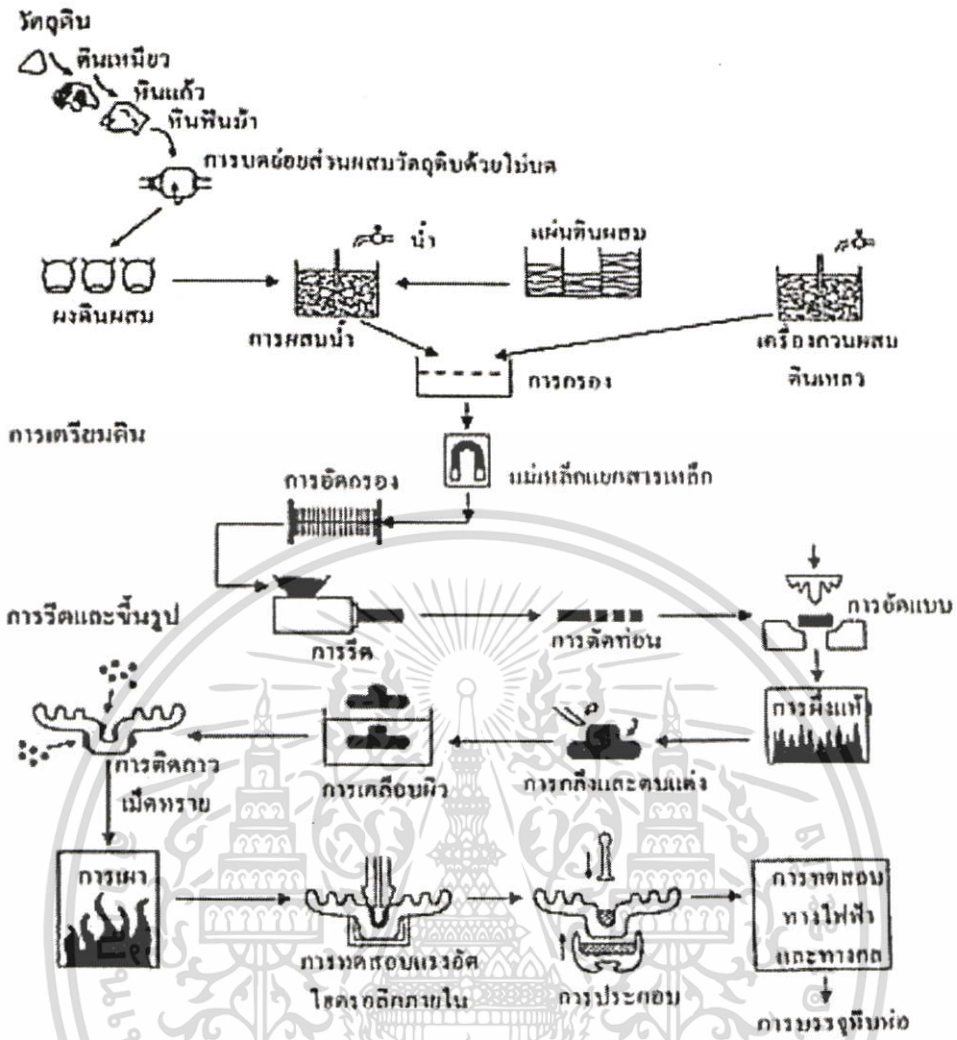
กระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบเปียกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การเตรียมดินผสม เริ่มต้นด้วยการนำก้อนวัตถุดิบ ได้แก่ ดินเหนียว ดินขาว ทรายแก้ว หินฟันม้า มาตรวจคุณสมบัติและวิเคราะห์ทางด้านเคมี และความร้อน
- 2) การบดก้อนวัตถุดิบ ให้ละเอียดตามที่ต้องการ
- 3) การกรองสิ่งแปลกปลอมออก โดยนำดินผสมไปผสมกับน้ำให้เหลว ใช้ใบพัดกวาดเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำไปผ่านตะแกรงเพื่อคัดสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออก และแยกสารประเภทเหล็กออกด้วยการใช้แม่เหล็กดึงคูดอกจากของเหลว ก่อนจะให้ดินผสมเหลวไหลผ่านฝากรองเอาน้ำออก
- 4) การกรองน้ำออกด้วยฝากรอง จะได้ดินผสมมีลักษณะเหมือนดินเหนียวปั้นได้
- 5) การรีดดินผสมเป็นแท่ง โดยนำดินเหนียวผสมไปผ่านเข้าเครื่องสุญญากาศ เพื่อไล่ฟองก๊าซ และให้ดินผสมอัดแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน รีดออกมาเป็นแท่งกระบอก ตัดออกเป็น

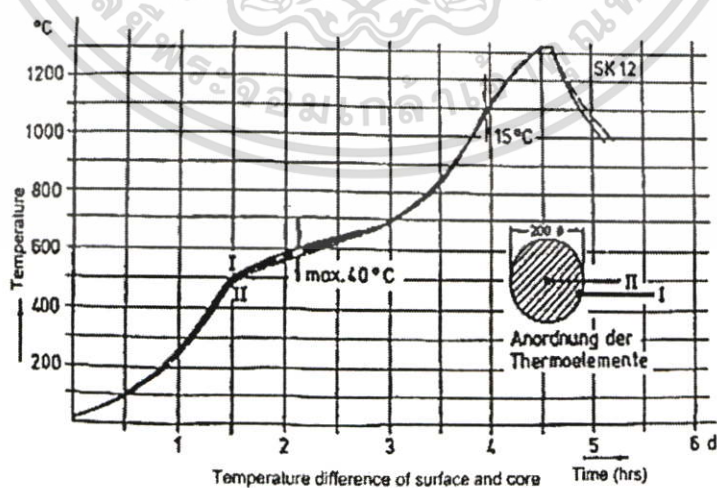
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก่อนๆ ณ ตำแหน่งนี้สามารถควบคุมส่วนผสมความชื้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปขึ้นรูปแบบใด
- 6) การขึ้นรูป อาจทำได้โดยการอัดแบบ(จากก้อนดินที่ยังมีความชื้นสูง) หรือขึ้นรูปโดยการขึ้นแท่งกลึง(จากก้อนดินที่มีความชื้นต่ำ)
  - 7) การผึ่งแห้ง นำลูกถ้วยที่ขึ้นรูปแล้วผึ่งให้แห้งในบรรยากาศ หรือในห้องอบ เพื่อให้เนื้อดินแห้งตามระดับที่ต้องการ
  - 8) การเคลือบผิว ในสภาพใช้งานลูกถ้วยมีโอกาสได้สัมผัสกับสิ่งเปรอะเปื้อน ผุ่นละอองเกลือ ความชื้น และสารเคมี เป็นต้น มาจับเกาะที่ผิวได้ง่ายหากผิวไม่เรียบมัน ฉะนั้นผิวลูกถ้วยจะต้องเคลือบเสมอ เพื่อให้ผิวมัน สิ่งสกปรกต่างๆ เกาะผิวได้ยาก และเมื่อฝนตกก็สามารถชะล้างออกได้ง่าย การเคลือบอาจใช้วิธีการพ่นหากมีขนาดใหญ่โต หรือใช้วิธีการจุ่มน้ำยา
  - 9) การเผา การเผาลูกถ้วยให้ได้พอซ์เลนที่ดีมีคุณภาพสูงต้องอาศัยเทคนิค การเผาต้องเป็นไปตามตารางเผาหรือตามเส้นกราฟ และรักษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวหรือบิดเบี้ยวได้ เทคนิคสำคัญในการเผา คือ อัตราความร้อนที่ได้จากเตาเผาต้องไม่เร็วกว่าอัตราการดูดความร้อนของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เนื้อในของลูกถ้วยมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิข้างนอก และเพื่อให้ก๊าซที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีของลูกถ้วย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากผิวของลูกถ้วย คุณสมบัติของลูกถ้วยจะต้องไม่มีรูพรุน จึงต้องเผาที่อุณหภูมิสูง คือ ที่อุณหภูมิ 1,200°C, 1,250°C, 1280°C ในอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 120°C ต่อชั่วโมง ตัวอย่างเส้นกราฟการเผา(อุณหภูมิ-เวลา) ดังรูปที่ 2.8
  - 10) ประกอบชิ้นส่วน โลหะ เพื่อให้สามารถนำลูกถ้วยไปติดตั้งใช้งานได้อย่างมั่นคง จึงต้องมีประกอบชิ้นส่วนโลหะ เช่น ก้านโลหะสำหรับยึดเสาหรือคอนไม้ หรือประกอบฝาครอบโลหะ สำหรับนำลูกถ้วยมาต่อซอกกัน เป็นต้น
  - 11) การตรวจสอบและทดสอบคุณภาพ ก่อนบรรจุหีบห่อส่งจำหน่าย ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพความเรียบร้อย และทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตลูกด้วยจนวนพอร์ชเลนแบบเปียก



รูปที่ 2.8 เส้นกราฟอุณหภูมิ-เวลา การเผาเนื้อพอร์ชเลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ลูกถ้วยฉนวนในสถานะเปราะเปื้อน

เนื่องจากลูกถ้วยฉนวนไม่อาจหลีกเลี่ยงปัญหาจากการติดตั้งใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งเปราะเปื้อน เช่น ฝุ่น ควัน สารเคมี และเกลือ เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของลูกถ้วยทำให้มีสมรรถนะในการใช้งานต่ำลง และถ้าหากรุนแรงมากอาจส่งผลกระทบทำให้ลูกถ้วยเกิดฉีกขาดตามผิวและส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพในการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า การศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับความเปราะเปื้อนของลูกถ้วยฉนวน จะช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการฉีกขาดตามผิวของลูกถ้วยนำมาซึ่งการกำหนดแนวทางสำหรับการป้องกันและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมต่อไป

### 3.1 ความเปราะเปื้อน(Contaminations)

#### 3.1.1 ชนิดของความเปราะเปื้อน

สิ่งเปราะเปื้อนที่จับเกาะบนผิวลูกถ้วยถ้าจัดแบ่งตามลักษณะของสิ่งเปราะเปื้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารละลายน้ำได้และนำไฟฟ้า กับสารที่ไม่ละลายน้ำและไม่นำไฟฟ้า

แต่ถ้าแบ่งตามสภาพแวดล้อมที่ลูกถ้วยฉนวนใช้งานอยู่ มีดังต่อไปนี้

1) สิ่งเปราะเปื้อนจากทะเล พบมากตามบริเวณที่ติดกับชายฝั่งทะเล ในกรณีที่พื้นที่ชายฝั่งเป็นที่ราบ ลมทะเลจะพัดพาเอาเกลือจากทะเลเข้าไปในแผ่นดินค่อนข้างไกล ตามปกติระดับ ESDD(Equivalent Salt Deposit Density) จะลดลงเมื่อลึกเข้าไปจากชายฝั่ง อย่างไรก็ตามอาจจะพบเกลือทะเลที่ระยะห่างจากทะเลถึง 100 กิโลเมตร ได้ ค่า ESDD ที่เกิดจากลมทะเลที่พัดเป็นฤดูกาลเป็นระยะเวลาต่างๆ อาจสูงพอๆ กับค่า ESDD ที่เกิดจากลมพายุได้ฝุ่นได้ แต่ในกรณีของลมทะเลที่พัดเป็นฤดูกาล ค่า ESDD มีแนวโน้มจะลดลงตามระยะห่างจากชายฝั่งได้รวดเร็วกว่าค่า ESDD ที่เกิดจากลมพายุ

2) สิ่งเปราะเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ ปิโตรเคมี ปูนซีเมนต์ เป็นต้น สิ่งเปราะเปื้อนบางชนิด สามารถชะล้างออกได้โดยง่ายเหมือนกับสิ่งเปราะเปื้อนจากทะเล แต่บางชนิดติดแน่นกับผิวลูกถ้วย ไม่สามารถชะล้างออกได้โดยง่าย เช่น ฝุ่นผงจากโรงงานปูนซีเมนต์ เป็นต้น โรงงานประเภทนี้หากตั้งอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล จะทำให้เกิดสิ่งเปราะเปื้อนแบบผสมในบริเวณนั้นได้

3) สิ่งเปราะเปื้อนจากฝุ่นทราย เกิดจากลมพัดพาเอาทรายและฝุ่นดินไปติดตามผิวลูกถ้วย ระดับความรุนแรงของสิ่งเปราะเปื้อนประเภทนี้ค่อนข้างต่ำ องค์ประกอบของสิ่งเปราะเปื้อนประเภทนี้จะแปรตามพื้นที่

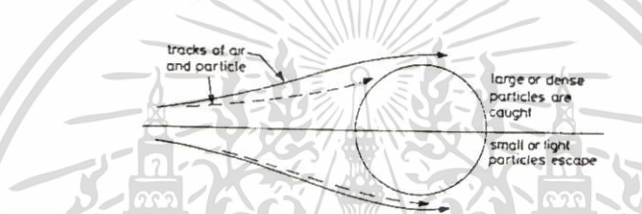
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สิ่งเปราะเปื้อนจากทะเลทราย ในพื้นที่ทะเลทรายสิ่งเปราะเปื้อนจะสะสมบนผิวลูกถ้วยได้เป็นจำนวนมาก เพราะปริมาณน้ำฝนต่ำหรือฝนตกน้อยนั่นเอง นอกจากนี้หากทะเลทรายอยู่ใกล้กับทะเล ก็จะมีเกลือสะสมอยู่ในสิ่งเปราะเปื้อนด้วย

5) สิ่งเปราะเปื้อนอื่น เกิดขึ้นจากสาเหตุนอกเหนือจากที่กล่าวมา เช่น เถ้าหรือฝุ่นภูเขาไฟ

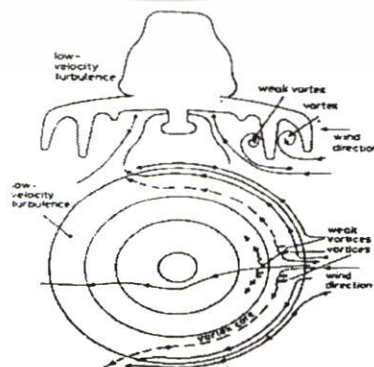
### 3.1.2 ขบวนการเปราะเปื้อนที่ผิวลูกถ้วยฉนวน

สิ่งเปราะเปื้อนและมลภาวะที่จับเกาะบนผิวลูกถ้วยฉนวน เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ทั้งที่มาจากทะเล เขม่าควันสารเคมีจากโรงงานอุตสาหกรรม และฝุ่นละอองจากสิ่งก่อสร้าง ล้วนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วย ทำให้ความคงทนต่อการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยต่ำลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผิวลูกถ้วยมีค่าความนำทางไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความชื้นสูง เช่น ช่วงที่มีน้ำค้างและฝนตกปรอยๆ



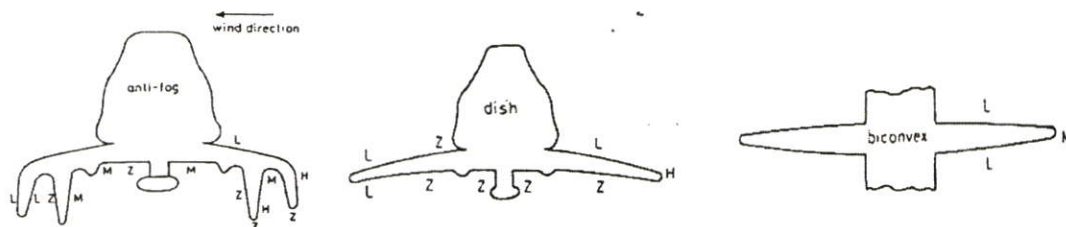
รูปที่ 3.1 ขบวนการเปราะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วยฉนวน

จากรูปที่ 3.1 เมื่อสิ่งเปราะเปื้อนเคลื่อนตัวผ่านวัตถุตัวอย่างในที่นี้คือลูกถ้วยฉนวน ปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนที่ผิวลูกถ้วย ขึ้นอยู่กับรูปร่างของลูกถ้วย ปริมาณความหนาแน่นของสิ่งเปราะเปื้อน และความเร็วลมที่พัดพาสิ่งเปราะเปื้อนมา ถ้าสิ่งเปราะเปื้อนมีความหนาแน่นสูงมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ลูกถ้วยมีครีบบีบชันและความเร็วลมมาก จะทำให้ปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนมีค่าสูง นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับการเกิดลมหมุนภายในครีบบีบชันของลูกถ้วยดังแสดงในรูปที่ 3.2 ส่วนรูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วลมและรูปร่างลูกถ้วย ที่มีผลต่อปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อน



รูปที่ 3.2 การเกิดลมหมุนภายในครีบบีบชันของลูกถ้วยฉนวน[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริมาณการจับเกาะสิ่งเปราะเปื้อน (mg)		
ที่ความเร็วลม 9 m/s	รูปร่างของลูกถ้วย	ที่ความเร็วลม 1.5 m/s
630	Anti-fog	150
390	Dish	10
40	biconvex	น้อยมาก

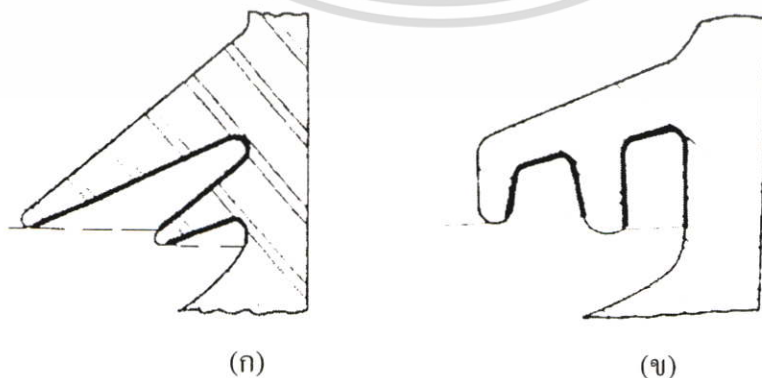
ระดับมลภาวะ : H: มาก , M: ปานกลาง , L: น้อย , Z: ไม่มี

รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของความเร็วลมและรูปร่างลูกถ้วยต่อปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อน

จากรูปที่ 3.3 พบว่าปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนขึ้นอยู่กับความเร็วของลมและรูปร่างที่ซับซ้อนของลูกถ้วย หากความเร็วของลมสูงและรูปร่างของลูกถ้วยมีครีบทึ่ซับซ้อนจะทำให้ปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปราะเปื้อนมีค่าสูงขึ้นหลายเท่าตัว

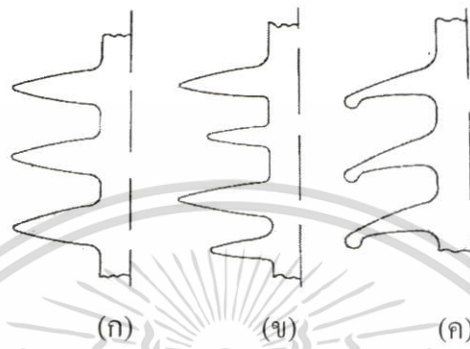
### 3.1.3 การชะล้างสิ่งเปราะเปื้อนที่ผิวลูกถ้วย

สิ่งเปราะเปื้อนและเปียกชื้นทำให้ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวต่ำลง การออกแบบรูปลักษณะของปีกและครีบทึ่ของลูกถ้วยเพื่อช่วยให้สามารถชำระล้างสิ่งเปราะเปื้อนต่างๆ ได้ด้วยตัวของมันเอง โดยอาศัยปริมาณน้ำฝนและกระแสลมตามธรรมชาติเป็นตัวช่วย ช่วยทำให้ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าวาบไฟตามผิวสูงขึ้นได้ จากรูปที่ 3.4 แสดงลักษณะครีบทึ่ของลูกถ้วยที่มีผลต่อการชะล้างสิ่งเปราะเปื้อน พบว่ารูปที่ 3.4(ก) ให้สมรรถนะที่ดีกว่า เพราะน้ำฝนที่ถูกลมพัดอย่างแรงสามารถสาดเข้าไปชะล้างความเปราะเปื้อนได้ครีบทึ่ของลูกถ้วยได้ ขณะที่รูปที่ 3.4(ข) บางส่วนของครีบทึ่ของลูกถ้วยน้ำฝนไม่สามารถสาดเข้าถึงได้



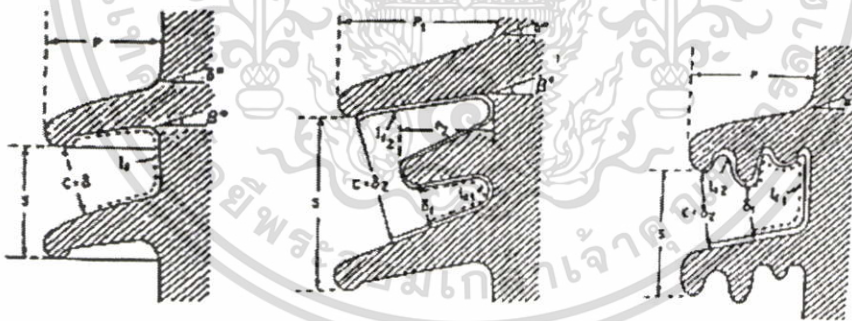
รูปที่ 3.4 ลักษณะครีบทึ่ของลูกถ้วยที่มีผลต่อการชะล้างสิ่งเปราะเปื้อนด้วยวิธีตามธรรมชาติ

รูปที่ 3.5 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งในการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาล้างสิ่งเปรอะเปื้อนที่เกิดขึ้น รูปที่ 3.5(ก) พบว่ามีปริมาณการจับเกาะของสิ่งเปรอะเปื้อนน้อยที่สุด แต่การระบายน้ำไม่ดี รูปที่ 3.5(ข) พัฒนาขึ้นจากรูปที่ 3.5(ก) การเข้าถึงเพื่อชะล้างสิ่งเปรอะเปื้อนทำได้ดีขึ้น แต่ยังมีจุดอ่อนที่การระบายน้ำไม่ดี รูปที่ 3.5(ค) การไหลเวียนของอากาศดี แต่มีปัญหาล้างน้ำหยดเมื่อเวลาฝนตกหนัก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลัดวงจรและเกิดการวาวไฟตามผิวที่ลูกถ้วยได้



รูปที่ 3.5 การออกแบบครีบลูกถ้วยด้วยฉนวนเพื่อแก้ไขปัญหาล้างสิ่งเปรอะเปื้อนจับเกาะบนผิวลูกถ้วยด้วยฉนวน

นอกจากนี้มาตรฐาน IEC 815 ได้ให้คำแนะนำในการทำปีกและครีบลูกถ้วยด้วยฉนวนเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 [8]



ข้อแนะนำตามมาตรฐาน IEC815 :  $C \geq 20 \text{ mm}$  ,  $PF = (2P+S)/Ls$  หรือ  $(2P+2P_2+S)/Ls > 0.7$  ,  $S/P \geq 0.8$  สำหรับปีกมีครีบ ,  $S/P \geq 0.65$  สำหรับปีกเรียบ ,  $\beta > 2^\circ$  ,  $L\delta_1/L\delta_2 < 0.5$

รูปที่ 3.6 การออกแบบปีกและครีบลูกถ้วยด้วยฉนวนตามมาตรฐาน IEC815

### 3.1.4 การตรวจวัดความเปรอะเปื้อน

ในทางอุดมคติการตรวจวัดระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนที่พื้นผิว จะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลทุกอย่างที่จำเป็นตามความน่าจะเป็นที่จะส่งผลต่อการเกิดการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยตามสภาพพื้นที่วิธีการโดยทั่วไปที่ใช้วัดระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนที่พื้นผิว มีหลายวิธี คือ [9]

1) Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) เป็นการวัดค่าสมมูลของสารละลายเกลือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนงานวิชาการ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) Surface Conductivity เป็นการวัดค่าความนำที่ผิวของลูกถ้วยนั้นๆ
- 3) Surge Counting เป็นการเก็บข้อมูลค่าเสิร์จที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ
- 4) I Highest เป็นการวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวของลูกถ้วย ที่แปรค่าตามความเปรอะเปื้อน
- 5) Flashover Stress เป็นการวัดระดับความคงทนของแรงดันวาทไฟตามผิวลูกถ้วย

แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน และมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ตามขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการเกิดการวาทไฟตามผิวเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 มากน้อยแตกต่างกัน บางวิธีเกี่ยวข้องกับขบวนการนี้เพียงขั้นตอนเดียว แต่บางวิธีเกี่ยวข้องกับขบวนการนี้หลายขั้นตอน

วิธีการวัดระดับของสิ่งเปรอะเปื้อนที่พื้นที่ ทั้ง 5 วิธีนี้ เป็นวิธีการที่มีใช้กันแพร่หลายที่สุด และยังมีวิธีการอื่นๆ อีก เช่น การเก็บตัวอย่างอากาศ เพื่อหาปริมาณเกลือของแข็งต่างๆ และ  $SO_2$  การใช้ Deposit Gauges หรือแม้แต่สถิติข้อมูลการเกิดข้อขัดข้องในระบบสายส่งที่มีใช้งานอยู่ในบริเวณนั้นๆ ก็มีประโยชน์มาก รวมทั้งข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ หมอก ความเร็วลม และทิศทางลม ก็สามารถนำมาใช้ประเมินความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อนที่พื้นที่ได้ วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ การวัดระยะห่างจากแหล่งกำเนิดของสิ่งเปรอะเปื้อน หรือดูจากลักษณะโดยทั่วไปของสถานที่นั้นๆ เป็นต้น

#### 3.1.4.1 Equivalent Salt Deposit Density (ESDD)

1) นิยาม : Equivalent Salt Deposit Density คือ ปริมาณการสะสมของสิ่งเปรอะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยที่เทียบเท่ากับปริมาณของเกลือ (NaCl) เป็น  $mg/cm^2$  ซึ่งจะให้ความนำไฟฟ้าเท่ากับความนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้จากการนำเอาสิ่งเปรอะเปื้อนมาละลายในน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน การวัด ESDD จะเป็นการวัดปริมาณในขั้นตอนตามรูปที่ 3.13(ก) ของขบวนการเกิด Flashover เนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน

2) วัตถุประสงค์ : ESDD เป็นตัวเลขที่บอกระดับความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อนที่สร้างขึ้นในห้องทดสอบ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของลูกถ้วยในสถานะที่มีสิ่งเปรอะเปื้อน ดังนั้นตัวเลข ESDD ที่วัดได้จากพื้นที่จะสามารถนำมาประเมินพฤติกรรมของลูกถ้วยที่พื้นที่ได้ โดยใช้วิธีการทดสอบวิธีใดวิธีหนึ่งในห้องทดสอบ

3) วิธีการวัด : วิธีการวัด ESDD คือ เอาสิ่งเปรอะเปื้อนออกจากผิวของลูกถ้วย ปกติใช้ผิวของลูกถ้วยทั้งหมด หรือแยกผิวบนผิวล่าง แต่ไม่รวมส่วนที่เป็นโลหะและซีเมนต์ ใช้วัสดุชุบน้ำ เช่น สำลี กระดาษทิชชู ฟองน้ำหรือแปรง และน้ำกลั่นล้างสิ่งเปรอะเปื้อนมาละลายในน้ำกลั่น คำนวณค่า ESDD จากค่าความนำ อุณหภูมิ ปริมาตรของสารละลาย และพื้นที่ผิวของลูกถ้วย

รายละเอียดวิธีการวัด ESDD ที่ผิวด้านบนของลูกถ้วย มีดังนี้

1. ใช้น้ำกลั่นล้างเครื่องมือและอุปกรณ์ เช่น Beaker, Measuring Cylinder ฯลฯ ให้สะอาดปราศจากสารจับเกาะก่อนทำการวัดค่า
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 200 ซีซี ใส่ใน Beaker
3. จุ่มแปรงลงในน้ำกลั่นที่อยู่ใน Beaker วัดค่า Conductivity และอุณหภูมิของน้ำใน Beaker
4. นำแปรงไปเช็ดสิ่งเปรอะเปื้อนที่ผิวของลูกถ้วย แล้วนำแปรงกลับไปจุ่มน้ำใน Beaker แกว่งแปรงเพื่อให้สิ่งเปรอะเปื้อนละลายในน้ำ
5. ทำซ้ำข้อข้างต้นอีกหลายๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าไม่มีสิ่งเปรอะเปื้อนเหลืออยู่ที่ผิวของลูกถ้วย
6. วัดค่า Conductivity และอุณหภูมิของน้ำที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนที่อยู่ใน Beaker
7. พยายามอย่าให้ปริมาณน้ำสูญเสียไป ปริมาณน้ำไม่ควรเปลี่ยนแปลงไปมากระหว่างก่อนและหลังการทำกรวัด
8. เหน้ที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนที่อยู่ใน Beaker ใส่ไว้ในขวดพลาสติก เพื่อนำไปวัดค่า NDD และวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป
9. กำหนดค่า ESDD

- เปลี่ยนค่า Conductivity ของน้ำที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนไปที่อุณหภูมิ 20 C<sup>o</sup> ตามสมการ

$$\sigma_{20} = \sigma_{uk} \cdot k$$

$$k = (1/1.046) \times (1 + 0.0226(t-18) + 0.000084(t-18)^2)$$

เมื่อ  $\sigma_{20}$  = Volume Conductivity at 20 C<sup>o</sup>, uS/cm

$\sigma_t$  = Volume Conductivity at t C<sup>o</sup>, uS/cm

k = Correction Factor

t = Temperature of Solution, C<sup>o</sup>

- กำหนดค่า Salt (NaCl) Concentration of Solution จากสมการ

$$D = (5.7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1.03} / 10$$

เมื่อ D = Concentration of Solution, %

$\sigma_{20}$  = Volume Conductivity at 20 C<sup>o</sup>, uS/cm

- กำหนดค่า ESDD ที่ผิวลูกถ้วย จากสูตร

$$W = 10 \times V \times (D_A - D_B) / S$$

เมื่อ W = Equivalent Salt Deposit Density, mg/cm<sup>2</sup>

V = Amount of Distilled Water, ml.

D<sub>A</sub> = Equivalent Salt Concentration of the Water Containing Contaminants, %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_B = \text{Equivalent Salt Concentration of the Water with Brush Before Collecting Contaminants, \%}$$

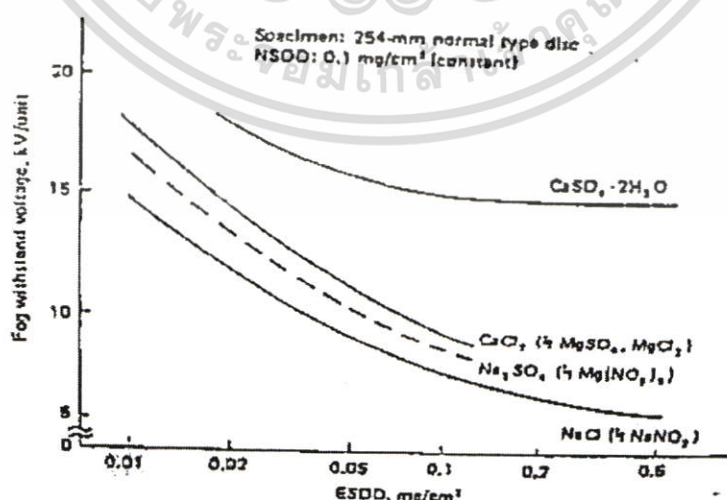
$$S = \text{Surface Area of Insulator, cm}^2 \text{ 610 cm}^2 \text{ (สำหรับพื้นที่ผิวบนของลูกถ้วย)}$$

การวัดความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อนที่พื้นที่ด้วยวิธีนี้ จะต้องทำการวัดซ้ำเป็นระยะๆ มากพอที่จะหาระดับ ESDD สูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการชะล้างตามธรรมชาติได้ ดังนั้นจึงต้องติดตั้งลูกถ้วยเป็นจำนวนมากให้รับสิ่งเปรอะเปื้อนตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ถ้าการชะล้างตามธรรมชาติเกิดขึ้นไม่ถี่นัก ก็สามารถเก็บตัวอย่างเป็นรายเดือนหรือห่างกว่านี้ก็พอเพียงที่จะให้ข้อมูลของการสะสมสิ่งเปรอะเปื้อนเทียบกับเวลาได้ ในทางตรงข้ามถ้าการสะสมของสิ่งเปรอะเปื้อนเกิดขึ้นเร็วก็ต้องสุ่มตัวอย่างถี่ขึ้น ช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสั้นลง เพื่อที่จะให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือได้สูง การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งมักจะเก็บจากลูกถ้วยหลายลูก

4) ลักษณะที่สำคัญ : การวัด ESDD เป็นการวัดปริมาณที่เทียบเท่ากับส่วนที่นำกระแสไฟฟ้าของสิ่งเปรอะเปื้อน ไม่ได้มีการวัดขบวนการที่ทำให้ชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อนเปียก และการเกิดอาร์คและการแปรผันทางสถิติของขบวนการเหล่านี้

การวัด ESDD นี้ นำมาใช้กับลูกถ้วยที่ทำให้เปรอะเปื้อนขึ้นในห้องทดสอบได้ด้วย ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องทดสอบและภาวะที่พื้นที่ได้

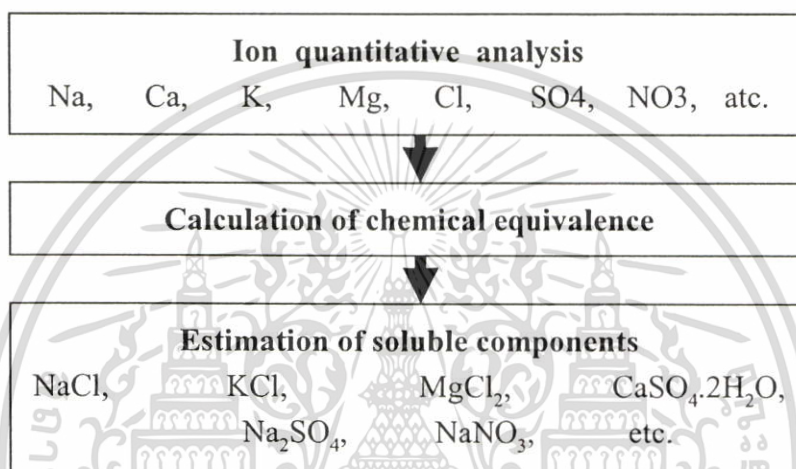
สามารถวัดการกระจายของสิ่งเปรอะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยได้ ในกรณีที่การก่อตัวและการชะล้างสิ่งเปรอะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยเป็นไปอย่างรวดเร็ว การวัด ESDD จะต้องทำถี่ขึ้น และช่วงระยะห่างของการวัดจะสั้นลง ลักษณะนี้อาจจะเป็นข้อเสียของวิธีการวัด ESDD ก็ได้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยใช้เครื่องวัดแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fog Withstand Voltage และค่า ESDD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ชนิดของสารที่ละลายน้ำได้ : แรงดันในขณะที่เกิดวาบไฟตามผิวจากสิ่งเปราะเปื้อน จะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Materials) และความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility) จากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่า NaCl จะให้แรงดันวาบไฟตามผิวต่ำสุด สิ่งที่น่าสังเกตคือ CaSO<sub>4</sub> จะให้แรงดันทนอยู่ได้ (Withstand Voltage) คงที่ ที่ค่า ESDD สูงกว่า 0.1 mg/cm<sup>2</sup> ทั้งนี้เป็นเพราะ CaSO<sub>4</sub> มีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ (Low Solubility) สิ่งเปราะเปื้อนจากธรรมชาติจะประกอบด้วยสารที่ละลายน้ำได้หลายชนิด สามารถประมาณค่าแต่ละชนิดได้ตามวิธีการที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.8 และตัวอย่างของค่าที่ประมาณได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.8 การประมาณค่าปริมาณของสารที่ละลายน้ำได้

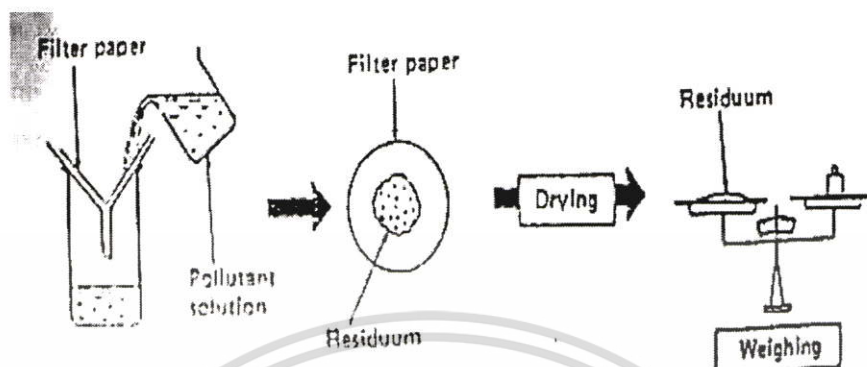
ตารางที่ 3.1 การประมาณค่าปริมาณของสารที่ละลายน้ำได้

Component	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	wt. %
Inland	28.3	1.70		9.05	2.25	0.13	-	58.57	
Seacoast	66.11	7.64	16.80	2.01	2.46	0.28	4.10	0.60	

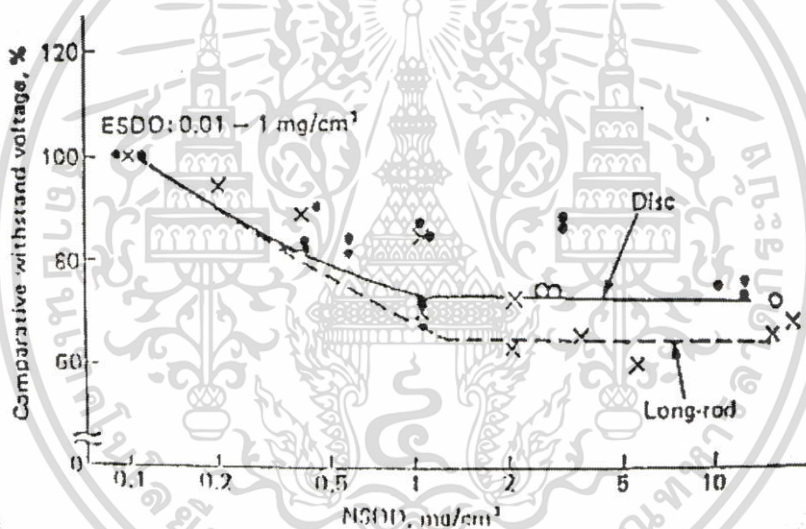
6) การวัดปริมาณของสารที่ไม่ละลายน้ำ : สารที่ไม่ละลายน้ำมีผลอย่างมากต่อแรงดันวาบไฟตามผิว ที่เป็นเช่นนี้เพราะความสามารถในการอุ้มน้ำต่างกัน เนื่องจากอนุภาคของสิ่งเปราะเปื้อนมีขนาดต่างกัน วิธีการวัดปริมาณของสารที่ไม่ละลายน้ำจะวัดเป็นปริมาณน้ำหนักของสารที่ไม่ละลายน้ำต่อพื้นที่ผิวของลูกถ้วยที่สิ่งเปราะเปื้อนจับเกาะ เรียกว่า Non-soluble Materials Deposit Density (NDD) มีหน่วยเป็น mg/cm<sup>2</sup> รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการวัดค่า NDD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารที่ไม่ละลายน้ำกับแรงดันคงทนอยู่ได้ จะเห็นว่าแรงดันคงทนอยู่ได้จะมีค่าต่ำลงเมื่อค่า NDD มีค่าสูงกว่า  $0.1 \text{ mg/cm}^2$  ตามปกติสิ่งเปื้อนจากทะเล จะมีค่า NDD อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำและมักจะมีค่าไม่สูงกว่า  $0.1 \text{ mg/cm}^2$



รูปที่ 3.9 กระบวนการวัดปริมาณของสารที่ไม่ละลายน้ำ



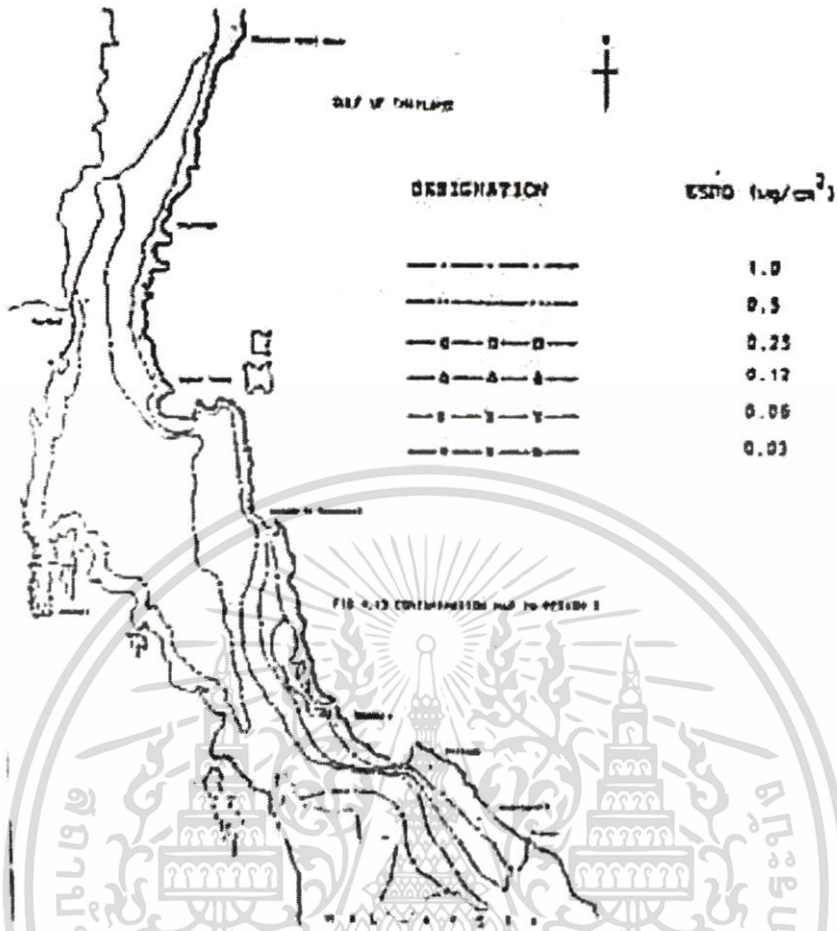
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ไม่ละลายน้ำกับแรงดันคงทนอยู่ได้

#### 3.1.4.2 ผลการศึกษาระดับมลภาวะในพื้นที่ต่างๆ

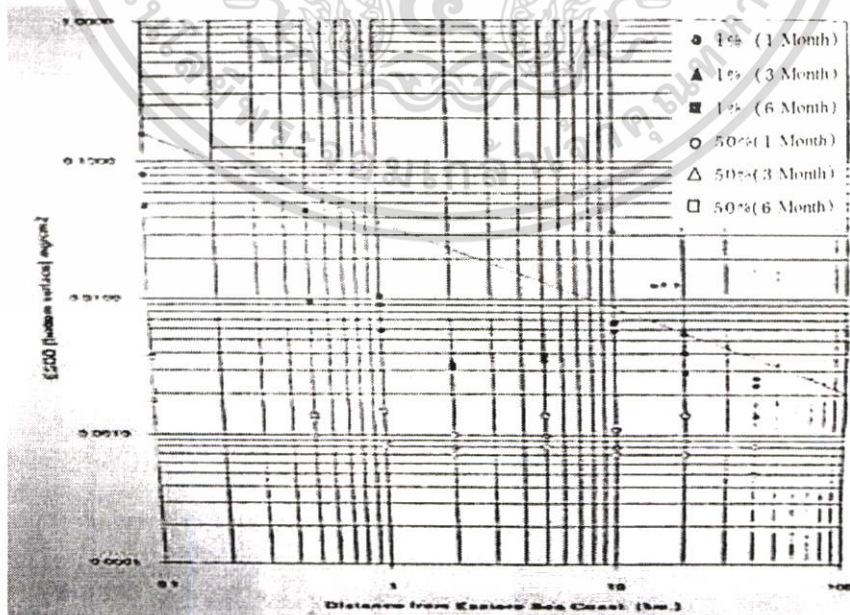
มีผลการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารที่เชื่อถือได้หลายเรื่อง เกี่ยวกับการวัดความรุนแรงของสิ่งเปื้อนที่พื้นที่ โดยใช้วิธีการวัด ESDD และเกี่ยวกับการทำแผนที่แสดงเขตของสิ่งเปื้อน ตัวอย่างของผลงานเหล่านี้พอจะสรุปได้ดังนี้

1) ผลการศึกษาในประเทศไทย [9] : เกี่ยวกับการวัดความรุนแรงของสิ่งเปื้อนที่พื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้วิธีการวัด ESDD เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดทำแผนที่แสดงเขตของสิ่งเปื้อนดังรูปที่ 3.11 ส่วนรูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ESDD กับระยะห่างจากชายฝั่งทะเลภาคใต้ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนที่แสดงเขตของสิ่งเปราะเปื้อนในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ESDD กับระยะห่างจากชายฝั่งทะเลพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การไฟฟ้า EDELCA ของเวเนซุเอลา : ได้นำสายส่ง 400 kV. สองวงจรเข้าใช้งาน สายส่งในปี 1971 และ 1975 เมื่อใช้งานไปได้ 2 ปี เริ่มมีข้อขัดข้องจำนวนมากในสายส่งวงจรที่ 1 ต้องทำการฉีดล้างและเช็ดทำความสะอาดสิ่งเปรอะเปื้อนออกจากลูกถ้วยปีละครั้ง ทำให้สามารถใช้งานสายส่งได้เป็นปกติในอีก 2 ปีถัดมา แต่ต่อมาในปี 1977 ทั้งที่มีมาตรการป้องกันดังกล่าวนี้แล้วก็ยังคงมีข้อขัดข้องในสายส่งวงจรที่ 2 จำนวน 3 ครั้ง และในสายส่งวงจรที่ 1 จำนวน 1 ครั้ง เนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน จึงเริ่มทำการศึกษาถึงปัญหาของสิ่งเปรอะเปื้อนตั้งแต่นั้นมา ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบสายส่ง 800 kV. ซึ่งพาดผ่านในบริเวณที่มีลักษณะคล้ายกันอีกด้วย

ทำการวัด ESDD โดยการติดตั้งลูกถ้วยแก้วและลูกถ้วยพอร์ซเลน จำนวนหนึ่งตามแนวสายส่ง 400 kV. แต่ละจุดประกอบด้วยลูกถ้วยในแนวตั้ง 1 ชุด และลูกถ้วยในแนวเอียง 1 ชุด ในตอนแรกติดตั้งลูกถ้วยพวงละ 5 ลูก วัด ESDD จากลูกถ้วย 3 ลูกกลาง ในอัตราเดือนละครั้ง ต่อมาได้เพิ่มลูกถ้วยเป็นพวงละ 10 ลูก สายส่งวงจรที่ 1 ติดตั้งจุดวัด 16 จุด และสายส่งวงจรที่ 2 ติดตั้งจุดวัด 13 จุด เริ่มรวบรวมข้อมูลจากสายส่งวงจรที่ 1 ในเดือนมกราคมปี 1977 และจากสายส่งวงจรที่ 2 ในเดือนกุมภาพันธ์ 1978 เป็นเวลา 2 ปี ติดต่อกัน ได้ค่า ESDD ที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ขึ้น 1% ในบริเวณที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนมาก  $0.2 \text{ mg/cm}^2$  และได้ค่า ESDD ในบริเวณที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนน้อย  $0.04 \text{ mg/cm}^2$

3) บริเวณที่มีผลกระทบจากสิ่งเปรอะเปื้อนของประเทศอิตาลี : โดยแบ่งออกเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งเปรอะเปื้อนจากทะเล และบริเวณที่ได้ผลกระทบจากสิ่งเปรอะเปื้อนจากอุตสาหกรรม ข้อมูลที่จะบอกว่าบริเวณใดมีสิ่งเปรอะเปื้อนหาได้จากจำนวนและความถี่ของข้อขัดข้องที่เกิดจากสิ่งเปรอะเปื้อน และจำนวนและความถี่ของการบำรุงรักษาและการล้างลูกถ้วย เพื่อให้ยังคงใช้สายส่งหรือสถานีไฟฟ้านั้นๆ ได้อย่างปกติ นอกจากนี้ยังมีการสุ่มตัวอย่างลูกถ้วยที่ใช้งานอยู่ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า นำมาวัดและตรวจสอบระดับความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสิ่งเปรอะเปื้อนจากทะเลก่อให้เกิดปัญหาเป็นบริเวณกว้าง ในบางแห่งที่มีลมทะเลพัดแรง และบริเวณที่ชายฝั่งทะเลเป็นพื้นที่ราบ สิ่งเปรอะเปื้อนจะแผ่เข้าไปในแผ่นดินได้ไกลหลายสิบลไมล์ แต่สิ่งเปรอะเปื้อนที่มาจากอุตสาหกรรมจะเป็นบริเวณเล็กๆ กระจายไปทั่ว

4) งานวิจัยในสหรัฐอเมริกา : มีการวัดความรุนแรงของสิ่งเปรอะเปื้อน โดยการวัดค่า ESDD จากการปลดลูกถ้วยออกจากระบบส่ง ถ้าไม่มีสายส่งก็จะติดตั้งลูกถ้วยขึ้นต่างหาก โดยไม่ป้อนแรงดัน ความถี่ของการสุ่มตัวอย่างขึ้นกับการชะล้างตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นบ่อยเพียงใด ถ้าการชะล้างตามธรรมชาติเกิดขึ้นบ่อยและสิ่งเปรอะเปื้อนก่อตัวขึ้นเร็วช่วงระยะเวลาระหว่างการสุ่มตัวอย่างก็สั้นลง มีการแบ่งระดับความรุนแรงที่พื้นที่ ตามค่า ESDD ออกเป็น 4 ระดับ คือค่า ESDD ในระดับ  $0-0.03 \text{ mg/cm}^2$  เป็นระดับที่เบามาก คือ  $0.03-0.06 \text{ mg/cm}^2$  เป็นระดับเบา ค่า  $0.06-0.1 \text{ mg/cm}^2$  เป็นระดับปานกลาง ค่า  $0.1$  และค่าที่สูงกว่านี้เป็นระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 พฤติกรรมการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากมลภาวะ [3]

สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีสิ่งเปรอะเปื้อนหรือมลภาวะปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ฝุ่นผง คาร์บอน เกล็ดเกลือ เป็นต้น มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนในระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งตามปกติแล้วสิ่งเปรอะเปื้อนต่างๆ ที่มาเกาะตามผิวของลูกถ้วยจะสามารถชะล้างออกได้โดยธรรมชาติ แต่หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปมาก เช่น เกิดภาวะฝนทิ้งช่วง มีโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยสารเคมีเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จะทำให้ปริมาณสิ่งเปรอะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วยไม่สามารถชะล้างออกได้หมด แต่มีปริมาณสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่ง ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยที่ออกแบบไว้ไม่สามารถทนอยู่ได้ เป็นสาเหตุให้เกิดการวาวไฟตามผิวขึ้นในที่สุด

ในการเกิดการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยโดยทั่วไปแล้วมักมีขบวนการที่สำคัญ ตามรูปที่ 3.13 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ผิวของลูกถ้วยถูกเคลือบด้วยชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อน ซึ่งประกอบด้วยเกลือที่ละลายน้ำได้ หรือกรดอ่อนหรือด่างอ่อน ถ้าหากชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อนนี้เป็น Liquid Electrolyte เช่น Salt Spray จะเกิดปรากฏการณ์ในขั้นตอนที่(3) หรือขั้นตอนที่(6) เลย ถ้าสิ่งเปรอะเปื้อนนี้ไม่นำกระแสไฟฟ้าในสภาวะที่แห้ง จำเป็นต้องผ่านขั้นตอน (2) เพื่อให้เปียกก่อน

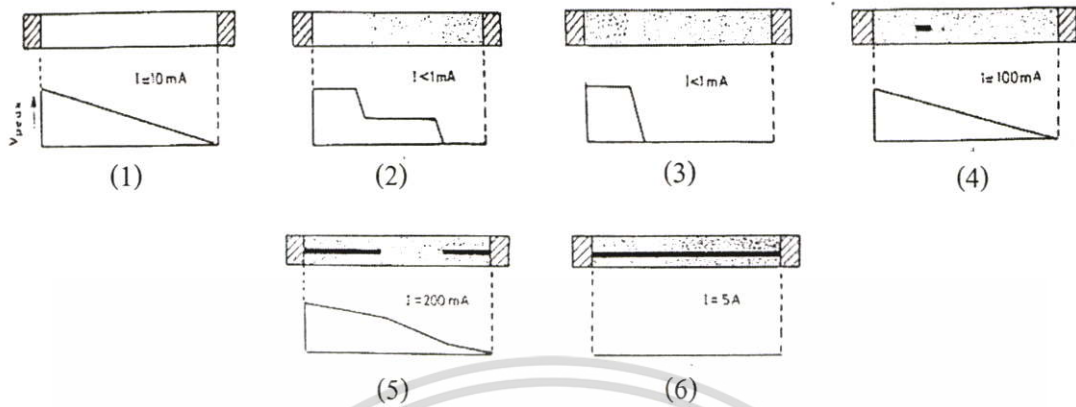
(2) ผิวของลูกถ้วยฉนวนถูกทำให้เปียกทั้งหมดหรือบางส่วน สาเหตุมาจากหมอก ฝนตกปรอยๆ ลูกเห็บ หิมะหรือน้ำแข็งที่กำลังละลาย ทำให้ชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อนนำไฟฟ้าได้ ฝนตกหนักอาจจะให้ผลลัพท์ที่แตกต่างกันได้ คือ ชะล้างสิ่งเปรอะเปื้อนที่นำกระแสไฟฟ้าออกไปบางส่วน หรือชะล้างออกไปจนหมด ทำให้ไม่มีสื่อที่จะช่วยทำให้เกิดขั้นตอนต่อไปของขบวนการการวาวไฟตามผิวได้ หรือเมื่อฝนตกหนักมากๆ อาจเป็นสาเหตุให้น้ำฝนไปเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างครีบบนของลูกถ้วย ทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวได้ง่ายขึ้น

(3) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมลูกถ้วยอยู่ จะทำให้เกิดกระแสไหลตามผิวลูกถ้วย ซึ่งถูกปกคลุมด้วยสิ่งเปรอะเปื้อนที่อยู่ในสภาวะเปียกและนำกระแสไฟฟ้าได้ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น และเริ่มมีผลทำให้ชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อนแห้งเป็นบางส่วน

(4) ชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อนมักจะแห้งไม่สม่ำเสมอ เกิดแถบแห้ง (ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่นำกระแสไฟฟ้า) เป็นช่วงๆ ระหว่างส่วนที่ยังนำกระแสได้ ทำให้กระแสรั่วไหลหยุดไหลและมีแรงดันตกคร่อมแถบแห้งเกิดขึ้น

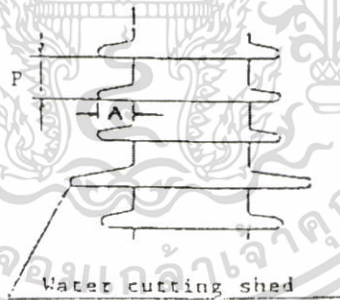
(5) แรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่ตกคร่อมลูกถ้วยอยู่ จะตกคร่อมอยู่ที่แถบแห้งเหล่านี้ ซึ่งแต่ละแถบมีความกว้างเพียงไม่กี่เซนติเมตร ทำให้อากาศในบริเวณนี้สูญเสียค่าความเป็นฉนวน เกิดการอาร์คคร่อมแถบแห้งนี้ขึ้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอยู่ในลักษณะต่อเนื่องกันทางไฟฟ้า จะมีผลมาก

หรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้านทานทางไฟฟ้าของแถบแห้ง หากความต้านทานต่ำจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลสูงขึ้น ในลักษณะเป็นเสิร์จทุกครั้งที่เกิดการ อาร์คพร้อมแถบแห้งนี้



รูปที่3.13 พฤติกรรมการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยเนื่องจากมลภาวะ

(6) ถ้าชั้นของสิ่งเปรอะเปื้อนที่ยังเปียกอยู่ มีความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำ จะทำให้เกิดการอาร์คพร้อมแถบแห้งและทำให้ผิวลูกถ้วยเกิดแถบแห้งขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนตลอดทั้งลูกถ้วย การอาร์คที่คร่อมผิวแห้งลูกถ้วยก็จะขยายกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ ขณะเดียวกันความต้านทานที่อนุกรมกับอาร์คอยู่จะมีค่าน้อยลง ทำให้กระแสไหลเพิ่มขึ้น และทำให้อาร์คคร่อมผิวลูกถ้วยได้มากขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดจะเกิดการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยขึ้น

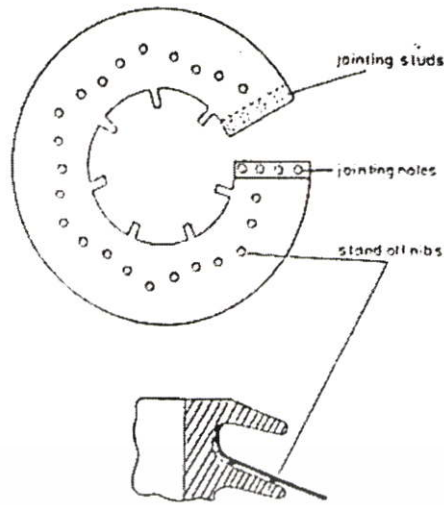


รูปที่3.14 แสดงการออกแบบ Water Cut Shed ของลูกถ้วย

### 3.3 วิธีการป้องกันการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากมลภาวะ

การวาวไฟตามผิวในพื้นที่ซึ่งมีฝนตกหนัก(Heavy Wetting) สามารถป้องกันได้โดยเลือกใช้ลูกถ้วยที่มีระยะห่างตามผิว และอัตราส่วนความยาวควริบ(Shed Shape : P/A) ที่เหมาะสม ตามรูปที่ 3.14 โดยทั่วไประยะ  $P \geq A$  และระยะ P ไม่ควรมีน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร สำหรับ Post Insulator และ 70 มิลลิเมตร สำหรับ Bushing หรือใช้ลูกถ้วยชนิดที่มีความยาวปีกลูกถ้วยไม่เท่ากัน คือมีลักษณะเป็น Water Cut Shed ตามรูปที่3.14 หรือติดตั้งแผ่นเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำที่เรียกว่า Booster Shed ซึ่งทำจากวัสดุประเภทโพลีเมอร์ ตามรูปที่3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้ง Booster Shed ของลูกถ้วย

ส่วนในพื้นที่ซึ่งมีฝนตกเบาบาง(Light Wetting) การวางไฟตามผิวสามารถป้องกันได้โดยการควบคุมปริมาณกระแสรั่วไหลตามผิวของลูกถ้วย หรือควบคุมขบวนการที่ทำให้เกิดการวางไฟตามผิวขึ้น ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น

- 1) ฉีดล้างทำความสะอาดลูกถ้วย
- 2) ใช้ลูกถ้วยที่มีระยะตามผิวมากขึ้น(Extra Creepage Distance Insulator)
- 3) ติดตั้ง Creepage Extender เพื่อเพิ่มระยะตามผิวของลูกถ้วย
- 4) เคลือบผิวลูกถ้วยด้วยสารที่เหมาะสม
- 5) ใช้ลูกถ้วยชนิดเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ(Resistance Graded Insulator)

ต่อไปจะอธิบายถึงรายละเอียดของแต่ละวิธี

### 3.3.1 การฉีดล้างทำความสะอาดลูกถ้วยฉนวน

การล้างสิ่งเปรอะเปื้อนออกจากผิวของลูกถ้วยฉนวนด้วยวิธีนี้ เป็นการลดกระแสรั่วไหลตามผิวของลูกถ้วยได้โดยตรง การฉีดน้ำล้างสามารถทำได้ในขณะที่ยังจ่ายกระแสไฟฟ้าอยู่ โดยใช้เครื่องฉีดพิเศษ(Hot Line Washing Equipment) แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลายประการ เช่น

1. รูปร่างของกริปลูกถ้วยต้องเหมาะสม เพื่อป้องกันการเชื่อมต่อของหยดน้ำ
2. แรงดันของน้ำในการฉีดล้างต้องสัมพันธ์กับระยะห่างของหัวฉีด
3. ตำแหน่งและทิศทางการฉีดของหัวฉีดน้ำต้องเหมาะสม
4. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ ต้องไม่เกินค่ามาตรฐานปกติกำหนดไว้ที่ 10,000 โอห์ม-เซนติเมตร ส่วนระยะปลอดภัยในการฉีดน้ำล้างลูกถ้วย ที่แรงดัน 275 kV. คือ 6 เมตร แรงดัน 750 kV. คือ 60 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ระดับความเข้มข้นของสิ่งเปื้อนก่อนฉีดล้างต้องไม่สูงเกินไป(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กำหนดไว้ไม่เกิน  $0.06 \text{ mg/cm}^2$ )  
สำหรับวิธีการฉีดล้างทำความสะอาดลูกถ้วยที่นิยมใช้งานมีอยู่ 2 แบบคือ

### 3.3.1.1 แบบหัวฉีดเคลื่อนที่(Portable Jet Washing)

มีลักษณะคล้ายรถดับเพลิง จะมีหัวฉีด 1-2 หัวฉีด ถังบรรจุน้ำปริมาตรขนาด 500 ลิตร ป้อนน้ำกระบอกฉีดน้ำ และกระบอกอัดความดันน้ำ(Access Boom) โดยอุปกรณ์ฉีดล้างทั้งหมดบรรจุอยู่บนรถ แรงดันของป้อนน้ำมีขนาดตั้งแต่ 14 ถึง  $40 \text{ kg/cm}^2$  มีหัวฉีดน้ำเป็นตัวรีดแรงดันของน้ำให้ต่ำลง อัตราการฉีดน้ำอยู่ที่ 100 ลิตรต่ออนาที เพื่อป้องกันการลัดวงจรในขณะที่ฉีดล้างลูกถ้วยแบบที่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายอยู่ ผู้ปฏิบัติการฉีดล้างจำเป็นต้องได้รับการฝึกทักษะให้ชำนาญ โดยใช้คนควบคุมการฉีดล้างเป็นจุดๆ ตามรูปที่ 3.16 วิธีนี้เป็นวิธีที่ กผ. ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เป็นวิธีที่ใช้เงินลงทุนต่ำ แต่ค่อนข้างมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดับ ดังนั้นการฉีดล้างจะต้องใช้ผู้ชำนาญพิเศษในการควบคุมทิศทางของน้ำ ไม่ให้น้ำส่วนที่เหลือ ไปกระทบกับอุปกรณ์ข้างเคียงที่ยังไม่ได้ทำความสะอาด ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดความไวตามผิวหนังได้

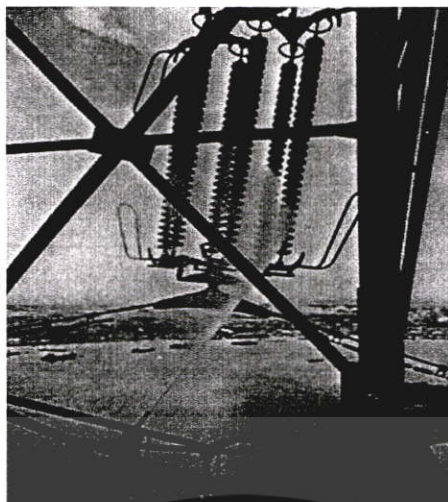


รูปที่ 3.16 การฉีดน้ำล้างลูกถ้วยแบบหัวฉีดเคลื่อนที่ สฟ.บางปะกง กผ.

### 3.3.1.2 แบบติดตั้งหัวฉีดอยู่กับที่(Fix Spray Washing)

อุปกรณ์จะประกอบด้วยถังเก็บน้ำ ป้อนน้ำ ระบบท่อส่งน้ำไปตามลูกถ้วยจนวนที่ตรงความต้องการทำความสะอาด โดยในแต่ละจุดจะมีหลายหัวฉีดเพื่อทำให้ลูกถ้วยทั้งลูกเปียกพร้อมๆ กัน ดังรูปที่ 3.17 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดแถบแห้งเป็นส่วนๆ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการร้าวไฟตามผิวขึ้นได้ ระบบการฉีดล้างอาจเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติหรือแบบอัตโนมัติ โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับมลภาวะเพื่อัจฉวาระที่เหมาะสมในการฉีดล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การฉีดน้ำล้างลูกถ้วยแบบหัวฉีดอยู่กับที่

โดยทั่วไปเครื่องมือฉีดน้ำล้างลูกถ้วยประกอบด้วย ถังบรรจุน้ำปริมาตรขนาด 500 ลิตร ปัมป์น้ำ กระจกฉีดน้ำ และกระจกอัดความดันน้ำ โดยส่วนประกอบทั้งหมดถูกติดตั้งใกล้พื้นที่ป้องกันด้วยเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และความเหมาะสมเป็นสำคัญ แรงดันของปั้มน้ำมีขนาดตั้งแต่ 14 ถึง 40 kg/cm<sup>2</sup> มีหัวฉีดน้ำเป็นตัวรีดแรงดันน้ำให้ต่ำลง อัตราการฉีดน้ำอยู่ที่ 100 ลิตรต่อนาที เพื่อป้องกันการลัดวงจรในขณะที่ฉีดล้างลูกถ้วยแบบมีไฟ จำเป็นต้องผ่านการทดสอบในสภาวะการณ์ต่างๆ จนได้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือ ถูกต้องเที่ยงตรงตามมาตรฐาน จึงจะอนุญาตให้ใช้วิธีการนี้ได้

วิธีนี้ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง และมีภาระในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ นอกจากนี้ระบบท่อส่งน้ำที่ติดตั้งอยู่ยังทำให้การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สะดวก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการนี้จึงต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างถี่ถ้วน

### 3.3.2 การใช้ลูกถ้วยที่มีระยะรั้วตามผิวยาวขึ้น(Extra Creepage Distance Insulator)

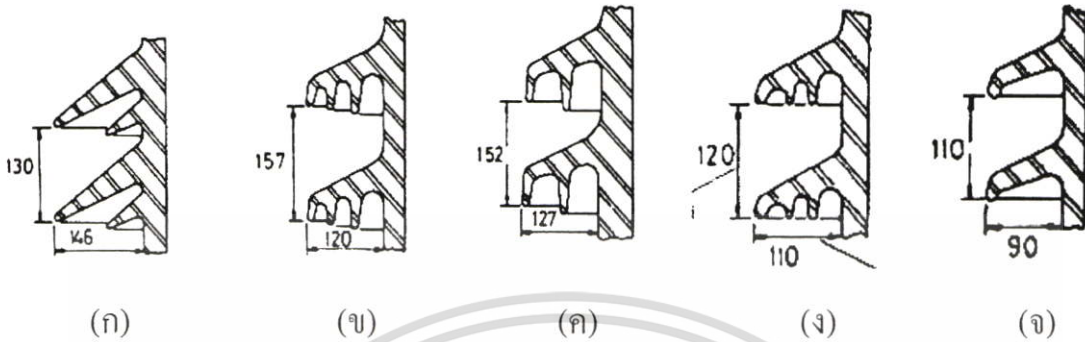
การเพิ่มระยะรั้วตามผิวของลูกถ้วยให้ยาวขึ้น จะทำให้มีกระแสรั้วไหลที่ผิวลูกถ้วยจนวนลดลง การออกแบบรูปร่างของลูกถ้วยจนวนจะต้องพิจารณาให้มีรูปร่างที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมฝุ่นละอองและสิ่งเปรอะเปื้อน ตามมาตรฐาน IEC 815 ได้แบ่งระดับสิ่งเปรอะเปื้อนออกเป็น 4 ระดับ โดยกำหนดระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยจนวนที่เหมาะสมไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระดับสิ่งเปรอะเปื้อนของลูกถ้วยจนวนตามมาตรฐาน IEC 815

Pollution Class	1 (light)	2 (Medium)	3 (Heavy)	4 (Very Heavy)
Specific Creepage (mm/kV.)	16	20	25	31
Pollution ESDD (mg/ cm <sup>2</sup> )	0.03-0.06	0.1-0.2	0.3-0.6	> 0.6

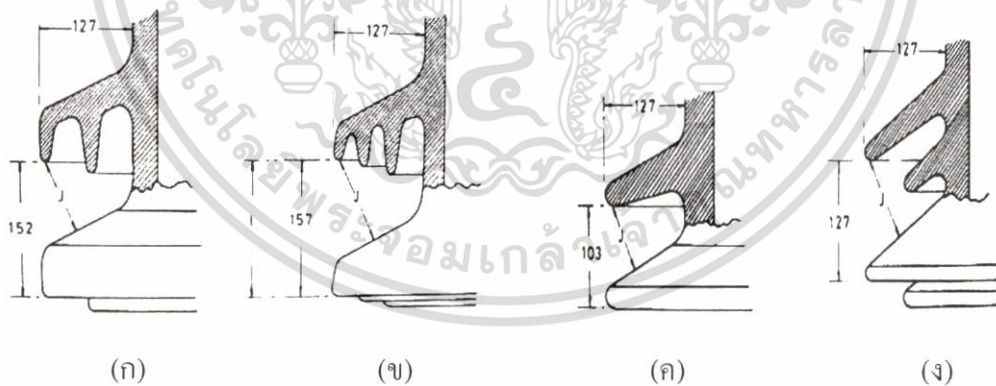
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบความยาวปีกและครีบบของลูกถ้วยที่เหมาะสม ที่กล่าวถึงกันมาก ได้แก่ ผลการศึกษาของ Ely และ Lambeth [10] ซึ่งได้ออกแบบความยาวปีกและครีบบของลูกถ้วยชนิดที่มีใช้ในสถานีไฟฟ้าไว้ 5 ชนิด ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 ชนิดของลูกถ้วยสมรรถนะสูงในทัศนของ Ely และ Lambeth (ก) Re-entrance conical (ข) 3-skirts anti-fog (ค) 2-skirts anti-fog (ง) 3-shallow-skirt (จ) Wide-spaced plain

นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบลูกถ้วยชนิดอื่นให้มีคุณสมบัติทนต่อระดับมลภาวะได้สูง หลักการที่ได้รับความนิยมคือ J-number ของ Robinson [11] ดังรูปที่ 3.19 เพื่อป้องกันการรบกวนไฟตามผิวของลูกถ้วยในกรณีฝนตก Robinson กำหนดให้ค่า  $J/L$  ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 สำหรับในสภาวะที่มีมลภาวะสูง เมื่อ  $J$  คือระยะตลอดคืบ ส่วน  $L$  คือความยาวครีบบลูกถ้วย



#### Robinson's J-number

Insulator	Creepage / Length (mm)	J/length, I
(ก) 2-skirt AF	3.5	0.58
(ข) 3-skirt AF	3.5	0.70
(ค) Close plain	3.1	0.73
(ง) Re-entrance conical	3.85	0.76

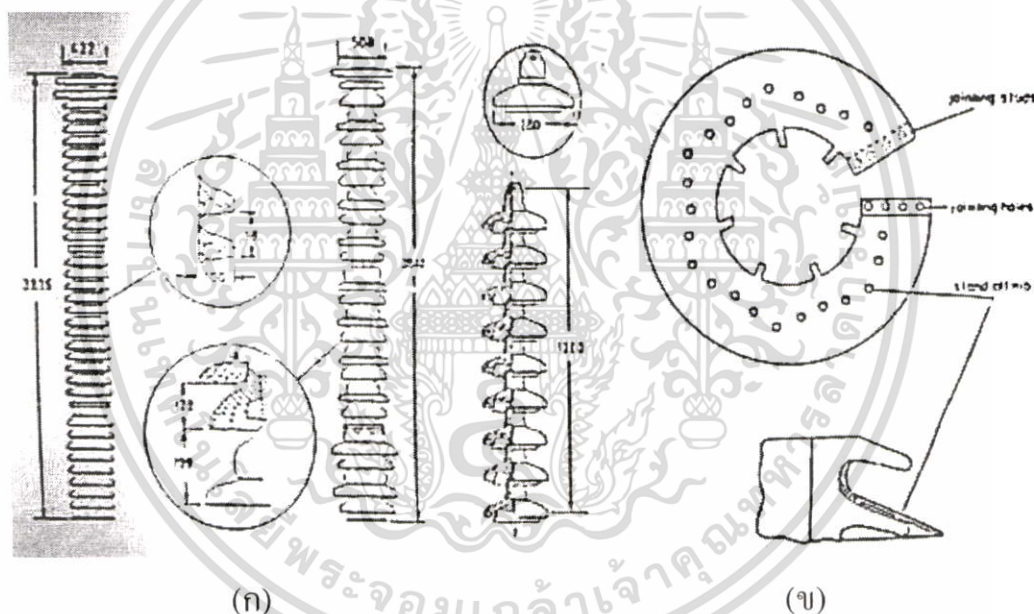
รูปที่ 3.19 ชนิดของลูกถ้วยสมรรถนะสูงในทัศนของ Robinson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาโดยวิธีนี้ต้องใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง การเปลี่ยนลูกถ้วยใหม่ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องมีการดับไฟในการติดตั้ง ลูกถ้วยฉนวนจะมีขนาดและน้ำหนักสูงขึ้น นอกจากนี้หากฝนทิ้งชว่นานๆ อาจมีการสะสมของสิ่งเปรอะเปื้อนได้มากขึ้น จึงอาจจะต้องมีการล้างทำความสะอาดอีก อย่างไรก็ตามลูกถ้วยฉนวนที่ทำจากพอร์ซเลนมีอายุการใช้งานนานมาก

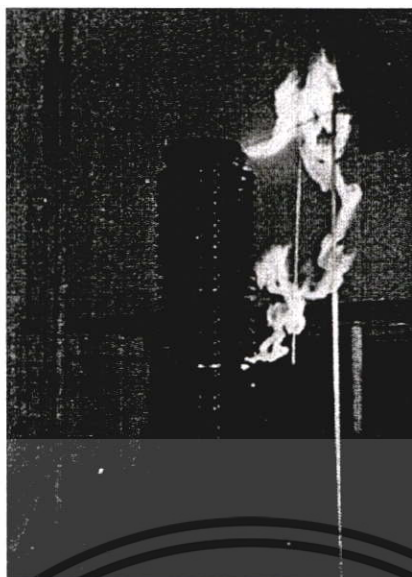
### 3.3.3 การติดตั้ง Creepage Extender

การติดตั้ง Creepage Extender มีวัตถุประสงค์คือเพิ่มระยะรั้วตามผิวของลูกถ้วยฉนวนสาเหตุหนึ่งของการรบกวนไฟตามผิวเกิดขึ้นเนื่องจากความยาวของครีบลูกถ้วยไม่เหมาะสมกับระดับแรงดันและมลภาวะ การฉีคน้ำล้างลูกถ้วยในบางกรณีไม่สามารถแก้ปัญหารบกวนไฟตามผิวได้ เช่นลูกถ้วยแบบ Long-Rod Station Post ในรูปที่ 3.20(ก) เนื่องจากครีบลูกถ้วยสั้นมาก วิธีการแก้ปัญหาคือการต่อครีบลูกถ้วยให้ยาวขึ้น ดังรูปที่ 3.20(ข)



รูปที่ 3.20 แสดงการติดตั้ง Creepage Extender เพื่อเพิ่มระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยฉนวน

ส่วนรูปที่ 3.21 แสดงการทดสอบการรบกวนไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนที่ต่อครีบลูกถ้วยขึ้น โดยแบ่งลูกถ้วยฉนวนออกเป็นสองส่วน ส่วนบนและส่วนล่าง โดยมีครีบลูกถ้วยที่ต่อเพิ่มเป็นตัวกัน ให้ระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยส่วนบนเท่ากับ 150% ของระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยส่วนล่าง ระหว่างการทดสอบจะสังเกตเห็นว่า เกิดการรบกวนไฟตามผิวขึ้นเฉพาะพื้นที่ส่วนบน เนื่องจากมีครีบลูกถ้วยที่ต่อเพิ่มป้องกันการลุกลามการรบกวนไฟตามผิวของลูกถ้วยเอาไว้ได้ [12]



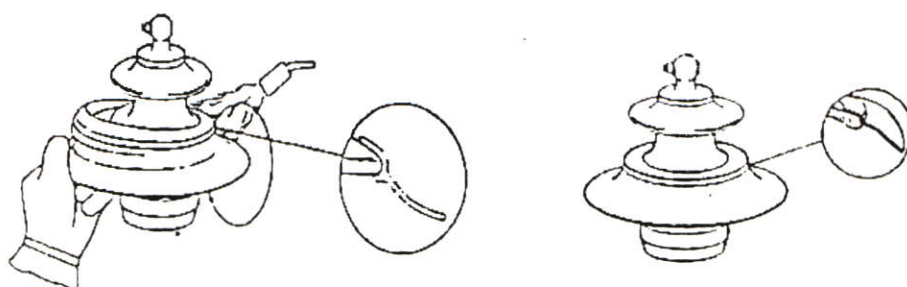
รูปที่3.21 แสดงพฤติกรรมการรวมไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนหลังจากติด Creepage Extender

Creepage Extender ผลิตจากวัสดุประเภทโพลีเมอร์ ที่มีความทนทานต่อสถานะแวดล้อม มีคุณสมบัติป้องกันน้ำเกาะ(Hydrophobicity) สูงกว่าวัสดุพอร์ซเลนทั่วไป มีรูปร่างเป็นวงแหวนติดกับครีบของลูกถ้วยฉนวนอย่างแน่นหนา เพื่อเพิ่มระยะรั้วตามผิวของลูกถ้วยให้มากขึ้น

ในปัจจุบัน Creepage Extender มีอยู่ 2 แบบ คือ

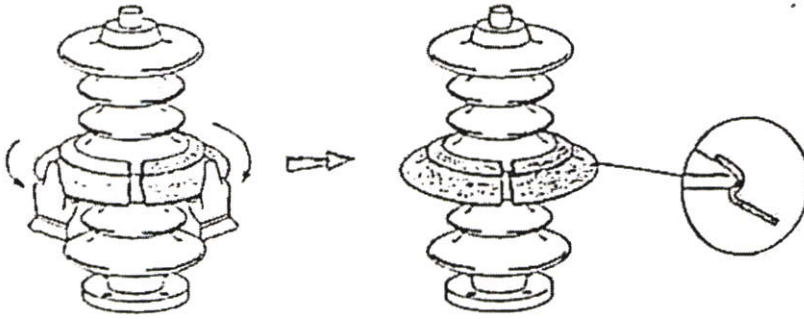
1) Annular Creepage Extender มีลักษณะเป็นวงแหวนทำจาก Heat Shrinkable Polymer ซึ่งเป็นวัสดุที่จะเกิดการหดตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงๆ ดังนั้นในการติดตั้งจะใช้ความร้อนในการเป่าให้หดรั้งกับลูกถ้วย และมีวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นกาวช่วยให้ยึดติดแน่นกับผิวลูกถ้วย ดังรูปที่3.22

2) Wraparound Creepage Extender มีลักษณะเป็นวงแหวนไม่ต่อถึงกัน ดังรูปที่3.23 จุดประสงค์เพื่อให้ติดตั้งได้ง่ายขึ้น โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลงมากนัก การติดตั้งมีทั้งชนิด Heat Shrinkable ที่ต้องใช้ความร้อนเป่าและแบบ Cold Apply ซึ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่โดยไม่ต้องใช้ความร้อนในการติดตั้ง เพื่อให้ติดตั้งได้สะดวกรวดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามชนิด Cold Apply ยังมีใช้ไม่มากนัก เนื่องจากจะต้องมีการหล่อแบบ Creepage Extender ให้มีขนาดเข้ากับรูปร่างของครีบของลูกถ้วยให้ได้พอดี จึงต้องมีการสั่งทำพิเศษ ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงขึ้น



รูปที่3.22 แสดงการติดตั้ง Annular Creepage Extender

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.23 แสดงการติดตั้ง Wraparound Creepage Extender

### 3.3.4 การเคลือบผิวลูกถ้วยฉนวน

เป็นอีกวิธีหนึ่งในการป้องกันการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน ช่วยให้สิ่งเปราะเปื้อนจับเกาะบนผิวลูกถ้วยได้น้อยลง จากผลการทดสอบในประเทศแถบยุโรป สารเคลือบผิวลูกถ้วยฉนวนที่มีคุณสมบัติเหมาะสม แสดงในตารางที่ 3.3 [13]

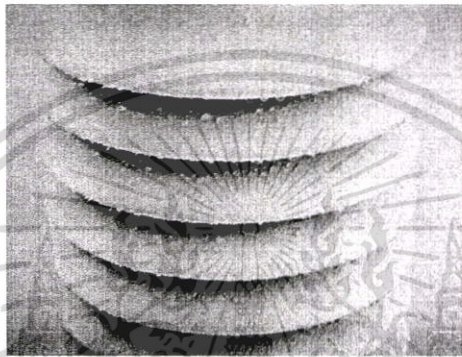
ตารางที่3.3 แสดงคุณสมบัติของสารที่ใช้เคลือบผิวลูกถ้วยฉนวน

Coating	Composition	Sliding Temperature	Performance : survive pollution normal stress
Basic hydrocarbon grease	Oil, Wax	48°C - 70°C	Survived flashover > 4 years Poor surface state Slide in heat (3 mm layer thickness)
Petrolatum based	Oil, Wax, Organic additive	115°C	Survived flashover > 4 years Fair surface state Did not slide (3 mm layer thickness)
Silicone paste	Methyl Polysiloxane oil Silica flour carrier	-50°C - 200°C	Survived flashover < 3 years Surface showed dry tracks, with damage to substrate, at 1.5 years(0.4 mm layer thickness) (1 mm layer survived > 3 years before flashover)

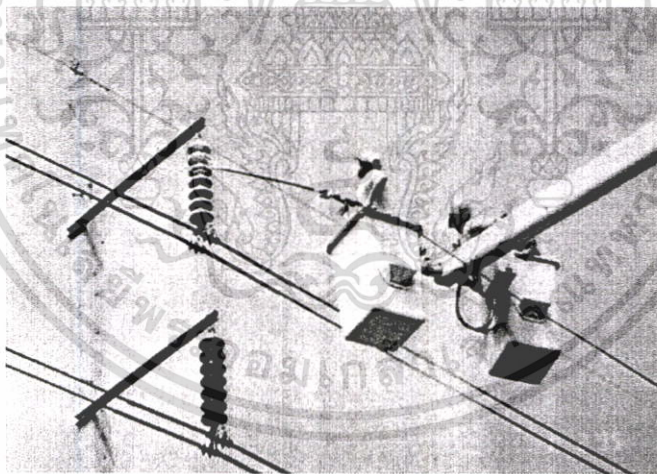
จากตารางที่3.3 การเคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน ได้รับความนิยมค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความอ่อนตัวและใช้งานได้ง่าย มีย่านอุณหภูมิใช้งานกว้างตั้งแต่  $-50^{\circ}\text{C}$  ถึง  $200^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อสภาพอากาศได้ดี มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายสี สามารถผสมให้เจือจางเพื่อให้เหมาะสมในการทาหรือพ่นเคลือบ โดยจะเคลือบหนาประมาณ 20 mils (1 mil = 1/1000 นิ้ว หรือประมาณ 0.4 มิลลิเมตร) เมื่อแห้งแล้วจะยึดเกาะแน่นกับผิวลูกถ้วย มีคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันน้ำเกาะ(Hydrophobicity) สูง ทำให้น้ำที่ตกลงมาที่ผิวของลูกถ้วยรวมตัวกันเป็นรูปทรงกลมหรือแยกเกาะเป็นเม็ดๆ ก่อนที่จะกลิ้งตกลงไปจากพื้นผิวเหมือนน้ำที่กลิ้งบนใบบอน ลักษณะแสดงดังรูปที่3.24 ด้วยเหตุนี้ทำให้ทางเดินของกระแสรั่วตามผิวของลูกถ้วยมีค่าน้อยลง ดังนั้น โอกาสเกิดการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยจึงลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามขงชาติโคนมมีข้อจำกัดในเรื่องอายุการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อเปิดแล้วหากไม่ใช้งานภายในเวลาประมาณ 6-12 เดือน จะเสื่อมสภาพ และข้อจำกัดอีกอย่างคือ มีราคาแพง โดยแพงกว่าสารปิโตรลาตัม(Petrolatums) ประมาณ 100 เท่า ตัวอย่างการพันเคลือบลูกถ้วยด้วยฉนวนด้วยขงชาติโคนม แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่3.24 แสดงสภาพหยดน้ำที่เกาะอยู่บนผิวลูกถ้วย หลังเคลือบด้วยขงชาติโคนม

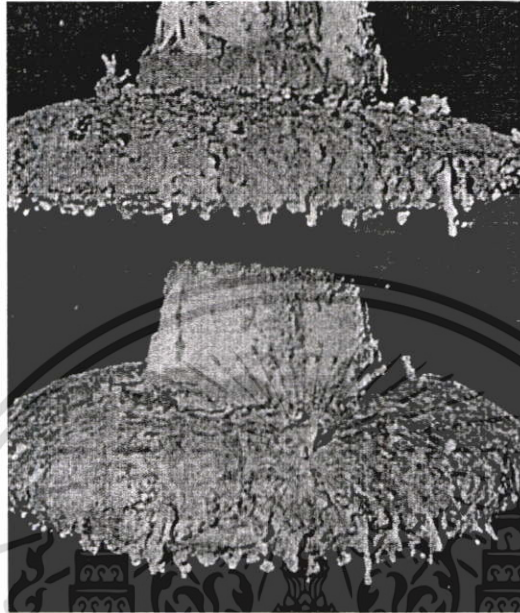


รูปที่3.25 แสดงการเคลือบขงชาติโคนม โดยการฉีดพ่น

สำหรับสารเคลือบปิโตรลาตัม มีส่วนผสมพื้นฐานคือธาตุไฮโดรคาร์บอนและน้ำมัน ที่สามารถปรับแต่งลักษณะของโมเลกุลให้เป็นสารโพลีเมอร์ได้หลายแบบ มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบขงชาติโคนมคือ อุปกรณ์ในการฉีดพ่นไม่ยุ่งยากสามารถยกไปมาได้ ส่วนข้อเสียคือเมื่อเกิดการวาวไฟตามผิวอย่างรุนแรง สารที่เคลือบอยู่จะละลายสามารถมองเห็นเป็นทางยาวบนผิวลูกถ้วย ทำให้เกิดปัญหาการลัดวงจรตามมาเมื่อมีฝนตกหรือมลภาวะสูง โดยปกติสารชนิดนี้จะเคลือบหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 3 มิลลิเมตร[13] ซึ่งหนากว่ายางซิลิโคนมากเพราะมีราคาถูกกว่า อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก จะทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการวาบไฟตามผิวลดลงด้วย ดังนั้นในภูมิภาคเขตร้อนชื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิบ่อยๆ จึงไม่เหมาะสมในการใช้งาน



รูปที่ 3.26 แสดงลูกถ้วยเคลือบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลังผ่านการใช้งาน 3 ปีในพื้นที่มีมลภาวะสูง

ส่วนสารไฮโดรคาร์บอน ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้โดยที่ประสิทธิภาพยังคงเดิม แต่ไม่เหมาะจะนำไปใช้ในพื้นที่ซึ่งได้รับผลกระทบจากฝุ่นผงที่มีความชื้นสูง เนื่องจากฝุ่นละอองสามารถยึดเกาะกับผิวลูกถ้วยได้โดยง่าย และชำระล้างออกได้ยาก ทำให้ความคงทนต่อแรงดันวาบไฟตามผิวลูกถ้วยลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างลูกถ้วยฉนวนที่เคลือบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนแสดงดังรูปที่ 3.26

### 3.3.5 การใช้ลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ (Semi-Conducting Glazed Insulator)

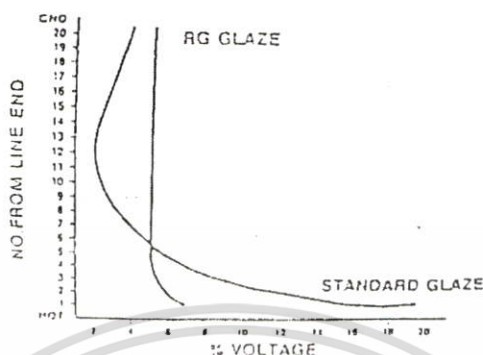
Semi-Conducting Glazed Insulator หรือเรียกอีกอย่างคือ ลูกถ้วย RG ตามทฤษฎีการเคลือบสารกึ่งตัวนำบนผิวลูกถ้วยฉนวน เพื่อให้มีกระแสรั่วไหลได้บ้างเล็กน้อย (0.5-1.0 mA) จะทำให้เกิดคุณสมบัติ 3 ประการในการป้องกันการวาบไฟตามผิว จากมลภาวะคือ

- 1) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตลอดผิวลูกถ้วยสม่ำเสมอ (Linear Voltage Distribution) ทำให้ไม่เกิดอาร์คหรือโคโรน่าตามผิวลูกถ้วย ช่วยลดสัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุ ดังรูปที่ 3.27
- 2) อุณหภูมิของผิวลูกถ้วยสูงขึ้น (Heating Effect) กระแสรั่วไหลที่ไหลบนชั้นของสารกึ่งตัวนำที่เคลือบไว้จะทำให้อุณหภูมิของผิวลูกถ้วยสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม 3-4 °C ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นไม่สามารถกลั่นตัวเกาะบนผิวลูกถ้วยได้ ซึ่งลูกถ้วยที่มีสภาพผิวแห้งจะไม่เกิดกระแสรั่วไหลที่จะทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวขึ้นได้

วัตต์ต่อเซนติเมตร



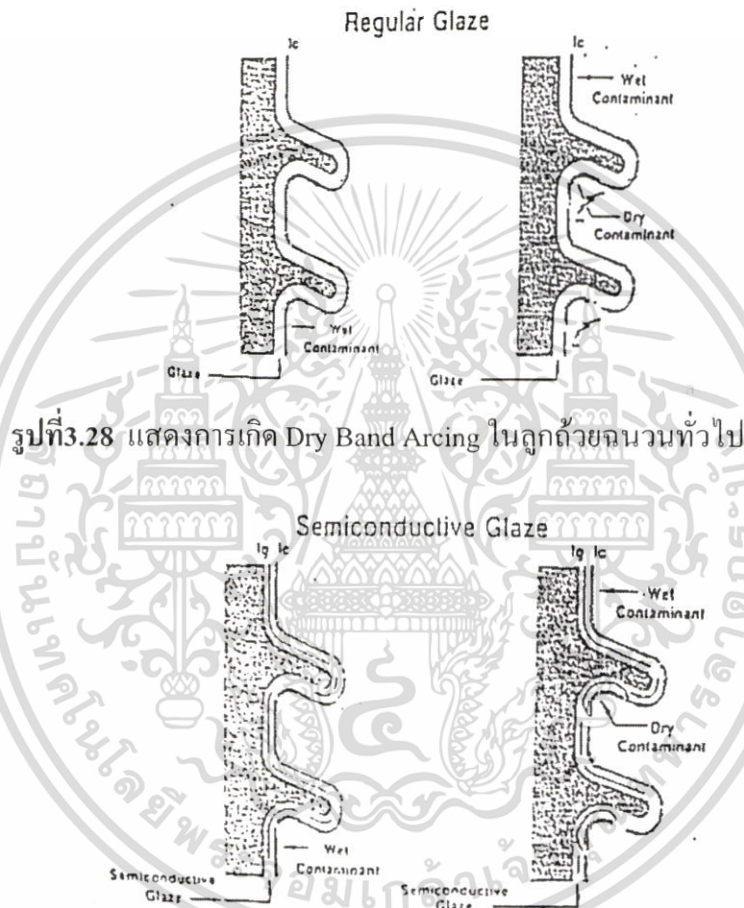
รูปที่ 3.27 แสดงการกระจายของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบนผิวลูกถ้วยเคลือบสารกึ่งตัวนำ

3) ไม่เกิดปรากฏการณ์ที่แถบแห้ง (Dry Band Arcing) แถบแห้งเป็นปรากฏการณ์ที่ผิวของลูกถ้วยที่เปียกหรือชื้นเกิดส่วนที่แห้งเป็นหย่อมๆ จึงทำให้เกิดอาร์ค เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของระบบมาตกคร่อมส่วนที่แห้ง ซึ่งอาจขยายเป็นถาวรวาวไฟตามผิวตลอดผิวลูกถ้วยขึ้นได้ แต่ RG Insulator จะมีกระแสรั่วไหลตลอดเวลาบนชั้นของสารกึ่งตัวนำที่เคลือบไว้ ซึ่งกระแสนี้จะขนานกับพื้นที่ส่วนที่แห้ง ทำให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่วนที่แห้ง จึงไม่เกิดอาร์คดังแสดงในรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29 จึงเป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาจากมลภาวะอย่างได้ผลแม้จะเป็นมลภาวะชนิดที่เกิดขึ้นแบบทันทีทันใด และไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา โดยทั่วไปจะมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี แต่มีข้อจำกัดหลายประการคือ

- การเสื่อมสภาพของสารกึ่งตัวนำที่เคลือบผิวลูกถ้วย ซึ่งโดยทั่วไปเกิดขึ้นช้ามาก ใช้เวลาหลายปี ซึ่งจะเป็นผลให้ RG Insulator กลายสภาพไปเป็นลูกถ้วยธรรมดา โดยทั่วไปมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี
- ผลกระทบจากการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ เนื่องจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่เคลือบจะมีคุณสมบัติเป็น Negative Temperature Resistance คือความต้านทานทางไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินขึ้นเป็นเวลานานๆ จะเกิดกระแสรั่วไหลเพิ่มมากขึ้น และอาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่ความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Thermal Runaway) จนเกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) เกิดจากมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามถูกด้วยธรรมดาในสภาพที่เปียกชื้นและสกปรกก็เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้เช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผลของความร้อนที่ผิวของ RG Insulator จะทำให้ผิวถูกด้วยแห้งเร็วกว่า ดังนั้น ขบวนการที่เกิดกระแสรั่วไหลเนื่องจากสิ่งเปื้อนบนผิวของลูกถ้วยจึงสันักว่า ลูกถ้วยแบบธรรมดา



รูปที่ 3.28 แสดงการเกิด Dry Band Arcing ในลูกถ้วยฉนวนทั่วไป

รูปที่ 3.29 แสดงการเกิด Dry Band Arcing ของลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำ

จากการทดสอบที่ระดับแรงดัน 400kV. พบว่า ในสภาพแห้งที่มีกระแสรั่วไหลเท่ากับ 1 มิลลิแอมป์ จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากับ 240 วัตต์หรือ 260 วัตต์ต่อเซ็นติเมตร ส่วนในสภาพเปียกที่มีกระแสรั่วไหลเกิน 100 มิลลิแอมป์ เนื่องจากมีค่าความต้านทานลดต่ำลงอย่างมาก จะทำให้มีกำลังงานสูญเสียลดลงเหลือ 2.6 วัตต์ต่อเซ็นติเมตร ทั้งนี้การพิจารณาเลือกวิธีใดมาแก้ไขปัญหานั้น จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและเงื่อนไขของแต่ละพื้นที่ เช่น ชนิดของมลภาวะ ปัญหาการติดตั้ง ปัญหาการดับไฟ อายุการใช้งานและเงินลงทุน เป็นต้นซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทดสอบลูกถ้วยฉนวน

การทดสอบผลิตภัณฑ์ลูกถ้วยฉนวนเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าลูกถ้วยฉนวนที่ผลิตขึ้นในโรงงานนั้นมีคุณสมบัติและคุณภาพได้ตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานแล้วจะทำให้การฉนวนของระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้ ไม่เกิดข้อขัดข้องขึ้น มาตรฐานได้กำหนดให้มีการทดสอบเกี่ยวกับรูปร่างและมิติ คุณสมบัติทางไฟฟ้ารวมทั้งผลกระทบจากสัญญาณรบกวนทางวิทยุที่แพร่กระจายออกมา คุณสมบัติทางกล และการอาบสังกะสีของส่วนที่เป็นโลหะ อย่างไรก็ตามการทดสอบลูกถ้วยอาจแบ่งได้เป็น

1. การทดสอบคุณภาพในขบวนการผลิต
2. การทดสอบคุณภาพเมื่อมีการซื้อขาย
3. การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน
4. การทดสอบเพื่อหาสมรรถนะในสภาพเปราะเปื้อน

มาตรฐานการทดสอบในหัวข้อ (1) และ (2) แสดงไว้ในภาคผนวก ข. ส่วนหัวข้อ (3) และ (4) เป็นการทดสอบลูกถ้วยฉนวนที่นำไปใช้ในพื้นที่ที่มีระดับมลภาวะสูง

การทดสอบลูกถ้วยที่ติดตั้งในพื้นที่ที่มีระดับมลภาวะสูง บางครั้งไม่สามารถทำการทดลองได้ จากข้อจำกัดของการขอตัดไฟ ความมั่นคงของการจ่ายไฟ การขนย้ายอุปกรณ์ทดสอบ และค่าใช้จ่ายที่สูง จึงได้มีการทดสอบแบบจำลองขึ้น โดยสร้างสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ออกมาใกล้เคียงความเป็นจริง เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของลูกถ้วยฉนวน ซึ่งมีความสำคัญเทียบเท่ากับการออกแบบลูกถ้วยลูกใหม่ขึ้นมา

#### 3.4.1 การทดสอบลูกถ้วยฉนวนในสภาวะเปราะเปื้อนตามธรรมชาติ

เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพและการเสื่อมสภาพในการใช้งานของลูกถ้วยฉนวนพัฒนาขึ้น โดย Lundquist [14] ในปี พ.ศ.2455 พิกัดแรงดันทดสอบในสภาพแห้งและเปียกเท่ากับ 2.5 - 3.0 และ 1.5-2.0 ตามลำดับ วิธีการนี้ถูกใช้อ้างอิงมายาวนานกว่า 75 ปี

ส่วนการออกแบบหาจำนวนชั้นของลูกถ้วยที่สามารถทนต่อการวาบไฟตามผิว ในช่วงแรกอาศัยค่าจากประสบการณ์ในการทดสอบลูกถ้วยในสภาวะเปราะเปื้อนตามธรรมชาติของ Forrest [15] ในปี พ.ศ.2473 จากผลการทดสอบนี้ทำให้ทราบว่า รูปร่างของลูกถ้วยและรูปแบบการติดตั้งภายใต้สภาพพื้นที่ที่มีมลภาวะสูง ให้สมรรถนะในการทนต่อการวาบไฟตามผิวแตกต่างกัน

กระทั่งในปี พ.ศ.2503 ได้มีการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบลูกถ้วยจากห้องทดสอบของผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้า และห้องทดสอบของประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส -เยอรมัน อิตาลี เข้าไว้ด้วยกันและเรียกชื่อว่า CIGRE เพื่อใช้ประโยชน์เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การทดสอบด้วยวิธีนี้จะให้ผลที่ถูกต้องเที่ยงตรงเพียงไรก็ตาม แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการดังนี้

1. การทดสอบในสภาวะเปรอะเปื้อนตามธรรมชาติหรือแบบกลางแจ้ง เป็นการทดสอบที่พื้นที่ปฏิบัติงานจริงและใช้อุปกรณ์ที่มีใช้งานอยู่ในระบบมาทดสอบ ดังนั้นจึงทำให้ขาดโอกาสที่จะได้รับข้อมูลใหม่ๆ เนื่องจากไม่สามารถทำการทดสอบนอกเหนือจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ได้
2. การทดสอบแบบกลางแจ้ง จะมีค่าความคงทนต่อการวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยต่ำกว่า การทดสอบแบบจำลองที่จะกล่าวต่อไป เนื่องจากการสะสมของสิ่งเปรอะเปื้อนเป็นไปอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งปริมาณน้ำฝนที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นผลการทดสอบในแต่ละพื้นที่จึงมีค่าแตกต่างกัน
3. การทดสอบแบบกลางแจ้ง ไม่สามารถควบคุมหรือประเมินผลจากสิ่งเปรอะเปื้อนชนิดใดชนิดหนึ่งได้ เนื่องจากตั้งอยู่กลางแจ้ง จึงได้รับผลกระทบจากสิ่งเปรอะเปื้อนหลายตัว

### ตารางที่ 3.3 แสดงวิธีการทดสอบลูกถ้วยฉนวนแบบจำลองแบบต่างๆ

Test	Criterion	Pollutant	Wetting	Voltage	Duration (mins)	Standard Deviation (%)	Remarks
1.Salt-fog (withstand salinity)	Withstand (W/S) 3 out of 4 tests	NaCl solution	Solution directly sprayed onto test piece	Constant at or near working level	60	2-3	Dynamic test
2.Salt-fog (flash-over voltage)	$V_{50}$ = 50% flashover voltage (FOV) in given salinity	NaCl solution, 80kg/m <sup>3</sup>	Solution directly sprayed onto test piece	90% of FOV before wetting; raised 2%	About 45	2	Equilibrium layer in fog
3.Kieselguhr	$V_{10}$ = W/S = 10% FOV	Kieselguhr, dextrin/aerosol, NaCl	Condense on cooled piece: Direct spray: Steam fog:	Constant at max. conductivity	15	5-13	Initially uniform layer
Kaolin (Steam fog)	$V_{50}$	Kaolin/Fullers Earth, NaCl	Gradual steam fog	Constant before wetting	About 150	4-10	Water added during test
5.Cement	$V_{50}$	Cement	Sprays. Top and bottom at 10mm/h	Constant before wetting	15-25	4-10	Water added during test
6. Kaolin (fog withstand)	Max. W/S	Kaolin, NaCl	Indirect spray	Constant before wetting	30		
7.Cement	$V_{50}$	Cement	Fog spray before test	Constant after wetting	2-5		Initially uniform layer No water added during test
8.Kaolin (Equivalent fog)	$V_{50}$ 5% FOV from > 10 tests	Kaolin, NaCl	Pollution sprayed on wet. Left for 3 min	Raised to FOV at 10kV/s		3.7-7.0	
9.Silica flow on	FOV or W/S: $V_{50}$ or $V_{10}$	Fine silica, wetting agent, NaCl	Pollutant sprayed on wet. Left for 5 min	Raised to FOV at 7.5kV/s or to W/S value		7-10	
10.Methyl	$V_{50}$ at one conductivity	Methyl cellulose, chalk, NaCl aged	Pollutant sprayed on wet. Left for 30 min	Constant	5	0.3	
11.Dust spray (DC test)	FOV	Initial kaolin dust deposited (onto energized insulator) Then low-salinity fog (onto dead insul.). Then low-salinity dense fog (onto ramp-energised insulator)	First stage: none, dust only Second stage: 0.35l/m fog Third stage: 5.0l/m fog	First stage: 50kV/m 120 of creepage Second stage: none Third stage: raised from 40kV to FOV every 150s			

#### 3.4.1 การทดสอบลูกถ้วยฉนวนแบบจำลอง

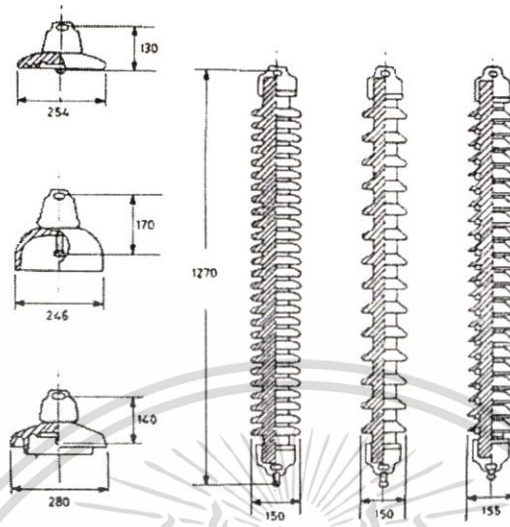
วิธีการทดสอบแบบจำลองในปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 3.3 ซึ่งแต่ละวิธีมีที่มาและอ้างอิงหลักการแตกต่างกัน แต่ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

##### 3.4.2.1 วิธี Salt-fog Test

พัฒนาโดย Ely และ Lambeth ในปี พ.ศ.2506 มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง ชนิดของลูกถ้วยและรูปแบบการติดตั้งที่มีผลต่อแรงดันวาบไฟตามผิว ในสภาพแวดล้อมที่

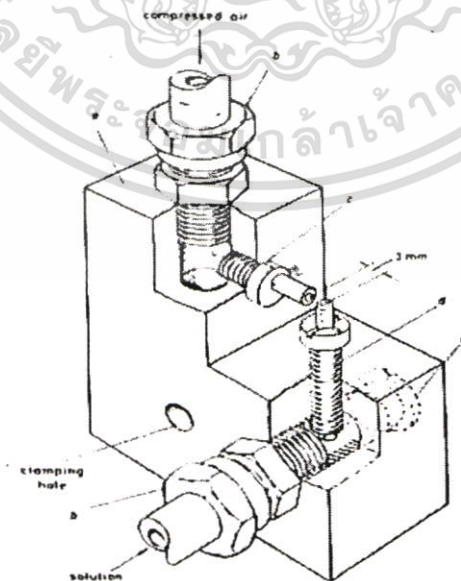
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเปราะเปื้อน ทำให้ทราบถึงสมรรถนะของลูกถ้วยชนิดต่างๆ และรูปแบบใหม่ๆ ที่พัฒนาขึ้นมา รูปที่ 3.30 แสดงลูกถ้วยหกชนิดที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบด้วยวิธี Salt-fog Test



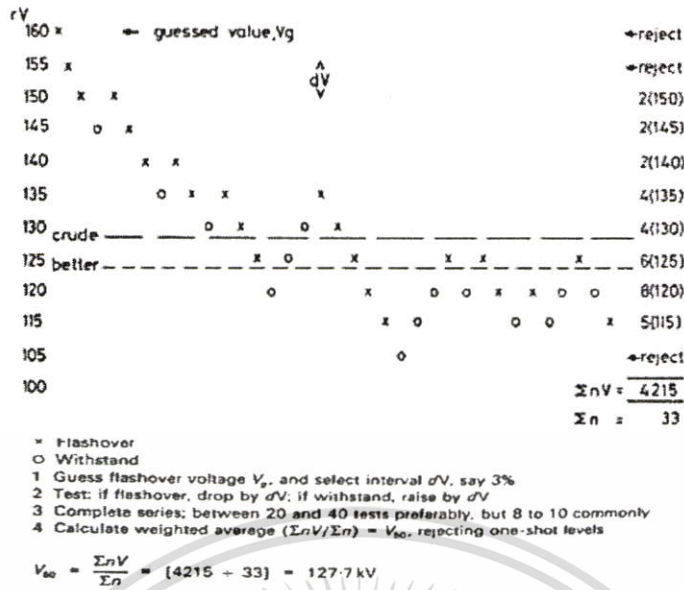
รูปที่ 3.30 แสดงลูกถ้วยหกชนิดที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบด้วยวิธี Salt-fog Test

การทดสอบด้วยวิธี Salt-fog Test จะทำการฉีดพ่นสิ่งเปราะเปื้อนที่เป็นสารละลายเกลือ (NaCl) ใส่ลูกถ้วยทดสอบ หัวฉีดสำหรับพ่นสิ่งเปราะเปื้อน ประกอบด้วยหัวฉีดลมที่มีกำลังอัด 7 kg/cm<sup>2</sup> และหัวฉีดสารละลายเกลือที่ควบคุมอัตราการฉีดพ่นที่ 0.5 ลิตร/นาที โดยจัดวางหัวฉีดทำมุมกัน 180 องศา มีระยะห่าง 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.31 จากนั้นทำการทดสอบหาระดับแรงดันวาวไฟตามผิวของลูกถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.32 รายละเอียดการทดสอบอยู่ในมาตรฐาน IEC 507



รูปที่ 3.31 แสดงการจัดวางหัวฉีดของการทดสอบแบบ Salt-fog Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 วิธีการหาระดับแรงดันวาบไฟตามผิวของลูกถ้วย โดยคิดที่ 50% ของแรงดัน

### 3.4.2.2 วิธี Kieselguhr Test

พัฒนาขึ้นในเยอรมัน มีวิธีการโดยย่อคือ นำสารละลายที่มีส่วนผสมของแร่ธาตุหลายอย่างที่มีอนุภาคเล็กมาก เช่น สังกะสี ซิลิกา รวมทั้งเกลือ ผิดพันใส่ลูกถ้วยทดสอบ จากนั้นทำให้แห้งก่อนนำไปทดสอบ ในการทดสอบจะมีการควบคุมความชื้นของลูกถ้วยโดยการควบคุมปริมาณไอน้ำ และมีระบบตรวจวัดแรงดันที่ต่อคร่อมลูกถ้วยทดสอบและค่าความต้านทานเป็นช่วงๆ สุดท้ายจะได้ค่าความนำของผิวลูกถ้วย( $\delta$ ) ออกมา ตามสมการดังนี้

$$\delta = \frac{1}{R} \text{ Form factor} = \frac{1}{R} \left( \frac{1}{\pi} \int_0^l \frac{dl}{d} \right)$$

- เมื่อ R คือค่าความต้านทานของลูกถ้วยฉนวน
- l คือระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยฉนวน
- d คือเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนย่อยของระยะรั้วตามผิวลูกถ้วยฉนวน

รายละเอียดวิธีการทดสอบอธิบายไว้ในมาตรฐาน VDE 0448

### 3.4.2.3 วิธี Methylcellulose Test

พัฒนาขึ้นในเยอรมัน โดยวิศวกรชาวเชคคือ Dana Kohoutora ได้รับความนิยมนอย่างมากในประเทศที่มีโรงไฟฟ้าแบบลิกไนต์ มีวิธีการโดยย่อคือ นำลูกถ้วยทดสอบจุ่มลงในน้ำเกลือที่เป็น Methylcellulose หรือใช้วิธีการฉีดพ่น จากนั้นปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน และก่อนนำลูกถ้วยไปทดสอบเพื่อหาระดับแรงดันวาบไฟตามผิว ต้องนำลูกถ้วยไปอบให้ความชื้นเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาทีก่อน

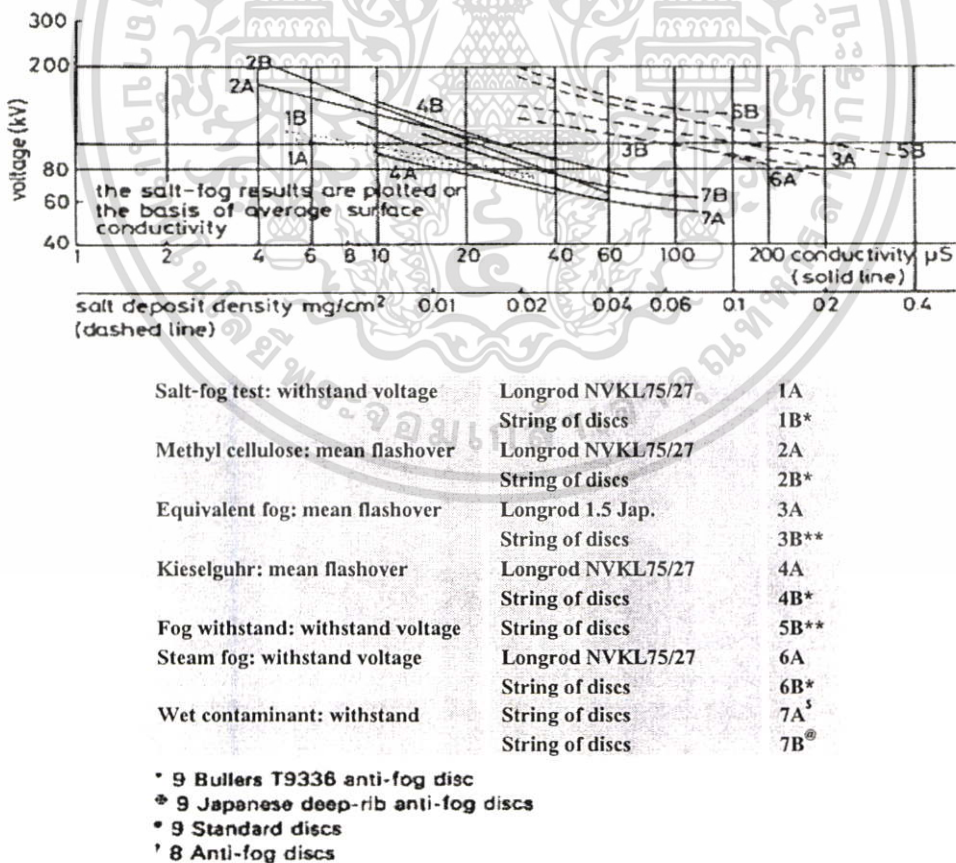
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2.4 วิธี Japanese Equivalent-fog Method

พัฒนาขึ้นในญี่ปุ่น ตั้งแต่ พ.ศ.2501 มีวิธีการโดยย่อคือ นำ Kaolin และ NaCl ไปฉีดพ่นใส่ ลูกถ้วยทดสอบให้ทั่ว ก่อนนำไปทดสอบหาแรงดันวาบไฟตามผิว จากนั้นนำลูกถ้วยทดสอบมาล้าง ทำความสะอาดและปล่อยให้แห้งแล้วจึงนำกลับมาทดสอบอีกครั้ง

วิธีการทดสอบแบบจำลองที่กล่าวมาทั้งหมด ถูกคิดค้นขึ้นมาโดยอ้างอิงจากหลักการที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ในการทดสอบหาสมรรถนะของลูกถ้วยชนิดต่างๆ ในสภาวะการต่างๆ สิ่งสำคัญที่การทดสอบแบบนี้ต้องคำนึงถึงคือความถูกต้องเที่ยงตรง ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการทดสอบแบบใด ต้องคำนึงถึงเงื่อนไขต่างๆ ประกอบในการพิจารณา ความถูกต้องเที่ยงตรงของวิธีการทดสอบแบบจำลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.33[16] ในปัจจุบันวิธีการที่มีการยอมรับและกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบมี 2 วิธีคือ วิธี Salt-fog Test และวิธี Kieselguhr Test

ในการทดสอบแบบจำลอง ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่มาจากความพยายามในการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงสภาพธรรมชาติมากที่สุด อีกส่วนที่สำคัญและมีความจำเป็นคือแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งมีราคาแพง นอกจากนี้วิธี Salt-fog Test ยังต้องมีค่าใช้จ่ายจากการสร้างกระโจมเพื่อควบคุมปริมาณการฉีดพ่นสิ่งเปรอะเปื้อน ทำให้ค่าใช้จ่ายของการทดสอบวิธีนี้สูงขึ้นมากกว่าวิธีการอื่นๆ



รูปที่ 3.33 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# เครื่องวัดมลภาวะ

การติดตั้งเครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย เพื่อติดตามประสิทธิภาพในการใช้งานของลูกถ้วยและเฟิาระวังเตือนภัยก่อนที่จะเกิดปัญหาการวางไฟตามผิวขึ้นมา โดยประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง และสามารถเรียกดูข้อมูล ณ สถานที่ใดๆ สถานที่ทำการศึกษาคือสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) เป็นสถานีไฟฟ้าขนาด 230,000 โวลต์ ตั้งอยู่ติดกับโรงไฟฟ้าบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นสถานีที่ได้รับผลกระทบจากปัญหามลภาวะมากที่สุดในเขตภาคกลาง ขั้นตอนการติดตั้งระบบวัดระดับมลภาวะ เริ่มต้นจากการหาตำแหน่งที่มีความเปรอะเปื้อนสูงสุด จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องวัดและอุปกรณ์ตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง และส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายและผิดเพี้ยนจากคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อนำไปแสดงผลในระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง นอกจากนี้ได้ทำการติดตั้งชุดเรียกดูข้อมูลทางไกลเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

### 4.1 การแสดงผลระดับสิ่งเปรอะเปื้อน

เนื่องด้วยสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ตั้งอยู่ในบริเวณที่ล้อมรอบด้วยมลภาวะ เช่น ไอเกลือจากแม่น้ำบางปะกง สารเคมีจากโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมใกล้เคียง จึงก่อให้เกิดมลภาวะตกลงบนผิวลูกถ้วย เมื่อสิ่งสกปรกมีปริมาณมากพอ ประกอบกับความชื้นที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยได้ ซึ่งเป็นผลทำให้ระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าขาดความมั่นคง จึงได้มีการพยายามศึกษาและหาวิธีการป้องกันแก้ไขด้วยวิธีการต่างๆ มากมาย กว่าจะมาเป็นระบบวัดมลภาวะโดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล (Remote Pollution Monitoring : RPM) ในอดีตที่ผ่านมาวิธีในการดูแลป้องกันปัญหานี้อย่างไรบ้าง ขออนุญาตกล่าวโดยย่อ ดังนี้

ในระยะแรกของการป้องกันปัญหานี้ ทำการตรวจวัดหาระดับความเปรอะเปื้อนด้วยวิธีการวัดค่า ESDD(Equivalent Salt Deposit Density) ลูกถ้วยทดสอบ กล่าวคือมีการนำลูกถ้วยทดสอบจำนวน 4 ชุด ไปติดตั้งที่มุมทั้งสี่ของสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกงแบบไม่จ่ายไฟ และเก็บข้อมูลวัดค่า ESDD ที่ลูกถ้วยทดสอบตามแผนที่กำหนด จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ในการทำ Hot Line Washing วิธีนี้ใช้งานง่ายแต่ค่าที่ได้ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับผู้เก็บข้อมูล และมีความไม่สะดวก เสียเวลามาก และมีค่าใช้จ่ายสูง ต่อมามีการเปลี่ยนไปใช้ลูกถ้วยแบบ Resistive Graded Insulator (RG Insulator) การนำลูกถ้วยทดสอบแบบ RG ไปตั้งแบบไม่จ่ายไฟ ยิ่งทำให้ค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

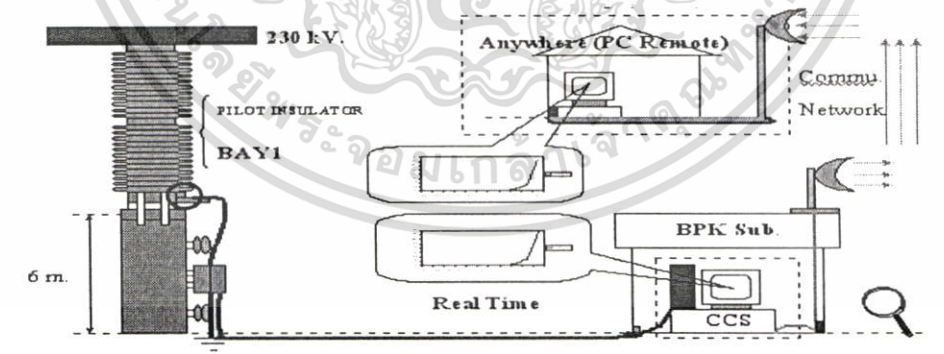
ได้ไม่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากลูกถ้วยชนิดนี้ต้องอาศัยค่ากระแสรั่วไหลจำนวนหนึ่งในการทำงาน รายละเอียดกล่าวไว้ในบทที่ 3

ต่อมามีการตรวจวัดแบบใหม่ โดยความช่วยเหลือของสถาบัน CESI มอบเครื่องมือตรวจวัดระดับมลภาวะ Pollution Monitoring Equipment(PME) ให้ เครื่องมือนี้ทำการตรวจวัดค่า Conductivity ที่ผิวลูกถ้วยทดสอบ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ค่าที่ได้ยังไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากลูกถ้วยทดสอบเป็นคนละชนิดกับที่ใช้งานจริงอยู่ในระบบไฟฟ้า

จากข้อจำกัดของวิธีการต่างๆ ข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีการวัดระดับมลภาวะแบบใหม่ขึ้นมา โดยอาศัยการตรวจวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวของลูกถ้วยที่ใช้งานจริงอยู่ในระบบ ซึ่งค่ากระแสนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับของสิ่งเปื้อนที่จับเกาะบนผิวลูกถ้วยและสภาพอากาศ ถ้ามีความเปื้อนมาก และความชื้นสูง ค่ากระแสรั่วไหลจะมีค่ามาก แต่หากมีความเปื้อนน้อย ความชื้นต่ำ ค่ากระแสรั่วไหลจะมีค่าใกล้เคียงค่าพิคคของลูกถ้วยชนิดนี้ ซึ่งมีค่าประมาณ 1 มิลลิแอมป์

#### 4.2 เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล (Remote Pollution Monitoring : RPM)

เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย หรือเรียกสั้นๆ ว่า RPM จัดสร้างขึ้นเพื่อตรวจวัดระดับมลภาวะ โดยประยุกต์ใช้กับระบบระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง (Computerized Control System: CCS) และสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสาร ณ สถานที่ใดๆ รูปแบบของระบบ RPM แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบเครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล

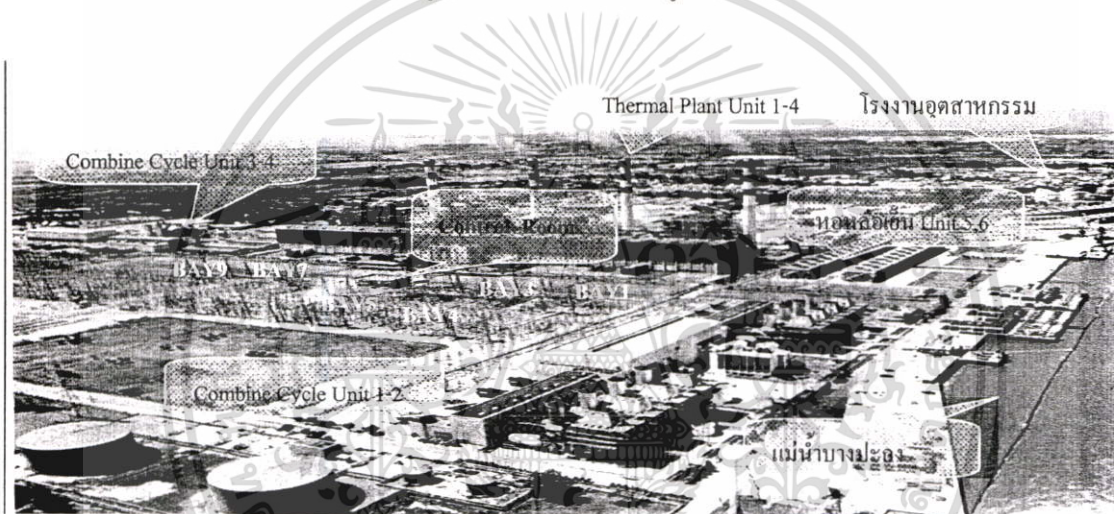
จากรูปที่ 4.1 ระบบ RPM ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย 4 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่ง คือ การหาตำแหน่งของลูกถ้วยตัวอย่าง ส่วนที่สอง คือการติดตั้งเครื่องมือวัด Leakage Current Meter ส่วนที่สามคือ การส่งผ่านข้อมูลจากลูกถ้วยตัวอย่างไปที่ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้า และส่วนที่สี่คือ การแสดงผลและเรียกดูข้อมูลทางไกล รายละเอียดจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีเกส จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมดไว้เป็นประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 การหาตำแหน่งของลูกถ้วยฉนวนตัวอย่าง

จุดประสงค์ : เพื่อหาตำแหน่งในลานไกลสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกงที่มีระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุด สำหรับใช้อ้างอิงและกำหนดให้เป็นตำแหน่งของลูกถ้วยตัวอย่างสำหรับติดตั้งระบบ RPM ต่อไป หมายความว่าถ้าหากมีปัญหามลภาวะสูงขึ้นมาก จุดนี้ก็จะเกิดการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนขึ้นก่อนนั่นเอง

สถานที่ใช้ในการศึกษา : สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง(กฟผ.) เป็นสถานีไฟฟ้าแรงสูงขนาด 230,000 โวลต์ ตั้งอยู่ติดกับโรงไฟฟ้าบางปะกง ใกล้เคียงน้ำบางปะกง และมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ล้อมรอบ ดังนั้นจึงเป็นสถานที่ที่ได้รับผลกระทบจากมลภาวะอยู่ในระดับสูง และมีสถิติการวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากปัญหามลภาวะมากที่สุด ในเขตภาคกลาง ลักษณะที่ตั้งลานไกลสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง แสดงดังรูปที่4.2



รูปที่4.2 แสดงที่ตั้งลานไกลสถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง(กฟผ.) ขนาด 230,000 โวลต์

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล : เพื่อให้การเก็บข้อมูลถูกต้องมากที่สุด ลูกถ้วยตัวอย่างสำหรับการสุ่มวัดค่าความเปรอะเปื้อนด้วยวิธีวัดค่า ESDD ครั้งนี้คือลูกถ้วย RG-Station Post ที่ใช้งานจริงอยู่ในระบบ ขนาดแรงดัน 230,000 โวลต์ รายละเอียดวิธีการวัดอยู่ในหัวข้อที่3.1.4 ส่วนแผนงานการเก็บข้อมูล ESDD ลูกถ้วยตัวอย่างแสดงดังตารางที่4.1

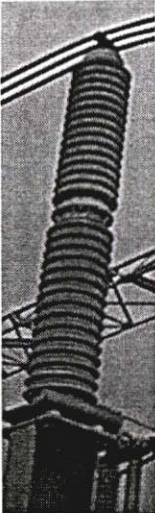
ตารางที่4.1 แผนงานการเก็บข้อมูล ESDD ลูกถ้วยตัวอย่าง สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง (กฟผ.)

ตำแหน่ง	ชื่ออุปกรณ์	เฟส	พ.ศ. 2545			หมายเหตุ
			ม.ค. 45	ก.พ. 45	มี.ค. 45	
BAY1	BPK-800123	B	○	○	○	
BAY3	BPK-800324	B	○	○	○	
BAY4	BPK-800423	B	○	○	○	
BAY5	BPK-800524	B	○	○	○	
BAY7	BPK-800724	B	○	○	○	
BAY9	BPK-800924	B	○	○	○	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดหาระดับสิ่งเปื้อนด้วยวิธี ESDD ประจำเดือนมกราคม 2545

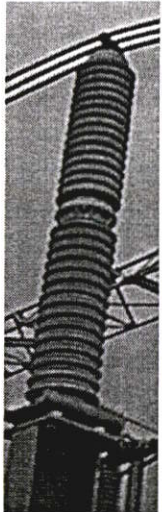
ลูกถ้วยตัวอย่าง : ลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำแบบคอตันยาว  
 สถานที่ : สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์ (ในสภาพใช้งานจริง)  
 พื้นที่ผิวลูกถ้วยฉนวน : ด้านบน 530.357 ตารางเซนติเมตร  
 ด้านล่าง 339.428 ตารางเซนติเมตร

ลูกถ้วยคอตันแบบก้านยาว		ผลการวัด										
รูปภาพลูกถ้วย	อุปกรณ์	พื้นที่ผิว	การตรวจวัดสิ่ง เปื้อน	ปริมาตรน้ำล้าง ลูกถ้วย (CC)	อุณหภูมิ ของน้ำ (°C)	ค่าความนำที่ T°C (mS/cm)	ค่าความนำที่ 20°C (mS/cm)	ส่วนผสมเกลือ (%)	ปริมาตรเกลือ (mg)	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ย ESDD ผิวบนและล่าง (mg/cm <sup>2</sup> )	
	BPK-800324 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	28	3.2	2.711600778	0.000127284	32.48472061	0.061251	0.043915937	
			วัดหลัง	200	33	393	302.7306871	0.016369644				
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	28	2.4	2.033700583	9.46426E-05	9.022405291	0.026581		
			วัดหลัง	200	33.5	115.8	88.38269192	0.004605845				
	BPK-800423 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	28	3.8	3.220025924	0.000151931	26.70035958	0.050344	0.036486284	
			วัดหลัง	200	31	314	251.4047434	0.013502111				
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	28	6.3	5.338464031	0.000255735	7.680726835	0.022628		
			วัดหลัง	200	32	100.5	78.87001224	0.004096098				
	BPK-800524 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	23	1.8	1.688458434	7.81387E-05	27.55582419	0.051957	0.037553715	
			วัดหลัง	200	26	292	257.4929859	0.013856051				
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	23	1.64	1.53837324	7.09945E-05	7.857862064	0.02315		
			วัดหลัง	200	26	87.4	77.0715307	0.003999926				

ทดสอบโดย นายสุพัต ผาพันธุ์  
 วัน เดือน ปี 23 มกราคม 2545

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดหาระดับสิ่งเปื้อนด้วยวิธี ESDD ประจำเดือนมกราคม 2545 (ต่อ)

ลูกถ้วยตัวอย่าง : ลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำแบบคอตันยาว  
 สถานที่ : สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์(ในสภาพใช้งานจริง)  
 พื้นที่ผิวลูกถ้วยฉนวน : ด้านบน 530.357 ตารางเซนติเมตร  
 ด้านล่าง 339.428 ตารางเซนติเมตร

ลูกถ้วยคอตันแบบก้านยาว			ผลการวัด								
รูปภาพลูกถ้วย	อุปกรณ์	พื้นที่ผิว	การตรวจวัดสิ่งเปื้อน	ปริมาตรน้ำล้างลูกถ้วย (CC)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	ค่าความนำที่ T°C (mS/cm)	ค่าความนำที่ 20°C (mS/cm)	ส่วนผสมเกลือ (%)	ปริมาณเกลือ (mg)	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ย ESDD ผิวบนและล่าง (mg/cm <sup>2</sup> )
	BPK-800724 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	23	1.51	1.41642902	6.52051E-05	28.06356897	0.052914	0.037266255
			วัดหลัง	200	28	309	261.8389501	0.01409699			
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	23	1.43	1.341386423	6.16498E-05	7.337762176	0.021618	
			วัดหลัง	200	28	85	72.02689566	0.003730531			
	BPK-800924 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	23.5	2.39	2.218538374	0.000103514	29.39766047	0.05543	0.036143522
			วัดหลัง	200	28	324	274.5495787	0.014802344			
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	23.5	2.09	1.940060754	9.01573E-05	5.721770546	0.016857	
			วัดหลัง	200	28	67.7	57.36730395	0.002951043			
	BPK-800123 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	23.5	2.37	2.199973199	0.000102622	30.48965169	0.057489	0.038960816
			วัดหลัง	200	27	329	284.3603227	0.015347448			
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	23.5	2	1.856517468	8.61611E-05	6.935434215	0.020433	
			วัดหลัง	200	27	79.5	68.71320868	0.003553878			

ทดสอบโดย นายสุพัต ผาพันธุ์  
 วัน เดือน ปี 24 มกราคม 2545

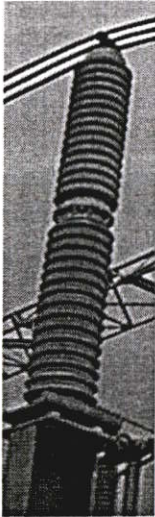
ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดหาระดับสิ่งเปื้อนด้วยวิธี ESDD ประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2545

ลูกถ้วยตัวอย่าง : ลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำแบบคอตันยาว

สถานที่ : สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์(ในสภาพใช้งานจริง)

พื้นที่ผิวลูกถ้วยฉนวน : ด้านบน 530.357 ตารางเซนติเมตร

ด้านล่าง 339.428 ตารางเซนติเมตร

ลูกถ้วยคอตันแบบก้านยาว			ผลการวัด									
รูปภาพลูกถ้วย	อุปกรณ์	พื้นที่ผิว	การตรวจวัดสิ่งเปื้อน	ปริมาตรน้ำล้างลูกถ้วย (CC)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	ค่าความนำที่ T°C (mS/cm)	ค่าความนำที่ 20°C (mS/cm)	ส่วนผสมเกลือ (%)	ปริมาตรเกลือ (mg)	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ย ESDD ผิวบนและล่าง (mg/cm <sup>2</sup> )	
	BPK-800324 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	-	-	-	-	-	-	-	
			วัดหลัง	200	-	-	-	-	-	-		
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	-	-	-	-	-	-		-
			วัดหลัง	200	-	-	-	-	-	-		-
	BPK-800423 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	25.5	13.13	11.69620814	0.000573638	44.92363674	0.084705	0.05372037	
			วัดหลัง	200	27	488	421.7867401	0.023035456	-	-		
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	25.5	13.63	12.14160829	0.000596150	7.717308752	0.022736		
			วัดหลัง	200	27	99	85.56739194	0.004454804	-	-		
	BPK-800524 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	26.5	17.32	15.12033778	0.000747308	41.37071047	0.078005	0.044731174	
			วัดหลัง	200	27	455	393.2642761	0.021432663	-	-		
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	26.5	17.42	15.20763765	0.000751752	3.888808393	0.011457		
			วัดหลัง	200	27	60.8	52.55047909	0.002696156	-	-		

ทดสอบโดย นายสุพัต ผาพันธุ์  
วัน เดือน ปี 21 กุมภาพันธ์ 2545

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดหาระดับสิ่งเปื้อนด้วยวิธี ESDD ประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2545 (ต่อ)

ลูกถ้วยตัวอย่าง : ลูกถ้วยฉนวนเคลือบสารกึ่งตัวนำแบบคอตันยาว

สถานที่ : สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์(ในสภาพใช้งานจริง)

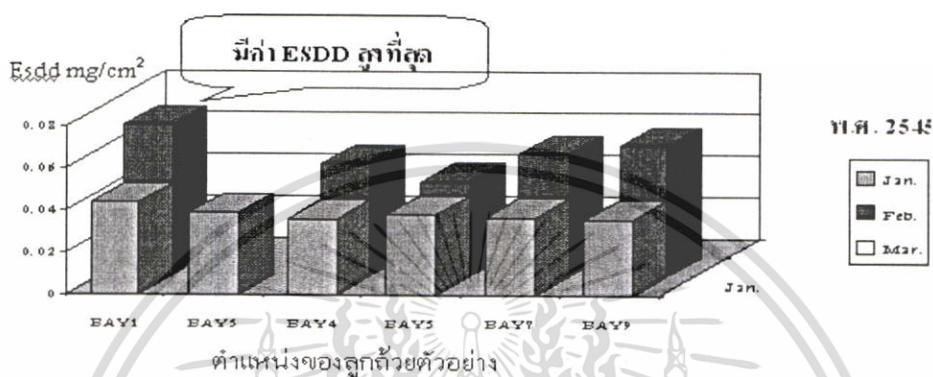
พื้นที่ผิวลูกถ้วยฉนวน : ด้านบน 530.357 ตารางเซนติเมตร

ด้านล่าง 339.428 ตารางเซนติเมตร

ลูกถ้วยคอตันแบบก้านยาว		ผลการวัด											
รูปภาพลูกถ้วย	อุปกรณ์	พื้นที่ผิว	การตรวจวัดสิ่ง เปื้อน	ปริมาตรน้ำล้าง ลูกถ้วย (CC)	อุณหภูมิ ของน้ำ (°C)	ค่าความนำที่ T°C (mS/cm)	ค่าความนำที่ 20°C (mS/cm)	ส่วนผสมเกลือ (%)	ปริมาตรเกลือ (mg)	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ย ESDD ผิวบนและล่าง (mg/cm <sup>2</sup> )		
	BPK-800724 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	25	16.89	15.19977356	0.000751352	51.05425502	0.096264	0.058023615		
			วัดหลัง	200	28.3	569	479.3251554	0.026278479					
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	25	16.98	15.28076702	0.000755476				6.715002285	0.019783
			วัดหลัง	200	28.3	94	79.18552656	0.004112977					
	BPK-800924 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	22	15.02	14.39066301	0.000710190	46.19981406	0.087111	0.062128227		
			วัดหลัง	200	28	514	435.5508749	0.023810097					
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	22	14.16	13.56669695	0.000668343				12.60828044	0.037146
			วัดหลัง	200	28	156	132.1905379	0.006972483					
	BPK-800123 (Phase B)	ผิวด้านบน	วัดก่อน	200	25.5	13.32	11.8654602	0.000582189	48.46096616	0.091374	0.071553329		
			วัดหลัง	200	28	535	453.345755	0.024812672					
		ผิวด้านล่าง	วัดก่อน	200	25.5	13.61	12.12379229	0.000595249				17.55943239	0.051732
			วัดหลัง	200	28.5	210	176.2127966	0.009374965					

ทดสอบโดย นายสุพัต ผาพันธุ์  
วัน เดือน ปี 22 กุมภาพันธ์ 2545

ผลการดำเนินการ : ในการวัดค่า ESDD ลูกถ้วยฉนวนในระบบ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 นำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.3 สำหรับเดือนมีนาคม 2545 ไม่สามารถทำการวัดค่าได้ เนื่องจากไม่สามารถขอดับไฟเพื่อทำการวัดได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นว่า ที่ตำแหน่ง BAY1 มีระดับสิ่งเปื้อนสูงที่สุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้หอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้า และอยู่ใกล้แม่น้ำบางปะกงมากที่สุด จึงได้รับผลกระทบจากละอองน้ำหอหล่อเย็นและไอเกลือจากแม่น้ำบางปะกงมากที่สุดเช่นกัน



รูปที่ 4.3 ผลการวัดค่า ESDD ลูกถ้วยตัวอย่าง ที่ สฟ.บางปะกง

#### 4.2.2 การติดตั้งมิเตอร์วัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยฉนวนตัวอย่าง

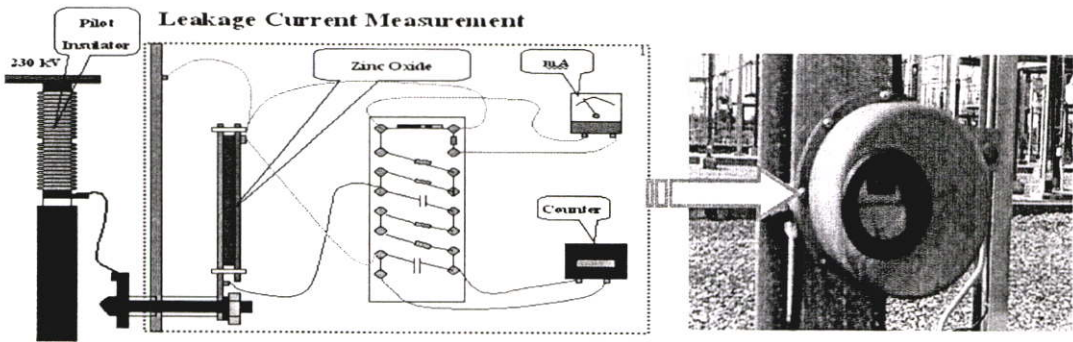
จุดประสงค์ : เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงกับค่ากระแสรั่วไหลที่อ่านได้จากชุด Current Sensor ที่จัดสร้างขึ้นมา โดยนำ Surge Counter ยี่ห้อ Meidensha Type ZC-A1M ดังรูปที่ 4.4 ที่ผ่านการสอบเทียบความเที่ยงตรงในการวัดมาประยุกต์ใช้งาน

สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ : บริเวณฐานรองรับลูกถ้วยตัวอย่าง (BPK-800123)

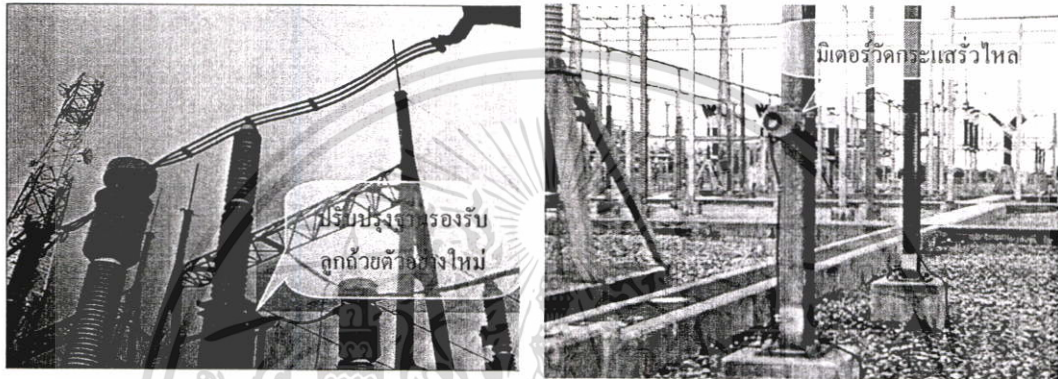
ขั้นตอนการดำเนินการ : การติดตั้งมิเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยตัวอย่าง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

- 1) วางแผนการดำเนินงาน และจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
- 2) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อขอดับไฟทำการติดตั้งมิเตอร์สำหรับวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยตัวอย่าง
- 3) ปรับปรุงฐานรองรับลูกถ้วยตัวอย่างใหม่ โดยนำลูกถ้วยฉนวนขนาดเล็กดังรูปที่ 4.5 มาติดตั้งเพื่อแยกลูกถ้วยตัวอย่างและฐานรองรับลูกถ้วยออกจากกัน ไม่ให้ลูกถ้วยตัวอย่างต่อถึงกราวด์ (Ground) โดยตรง
- 4) ติดตั้งมิเตอร์สำหรับวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยตัวอย่าง กับฐานรองรับลูกถ้วยตัวอย่างดังรูปที่ 4.5
- 5) ตรวจสอบความเรียบร้อยและทดสอบการทำงานของมิเตอร์ ก่อนจ่ายไฟตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.4 แผนภาพ Surge Counter ยี่ห้อ Meidensha Type ZC-A1M

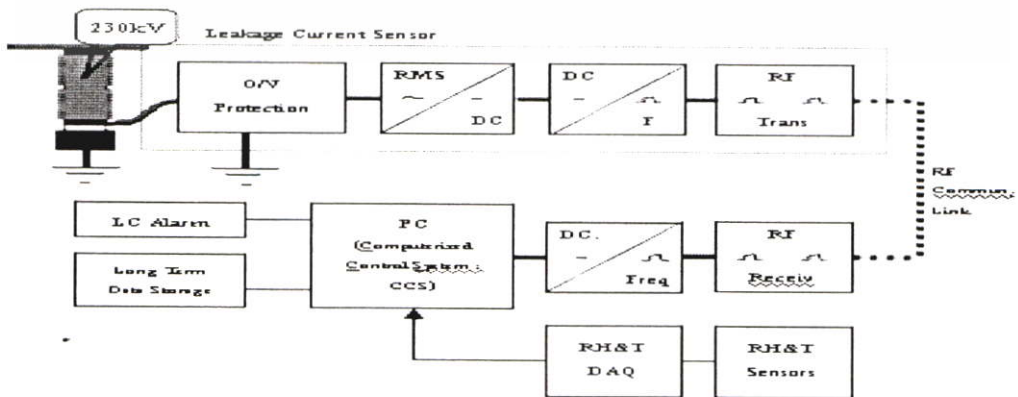


รูปที่4.5 การติดตั้งมิเตอร์วัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง

4.2.3 การติดตั้งชุดวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง และระบบส่งผ่านข้อมูล

จุดประสงค์: เพื่อวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง และส่งผ่านข้อมูลไปแสดงผลที่ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง(ระบบ Computerized Control System:CCS)

ชุดตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง และระบบส่งผ่านข้อมูล มีบล็อกไดอะแกรมการทำงานแสดงดังรูปที่4.6 มีองค์ประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือชุดตรวจจับกระแสรั่วไหล (Leakage Current Sensor) ส่วนที่สองคือระบบการส่งผ่านข้อมูล และส่วนที่สามคือการแสดงผลในระบบ CCS รายละเอียดของแต่ละส่วนจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

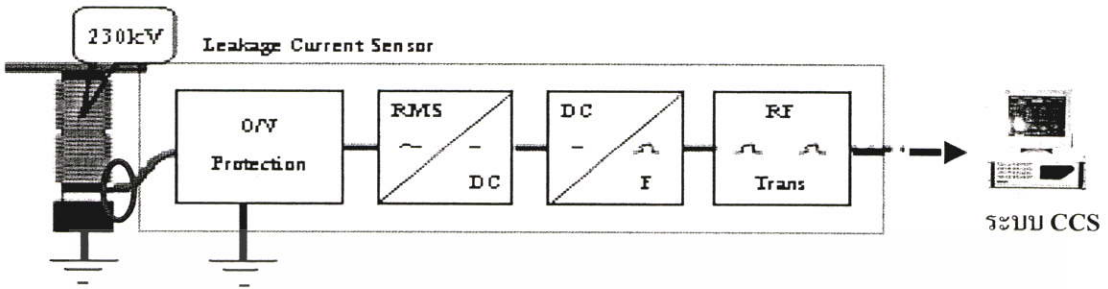


รูปที่4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดวัดค่ากระแสรั่วไหลและการส่งผ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.1 ชุดตรวจจับกระแสรั่วไหล (Leakage Current Sensor)

ชุดตรวจจับกระแสรั่วไหลถูกติดตั้งไว้ภายในมิเตอร์วัดกระแสรั่วไหลของลูกถ้วยตัวอย่าง มีบล็อกไดอะแกรมการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.7

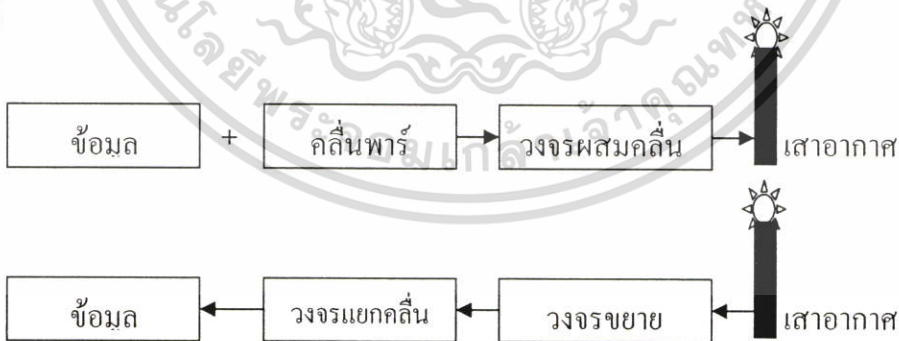


รูปที่ 4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดวัดค่ากระแสรั่วไหล

จากรูปที่ 4.7 ค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่างจะถูกตรวจจับโดยใช้หม้อแปลงกระแส (CT) และเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันเมื่อผ่านเบอร์ดเคนของ CT สัญญาณแรงดันที่ได้จะผ่านเข้าสู่ วงจรกรอง ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นวงจรขยายสัญญาณด้วย สัญญาณแรงดันไฟสลับที่ได้จะถูก เปลี่ยนเป็นสัญญาณ เเรคติไฟายแบบเต็มลูกคลื่น จากนั้นจะผ่านวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ และ แปลงเป็นคลื่นความถี่เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบไร้สายต่อไป

#### 4.2.3.2 การรับส่งข้อมูลไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ

การส่งข้อมูล ไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ มีมาช้านานแล้ว และเป็นที่ยอมรับอย่างมาก เช่น การรับส่ง ข้อมูล SMS หรือการพูดคุยทางโทรศัพท์มือถือนั่นเอง การส่งข้อมูลแบบนี้มีหลักการแสดงดังรูปที่ 4.8 ดังนี้



รูปที่ 4.8 หลักการพื้นฐานการส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ

จากรูปที่ 4.8 การส่งข้อมูลที่ต้องการไปในอากาศไปยังตัวรับนั้น ไม่สามารถส่งได้โดยตรง เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนข้อมูลที่ส่งออกไป อาจจะมีมากจนไม่เหลือค่าของข้อมูลอยู่เลย การส่ง แบบนี้นิยมใช้กับการควบคุม Hardware ในลักษณะของการ On/Off เช่น รถบังคับวิทยุ แต่หากนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งแบบนี้มาใช้ในการส่งข้อมูล เช่น ค่ากระแสรั่วไหล จะมีความผิดพลาดอย่างมาก วิธีการแก้ไขคือการส่งข้อมูลไปกับคลื่นพาร์ ซึ่งตัวคลื่นพาร์นั้นจะมีค่าความถี่มากกว่าข้อมูลอย่างน้อยที่สุดสองเท่า จึงจะสามารถ Moduration แล้วข้อมูล ไม่ผิดเพี้ยน ความถี่ของคลื่นพาร์ยิ่งสูงมากก็ยิ่งดีเพราะทำให้สัญญาณรบกวนที่จะเข้าไปรบกวนข้อมูลนั้นยากขึ้น แต่ไม่ได้หมายความว่า ยิ่งความถี่มากจะสามารถส่งข้อมูลได้ไกลแต่อย่างใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังของการส่งคลื่นและระบบเสาอากาศด้วย

ส่วนตัวรับจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากเสาอากาศ เพื่อมาขยายสัญญาณก่อน หลังจากนั้นจึงเข้าสู่วงจรแยกคลื่นพาร์ออก ให้คงไว้เฉพาะข้อมูล ซึ่งหลังจากขั้นตอนนี้อาจต้องทำวงจรขยายสัญญาณและวงจรปรับแต่งสัญญาณอีกครั้ง เพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

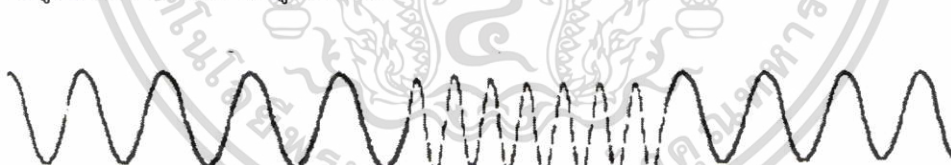
การส่งคลื่นวิทยุโดยทั่วๆ ไปมี 2 แบบ คือแบบ AM และ FM ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเน้นเฉพาะแบบ FM ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการรับส่งข้อมูลกระแสรั่วไหลสำหรับงานวิจัยนี้

1) การส่งคลื่นวิทยุแบบ AM : เป็นการผสมคลื่นด้วยความสูงของสัญญาณ หรือ แอมพลิจูดเท่านั้น การส่งข้อมูลแบบ AM แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลแบบ AM

2) การส่งคลื่นวิทยุแบบ FM : เป็นการผสมคลื่นด้วยความถี่ของสัญญาณ ยาวกว่าแบบแรก การส่งข้อมูลแบบ FM แสดงดังรูปที่ 4.10

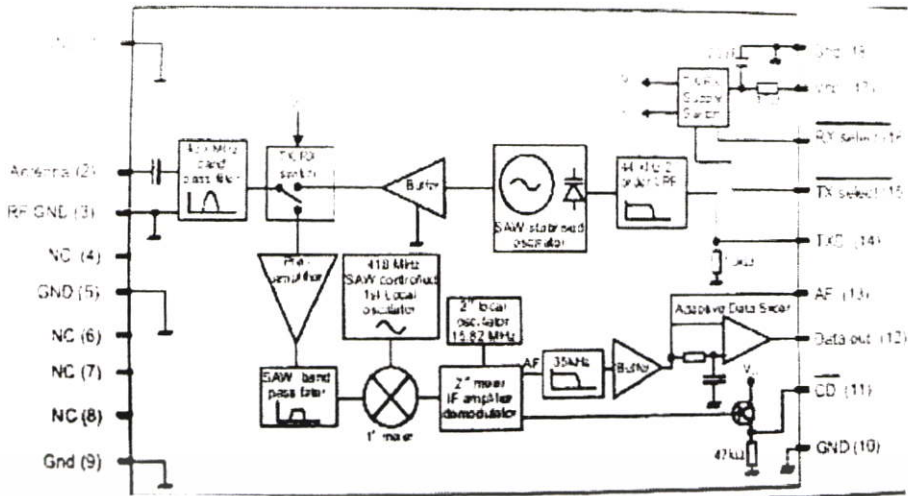


รูปที่ 4.10 การส่งข้อมูลแบบ FM

#### 4.2.3.2.1 การรับส่งข้อมูลกระแสรั่วไหลด้วยคลื่นวิทยุ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการส่งข้อมูลกระแสรั่วไหลแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ โดยนำโมดูลการส่งคลื่นวิทยุมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งภายในตัวโมดูลส่งและรับคลื่นวิทยุนั้น ประกอบด้วยวงจรต่างๆ และโมดูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นของค่าย Radio Matrix ซึ่งใช้การส่งแบบ FM มีความเร็วในการส่งไม่เกิน 5000 bps รูปที่ 4.11(ก)แสดงวงจรและรายละเอียดของโมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2 และรูปที่ 4.11(ข)แสดงรูปร่างและการต่อใช้งานของโมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แสดงวงจรและรายละเอียดของ โมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2

(ข) แสดงรูปร่างและการต่อใช้งานของ โมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2

รูปที่ 4.11 แสดงวงจรภายในและการต่อใช้งานของ โมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2

โมดูล Radio Matrix รุ่น BIM2 ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุนี้ สามารถเป็นได้ทั้งรับและส่งในตัวเดียวกัน ระยะในการส่งประมาณ 400 เมตร มีกำลังในการส่ง 10 มิลลิวัตต์ ใช้ไฟเลี้ยง 3-5 โวลต์

ในวงจรภาคส่งประกอบด้วยภาค Modulation และภาคร่างคลื่นพาร์ ส่วนภาครับประกอบด้วย ภาคขยายสัญญาณ ภาคกรองความถี่แบบ Band pass ภาคปรับสัญญาณ และภาคทวนสัญญาณ ดังรูปที่4.11(ก)

จากรูปที่4.11(ข) จะเห็นว่ายังมีขา Rx select และ Tx select ที่ยังไม่ได้ต่อ เนื่องจากเป็นขาที่เอาไว้เลือกว่าจะส่งหรือจะรับข้อมูล ส่วนขา cd จะต่อใช้งานก็ได้ หากมีลอจิก 0 เข้ามาแสดงว่ามีข้อมูลจากชุดส่ง ส่งออกมาที่คลื่นพาร์แล้ว ส่วนขาอื่นๆ ต่อดังรูป

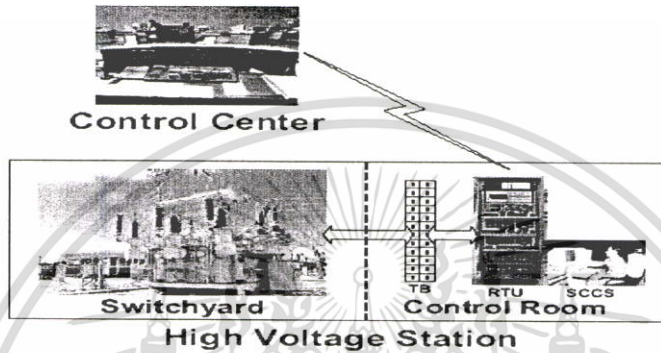
จากการทดสอบการทำงานของการทำงานของการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ สามารถรับส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความผิดพลาดจากการรับส่งข้อมูลอยู่ในย่าน  $\pm 5\%$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ รายละเอียดผลการทดสอบการทำงานกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3.3 การแสดงผลที่หน้าจอระบบ CCS

#### 4.2.3.3.1 ระบบ CCS

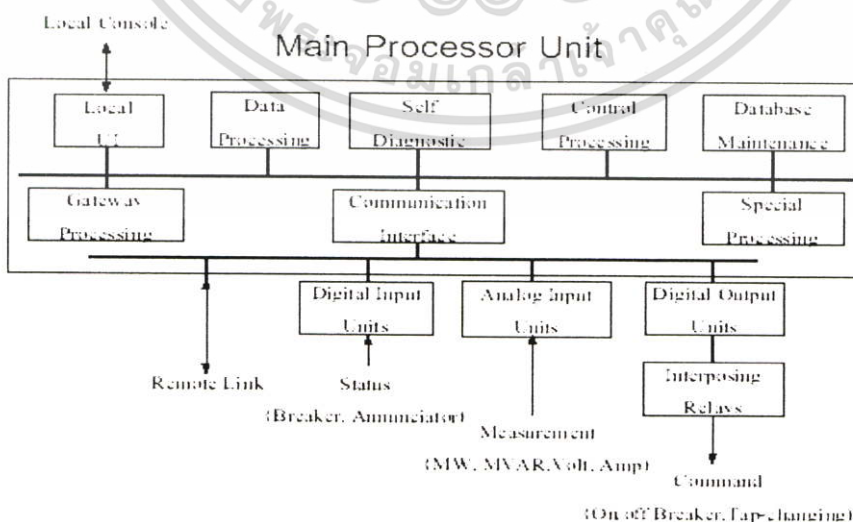
ระบบ CCS ย่อมาจาก Computerized Control System เป็นระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าแรงสูง ที่พัฒนาขึ้นโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อประโยชน์ที่สำคัญคือ ทำให้ผู้ควบคุมระบบมีข้อมูลในการตัดสินใจ สามารถเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้ง่ายและเป็นระบบ อีกทั้งคอยเตือนผู้ควบคุมระบบให้ทราบเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้น



รูปที่ 4.12 การควบคุมระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน

หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ CCS : ระบบ CCS เป็นระบบที่ทำงานบนระบบดำเนินงาน MS-DOS โดยสามารถใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตั้งแต่รุ่น 386DX25 ขึ้นไป มีส่วนประกอบและอุปกรณ์หลักๆ ที่สำคัญ ดังนี้

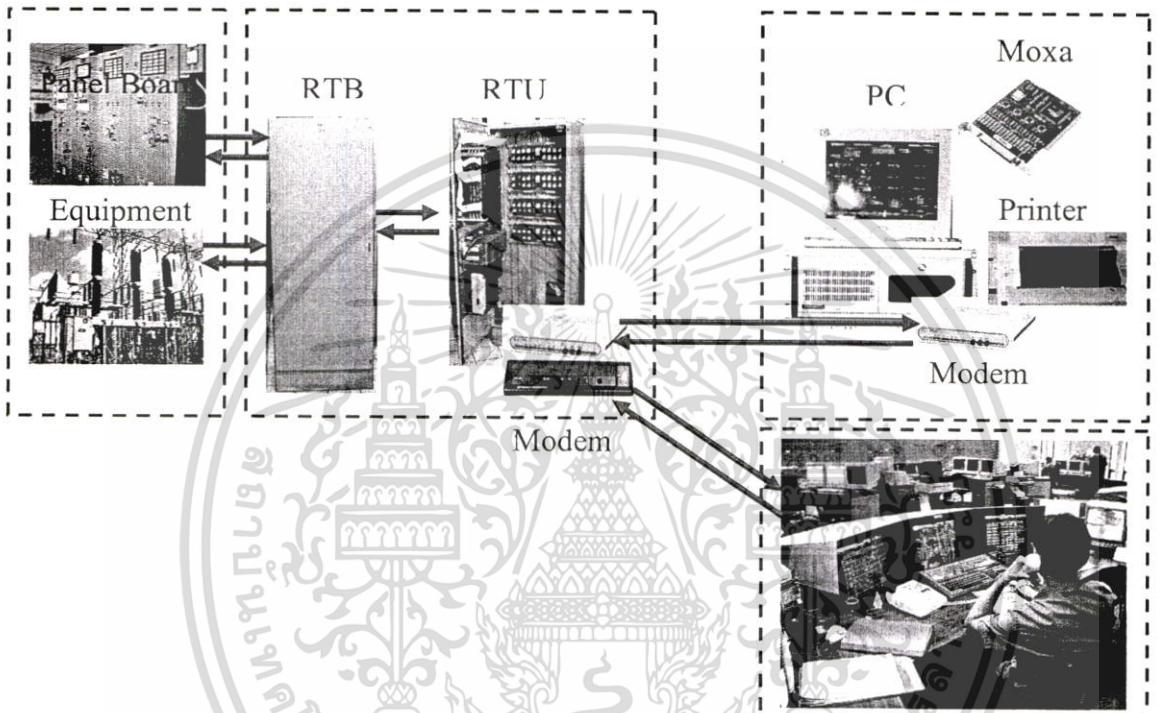
1. RTU เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้า มีหน้าที่เก็บสถานะของอุปกรณ์ เหตุการณ์ในระบบที่เกิดขึ้น และค่าวัดทางไฟฟ้า มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 EGAT RTU Subsystem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. MODEM มีหน้าที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณคลื่นความถี่ เพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ RTU
3. MOXA CARD เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ RTU
4. PC มีหน้าที่ประมวลผลและเก็บข้อมูลต่างๆ ของระบบ
5. SOFTWARE มีหน้าที่กำหนดลักษณะการทำงาน โดยนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่า Limit ที่ตั้งไว้ เพื่อเตือนให้ผู้ควบคุมระบบทราบถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นต่างๆ



ศูนย์ควบคุมการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 4.14 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง (CCS)

จากรูปที่ 4.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ CCS มีหลักการทำงาน ดังนี้

1. ในแต่ละช่วงเวลา เช่น ทุกๆ วินาที ข้อมูลอุปกรณ์และเหตุการณ์ในระบบที่เกิดขึ้น จะถูกนำมาเก็บรวบรวมไว้ที่ตู้ RTU ซึ่งอาจจะรับสัญญาณมาจากบอร์ดควบคุม (Panel Board) หรือจากตัวอุปกรณ์ต่างๆ ในลานไถไฟฟ้าโดยตรง

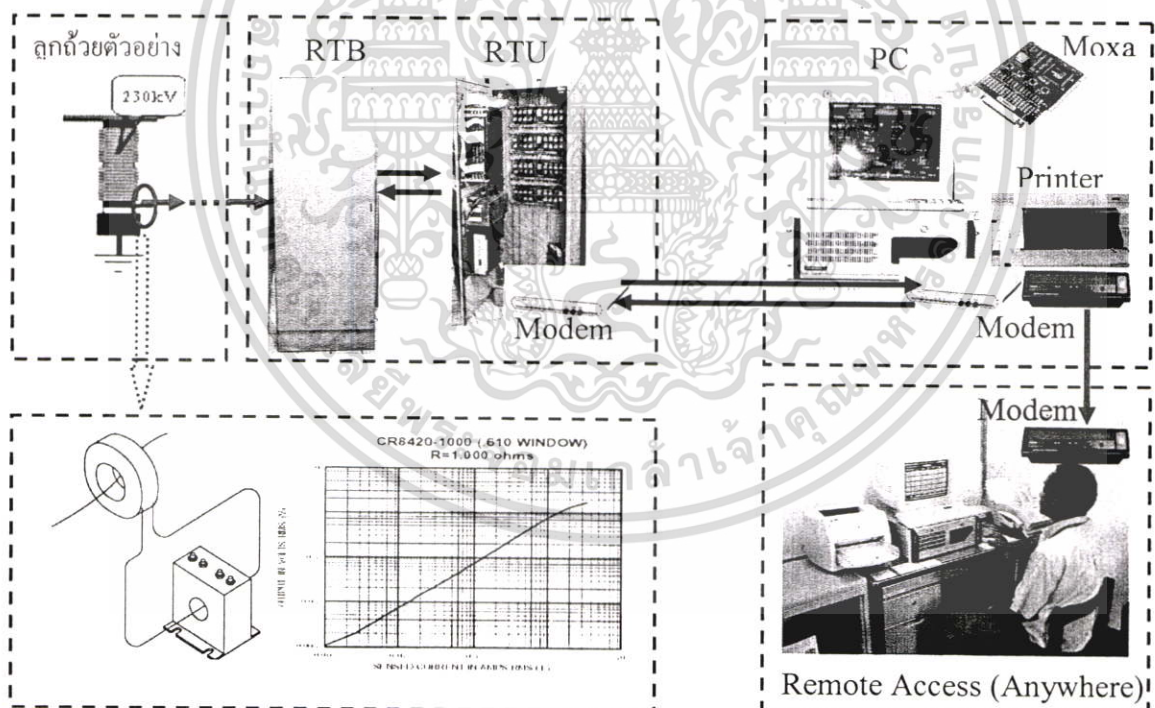
2. เมื่อต้องการแสดงผลข้อมูลที่ Operator Console เครื่องคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งขอข้อมูลที่ต้องการไปที่ตู้ RTU โดยผ่านอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (Modem) และช่องทางสื่อสารที่กำหนดไว้ ถ้าเป็นระยะทางสั้นๆ สามารถใช้สาย 4 Cores ที่มีการป้องกันสัญญาณรบกวนเชื่อมต่อระหว่าง Modem ได้ แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูลที่มีระยะทางไกลๆ อาจใช้ระบบ Power Line Carrier (PLC) หรือ Ultra High Frequency (UHF) เข้ามาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สำหรับการแสดงผลข้อมูลที่ศูนย์ควบคุมการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ก็เช่นเดียวกันกับข้อ 2. แตกต่างกันที่โปรแกรมในการเรียกใช้ข้อมูล ถ้าเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้า (CCS) ใช้โปรแกรม Power-based Scada Control System (PSCS) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย กฟผ. ส่วนที่ศูนย์ควบคุมการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (RCC) ใช้โปรแกรมที่เชื่อมกับระบบ SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) จากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามจนถึงปัจจุบัน ฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญของทั้งสองโปรแกรมคล้ายคลึงกัน และสามารถใช้ทดแทนกันได้ ซึ่งในอนาคต กฟผ. มีแผนที่จะเปลี่ยนไปใช้ระบบของ กฟผ. ทั้งทั้งประเทศ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนบุคลากรในการพัฒนาเทคโนโลยี และทดแทนการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

#### 4.2.3.3.2 การแสดงผลค่ากระแสรั่วไหลในระบบ CCS

หลังจากติดตั้งชุดวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง ติดตั้งระบบรับส่งข้อมูลเพื่อนำมาแสดงผลในระบบ CCS และติดตั้งระบบเรียกดูข้อมูลทางไกล(หัวข้อ 4.2.4) เสร็จแล้ว ระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล จะมีรูปแบบโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.15 รายละเอียดการติดตั้ง โปรแกรม CCS และวิธีการใช้งานอยู่ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 4.15 บล็อกไออะแกรมการทำงานของระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล (RPM)

#### 4.2.4 การติดตั้งระบบเรียกดูข้อมูลทางไกล

จุดประสงค์ : เพื่อให้สามารถตรวจสอบและอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง ได้จากสถานที่ใดๆ โดยเรียกดูผ่านเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป

สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ : ระบบ CCS ภายในอาคารควบคุม สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินการ : การติดตั้งระบบเรียกดูข้อมูลทางไกล มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) วางแผนการดำเนินงาน และจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
- 2) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขอ Shut Down ระบบ CCS สำหรับติดตั้งระบบเรียกดูข้อมูลทางไกล
- 3) ติดตั้งอุปกรณ์ Hardware ได้แก่ Modem และ Software ได้แก่ โปรแกรมสำหรับการเรียกดูข้อมูล ในที่นี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ Norton pcANYWHERE for DOS (เนื่องจากระบบ CCS ใช้ระบบปฏิบัติการคือ DOS)
- 4) ตรวจสอบความเรียบร้อยและทดสอบการทำงานของระบบ ก่อนนำระบบ CCS เข้าใช้งานตามปกติ

หลังจากที่ติดตั้งชุดตัวค่ากระแสรั่วไหลที่ถูกด้วยตัวอย่าง และส่งผ่านข้อมูลมาแสดงผลบนหน้าจอระบบ CCS เป็นผลสำเร็จ การอ่านค่าต่างๆ ผู้ควบคุมระบบสามารถทำได้โดยสะดวก รวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4.16(ก) และถ้าหากค่ากระแสรั่วไหลมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดที่เป็นอันตราย(ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 7 ต่อไป) ระบบ CCS ก็จะส่งสัญญาณอะลาม(Alarm) ผ่านฮอร์น(Horn) ให้ผู้ควบคุมระบบได้รับทราบเพื่อเร่งหาวิธีการแก้ไขตามที่กำหนดเอาไว้ล่วงหน้าต่อไป ด้วยวิธีการที่กล่าวมา ผู้ควบคุมระบบสามารถตรวจสอบและอ่านค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยตัวอย่างได้โดยสะดวก แต่ต้องอยู่ที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงนั้นๆ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการตรวจสอบและอ่านค่าต่างๆ ให้สามารถทำได้จากสถานที่ใดๆ และรองรับการปฏิบัติงานในอนาคตที่อาจจะไม่จำเป็นต้องมีผู้ควบคุมระบบอยู่ประจำที่สถานีฯ จึงได้มีการติดตั้งระบบเรียกดูข้อมูลทางไกลเอาไว้ด้วย เพื่อให้สามารถเรียกดูข้อมูลได้จากสถานที่ใดๆ โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 4.16(ข) รายละเอียดการติดตั้งโปรแกรมและวิธีการใช้งานอยู่ในภาคผนวก ง.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 แสดงการอ่านค่ากระแสรั่วไหล (ก) ที่ระบบ CCS (ข) ที่ Remote PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดสอบและสรุปผลการทำงานระบบ RPM

4.2.4.1 การทดสอบการอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ถูกถ่วงด้วยตัวอย่าง

หลังจากติดตั้งระบบ RPM แล้วเสร็จตามขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ถูกถ่วงด้วยตัวอย่าง ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบ Real Time ได้ที่หน้าจอระบบ CCS ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ก) ส่วนรูปที่ 4.17(ข) แสดงการเก็บข้อมูลเป็นรายชั่วโมง ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลย้อนหลังได้ 7 วัน เพื่อประโยชน์ในการติดตามและตรวจสอบสำหรับงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อไป

POINT NAME	MW	MVAR	MVA	AMP	TAP	KV
230KV BPK-BPL NO.1	461.64	24.02	459.96	1120.11		
230KV BPK-BPL NO.2	393.99	15.72	395.74	364.87		
230KV BPK-KLM NO.1	157.09	17.72	156.78	396.68		
230KV BPK-KLM NO.2	155.12	12.22	155.34	373.2		
230KV BPK-AP NO.1	160.04	0.53	159.27	402.96		
230KV BPK-AP NO.2	157.09	-0.59	156.32	384.16		
230KV BPK-AP NO.3	171.26	0.73	169.29	430.92		
230KV BPK-AP NO.4	120.87	43.43	129.6	318.07		
230KV BPK-NCO NO.1	216.14	-9.64	215.94	643.75		
230KV BPK-NCO NO.2	218.44	-13.67	217.75	554		
230KV BPK-NCO NO.3	187.46	3.06	215.94	461.97		
230KV BPK-NCO NO.4	187.80	-10.24	197.39	476.55		
230KV BPK-PA2 NO.1	50.79	0.59	50.79	126.52		
230KV BPK-PA2 NO.2	50.38	1.67	50.01	127.51		

POINT NAME	Currents (microamp) 1	Ambient Temp. (°C)	Rel. Humidity (%)	SPARE	SPARE	SPARE
230KV MAINEUS NO. 1A	229.3	27	70			
230KV MAINEUS NO. 2A	233.6					
230KV MAINEUS NO. 1B	227.2					
230KV MAINEUS NO. 2B	232.2					
126VDC SUPPLY	125.4					

(ก) แบบ Real Time

Date DD/MM/YY	Time HH:MM	microamps	°C	REL. HUMID. %	MVA	SPARE	SPARE	SPARE
07/02/05	01:00	818	28	70	69			
07/02/05	02:00	815	27	70	69			
07/02/05	03:00	815	27	70	69			
07/02/05	04:00	814	27	69	69			
07/02/05	05:00	810	26	69	69			
07/02/05	06:00	813	26	69	69			
07/02/05	07:00	812	26	69	69			
07/02/05	08:00	819	26	67	69			
07/02/05	09:00	818	24	67	69			
07/02/05	10:00	812	24	67	69			
07/02/05	11:00	812	22	67	69			
07/02/05	12:00	813	22	67	69			
07/02/05	13:00	812	23	69	69			
07/02/05	14:00	813	24	68	69			
07/02/05	15:00	815	24	67	69			
07/02/05	16:00	815	23	67	69			
07/02/05	17:00	816	21	68	69			
07/02/05	18:00	817	20	68	69			
07/02/05	19:00	818	23	69	69			
07/02/05	20:00	817	27	69	69			
07/02/05	21:00	816	26	69	69			
07/02/05	22:00	816	25	69	69			
07/02/05	23:00	819	25	70	69			
07/02/05	00:00	817	26	71	69			
MAX		818	24	71	69			
AVR		814	28.5	68.5	69			

(ข) แบบเก็บค่าเป็นรายชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.17 แสดงค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวลือกด้วยตัวอย่างจากระบบ CCS ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรูปที่ 4.18 แสดงหน้าจอของเครื่อง PC Remote จากสถานีไฟฟ้าแรงสูงระยอง2(กฟผ.) ซึ่งทำการทดลองเรียกดูข้อมูลทางไกลที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง จากการทดสอบพบว่าหน้าจอและค่าต่างๆ มีลักษณะเหมือนกันกับที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกงทุกประการ ค่าต่างๆปรับเปลี่ยนตามค่าที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง

PREVIOUS		CURRENT DAY		REPORT SUMMARY			LOAD		
Date DD/MM/YY	Time HH:MM	microamps.	°C	BANGPAKONG LEAK. CURR. %	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
07/02/05	01:00	816	26	70					
07/02/05	02:00	815	27	70					
07/02/05	03:00	815	27	70					
07/02/05	04:00	814	27	69					
07/02/05	05:00	810	28	69					
07/02/05	06:00	813	28	69					
07/02/05	07:00	812	29	69					
07/02/05	08:00	815	30	67					
07/02/05	09:00	813	31	67					
07/02/05	10:00	812	31	67					
07/02/05	11:00	812	32	67					
07/02/05	12:00	819	32	66					
07/02/05	13:00	812	33	66					
07/02/05	14:00	813	34	66					
07/02/05	15:00	815	34	67					
07/02/05	16:00	815	35	67					
07/02/05	17:00	818	37	68					
07/02/05	18:00	817	38	69					
07/02/05	19:00	818	39	69					
07/02/05	20:00	817	37	69					
07/02/05	21:00	818	26	69					
07/02/05	22:00	818	26	68					
07/02/05	23:00	813	25	70					
07/02/05	00:00	817	28	71					
MIN		810	26	66					
MAX		819	34	71					
AVR		814	29.5	68.5					

รูปที่ 4.18 แสดงผลการเรียกดูข้อมูลทางไกลจากเครื่อง PC Remote ที่ สฟ.ระยอง2(กฟผ.) จ.ระยอง

#### 4.2.4.2 การทดสอบความเที่ยงตรงในการอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง

เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงการอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่างจากระบบ RPM ที่จัดสร้างขึ้นว่ามีความถูกต้องเที่ยงตรงเพียงใด ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกระแสรั่วไหลมาตรฐาน 2 ชนิด ชนิดที่หนึ่งเป็นมิเตอร์วัดค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง ยี่ห้อ MEIDEN Type ZC-A1M มาตรฐาน JIS. C1102 CLASS 2.5 ดังแสดงดังรูปที่ 4.4 ชนิดที่สองเป็นเครื่องมือวัดค่ากระแสรั่วไหล(Leakage Current Measurement : LCM) ยี่ห้อ ABB ผลการทดสอบความเที่ยงตรงในการอ่านค่ากระแสรั่วไหล ทั้ง 3 แบบ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการวัดค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยตัวอย่างด้วยวิธีต่างๆ

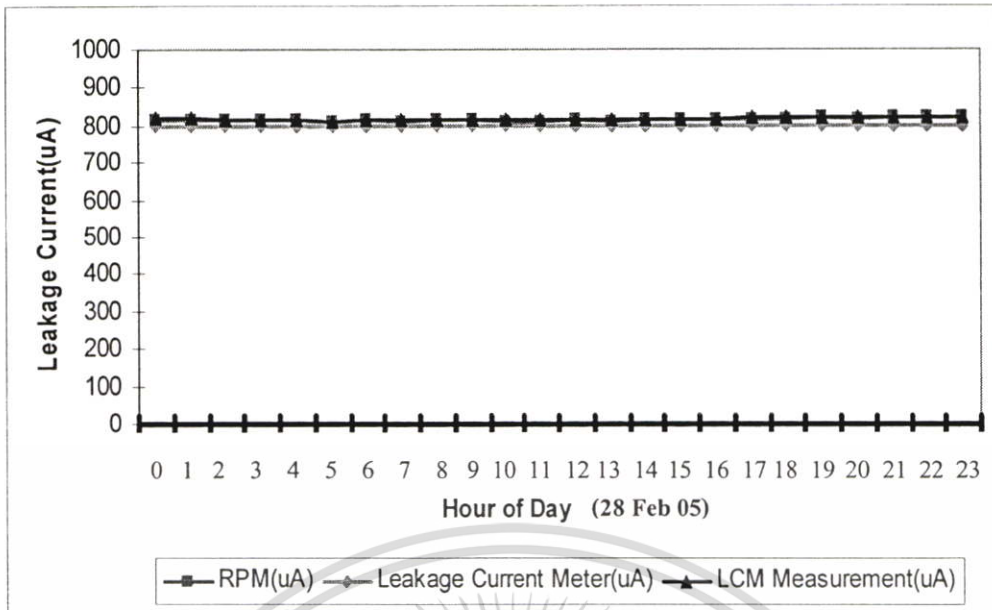
วันที่	เวลา	ค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยตัวอย่าง (uA)			อุณหภูมิ (°C)	R.H. (%)	หมายเหตุ
		RPM*	มิเตอร์**	LCM***			
28 กุมภาพันธ์ 2548	00.00	818	800	819	26.3	79	
	01.00	816	800	818	26.5	80	
	02.00	816	800	818	25.3	83	
	03.00	817	800	819	23.2	85	
	04.00	817	800	818	24.7	86	
	05.00	818	800	819	24.5	87	
	06.00	819	800	820	24.8	87	
	07.00	818	800	819	25.0	88	
	08.00	818	800	819	26.5	83	
	09.00	817	800	818	27.9	74	
	10.00	816	800	817	30.8	64	
	11.00	815	800	816	31.3	60	
	12.00	815	800	816	32.4	53	
	13.00	815	800	816	33.7	55	
	14.00	813	800	815	33.1	57	
	15.00	814	800	814	32.4	60	
	16.00	814	800	814	32.1	61	
	17.00	815	800	816	31.6	65	
	18.00	815	800	816	30.8	72	
	19.00	816	800	817	30.5	76	
	20.00	816	800	817	29.0	74	
	21.00	816	800	817	28.5	75	
	22.00	817	800	818	28.0	76	
23.00	818	800	819	27.7	78		

หมายเหตุ \* Remote Pollution Monitoring (RPM)

\*\* มิเตอร์วัดค่ากระแสรั่วไหล ยี่ห้อ Meidensha Type ZC-A1M, JIS C1102, CLASS 2.5 (แบบเข็ม)

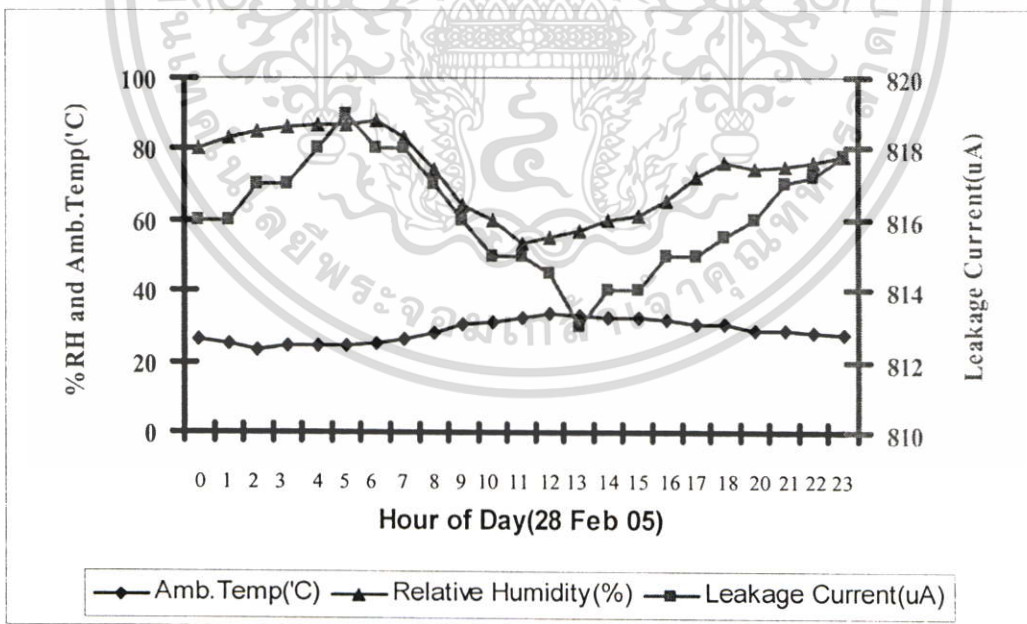
\*\*\* Leakage Current Measurement ยี่ห้อ ABB (แบบตัวเลข)

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสรั่วไหลที่ได้จากการวัดทั้ง 3 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน และเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าที่ได้จากการวัดด้วยมิเตอร์มีค่าประมาณ 0.8 มิลลิแอมป์ ตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง เนื่องจากการวัดด้วยมิเตอร์แบบเข็มและมีสเกลค่อนข้างหยาบ ทำให้การเปลี่ยนแปลงในหลักสิบไมโครแอมป์ไม่สามารถตรวจจับหรือสังเกตเห็นได้ ส่วนการวัดด้วยวิธี RPM และ LCM มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย เป็นผลสืบเนื่องจากระยะทางในการรับส่งข้อมูลที่ไกล อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วมีค่าแตกต่างกันอยู่ในย่าน  $\pm 5\%$  ซึ่งถือว่าน่าพอใจ จากตารางที่ 4.4 นำมาเขียนเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบความเที่ยงตรงจากการวัด ได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่4.19 เปรียบเทียบความเที่ยงตรงจากการวัดค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยตัวอย่าง

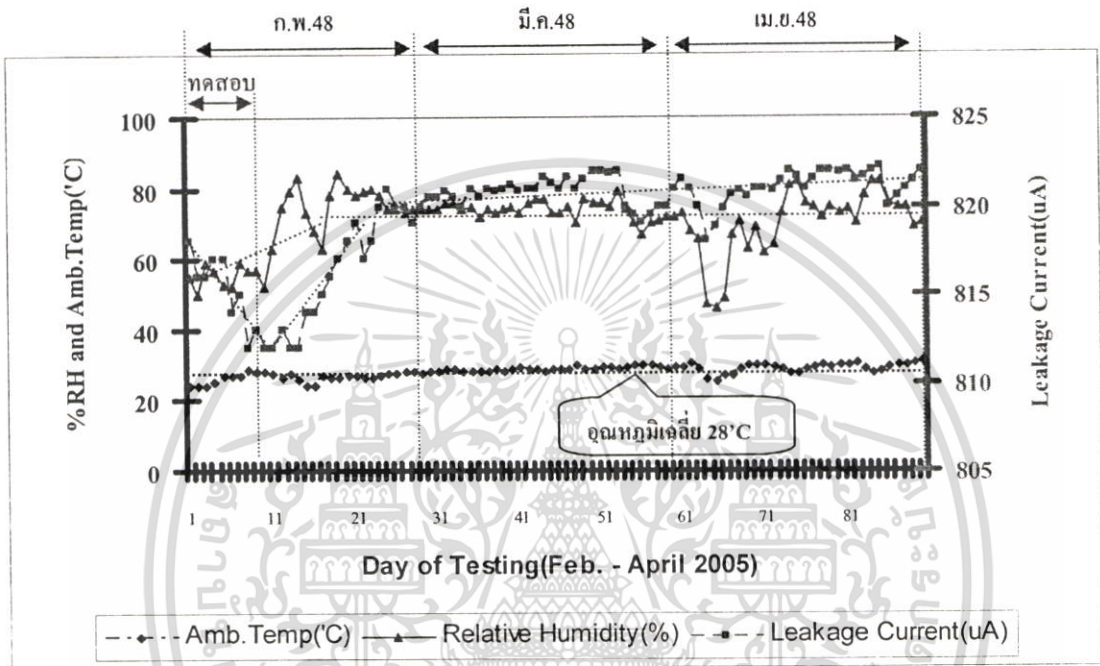
และจากตารางที่ 4.4 ยังพบว่าค่ากระแสรั่วไหลที่ได้ จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสรั่วไหลกับความชื้นสัมพัทธ์และระดับอุณหภูมิ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่4.20 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสรั่วไหล และความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ รอบ 24 ชม.

จากรูปที่4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสรั่วไหล กับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิภายนอก ในรอบ 24 ชั่วโมง พบว่า ค่ากระแสรั่วไหลมีค่าแปรตามความชื้นสัมพัทธ์ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรผกผันกับอุณหภูมิภายนอก นั่นคือถ้าความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้นจะทำให้ค่ากระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นตาม และถ้าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจะทำให้ค่ากระแสรั่วไหลจะลดลงตาม ส่วนความชื้นสัมพัทธ์แปรผกผันกับอุณหภูมิภายนอก นั่นคือ ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูงจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และจากรูปจะพบว่า ความชื้นเกิดขึ้นสูงสุดช่วงประมาณ 5.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีน้ำค้างมาก ทำให้มีค่ากระแสรั่วไหลสูงสุด



รูปที่ 4.21 แสดงค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วยตัวอย่าง ตั้งแต่เดือน ก.พ.-เม.ย. 2548

#### 4.2.4.3 การติดตามผลการอ่านค่ากระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่างในระยะยาว

จากรูปที่ 4.21 แสดงค่ากระแสรั่วไหลเฉลี่ยของลูกถ้วยตัวอย่าง ในระบบ RPM ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ - เมษายน 2548 พบว่าค่ากระแสรั่วไหลมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ตามการเปลี่ยนแปลงของ ระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ในช่วงต้นเดือนแรกที่ทำการศึกษาติดตั้งระบบ RPM ค่ากระแสรั่วไหลเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในระหว่างติดตั้งชุดวัดค่ากระแสรั่วไหลได้ทำการเช็ดทำความสะอาดลูกถ้วยตัวอย่าง เพื่อเก็บเป็นประวัติค่ากระแสรั่วไหลเริ่มต้น (ค่าต่ำสุดเท่ากับ 812 ไมโครแอมป์) ภายหลังจากทดสอบและเริ่มนำเข้าใช้งานในวันที่ 7 ก.พ. 2548 พบว่าค่ากระแสรั่วไหลค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ประมาณ 28 °C

เดือนมีนาคม 2548 ค่ากระแสรั่วไหลค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสิ่งเปรอะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วยมากขึ้นและระดับความชื้นสัมพัทธ์

เดือนเมษายน 2548 ค่ากระแสรั่วไหลเปลี่ยนแปลงขึ้นลงค่อนข้างมาก เนื่องจากมีฝนตกในช่วงต้นเดือน เมื่อสิ่งเปราะเปื้อนถูกชะล้างออกไปทำให้ค่ากระแสรั่วไหลต่ำลงและค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสิ่งเปราะเปื้อนที่จับเกาะสะสมตามผิวลูกถ้วยใหม่ในปลายเดือน สิ้นสุด ณ 30 เม.ย. 2548 ค่ากระแสรั่วไหลเฉลี่ยเท่ากับ 822 ไมโครแอมป์ เพิ่มขึ้นจากตอนเริ่มต้นเก็บข้อมูล เท่ากับ  $822 - 812 = 10$  ไมโครแอมป์ (คิดเป็น 1.23%)

ในอนาคตเมื่อมีข้อมูลมากขึ้น จะทำให้เห็นแนวโน้มถึงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสรั่วไหล รวมทั้งความสัมพันธ์และอุณหภูมิภายนอกที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของสิ่งเปราะเปื้อนว่าเกิดขึ้นมากในช่วงใด และมีความรุนแรงอยู่ในระดับใด รวมทั้งนำมาใช้ประเมินสมรรถนะของลูกถ้วยว่ามีการเสื่อมสภาพมากน้อยเพียงไร โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ เช่น ค่ากระแสรั่วไหลเมื่อเริ่มใช้งานของลูกถ้วยฉนวน เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จะช่วยให้การตัดสินใจสำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันลูกถ้วยฉนวนในอนาคตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

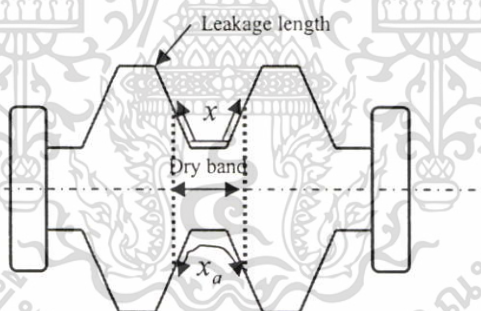
## บทที่ 5

# การวิเคราะห์พฤติกรรมการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน

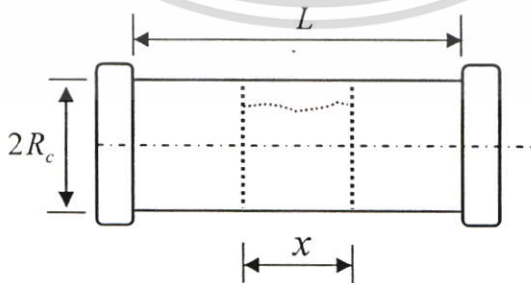
ในบทนี้จะอธิบายถึงพฤติกรรมการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนที่เปราะเปื้อนจากมลภาวะโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ในการศึกษา เพื่อหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการอาร์คแบบไม่เชิงเส้น และค่าความต้านทานของสิ่งเปราะเปื้อน รวมทั้งขนาดแรงดัน ความยาวตามผิว และค่าความนำของลูกถ้วย ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ จากนั้นเป็นการหาค่าความนำและกระแสรั่วไหลวิกฤติของลูกถ้วยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยอ้างอิงจากข้อมูลเหตุการณ์จริงที่เกิดการวาวไฟตามผิวขึ้นที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และข้อมูลลูกถ้วยจากบริษัทผู้ผลิต

### 5.1 สมการคณิตศาสตร์ของกระบวนการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน [17]

การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน เริ่มต้นจากการแปลงรูปร่างของลูกถ้วยจริงให้เป็นลูกถ้วยสมมูล และจากนั้นแปลงเป็นวงจรสมมูลลูกถ้วย(Equivalent Insulator Circuit) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงการเกิดแถบแห้งตามผิวลูกถ้วยฉนวนทั่วไป(Arbitrary shape)



รูปที่ 5.2 แสดงลูกถ้วยสมมูล(Equivalent Insulator) จากการแปลงค่าลูกถ้วยฉนวนทั่วไป

จากรูปที่ 5.2 หาค่า  $R_c$ ,  $F$  ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

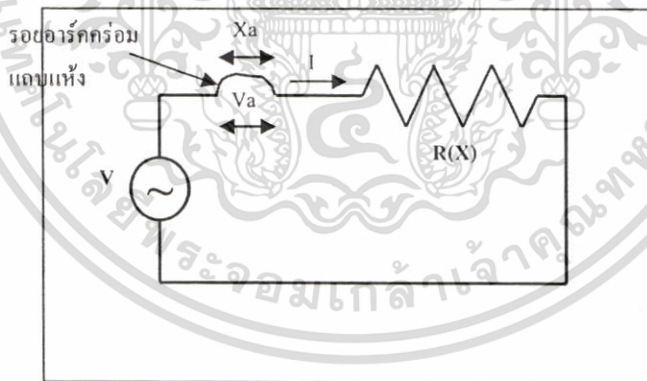
$$R_c = \frac{L}{2\pi F} \quad (5.1)$$

เมื่อ  $R_c$  คือรัศมีลูกถ้วยสมมูล(เมตร)  $F$  คือค่าฟอร์มแฟคเตอร์ และ  $L$  คือระยะรั้วตามผิวลูกถ้วย(เมตร) ดังนั้น

$$F = \int_0^L \frac{1}{2\pi r(s)} ds \quad (5.2)$$

เมื่อ  $r(s)$  คือรัศมี ณ ตำแหน่ง  $s$  ใดๆ ตลอดความยาวตามผิวของลูกถ้วยฉนวน

การเกิดแถบแห้งบนผิวลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากมีกระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยฉนวนเกิดขึ้น ทำให้มีอาร์คเกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ ก่อนที่แรงดันจะขึ้นถึงจุดสูงสุดในแต่ละรอบคลื่น เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันมีค่าต่ำ ทำให้ผลของคาปาซิทีฟและอินดักทีฟมีค่าน้อย ในที่นี้จึงไม่นำมาพิจารณาด้วย จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 และสมการที่ 5.1 และ 5.2 นำมาเขียนวงจรสมมูลลูกถ้วยฉนวนได้ดังรูปที่ 5.3 จากรูปอาร์คคร่อมแถบแห้งจะค่อนุกรมกับค่าความต้านทานของสิ่งประอะเปื้อน ซึ่งแทนด้วยค่า  $R(x)$  ดังนั้นเขียนสมการ *Kirchhoff Voltage Law* ได้ว่า



รูปที่ 5.3 วงจรสมมูลของลูกถ้วยฉนวน

$$V = V_a + R(x)I \quad (5.3)$$

เนื่องจากการอาร์คเป็นแบบไม่เชิงเส้นและมีคุณสมบัติเป็นค่าความต้านทานลบ(Negative Resistance) ดังนั้นหาความสัมพันธ์ของแรงดันคร่อมรอยอาร์ค ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.4) การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V_a$  คือแรงดันตกคร่อมแถบแห้ง (โวลต์)  $A, a$  คือค่าคงที่ของอาร์ค  $X_a$  คือความยาวของอาร์ค(เมตร) และ  $I$  คือกระแสไฟฟ้าของอาร์ค(แอมป์)

และเนื่องจากความยาวของอาร์ค  $X_a$  ไม่เท่ากับความยาวตามผิวของลูกถ้วย  $X$  (กรณียังไม่เกิดการวางไฟตามผิวลูกถ้วยจนนวน) ดังนั้นหาความสัมพันธ์ของ  $X_a$  และ  $X$  ได้ดังนี้

$$Xa = k_a X \quad (5.5)$$

เมื่อ  $k_a$  คือแฟคเตอร์ความยาวอาร์ค(Arc Length Factor) ซึ่งโดยทั่วไปมีค่า  $0 < k_a < 1$  จะมีค่าเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับลักษณะการอาร์คที่เกิดขึ้นว่าเกิดขึ้นระหว่างปีกหรือครีบ และ/หรือปีกกับครีบของลูกถ้วยจนนวน เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่า  $k_a$  อาจมีค่ามากกว่า 1 ถ้าการอาร์คเกิดขึ้นกับลูกถ้วยจนนวนที่มีปีกยาว (Buoyancy Insulators)

สำหรับค่าความต้านทานของสิ่งเปราะเปื้อน  $R(x)$  นั้น จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรดังต่อไปนี้

1. ลักษณะรูปร่างของลูกถ้วยจนนวน ซึ่งมีค่าฟอร์มแฟคเตอร์เป็นตัวบ่งชี้
2. ระดับของสิ่งเปราะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วยจนนวน
3. ความหนาแน่นของค่ากระแสรั่วไหลตามผิวลูกถ้วยจนนวน หรือกระแสไฟฟ้าของอาร์ค

ในความเป็นจริงค่า  $R(x)$  มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น แต่มีค่าแปรผันตามลักษณะรูปร่างของลูกถ้วยจนนวน, ความเปราะเปื้อนที่ผิวลูกถ้วย และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของอาร์ค อย่างไรก็ตามสามารถประมาณค่า  $R(x)$  เป็นแบบเชิงเส้น ได้ดังนี้

$$R(x) = \frac{L-X}{2\pi R_c \delta_s} = \frac{(L-X)F}{L\delta_s} \quad (5.6)$$

เมื่อ  $F$  คือค่าฟอร์มแฟคเตอร์ และ  $\delta_s$  คือค่าความนำเฉลี่ยตามผิวลูกถ้วย(Average Surface Conductivity) แทนสมการที่ 5.1 ลงในสมการที่ 5.6 ได้เป็น

$$V = Ak_a XI^{-a} + \frac{(L-X)IF}{L\delta_s} \quad (5.7)$$

จากสมการที่ 5.7 ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่า  $V, I, X$  และ  $\delta_s$  โดยค่อยๆ เพิ่มค่า  $I, X$  ขึ้นไปเรื่อยๆ จนได้ค่าความนำวิกฤติตามผิวลูกถ้วยจนนวน ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta_s = F \left( \frac{S_c}{817} \right)^{\frac{a+1}{a}} \frac{(k_a A)^{\frac{1}{a}}}{L} \quad (5.8)$$

เมื่อค่า  $S_c$  คือระยะรั้วคงทนเฉพาะต่อแรงดันไฟฟ้า (Specific Creepage Length) มีหน่วยเป็น  $mm/kV(\text{line-to-line voltage})$  ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

$$S_s = \frac{1000\sqrt{2}L}{\sqrt{3}V} = \frac{817L}{V} \quad (5.9)$$

เพื่อเพิ่มความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ได้นำผลของเหตุการณ์ Re-ignition เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย อย่างไรก็ตามเหตุการณ์ Re-ignition จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อค่าแรงดันสูงสุดมีค่ามากกว่าสมการต่อไปนี้

$$V = NX_a I^{-a} \quad (5.10)$$

ดังนั้นจะได้ค่าความนำวิฤติตามผิวลูกถ้วยฉนวนใหม่เป็น

$$\delta_{sc} = \frac{Fn}{Lk_a(N-A)} \left( \frac{k_a AS_c}{817(n+1)} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (5.11)$$

จากสมการที่ 5.8 และสมการที่ 5.11 จะเห็นว่าทั้งสองสมการมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน ให้ความสำคัญต่อการกำหนดค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Voltage Stress) เหมือนกัน[17] แต่มีค่าคงที่ของวงจรสมมูลแตกต่างกัน สำหรับค่า  $k_a$  ปกติได้มาจากทราบค่า  $A$  หรือ  $N$  แล้ว ในกรณีที่เกิด อาร์ระยะสั้นๆ จำเป็นต้องปรับปรุงค่า  $A$  หรือ  $N$  และค่าอื่นๆ ใหม่ โดยที่  $Am = k_a A$  และ  $Nm = k_a N$  ซึ่งสมการเหล่านี้ ถ้า  $k_a$  จะต้องมีค่าที่เหมาะสมจึงจะทำให้กระบวนการวาวไฟตามผิวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

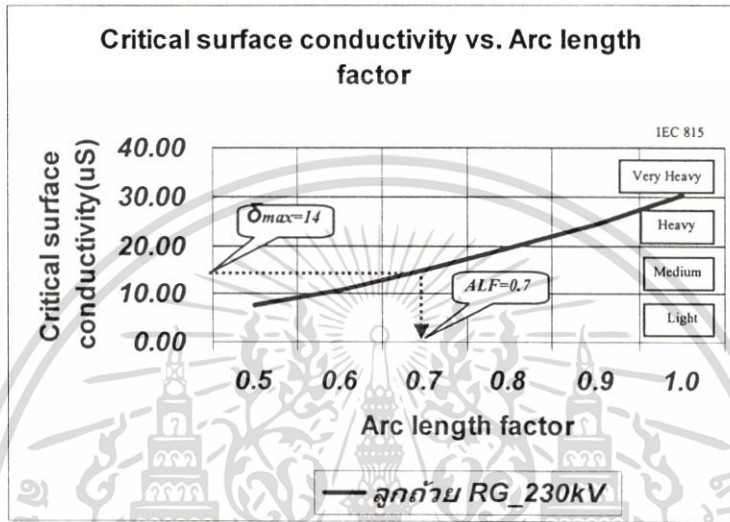
จากสมการที่ 5.11 สามารถคำนวณหาค่ากระแสวิฤติของลูกถ้วยฉนวนได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$I_c = \left( \frac{k_a NS_c}{817(n+1)} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5.12)$$

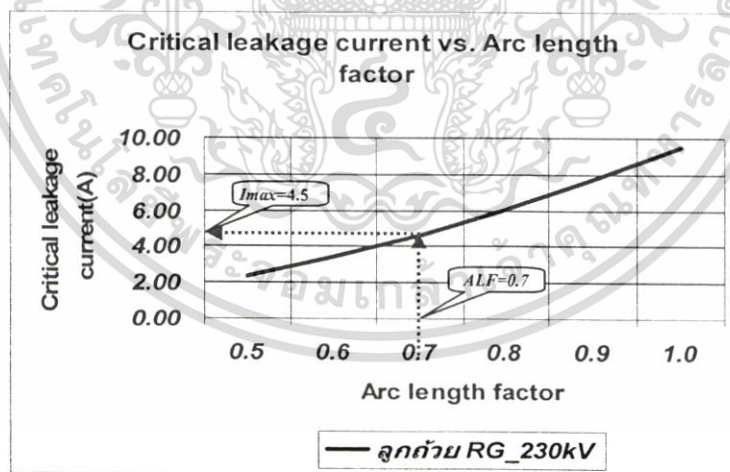
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

จากสมการที่ 5.11 และ 5.12 เมื่อกำหนดให้  $A = 10$ ,  $N = 80$ ,  $n = 0.5$  (สำหรับชนิดของลูกถ้วยตัวอย่างที่ สฟ.บางปะกง) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำตามผิววิกฤติกับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค และกระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติกับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำตามผิววิกฤติกับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติกับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค

จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 5.4 พบว่าค่าความนำตามผิวของลูกถ้วยฉนวนมีความสัมพันธ์กับแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค และระดับมลภาวะตามมาตรฐาน IEC 815[8] จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ลูกถ้วยฉนวนตัวอย่างที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ปัจจุบันมีมลภาวะอยู่ในระดับเบาบางถึงปานกลาง แต่เมื่อใดที่มลภาวะเพิ่มมากขึ้นจนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงแล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอกาสที่ลูกถ้วยฉนวนที่ สฟ.บางปะกง จะเกิดการวาวไฟตามผิวเป็นไปได้สูงตามข้อมูลผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 5.4 และจากข้อมูลเหตุการณ์ที่ลูกถ้วยเกิดวาวไฟตามผิวที่สถานีขึ้นที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้มีการวัดค่าความนำที่ผิวของลูกถ้วยหลังเกิดเหตุการณ์ ( $\delta cs$ ) มีค่าเท่ากับ 14  $\mu S$  ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 5.1 พบว่ามีสารละลายเกลือเป็นองค์ประกอบหลัก ที่ทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวขึ้น และจากการนำค่าค่าความนำตามผิววิกฤติของลูกถ้วยฉนวนตัวอย่างไปหาค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติ ( $I_{sc}$ ) จากรูปที่ 5.5 มีค่าเท่ากับ 4.5 แอมป์ นั้นหมายความว่า ถ้าหากลูกถ้วยฉนวนที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง ชนิดนี้ มีค่ากระแสรั่วไหลตามผิวเพิ่มสูงขึ้นเข้าใกล้ค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติ ไม่ว่าจะสาเหตุจะมาจากมีสิ่งความเปรอะเปื้อนมาจับเกาะตามผิวลูกถ้วยฉนวนมากขึ้น หรือจากความเสื่อมสภาพของลูกถ้วยฉนวนเองก็ตาม ก็มีโอกาที่ลูกถ้วยจะเกิดการวาวไฟตามผิวได้ ดังนั้นผู้ควบคุมระบบจึงต้องคอยติดตามและตรวจสอบค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติจากระบบ RPM อย่างใกล้ชิด หากระบบ RPM ส่งสัญญาณเตือนให้ทราบว่าค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติเพิ่มขึ้นถึงจุดที่เป็นอันตรายแล้ว จะต้องดำเนินการหาทางแก้ไขปัญหาโดยด่วน เพื่อป้องกันปัญหาไฟดับจากการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวน

สำหรับค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติของลูกถ้วยตัวอย่าง ได้กำหนดให้มีการแจ้งเตือนก่อนที่จะถึงค่ากระแสรั่วไหลตามผิววิกฤติที่ 10% หรือให้มีการแจ้งเตือนที่ 4.05 แอมป์ ทั้งนี้ค่าขีดสูงสุดที่ยอมรับได้นี้แต่ละหน่วยงาน อาจมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมตามพื้นที่ ระดับความรุนแรงของผลกระทบจากปัญหาไฟดับ รวมถึงค่าใช้จ่ายจากความถี่ในการป้องกันและแก้ปัญหาด้วย

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำล้างลูกถ้วยตัวอย่าง

Soluble Component(ppm)									
*Ca	*Mg	*Cl	*SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	*Na	*K	Zn
20.64	3.63	22.90	18.31	4.19	106.4	NIL	1.01	5.08	0.54

Insoluble Component				
%Fe	%Zn	%K	%Ca	%Na
4.93	0.31	0.19	0.06	0.14

ผู้วิเคราะห์ : กองเคมีวิเคราะห์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

หมายเหตุ \* ประเภทสารละลายเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การติดตั้งเครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย เพื่อติดตามประสิทธิภาพในการใช้งานของลูกถ้วยและเฟ้าระวังเดือนก่อนที่จะเกิดปัญหาการรวบไฟตามผิวขึ้นมา โดยประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง และสามารถเรียกดูข้อมูล ณ สถานที่ใดๆ มีข้อสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ ดังนี้

### 6.1 สรุปผลการศึกษา

#### 6.1.1 การตรวจวัดระดับความรุนแรงและสิ่งประอะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วยฉนวน

จากการตรวจวัดระดับความเปรอะเปื้อนลูกถ้วยฉนวนในลานไก สฟ.บางปะกง ขนาด 230,000 โวลต์ ที่บริเวณตำแหน่ง BAY1,3,4,5,7 และ BAY9 ด้วยวิธี ESDD พบว่าที่ตำแหน่ง BAY1 ในลานไก มีระดับความเปรอะเปื้อนสูงสุดคือ  $0.071 \text{ mg/cm}^2$  ซึ่งตามมาตรฐาน IEC 815 จัดอยู่ในระดับเบาบางถึงปานกลาง ( $0.07-0.09 \text{ mg/cm}^2$ ) และตามมาตรฐานของ กฟผ. ยังไม่ถึงขั้นต้องทำการฉีดน้ำล้างลูกถ้วย เนื่องจากค่ามาตรฐาน ESDD ลูกถ้วยชนิด Post Type ที่ต้องฉีดน้ำล้างลูกถ้วยคือ  $0.08 \text{ mg/cm}^2$  อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นระบบที่มีความสำคัญมากๆ อาจร้องขอให้ทำการฉีดน้ำล้างลูกถ้วยได้

และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีน้ำล้างลูกถ้วยพบว่าสารละลายในน้ำมีเกลือเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนสารที่ไม่ละลายในน้ำมีเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบหลัก ดังตารางที่ 5.1 เนื่องจากได้รับผลกระทบจากไอเค็มของแม่น้ำบางปะกง ละอองน้ำจากหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้าบางปะกง และฝุ่นผงสารเคมีจากปล่องโรงไฟฟ้าบางปะกงและโรงงานใกล้เคียง

#### 6.1.2 ช่วงเวลาและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการรวบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน

จากการเก็บและรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานทั้งภายในและภายนอก พบว่าที่ สฟ.บางปะกง ในช่วงหน้าร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม ของทุกปี) มีสถิติการรวบไฟตามผิวลูกถ้วยสูงสุด [1] สาเหตุเนื่องมาจากในช่วงดังกล่าว มีการเดินเครื่องหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้า ประกอบกับทิศทางลมพัดเข้าหาลานไกสถานีไฟฟ้าฯ จึงได้รับผลกระทบจากละอองน้ำของหอหล่อเย็นเต็มที่ ประกอบกับน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น โรงไฟฟ้า ใช้น้ำจากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงดังกล่าวค่าความนำ (Conductivity) ของน้ำอยู่ในเกณฑ์สูงมาก โดยอยู่ที่ประมาณ  $14,000 \mu\text{S}$  (ขณะที่ค่าความนำซึ่งทำให้ลูกถ้วยเกิดการรวบไฟตามผิวอยู่ที่  $14 \mu\text{S}$ ) และสภาพน้ำเป็นน้ำกร่อยที่มีเกลือผสมอยู่เป็นจำนวนมาก จึงได้รับผลกระทบจากไอเกลืออีกทางหนึ่ง เนื่องจากแม่น้ำบางปะกงอยู่ไม่ไกลจากลานไก สฟ.บางปะกง มีระยะห่างประมาณ 200 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.3 ลูกถ้วยฉนวนที่คงทนต่อระดับมลภาวะ

จากประสบการณ์การวางไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนที่ สฟ.บางปะกง ในปี 2540-2541 ที่คอนนั้นใช้ลูกถ้วยฉนวนเคลือบผิวธรรมดา รวมทั้งที่ปรับปรุงโดยการติดตั้ง Creepage Extender ผลปรากฏว่าไม่สามารถคงทนต่อระดับมลภาวะที่ สฟ.บางปะกงได้ เนื่องจากในในปีดังกล่าวค่า ESDD มีค่าสูงขึ้นถึง  $0.1 \text{ mg/cm}^2$  ทำให้เกิดการวางไฟตามผิวขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าอย่างมาก ต่อมา มีการเปลี่ยนลูกถ้วยเป็นแบบเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ และแบบเคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน ผลปรากฏว่ายังไม่เคยเกิดการวางไฟตามผิวขึ้นอีกเลยทั้งๆ ที่เงื่อนไขมลภาวะยังคงเหมือนเดิมหรือหนักกว่าเดิมด้วยซ้ำ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ลูกถ้วยเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำและยางซิลิโคนมีความเหมาะสมกับสถานีไฟฟ้าที่ประสบกับปัญหามลภาวะ

### 6.1.4 จัดทำเครื่องวัดมลภาวะ โดยใช้หลักการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยฉนวน

ผลการดำเนินการ : เป็นเครื่องวัดมลภาวะอีกแบบหนึ่ง ที่อาศัยหลักการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยทดสอบ โดยประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าและสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสารจากสถานีใดๆ มีความปลอดภัยในการใช้งาน และมีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง เปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน เช่น Leakage Current Meter และ Leakage Current Measurement มีผลต่างอยู่ที่  $\pm 5\%$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ นอกจากนี้ระบบยังมีการแจ้งเตือนผู้ควบคุมระบบให้รับทราบได้ เมื่อระดับความเปรอะเปื้อนที่จับเกาะตามผิวลูกถ้วยเพิ่มขึ้นจนทำให้ค่ากระแสรั่วไหลเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในระดับที่อาจก่อให้เกิดการวางไฟตามผิวขึ้นได้ ขนาดกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วยฉนวนซึ่งกำหนดให้แจ้งเตือนเท่ากับ 4.05 แอมป์ (ตั้งไว้ที่ 10% ก่อนถึงค่าวิกฤติ) ซึ่งเป็นขนาดกระแสที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ที่ผ่านการรับรองถึงความเที่ยงตรงและมีการพิสูจน์กับผลการทดสอบที่ห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงมาแล้ว

ประโยชน์ที่ได้ : ทำให้มีระบบตรวจวัดมลภาวะที่เป็นแบบ Realtime ซึ่งมีความสะดวกทั้งต่อผู้ควบคุมระบบที่ประจำอยู่ที่สถานีไฟฟ้าและช่างบำรุงรักษา ในการตรวจสอบสภาพความเปรอะเปื้อนในลานไก โดยสามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลา ณ สถานีใดๆ มีความปลอดภัยในการทำงาน สามารถตรวจสอบได้ทุกสภาพอากาศ

ปัจจุบันได้นำระบบนี้เข้าใช้งานที่ สฟ.บางปะกง เป็นที่แรก ในการตรวจวัดระดับมลภาวะ โดยใช้ทดแทนระบบวัดมลภาวะเดิมคือเครื่อง Pollution Monitoring Equipment : PME ซึ่งเสื่อมสภาพและหมดอายุการใช้งาน ปัจจุบันอยู่ระหว่างการขยายผลนำไปประยุกต์ใช้กับสถานีไฟฟ้าที่ประสบปัญหามลภาวะเช่นเดียวกัน

ข้อจำกัด : เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีที่ระบบตรวจวัดมลภาวะใช้ในการแสดงผลใช้ระบบ DOS ในการประมวลผล การปรับปรุงแก้ไขจึงค่อนข้างยุ่งยาก เสียเวลามาก และไม่สามารถสร้างแบบฟอร์มรายงานที่เป็นแบบกราฟฟิคที่สวยงามได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูลโดยอาศัยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่จัดทำขึ้น เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการตรวจวัดระดับมลภาวะที่มีความสะดวก ถูกต้อง รวดเร็ว และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ 7 วัน รวมทั้งสามารถพิมพ์ Report เก็บไว้เพื่อใช้ในการบำรุงรักษาในอนาคตได้ อย่างไรก็ตามค่ากระแสรั่วไหลยังสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆอีก เช่น ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ทิศทางลม เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วย นอกจากนี้ควรนำลูกถ้วยไปทดสอบที่ห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงรวมทั้งข้อมูลจากประสบการณ์จริงในภาคสนาม ในสภาพพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า. สถิติข้อขัดข้องและดัชนีสมรรถนะระบบส่ง ประจำปี 2544. นนทบุรี : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2544.
- [2] ตำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.
- [3] J.S.T. Looms. **Insulator for High Voltages**. London : Peter Peregrinus. 1988.
- [4] กองบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้าแรงสูง1. **ประสบการณ์การแก้ปัญหา Flashover ของฉนวน** เนื่องจากมลภาวะที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง. นนทบุรี : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2544.
- [5] ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. **คุณลักษณะสมบัติฉนวนด้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูงและเทคนิคการทดสอบ**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- [6] Singer, F. and Singer, S. “**Industrial Ceramics**” Chapman and Hall. pp. 741-746.
- [7] Walshe, D.E.J. “**Wine Tunnel Experiments on The Pollution of Suspended High Voltage Insulators**” National Physical Laboratory, Teddington, Englandm Aero Rep., 1963. pp. 1083.
- [8] IEC 815. **Guide for The Selection of Insulators in Respect of Polluted Condition**. 1986.
- [9] ฝ่ายวิจัยและพัฒนา. **การจับเกาะของสิ่งเปื้อนบนฉนวนในเขต 3**. นนทบุรี : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. กันยายน 2536.
- [10] Ely, C.H.A., Kingston, R.G., and Lambeth, P.J. “**Artificial and Natural Pollution Tests on Outdoor 400kV Substation Insulators**”, Proc. IEE, 118, 1971. pp. 99-109.
- [11] Robinson, W.G. “**Developments in Porcelain Insulators**”, Electra., Rev., 6 Oct.1972. pp. 435-438.
- [12] Pohl, Z. “**Znaczenie I Dobor Parametrow Konstruktjnych Kloszy Izolatorow**”, **Przeglad Elektrotech.**, 43, pp. 355-361.
- [13] Lambeth, P.J., Looms, J.S.T., Stalewski, A.C., Todd, W.G. “**Surface Coating for HV Insulators in Polluted Areas**”, Porc.IEE., 113, 1966. pp. 861-869.
- [14] Lundquist, E.E. **Transmission line construction**. McGraw Hill. 1912.
- [15] Forrest, J.S. “**The Electrical Characteristics of 132kV Line Insulators Under Various Weather Condition**”, J.EE, 1936. pp. 401-413.
- [16] Sforzini, M., and Schneider, K.H. “**A Critical Comparison of Artificial Pollution Test Methods for HV Insulators**”, Electra, NO.64, 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [17] J.P. Holtzhausen and W.L. Voslo. "The Pollution Flashover of ac Energized Post Type Insulator", IEEE Trans.Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.8, No.2, April 2001. pp. 191-194.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำศัพท์เทคนิค

High-voltage	แรงดันสูง
Electric field	สนามไฟฟ้า
Electric field stress	ความเครียดสนามไฟฟ้า
Voltage	แรงดัน
Potential	ศักย์ไฟฟ้า
Breakdown	เบรกดาวน์
Flashover	วาบไฟตามผิว
Arc	อาร์ค
Arcing distance	ระยะอาร์ค
Corona	โคโรนา
Impulse voltage	แรงดันอิมพัลส์
Creepage	ตามผิว
Creepage distance	ระยะตามผิว
Leakage	รั่ว
Leakage distance	ระยะรั่ว
Insulation	การฉนวน
Insulator	ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า
Semiconductor	สารกึ่งตัวนำ
Capacitance	ความจุไฟฟ้า ค่าเก็บประจุ
Capacitor	ตัวเก็บประจุ
Dielectric	ไดอิเล็กตริก
Dielectric constant	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
Dielectric strength	ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า
Resistance	ความต้านทาน
Resistor	ตัวความต้านทาน
Resistivity	สภาพความต้านทาน (ความต้านทานจำเพาะ)
Inductance	ความเหนี่ยวนำ
Inductor	ตัวความเหนี่ยวนำ
Conductance	สภาพนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 มาตรฐานการผลิตและการทดสอบลูกถ้วยฉนวน

Body	Number	Year	Title
<b>General :-</b>			
ASTM	A-239-73	1973	Locating thinnest spot in Zn coating Preece test
	A-153-78	1978	Zn coating (hot dip)
BSI	923	1972	Guide on HV test techniques
CISPR	1	1975	Specification for RI measuring apparatus for frequency range 0.15-30MHz
	7B	1975	Significance of a CISPR limit
NEMA	107	1976	Methods of measurement of RIV
IEC	60		HV test techniques
	60-1	1973	General definitions and test requirements
	60-2	1973	Test procedures
	60-3	1976	Measuring devices
	60-4	1977	Application guide for measuring devices
	437	1973	RI tests on HV insulators
	507	1975	Artificial pollution tests on HV insulators
	672		Specification for ceramic and glass insulating materials
	672-1	1980	Definitions and classification
	672-2	1980	Methods of testing
ANSI	C29-1	1982	Test methods for electrical power insulators
	C29-2	1983	Wet process porcelain and toughened-glass insulators
	C29-7	1977	HV-line post (insulator) types
	C29-9	1971	Insulators, apparatus, post type
	C68-1	1968	Techniques for dielectric tests
	C76-1	1976	Outdoor apparatus bushings
	C77-1	1943	American standard for wet tests
<b>Disc insulator:-</b>			
IEC	120	1977	Dimensions of ball-and-socket couplings
	305	1978	Characteristics of string insulators of the cap-and-pin type
	372		Locking devices for ball-and-socket couplings
	372-1	1977	Dimensions and general rules
	372-2	1976	Tests
	383	1983	Tests on ceramic/glass insulators for voltage greater than 100V
	438	1973	Tests and dimensions for HV DC insulators
	471	1977	Dimensions of clevis-tongue couplings
	506	1975	Switching impulse tests
	591	1978	Sampling rules and acceptance criteria
BSI	137(1)	1970	Insulators of ceramic or glass for voltages greater than 1000V: tests
	137(2)	1973	Same title: requirements
	3288	1973	Insulators and conductor fittings for overhead power lines: performance and general requirements: dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

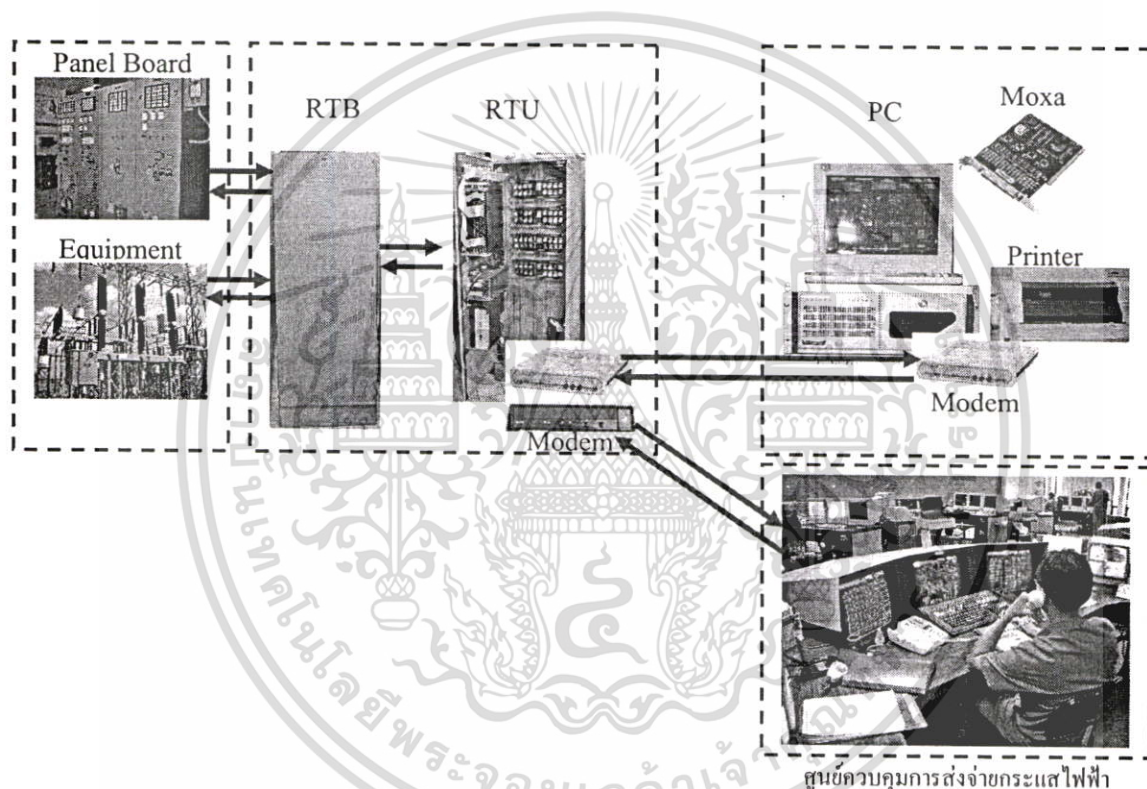


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการติดตั้งและใช้งานระบบ CCS

## 1. บทนำ

ระบบ PC Base SCADA Control System (PSCS) หรือเรียกสั้นๆ ว่าระบบ CCS (Computerized Control System) เป็นระบบที่ใช้สำหรับควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งพัฒนาโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นหลัก เพื่อความกะทัดรัดและความคล่องตัว มีขนาดเล็ก ลดทอนความยุ่งยากต่างๆ ลง ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายสำหรับผู้ที่จะใช้งาน รูปแบบการใช้งานระบบ PSCS แสดงดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 แสดงส่วนประกอบหลักของระบบ CCS

## 2. การติดตั้งระบบ CCS

การติดตั้งระบบ CCS แบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ส่วน คือ การติดตั้ง Software และการติดตั้ง Hardware

### 2.1 การติดตั้ง Hardware

การติดตั้งสามารถทำได้ง่ายเนื่องจากเป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มีโครงสร้างส่วนประกอบทาง Hardware แสดงดังรูปที่ ค.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การติดตั้ง Software

เพื่อให้ระบบ CCS สามารถนำไปใช้งานควบคุมระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงสูงได้ ก่อนการติดตั้ง Software เครื่องคอมพิวเตอร์ PC นั้นจะต้องมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการ MS-DOS Version 6.2 มาก่อนแล้ว จากนั้นให้ดำเนินการติดตั้ง Software ซึ่งมี 2 โปรแกรมย่อยคือ

- 1). Application Software (PSCS)
- 2). Database Management Software (DBMS)

### 2.1.1 ขั้นตอนการติดตั้ง PSCS สามารถทำได้ดังนี้

1. นำเอาแผ่น Disks ที่มีโปรแกรม PSCS ใส่ใน Floppy disk drive A:
2. ที่ DOS Prompt ใช้คำสั่งดังนี้  
C:\>A:INSTALL /PSCS <enter> .....จบ

### 2.1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง DBMS สามารถทำได้ดังนี้

1. นำเอาแผ่น Disks ที่มีโปรแกรม DBMS ใส่ใน Floppy disk drive A:
2. ที่ DOS Prompt ใช้คำสั่งดังนี้  
C:\>A:INSTALL /DBMS <enter> .....จบ

## 3. การใช้งานโปรแกรม CCS

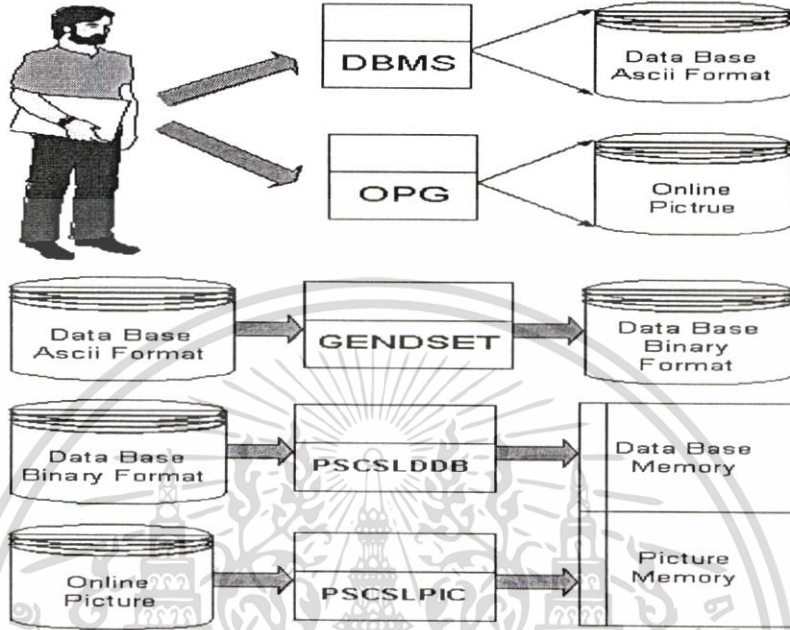
### 3.1 การนำระบบ CCS ขึ้นใช้งาน แสดงดังรูปที่ ก.2 มีขั้นตอนดังนี้

1. Database Conversion (GENDSET) ใช้สำหรับการสร้าง Online Database ขึ้นมาใหม่ เมื่อมีการแก้ไข Database ใหม่ต้องทำการ GENDSET ใหม่ทุกครั้ง ใช้คำสั่งดังนี้  
C:\CCS\EXE>GENDSET -C <enter>
2. Online Database Loader (PSCSLDDB) ใช้สำหรับโหลด Online Database จาก Data Library ลงสู่ XMS Memory และสร้าง Database Image File เพื่อเตรียมใช้งาน Online ใช้คำสั่งดังนี้  
C:\CCS\EXE>PSCSLDDB-D <enter>  
C:\CCS\EXE>PSCSLDDB <enter>
3. Online Picture Loader (PSCSLPIC) ใช้สำหรับโหลด Online Picture จาก Picture Library ลงสู่ EMS Memory และสร้าง Picture Image File เพื่อเตรียมใช้งาน Online ใช้คำสั่งดังนี้ -  
C:\CCS\EXE>PSCSLPIC-D <enter>  
C:\CCS\EXE>PSCSLPIC <enter>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Online System (PSCS) ใช้สำหรับ RUN โปรแกรม PSCS

C:\CCS\EXE\>PSCS <enter>



รูปที่ ก.2 การป้อนคำสั่งเพื่อนำระบบ CCS ขึ้นใช้งาน

3.2 คำสั่งพื้นฐานการใช้งานระบบ CCS มีดังนี้

การ CLOSE/OPEN เบรคเกอร์ และ RAISE/LOWER แอปห้มือแปลง	
1. ไปที่หน้า SINGLE LINE	
2. ตำแหน่ง CCS SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง ON (ที่หน้า BOARD)	
คำสั่ง MANUAL REPLACE (เข้าพนักค่าเอง)	
1. วาง MOUSE หับตัวอักษรหรือตัวเลขที่ต้องการเปลี่ยน	
2. กดปุ่ม <b>0-1-4</b>	
3. ให้พิมพ์ตัวเลขที่ต้องการเปลี่ยน	
4. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F4</b>	
คำสั่ง CLOSE เบรคเกอร์	คำสั่ง OPEN เบรคเกอร์
1. วาง MOUSE หับสัญลักษณ์เบรคเกอร์	1. วาง MOUSE หับสัญลักษณ์เบรคเกอร์
2. กดปุ่ม <b>F5</b>	2. กดปุ่ม <b>F6</b>
3. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F12</b>	3. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F12</b>
คำสั่ง RAISE แอปห้มือแปลง	คำสั่ง LOWER แอปห้มือแปลง
1. วาง MOUSE หับตัวเลขแอปห้มือแปลง	1. วาง MOUSE หับตัวเลขแอปห้มือแปลง
2. กดปุ่ม <b>F7</b>	2. กดปุ่ม <b>F8</b>
3. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F12</b>	3. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F12</b>
คำสั่ง RESET ALARM (ให้หยุดกระพริบที่หน้าจอกวมพิวเจอร์)	
1. วาง MOUSE หับจุดที่กระพริบ...	
2. กดปุ่ม <b>Insert</b> หรือ <b>F9</b> หรือ <b>F10</b>	
คำสั่ง พิมพ์หน้าจอก	
1. ไปที่หน้าที่ต้องการสั่งพิมพ์	
2. กดปุ่ม <b>On</b> และ <b>F4</b>	
คำสั่ง AUDIO INHIBIT (ไม่ให้มีเสียง ALARM ที่กวมพิวเจอร์)	
1. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F5</b>	
คำสั่ง AUDIO ENABLE (ให้มีเสียง ALARM ที่กวมพิวเจอร์)	
1. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F5</b>	
คำสั่ง ALARM ACKNOWLEDGE (หยุดเสียง ALARM ที่กวมพิวเจอร์)	
1. กดปุ่ม <b>SHIF</b> และ <b>F6</b>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 สรุปเลขหน้าใช้งานในระบบ CCS มีดังนี้

เลขหน้า	ชื่อหน้า	ประโยชน์การใช้งาน
2	MENU	แสดงหน้ารวมทั้งหมดของระบบ CCS
3	DIGITAL	แสดงรายชื่อ Digital Alarm ทั้งหมด
4	ANALOG	แสดงรายชื่อ Analog Alarm ทั้งหมด
8	HISTORY	แสดงประวัติการเกิด Alarm ทุกชนิด
11	SYSPARAM	ใช้กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ CCS
40	DGALARM	แสดง Alarm เฉพาะ Digital Alarm
41	ANALARM	แสดง Alarm เฉพาะ Analog Alarm
45	DGABNORM	แสดง Alarm ที่มีอยู่ในขณะนั้นๆ
73	DLRTIME	ใช้กำหนดช่วงเวลา และหน้าที่ต้องการพิมพ์
91	REPORT	แสดงค่า Load ในรอบ 24 ชม. และย้อนหลังได้ 7 วัน
100	MENU OP	แสดงหน้า Main Menu สำหรับพนักงานประจำ สฟ.
200	115KV ONELINE	แสดงหน้า 115KV Single Line Diagram (ใช้ Control)
202	BPK INDIVIDUAL	แสดง Alarm ที่ส่งศูนย์ฯ โดยตรง(Alarm ที่สำคัญ)
210	230KV ONELINE	แสดงหน้า 230KV Single Line Diagram (ใช้ Control)
510	TX ANN	แสดงหน้า Alarm ของ Transformer Annunciator
520	BKR ANN	แสดงหน้า Alarm ของ Breaker Annunciator
550	LINE ANN	แสดงหน้า Alarm ของ Line Annunciator
570	MISC ANN	แสดงหน้า Alarm ของ Miscellaneous Annunciator
704	LOAD	แสดงค่า Load ของ Line และ TX. ในเวลานั้นๆ

ตัวอย่าง ต้องการดูหน้า 704 ? พิมพ์ 704 แล้วกดปุ่ม Shift พร้อมกับปุ่ม F1

## 4. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายบำรุงรักษาระบบส่ง กฟผ. PC Base SCADA Control System(PSCS). นนทบุรี: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการติดตั้งและใช้งาน pcANYWHERE

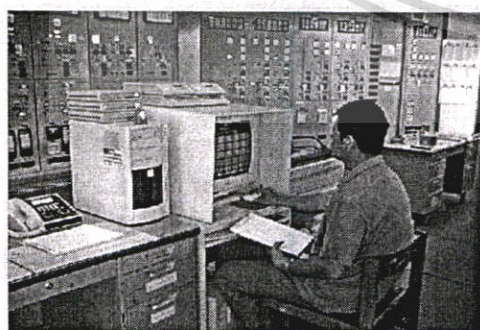
คู่มือการติดตั้งและใช้งาน pcANYWHERE ฉบับนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องและใช้งานสำหรับงานวิจัยนี้เท่านั้น ถ้าหากผู้สนใจท่านใดต้องการทราบในรายละเอียดอื่นๆ สามารถค้นคว้าได้ตามเอกสารอ้างอิงที่อ้างถึง

### 1. เกี่ยวกับโปรแกรม pcANYWHERE

PcANYWHERE เป็นโปรแกรมสื่อสารที่ใช้ควบคุมเครื่องที่อยู่ไกลกัน เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการดูการทำงาน หรือควบคุมเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นในระยะไกล โอนไฟล์ สอนการใช้โปรแกรม เป็นต้น

### 2. ภาพรวมการใช้งาน

- 1) ติดตั้งโปรแกรม pcANYWHERE ทุกๆ เครื่องที่ต้องการให้สามารถเชื่อมระบบถึงกันได้
- 2) กำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์ระบบ CCS เป็นเครื่องแม่(Host) และให้เครื่องที่ต้องการเรียกดูข้อมูลเป็นเครื่องลูก(Remote)
- 3) กรณีเครื่องที่เป็น Host ต้องกำหนด Callers เพื่ออนุญาตให้ผู้ใช้ใดผู้หนึ่งเข้ามาดูได้เพื่อความปลอดภัยของระบบ CCS โดยต้องกำหนดชื่อ User และ Password
- 4) เลือกประเภทของการเชื่อมต่อด้วย Modem (ต้องเหมือนกันทั้ง Host และ Remote)
- 5) เริ่มต้นให้เครื่องที่เป็น Host เปิดโปรแกรมรอ เพื่อรอให้เครื่อง Remote เรียกเข้ามา หลังจากเชื่อมระบบกันได้ จะปรากฏหน้าจอให้ใส่ User, Password
- 6) หลังจากใส่ถูกต้องแล้ว จะสามารถมองเห็นหน้าต่างของเครื่อง Host ได้ และค่าต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงตามเครื่อง Host



(ก) ระบบ CCS ที่ สฟ.บางปะกง



(ข) เครื่อง Remote

### รูปที่ ง.1 การเรียกดูข้อมูลระบบ CCS ที่ สฟ.บางปะกง จากเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ (ณ ที่ใดๆ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

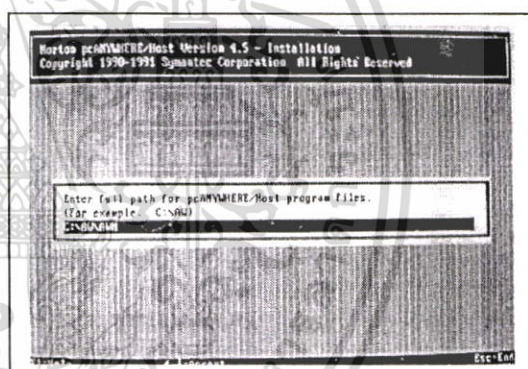
### 3. การติดตั้งโปรแกรม pcANYWHERE

โปรแกรม pcANYWHERE ใช้ได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC ทั่วไป ใช้ระบบปฏิบัติการ MS-DOS 2.0 หรือสูงกว่า(เนื่องจากระบบ CCS ใช้ระบบปฏิบัติการ MS-DOS) ต้องการแรมอย่างน้อย 320 กิโลไบต์ มีโปรแกรม 2 ชุด คือ pcANYWHERE/Host และ pcANYWHERE/Remote กินเนื้อที่ประมาณ 500 กิโลไบต์ มีวิธีการติดตั้ง ดังนี้(ด้าน Host)

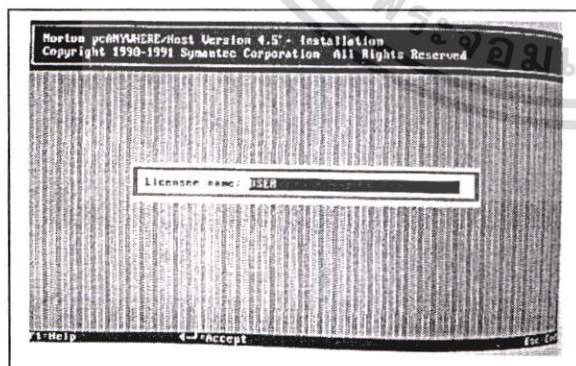
ใส่แผ่นโปรแกรมที่ไดรฟ์ A ที่คอสมพร้อมรับคำสั่งให้พิมพ์คำว่า *Install* แล้วกดปุ่ม *Enter* หน้าจอจะขึ้นเมนูดังรูปที่ 2 เลือกข้อความ *Full Installation* หลังจากกดปุ่ม *Enter* แล้วจะได้น้ำจอดังรูปที่ 3 ให้กำหนดชื่อ path ที่จะเก็บไฟล์ต่างๆ ของ pcANYWHERE/Host ในที่นี้พิมพ์ข้อความว่า *C:\AWAWH* แล้วกดปุ่ม *Enter* ได้น้ำจอดังรูปที่ 4 ให้ใส่ License Name ในที่นี้พิมพ์คำว่า *USER* แล้วกดปุ่ม *Enter* จะได้น้ำจอดังรูปที่ 5 ถามว่าต้องการติดตั้งโปรแกรมนี้แน่ ถ้าต้องการให้เลือก *YES* แล้วกดปุ่ม *Enter* หน้าจอจะแสดงสถานะการติดตั้งโปรแกรมดังรูปที่ 6 เมื่อติดตั้งโปรแกรมเสร็จแล้วหน้าจอจะแสดงดังรูปที่ 7 เป็นอันเสร็จการติดตั้ง pcANYWHERE/Host สำหรับเครื่อง Remote ก็ทำเช่นเดียวกันโดยติดตั้ง pcANYWHERE/Remote แทน



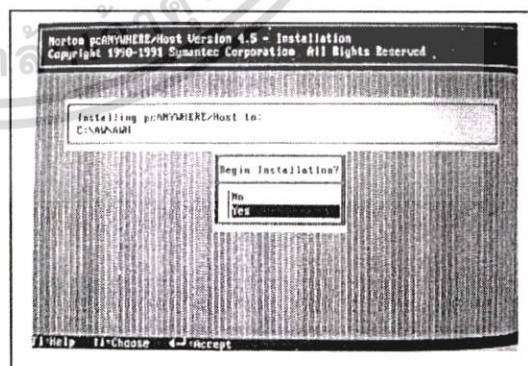
รูปที่ 2



รูปที่ 3

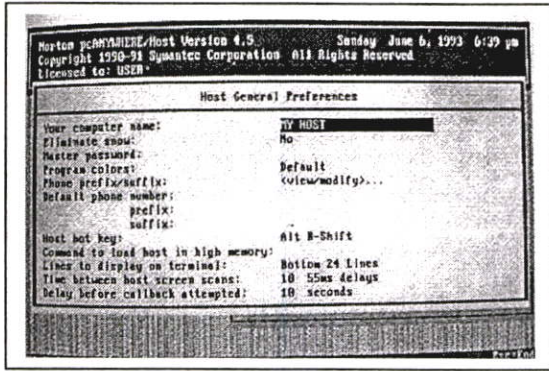


รูปที่ 4

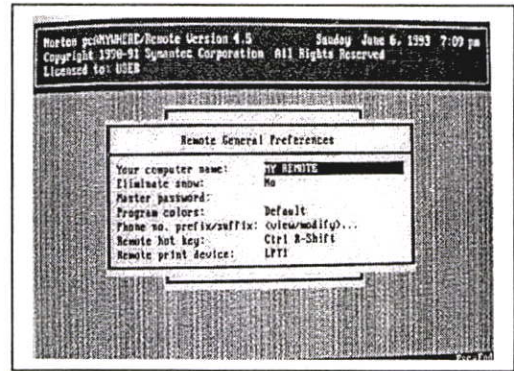


รูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

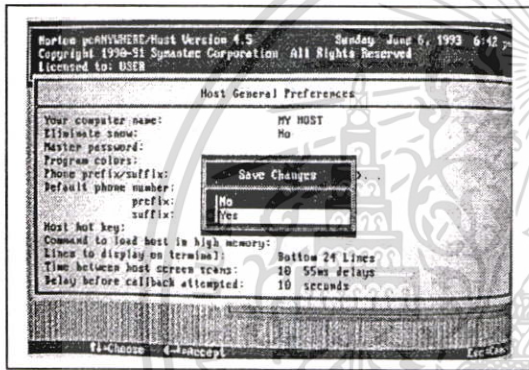


รูปที่ ง.12

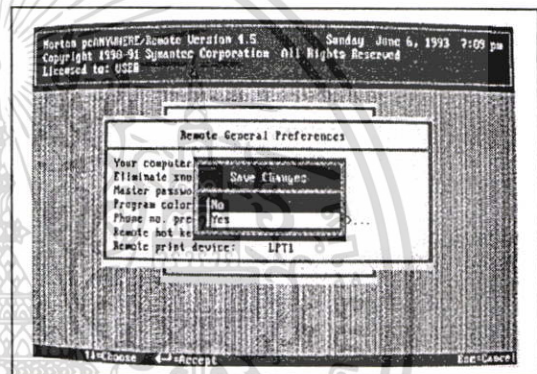


รูปที่ ง.13

4) เลือกแถบสว่างไปที่ช่อง *Computer Name* แล้วพิมพ์ชื่อคอมพิวเตอร์เราลงไป ในที่นี้ สมมติใช้ชื่อว่า *Host* และ *Remote* สำหรับเครื่อง Host และ Remote ตามลำดับ จากนั้น กดปุ่ม *Enter* เครื่องจะให้เรายืนยันอีกครั้ง เลือก *YES* จะได้ตามรูปที่ ง.14 และรูปที่ ง.15

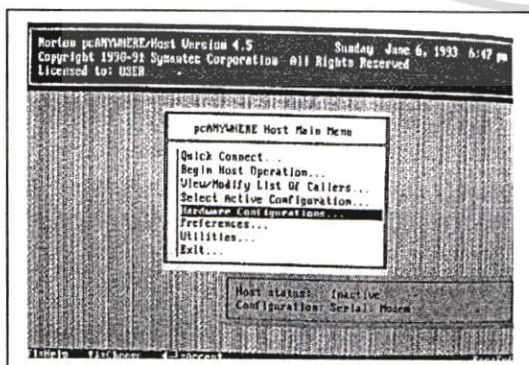


รูปที่ ง.14

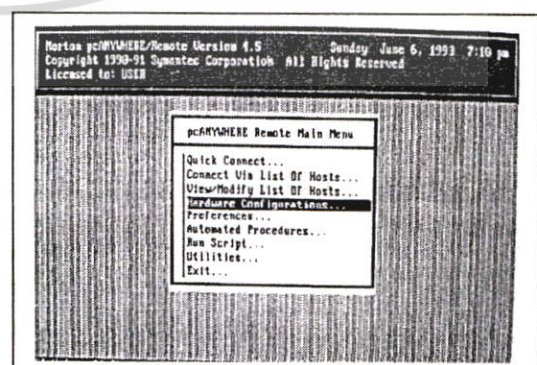


รูปที่ ง.15

5) การกำหนดค่า *Modem* ให้กับคอมพิวเตอร์ ปกติโปรแกรมจะกำหนดค่า *Modem* มาให้เป็น *Hayes compatible* เหมือนกันทั้งสองฝั่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ แต่ถ้าหากต้องการเปลี่ยนให้ตรงกับความเป็นจริง สามารถเข้าไปแก้ไขได้ที่ *Hardware Configuration* จากหน้าจอเมนูหลัก ตามรูปที่ ง.16 และรูปที่ ง.17



รูปที่ ง.16

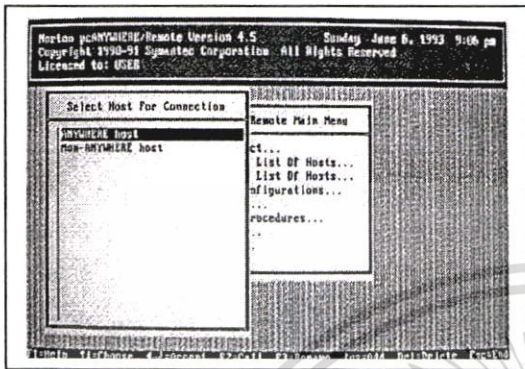


รูปที่ ง.17

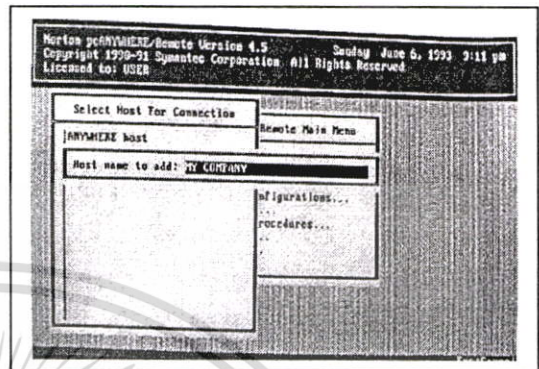
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) การเตรียมการทางด้าน Remote มีการเตรียมการดังนี้

1. จากหน้าจอหลักของ pcANYWHERE /Remote ให้เลือกข้อความ *Via List of Hosts* ดังรูปที่ ง.18
2. กดปุ่ม *Ins* จะปรากฏข้อความตามรูปที่ ง.19

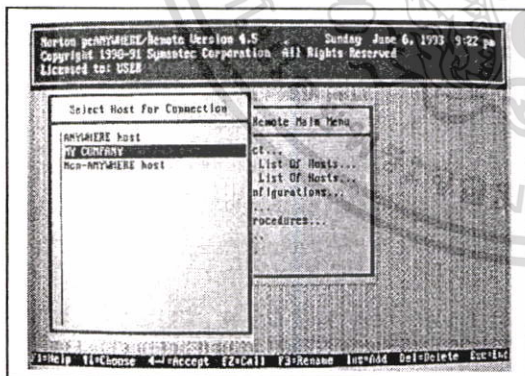


รูปที่ ง.18

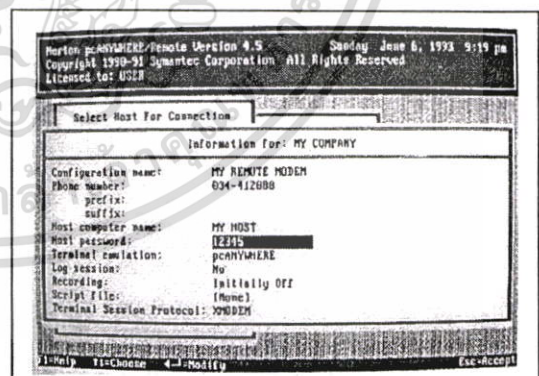


รูปที่ ง.19

3. ให้ตั้งชื่อ Host ที่เราต้องการจะติดต่อด้วย ในที่นี้สมมติชื่อ *MY COMPANY* เมื่อกดปุ่ม *Enter* และย้อนกลับไปดูรายชื่อ Host จะปรากฏว่ามีชื่อ *MY COMPANY* เพิ่มขึ้นอีก 1 ชื่อ ดังรูปที่ ง.20
4. เลือกชื่อ *MY COMPANY* จะได้น้ำจอตามรูปที่ ง.21 ให้กรอกข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ของ Host ตามต้องการ เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จให้กดปุ่ม *ESC* เพื่อกลับไปหน้าจอเมนูหลัก



รูปที่ ง.20



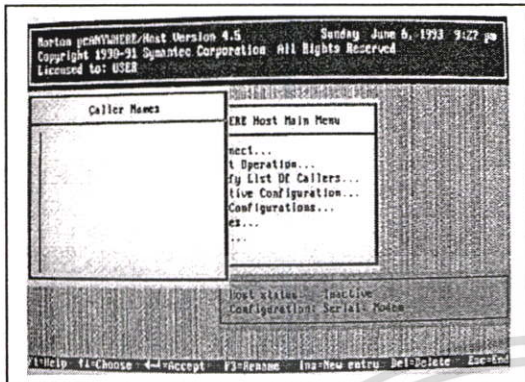
รูปที่ ง.21

7) การเตรียมการทางด้าน Host มีการเตรียมการดังนี้

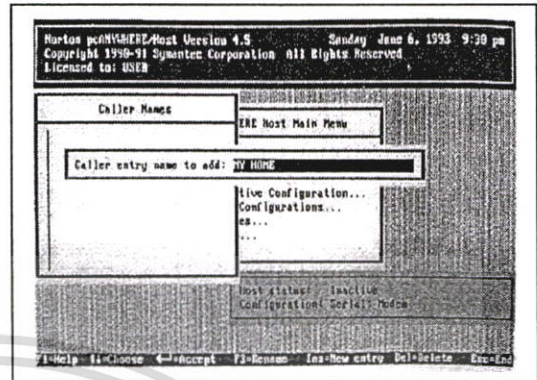
1. จากหน้าจอหลักของ pcANYWHERE /Host ให้เลือกข้อความ *View/Modify List of Callers* ดังรูปที่ ง.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รายชื่อผู้จะเรียกเข้ามาคุณนั่นเอง กดปุ่ม *Ins* จะปรากฏข้อความตามรูปที่ ๓.23 สมมติผู้จะเรียกเข้ามาชื่อ *MY HOME* (ชื่อนี้ไม่จำเป็นต้องตรงกับชื่อที่แท้จริงของผู้เรียกเข้ามา) หลังจากกดปุ่ม *Enter* จะได้น้ำจอตามรูปที่ ๓.24

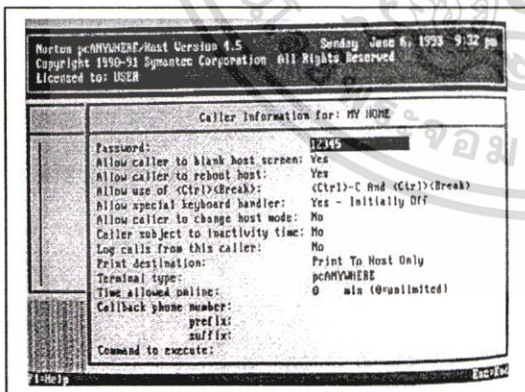


รูปที่ ๓.22

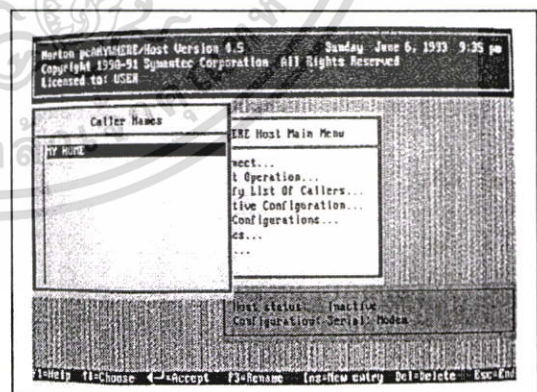


รูปที่ ๓.23

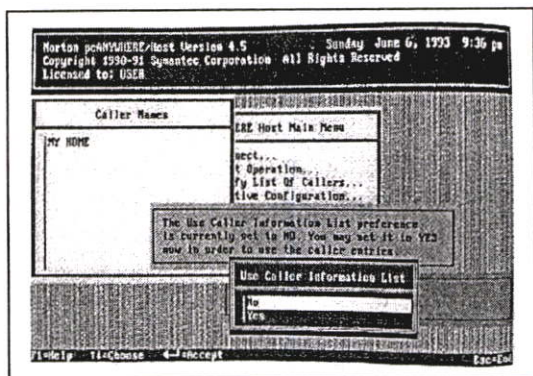
3. ที่ช่อง *Password* ให้พิมพ์รหัสผ่านตามที่ตกลงกันไว้กับทาง Remote ซึ่งจะต้องเป็นรหัสเดียวกัน ในที่นี้คือ *1234*
4. กดปุ่ม *ESC* เพื่อออกจากหน้าจอนี้ โปรแกรมจะทำการบันทึกชื่อและรายละเอียดต่างๆ เก็บไว้เพื่อใช้กับ Remote ที่จะติดต่อเข้ามา แล้วหน้าจอจะปรากฏดังรูปที่ ๓.25 จะปรากฏชื่อ *MY HOME* อยู่ในรายชื่อผู้ที่เรียกเข้ามา
5. กดปุ่ม *ESC* จะปรากฏหน้าจอตามรูปที่ ๓.26 ให้เลือก *YES* เพื่อเปิดรายชื่อผู้เรียกเข้ามา เมื่อฝั่ง Remote พิมพ์รหัสผ่านถูกต้อง ข้อมูลต่างๆ ของ Remote ที่พิมพ์เก็บไว้ที่ Host จะถูกนำออกมาใช้ในการติดต่อทันที



รูปที่ ๓.24



รูปที่ ๓.25

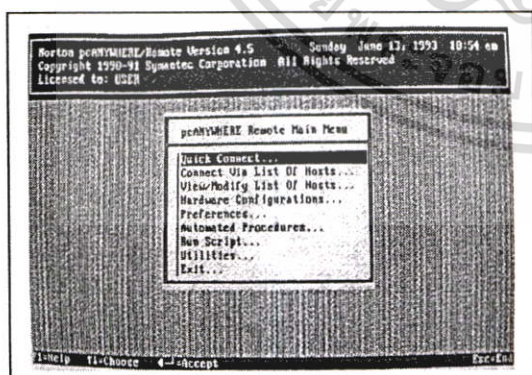


รูปที่ ง.26

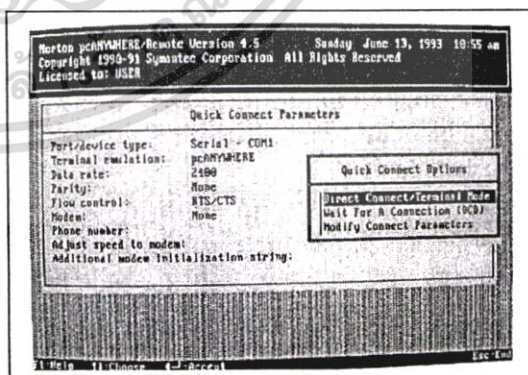
## 5. วิธีการใช้งาน(การติดต่ออย่างรวดเร็ว)

ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นอย่างรวดเร็ว pcANYWHERE มีรายการที่ชื่อว่า *Quick Connect* ให้เลือกใช้จากเมนูหลัก ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการเรียกข้อมูลจากฝั่ง Remote เท่านั้น ทำได้ดังนี้

- 1) ให้เลือกรายการ *Quick Connect* จากเมนูหลักดังรูปที่ ง.27
- 2) จะได้น้ำจอของเมนู *Quick Connect Options* ตามรูปที่ ง.28 ซึ่งเป็นเมนูที่เราตั้งรายการของ Modem เป็น *None* แต่ถ้าเราตั้ง Modem แล้ว อย่างเช่นเลือก *Hayes Compatible* เป็นต้น จะได้เมนู *Quick Connect Options* ตามรูปที่ ง.29
- 3) ถ้าต้องการติดต่อเลขเลือก *Call* จากเมนู *Quick Connect Options* จะมีข้อความให้พิมพ์หมายเลขโทรศัพท์ของ *Modem* ของ *Host* ที่ต้องการติดต่อตามรูปที่ ง.30
- 4) พิมพ์หมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการลงไป จะได้น้ำจอตามรูปที่ ง.31 และเมื่อสามารถติดต่อกันได้ น้ำจอที่เครื่อง *Remote* จะปรากฏเหมือนน้ำจอที่เครื่อง *Host* เช่น รูปที่ ง.1

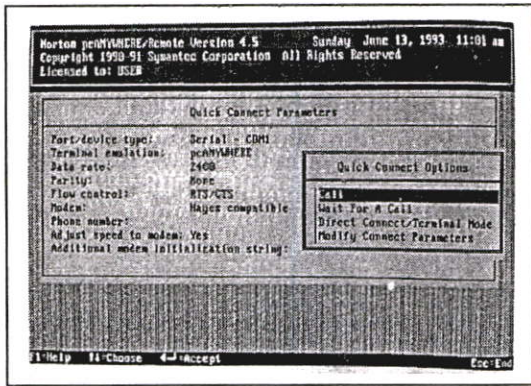


รูปที่ ง.27

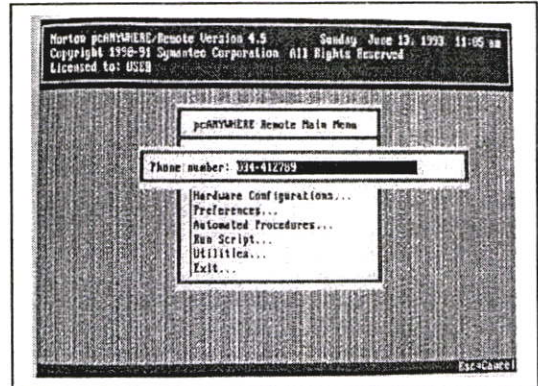


รูปที่ ง.28

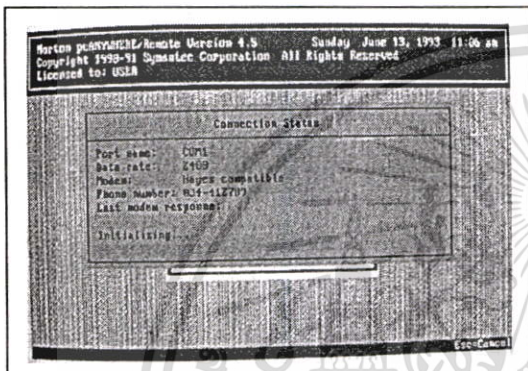
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.29



รูปที่ ง.30



รูปที่ ง.31

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมพงษ์ บุญธรรมจินดา. คู่มือการติดตั้งและใช้งาน Norton pcANYWHERE ด้วยตนเอง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2521.
- [2] วินัย อินทร์โย. มห้ศจรรย่แห่งการสื่อสารทางไกล Laplink Gold 11.0. กรุงเทพฯ : เฟิร์ทแปซิฟิก(ดอกหญ้า). 2545.
- [3] ชัยยุทธ์ ทิมลาวัลย์. Remote Anything ควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล

## Remote Pollution Monitoring System using Leakage Current Detection

สุพิศ ผาพันธุ์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย เพื่อติดตามประสิทธิภาพในการใช้งานของลูกถ้วยและเฟิระวังเดือนภัยก่อนที่จะเกิดปัญหาการวาบไฟตามผิวขึ้นมา โดยประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง และสามารถเรียกดูข้อมูล ณ สถานที่ใดๆ หลักการตรวจวัดระดับมลภาวะเริ่มต้นจากการหาตำแหน่งที่มีความเปราะเปื้อนสูงสุด จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องวัดและอุปกรณ์ตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง และส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายและผิดเพี้ยนจากคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อนำไปแสดงผลในระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง นอกจากนี้ได้ทำการติดตั้งชุดเรียกดูข้อมูลทางไกลเพื่อความสะดวกในการใช้งาน พร้อมทั้งมีการศึกษาพฤติกรรมกรวาบไฟตามผิวโดยแบบจำลองคอมพิวเตอร์จากข้อมูลลูกถ้วยและเหตุการณ์จริง เพื่อหาขนาดกระแสรั่วไหลและความนำที่ผิววิกฤติของลูกถ้วย จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องเที่ยงตรงเป็นที่น่าพอใจ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง ในการพยากรณ์เหตุการณ์วาบไฟตามผิวลูกถ้วยล่วงหน้าได้

### Abstract

This paper describes the remote pollution monitoring(RPM) for detecting leakage current in order to determine the performance of contaminant insulators against breakdown voltage. The RPM with a computerized control system(CCS) which enable the remote monitor. The RPM system is able to define the location with most polluted, and to illustrate the leakage measurement as well as leakage sensors. The leakage current signal is transmitted via a RF wireless system, to reduce the problem of loss and distortion for the small signal and noise environments. The signal is monitored on a computerized control system in a high voltage substation. In addition flashover model is studied and to calculate the critical of the surface leakage current and conductivities. The test results show that the RPM system have ability to detect leakage current and can be used in practical work to estimate the flashover of surface insulators.

### 1. บทนำ

จากสถิติการเกิดข้อขัดข้องในระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่ากว่าครึ่งหนึ่งเกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าแรงสูง[1] และเนื่องจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงของ กฟผ. ส่วนใหญ่เป็นแบบตั้งอยู่ที่โล่ง

(Conventional Substation) ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในลานโกไฟฟ้าจึงได้รับผลกระทบจากมลภาวะรอบด้าน เมื่อย้อนกลับไปในปี 2540 สฟ.บางปะกง ที่ตั้งอยู่ติดกับโรงไฟฟ้าบางปะกง ซึ่งมีกำลังผลิตรวมประมาณ 3,620 MW และมีสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 230 กิโลโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

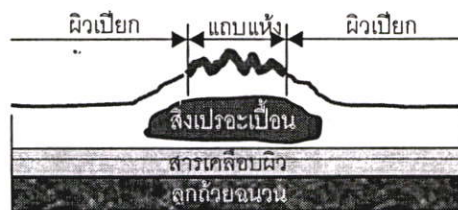
12 วงจร และ 115 กิโลโวลต์ 4 วงจร เชื่อมต่อกับระบบหลักของ กฟผ. ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในเขตภาคกลาง ประสบปัญหาจากการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วย เนื่องจากมีระดับมลภาวะจากไอเกลือของแม่น้ำบางปะกงสูงมาก ทำให้มีปัญหาในการจ่ายไฟ ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยรวม[2] เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว กฟผ. ได้ทดลองเพิ่มความยาวครีปของลูกถ้วยโดยการติด Creepage Extender ปรากฏว่าใช้ไม่ได้ผล ต่อมา กฟผ. ได้เปลี่ยนลูกถ้วยใหม่เป็นแบบชนิดเคลือบสารกึ่งตัวนำ และบางส่วนพ่นเคลือบด้วยน้ำยาซิลิโคน ภายหลังการแก้ไขยังไม่ปรากฏเหตุขัดข้องจากการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วยจากมลภาวะอีก อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ไปนานๆ และได้รับผลกระทบจากมลภาวะในปริมาณสูงตลอดเวลา ทำให้สมรรถนะในการแก้ไขปัญหาลูกถ้วยเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว เพื่อติดตามประเมินผลการใช้งานของลูกถ้วย จึงมีการศึกษาและจัดทำเรื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลขึ้นมา

## 2. ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 กลไกการเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วย

ลูกถ้วยฉนวนคืออุปกรณ์ฉนวนที่ใช้สำหรับยึดหรือรองรับตัวนำไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าศักย์ดิน ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เช่น ใช้ยึดสายไฟฟ้า รองรับบัสบาร์ เป็นต้น ในทางทฤษฎีลูกถ้วยมีคุณสมบัติเป็นฉนวน จึงสามารถป้องกันกระแสรั่วลงดินได้ แต่ในทางปฏิบัติลูกถ้วยถูกติดตั้งใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งเปื้อน เช่น ฝุ่น ควัน สารเคมี และเกลือ เป็นต้น เมื่อระดับมลภาวะมีมากขึ้นอาจทำให้เกิดการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วยขึ้นได้ [3,4]

กลไกการเกิดวาวไฟตามผิว เริ่มต้นจากการก่อตัวของฟิล์มนำไฟฟ้า เมื่อผิวลูกถ้วยถูกคลุมด้วยสิ่งเปื้อน โดยเฉพาะความเปื้อนที่มีเกลือเป็นส่วนประกอบ หากมีปริมาณสะสมมากพอ ประกอบกับ



รูปที่ 1 การเกิดอาร์คบางส่วนบนผิวลูกถ้วยฉนวน

สภาพอากาศมีความชื้นสูง ที่เกิดจากหมอก น้ำค้าง หรือฝนตกปรอยๆ จะทำให้มีกระแสรั่วไหลตามผิวของลูกถ้วย เมื่อสิ่งเปื้อนสะสมที่ผิวลูกถ้วยมากขึ้นจะทำให้ปริมาณกระแสรั่วมากขึ้น กระแสที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้สิ่งเปื้อนเปียกน้ำที่จับอยู่บนผิวลูกถ้วยร้อนขึ้นและระเหยเป็นไอ ทำให้เกิดแถบแห้ง (Dry Band) ขึ้น แถบแห้งนี้มีความต้านทานสูงกว่าผิวเปียก จึงมีศักดาไฟฟ้าเกิดขึ้น เกิดการคายประจุข้ามแถบแห้งหรือเรียกว่า คายประจุบางส่วนดังรูปที่ 1 ถ้ามีแถบแห้งจำนวนมากและอยู่ใกล้ๆ กัน มีเงื่อนไขแบบเดียวกัน ทำให้ความเป็นฉนวนของผิวลูกถ้วยลดลง เกิดความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การเกิดการรวบไฟตามผิวในที่สุด[4,5]

### 2.2 การป้องกันและแก้ปัญหา

ปรากฏการณ์การรวบไฟตามผิวของลูกถ้วย ส่วนหนึ่งมาจากความเปื้อนที่จับอยู่บนผิวลูกถ้วย ดังนั้นการตรวจวัดระดับมลภาวะ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถคาดคะเนการเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วยได้ ปัจจุบันเทคนิคในการตรวจวัดระดับมลภาวะที่ได้รับนิยมนามาก ได้แก่ การวัดค่า Equivalent Salt Deposit Density : ESDD, Non-Soluble Deposit Density : NSDD การวัดค่าความนำที่ผิวลูกถ้วย, การวัดมลภาวะอากาศ และการวัดค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย

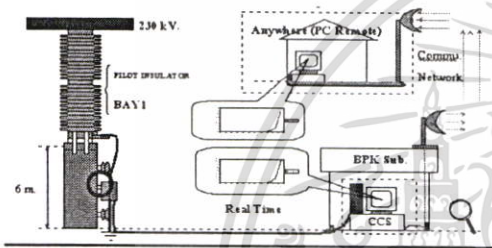
ส่วนมาตรการป้องกันปัญหาการรวบไฟตามผิวของลูกถ้วย มีวิธีการหลักๆ ดังนี้ การเพิ่มความยาวครีปของลูกถ้วย, การล้างลูกถ้วย และการเคลือบผิวลูกถ้วยด้วยน้ำยาซิลิโคนหรือสารกึ่งตัวนำ ในการพิจารณากำหนดวิธีการแก้ไข นอกเหนือจากปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ และเงินทุน ควรพิจารณาเรื่องความมั่นคงของระบบไฟฟ้า การบำรุงรักษา และความปลอดภัยในการทำงานร่วมด้วย[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3 เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล

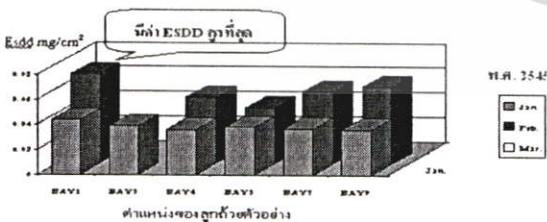
#### 3.1 การติดตั้งเครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล

เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมท โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย หรือเรียกสั้นๆ ว่า RPM จัดสร้างขึ้นเพื่อตรวจวัดระดับมลภาวะ โดยประยุกต์ใช้กับระบบระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง (Computerized Control System: CCS) และสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสาร ณ สถานที่ใดๆ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย

ระบบ RPM ประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่ง คือการระบุตำแหน่งของลูกถ้วย ตัวอย่าง ส่วนที่สอง คือการติดตั้งเครื่องมือวัด Leakage Current Meter ส่วนที่สามคือ การส่งผ่านข้อมูลจากลูกถ้วยตัวอย่างไปที่ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้า และส่วนที่สี่คือ การแสดงผลและเรียกดูข้อมูลทางไกล

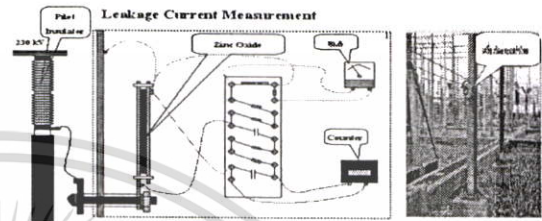


รูปที่ 3 การวัดค่า ESDD ระบุตำแหน่งลูกถ้วยด้วยตัวอย่าง

1) การระบุตำแหน่งลูกถ้วยด้วยตัวอย่าง ใช้วิธีการวัดค่า ESDD เพื่อหาตำแหน่งในลานไกที่มีความเปรอะเปื้อนสูงที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 3 คือที่ตำแหน่ง BAY1 มีระดับสูง เปรอะเปื้อนสูงที่สุด เนื่องจากที่ BAY1

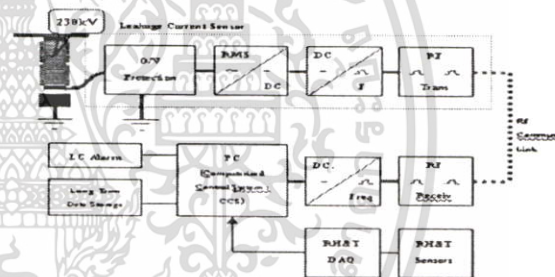
ได้รับผลกระทบจากละอองน้ำหล่อเย็น โรงไฟฟ้าและไอเกลือจากแม่น้ำบางปะกงมากที่สุด

2) การติดตั้งเครื่องวัดกระแสรั่วไหลที่ลูกถ้วยตัวอย่าง โดยนำ Surge Counter ยี่ห้อ Meidensha Type ZC-AIM มาประยุกต์ใช้งาน เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่ากระแสรั่วไหลที่อ่านได้จากชุด Current Sensor แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องวัดกระแสรั่วไหล

3) การวัดค่ากระแสรั่วไหลและระบบส่งถ่ายข้อมูล แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โค้ดแกรมชุดตรวจจับค่ากระแสรั่วไหล

เริ่มจากการใช้หม้อแปลงกระแส(CT) ตรวจจับสัญญาณกระแสรั่วไหลจากลูกถ้วยตัวอย่าง และเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันเมื่อผ่านเบอร์เดนของ CT สัญญาณแรงดันที่ได้จะผ่านเข้าสู่วงจรกรอง ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นวงจรขยายสัญญาณด้วย สัญญาณแรงดันไฟสลับที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณเรกติฟายแบบเต็มลูกคลื่น จากนั้นจะผ่านวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ และแปลงเป็นคลื่นความถี่เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบไร้สาย ป้องกันสัญญาณผิดเพี้ยนและสูญหายเนื่องจากมีระดับสัญญาณต่ำ ระยะทางไกล รวมทั้งมีคลื่นรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในลานไกไฟฟ้า ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 5000 bps ส่วนภาครับคลื่นความถี่จะถูกแปลงกลับเป็นค่ายอดกระแสรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อแสดงผลในระบบคอมพิวเตอร์ CCS ต่อไป ส่วนค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ สามารถแสดงผลในระบบ CCS ได้โดยผ่านชุด Sensor

4) การแสดงผลและการติดตั้งระบบเรียกดูข้อมูลทางไกล สามารถอ่านค่าต่างๆ จากหน้าจอระบบ CCS ได้โดยตรง ส่วนการอ่านค่าจากที่ไกลๆ สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป โดยนำโปรแกรมสำเร็จรูป มาประยุกต์ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การใช้งานระบบ RPM

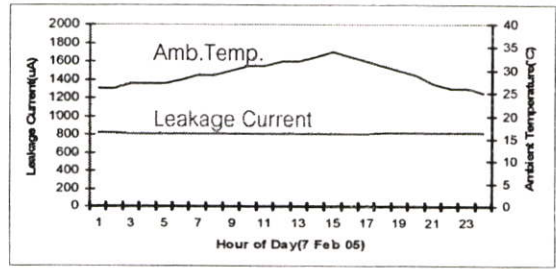
### 3.2 การทดสอบการทำงานระบบ RPM

เพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ Hardware และ Software ในระบบ RPM ที่สร้างขึ้น โดยใช้วิธีการวัดค่ากระแสรั่วไหลของลูกถ้วย ตัวอย่างที่ใช้งานจริงอยู่ในระบบที่ระดับแรงดัน 230kV สฟ.บางปะกง รวมทั้งค่าความชื้นและอุณหภูมิภายนอก

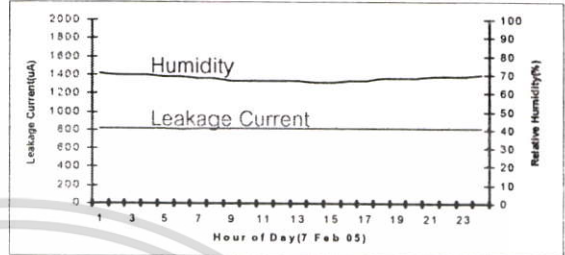
ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของลูกถ้วยตัวอย่าง

ชนิดของลูกถ้วยตัวอย่าง	คุณลักษณะของลูกถ้วยตัวอย่าง					
	No of Sheds	Max Diameter (mm)	Min Diameter (mm)	Leakage Length (mm)	Specific Creepage mm/kV	Form Factor
RG Insulator	54	870	475	6350	21	0.916

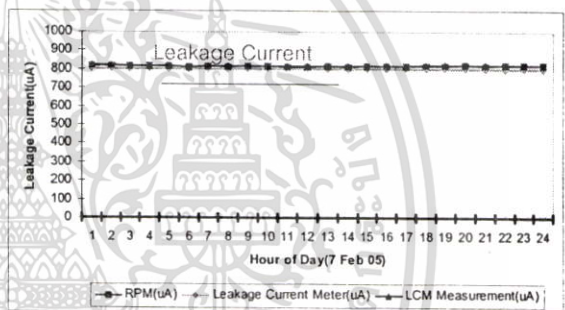
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของลูกถ้วยตัวอย่าง และรูปที่ 7 แสดงข้อมูลกระแสรั่วไหลในรอบ 24 ชม. ส่วนรูปที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการอ่านค่ากระแสรั่วไหลของระบบ RPM เทียบกับเครื่องวัดที่ได้มาตรฐาน คือ Leakage Current Meter และ Leakage Current Measurement ซึ่งผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันแตกต่างกันประมาณ ±5%



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสรั่วไหลและอุณหภูมิ



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสรั่วไหลและความชื้น รูปที่ 7 การแสดงข้อมูลกระแสรั่วไหลในรอบ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการอ่านค่า

### 4 แบบจำลองคอมพิวเตอร์

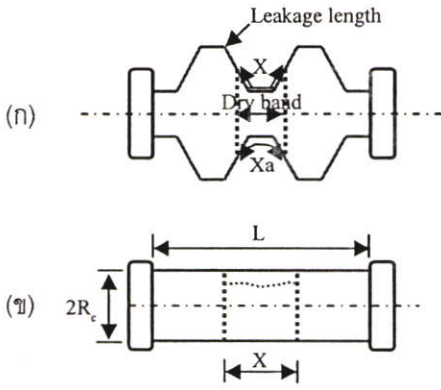
มีจุดประสงค์เพื่ออธิบายพฤติกรรมการวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยฉนวนที่แปรอะเป็นจากมลภาวะโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มุ่งเน้นเพื่อหาค่ากระแสรั่วไหลวิกฤติ รวมทั้งค่าความนำวิกฤติของลูกถ้วยตัวอย่าง [6,7]

การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เริ่มจากการแปลงลูกถ้วยจริงให้เป็นลูกถ้วยสมมูลโดยการหารศมีสมมูลและใช้ค่าฟอร์มแฟคเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 9 และเขียนเป็นวงจรสมมูลดังรูปที่ 10

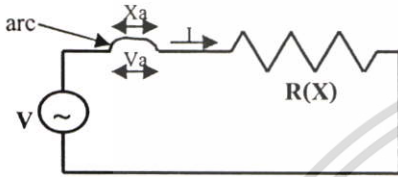
$$Rc = \frac{L}{2\pi F} \tag{1}$$

$$F = \int_0^L \frac{1}{2\pi r(s)} \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 (ก) ลูกถ้วยตัวอย่างทั่วไป (ข) ลูกถ้วยสมมูล



รูปที่ 10 วงจรสมมูลลูกถ้วย

จากรูปที่ 10 แก๊สมการโดยใช้ Kirchoff Voltage Law สดท้ายหาความสัมพันธ์ของค่าความนำและค่ากระแสวิกฤตลูกถ้วย ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\delta sc = \frac{Fn}{Lk_a(N-A)} \left( \frac{k_a NS_c}{817(n+1)} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (3)$$

$$Ic = \left( \frac{k_a NS_c}{817(n+1)} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

เมื่อ  $A, N$  คือค่าคงที่ของอาร์ค,  $L$  คือความยาวครีบลูกถ้วย,  $k_a$  คือแฟกเตอร์ความยาวอาร์ค,  $S_c$  คือ Specific creepage

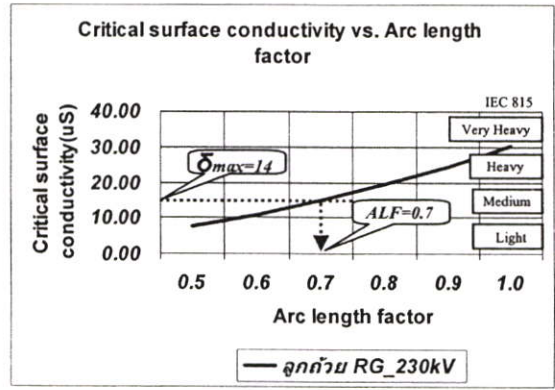
จากสมการที่ 3,4 เมื่อกำหนดให้  $A=10$ ,  $N=80$ ,  $n=0.5$  หาค่าความนำและกระแสรั่วไหลวิกฤตลูกถ้วย ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำล้างลูกถ้วยตัวอย่าง

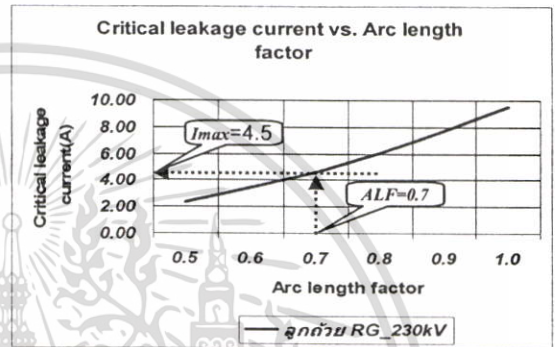
Soluble Component(ppm)									
Ca	Mg	Cl	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Na	K	Zn
20.64	3.63	22.90	18.31	4.19	106.4	NIL	1.01	5.08	0.54
Insoluble Component									
%Fe	%Zn	%K	%Ca	%Na					
4.93	0.31	0.19	0.06	0.14					

ผู้วิเคราะห์ : กองเคมีวิเคราะห์ กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 ค่าความนำวิกฤตลูกถ้วยตัวอย่าง



รูปที่ 12 ค่ากระแสรั่วไหลวิกฤตลูกถ้วยตัวอย่าง

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 11 พบว่า ค่าความนำที่ผิวของลูกถ้วย มีความสัมพันธ์กับค่า Arc length factor และระดับมลภาวะตามมาตรฐาน IEC 815[8] จากกราฟแสดงให้เห็นว่าลูกถ้วย มีมลภาวะอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง และจากข้อมูลเหตุการณ์ลูกถ้วยเกิด Flashover ที่ สฟ.บางปะกง มีการวัดค่าความนำที่ผิวลูกถ้วย( $\delta cs$ ) ได้เท่ากับ  $14 \mu S$  และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2 พบว่ามีสารละลายเกลือ เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้เกิด Flashover ขึ้น นำค่าค่าความนำที่ผิวลูกถ้วยไปหาค่ากระแสรั่วไหลวิกฤต ( $I_{sc}$ ) จากรูปที่ 12 ได้ค่าเท่ากับ 4.5 แอมป์

### 5 สรุปผล

การติดตั้งเครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ผิวลูกถ้วย พบว่าที่ตำแหน่ง BAY1 ในลานไก สฟ.บางปะกง ขนาด 230,000 โวลต์ มีความเปรอะเปื้อนจากการวัดค่า ESDD สูงสุดคือ  $0.067 \text{ mg/cm}^2$  เนื่องจากได้รับผลกระทบจากไอเค็มของ

เมื่อนำบางปะกง มลภาวะจากโรงงานใกล้เคียง รวมทั้งไอน้ำจากหอหล่อเย็นโรงไฟฟ้า บางปะกง ในการติดตั้งชุดเครื่องวัดและอุปกรณ์ตรวจจับกระแสรั่วไหลที่ถูกด้วยตัวอย่าง ได้มีการทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดกับเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน เช่น Leakage Current Meter และ Leakage Current Measurement มีผลต่างอยู่ที่  $\pm 5\%$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากคลื่นรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และระยะทางในการรับส่งข้อมูลกว่า 500 เมตร การลดข้อผิดพลาดจากการวัดส่วนหนึ่งมาจากการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายทางคลื่นวิทยุแทนการส่งผ่านโดยใช้สายเคเบิล ส่วนการเรียกดูข้อมูลทางไกลได้ทำการทดสอบโดยเรียกจากจังหวัดนนทบุรี ไปที่ สฟ.บางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้เช่นเดียวกับที่ สฟ.บางปะกง นอกจากนี้การศึกษาพฤติกรรมการวางไฟตามผิวด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ พบว่าลูกถ้วยสามารถทนต่อระดับมลภาวะได้ที่ระดับ ค่ากระแสรั่วไหลที่ผิวเท่ากับ 4.5 แอมป์ และค่าความนำที่ผิวเท่ากับ 14 ไมโครซีเมน และเพื่อป้องกันไม่ให้ลูกถ้วยมีปัญหาจากการวางตามผิว ได้ทำการกำหนดค่าในคอมพิวเตอร์ให้แจ้งเตือนเมื่อค่ากระแสรั่วไหลและค่าความนำที่ผิวมีค่าเท่ากับ 4.05 แอมป์และ 12.6 ไมโครซีเมนตามลำดับ หรือคิดที่ 10% ก่อนถึงค่าวิกฤติ

เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูลโดยอาศัยการตรวจจับกระแสรั่วไหลที่จัดทำขึ้น เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการตรวจวัดระดับมลภาวะที่มีความสะดวก ถูกต้อง รวดเร็ว และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ 7 วัน รวมทั้งสามารถพิมพ์ Report เก็บไว้เพื่อใช้ในการบำรุงรักษาในอนาคตได้ อย่างไรก็ตามค่ากระแสรั่วไหลยังสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆอีก เช่น ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ทิศทางลม เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วย นอกจากนี้ควรนำลูกถ้วยไปทดสอบที่ห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงรวมทั้งข้อมูลจากประสบการณ์ในภาคสนามหลายสถานที่ เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น

## 6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ และพนักงานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้คำปรึกษา และสนับสนุน ทำให้การศึกษานี้สำเร็จด้วยดี

## 7 เอกสารอ้างอิง

- [1] กองควบคุมระบบ, "สถิติข้อขัดข้องเหตุการณ์ในระบบประจำปี 2544", การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544
- [2] กองบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้า, "ประสบการณ์การแก้ปัญหา Flashover ของลูกถ้วยเนื่องจากมลภาวะที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงบางปะกง", การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544
- [3] ดร.สำรวย สังข์สะอาด, "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] J.S.T. Looms, "Insulator for high voltages", IEE Power Engineering Series 7 , 1990
- [5] W.A Chisholm, J. Kuffel, "Experience with, and life-cycle cost assessment of, alternative solutions to reduce contamination related outages at transmission substations", Ontario power technologies
- [6] J. P. Holtzhausen, W. L. Vosloo, "The pollution flashover of ac energized post type insulators", IEEE Trans. On dielectrics and electrical insulation, Vol.8 No.2, April 2001
- [7] F. A. M. Rize, "Mathematical Models for Pollution Flashover", Electra, Vol.78, pp.71-103,1981
- [8] IEC 815, "Guide for the selection of insulators in respect of polluted condition", 1986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุพัต ผาพันธุ์
วันเดือนปีเกิด	28 พฤศจิกายน 2511
ที่อยู่	9/176 หมู่2 ถนนเทศบาล2 ตำบลละหาร อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11110
ประวัติการศึกษา	2538 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538 บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการจัดการทั่วไป มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. การบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแรงสูง 2. ระบบควบคุมการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 3. ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแรงสูง
ประสบการณ์การทำงานและผลงาน	งานบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า บริษัทปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด(มหาชน) รับเหมาติดตั้งอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าทั่วไป ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า กองบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้าแรงสูง 1 ฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 1. งานบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแรงสูง 22kV. ถึง 500kV. 2. งานควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า 3. งานติดตั้งและบำรุงรักษาระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง
ผลงานทางวิชาการ	1. สุพัต ผาพันธุ์, มณฑล สีสานจินดาไกรฤกษ์, " ระบบวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับ กระแสรั่วไหล ", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2548 2. สุพัต ผาพันธุ์, " เครื่องวัดมลภาวะแบบรีโมทข้อมูล โดยการตรวจจับกระแสรั่วไหล ", การประชุม วิชาการธุรกิจระบบส่ง ประจำปี 2548, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้